



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

NARDELLA GARDNER DANTAS DE OLIVEIRA

**PROPRIEDADES ACÚSTICAS DE PEREIRO (*Aspidosperma*
pyrifolium MART. & ZUCC), PAU-BRANCO (*Auxemma oncocalyx* (Allemão) Taub.)
E EUCALIPTO (*Eucalyptus urograndis*)**

MOSSORÓ - RN

2020

NARDELLA GARDNER DANTAS DE OLIVEIRA

**PROPRIEDADES ACÚSTICAS DE PEREIRO (*Aspidosperma
pyrifolium* MART. & ZUCC), PAU-BRANCO (*Auxemma oncocalyx* (Allemão) Taub.)
E EUCALIPTO (*Eucalyptus urograndis*)**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr Vinicius Gomes de Castro.

MOSSORÓ - RN

2020

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

O48 Oliveira, Nardella Gardner Dantas de.
Propriedades acústicas de Pereiro
Olivp (Aspidosperma pyrifolium MART. & ZUCC), Pau-
branco (Auxemma onocalyx (Allemão) Taub.) e
Eucalipto (Eucalyptus urograndis) / Nardella
Gardner Dantas de Oliveira. - 2020.
76 f. : il.

Orientador: Vinicius Gomes de Castro.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de , 2020.

1. Madeiras alternativas. 2. Caatinga. 3.
Instrumentos musicais. 4. Desenvolvimento rural.
I. de Castro, Vinicius Gomes, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

**PROPRIEDADES ACÚSTICAS DE PEREIRO (*Aspidosperma
pyrifolium* MART. & ZUCC), PAU-BRANCO (*Auxemma oncocalyx* Allemão) Taub.)
E EUCALIPTO (*Eucalyptus urograndis*)**

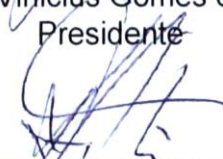
Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Florestal.

Defendida em: 27 / 01 / 2020.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Vinicius Gomes de Castro
Presidente



Prof. João Liberalino Filho
Membro



Prof. Me. Carlos Augusto Pitombeira Viana
Membro

Este Dagon não é para você.

AGRADECIMENTOS

Estamos nos agradecimentos, isto aqui não faz parte do trabalho em si, você não precisa ler. Praticamente só tem nomes. As próximas páginas são um vislumbre do que eu e Vinicius colocamos no papel durante o desenvolvimento deste trabalho, mas elas não traduzem os pensamentos e conversas que entraram neste Dagon.

Se você continuou nesta página, então devo dizer que irei começar pelo começo. Assim, primeiramente, sou grata a Gabriela, que não é nenhum Gato Felix, mas que também tinha sua sacola mágica, a qual me transformou na bruxa das madeiras que gritam, como me disse Yara.

Depois, agradeço a Lidiane, que com seus super poderes de química, de motorista, de mecânica e de apoiadora da minha anti arte, sempre desintrincou todos os problemas que apareceram naquele laboratório.

Eu gostaria muito de agradecer a Vinicius, o velho homem branco no poder, por não ter expulsado este monstro feroz e criativo da sala dele. Ao contrário, ele foi a serra, o ouvido morto e muito mais do que isso, do instrumento que construímos juntos e deste Dagon, e por isso ele merecia um título de MacGyver. (Muito embora eu ache que ele goste mais do distinto Sr. John McClane).

A Joãozinho, o ouvido funcional, agradeço por seu entusiasmo e pelos gritos afinados da Sheiloca, o xilofone, e até por ter me ensinado a tocar Asa Branca, música que certamente nunca mais tocarei em minha vida. (Peço perdão à minha raiz nordestina).

Às amigas e amigos que fiz na agroecologia, na florestal, nos direitos humanos, no Laboratório de Tecnologia da Madeira e no punk, sou grata pelo incentivo aos estudos da madeira e seus sons musicais. Aqui, destaco Fábio por ter caminhado na superfície do sol comigo rumo às aulas de Diodato (acho que está nítido que ele pediu para ser citado neste espaço). Aprendi a tocar um instrumento e a gritar em um microfone por conta destas pessoas e desta pesquisa. Sem esse pessoal eu teria escrito este trabalho na metade do tempo.

Agradeço aos meus pais pela estrutura necessária aos estudos e pelas ideias perigosas.

E por fim, agradeço a todos que leram este Dagon em seus diversos rascunhos e versões, por seus olhares, correções e impressões. Aprendi muito durante esse tempo, e me sinto como uma estrada sem fim, apenas aberta.

E agora vão, e cometam erros interessantes, cometam erros maravilhosos, façam erros gloriosos e fantásticos. Quebrem regras. Façam do mundo um lugar mais interessante por vocês estarem aqui. Façam boa arte.

Neil Gaiman

RESUMO

Em busca por novas perspectivas de aproveitamento dos produtos advindos das madeiras da Caatinga, levantou-se o potencial da *Aspidosperma pyrifolium* Mart. & Zucc (Pereiro) e da *Auxemma oncocalyx* (Allemão) Taub. (Pau-branco), para a construção de instrumentos musicais. Para tal, o presente trabalho teve por objetivo a caracterização física, mecânica, química e acústica destas espécies, e do *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto), madeira de ampla utilização comercial, através da produção de cinco corpos de prova de 310 x 50 x 20 mm por espécie de madeira estudada, compondo um total de 15 amostras, e tendo como base comparativa as propriedades das madeiras consagradas por construtores de instrumentos. As amostras foram avaliadas quanto à densidade aparente, teor de umidade, resistência à compressão paralela às fibras, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras, teor de extrativos, nível de pressão sonora, frequência, amplitude, decréscimo logarítmico, velocidade do som, coeficiente de radiação sonora, impedância e fator de perda. Na prática, *Aspidosperma pyrifolium* Mart. & Zucc, apresentou as características necessárias para a construção de instrumentos de percussão, como o xilofone, e a *Auxemma oncocalyx* (Allemão) Taub. mostrou um uso apropriado para martelos de piano e fundo de instrumentos de corda. Ressalta-se, contudo, a importância de estudos futuros que referenciem as madeiras da Caatinga àsquelas prestigiadas por luthiers e fabricantes de instrumentos.

Palavras-chave: Madeiras alternativas. Caatinga. Instrumentos musicais. Desenvolvimento rural.

ABSTRACT

Seeking new prospects for the use of products from Caatinga woods, the potential of *Aspidosperma pyrifolium* Mart. & Zucc (Pereiro) and *Auxemma oncocalyx* (Allemão) Taub. (Pau-branco) for the construction of musical instruments, was studied. For this purpose, the present work aims at the physical, mechanical, chemical and acoustic characterization of these species and *Eucalyptus urograndis* (Eucalyptus), wood of wide commercial use, through the production of five specimens of 310 x 50 x 20 mm for wood species studied, comprising a total of 15 samples, and based comparatively on the properties of the woods consecrated by instrument builders. The samples were evaluated for density, moisture content, compression strength parallel to fiber, modulus of elasticity in compression parallel to fiber, extractive content, sound pressure level, frequency, amplitude, decrease logarithmic, speed of sound, sound radiation coefficient, impedance and loss coefficient. In conclusion, *Aspidosperma pyrifolium* Mart. & Zucc presented the characteristics of the construction of percussion instruments, such as xylophone, and *Auxemma oncocalyx* (Allemão) Taub. showed an appropriate use for piano actions and backs of string instruments. Nevertheless, it is significant to emphasize the necessity of future studies that refer Caatinga woods to those accepted by luthiers and instrument manufacturers.

Keywords: Alternative woods. Caatinga. Musical instruments. Rural development.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	-	Movimento de partículas em uma onda senoidal.....	18
Figura 2	-	Período e amplitude de onda.....	18
Figura 3	-	Movimentos periódico (a) e não periódico (b).....	19
Figura 4	-	Oscilação alimentada sem atrito.....	19
Figura 5	-	Oscilação amortecida.....	19
Figura 6	-	Desenho em corte da parede.....	25
Figura 7	-	Dimensões do corpo de prova.....	39
Figura 8	-	(a) pesagem, (b) e (c) medições de corpo de prova.....	40
Figura 9	-	Ensaio de resistência à compressão paralela às fibras da madeira de <i>Auxemma oncocalix</i> (Allemão) Taub. (Pau-branco).....	42
Figura 10	-	Diagrama de tensão normal x deformação.....	43
Figura 11	-	Aparato experimental utilizado para suspender os sarrafos de madeira e registrar os sons dos impactos nelas produzidos em uma sala anecóica.....	44
Figura 12	-	Lançamento do pêndulo em sarrafo de madeira (a) e registro da gravação (b) em sala anecóica.....	45
Figura 13	-	Forma da onda, espectrograma e representação espectral do som de Pereiro.....	45
Figura 14	-	Forma da onda, espectrograma e representação espectral do som de Pau-branco.....	46
Figura 15	-	Forma da onda, espectrograma e representação espectral do som de Eucalipto.....	46
Figura 16	-	Resposta de sistema com vibração livre amortecida.....	47
Figura 17	-	(a) moinho de facas, (b) extração em água quente, (c) pesagem das amostras secas em estufa.....	49
Figura 18	-	Extração em acetona.....	49
Figura 19	-	Valores médios da densidade aparente.....	51
Figura 20	-	Valores médios de resistência à compressão paralela às fibras.....	53
Figura 21	-	Valores médios do módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras....	54
Figura 22	-	Correlação entre módulo de elasticidade e densidade.....	56
Figura 23	-	Cartela de propriedades da madeira.....	62

LISTA DE QUADRO E TABELAS

Quadro 1	- Classificação da madeira por densidade.....	40
Tabela 1	- Teor de umidade.....	52
Tabela 2	- Características químicas das madeiras.....	58
Tabela 3	- Valores de nível de pressão sonora, frequência, amplitude de onda e decréscimo logarítmico.....	60
Tabela 4	- Velocidade do som, coeficiente de radiação sonora e impedância.....	63
Tabela 5	- Fator de perda.....	64
Tabela 6	- Correlação de Pearson entre teores de extrativos e propriedades acústicas.....	65

LISTA DE SÍMBOLOS

A_n	Amplitude de vibração no n-ésimo ciclo
A_0	Amplitude de vibração no ciclo inicial
c	Velocidade do som no meio (m/s)
δ	Decréscimo logarítmico
η	Fator de Perda
z	Impedância
R	Coeficiente de radiação sonora
ρ	Densidade
E	Módulo de elasticidade
$\%$	Porcentagem
$\sigma_{10\%}$	Tensão de compressão correspondente a 10% da resistência paralela às fibras
$\sigma_{50\%}$	Tensão de compressão correspondente a 50% da resistência paralela às fibras
$\varepsilon_{10\%}$	Deformação correspondente à tensão de 10%
$\varepsilon_{50\%}$	Deformação correspondente à tensão de 50%
$^\circ$	Grau
f	Frequência
λ	Comprimento de onda

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 Ondas mecânicas	17
2.1.1 Propriedades do som	17
2.2 Instrumentos musicais	21
2.3 Observações gerais sobre a madeira	24
2.4 Madeira como instrumento musical	25
2.5 Propriedades mecânicas da madeira	27
2.5.1 Propriedades elásticas	27
2.5.2 Propriedades vibratórias	28
2.5.2.1 Velocidade do som	28
2.5.2.2 Impedância	29
2.5.2.3 Coeficiente de radiação sonora	29
2.5.2.4 Fator de perda	30
2.6 Propriedades físicas da madeira e relações de umidade	30
2.6.1 Densidade	30
2.6.2 Teor de umidade	31
2.6.3 Estabilidade dimensional	32
2.6.4 Extrativos	33
2.7 Caatinga	34
2.8 Espécies estudadas	36
2.8.1 Pau-branco (<i>Auxemma oncocalyx</i> (Allemão) Taub.)	36
2.8.2 Pereiro (<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart. & Zucc)	37
2.8.3 Eucalipto (<i>Eucalyptus urograndis</i>)	37
3 MATERIAIS E MÉTODOS	38
3.1 Coleta e amostragem das madeiras	38
3.2 Preparação das amostras	39
3.3 Propriedades físico-mecânicas	39
3.3.1 Densidade aparente	39
3.3.2 Teor de umidade	41
3.3.3 Resistência à compressão paralela às fibras e módulo de elasticidade	41

3.4 Análise acústica	43
3.4.1 <i>Propriedades acústicas</i>	43
3.5 Análises químicas	48
3.5.1 <i>Teor de extrativos</i>	48
3.6 Análise estatística	50
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1 Propriedades físicas	51
4.1.1 <i>Densidade aparente</i>	51
4.1.2 <i>Teor de umidade</i>	52
4.2 Propriedades mecânicas	53
4.2.1 <i>Resistência à compressão paralela às fibras</i>	53
4.2.2 <i>Módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras</i>	54
4.3 Aplicação das propriedades físico-mecânicas das madeiras em estudo.....	56
4.4 Teor de Extrativos	58
4.5 Testes acústicos	60
4.5.1 <i>Nível de pressão sonora, frequência, amplitude de onda e decréscimo</i> <i>logarítmico</i>	60
4.5.2 <i>Velocidade do som, coeficiente de radiação sonora e impedância</i>	61
4.5.3 <i>Fator de perda</i>	64
4.5.4 <i>Influência do teor de extrativos nas propriedades acústicas das madeiras</i> <i>estudadas</i>	65
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	66
REFERÊNCIAS	67

1 INTRODUÇÃO

Os recursos florestais da Caatinga têm sido intensamente utilizados a fim de suprir as necessidades da região semiárida mais povoada do planeta (AB'SÁBER, 1999). Estes recursos atendem a uma multiplicidade de usos, como alimentação, habitação, vestuário, lazer e saúde através do provimento de bens e serviços das florestas sob a forma de seus frutos, fibras, corantes, ervas medicinais, madeira para construção, lenha, água e ar puro. O aproveitamento das florestas do semiárido de forma sustentada é exequível em razão da capacidade de regeneração da Caatinga, da conformação dos estoques de madeira e dos produtos florestais não madeireiros presentes (PAUPITZ, 2010).

Em anos em que a lavoura sofre pelas secas e não há como se prover a segurança alimentar da família, a reserva florestal torna-se o elemento de remissão dos efeitos destas. Nesse cenário, a reforma agrária poderia obter ganhos integrando-se a linhas estratégicas de apoio ao desenvolvimento e fortalecimento de Planos de Manejo Florestal Sustentáveis (PAUPITZ, 2010).

Não obstante, a produção florestal é pouco compreendida por assentados e o desmatamento da vegetação para produção de lenha e carvão vegetal é encarada enquanto um modo rápido de acumulação de capital ou de eliminação de algo que impede a produção agropecuária (CARVALHO *et al.*, 2000). Esta situação difícil vem ocorrendo em áreas de assentamentos, que juntamente a criação de pastagens se mostram como as maiores causas de desflorestamento da Caatinga (CNRBC, 2004).

Nesse contexto, para além do comprovado potencial de oferta de madeira para uso como lenha e carvão vegetal, há de se levantar o grande potencial para fornecimento de insumos para outros segmentos madeireiros. Para que a madeira da Caatinga seja aceita em novos segmentos, é necessário o fornecimento de dados técnicos que possibilitem agrupar as espécies de acordo com seu uso potencial, levando em conta suas características anatômicas, físicas e mecânicas, além de apontá-las como opcionais ao uso tradicional de determinadas madeiras pelo mercado. Este esforço além de refletir em um melhor aproveitamento e maior diversificação dos produtos da Caatinga, resulta na geração de emprego e renda nos empreendimentos florestais, principalmente em florestas comunitárias, uma vez que parte da produção poderá ser destinada para fins mais nobres que os destinados atualmente (BRASIL, 2008).

Costumeiramente no interior do Nordeste, nos deparamos com manifestações culturais das mais variadas, e a música é um elemento que as une. Os instrumentos musicais utilizados nessas manifestações são na maioria das vezes elaborados pelas pessoas que as integram, são instrumentos rústicos, construídos a partir das mais diversas técnicas, fazendo uso de madeiras locais que eles próprios estudam, como a Aroeira (*Myracrodruon urundeuva*), para fazer violinos; o Pau d'arco (*Handroanthus impetiginosus*), para fabricar a queixeira para o violino; Timbaúba (*Enterolobium contortisiliquum*), que antigamente originava zabumbas, e hoje não é mais derrubada por restrições do IBAMA; e Nim indiano (*Azadirachta indica* A. Juss.), que apesar de ser exótica é amplamente difundida na região e em projeto, oferece reforço para o braço da rabeca. Esses instrumentos, além de terem sua importância relacionada à música, também expressam a relação desses agrupamentos com a sua cultura (MATTOS, 2017). Dessa forma, a forte influência da música deriva também nos aspectos socioeconômicos de um povo, pois a cultura possui a capacidade de movimentar a economia local e de desenrolar-se em novas formas de trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Ondas mecânicas

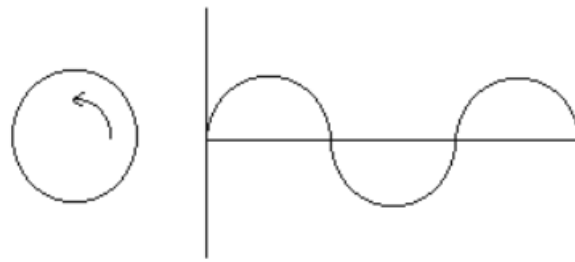
Ondas mecânicas possuem duas características básicas que as definem, sua dependência às leis de Newton e o fato de sua existência estar atrelada a um meio material. Ondas do mar, ondas sonoras audíveis e inaudíveis, e abalos sísmicos são exemplos bem conhecidos desse tipo de onda (HALLIDAY; RESNICK, 2009). Uma onda se mostra quando um sistema é deslocado de sua posição de equilíbrio e propagado para outra região de um sistema. À medida que a onda sonora se propaga no meio, as partículas que a compõem sofrem deslocamentos que oscilam para frente e para trás ao longo de sua direção de alastramento, a este movimento denomina-se onda longitudinal (YOUNG; FREEDMAN, 2008b). Outro tipo de onda mecânica são as ondas transversais, presentes em partes específicas de instrumentos de percussão e de cordas, nestas, as moléculas do material vibram perpendicularmente à direção de propagação da onda (LAZZARINI, 1998).

2.1.1 *Propriedades do som*

O entendimento mais geral sobre o som gira em torno deste se apresentar na qualidade de uma onda longitudinal que se propaga em um meio (YOUNG; FREEDMAN, 2008b). Sob a perspectiva do ouvido humano, o som é uma vibração que ao se alastrar no ar, estimula certa sensação auditiva. Dentre os movimentos oscilatórios encontrados na natureza, certamente o som é um dos mais importantes (BESSA, 2000).

As ondas sonoras mais simples são as ondas senoidais (Figura 1), que possuem valores estabelecidos para sua amplitude, frequência e comprimento de onda. Porém, é preciso fazer notar que sons musicais não produzem uma senóide pura, logo estes devem ser representados em função de variações de pressão em diferentes pontos. Considerando-se que a pressão atuante flutua acima e abaixo da pressão atmosférica com a mesma frequência do movimento das partículas do ar. O ouvido humano, microfones e aparelhos análogos captam essas variações de pressão, não deslocamentos, de modo que se faz necessário deduzir uma relação entre estas (YOUNG; FREEDMAN, 2008b).

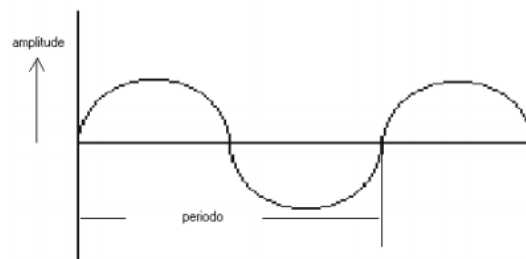
Figura 1- Movimento de partículas em uma onda senoidal



Fonte: Lazzarini (2008).

A amplitude é definida como o módulo do máximo deslocamento das partículas a partir da posição de equilíbrio quando a onda passa por elas (Figura 2) (HALLIDAY; RESNICK, 2009).

Figura 2 – Período e amplitude de onda.



Fonte: Lazzarini (2008).

A oscilação é dita periódica quando seus atributos se repetem em intervalos de tempo iguais, desta maneira, período é o valor mínimo deste intervalo de tempo e pode ser expresso em segundos (Figura 3) (BESSA, 2000). A frequência de um som é o número de oscilações por unidade de tempo e pode ser medida em Hertz (Hz) ou ciclos por segundo (HALLIDAY; RESNICK, 2009). Frequências entre 20 e 20.000 Hz são audíveis, abaixo desse limiar tem-se infrassons e acima ultrassons, que não provocam sensações auditivas em humanos (MORESCHI, 2010). Na música, as notas de um instrumento correspondem a certa frequência, em que, notas mais agudas são as de frequência mais alta, e notas mais graves correspondem a frequências mais baixas (MAEOCA, 2012).

Figura 3 - Movimentos periódico (a) e não periódico (b).



Fonte: Bessa (2000).

Instrumentos de corda, placas, colunas de ar, entre outros, podem apresentar diversos comportamentos vibracionais, podendo ser dos tipos forçado sem atrito, alimentados ou amortecidos. Oscilações forçadas sem atrito são teóricas nestas a amplitude da onda é constante ao longo do tempo, assim a vibração não se encerra (Figura 4). Materialmente, ela é impossível de acontecer (BESSA, 2000).

Figura 4 – Oscilação alimentada sem atrito.



Fonte: Bessa (2000).

Em oscilações alimentadas, certa energia é fornecida ao sistema, de forma a suprir as perdas por fricção interna, mantendo a amplitude original da onda sonora. Este tipo de vibração estabelece relação com o modelo teórico das oscilações sem atrito, o violino e o clarinete são exemplos de instrumentos com esse tipo de vibração (BESSA, 2000).

O caso real será o das oscilações amortecidas (Figura 5), em que a fricção interna conduz a uma diminuição gradual da amplitude de oscilação até que o sistema cessa de vibrar. Apesar da amplitude da onda diminuir ao longo do tempo, o período se mantém (BESSA, 2000).

Figura 5 - Oscilação amortecida.



Fonte: Bessa (2000).

O produto entre frequência (f) e comprimento de onda (λ) fornece a velocidade de propagação do som (V).

$$V = f \cdot \lambda \quad (1)$$

Intensidade sonora relaciona-se com a variação de pressão do meio, e está ligada à quantidade média de energia por unidade de área com a qual a onda percorre uma superfície ou é absorvida por um material. Esta apresenta variações que dependem da distância entre fonte emissora e receptor (HALLIDAY; RESNICK, 2009). Potência é uma característica intrínseca à fonte sonora, seu valor independe do meio que a onda percorre e sua unidade é o Watts. A pressão sonora caracteriza os efeitos do ruído em seres humanos, sua unidade de medida é o Pascal (Pa). Esta pode ser obtida através do uso do decibelímetro, e seus valores dependem da distância entre o ponto em que é medida e a fonte sonora, bem como da quantidade de energia absorvida pelo meio (BISTAFA, 2006). Na prática, a pressão sonora é expressa em uma escala convencionada, o decibel (dB), que oscila entre 0 e 120 dB (BESSA, 2000).

Tons produzidos por instrumentos musicais distintos podem alcançar a mesma frequência fundamental, modo de oscilação de menor frequência, e por conseguinte, a mesma altura, mas serão percebidos de forma dessemelhante por ocasião de quantidades diferentes de harmônicos presentes (YOUNG; FREEDMAN, 2008b), uma série harmônica é o primeiro harmônico e os seguintes a este indo em direção à frequência mais aguda (ZUBEN, 2004). À diferença de percepção do som se atribui a designação de cor do som, qualidade ou timbre, e é comumente caracterizada de acordo com a subjetividade do ouvinte (YOUNG; FREEDMAN, 2008b). Estudos sobre timbre representam o brilho, conceito utilizado para descrever sons musicais, como uma das distinções perceptivas mais relevantes entre os sons (WESSEL, 1979; KENDALL *et al*, 1999). Sua quantificação em termos acústicos é dada em função da ocorrência de modos de alta frequência (PORTELA, 2014).

A taxa de amortecimento dos modos de vibração de um instrumento musical depende de uma série de fatores, inclusive das propriedades dos materiais que o constituem. Em cada parte do instrumento a energia cedida à deformação se irradia sob a forma de som, mas também rapidamente se dissipa, transformando-se em energia interna dos materiais (WRIGHT, 1996). As propriedades do fator de perda acústica dos materiais e seu significado é tema de pesquisas há mais de 200 anos (LAZAN, 1968). Atualmente, existem variados métodos de determinação do fator de perda, sendo um destes expresso em função

do decréscimo logarítmico, função baseada na redução do retorno acústico de um material após uma excitação por impulso (COSSOLINO; PEREIRA, 2010).

2.2 Instrumentos musicais

Instrumento musical é um termo que diz respeito a todos os dispositivos possuidores da capacidade de produzir um som, servindo como um meio para a expressão musical. Esse nome genérico surge na Alemanha entre os séculos 12 e 13, como sinônimo de um instrumento de teclado, o clavicórdio (BESSA, 2000). Um instrumento musical é uma máquina criada com a finalidade de transformar energia mecânica fina em energia acústica através do controle do ouvido e do tato do executante. Mas também, é um construto conceitual baseado na evolução de um determinado grupo social, ou no desenvolvimento de novas sonoridades (COELHO *et al.*, 2015).

A Organologia é o estudo dos instrumentos musicais dentro das dimensões da classificação, da terminologia, da história, das suas funções sociais, da feitura da máquina, da acústica e da performance do executante (BALLESTÉ, 2009). A classificação dos instrumentos musicais ao longo da história foi objeto de variadas interpretações. Atualmente, adota-se a classificação Hornbostel-Sachs proposta em *Systematik der Musikinstrumente* (1914), na qual se agrupam os instrumentos em quatro categorias, sendo eles os idiofones, materiais elásticos não sujeitos a tensão; cordofones, instrumentos em que o som é produzido a partir da vibração de cordas submetidas à tensão; aerofones, o som é produzido através da vibração do ar; e membranofones, o som se dá a partir da vibração de membranas esticadas. Em 1936, Hans-Heinz Dräger propõe a criação de mais uma classe de instrumentos chamada eletrofone, que se divide em dois tipos: os eletromecânicos cujas vibrações são compostas mecanicamente e transformadas em vibrações elétricas, como as guitarras elétricas; e os rádio eletrônicos feitos a partir de circuitos elétricos, como os teclados eletrônicos (SACHS, 1968).

Ainda que as possibilidades de materiais para o desenvolvimento de instrumentos musicais tenham se multiplicado, em especial por volta dos últimos quatro séculos, a sorte destes variou muito pouco. Onde quer que a música seja feita, por quem quer que seja, não importando sua cultura de origem, as partes vitais de um instrumento musical ainda são majoritariamente advindas de materiais de origem natural, como a madeira, independentemente da chegada de novas ligas, polímeros e compósitos (WEGST, 2006).

O conservadorismo por parte de luthiers conferiu notoriedade a poucas espécies ao redor do mundo, essa preferência se dá em função das excelentes propriedades das madeiras nobres, mas impede o desenvolvimento de pesquisas em busca de espécies florestais alternativas para a construção de instrumentos musicais (SOUZA, 1983). Algumas dessas espécies nobres tradicionalmente utilizadas no fabrico de instrumentos como violões, violinos, violoncelos, pianos, flautas, fagotes e de percussão são, Abeto (*Picea abies*); Sitka spruce (*Picea sitchensis*); Maple (*Acer* sp.); Sycamore (*Planatus occidentalis*); African ebony (*Diospyros* spp.); Jacarandá-da-baía (*Dalbergia nigra*); Pau-brasil (*Caesalpinia echinata*); Pau-marfim (*Balfourodendron riedelianum*); African blackwood (*Dalbergia melanoxylon*); Oak (*Quercus* spp.); Hickory (*Carya* spp.); Mogno (*Swietenia macrophylla*) (SOUZA, 1983; SLOOTEN, 1993; BUCUR, 1995; PEARSON, 1967).

Paralelo ao emprego de espécies nativas na confecção de instrumentos musicais, madeiras de plantios florestais, como *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp., têm surgido como uma alternativa sustentável nesse segmento. Através do melhoramento genético das espécies e de um adequado manejo é possível obter uma madeira com as especificidades desejadas para a produção de instrumentos, bem como obtém-se um produto com alto valor agregado, através da certificação de manejo florestal (FOELKEL, 2014). A eucaliptocultura apresenta algumas circunstâncias em seu favor, como o fato do Eucalipto ser uma planta exótica, não possuindo restrições legais para o seu corte, e por sua adaptabilidade a diferentes condições de sítio, podendo ser plantado em múltiplas escalas para produção de diversificada base industrial (RECH, 2007).

As discussões sobre produção de instrumentos musicais brasileiros deveriam começar pela dificuldade que os instrumentos nacionais têm de, em certo sentido, estabelecer uma tradição orgânica, pois em riqueza e diversidade de florestas o Brasil é um território de destaque mundial, mas isso não se converte em pesquisas de novas espécies para suprir o mercado de instrumentos musicais, que importa cerca de 90% dos instrumentos comercializados no país (MOMBACH, 2018). O custo da importação se transmite ao custo do produto, o que torna seu preço elevado e dificulta o acesso da população a instrumentos musicais (SLOOTEN; SOUZA, 1993). Aperfeiçoar a qualidade dos instrumentos musicais produzidos nacionalmente poderia alterar a condição atual de importador em que o país se encontra (MOMBACH, 2018).

Dentro da dinâmica da luteria, enquanto forma de arte, em plena era da globalização há de se primar por um instrumento musical que, para além de uma excelente sonoridade e

acabamento, evoque a personalidade de seu criador, que enriqueça a história da luteria da forma que uma pintura enriquece a história da arte, que seja autenticamente local e de boa qualidade (BARRETO, 2018).

2.3 Cultura popular e desenvolvimento local

A cultura pode ser caracterizada como um sistema de símbolos que um povo cria e utiliza para fins de organização e interação. Muito embora o sistema evidencie as formas padrões, a cultura popular se sustenta demonstrando as verdades de um povo (LÓSSIO; PEREIRA, 2007). Em si, a cultura representa a importância de elementos que figuram no imaginário popular e na vivência das pessoas, conferindo base para o alcance de seus objetivos, formas de produção e sobrevivência (GONÇALVES, 2017).

A cultura popular exprime a atividade do povo no meio cultural e evidencia que o homem simples, negado ao acesso de capital cultural, também possui a capacidade de produção de conhecimento acerca da realidade em que se insere (DUTRA, 2013). Em agrupamentos musicais tradicionais do interior do Nordeste, em que as pessoas constroem seus instrumentos musicais, rústicos ou não, a partir de diversas técnicas e madeiras nativas, observa-se que mesmo com a influência cultural que recebem de fora, estes ainda preservam suas características fundantes (MATTOS, 2018). Assim, é possível de se constatar que mesmo possuindo um caráter massificante, o fenômeno da globalização eleva os valores socioculturais do povo, conduzindo-o à difusão de produtos e costumes regionais potencialmente geradores de receita. A tendência é que a cultura se torne atrativa ao desenvolvimento de novos empreendimentos (LÓSSIO; PEREIRA, 2007).

Dessa forma, a cultura popular se insere como uma ferramenta de desenvolvimento local, sendo proposta por órgãos das áreas de agronegócio, turismo e comércio. Programas de governo evidenciam a relevância do desenvolvimento de projetos de pesquisa com este enfoque (GONÇALVES, 2017). Competindo à sociedade encarar a cultura dentro da perspectiva do desenvolvimento local, pois em discussões acerca da economia cultural devem-se considerar as esferas da movimentação local e seus desdobramentos em emprego, renda e desenvolvimento de negócios (LÓSSIO; PEREIRA, 2007).

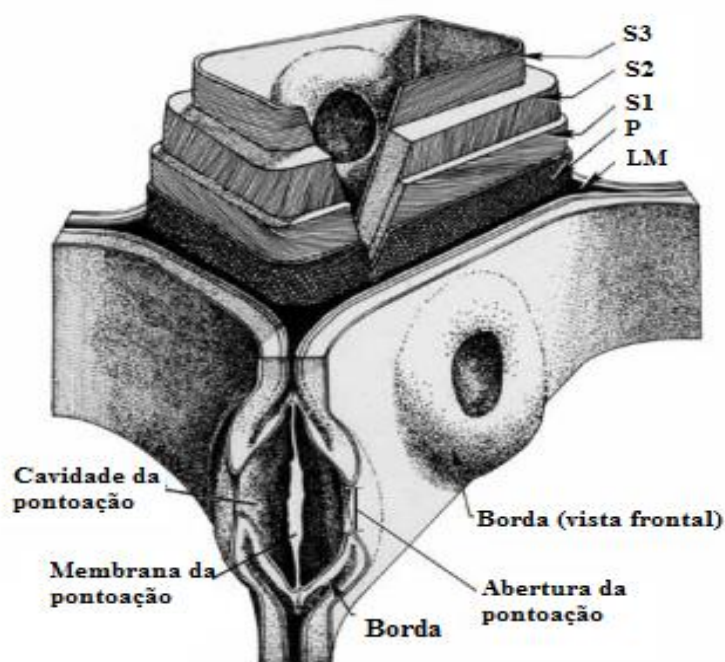
2.4 Observações gerais sobre a madeira

Madeira é um material biológico renovável que impressiona por sua estrutura complexa e variedade de usos. Anterior aos aspectos acústicos da madeira, o entendimento de sua estrutura é determinante para o conhecimento de seu comportamento (BUCUR, 2006). O tronco de uma árvore é composto por milhões de células individuais, e seus principais constituintes são a celulose, hemiceluloses, lignina e extrativos. A proporção desses constituintes varia entre e dentro das espécies, bem como entre e dentro da árvore (FENGEL; WEGENER, 1989).

A celulose é um polímero composto por repetidos segmentos de glicose. As hemiceluloses são polissacarídeos de baixo peso molecular constituídos por aproximadamente 50 a 400 unidades de açúcar. Celulose e hemiceluloses estão presentes majoritariamente na parede secundária da célula vegetal. A lignina é um polímero amorfo complexo presente na lamela média entre as paredes das células contíguas (BUCUR, 2006).

A parede celular compreende três regiões principais: a lamela média, a parede primária e a parede secundária (Figura 6). A lamela média é a camada mais externa e fornece adesão entre células. A parede primária é caracterizada por microfibrilas de celulose orientadas aleatoriamente entre um ângulo de 0° a 90° em relação ao eixo longitudinal da célula. A parede secundária é composta por três camadas, a saber: S1, adjacente à parede primária, é uma fina camada caracterizada por um grande ângulo microfibrilar (50° a 70°); S2, de maior espessura, esta camada fornece a contribuição necessária para as propriedades gerais da parede celular, é tipificada por um baixo ângulo microfibrilar (5° a 30°); e em seu interior encontra-se a camada S3, de parede relativamente fina, ângulo microfibrilar alto e semelhante à camada S1 (> 70°), e menor teor de lignina para que ocorra adesão de água à parede celular, o que facilita a transpiração da árvore (WIEDENHOEFT, 2010).

Figura 6 - Desenho de corte da parede celular, em que suas várias camadas estão detalhadas na parte superior do desenho, começando com a lamela média (LM), a próxima camada é a parede primária (P), na superfície dessa camada está detalhada a orientação aleatória das microfibrilas de celulose. No interior da parede primária está a parede secundária em suas três camadas: S1, S2 e S3. O ângulo da microfibrila de cada camada é ilustrado, bem como suas espessuras relativas.



Fonte: Wiedenhoeft (2010).

2.5 Madeira como instrumento musical

A preferência pela madeira para a confecção de instrumentos musicais está associada à sua abundância na natureza, às suas vantajosas propriedades físicas e mecânicas, e por esta apresentar facilidade ao ser esculpida com o uso de ferramentas simples (WEGST, 2006). A beleza (cor, grã, textura e figura) da madeira também é observada no momento da seleção de espécies para esta finalidade (ARAMAKI *et al.*, 2007).

Muitas propriedades físicas e mecânicas da madeira relacionam-se à densidade. Os módulos de elasticidade e de rigidez paralela e perpendicular às fibras são determinantes

para o quesito vibração em placas musicais. Na falta de informações que os descrevam por completo, é possível se concentrar na determinação do módulo de elasticidade paralelo à fibra, pois este já fora estabelecido para um amplo número de espécies de madeiras, e porque este juntamente à densidade, é capaz de determinar a maior parte das propriedades acústicas indispensáveis para a confecção de um instrumento musical (WEGST, 2006).

Outra característica peculiar à madeira, e importante para instrumentos musicais elaborados a partir desta, é a forma como a madeira reage e se adapta às condições do meio em que se insere, especialmente no tocante à troca de umidade com o ar. Propriedades como densidade, módulo de elasticidade, amortecimento e contração são fortemente influenciadas pelo teor de umidade. Assim, durante a seleção de uma espécie de madeira, conhecer o quanto e quão rápido ela troca umidade com o ambiente é fator indispensável, pois refletirá na estabilidade dimensional e nas propriedades mecânicas da peça. Em geral, a velocidade de sorção diminui com o aumento da densidade e do teor de extrativos contidos na madeira (WEGST, 2006).

Em instrumentos musicais, a seleção da cor é definida pela tradição, por exemplo, no fabrico de oboés escolhem-se preferencialmente madeiras escuras/pretas. Já tampos de outros instrumentos são construídos com madeiras mais claras, enquanto as laterais e o fundo permitem o uso de tons marrom escuro (GOMES; LAGE; MOURÃO, 2004). Diferentes cores são proporcionadas pelos extrativos contidos no lenho sob a forma de resinas, óleos, taninos, entre outros, depositados em grande medida no cerne (MELO, 2002).

A textura diz respeito ao efeito produzido na madeira pela distribuição, tamanho e quantidade de elementos anatômicos presentes. Esta pode ser considerada fina, média ou grossa (MELO, 2002). A grã da madeira está relacionada à orientação dos elementos verticais que a constituem, podendo ser direita, reversa, espiralada, ondulada ou torcida. Para a construção de instrumentos musicais, deseja-se uma grã direita, pois esta favorece a propagação do som, bem como apresenta uma melhor trabalhabilidade (SLOOTEN; SOUZA, 1993), elevada resistência mecânica, e não manifesta empenos indesejáveis durante a secagem da madeira (BESSA, 2000).

A figura varia de acordo com as camadas que se incrementam à madeira, irregularidades na disposição das células e de pigmentos coloridos (SLOOTEN; SOUZA, 1993). Esta característica é dependente da técnica de corte empregada (BESSA, 2000). Em instrumentos de cordas, deseja-se uma figura que apresente uma quantidade considerável de tecidos do raio, pois estes conferem beleza à madeira (SLOOTEN; SOUZA, 1993).

2.6 Propriedades mecânicas da madeira

A variabilidade de suas propriedades é algo em comum que diferentes materiais trazem consigo. Madeira é um material de origem natural, e a árvore está sujeita a mudanças constantes, seja de umidade, condicionantes do solo ou métodos de cultivo, assim, suas propriedades variam de modo considerável (KRETSCHMANN, 2010).

Uma característica que diferencia a madeira de materiais artificiais relaciona-se a ortotropia inerente, significando que para cada eixo observado, as características mecânicas são únicas e independentes. O eixo longitudinal é paralelo à fibra, estando ao longo do comprimento do tronco da árvore; o eixo radial é perpendicular aos anéis de crescimento; e o eixo tangencial é perpendicular à fibra, mas tangente ao crescimento dos anéis. Madeira é essencialmente composta por células ocas que se arranjam paralelamente umas às outras ao longo do tronco da árvore. Os atributos microscópicos destas células, como sua composição e estrutura, suas propriedades físicas e mecânicas, determinam o desempenho da madeira (WEGST, 2006).

2.6.1 Propriedades elásticas

Elasticidade é a propriedade da madeira sólida que se traduz enquanto a capacidade desta de se recuperar de uma deformação causada por uma carga de baixa tensão. Quando a carga se situa em níveis de tensão mais elevados, ocorrem deformações plásticas ou a ruptura (KRETSCHMANN, 2010).

As propriedades mecânicas da madeira são caracterizadas de acordo com o seu comportamento perante as solicitações aplicadas, sendo representadas por uma curva do tipo tensão x deformação (CANEVAROLO JR, 2002). A resposta da madeira é correspondente ao sentido da carga aplicada em relação às fibras, à sua densidade, temperatura, escala de tempo na qual será solicitada, e teor de umidade (MORESCHI, 2010). A avaliação das propriedades mecânicas pode se dar sob a forma elástica ou dinâmica, bem como a caracterização de seu comportamento pode ser feita atingindo ou não a ruptura do material (CANEVAROLO JR, 2002).

A tensão caracteriza a intensidade das forças que criam a dilatação, a compressão ou a torção. A deformação diz respeito à alteração resultante. Quando deformação e tensão são razoavelmente pequenas, observa-se que estas são diretamente proporcionais, e a essa

constante de proporcionalidade chama-se módulo de elasticidade. Esse comportamento pode ser descrito através da Lei de Hooke (YOUNG; FREEDMAN, 2008a).

$$F = K.x \quad (2)$$

Em que: F: Força elástica;

K: Constante elástica;

x: deformação.

Quando essa proporcionalidade entre solicitação aplicada e deformação do corpo de prova deixa de existir, assume-se que é chegado ao limite de proporcionalidade existente entre eles (MORESCHI, 2010).

Os módulos de elasticidade (E) podem ser obtidos por ensaios de compressão, e os valores obtidos referem-se aos eixos longitudinal, radial e tangencial da madeira. As relações elásticas variam entre e dentro das espécies, com o teor de umidade e com a densidade da madeira (KRETSCHMANN, 2010). O módulo de elasticidade mede a rigidez de um material (LIVÉRIO JR *et al.*, 2014).

2.6.2 Propriedades vibratórias

As propriedades vibratórias de interesse para materiais com aplicações acústicas, como instrumentos musicais são: velocidade do som dentro do material, impedância, coeficiente de radiação sonora e fator de perda (WEGST, 2006).

2.6.2.1 Velocidade do som

A velocidade de propagação do som (c) recebe influência de diversos fatores, tais como a macro e microestrutura da madeira, teor de umidade, densidade, temperatura (BAAR; TIPPNER; GRYC, 2011) e módulo de elasticidade (KRETSCHMANN, 2010). Mudanças na densidade exercem variações na velocidade de propagação, em que um aumento na densidade reflete em uma maior velocidade. Isso ocorre porque a proporção da camada S2 no lenho também cresce, influenciando na propagação da onda acústica (BAAR; TIPPNER; GRYC, 2011).

Na madeira, a velocidade do som também varia com a direção da fibra, porque o módulo de elasticidade transversal é bem menor que o longitudinal, sendo da ordem de 1/20 ou 1/10, assim a velocidade através da grã corresponde de 20% a 30% da longitudinal. A velocidade da onda sonora diminui com o aumento da temperatura ou teor de umidade (KRETSCHMANN, 2010).

2.6.2.2 Impedância

Como a velocidade do som, a impedância (z) de um material está diretamente relacionada ao seu módulo de elasticidade e densidade. É uma medida importante quando a energia vibratória é transmitida de um meio com uma dada impedância (z_1), para outro com outro valor de impedância (z_2). Esses meios distintos podem ser uma corda e uma placa de som de um instrumento, por exemplo. A impedância está relacionada ao tipo de material utilizado em um instrumento, bem como ao quadrado de sua espessura. Assim, placas de som com espessura considerável, como as de um piano, possuem um maior valor de impedância do que suas cordas. Para obter uma boa qualidade sonora, as diferentes impedâncias devem ser controladas cuidadosamente, de forma que a energia vibratória transmitida de um meio para outro proporcione uma vibração audível (WEGST, 2006).

2.6.2.3 Coeficiente de radiação sonora

Descreve quanto a vibração de um corpo é amortecida devido à radiação sonora. É uma propriedade acústica dependente do módulo de elasticidade e da densidade da madeira. Caso se deseje construir um instrumento que emita sons de alta intensidade, é preciso que a madeira apresente um alto valor para este coeficiente. Para maximizar o volume, deve-se maximizar a amplitude da resposta vibratória da placa de som a uma dada força (WEGST, 2006).

2.6.2.4 Fator de perda

Quando a madeira é tensionada, alguma energia mecânica se perde sob a forma de calor. Assim, a fricção interna denota o mecanismo pelo qual a energia se dissipa, e estabelece relação com a temperatura, tipo e quantidade de extrativos contidos na madeira e o teor de umidade (WEGST, 2006). Outra medida de fator de perda inclui o decréscimo logarítmico (δ) (KRETSCHMANN, 2010). Em geral, há um valor para o teor de umidade em que a fricção interna é mínima, e ele aumenta à medida que o teor de umidade varia da madeira anidra (0% de umidade) até o ponto de saturação das fibras, este mínimo acontece quando a madeira está com cerca de 6% de umidade (WEGST, 2006).

O teor de umidade em que a parede celular se encontra completamente saturada, mas em que não há água no interior da célula vegetal, é chamado de ponto de saturação das fibras. A partir dele não há mudanças nas propriedades físicas e mecânicas da madeira, e ele atinge em média 30% do teor de umidade, variando entre espécies e porções diferentes da madeira (GLASS; ZELINKA, 2010).

De forma igual ao teor de umidade de 6%, na temperatura de 23°C a fricção interna é mínima. Essa temperatura aumenta à medida que o teor de umidade cai. Diferentemente das outras propriedades acústicas, fator de perda (η) não estabelece relação direta com a densidade e o módulo de elasticidade da madeira (WEGST, 2006).

2.7 Propriedades físicas da madeira e relações de umidade

Madeira, como muitos materiais de origem natural, é higroscópica, e a troca de umidade entre ela e o meio está sujeita a umidade e temperatura relativa do ar, e a quantidade de água em seu interior. Essa relação de umidade exerce influência nas propriedades e no desempenho da madeira em diversos usos tecnológicos (GLASS; ZELINKA, 2010).

2.7.1 Densidade

A densidade (ρ) de uma substância é definida como a proporção entre sua massa e seu volume. Na madeira, massa e volume, são dependentes do teor de umidade, podendo ser expressa no sistema métrico em g/cm³ ou kg/m³ (GLASS; ZELINKA, 2010). Em geral,

madeiras ditas pesadas são consideradas mais resistentes, elásticas e duras que as madeiras leves, mas apresentam difícil trabalhabilidade (MORESCHI, 2010). Para essas madeiras pesadas, a densidade depende não apenas da parede das fibras, mas também da quantidade de espaços vazios ocupados por vasos e parênquima. Em todas as madeiras, a densidade se relaciona à proporção entre volume da parede celular e quantidade de lúmen em uma célula (WIEDENHOEFT, 2010).

A densidade da madeira varia entre e dentro de espécies, em que esta muda de acordo com as características anatômicas, como a proporção entre madeira juvenil e madeira adulta, cerne e alburno. Para algumas espécies de madeira, compostos minerais e extrativos podem afetar a densidade. Em serviço, a madeira é usada sob numerosas condições, significando que ela é submetida a uma diversidade de teores de umidade. Logo, é necessário determinar a densidade da madeira a um dado teor de umidade quando solicitações mecânicas serão aplicadas (GLASS; ZELINKA, 2010).

A partir do teor de umidade da madeira, a densidade pode ser caracterizada de diferentes formas, as mais usuais são a densidade básica e a densidade aparente. A densidade básica é determinada baseando-se na relação estabelecida entre a massa seca em estufa e o volume saturado da madeira, ou seja, acima do ponto de saturação das fibras. A densidade aparente é caracterizada com a definição de massa e volume, ambos a 12% de umidade (OLIVEIRA, 1997).

Apesar de a densidade poder ser caracterizada baseando-se em qualquer teor de umidade, a padronização facilita a comparação dos resultados obtidos em ensaios. Por isso a norma brasileira, NBR 7190 - Projetos de Estruturas de Madeira, ABNT (1997), adota a umidade de 12% enquanto referência (LOGSDON, 1998).

2.7.2 Teor de umidade

A parede celular é basicamente constituída por celulose, com capacidade de adsorção de água restrita a sítios onde sua cristalinidade é reduzida; hemiceluloses, que possuem um elevado número de hidroxilas livres, o que as tornam higroscópicas, e a lignina, agente cimentante das células, que é uma molécula hidrofóbica. Assim, é possível inferir que esses três componentes da madeira apresentam diferentes capacidades de adsorção de água (WIEDENHOEFT, 2010).

No interior da madeira, a água pode se apresentar sob três formas distintas, a saber: como água livre ou de capilaridade, ocupando os espaços vazios entre e dentro de células; água de adesão ou higroscópica, ocorrendo aderida à parede celular; e como água de constituição, fazendo parte do arranjo químico do tecido lenhoso (MADY, 2000).

Na árvore de pé, a madeira contém uma grande quantidade de água. À medida que a madeira verde seca, a água livre se perde. A umidade que ainda está contida na madeira tende a buscar o equilíbrio com a umidade relativa do ambiente. O controle do teor de umidade através das práticas de secagem, manuseio e armazenamento evitam problemas decorrentes da variabilidade dimensional (BERGMAN, 2010).

Variadas propriedades mecânicas são afetadas por mudanças no teor de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras. Densidade aparente, módulo de elasticidade, compressão paralela às fibras, dureza lateral, entre outras, apresentam um aumento à medida que o teor de umidade da madeira cai (KRETSCHMANN, 2010). Tais propriedades são determinantes para a performance acústica de um instrumento musical (WEGST, 2006). Teores de umidade elevados afetam o comportamento elástico da madeira, conduzindo-a a plasticidade depois de um determinado período de tempo de solicitação (MORESCHI, 2010).

Para confecção de instrumentos musicais, o envelhecimento natural a longo prazo reduz a higroscopicidade da madeira e eleva sua qualidade acústica, mas essas alterações são parcialmente reversíveis pela exposição à alta umidade (OBATAYA, 2017).

2.7.3 Estabilidade dimensional

Na madeira, as variações dimensionais retratam a perda de água (dessorção) ou o ganho de água (adsorção). A dessorção resulta na contração da madeira, e a adsorção reflete-se em seu inchamento. Tais relações se estabelecem entre o ponto de saturação das fibras e 0% de umidade (JANKOWSKY; GALINA, 2013).

A contração e o inchamento ocorrem de modo distinto para as três direções da madeira. A alteração dimensional radial apresenta valores que correspondem à metade da movimentação no sentido tangencial. Para a direção longitudinal, a anisotropia de contração e inchamento é a menor apresentada (FRIHART; HUNT, 2010). Mudanças dimensionais ocorrem entre e dentro de espécies de madeira (WILLIAMS, 2010).

Madeira seca não sofre com variações na sua estabilidade dimensional de forma semelhante à madeira em sua condição verde. Assim, para a madeira seca, um aumento na umidade do ar ocasionará em um leve inchaço, e um ar um pouco mais seco resultará em uma leve contração, o que constitui mudanças indiscutivelmente menores do que as que ocorrem em madeira verde (BERGMAN, 2010).

Instrumentos musicais diversos trazem em comum entre si o fato de que o local onde este instrumento é fabricado normalmente difere do local onde ele será utilizado, assim, mudanças dimensionais como arqueamento e contração costumam acontecer em madeiras inadequadas para esta finalidade, o que leva a incapacidade funcional de um instrumento construído a partir delas (SLOOTEN; SOUZA, 1993).

2.7.4 Extrativos

Muitas espécies de madeiras contêm extrativos (KRETSCHMANN, 2010). Eles são compostos de uma variedade de elementos químicos, mas sua representação é ínfima em relação aos outros componentes do lenho (KLOCK; ANDRADE, 2013).

Os extrativos se formam a partir de células do parênquima situadas no limite entre cerne e alburno, são exsudados através de canais em células adjacentes. Dessa forma, células mortas podem ser obstruídas pelos extrativos, apesar de não poderem sintetizar ou acumular essas substâncias por conta própria (WIEDENHOEFT, 2010).

Extrativos são responsáveis por diversas características da madeira, eles provêm durabilidade natural às madeiras através da resistência à deterioração pela ação de fungos. A Teca (*Tectona grandis*) é um exemplar conhecido por sua resistência à água e sua estabilidade dimensional, propriedades essas conferidas pelas ceras e óleos depositados em seu cerne. Madeiras valorizadas por suas cores, como o Jacarandá-da-baía (*Dalbergia nigra*), devem a exuberância de suas cores ao tipo e quantidade de extrativos contidos em seu cerne. A presença de extrativos influem na utilização tecnológica da madeira, um exemplo é a madeira de Cedro vermelho oriental (*Juniperus virginiana*), rica em extratos hidrofílicos, que, se finalizada com uma tinta à base d'água sem o uso de um primer antimanchas, pode ser arruinada pelo extravasamento de seus extrativos através da tinta (WIEDENHOEFT, 2010).

Os extrativos podem ser individualizados para a determinação de sua estrutura e composição. A separação é feita por extração através do uso de solventes (éter, acetona,

etanol, diclorometano, benzeno e combinação destes) ou água. As substâncias extraíveis por solventes orgânicos de maior relevância são os ácidos graxos, ácidos resinosos, ceras, pigmentos coloridos e taninos. Os principais componentes extraíveis em água são os carboidratos, proteínas e sais inorgânicos. Alguns componentes, como o tanino, são extraíveis em água quente e em solventes orgânicos (KLOCK; ANDRADE, 2013). Após a retirada dos extrativos, é notada uma pequena diminuição no módulo de ruptura e na resistência à compressão paralela à grã em algumas espécies (KRETSCHMANN, 2010).

A Associação Técnica da Indústria de Celulose e Papel (TAPPI) oferece padrões e informações técnicas para aferir, avaliar e representar produtos à base de papel, celulose, e outras matérias-primas utilizadas em pesquisas científicas. A TAPPI 207 é uma metodologia para a extração em água quente de componentes inorgânicos, taninos, gomas, açúcares, corantes e amido contidos na madeira, e a TAPPI 204 permite a determinação do teor de extrativos em solvente orgânico (TAPPI, 1999).

2.8 Caatinga

A Caatinga é classificada pelo Ministério do Meio Ambiente como um dos grandes biomas que compõem o cenário do Brasil, abarcando 734.000 km² (SILVA *et al.*, 2004). Mas, em um momento anterior, Andrade-Lima (1981) caracterizou a Caatinga na qualidade de um domínio de 835.000 km² de extensão. Seu estudo se deu em cima de aspectos inerentes à vegetação, fauna, clima, geomorfologia e solos da região. Em delimitações mais recentes, a região semiárida é cotada em termos da ordem de 855.000 km² (BNB, 2005), 995.000 km² (GIULIETTI; CONCEIÇÃO; QUEIROZ, 2006), e 970.000 km² (BRASIL. MIN, 2006).

Em estudo acerca dos diferentes levantamentos publicados sobre a Caatinga e suas delimitações, Rodal e Sampaio (2002) reconhecem qualidades que delineiam algo em comum entre as pesquisas, a saber: a vegetação que cobre uma grande área no Nordeste brasileiro, é sujeita a uma condição climática semiárida, e margeada por áreas de clima mais úmido; a vegetação desta localidade possui plantas que apresentam modificações estruturais que permitem sua convivência com o estresse hídrico inerente ao semiárido (caducifolia, suculência, acúleos e espinhos, predomínio de arbustos em detrimento de arbóreas, copas descontínuas, entre outros); e a ocorrência de endemismos neste

território, com algumas espécies vegetais que ocorrem na região semiárida e em outras áreas secas mais afastadas, mas que não se verifica em áreas limítrofes.

Considerando-se as descrições anteriores, as Caatingas situam-se entre o Equador e o Trópico de Capricórnio (3° a 18° Sul). Assim, é possível inferir que esta frui de grande intensidade luminosa em seu território durante todo o ano. As temperaturas registradas são elevadas, com médias anuais entre 25°C e 30°C, havendo pouca diferença entre meses mais frios e mais quentes. Assim, luz e temperatura não restringem o crescimento vegetativo de espécies (SAMPAIO, 2003). A pluviometria registra médias anuais que flutuam de 300 mm até 1000 mm, em zonas que limítrofes da Caatinga, o padrão de chuvas diminui deste entorno até o núcleo mais continental (REDDY, 1983). As serras e chapadas mais altas cortam as frentes de chuva, formando ambientes mais úmidos (PÔRTO; CABRAL; TABARELLI, 2004; JUNCÁ; FUNCH; ROCHA, 2005; QUEIROZ; RAPINI; GIULLIETTI, 2006).

A estrutura da vegetação é uma reação à disponibilidade hídrica e nutricional sobreposta à ação antrópica. No interior do grande domínio do semiárido, a vegetação presente em locais alagadiços e de corpos de água, não estabelece relação com as vegetações que possui alterações morfológicas para a vivência em um ambiente de déficit hídrico (FRANÇA *et al.*, 2003). Nas porções de Caatinga onde o porte das árvores é limitado por condições de sítio menos favoráveis, e também pela presença do homem, as árvores apresentam alturas que dificilmente ultrapassam os 10m, e arvoretas esgalhadas e arbustos compõem predominantemente o cenário. Há uma baixa ocorrência de espécies perenifólias, e quando essas ocorrem, geralmente possuem folhas coriáceas, modificação que reduz a perda de água para o ambiente pela evapotranspiração (SANTOS *et al.*, 1992a).

Para o Rio Grande do Norte, observa-se um volume de madeira de cerca de 18 m³/ha, sendo estocado cerca de 39 milhões de m³ na área total de florestas do estado. Grande parte do estoque de madeira possui DAP (diâmetro à altura do peito, medido a 1,30 m do solo) inferior a 10 cm, isso decorre do tipo de floresta que ocorre na região, onde há o predomínio de indivíduos de pequeno porte (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2018).

A Caatinga possui uma notada pluralidade florística para um bioma com tantas restrições ao crescimento. Quando tida enquanto bioma, a Caatinga, em sua grande extensão, diversidade de solos, geomorfologias e disponibilidades diferentes de água, apresenta-se enquanto um ambiente muito diverso (GIULLIETTI; CONCEIÇÃO; QUEIROZ, 2006). As Caatingas, em seu sentido mais exclusivo, exprimem 1512 espécies

com pelo menos 318 destas sendo endêmicas. Em áreas de pequena quantidade de hectares, há dominância de poucas espécies, em que corriqueiramente duas ou três delas compõe mais de 50% da densidade e da área basal. Assim, os índices de diversidade destas áreas são baixos. As espécies dominantes variam de uma área para outra (SAMPAIO, 2010).

A ocupação humana transformou a paisagem e a diversidade natural desenvolvendo suas plantações e pastos em áreas úmidas, e afastando a agricultura itinerante para as porções de terra mais secas, nelas essa modalidade de agricultura tece seu manejo de acordo com o tempo de regeneração da Caatinga (SAMPAIO; MENEZES, 2002). A produção de lenha, outrora um subproduto da abertura de áreas da agricultura itinerante, tornou-se uma atividade econômica independente, tendo suas áreas circunvizinhas como mercado consumidor (SAMPAIO, 2010). Em porções de terras onde atividades de agricultura, pastagem ou retirada de lenha se desenvolveram, a composição florística se torna empobrecida, havendo dominância de poucas espécies (SAMPAIO *et al.*, 1998).

2.9 Espécies estudadas

2.9.1 Pau-branco (*Auxemma oncocalyx* (Allemão) Taub.)

Auxemma oncocalyx (Allemão) Taub., comumente conhecida por Pau-branco é uma espécie arbórea da família Boraginaceae, decídua, que alcança alturas próximas a 12 m de altura e 45 cm de DAP, na idade adulta. É uma espécie heliófila, secundária tardia, característica da Caatinga, que ocorre de forma contínua no Ceará, e restrita em outras regiões. Por ser atribuído um alto valor à sua madeira, dificilmente se encontra um exemplar que não parta da brotação de velhos troncos, apresentando-se, portanto, ramificado, a partir de 20 cm a 30 cm do solo. Devido sua germinação ser extremamente trabalhosa, e por não haver controle sobre o seu corte, *Auxemma oncocalyx* vem desaparecendo, necessitando de um programa de conservação, a fim de evitar que esta figure entre as espécies em extinção (CARVALHO, 2008).

A madeira de *Auxemma oncocalyx* é moderadamente densa. Seu cerne tem cores chocolate, pardo-arroxeadas ou violáceo-escuras, após exposição às condições ambiente, esmaece para pardo-clara. O alburno é pardo-claro ou amarelado, estreito e bem diferenciado do cerne (CARVALHO, 2008). Forte, de superfície lustrosa e lisa, é muito resistente ao apodrecimento (LORENZI, 1992). Sua textura é grossa e sua grã é direita.

Manifesta resistência ao ataque de fungos e insetos, sobretudo cupins. É fácil de ser trabalhada, permitindo belo acabamento (CARVALHO, 2008).

Constitui-se enquanto uma madeira de excelente qualidade, com larga aplicação na construção civil, como linhas, caibros, ripas, assoalhos, tábuas, vigamentos entre outros, para a carpintaria e marcenaria, confecção de móveis, caixilhos, baús e caixões para cereais, esquadrias, tacos e aduelas de barris, para usos externos, como mourões e estacas (em lugares secos), e para lenha e carvão (MAIA, 2012).

2.9.2 Pereiro (*Aspidosperma pyrifolium* Mart. & Zucc)

Aspidosperma pyrifolium Mart. & Zucc, popularmente conhecida como Pereiro, pertencente à família Apocynaceae, é caracterizada enquanto uma árvore de tamanho médio, de até 7-8 m de altura, de caule bem desenvolvido, ereto e copa normal, em ambientes não degradados. Onde já foi cortado pelo homem, frequentemente se encontram indivíduos de renovos, de copa ramificando-se já próximo à base. A planta cortada exsuda abundante látex (MAIA, 2012). É uma espécie recomendada para a recuperação de áreas degradadas por sua importância ecológica e tolerância à seca, solos rasos e pedregosos (SANTOS, 2010). Assim, é importante conhecer sua fenologia reprodutiva a fim de assegurar a regeneração de populações naturais da espécie (MANTOVANI *et al.*, 2004).

A madeira do Pereiro possui alburno de cor amarelo-claro ou creme, ora com manchas avermelhadas, ora com faixas acastanhadas. É moderadamente pesada, com valores de densidade da ordem de 0,79 g/cm³, é macia e fácil de trabalhar, sua textura é fina e uniforme, é resistente e muito durável. Sua madeira é economicamente importante por ser útil para trabalhos de marcenaria e carpintaria, como cadeiras e outros móveis, portas, janelas, tacos para piso, lambris, esquadrias, caibros e ripas, estaca de cerca, carvão e lenha, tendo elevado poder calorífico (MAIA, 2012). *Aspidosperma pyrifolium* resiste à ação de cupins em qualquer posição na árvore (PAES *et al.*, 2003).

2.9.3 Eucalipto (*Eucalyptus urograndis*)

O *Eucalyptus urograndis* é um híbrido brasileiro resultante do cruzamento *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. O primeiro plantio foi instalado no estado do

Espírito Santo, e data de 1979, mas apenas nos anos 1990, este híbrido pode estimular o desenvolvimento de uma economia florestal oferecendo uma maior homogeneidade às florestas plantadas através da qualidade de sua madeira (LOPES, 2008). Para Gouvêa *et al.* (1997), a rusticidade, propriedade da madeira que confere resistência ao estresse hídrico, advinda do *Eucalyptus urophylla*, induz à escolha desta espécie para hibridação com o *Eucalyptus grandis*, que possui um bom desenvolvimento silvicultural.

O *Eucalyptus urograndis* apresenta um bom crescimento volumétrico, atributo advindo do *Eucalyptus grandis*, e uma maior densidade em sua madeira em relação aos seus genótipos parentais, o que melhora o rendimento e as propriedades físicas da celulose, que são características trazidas do *Eucalyptus urophylla* (CARVALHO, 2000). Essa associação interespecífica resulta em árvores vigorosas resistentes ao apodrecimento causado pelo fungo *Cryptonectria cubensis*, que são geralmente destinadas à produção de celulose, carvão e madeira serrada (PALUDZYSZYN *et al.*, 2004).

Possuindo uma densidade maior do que as espécies que o originaram e uma alta capacidade de produção de celulose, o híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* se encontra entre os clones mais plantados em reflorestamento no Brasil (COSTA, 2011). De acordo com Santos *et al.* (2013b), a produtividade e qualidade da madeira dos plantios florestais de Eucalipto no Brasil, de fato aumentaram de maneira expressiva em decorrência da produção de híbridos interespecíficos do gênero, sendo continuada pela clonagem dos melhores indivíduos das progênies geradas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

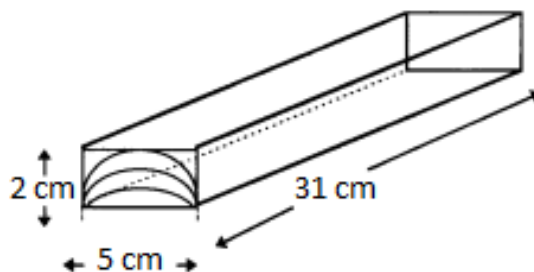
3.1 Coleta e amostragem das madeiras

Foram utilizadas madeiras de *Auxemma oncocalyx* (Allemão) Taub., de nome comum Pau-branco, e *Aspidosperma pyrifolium* Mart. & Zucc, popularmente conhecida como Pereiro, procedentes de planos de manejo florestal situados nos municípios de Governador Dix-Sept Rosado, RN e em Santa Cruz, RN. A madeira de *Eucalyptus urograndis* é proveniente da Estação Experimental da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, localizada no município de Macaíba, RN. As amostras das madeiras foram obtidas na forma de toretes com diâmetro mínimo de 15 cm e comprimento de 50 cm.

3.2 Preparação das amostras

A preparação das amostras se deu posteriormente à coleta e amostragem das madeiras estudadas, em que os toretes foram processados no setor de marcenaria situado na Universidade Federal do Rio Grande do Norte, campus Jundiaí, distrito de Macaíba, Rio Grande do Norte. Desses toretes, produziu-se cinco sarrafos de madeira por espécie adotada, totalizando 15 corpos de prova nas dimensões 310 x 50 x 20 mm, sem anomalias, cortados no sentido da grã (Figura 7).

Figura 7 – Dimensões do corpo de prova.



Fonte: A autora (2020).

3.3 Propriedades físico-mecânicas

3.3.1 Densidade aparente

A determinação da densidade aparente foi realizada a partir dos 15 corpos de prova de 310 x 50 x 20 mm obtidos das cinco repetições das três espécies avaliadas, Pereiro, Pau-branco e Eucalipto. A definição das medidas dos corpos de prova foi dada por um paquímetro digital com sensibilidade de 0,01 cm e por uma trena. A massa das amostras foi obtida através de uma balança analítica com sensibilidade de 0,01 g (ABNT, 1997). A determinação da densidade foi realizada no Laboratório de Tecnologia da Madeira na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, UFERSA (Figura 8).

A densidade aparente foi calculada por:

$$\rho = \frac{m_{12}}{v_{12}} \quad (3)$$

Em que:

m_{12} : massa da madeira a 12% de umidade, expressa em quilogramas;

v_{12} : volume da madeira a 12% de umidade, em metros cúbicos.

Figura 8 - (a) Pesagem, (b) e (c) medição das dimensões dos corpos de prova das madeiras de *Aspidosperma pyrifolium* Mart. & Zucc (Pereiro), *Auxemma oncocalix* (Allemão) Taub. (Pau-branco) e *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto).



Fonte: A autora (2020).

Quanto à densidade, as madeiras foram classificadas de acordo com o proposto por Mainieri e Chimelo (1989) para madeiras brasileiras (Quadro 1).

Quadro 1- Classificação da madeira por densidade

Densidade (g/cm ³)	Classificação
$\leq 0,40$	Muito leve
$0,40 < D \leq 0,55$	Leve
$0,55 < D \leq 0,75$	Moderadamente Pesada
$0,75 < D \leq 0,95$	Pesada

Fonte: Adaptação de Mainieri; Chimelo (1989).

3.3.2 Teor de umidade

A fim de indicar o teor de umidade preparou-se as madeiras para o processamento em um moinho de facas presente no Laboratório de Tecnologia da Madeira. Após a moagem, as partículas foram classificadas em peneiras de 40 e 100 mesh. Da fração em pó retida na peneira de 100 mesh retirou-se uma amostra de 10 g de cada espécie madeireira avaliada para secagem em estufa a temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas.

O teor de umidade foi obtido através da diferença entre a massa úmida e a massa seca em estufa das madeiras de Pereiro, Pau-branco e Eucalipto, como é demonstrado na equação a seguir:

$$U (\%) = \left(\frac{mu - ms}{ms} \right) \times 100 \quad (4)$$

Em que:

mu: massa úmida em gramas;

ms: massa seca em gramas.

3.3.3 Resistência à compressão paralela às fibras e módulo de elasticidade

Para o cálculo da resistência à compressão paralela às fibras utilizou-se uma serra circular presente no Laboratório de Tecnologia da Madeira, para a produção de 20 corpos de prova por espécie madeireira estudada, compondo um total de 60 corpos de prova de dimensões de 2 x 2 x 6 cm, cortados no sentido da grã. O teste mecânico se deu em uma máquina universal de ensaio do Laboratório de Ensaos Mecânicos da UFERSA (Figura 9). Em tais amostras aplicou-se a normativa NBR 7190 (1997) que dispõe sobre projetos de estrutura da madeira.

A resistência à compressão paralela ao sentido das fibras da madeira foi calculada pela equação:

$$\sigma_{c \text{ máx}} = \frac{P_{\text{máx}}}{A} \quad (5)$$

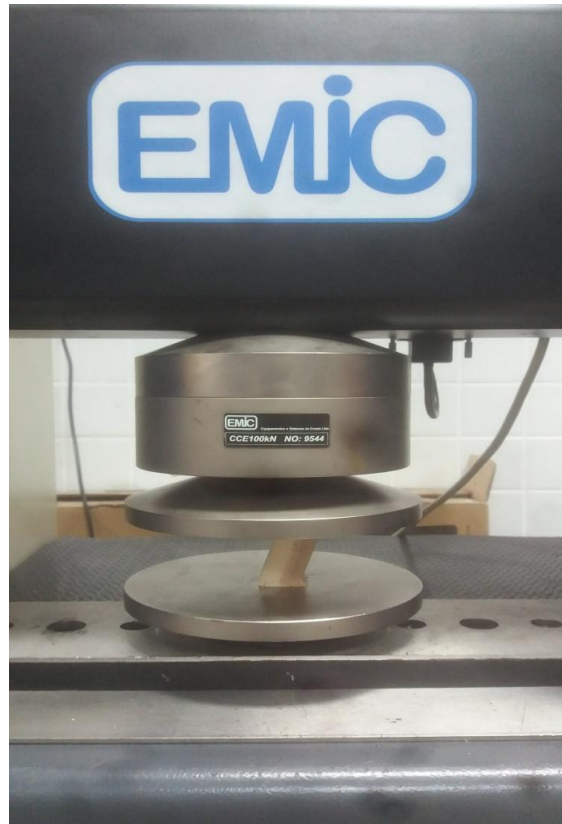
Em que:

$\sigma_{c \text{ máx}}$: resistência máxima à compressão em (N/mm²);

$P_{\text{máx}}$: carga no limite de ruptura em (N);

A: área da seção transversal do corpo de prova em (mm²).

Figura 9 - Ensaio de resistência à compressão paralela às fibras da madeira de *Auxemma oncocalix* (Allemão) Taub. (Pau-branco).



Fonte: A autora (2020).

O módulo de elasticidade é definido pela inclinação da reta secante à curva tensão x deformação (Figura 10) correspondentes a 10% e 50% da resistência à compressão paralela às fibras. Para sua determinação devem ser estimadas as deformações em pelo menos duas faces opostas do corpo de prova (ABNT, 1997).

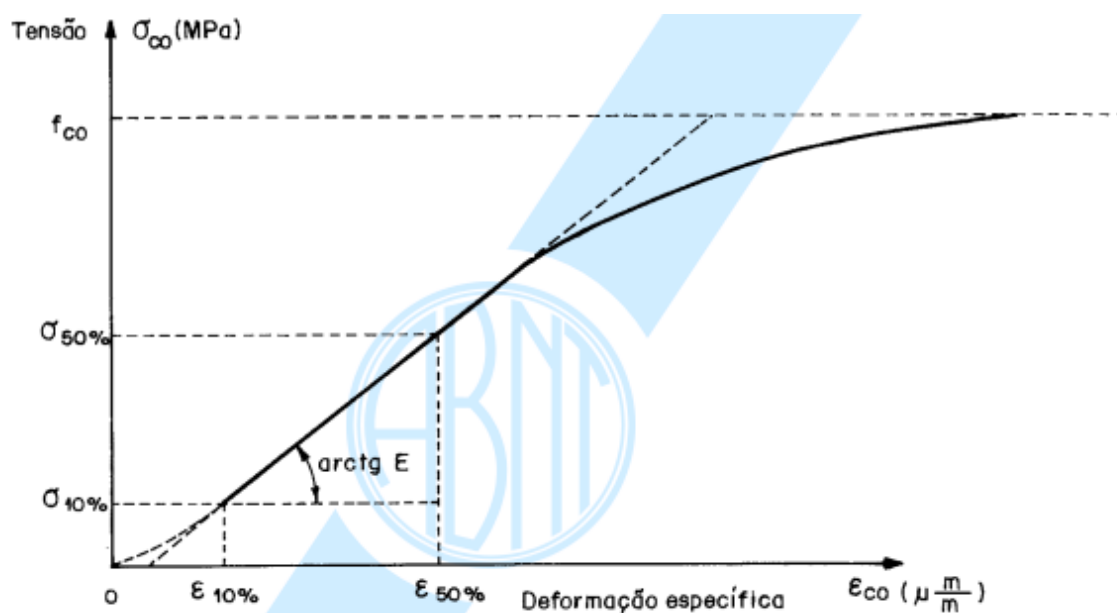
$$E_{c0} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\varepsilon_{50\%} - \varepsilon_{10\%}} \quad (6)$$

Em que:

$\sigma_{10\%}$ e $\sigma_{50\%}$: tensões de compressão correspondentes a 10% e 50% da resistência paralela às fibras;

$\varepsilon_{10\%}$ e $\varepsilon_{50\%}$: deformações correspondentes às tensões de 10% e 50%.

Figura 10 – Diagrama de tensão normal x deformação



Fonte: NBR 7190 (1997).

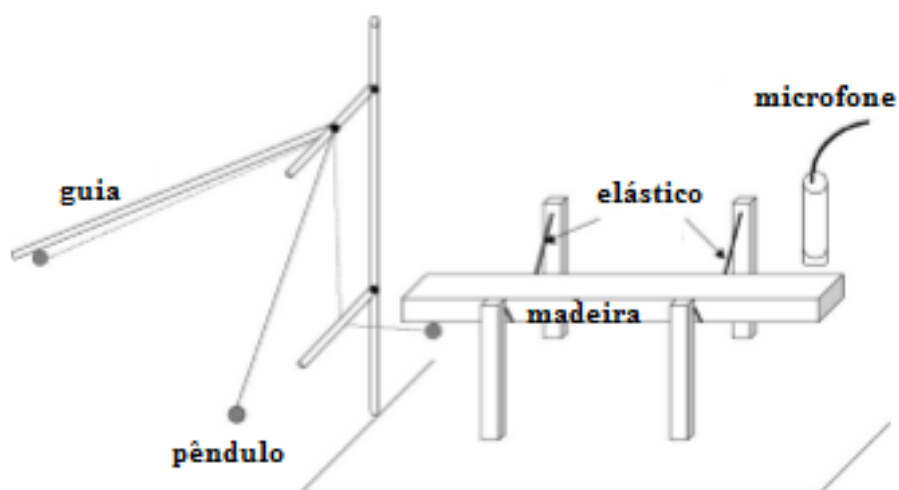
3.4 Análise acústica

3.4.1 Propriedades acústicas

Para o conhecimento a respeito das propriedades acústicas do Pereiro, Pau-branco e Eucalipto, realizou-se a gravação do som por elas emitido em uma sala anecóica no Cosmos Art Studio, localizado no município de Mossoró-RN. Um aparato foi desenvolvido no Laboratório de Tecnologia da Madeira, seguindo recomendações de Aramaki *et al.* (2007) a fim de se promover a suspensão dos sarrafos de madeira, de maneira que permitisse a geração de sons com uma precisão relativa, garantindo a repetibilidade das medições (Figura 11). Dessa forma, a excitação do impacto foi semelhante para todos os sarrafos impactados. O sarrafo foi colocado em dois elásticos, garantindo condições de contorno do tipo livre, onde foi atingido por uma pequena porca de aço, de peso 6,88 g. A porca foi liberada a partir de uma guia de 50 cm, que partia de uma posição inicial determinada e, após arremesso, esta realiza um leve impulso mecânico na parte inferior do sarrafo de madeira. Foram realizados três arremessos em cada um dos cinco sarrafos de cada espécie de madeira. O ponto em que ocorre o impacto tem um papel importante na geração de sons. Assim, para impedir que os primeiros modos de vibração desapareçam, o sarrafo foi atingido perto de uma de suas extremidades, permitindo o desenvolvimento de modos de alta frequência.

Os sons gerados nesta sala acusticamente isolada (Figura 12) foram captados por intermédio de um microfone condensador AKG C4, posicionado na extremidade do sarrafo exatamente oposta à que recebe o impacto do pêndulo para medir o nível de pressão sonora, a frequência natural das espécies, a amplitude e decréscimo logarítmico das ondas. Tais dados foram gravados pelo software Reaper, medidos pelo plugin Meter, da desenvolvedora Waves. Utilizou-se a interface de áudio Behringer Wayfarer 22 para registro das daws de gravação. A grandeza 0 dB representa o valor máximo que a daw pode atingir, caracterizando-se como valor de referência absoluta para esse ensaio. Acima dessa grandeza, 0 dB, o som gravado pode sofrer distorções.

Figura 11 - Aparato experimental utilizado para suspender os sarrafos de madeira e registrar os sons dos impactos nelas produzidos em uma sala anecóica.



Fonte: Aramaki *et al.* (2007).

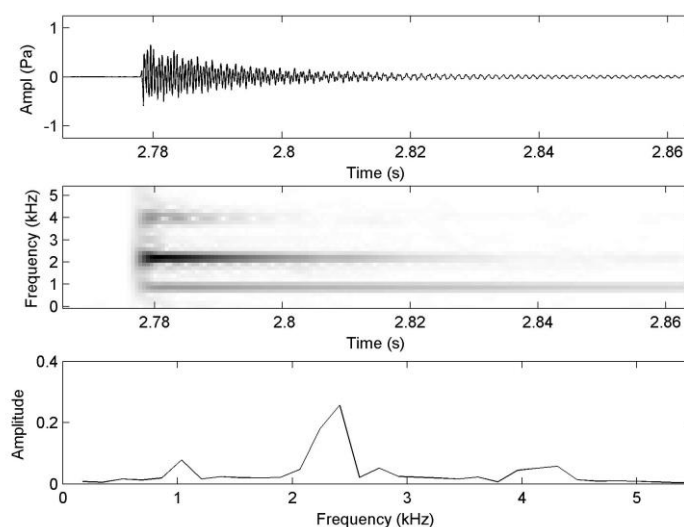
Figura 12 – Lançamento do pêndulo em sarrafo de madeira (a) e registro da gravação (b) em sala anecóica.



Fonte: A autora (2020).

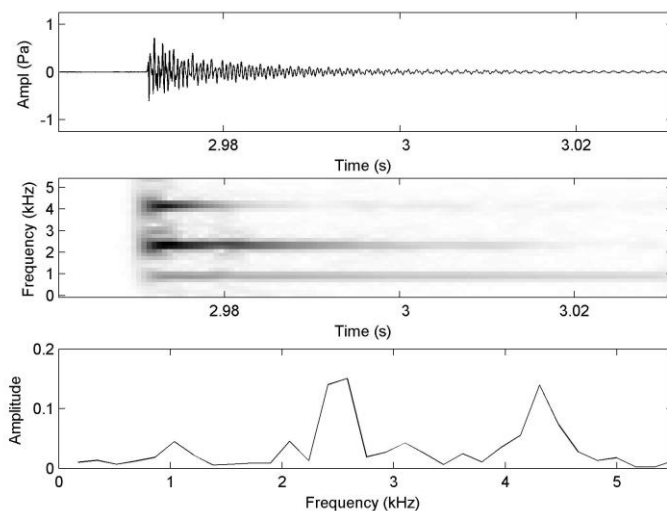
Através do uso do software Sound Ruler representou-se graficamente a frequência, a amplitude do sinal e o decaimento logarítmico dos sons gravados das madeiras de Eucalipto, Pau-branco e Pereiro (Figura 13, 14 e 15).

Figura 13 – Forma da onda, espectrograma (amplitude em escala logarítmica) e representação espectral do som obtido ao impactar sarrafos de *Aspidosperma pyrifolium* Mart. & Zucc (Pereiro).



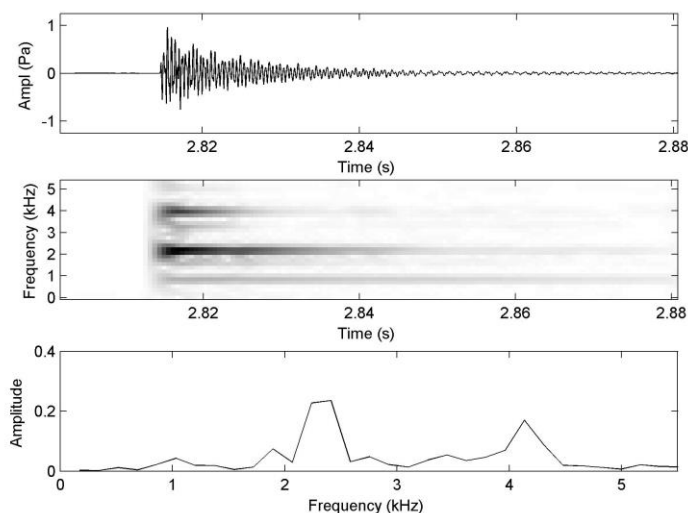
Fonte: A autora (2020).

Figura 14 – Forma da onda, espectrograma (amplitude em escala logarítmica) e representação espectral do som obtido ao impactar sarrafos de *Auxemma oncocalix* (Allemão) Taub. (Pau-branco).



Fonte: A autora (2020).

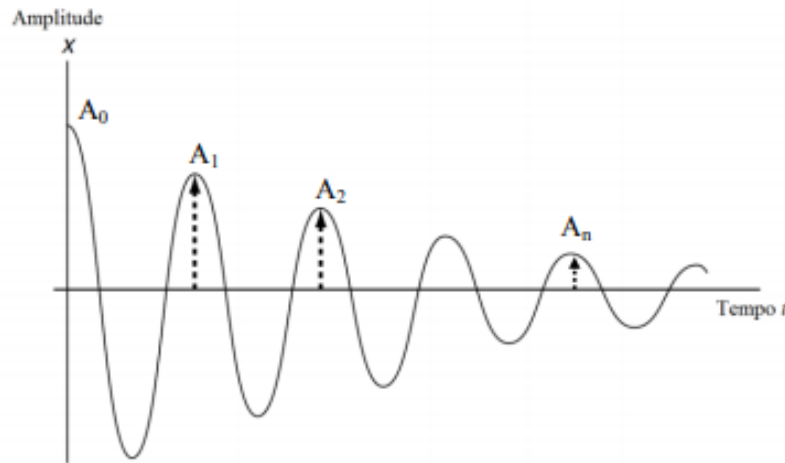
Figura 15 – Forma da onda, espectrograma (amplitude em escala logarítmica) e representação espectral do som obtido ao impactar sarrafos de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto).



Fonte: A autora (2020).

O decréscimo logarítmico mede o grau em que um material dissipa energia vibracional por fricção interna, e foi calculado pela razão entre amplitudes de diferentes ciclos de vibração (Figura 16).

Figura 16 - Resposta de sistema com vibração livre amortecida.



Fonte: Masotti (2013).

Sendo A_n , a amplitude de um n -ésimo ciclo após a amplitude inicial A_0 , o decréscimo logarítmico pode ser calculado por:

$$\delta = \frac{l}{n} \ln \left(\frac{A_0}{A_n} \right) \quad (7)$$

A velocidade (c) em que o som percorre a madeira foi definida pela raiz quadrada do módulo de elasticidade (E) do material, dividido pela densidade (ρ) deste:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (8)$$

O fator de perda (η) representa o amortecimento da vibração devido à fricção interna, e pode ser determinado pela razão entre decréscimo logarítmico (δ) e π :

$$\eta = \frac{\delta}{\pi} \quad (9)$$

A impedância (z) é definida como o produto entre velocidade (c) do som na madeira e sua densidade (ρ):

$$z = c \rho \quad (10)$$

O coeficiente de radiação sonora (R) é definido como a relação entre a velocidade do som do material (c) e sua densidade (ρ)(WEGST, 2006).

$$R = \frac{c}{\rho} \quad (11)$$

3.5 Análises químicas

3.5.1 Teor de extrativos

Para o estudo das propriedades químicas, as madeiras foram processadas em um moinho de facas disponível no Laboratório de Tecnologia da Madeira (Figura 17). A fração em pó conseguida foi sessada manualmente em um conjunto de peneiras de 40 e 100 mesh. Utilizou-se para a caracterização química a parcela passante pela peneira de 40 mesh e retida na de 100 mesh. A fração passante na peneira de 100 mesh foi descartada, pois o tamanho reduzido da partícula de madeira poderia ocasionar o entupimento do filtro quando na fase de extração.

A análise do teor de extrativos em água quente das espécies seguiu metodologia da TAPPI T 207 (TAPPI, 1999), para tal três repetições de aproximadamente 10 g foram obtidas através do peneiramento. Estas receberam a adição de água destilada e foram destinadas ao banho-maria, onde foram submetidas a uma temperatura de 100°C por três horas. Em um momento posterior, as amostras foram sujeitas à extração de água pela ação de uma bomba de vácuo, para então serem conduzidas à estufa para secagem a temperatura de 103°C±2°C durante um período de 24 horas.

A solubilidade em água quente pode ser expressa pela equação:

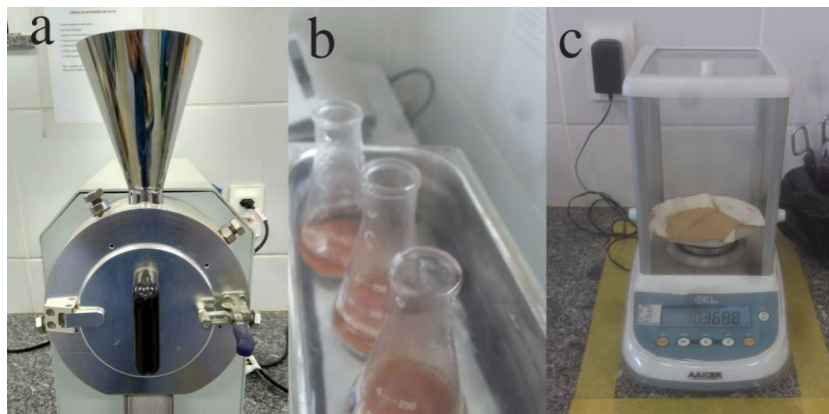
$$\text{Solubilidade em água quente (\%)} = \left(\frac{(A-B)}{A} \right) \times 100 \quad (12)$$

Em que:

A: peso inicial da amostra seca em estufa em gramas;

B: peso da amostra após extração em gramas.

Figura 17 - (a) Moinho de facas utilizado para preparação de amostras das madeiras de *Aspidosperma pyrifolium* Mart. & Zucc (Pereiro), *Auxemma oncocalix* (Allemão) Taub. (Pau-branco) e *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) para análise de extrativos em água quente, (b) extração em água quente, (c) pesagem das amostras secas em estufa.



Fonte: A autora (2020).

A determinação do teor de extrativos em solvente orgânico foi realizada em um Soxhlet limpo e seco no Laboratório de Nutrição Animal da UFERSA (Figura 18), a análise seguiu a TAPPI T 204 (TAPPI, 1999). Todas as extrações se deram em três repetições para cada espécie estudada, cada uma com cerca de dois gramas da fração em pó da madeira peneirada, somadas a 180 ml de acetona, solvente orgânico adotado para o procedimento experimental (TAPPI, 1997).

Figura 18 - Extração com acetona nas madeiras de *Aspidosperma pyrifolium* Mart. & Zucc (Pereiro), *Auxemma oncocalix* (Allemão) Taub. (Pau-branco) e *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto).



Fonte: A autora (2020).

Após conclusão da extração no Soxhlet, os balões volumétricos que continham as amostras das madeiras foram levados à estufa para a remoção da água a 105°C por 24 horas, e em seguida aferiu-se seu peso em balança analítica.

O teor de extrativos totais foi obtido através da soma dos valores encontrados nas análises para extrativos solúveis em água quente e solvente orgânico para as espécies Pereiro, Pau-branco e Eucalipto.

3.6 Análise estatística

A análise de variância realizada através do software Sisvar forneceu dados acerca dos ensaios de compressão paralela às fibras, de densidade aparente, de acústica e da química da madeira. Para resultados significativos, o teste de Tukey foi aplicado a 5% de probabilidade.

Para além, realizou-se a correlação linear de Pearson entre as propriedades químicas e acústicas em estudo. O valor-P abaixo de 0,05 denota significância estatística com grau de confiança de 95% para a correlação estimada, sua determinação foi realizada através do uso do software Statgraphics Centurion XV.

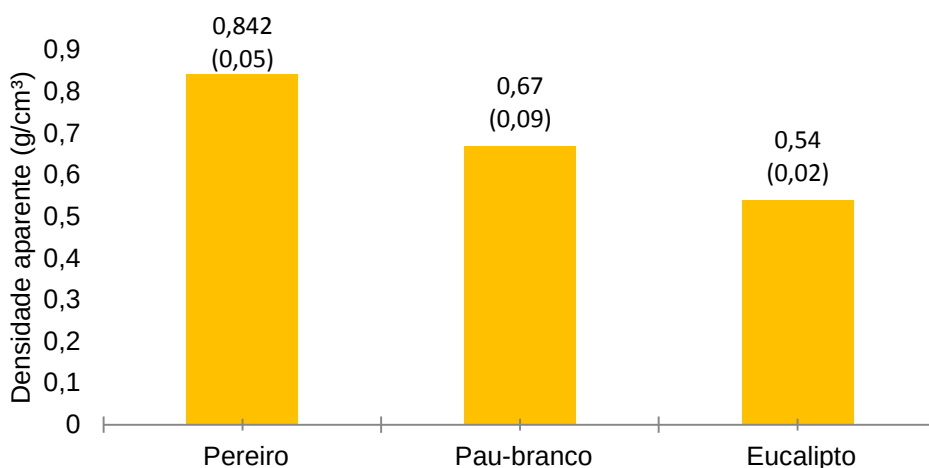
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Propriedades físicas

4.1.1 Densidade aparente

Valores médios da densidade aparente das espécies em estudo são apresentados na Figura 19.

Figura 19 - Valores médios da densidade aparente para *Aspidosperma pyrifolium* Mart. & Zucc (Pereiro), *Auxemma oncocalix* (Allemão) Taub. (Pau-branco) e *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto). Em que: valores seguidos por letras distintas apresentaram diferença estatística; valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.



Fonte: A autora (2020).

Estatisticamente as densidades aparentes das madeiras avaliadas diferiram entre si, sendo o Pereiro a espécie que apresentou os maiores valores, seguido do Pau-branco e Eucalipto. A densidade aparente para as espécies em estudo perpassou por madeira pesada (Pereiro), madeira moderadamente pesada (Pau-branco) a madeira leve (Eucalipto), de acordo com a classificação proposta por Mainieri e Chimelo (1989).

A densidade aparente encontrada para o Pau-branco nesta pesquisa está em desacordo com o relatado por Maia (2012) em que o Pau-branco é retratado como uma madeira com densidade de 0,84 g/cm³, mas é concordante com o exposto por Carvalho (2008) em que a densidade aparente de *Auxemma oncocalix* é 0,70 g/cm³, e por de Martins

(2019) para o alburno de Pau-branco, em que esta demonstrou um valor da ordem de 0,67 g/cm³, sendo apontada como uma madeira moderadamente densa.

Aspidosperma pyrifolium apresentou valor médio de densidade de acordo com o apresentado em literatura. Paes *et al.* (2003) estimaram a densidade do Pereiro no sentido medula casca e obtiveram variação de 0,76 g/cm³ a 0,80 g/cm³. Enquanto Lima *et al.* (1996) encontraram valores da ordem de 0,86 g/cm³ para a densidade da madeira.

Para o *Eucalyptus urograndis* a densidade aparente achada em teste de laboratório corresponde ao descrito em bibliografias. Souza (2008) aponta valores de densidade entre 0,48 g/cm³ e 0,60 g/cm³ para o *Eucalyptus urograndis*. Costa (2011) estudando o híbrido constatou uma densidade média de 0,55 g/cm³. Gonzalez *et al.* (2014) constataram uma densidade média de 0,51 g/cm³, com valores variando entre 0,427 g/cm³ e 0,623 g/cm³.

4.1.2 Teor de umidade

O teor de umidade encontrado para as espécies de madeiras avaliadas é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Teor de umidade de *Aspidosperma pyrifolium* Mart. & Zucc (Pereiro), *Auxemma oncocalix* (Allemão) Taub. (Pau-branco) e *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto)

Tratamento	Teor de umidade (%)
Pereiro	8% a
Pau-branco	9% b
Eucalipto	9% b

Em que: valores seguidos por letras distintas na mesma coluna diferiram estatisticamente.

Fonte: A autora (2020).

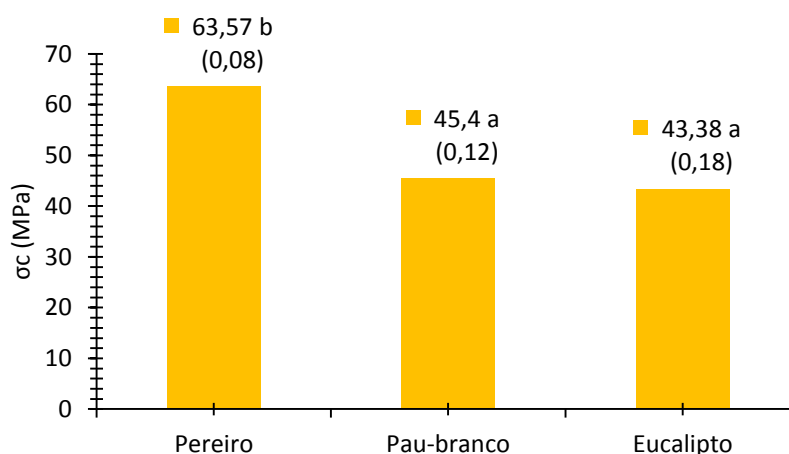
O resultado da análise estatística dos dados informa que a madeira de Pereiro apresentou um teor de umidade distinto das demais espécies estudadas. Para a construção de instrumentos musicais, o teor de umidade deve se encontrar no intervalo de 8% a 16% (SLOOTEN; SOUZA, 1993). Desta maneira, todas as madeiras presentes no estudo estão em uma faixa de teor de umidade adequada para este fim.

4.2 Propriedades mecânicas

4.2.1 Resistência à compressão paralela às fibras

Os dados obtidos em ensaio de resistência à compressão da madeira no sentido paralelo às suas fibras são demonstrados na Figura 20.

Figura 20 - Valores médios de resistência à compressão paralela às fibras para *Aspidosperma pyrifolium* Mart. & Zucc (Pereiro), *Auxemma oncocalix* (Allemão) Taub. (Pau-branco) e *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto). Em que: valores seguidos por mesma letra não diferiram estatisticamente; valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.



Fonte: A autora (2020).

Dentre as espécies florestais avaliadas o Pereiro diferiu estatisticamente das demais, apresentando o maior valor para a característica avaliada. Eucalipto e Pau-branco apresentaram valores aproximados entre si, não apresentando diferenças estatísticas, portanto. Ferreira (2018), em estudo acerca das propriedades mecânicas do Pereiro, encontrou para a resistência à compressão paralela às fibras um valor médio de 53,03 MPa. Lima *et al.* (1996) identificaram para a mesma espécie uma resistência de 47,05 MPa. Ambos os valores citados em literatura são inferiores ao encontrado em testes de laboratório neste estudo. A variação entre os resultados obtidos pode ser atribuída às condições de sítio, ao local da amostra de madeira no tronco da árvore (BURGUER;

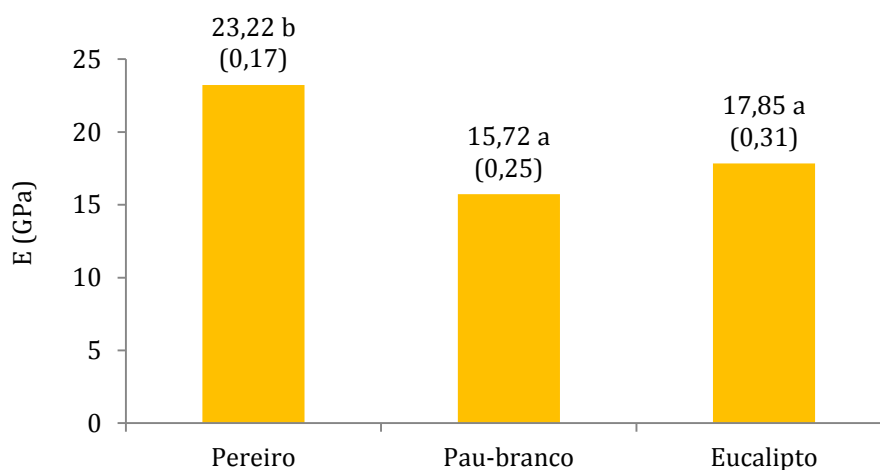
RICHTER, 1991), às diferenças de anatomia existentes entre espécies e tratos silviculturais (SILVA *et al.*, 2004).

Em estudo acerca das propriedades mecânicas do cerne e alburno de Pau-branco, Martins (2019) encontrou valores de resistência à compressão paralela às fibras da ordem de 63,98 MPa e 57,52 MPa, respectivamente. Registros superiores ao apresentado para a espécie neste trabalho, e a causa pode estar vinculada à produção de corpos de prova de tamanho inferior ao especificado, o que os tornaram ainda mais sujeitos à heterogeneidade da composição da madeira (BURGUER; RICHTER, 1991). A produção de corpos de prova de menores dimensões atende a capacidade de força exequível pela máquina de ensaios universais, pois um corpo de prova nas dimensões sugeridas pela norma exige mais força aplicada à seção transversal do que a máquina poderia alcançar.

4.2.2 Módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras

Os resultados obtidos para o módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras das madeiras estudadas estão expostos na Figura 21.

Figura 21 – Valores médios do módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras para *Aspidosperma pyrifolium* Mart. & Zucc (Pereiro), *Auxemma oncocalix* (Allemão) Taub. (Pau-branco) e *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto). Em que: valores seguidos pela mesma letra não apresentaram diferença estatística; valores entre parênteses caracterizam o coeficiente de variação.



Fonte: A autora (2020).

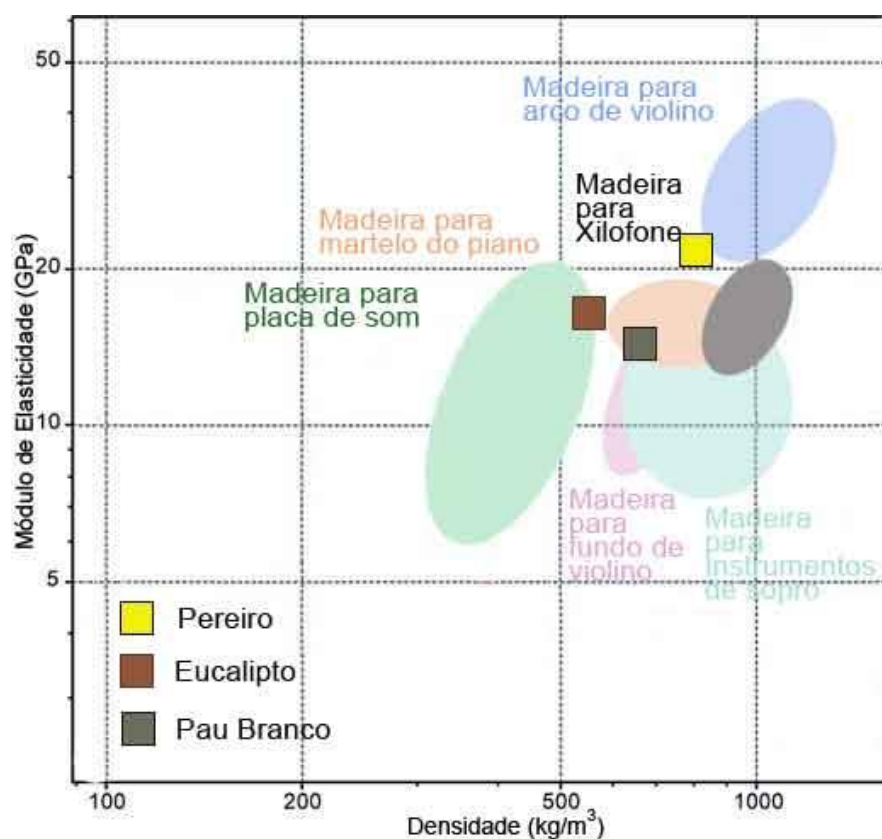
Neste estudo o Pereiro se mostra como uma espécie estatisticamente distinta das demais, e possuidora de maior valor para a propriedade mecânica avaliada. Dentre as espécies da Caatinga aqui previstas, o Pereiro e o Pau-branco apresentaram valores superiores ao relatado por Ferreira (2018) para espécies deste bioma, em que os valores para a propriedade no Pereiro (*Aspidosperma pyrifolium*), Angico (*Anadenanthera colubrina*) e Jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*) são: 10,33 GPa, 14,38 GPa e 10,02 GPa, respectivamente. Rocha *et al.* (2015) avaliando a Jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*), o Ipê (*Tabebuia serratifolia*), o Roxinho (*Peltogyne* sp.), e a Maçaranduba (*Manilkara huberi*), conforme NBR 7190 (ABNT, 1997), encontrou os seguintes valores de módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras: 13,26 GPa, 18,01 GPa, 20,10 GPa e 20,80 GPa, respectivamente. Mostrando proximidade sob determinada medida entre os valores obtidos neste estudo para a *Aspidosperma pyrifolium* e *Auxemma oncocalyx*.

Para o híbrido *Eucalyptus urograndis*, Serenine Junior (2019), em seu estudo acerca da qualidade dessa madeira, obteve um valor da ordem de 10,55 GPa para o módulo de elasticidade paralelo às fibras. Marcolin (2017), para a mesma característica, registrou a medida de 15,18 GPa. Ambos os valores são próximos ao determinado para o híbrido no presente estudo. A norma ABNT NBR 7190:1997 não estabelece valores médios para o módulo de elasticidade no *Eucalyptus urograndis*, mas traz valores estabelecidos para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, estes são: 12,81 GPa e 13,16 GPa, respectivamente.

4.3 Aplicação das propriedades físico-mecânicas das madeiras em estudo

Para demonstrar a possibilidade de uso das madeiras em diferentes instrumentos musicais, realizou-se a correlação entre o módulo de elasticidade, atributo responsável pela vibração das moléculas e consequente propagação do som (SAITO *et al.*, 2018), e a densidade aparente (Figura 22), propriedades que, para Wegst (2006) definem o desempenho acústico (volume, qualidade e timbre) de uma madeira.

Figura 22 – Correlação entre módulo de elasticidade (E) e densidade (ρ). Na figura foram trabalhados os seguintes padrões: bolhas de diferentes cores indicam a adequação de uma madeira para um dado fim, quadrados de diferentes cores indicam as madeiras de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto), *Auxemma oncocalix* (Allemão) Taub. (Pau-branco), e *Aspidosperma pyrifolium* Mart. & Zucc (Pereiro).



Fonte: Adaptado de Wegst (2006).

É possível observar que madeiras para martelo de piano devem ter uma densidade moderadamente alta acompanhada de um módulo de elasticidade relativamente alto, propriedades encontradas na madeira de *Auxemma oncocalix* (Allemão) Taub., o Pau-branco. Madeiras para instrumentos de percussão como o xilofone, devem ter alta densidade combinada a um elevado módulo de elasticidade, características presentes na madeira de *Aspidosperma pyrifolium* Mart. & Zucc, o Pereiro. Já madeiras para placas de som encontram suas necessidades atendidas pelo *Eucalyptus urograndis*, o Eucalipto.

Isto significa que a madeira requisitada em um instrumento de percussão deve ser mais resistente do que a utilizada em martelos de piano ou em placas de som, por exemplo. Espécies de alta densidade como o Pereiro, quando atingidas por baquetas não se machucam ou se partem com facilidade (WEGST, 2006), bem como, uma madeira de elevado módulo de elasticidade, como a de *Aspidosperma pyrifolium*, perde menos energia vibratória quando o instrumento está sendo tocado (ALVES *et al.* 2008). Assim, das madeiras estudadas é possível indicar o uso do Pereiro em xilofones.

4.4 Teor de Extrativos

Examinando os teores de extrativos obtidos através da análise química das espécies de madeiras, o Pereiro apresentou o menor valor para extrativos totais (4,04%), seguido pelo Pau-branco (5,22%) e Eucalipto (6,74 %). Os teores de extrativos solúveis em água quente e em solventes orgânicos determinados em ensaios de laboratório são demonstrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Características químicas de *Aspidosperma pyrifolium* Mart. & Zucc (Pereiro), *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) e *Auxemma oncocalix* (Allemão) Taub. (Pau-branco).

Tratamento	Água quente (%)	Acetona (%)	Extrativos totais (%)
Pereiro	2,50 a (0,33)	1,54 b (0,11)	4,04
Pau-branco	4,09 ab (0,39)	1,13 a (0,09)	5,22
Eucalipto	5,36 b (0,09)	1,38 ab (0,11)	6,74

Em que: Valores seguidos por letras distintas na mesma coluna diferiram estatisticamente; valores entre parênteses representam o coeficiente de variação.

Fonte: A autora (2020).

Estatisticamente, para a extração em água quente, o Pereiro e o Eucalipto apresentaram-se de forma distinta, enquanto o Pau-branco se mostrou similar às outras madeiras em estudo. Para esse método de extração, o Pereiro se apresentou como espécie de menor teor de extrativos, a saber: 2,50%. Estudando a espécie Paes *et al.* (2003) encontraram um valor médio de 4,12% de extrativos solúveis em água quente, Souza *et al.* (2018) chegaram ao resultado de 4,29% configurando, portanto, valores próximos entre si, e superiores ao exposto nesta pesquisa. Já Maia (2018), ao pesquisar as propriedades do Pereiro, verificou um teor de extratos hidrossolúveis da ordem de 0,73%, estando abaixo do aqui determinado. Para as madeiras de Pau-branco e Eucalipto, Souza *et al.* (2018) expôs um teor de extrativos solúveis em água quente de 4,79% e 1,58%, respectivamente, em que

o teor de extratos hidrossolúveis do Pau-branco é correspondente ao obtido neste estudo, mas o Eucalipto é inferior, bem como esse teor está abaixo do registro para o híbrido clonal realizado por Moreira *et al.* (2016) em que o cerne apresentou um teor da ordem de 9,86% e o alburno 5,96%.

Na extração em solvente orgânico, Pau-branco e Pereiro apresentaram diferenças estatísticas, e o Eucalipto se mostrou igual às outras duas madeiras. Dentre as espécies avaliadas o Pereiro apresentou a maior porcentagem de extrativos (1,54%). Para todas as espécies os valores obtidos pela extração em acetona foram inferiores aos encontrados para a extração a base de água como solvente. Maia (2018), estudando os teores extraíveis em acetona para o Pereiro, encontrou um valor de 2,06%, Oliveira (2003) chegou ao valor de 4,67%, e Souza *et al.* (2018) registraram um teor de 3,24% para a espécie. Para o Pau-branco e o Eucalipto, Souza *et al.* (2018) registraram um teor de 1,73% e 1,58%, respectivamente, em que os teores de extrativos orgânicos se aproxima dos valores aqui expostos. Em estudo sobre cinco clones de *Eucalyptus urograndis*, Silvério (2008) encontrou uma variação de 1,32% a 3,92% para o método de extração, dessa forma, o teor aqui apontado se encontra incluso no descrito em literatura.

Para o teor de extrativos totais do Eucalipto, esta pesquisa chegou a um valor de 6,74%, medida aproximada a de 6,51% descrita por Medeiros *et al.* (2016), e de 8,10% apresentada por Costa (2011). Já Souza *et al.* (2018) observaram um teor de extrativos totais para o híbrido clonal de 3,15%, Braz *et al.* (2014) encontraram teores de extrativos totais que variaram entre 0,88% e 1,07%. Assim, é possível inferir que há grande variação relatada para o Eucalipto, fato que pode ser explicado pelas diferentes condições de sítio (SOUZA *et al.*, 2018). Quanto ao teor de extrativos totais do Pereiro, Maia (2018) apresentou um valor de 2,28%, estando aproximado ao valor de 2,67% expresso por Santos (2018), configurando um teor um pouco abaixo do aqui apontado. No entanto, Souza *et al.* (2018) apresentaram um teor de extrativos totais da ordem de 7,53% para espécie, sendo superior ao aqui relatado. Dessa forma, pode-se depreender que variações no teor de extrativos podem ocorrer devido às características fisiológicas e genéticas da espécie (COSTA, 2011). Para o Pau-branco, Souza *et al.* (2018) registraram um teor de extrativos totais de 6,52%, estando concordante com esta pesquisa.

Em estudo acerca dos efeitos dos extrativos nas propriedades acústicas de *Pterocarpus soyauxii* Taub., (Padauk africano), Brémaud *et al.* (2011) mencionaram um teor de extrativos da ordem de 13% que proporcionam um baixo fator de perda e eleva a densidade da madeira. Matsunaga e Minato (1998) investigaram a influência de extrativos

na *Caesalpinia echinata* (Pau-brasil), segundo esses autores, a madeira de Pau-brasil apresenta baixo amortecimento devido à presença de extrativos.

Efeitos completamente opostos foram encontrados por Obataya *et al.* (1999) que descreveram uma queda no amortecimento da Cana (*Arundo donax* L.), usada como palhetas em instrumentos de sopro, após a remoção de extrativos em água quente, e por Yano (1994) para alburno de *Thuja plicata* (Cedro vermelho ocidental).

4.5 Testes acústicos

4.5.1 Nível de pressão sonora, frequência, amplitude de onda e decréscimo logarítmico

A comparação entre as médias do nível de pressão sonora, das frequências naturais, da amplitude das ondas sonoras e do decréscimo logarítmico é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores médios encontrados para o nível de pressão sonora, frequência, amplitude da onda e decréscimo logarítmico de *Aspidosperma pyrifolium* Mart. & Zucc (Pereiro), *Auxemma oncocalix* (Allemão) Taub. (Pau-branco) e *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto)

Tratamento	Nível de pressão sonora (dBmv)	Frequência (Hz)	Amplitude	Decréscimo logarítmico
Pereiro	-8,24 a (0,27)	2088,875 a (0,07)	0,6552 a (0,31)	0,1008 ab (0,37)
Pau-branco	-6,26 a (0,45)	2290,494 a (0,21)	0,6226 a (0,25)	0,08033 a (0,32)
Eucalipto	-10,10 a (0,18)	2537,547 b (0,19)	0,7135 a (0,23)	0,1202 b (0,30)

Em que: valores seguidos por letras distintas na mesma coluna diferiram estatisticamente; valores entre parênteses representam o coeficiente de variação.

Fonte: A autora (2020).

A avaliação dos níveis de pressão sonora na madeira do híbrido *Eucalyptus urograndis* apresentou medidas que variaram de -7,7 dBmv a -12,8 dBmv; *Aspidosperma pyrifolium* Mart. & Zucc oscilou entre -4,9 dBmv e -11,0 dBmv e *Auxemma oncocalyx* (Allemão) Taub. demonstrou variação de -3,6 dBmv a -10,5 dBmv.

A análise estatística dos valores médios dos níveis de pressão sonora não apresentou diferença significativa. Os maiores níveis de pressão sonora se apresentam na madeira de menor densidade, o Eucalipto, estando de acordo com o descrito na Lei da Massa (SILVA, 2005).

Entre as frequências naturais observadas, os valores médios obtidos através de análise estatística apontam o Eucalipto enquanto espécie distinta das demais, e com um som de maior frequência, sendo, portanto, o som mais agudo entre os produzidos pelas três espécies de madeira em estudo (YOUNG; FREEDMAN, 2008b). Madeiras com baixa densidade, como o *Eucalyptus urograndis*, produzem maior volume sonoro (BENNETT, 2016).

Percebe-se que não houve diferença estatística para a amplitude de oscilação da onda sonora entre as três espécies avaliadas. Assim, é possível inferir que o máximo deslocamento da partícula é semelhante para as três madeiras (YOUNG; FREEDMAN, 2008b). Os efeitos da frequência e amplitude de vibração exercem pouca influência na velocidade do som na madeira (KRETSCHMANN, 2010).

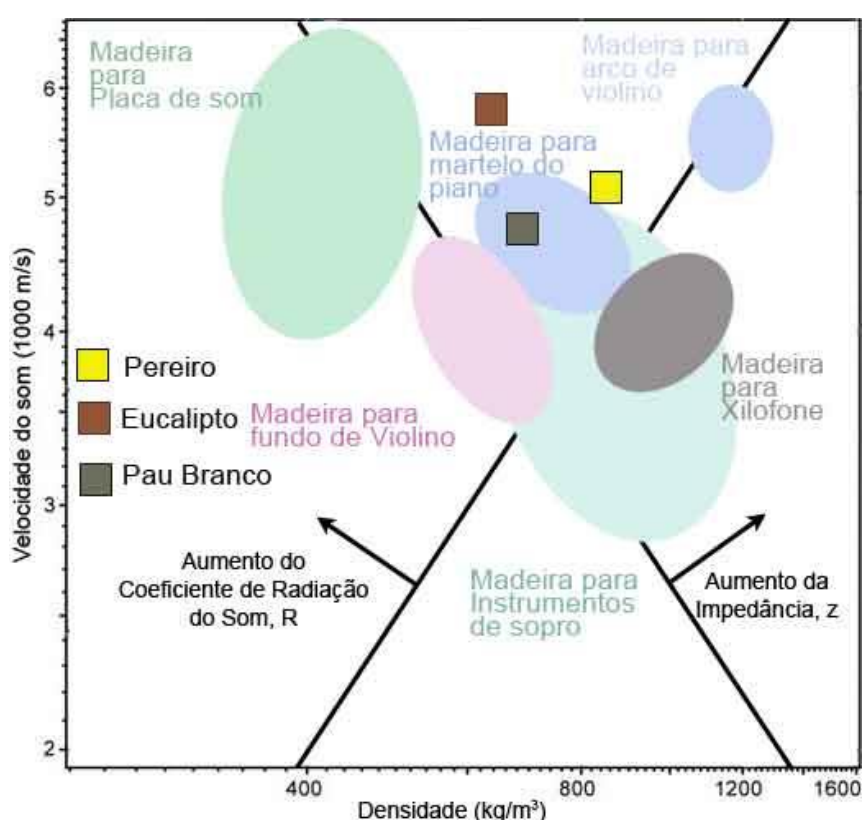
Sob o ponto de vista estatístico para o decréscimo logarítmico, as madeiras de Eucalipto e Pau-branco apresentaram-se distintas, enquanto o Pereiro se mostrou similar a ambas as espécies. O Pereiro também se caracterizou como a espécie possuidora dos menores valores médios para a característica entre as madeiras avaliadas, o que de acordo com Holz (1996) proporciona a geração de sons altos e brilhosos, algo importante a ser considerado quando se busca construir um instrumento musical de percussão, como um xilofone (WEGST, 2006).

4.5.2 Velocidade do som, coeficiente de radiação sonora e impedância

A velocidade de propagação do som no interior da madeira é diretamente influenciada por sua densidade (WEGST, 2006). Quanto maior for esse parâmetro, melhor tenderá a ser a qualidade acústica do material (SOUZA, 1983). Dessa forma, traçou-se o aspecto da velocidade do som e sua relação com a densidade da madeira, para assim retirar

outras duas propriedades acústicas, o coeficiente de radiação sonora e a impedância (Figura 23). A linha que representa o coeficiente de radiação sonora (R) é dada pela razão entre velocidade do som e densidade, e a linha que expressa a impedância da madeira (z) é dada pelo produto entre essas duas propriedades. Madeiras acima do traçado apresentam um maior valor para a respectiva propriedade do que as que aparecem abaixo deste.

Figura 23 – Cartela de propriedades da madeira em que se correlaciona a velocidade do som (c) com a densidade (ρ), permitindo que se leia também a linha de tendência de aumento do coeficiente de radiação do som (R) e a linha de tendência do aumento da impedância (z). Na figura se trabalharam os seguintes padrões: bolhas de diferentes cores indicam a adequação de uma madeira para um determinado fim, quadrados de diferentes cores indicam as madeiras de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto), *Auxemma oncocalix* (Allemão) Taub. (Pau-branco) e *Aspidosperma pyrifolium* Mart. & Zucc (Pereiro).



Fonte: Adaptado de Wegst (2006).

A partir da figura é possível depreender que madeiras aplicadas em placas de som tem uma velocidade de propagação excepcionalmente alta e um coeficiente de radiação

sonora também notavelmente alto. Martelos de piano são feitos a partir de madeiras moderadamente pesadas e de elevada velocidade sonora, características encontradas na madeira de Pau-branco (WEGST, 2006). Madeiras para instrumentos de percussão, como o xilofone, devem ter velocidade do som acima de 4000 m/s (TELES, 2005), uma alta densidade, alto valor de pico de radiação sonora, mas não do coeficiente médio de radiação sonora (WEGST, 2006), aspectos observados na madeira de Pereiro, e que se encontra detalhado na Tabela 4.

Para além, a alta impedância encontrada no Pereiro, indica que esta madeira perde pouca energia vibracional, apresentando um bom desempenho para aplicações em instrumentos como o xilofone, que tem suas teclas apoiadas em um suporte, e necessitam de grande disparidade para este parâmetro (WEGST, 2006).

O piano para produzir sons necessita de que o pianista pressione uma tecla, que por um mecanismo próprio desse instrumento aciona um martelo. O martelo atinge a corda em um determinado ponto, excitando-a a vibrar. Ao longo do tempo diversas madeiras foram utilizadas para martelos de piano, como o Hornbeam (*Carpinus betulus*), a Faia (*Fagus sylvatica*) e o Bordo (*Acer platanoides*), por suas excepcionais propriedades (WEGST, 2006) mas, buscando madeiras alternativas à estas, encontra-se o Pau-branco, que possui valores de densidade e de velocidade do som que cumprem os requisitos necessários para esta aplicação, como pode ser apreciado na figura.

A madeira de *Eucalyptus urograndis* apresentou um coeficiente de radiação sonora da ordem de 10,64, mostrando-se adequada à produção de placas de som, que de acordo com Wegst (2006) é uma parte do instrumento que necessita de um elevado pico e coeficiente médio de radiação sonora.

Tabela 4 – Velocidade do som (c), coeficiente de radiação sonora (R) e impedância (z) das madeiras de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto), *Auxemma oncocalix* (Allemão) Taub. (Pau-branco) e *Aspidosperma pyrifolium* Mart. & Zucc (Pereiro)

Tratamento	c (m/s)	R ($\frac{m^4}{kg.s}$)	z ($kg.m^{-2}.s^{-1}$)
Pereiro	5251,39	6,23	4421678,41
Pau-branco	4843,82	7,22	3245365,92
Eucalipto	5749,39	10,64	3104673,89

Fonte: A autora (2020).

4.5.3 Fator de perda

O fator de perda acústica contribui de forma significativa para a velocidade do som, para as frequências naturais excitadas e a intensidade do som irradiado de um instrumento musical (WEGST, 2006). Os valores do fator de perda para as madeiras em estudo se encontram expostos na Tabela 5.

Tabela 5 – Fator de perda das madeiras de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto), *Auxemma oncocalix* (Allemão) Taub. (Pau-branco) e *Aspidosperma pyrifolium* Mart. & Zucc (Pereiro)

Tratamento	Fator de perda
Pereiro	0,03
Pau-branco	0,025
Eucalipto	0,04

Fonte: A autora (2020).

A madeira de Pau-branco apresentou um fator de perda acústica de 0,025, valor aproximado ao descrito por Souza (1983) para o Maple (*Acer* sp.), de fator de perda 0,026, madeira empregada em fundos de instrumentos de cordas, e para as madeiras amazônicas de *Simaruba amara* (Marupá), 0,021 e *Couratari oblongifolia* (Tauari), de valor 0,027, sendo espécies indicadas para usos em tampos de violões, violinos, tampa de ressonância do piano, e mecanismos de piano, respectivamente.

Madeiras para instrumentos musicais de percussão devem ter um fator de perda acústica de até 0,03 (TELES, 2005). Valor encontrado na madeira de Pereiro, o que aponta para esta como a mais apta das espécies aqui avaliadas para a construção de um xilofone, pois espera-se das teclas deste instrumento, um baixo coeficiente de perda para a geração de sons mais brilhosos, através de um menor amortecimento das parciais mais altas (WEGST, 2006).

4.5.4 Influência do teor de extrativos nas propriedades acústicas das madeiras estudadas

Para determinação acerca da influência dos extrativos nas propriedades acústicas das madeiras em estudo, procedeu-se com a análise do coeficiente da correlação de Pearson, apresentada na Tabela 6.

Tabela 6 – Correlação de Pearson entre teores de extrativos e propriedades acústicas

Solvente	c	η	z	R
Água	0,0549	0,5231	-0,995	0,6722
quente	(0,965)	(0,6495)	(0,0637)	(0,5307)
Acetona	0,3401	-0,8149	0,8766	-0,329
	(0,7791)	(0,3936)	(0,3196)	(0,7866)

Em que: c – velocidade do som; η – fator de perda; z – impedância; R – coeficiente de radiação sonora. Valores entre parênteses representam o valor – p.

Fonte: A autora (2020).

Nestes resultados, os valores de p são superiores ao nível de significância de 0,05, assim, não há evidências acerca da influência do teor de extrativos nas propriedades acústicas das madeiras de Pereiro, Pau-branco e Eucalipto. Os dados sugerem que existe uma correlação negativa entre as taxas de extração em água quente e impedância (-0,995; p =0,0637), em acetona e fator de perda (-0,8149; p =0,3936), e em acetona e coeficiente de radiação sonora (-0,329; p=0,7866). Dessa forma, pode-se concluir que extrativos não exercem efeitos sobre as propriedades acústicas das madeiras aqui avaliadas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Instrumentos musicais são frutos do saber popular de artesãos que, se posto em diálogo com o saber científico, pode nos conduzir a novas perspectivas de aproveitamento da madeira. As informações presentes nesta pesquisa enriquecem a experiência da criação de instrumentos musicais a partir das madeiras da Caatinga, uma matéria-prima não convencional neste uso.

Por meio de ensaios físicos, químicos, mecânicos e acústicos, pode-se indicar que a madeira de *Aspidosperma pyrifolium* Mart. & Zucc, o Pereiro, apresenta alta densidade, elevada resistência à compressão paralela às suas fibras, associado a um elevado módulo de elasticidade, um baixo teor de extrativos, elevada velocidade de propagação acústica, um grande valor de impedância, coeficiente médio de radiação sonora e baixo fator de perda acústica, se encontrando, portanto, na faixa de propriedades e características consideradas boas para a construção de um xilofone, e que a *Auxemma oncocalix* (Allemão) Taub., o Pau-branco, mostra uma densidade moderadamente alta acompanhada de um módulo de elasticidade relativamente alto, uma grande velocidade de propagação do som e baixo fator de perda, configurando-se como uma espécie adequada para aplicações em martelos de piano e em fundos de instrumentos de corda.

Mesmo que o *Eucalyptus urograndis* não apresente excepcionais propriedades acústicas, este é plantado em escala comercial, indicando que pode gerar instrumentos em de valor mais acessível à população.

Mas, para a determinação completa dos inúmeros fatores que compõem um instrumento musical, ainda há muitas correlações a serem estudadas, sendo fundamental o desenvolvimento de um banco de dados que busque referenciar as madeiras da Caatinga àquelas consagradas por luthiers e fabricantes de instrumentos. Neste esforço de melhor aproveitamento das madeiras da Caatinga, é importante ressaltar que estas devem ser retiradas de áreas de planos de manejo florestal sustentáveis, a fim de se evitar a exploração predatória que se deu sobre espécies madeireiras nobres.

A criação de um instrumento musical será sobretudo interdisciplinar. Os esforços científicos na busca pela determinação das propriedades existentes em instrumentos perfeitos, só fazem sentido se através de sua funcionalidade, um músico consegue se expressar plenamente. Apesar dos avanços na compreensão dos aspectos físicos desses construtos, ainda dependemos da abertura conceitual, da experiência e da arte de construtores de instrumentos e luthiers para o ato de fazer música.

REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeiras. São Paulo, 1997.
- AB’SÁBER, A. **Nordeste sertanejo**: a região semiárida mais povoada do mundo. 1999.
- ALVES, E.S.; LONGUI, E.L.; AMANO, E. Pernambuco wood (*Caesalpinia echinata*) used in the manufacture of bows for string instruments. **IAWA Journal**, v. 29, p. 323-335, 2008.
- ANDRADE-LIMA, D. The caatingas dominium. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 4, p.149-163, 1981.
- ARAMAKI, M.; BAILLERES, H.; BRANCHERIAU, L.; KRONLAND-MARTINET, R.; YSTAD, S. Sound quality assessment of wood for xylophone bars. **Journal of Acoustical Society of America**, v.121, n. 4, p. 2407-2420. 2007.
- BAAR, J.; TIPPNER, J.; GRYC, V. The influence of wood density on longitudinal wave velocity determined by the ultrasound method in comparison to the resonance longitudinal method. **European Journal of Wood Products**, v. 70, n. 5, p. 767-769, 2011.
- BALLESTÉ, A. O.; **Viola? Violão? Guitarra? Proposta de organização conceitual de instrumentos musicais de cordas dedilhadas luso-brasileiros no século XIX**. 2009. Tese (Doutorado em Musica) – Programa de Pós-Graduação em Música, Centro de Letras e Artes, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro. 2009.
- BANCO DO NORDESTE DO BRASIL - BNB. **Proposta de dimensionamento do semi-árido brasileiro**. Fortaleza, 2005. 108 p.
- BARRETO, S. D. Sejam corajosos como Mozart! **Café com luteria**. n.1. 20 p. 2018.
- BENNETT, B. C. **The Sound of Trees: Wood Selection in Guitars and Other Chordophones**. Economic Botany, XX (X). New York, p. 1–15, 2016.
- BERGMAN, R. Drying and Control of Moisture Content and Dimensional Changes. In: FPL. **Wood handbook - wood as an engineering material**. General technical Report FPL -GTR - 190. Madison: US Department of Agriculture. p. 13.1-13.20. 2010.
- BESSA, F. M. S. **Caracterização Anatômica, Física, Química e Acústica de Madeiras de Várias Espécies para a Construção de Instrumentos Musicais Uma Aplicação à Viola Dedilhada**. 171 p. Dissertação. Mestrado em engenharia de materiais lenhosos – Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2000.
- BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. São Paulo: E. Blüncher, 2006. 368 p.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional - MIN. **Nova delimitação do semi-árido brasileiro**. Brasília, 2006. 32 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Departamento de Florestas. Programa Nacional de Florestas. Unidade de Apoio do PNF no Nordeste. **Manejo Sustentável dos Recursos Florestais da Caatinga**. Natal, 2008. 28 p.

BRAZ, R. L., OLIVEIRA, J. S., ROSADO, A. M., VIDAURRE, G. B., PAES, J. B., TOMAZELLO FILHO, M., LOIOLA, P. L. Caracterização anatômica, física e química da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em áreas sujeitas à ação de ventos. **Ciência da Madeira**. Pelotas, v. 5, p. 127-137, 2014.

BRÉMAUD, I.; AMUSANT, N.; MINATO, K.; GRIL J.; THIBAUT, B. Effect of extractives on vibrational properties of African Padauk (*Pterocarpus soyauxii* Taub.). **Wood Science and Technology**, v. 45, p. 461–472, 2011.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Livraria Nobel, 1991. 154 p.

BUCUR, V. **Acoustics of Wood**. CRC Press. 1995. 284 p.

BUCUR, V. **Acoustics of Wood**. 2. ed. Springer. 2006. 403 p.

CANEVAROLO JR, S. V. **Ciência dos Polímeros – Um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 2. ed., São Paulo: Artliber, 2002.

CARVALHO, P. E. R. Pau-branco-do-Sertão (*Auxemma oncocalyx*). EMBRAPA: Colombo-PR, **Circular Técnica**, n. 153, 2008.

CARVALHO, A. J. E. de; GARIGLIO, M. A.; CAMPELLO, F. B.; BARCELLOS, N. D. E. **Potencial econômico de recursos florestais em áreas de assentamento do Rio Grande do Norte**. Natal, RN: Ministério do Meio Ambiente, 2000. (Boletim Técnico, n.1).

CARVALHO, A. M. **Valorização da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha**. 2000. 128 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

COELHO J. M.; MENDES, G.; SAFATLE, V.; MARTNELLI L.; PERPÉTUO I. F.; NODA L.; HOLANDA J.; CAZNOK Y.; BALLESTERO R.; RODRIGUES, L.; SOUZA R. C.; SAMPAIO J. L.; SCARASSATTI M.; STASI C.; CATANZARO T. **Cem anos de música no Brasil: 1912-2012**. Organização João Marcos Coelho. 1. ed. São Paulo: Andreato Comunicação e Cultura, 2015. 127 p.

CONSELHO NACIONAL DA RESERVA DA BIOSFERA DA CAATINGA (CNRBC). **Cenários para o bioma Caatinga**. Recife: Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente, 2004.

COSSOLINO L. C.; PEREIRA A. H. A. **Amortecimento: classificação e métodos de determinação**. Universidade de São Carlos, 2010.

COSTA, J. A. **Qualidade da madeira de *Eucalyptus Urograndis*, plantado no distrito Federal, para produção de celulose Kraft.** 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

CRUZ, L. T. C.; PENNA, J. E.; LOGSDON, N. B.; ABREU, J. G. Variação longitudinal da densidade básica de um híbrido de *Eucalyptus urophilla* e *grandis* (“urograndis”). In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 12., 2010. **Anais...** Lavras: UFLA, 2010. 7 p.

DUTRA, C. C. B. A. **A relevância da cultura popular dentro da escola e sua valorização no currículo.** 2013. 43 p. Monografia (Curso de Especialização em Coordenação Pedagógica). Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood: chemistry, ultrastructure, reactions.** Berlin: Walter de Gruyter, 1989. 613 p.

FERREIRA, V. V. O. **Caracterização de espécies florestais da Caatinga para a construção civil.** 2018. 202 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Natal, RN, 2018.

FOELKEL, C. Instrumentos musicais produzidos com madeiras de reflorestamento. In: **Eucalyptus Online Book & Newsletter**, 2014. 213 p.

FRANÇA, F.; MELO, E.; GÓES NETO, A.; ARAÚJO, D.; BEZERRA, M. G.; RAMOS, H. M.; CASTRO, I.; GOMES, D. Flora vascular de açudes de uma região do semi-árido da Bahia, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 17, p. 549-559, 2003.

FRIHART, C. R.; HUNT, C. G. Adhesives with Wood Materials Bond Formation and Performance. In: FPL. **Wood handbook - wood as an engineering material.** General technical Report FPL -GTR - 190. Madison: US Department of Agriculture. p. 10.1-10.24. 2010.

GIULLIETTI, A. M.; CONCEIÇÃO, A.; QUEIROZ, L. P. **Diversidade e caracterização das fanerógamas do semi-árido brasileiro.** Recife: Associação Plantas do Nordeste, 2006. 488 p.

GLASS, S. V.; ZELINKA, S. L. Moisture relations and physical properties of wood. In: FPL. **Wood handbook - wood as an engineering material.** General technical Report FPL -GTR - 190. Madison: US Department of Agriculture. p. 4.1 - 4.19, 2010.

GONÇALVES, B. C. J. **O Boizolão de Miracema: a cultura dentro da escola.** 2017. 41 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Licenciatura em Pedagogia). - Universidade Federal Fluminense, Instituto do Noroeste Fluminense de Educação Superior, 2017.

GOMES, L.; LAGE, R.; MOURÃO, A. **Manual de Lutheria: curso básico.** Manaus: UNICEF, 2004.

GONÇALEZ J. C.; SANTOS, G. L.; SILVA JUNIOR F. G.; MARTINS I. S.; COSTA J. A. Relações entre dimensões de fibras e de densidade da madeira ao longo do tronco de *Eucalyptus urograndis*. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 101, p. 81-89, 2014.

GOUVEA, C. F.; MORI, E. S.; BRASIL M. A. M.; VALLE, C. F.; BONINE, C. A. V. Seleção fenotípica por padrão de proporção de casca rugosa persistente em árvores de *Eucalyptus urophylla* S.T Blake, visando formação de população base de melhoramento genético: qualidade da madeira. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, Salvador, 1997. **Anais**. Colombo: EMBRAPA, CNPF, 1997, v.1, p. 355-360.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. **Fundamentos da Física**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

HOLZ, D. Acoustically important properties of xylophone-bar materials: can tropical woods be replaced by European species? **Acta Acústica**, v. 82, p. 878–884, 1996.

JANKOWSKI, I. P.; GALINA, I. C. M. Curso técnico de secagem de madeiras. Piracicaba: PIMADS: Projeto Piso de Madeira Sustentável. 2013.

JUNCÁ, F. A.; FUNCH, L.; ROCHA, W. **Biodiversidade e conservação da chapada diamantina**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. 434 p.

KENDALL, R.; CARTERETTE, E.; HAJDA, J. Perceptual and acoustical features of natural and synthetic orchestral instrument tones. **Music Perception**. v.16, p. 327-364, 1999.

KLOCK, U; ANDRADE, A. S. **Química Da Madeira**. (4. ed. revisada). Curitiba: UFPR. 2013. 87 p.

KRETSCHMANN, D. E. Mechanical properties of wood. In: FPL. **Wood handbook - wood as an engineering material**. General technical Report FPL -GTR - 190. Madison: US Department of Agriculture. p. 5.1-5.46, 2010.

LAZAN, B. J. **Damping of Materials and Members in Structural Mechanics**. Pergamon Press Ltd. London, 1968.

LAZZARINI, V. E. P. **Elementos de Acústica**, Music Department, National University of Ireland, Maynooth, 1998.

LIMA, J. L. S.; SERPA, F.G.; SÁ, I. B.; MENDONÇA, A. L.; DUARTE, E. S. **Características físico-mecânicas e energéticas de madeiras do trópico semi-árido do nordeste do Brasil**. Petrolina: Embrapa CPATSA, 1996, 12 p. (Comunicado Técnico v. 63).

LIVÉRIO JR, A. C.; SANTOS, E. M.; TUFAILE, A. P. B.; TUFAILE, A.; MENDES, C. M.; IMBERNON, R. A. L. A construção de um litofone em uma abordagem interdisciplinar. **Terra e didática**, v. 10, p. 283-288, 2014.

LOGSDON, N. B. **Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira.** São Carlos, 1998. 174 p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

LOPES, J. L. W. **Qualidade de mudas clonais do híbrido de *Eucalyptus grandis* vs. *Eucalyptus urophylla*, submetidas a diferentes regimes hídricos.** Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 171 p. 2008.

LÓSSIO, R. A. R.; PEREIRA, C. M. **A importância da valorização da cultura popular para o desenvolvimento local.** III Encontro de Estudos Multidisciplinares em Cultura. Salvador: UFBA, 2012.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil.** v. 1. Nova Odessa, Ed. Plantarum, 1992. 364 p.

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

MAEOCA, G. S. **Construção de instrumentos musicais artesanais por aluno, para auxiliar na aprendizagem de conceitos físicos relacionados às ondas sonoras.** 2012. 127 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ensino em Ciência, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2012.

MAIA, G. N. **Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades.** 2. ed. Fortaleza: Printcolor Gráfica e Editora. 2012. 413 p.

MAIA, J. H. **Efeitos de produtos de acabamento na cor de madeiras da Caatinga.** 2018. 52 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2018.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. **Fichas de características das madeiras brasileiras.** São Paulo: Instituto de pesquisas tecnológicas, 1989.

MANTOVANI, A.; MORELLATO, L. P. C.; REIS, M. S. Fenologia reprodutiva e produção de sementes em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 27, p. 787-796, 2004.

MARCOLIN, L. A. **Proposição de classes de resistência para peças roliças perfiladas estruturais de *Eucalyptus urograndis*.** 2017. 94 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Departamento de Engenharia de Estrutura, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

MARTINS, T. S. **Termorretificação da madeira de alburno de *Auxemma oncocalyx* (Allemão) Taub.** 2019. 46 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2019.

MASOTTI, D. **Comparação de métodos de determinação do amortecimento estrutural através de técnicas de ajuste de curvas de funções resposta em frequência.** 2013. 188 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Florianópolis, 2013.

MATTOS, M. **Luthiers do Cariri Cearense: entrevistas e informações técnicas**. Juazeiro do Norte: Universidade Federal do Cariri, 2017. 90p.

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

MEDEIROS, B. L. M. A.; GUIMARÃES JUNIOR J. B.; RIBEIRO M. X.; LISBOA F. J. N.; GUIMARÃES I. L.; PROTÁSIO T. P. Avaliação das propriedades físicas e químicas da madeira de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* cultivadas no Piauí. **Nativa**, Sinop, v. 4, n. 6, p. 403-407, nov./dez. 2016.

MELO, J. E. **Madeira: Característica e aplicações**. Brasília: Laboratório de Produtos Florestais/IBAMA, 2002.

MOMBACH, L. H. M. Considerações climáticas na Luteria para exportação. **DAPesquisa**, v. 13, n. 20, p. 85-98, ago, 2018.

MOREIRA, E. L.; FAZION H.; RIBEIRO E. S. Variação dos teores de extrativos de três espécies florestais. **Biodiversidade**, v. 15, n. 2, p. 163-172, 2016.

MORESCHI, J. C. **Propriedades da madeira**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2010. 175 p.

MORITANI, F. Y. **Proposta de classes de resistência para peças estruturais de madeira: *Eucalyptus urograndis*, *Pinus taeda* e *Schizolobium amazonicum* (Paricá)**. 2018. 176 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil (Estruturas)) - Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

OBATAYA, E.; UMEZAWA, T.; NAKATSUBO, F.; NORIMOTO, M. The effects of water soluble extractives on the acoustic properties of Reed (*Arundo donax* L.). **Holzforschung**, v. 63, p. 63-67. 1999.

OBATAYA, E. Effects of natural and artificial ageing on the physical and acoustic properties of wood in musical instruments. **Journal of Cultural Heritage**, v. 27, n. 1, p. 63-69, out. 2017.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. São Paulo, 1997. Iv. Tese (Doutorado). Departamento de Engenharia da Construção Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA, E. **Características anatômicas, químicas e térmicas da madeira de três espécies de maior ocorrência no semi-árido nordestino**. 2003. 122 p. Tese. Pós-graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

PAES, J. B.; LIMA, C. R.; OLIVEIRA, E.; MEDEIROS NETO, P. N. Características físico-química, energética e dimensões das fibras de três espécies florestais do semiárido brasileiro. **Floresta Ambiente**. Seropédica, v. 20, p. 550-555, 2013.

PAES, J. B.; MEDEIROS, V. M.; FARIAS SOBRINHO, D. W.; BAKKE, O. A. Resistência natural de nove madeiras do semi-árido brasileiro a cupins subterrâneos, em ensaio de laboratório. **Cerne**. Lavras, v. 9, n. 1, p. 36-47, 2003.

PALUDZYSZYN E.; RODRIGUES, A.; CORDEIRO, D. Estratégias para o melhoramento de eucaliptos tropicais na Embrapa. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 29 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 99).

PAUPITZ, J. **Elementos da estrutura fundiária e uso da terra no semi-árido brasileiro. Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. In: Maria Auxiliadora Gariglio; et al., Orgs.) Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010, p. 60.

PEARSON, F. G. O.; WEBSTER, C. **Timbers used in the musical instrument industry**. U.K: Forest Products Research Laboratory, 1967. 47 p.

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

PÔRTO, K. C.; CABRAL, J. J. P.; TABARELLI, M. **Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. 324 p.

QUEIROZ, L. P.; RAPINI, A.; GIULLIETTI, A. M. **Towards greater knowledge of the Brazilian semi-arid biodiversity**. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2006. 142 p.

RECH, C. **Plantações de Eucalipto no Brasil**. In: Revista da Madeira. Ano 18, n. 107. Curitiba: Lettech Editora e gráfica LTDA, set. 2007.

REDDY, S. J. Climatic classification: the semiarid tropics and its environment - a review. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 18, p. 823-847, 1983.

ROCHA, H. L. S. *et al.* Caracterização físico mecânica da madeira de jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*) visando seu emprego na indústria moveleira. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife/PE, v. 10, n. 2, p. 262-267, 2015.

RODAL, M. J. N.; SAMPAIO, E.V. S. B. A vegetação do bioma caatinga. In: SAMPAIO, E. V. S. B.; GIULLIETTI, A. M.; VIRGÍNIO, J.; GAMARRA-ROJAS, C. F. L. (Ed.). **Vegetação e flora da caatinga**. Recife: PNE/CNIP, 2002. p. 11-24.

SACHS, C. **The History Music of Musical Instruments**. (1ª. ed: New York: Norton, 1940). London: J.M. Dent & Sons, 1968.

SAITO, A.; AMORIM, E.; VARANDA, L.; TOMELERI, J.; PÁDUA, F. CARACTERIZAÇÃO DAS MADEIRAS DE MAPLE (*Acer* sp.) E PAU-MARFIM (*Balfourodendron riedelianum*) PARA INSTRUMENTOS MUSICAIS. [2018] XXV

Congresso de Iniciação Científica e X Congresso de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, Brasil, out. 2018.

SANTOS. R. C.; CARNEIRO. A. C. O; PIMENTA. A. S; CASTRO. R. V. O; MARINHO. I. V; TRUGILHO. P. F; ALVES. I. C. N; CASTRO. A. F. N. M. Potencial energético da madeira de espécies oriundas de plano de manejo florestal no estado do rio grande do norte. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p.491-502, abr.-jun. 2013.

SANTOS, M. F. A. V.; RIBEIRO, M. R.; SAMPAIO, E. V. S. B. Semelhanças vegetacionais em sete solos da caatinga. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 27, p. 305-314, 1992a.

SANTOS, G. A.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, L. D.; HIGA, A.; ASSIS, T. F. Adaptabilidade de híbridos multiespécies de *Eucalyptus* ao estado do Rio Grande do Sul. **Árvore**, v. 37, n. 4, p. 759-769, 2013b.

SANTOS, M. B. S. B. **Resistência natural da madeira de três espécies da caatinga a um fungo de podridão parda**. 2018. 49 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2018.

SANTOS, P. B. **Contribuição ao estudo químico, bromatológico e atividade biológica de *Angico Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan Var. cebil (Gris.) Alts. e *Pereiro Aspidosperma pyrifolium* Mart.** Dissertação (Mestrado em zootecnia). – Patos-PB: CSTR/PPGZ, 2010.

SAMPAIO, E. V. S. B. **Caraterísticas e potencialidades**. In: Maria Auxiliadora Gariglio; et al., Orgs. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010, p. 29.

SAMPAIO, E. V. S. B. Caracterização da caatinga e fatores ambientais que afetam a ecologia de plantas lenhosas. In: SALES, V. C. (Org.). **Ecossistemas brasileiros: manejo e conservação**. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2003. p. 129-142.

SAMPAIO, E. V. S. B.; MENEZES, R. S. C. Perspectivas de uso do solo no semi-árido nordestino. In: ARAÚJO, Q. R. **500 anos de uso do solo no Brasil**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p. 339-363.

SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, E. L.; SALCEDO, I. H.; TIESSEN, H. Regeneração da vegetação de caatinga após corte e queima, em Serra Talhada, PE. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 33, p. 621-632, 1998.

SERENINE JUNIOR L.; MELO R. R.; CASTRO V. G.; SOUZA M. J. C.; BATISTA F. G. Qualidade da madeira juvenil de um híbrido clonal (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* - H13). **Advances in Forestry Science**, Cuiabá, v. 6, n. 1, p. 523-527, 2019.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. *Inventário Florestal Nacional: principais resultados: Rio Grande do Norte*. Brasília, DF: MMA, 2018. 64 p. (Série Relatórios Técnicos - IFN).

SILVA, P. **Acústica arquitetônica e condicionamento de ar**. 5. ed. Belo Horizonte: EDTAL, 2005. 339p.

- SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M.; FONSECA, M. T.; LINS, L. V. (Org.). **Biodiversidade da caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, Universidade Federal de Pernambuco, 2003. 382 p.
- SILVA, J. C, OLIVEIRA, J, T, S; FILHO, M, T; JÚNIOR, S, K; MATOS, J, L, M. Influência da idade e da posição radial na massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Revista Floresta**. Curitiba. v.34, n.1, p.13-22. 2004.
- SILVÉRIO, F. O. **Caracterização de extrativos de madeira de *Eucalyptus* e depósitos de pitch envolvidos na fabricação de celulose e papel**. 2008. 157 p. Tese. (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Química, Belo Horizonte, 2008.
- SOUZA, M. R. **Classificação de madeiras para instrumentos musicais**. Brasília: IBDF, 1983.
- SOUZA, G. O.; PAULA, Y. L.; MAIA, J. H.; BARBOSA JUNIOR V. C.; PIMENTA A. S.; MELO R. R. Caracterização química das espécies pau branco (*Cordia oncocalyx* Allemão), pereiro (*Aspidosperma pyrifolium* Mart. & Zucc) e eucalipto (*Eucalyptus urograndis*). In: ANAIS X SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, 2018. **Anais eletrônicos...** Natal: UFRN, 2018. 5 p.
- SOUZA, N. D. **Identificação de Madeiras de clones de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e do híbrido *Eucalyptus urograndis* por RMN ¹³C**. 2008. 97 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2008.
- SLOOTEN, H. J. van der; SOUZA, M. R. **Avaliação das espécies madeireiras da Amazônia selecionadas para a manufatura de instrumentos musicais**. Manaus: INPA, 1993. 141 p.
- TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI T 204 cm-97**. Solvent extractives of wood and pulp. Atlanta: Tappi Technology Park, 1999.
- TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI T 207 cm-99**. Water solubility of wood and pulp. Atlanta:Tappi Technology Park, 1999.
- TELES, R. F. **Avaliação de madeiras amazônicas para utilização em instrumentos musicais**. Madeiras para violões. Relatório de projeto PIBIC, IBAMA/CNPq. Brasília: 2005.
- WEGST, U. G. K. Wood for sound. **American Journal of Botany**, v. 93, n. 10, p. 1439–1448, 2006.
- WESSEL, D. Timbre space as a musical control structure. **Computer Music Journal**, v. 3, p. 45–52, 1979.
- WIEDENHOEFT, A. Structure and function of wood. In: FPL. **Wood handbook - wood as an engineering material**. General technical Report FPL -GTR - 190. Madison: USDepartment of Agriculture. p. 3.1-3.18. 2010.

WILLIAMS, R. S. Finishing of wood. *In*: FPL. **Wood handbook - wood as an engineering material**. General technical Report FPL -GTR - 190. Madison: US Department of Agriculture. p. 16.1-16.39. 2010.

WRIGHT, H. **The Acoustics and Psychoacoustics of the Guitar**. Department of Physics and Astronomy, University of Wales, 1996.

YANO, H. The changes in the acoustic properties of Western Red Cedar due to methanol extraction. **Holzforschung**, v. 48, p. 491-495, 1994.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física I: Mecânica**. 12 ed. São Paulo: Addison Wesley, 2008a.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física II: Termodinâmica e ondas**. 12 ed. São Paulo: Addison Wesley, 2008b. 392 p.

ZUBEN, P.; CAZNOK, Y. **Música e tecnologia: o som e seus novos instrumentos**. Irmãos Vitale, 2004. 68 p.