



**Universidade de Brasília - UnB**

**Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – FAU/UnB**

**Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PPG-FAU/UnB**

**PAINÉIS ACÚSTICOS EM BAMBU: PROPRIEDADES MECÂNICAS E  
ACÚSTICAS DE PAINÉIS AGLOMERADOS BIOCAMPÓSITOS PRODUZIDOS A  
PARTIR DE BAMBU E ÁCIDO CÍTRICO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

**Joelma da Mota Louredo**

Brasília/DF: Fevereiro – 2019



**Universidade de Brasília - UnB**

**Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – FAU/UnB**

**Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PPG-FAU/UnB**

**PAINÉIS ACÚSTICOS EM BAMBU: PROPRIEDADES MECÂNICAS E  
ACÚSTICAS DE PAINÉIS AGLOMERADOS BIOCAMPÓSITOS PRODUZIDOS A  
PARTIR DE BAMBU E ÁCIDO CÍTRICO**

**Joelma da Mota Louredo**

Arquiteta e Urbanista

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação – Curso de Mestrado da Faculdade de arquitetura e Urbanismo de Brasília como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, área de concentração em Técnicas e Processos de Produção do Ambiente construído.

**Orientador:** Carlos Eduardo Luna de Melo

Brasília/DF: Fevereiro – 2019



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

**PAINÉIS ACÚSTICOS EM BAMBU: PROPRIEDADES MECÂNICAS E ACÚSTICAS DE PAINÉIS AGLOMERADOS BIOCAMPÓSITOS PRODUZIDOS A PARTIR DE BAMBU E ÁCIDO CÍTRICO.**

**ARQUITETA: JOELMA DA MOTA LOUREDO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO, DA FACULDADE DE ARQUITETURA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.

**APROVADA POR:**

---

**Prof. Dr. Carlos Eduardo Luna de Melo (Departamento de Arquitetura e Urbanismo – PPG-FAU / UnB)**

(Orientador)

---

**Prof. Dr. Jaime Almeida Gonçalves (Departamento de Arquitetura e Urbanismo – PPG-FAU / UnB)**

(Examinador interno)

---

**Profa.: Dra. Anelizabeth Alves Teixeira (Departamento de Arquitetura e Urbanismo - UEG);**

(Examinadora externa)

**BRASÍLIA/DF, 21 DE FEVEREIRO DE 2019**



## FICHA CATALOGRÁFICA

dL892p

LOUREDO, Joelma da Mota

Painéis Acústicos em Bambu: Propriedades Mecânicas e Acústicas de Painéis Aglomerados Biocompósitos Produzidos a Partir de Bambu e Ácido Cítrico./ Joelma da Mota Louredo; Orientador Carlos Eduardo Luna de Melo. == Brasília, 2019. 123p.

(PPG/FAU/UnB, Mestre, Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo, 2019).

Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) == Universidade de Brasília, 2019.

1. Painéis aglomerados de bambu; 2. Ácido cítrico; 3. Acústica; Melo, Carlos Eduardo Luna de, orient.  
II. Título.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

LOUREDO, J. M. (2019). Painéis Acústicos em Bambu: Propriedades Mecânicas e Acústicas de Painéis Aglomerados Biocompósitos Produzidos a Partir de Bambu e Ácido Cítrico. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília,DF. 123p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTORA: JOELMA DA MOTA LOUREDO

TÍTULO: Painéis Acústicos em Bambu: Propriedades Mecânicas e Acústicas de Painéis Aglomerados Biocompósitos Produzidos a Partir de Bambu e Ácido Cítrico.

GRAU: Mestre

ANO: 2019

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de dissertação de mestrado para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa tese de dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Email: joelmamotalouredo@gmail.com



**“Fazer o que você gosta é liberdade.  
Gostar do que você faz é felicidade.”**

Frank Tyger



**Ao meu pai Joel, minha mãe Rosilene e meu irmão Lucas.  
A vocês que são meu alicerce, todo meu amor e admiração.**



## AGRADECIMENTOS

O processo de compilação deste trabalho me trouxe muitos ganhos além do conhecimento produzido. Percebi, ao longo do caminho que a busca por fazer ciência é repleta de encontros, e que sem eles eu não teria chegado até aqui. Gostaria de agradecer a todos aqueles que me auxiliaram nesta caminhada. Principalmente à minha família que é minha fundação, fonte de inspiração, princípios e valores, para a pessoa melhor que busco construir dia após dia.

Gratidão aos que representaram o princípio desta trajetória. À profa. Aninha, minha eterna orientadora, que apoiou minha sede por conhecimento já na graduação, me apresentou o bambu e me incetivou a trilhar o caminho da pesquisa. Ao prof. Jaime Gonçalves, que me serviu de inspiração e fonte de sabedoria em decisões importantes durante o processo. À Marília Teixeira, por ser grande incentivadora do estudo e desenvolvimento do design em todas as suas facetas. Ao prof. Janes Cleiton, por me acolher no princípio e acreditar no potencial deste trabalho. Ao prof. Carlos Luna, por me receber, e me acompanhar no processo de finalização.

Aos professores da Universidade de Brasília (UnB), que me apresentaram conhecimentos que fortaleceram e aprimoraram minha visão de arquitetura. Em especial à profa. Júlia Abrahão, por me mostrar como a ergonomia pode aproximar o projetista do usuário final. E à prof. Vanda Alice Zanoni, por me incentivar a aprofundar sempre na busca do conhecimento e suas correlações.

Ao pessoal da Universidade Federal de Goiás (UFG), onde a pesquisa se delineou, e onde a matéria-prima foi extraída, reconhecida, e inicialmente beneficiada. Ao prof. Rogério Almeida por ter concedido a matéria-prima para esta pesquisa, e pelo seu importante incentivo a cultura do bambu que se materializa com as ações da Rede Bambu Goiás. Ao técnico Jorge e a Kamilla Cardoso, que além de me auxiliar a retirar os colmos de bambu, me mostraram um pouco mais sobre o mundo do cultivo e cuidado com as plantas. À prof. Dalva Graciano Ribeiro que me apresentou a botânica, os processos de reconhecimento e catalogação de plantas, e o incrível potencial estético das exsicatas. Ao prof. Carlos Sette Jr. que me apresentou os princípios básicos da tecnologia da madeira e produção de painéis, e me auxiliou na compilação



da diretriz fundamental deste trabalho. Ao técnico Max, que me recebeu no laboratório com atenção e cuidado em todo o processo de produção das partículas.

Ao pessoal do Laboratório de Produtos Florestais (LPF) onde o produto surgiu. A minha tutora Ana Nakamura, pelo carinho com que me recebeu, e por ter me apresentado novas perspectivas da produção de painéis com a utilização do ácido cítrico. Ao meu supervisor Divino Eterno Teixeira, pela atenção em acompanhar meu trabalho e compartilhar comigo o saber científico e de ofício da produção de painéis. Ao técnico Lula por me auxiliar durante todo o aprendizado da produção de painéis. Ao pessoal do Laboratório de Energia do LPF, por serem sempre solícitos em todo o processo de classificação das partículas. Ao técnico João, por estar presente me auxiliando no processo de testes mecânicos, e coleta de dados.

Ao pessoal do Laboratório de Acústica e Vibrações (LAV) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), onde tive a oportunidade de aprender um pouco mais sobre acústica e sua relação com a programação e eletrônica. Ao Prof. Pedro Nishida, por me abrir as portas da instituição e me ceder as instalações de seu laboratório, dando suporte para a análise do comportamento acústico do material.

Agradeço também as pessoas que fizeram parte do processo e foram suporte em logística, empatia e incentivo. Às minhas madrinhas, por me receber com carinho e entusiasmo. À Laiza, por me abrigar e me apresentar mais a fundo os benefícios mentais da filosofia. À Barbara, William e Arthur por sempre me fazer sentir que amigos também são família. À Nataly e Rômulo, que sempre acreditaram no potencial do meu trabalho e me receberam com carinho e atenção. À Renata pela disposição em compartilhar conhecimento e entusiasmo em relação a pesquisa. E por fim, às minhas irmãs japonesas, que sempre mantêm meu coração confortado, e me fazem sentir que a beleza do aprender é um bem valioso.



## RESUMO

O presente trabalho trata da verificação da viabilidade da produção de painéis aglomerados MDP (Medium Density Particleboard) não estruturais para uso interno em condições secas a partir de partículas de *Bambusa vulgaris var. vittata* e ácido cítrico (AC), e da caracterização física, mecânica e acústica dos pilotos produzidos. Foram avaliados 4 tratamentos onde variou-se a granulometria (partículas retidas nas peneiras com abertura 2,80 mm e 0,71 mm, 7 mesh e 24 mesh respectivamente) e a densidade ( $0,55 \text{ g/cm}^3$  e  $0,75 \text{ g/cm}^3$ ). De modo geral, o tratamento que obteve melhor desempenho nos ensaios foi aquele que combinou as partículas de maior dimensão, e de maior densidade. Esse tratamento atendeu aos requisitos apresentados na NBR 14.810-2/18 para painéis tipo P2 de uso não estrutural em ambientes secos em relação ao inchamento em espessura, módulo de elasticidade e tração perpendicular. O mesmo ocorreu com os ensaios de parâmetros acústicos, nos quais esse tratamento alcançou melhor potencial de desempenho em relação a perda de transmissão e ao coeficiente de absorção sonora.

**Palavras-chave:** Painéis aglomerados de bambu; Ácido cítrico; Acústica



## ABSTRACT

The present paper brings under discussion the feasibility verification of the non-structural MDP (Medium Density Particleboard) production for indoor use and dry conditions based on *Bambusa vulgaris var.vittata* particles and citric acid likewise the physical, mechanical and acoustical characterization of the produced pilots. Four treatments were assessed and the granulometry has varied (the retained particles in the following sieve openings of 2,80 mm and 0,71 mm, 7 mesh and 24 mesh respectively) and the densities (0,55 g/cm<sup>3</sup> e 0,75 g/cm<sup>3</sup>). In general, the treatment that obtained the best performance in the trials was the one that combined larger particles and higher density. This treatment met the requirements presented in the NBR 14.810-2/18 for non-structural P2 type panels in dry ambient with regard to thickness swelling, modulus of elasticity and perpendicular tension. The same occurred with the acoustic parameters test in which this treatment reached best performance potential in relation to transition loss and sound absorption coefficient.

**Keywords:** Bamboo particleboard, Citric Acid, Acoustic.



## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Painéis de Madeira Reconstituída.....</b>	<b>9</b>
2.1.1 Definição .....	9
2.1.2 Os Painéis de madeira reconstituída e o mercado brasileiro .....	11
2.1.3 Painéis acústicos de aglomerados de fibras naturais .....	13
2.1.4 Adesivos .....	19
<b>2.2 O Potencial do Bambu .....</b>	<b>21</b>
2.2.1 Considerações gerais.....	21
2.2.2 Características botânicas do bambu .....	27
2.2.2.1 Características morfológicas .....	27
2.2.2.2 Características anatômicas .....	29
2.2.2.3 Características químicas .....	31
2.2.3 Painéis de material madeireiro reconstituído com bambu .....	31
2.2.4 Potencial acústico dos painéis de material madeireiro reconstituído com bambu .....	32
<b>2.3 Conceitos gerais de acústica .....</b>	<b>34</b>
2.3.1 Definição e propriedades do som .....	34
2.3.1.1 Frequência .....	34
2.3.1.2 O Comprimento de onda .....	35
2.3.1.3 Difração e refração do som .....	36
2.3.1.4 Reflexão do som .....	36
2.3.1.5 Inteligibilidade .....	36
2.3.1.6 Reverberação.....	37
2.3.1.7 Intensidade sonora.....	37
2.3.2 Avaliação da intensidade sonora e o decibel.....	37
2.3.3 Mecanismos da audição e reação das pessoas ao som.....	39



<b>2.4 O comportamento Acústico dos Materiais e o Condicionamento de Recintos Fechados</b> .....	<b>41</b>
2.4.1 O Ruído.....	41
2.4.2 Condicionamento de recintos .....	43
2.4.2.1 Tempo de reverberação .....	43
2.4.3 Comportamento acústico dos materiais.....	44
2.4.4 Absorção sonora .....	45
2.4.4.1 Painel ressonante.....	48
2.4.5 Isolamento acústico.....	48
2.4.6 Painéis difusores .....	49
<b>CAPÍTULO 3 - PROGRAMA EXPERIMENTAL</b> .....	<b>51</b>
<b>3.1 Etapa 01: Análise exploratória</b> .....	<b>53</b>
3.1.1 Escolha da espécie .....	54
3.1.2 Aquisição da matéria-prima.....	55
3.1.3 Processamento das partículas .....	57
3.1.4 Preparação da mistura .....	60
3.1.5 Determinação das dimensões dos painéis piloto executados na primeira etapa .....	62
3.1.6 Formação dos colchões .....	63
3.1.7 Prensagem.....	64
<b>3.2 Etapa 02: Produção dos pilotos para caracterização física e mecânica</b> .....	<b>67</b>
3.2.1 Determinação das dimensões dos painéis piloto .....	67
3.2.2 Definição dos tratamentos .....	70
3.2.3 Confirmação da espécie.....	70
3.2.4 Produção dos painéis piloto .....	71
<b>3.3 Ensaios de Caracterização Física e Mecânica</b> .....	<b>72</b>
3.3.1 Preparação dos corpos de prova .....	72
3.3.2 Ensaios de caracterização física dos painéis da série 2 .....	73
3.3.2.1 Densidade aparente .....	73
3.3.2.2 Inchamento e espessura (IE) e absorção de água (AA) .....	74
3.3.2.3 Resistência a tração perpendicular .....	75



3.3.2.4 Ensaio de flexão estática e os módulo de elasticidade e módulo de ruptura 77

**3.4 Avaliação de Parâmetros Acústicos.....78**

3.4.1 Absorção sonora pelo método do tubo de impedância ..... 78

3.4.2 Decaimento de Nível sonoro ..... 81

**CAPÍTULO 4 – RESULTADOS EXPERIMENTAIS: APRESENTAÇÃO E ANÁLISES  
..... 85**

**4.1 Propriedades Físicas dos Painéis Aglomerados MDF de Bambu e Ácido  
Cítrico ..... 86**

4.1.1 Densidade aparente ..... 86

4.1.2 Inchamento e espessura (IE) ..... 88

**4.2 Propriedades Mecânicas dos Painéis Aglomerados de Bambu e Ácido Cítrico  
..... 91**

4.2.1 Resistência a tração perpendicular (TP) ..... 91

4.2.2 Módulo de Elasticidade (MOE) ..... 92

4.2.3 Módulo de ruptura (MOR);..... 93

**4.3 Discussões sobre as propriedades físicas e mecânicas ..... 94**

4.2.4 Teste de interação para os fatores densidade e granulometria ..... 95

**4.4 Propriedades Acústicas ..... 98**

4.4.1 Absorção sonora pelo método do tubo de impedância ..... 98

4.4.2 Perda de transmissão ..... 100

**CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS  
..... 102**

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 105**



## LISTA DE TABELAS

**Tabela 01:** Principais aspectos que influenciam o impacto ambiental no AVC do MDP brasileiro;

**Tabela 02:** Propriedades do Ácido Cítrico;

**Tabela 03:** Dimensões das fibras de espécies de bambu;

**Tabela 04:** Classificação das ondas sonoras conforme a frequência;

**Tabela 05:** Níveis de pressão sonora;

**Tabela 06:** Absorção sonora de pessoas e mobiliário em m<sup>2</sup> (Sabine);

**Tabela 07:** Constantes de absorção sonora do ar (m) a 25°C;

**Tabela 08:** Descrição dos tratamentos adotados nos painéis da série 1;

**Tabela 09:** Descrição dos tratamentos adotados nos painéis série 2;

**Tabela 10:** Percentual de umidade conforme a granulometria após secagem em estufa a 80°C por 4h;

**Tabela 11:** Altura dos colchões;

**Tabela 12:** Requisitos e propriedades mecânicas para painéis não estruturais de uso interno em condições secas.

**Tabela 13:** Descrição dos tratamentos adotados na série 2;

**Tabela 14:** Umidade das partículas após o tratamento;

**Tabela 15:** Normas e referências utilizadas como base para os ensaios;

**Tabela 16:** Densidade aparente por tratamento dos painéis da série 2;

**Tabela 17:** Percentual médio do inchamento 24h por tratamento;

**Tabela 18:** Comparativo Inchamento em Espessura 24h;

**Tabela 19:** Percentual de absorção de água;

**Tabela 20:** Comparativo absorção de água;

**Tabela 21:** Tração Perpendicular (N/mm<sup>2</sup>);

**Tabela 22:** Módulo de Elasticidade - MOE (N/mm<sup>2</sup>);

**Tabela 23:** Comparativo Módulo de Elasticidade;

**Tabela 24:** Módulo de Ruptura - MOR (N/mm<sup>2</sup>);

**Tabela 25:** Densidade aparente pilotos pilotos da série 1;

**Tabela 26:** Redução de transmissão sonora;



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Ilustração sobre o ruído urbano.....	1
<b>Figura 2:</b> Infográfico sobre o mercado de acústica no Brasil. ....	3
<b>Figura 3:</b> a) Painel de fibra de madeira; b) Lã de rocha; c) Lã de vidro. ....	4
<b>Figura 4:</b> Produção brasileira de painéis de madeira em 2017. ....	4
<b>Figura 5:</b> Cadeira produtiva do setor florestal.....	9
<b>Figura 6:</b> Infográfico sobre a produção de PMR no Brasil. ....	11
<b>Figura 7:</b> Distribuição geográfica das unidades produtoras de PMR no Brasil.....	12
<b>Figura 8:</b> Exemplos de painéis de absorção acústica feitos a partir de painéis de PMR. .....	13
<b>Figura 9:</b> Painéis a base de fibra de madeira e cimento portland da empresa Celenit. .....	14
<b>Figura 10:</b> Painel aglomerado de fibra de côco. ....	15
<b>Figura 11:</b> Painel aglomerado da fibra de bananeira. ....	16
<b>Figura 12:</b> Coeficiente de absorção aferido para pilotos de espessura 25mm, 50mm e 75mm.....	17
<b>Figura 13:</b> Coeficiente de absorção aferido para pilotos de densidade 60kg/m <sup>3</sup> , 120kg/m <sup>3</sup> e 180kg/m <sup>3</sup> . ....	17
<b>Figura 14:</b> Dimensão partículas. a) Lã: 50 mm de comprimento, 0,2 a 0,5 mm de espessura e 3 a 4 mm de largura; b) Médias: largura de 2 a 3 mm, espessura de 0,5 mm e comprimento de 10 mm; c) Finas: Retidas na peneira de malha de 10 mesh; 18	
<b>Figura 15:</b> Coeficientes de absorção sonora para o aglomerado de partículas de baixa e média densidade.....	18
<b>Figura 16:</b> Representação molecular do ácido cítrico.....	20
<b>Figura 17:</b> Infográfico sobre o uso diversificado da matéria-prima bambu.....	22
<b>Figura 18:</b> Ilustração da presença de florestas endêmicas de bambu no planeta....	23
<b>Figura 19:</b> Infográfico acerca das vantagens de cultivo do bambu. ....	24
<b>Figura 20:</b> Exemplo de aplicação do bambu em arquitetura. ....	25
<b>Figura 21:</b> Utilização do bambu na produção de mobiliário em escala industrial. ....	25
<b>Figura 22:</b> Utilização do bambu no tratamento de esgoto. ....	26
<b>Figura 23:</b> Países membros do INBAR.....	26
<b>Figura 24:</b> Partes do bambu. ....	27
<b>Figura 25:</b> Rizoma tipo alastrante.....	28



<b>Figura 26:</b> Rizoma do tipo entouceirante.....	29
<b>Figura 27:</b> Distribuição dos feixes vasculares na região do nó.....	30
<b>Figura 28:</b> Mapa esquemático de Biomas Brasileiros identificando a presença de bambu.....	31
<b>Figura 29:</b> Ilustração da propagação da onda sonora.....	34
<b>Figura 30:</b> Ilustração da frequência sonora.....	35
<b>Figura 31:</b> Ilustração do comprimento de onda.....	36
<b>Figura 32:</b> Ilustração da via de recepção sonora (corte frontal coronal).....	40
<b>Figura 33:</b> Curvas isofônicas.....	41
<b>Figura 34:</b> Representação do comportamento da onda sonora em contato com o material.....	45
<b>Figura 35:</b> Painel ressoador em Bambu Laminado Colado.....	48
<b>Figura 36:</b> Painel difusor QRD67.....	50
<b>Figura 37:</b> <i>Bambusa vulgaris var. vittata</i> Rivière & C. Rivière, sinônimo heterotípico da espécie <i>Bambusa vulgaris</i> Schrad. ex J.C.Wendl.....	55
<b>Figura 38:</b> Touceira de <i>Bambusa vulgaris var. vittata</i> , coleção de bambus da UFG..	56
<b>Figura 39:</b> Parte do colmo de bambu.....	57
<b>Figura 40:</b> Moinho de martelo.....	58
<b>Figura 41:</b> Peneira de classificação.....	59
<b>Figura 42:</b> Caracterização das partículas selecionadas.....	59
<b>Figura 43:</b> Preparação da solução de ácido cítrico.....	60
<b>Figura 44:</b> Estufa de secagem das partículas.....	60
<b>Figura 45:</b> Termobalança.....	61
<b>Figura 46:</b> Formação do colchão tratamento E.....	63
<b>Figura 47:</b> a) Prensa hidráulica; b) Prensa elétrica quente; c) Termômetro digital....	64
<b>Figura 48:</b> Painel tratamento A, realizado na etapa 01.....	65
<b>Figura 49:</b> Painel tratamento B, realizado na etapa 01.....	66
<b>Figura 50:</b> Painel tratamento C, realizado na etapa 01.....	66
<b>Figura 51:</b> Painel tratamento D, realizado na etapa 01.....	67
<b>Figura 52:</b> Plano de corte dos corpos de prova. Onde: TP (tração perpendicular), FE (flexão estática), AA (absorção de água) e IE (inchamento em espessura). .....	69
<b>Figura 53:</b> Exsicata <i>Bambusa vulgaris var. vittata</i> Rivière & C. Rivière, n° 66.709, herbário UFG.....	71



<b>Figura 54:</b> Pontos da superfície do painel a serem adotados para a aferição da espessura. ....	73
<b>Figura 55:</b> Aferição de medidas dos corpos de prova com micrômetro. ....	74
<b>Figura 56:</b> Imersão dos corpos de prova. ....	75
<b>Figura 57:</b> Corpos de prova sendo preparados para cura do adesivo em prensa manual. ....	76
<b>Figura 58:</b> Teste de Tração Perpendicular ....	76
<b>Figura 59:</b> Ensaio de Flexão Estática. ....	78
<b>Figura 60:</b> Esquema do tubo de impedância do LAV-UFU. ....	80
<b>Figura 61:</b> Exemplo de amostras inseridas no tubo de impedância. ....	81
<b>Figura 62:</b> Diagrama de representação da ação da barreira acústica sem material absorvente. ....	81
<b>Figura 63:</b> Diagrama de representação da ação da barreira acústica sem material absorvente. ....	82
<b>Figure 64:</b> Esquema da caixa de verificação do potencial de TL. ....	83
<b>Figura 65:</b> Itens utilizados para ensaio de decaimento sonoro. ....	84
<b>Figura 66:</b> Painel MDP de Bambu e Ácido Cítrico produzido, tratamento C. ....	86
<b>Figura 67:</b> Teste de interação da Densidade em relação ao MOR ....	95
<b>Figura 68:</b> Teste de interação da Densidade em relação a TP. ....	96
<b>Figura 69:</b> Teste de interação da Granulometria em relação ao MOR. ....	97
<b>Figura 70:</b> Teste de interação da Granulometria em relação a TP. ....	97
<b>Figura 71:</b> Coeficiente de absorção sonora em função das bandas de frequência do tratamento A. ....	99
<b>Figura 72:</b> Coeficiente de absorção sonora em função das bandas de frequência do tratamento B. ....	99
<b>Figura 73:</b> Coeficiente de absorção sonora em função das bandas de frequência do tratamento C. ....	99
<b>Figura 74:</b> Coeficiente de absorção sonora em função das bandas de frequência do tratamento D. ....	100



## LISTA DE EQUAÇÕES

**Equação 01:** Cálculo do Decibel;

**Equação 02:** Cálculo do nível de intensidade sonora relativa expressa em dB;

**Equação 03:** Cálculo do nível de pressão sonora relativa expressa em dB

**Equação 04:** Cálculo do tempo de reverberação;

**Equação 05:** Cálculo do coeficiente de redução sonora;

**Equação 06:** Cálculo da capacidade de absorção sonora da superfície;

**Equação 07:** Cálculo da absorção total dos recintos;

**Equação 08:** Cálculo da capacidade de isolamento acústico para 500Hz;

**Equação 09:** Cálculo de inchamento em espessura;

**Equação 10:** Cálculo de absorção de água;

**Equação 11:** Cálculo da tração perpendicular;

**Equação 12:** Cálculo do módulo de ruptura;

**Equação 13:** Cálculo do módulo de elasticidade;

**Equação 14:** Cálculo do coeficiente de absorção sonora;

**Equação 15:** Cálculo do decaimento do nível sonoro;

**Equação 16:** Cálculo da perda de transmissão;



## LISTA DE ABREVIATURAS

- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas;
- ABINCI** - Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente;
- ABIPA** – Associação Brasileira dos Painéis de Madeira;
- AC** - Ácido Cítrico;
- ANOVA** – Análise de Variância;
- AASCOM** – Acessoria de Comunicação;
- AVC** – Análise do Ciclo de Vida;
- BaLC** – Bambu Laminado Colado;
- BPF** – Baixo Ponto de Fluidez;
- FIB** - Food Ingredients Brasil;
- IBÁ** – Indústria Brasileira de Árvores;
- IBAMA** – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis;
- INBAR** - International Bamboo and Rattan Organization;
- IUPAC** – União Internacional de Química Pura Aplicada;
- LAMAGRI** - Laboratório de Máquinas Agrícolas;
- LQMBio** - Laboratório da Qualidade da Madeira;
- LPF** - Laboratório de Produtos Florestais;
- LAV** – Laboratório de Acústica e Vibrações;
- MDF** - Medium Density Fiberboard;
- MDP** – Medium Density Particleboard;
- NMBA** - National Mission on Bamboo Applications;
- MMA** – Ministério do Meio Ambiente;
- ONU** – Organização das Nações Unidas;
- PBQP** – Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat;



## CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das cidades tal como assistimos hoje traz consigo várias consequências em relação à saúde e qualidade de vida dos usuários, dentre elas, o ruído.

Pode-se observar que o ruído no ambiente urbano tem uma intrínseca relação com o aumento da densidade populacional e a complexificação dos usos. Entende-se como ruído a oscilação sonora intermitente e aleatória, no entanto, esse conceito tem também sua parte subjetiva, pois os sons indesejáveis sejam eles de qualquer natureza, também podem ser considerados ruídos.

Várias pesquisas versam sobre os malefícios causados pela exposição ao ruído. Além de estresse e prejuízo da concentração nas atividades e do entendimento das comunicações, eles podem se manifestar em perda parcial da audição, distúrbios gastrointestinais e cardiovasculares, problemas respiratórios, hormonais bem como no sistema nervoso.



**Figura 1:** Ilustração sobre o ruído urbano.  
**Fonte:** Conceito.de (2019).



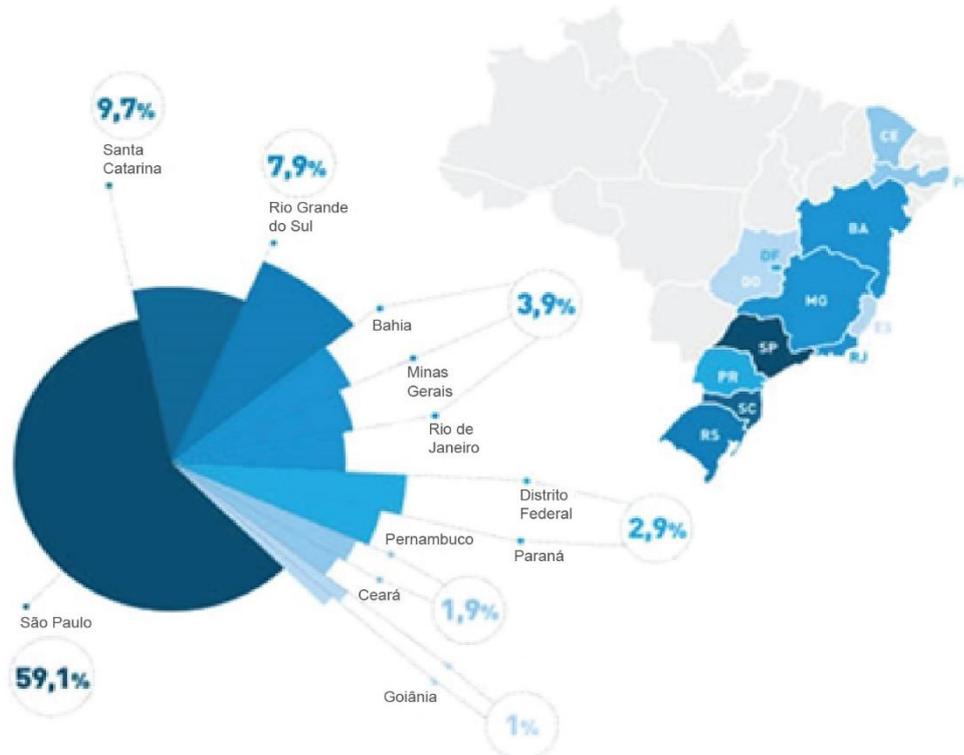
Observando os malefícios do ruído entende-se que para que haja conforto e eficiência na utilização das edificações e do espaço urbano, as questões de qualidade acústica devem ser devidamente consideradas. No contexto brasileiro, essa perspectiva é endossada por uma série de normativas.

Destaca-se entre elas, a ABNT NBR 15.575/13, que versa sobre os requisitos e critérios a serem adotados no projeto e construção de edificações habitacionais, visto que esta tipologia representa uma parcela significativa do espaço urbano construído e nela foi amplamente considerada as questões acústicas.

Outro parâmetro importante é a ABNT NBR 10.152/17, revisada recentemente, que apresenta índices de nível de pressão sonora adequados ao uso de diversos ambientes.

Afim de promover o condicionamento de recintos fechados cujos parâmetros são dados pelas normativas citadas acima, é necessário pesquisar e produzir materiais e componentes construtivos com propriedades acústicas. Atualmente, a pesquisa, o desenvolvimento e a produção de materiais e componentes acústicos ainda é pouco explorada no contexto brasileiro.

A Associação Brasileira para a Qualidade Acústica (Proacústica), promoveu um estudo sobre o mercado de acústica no Brasil em 2014, e identificou que de modo expressivo, as empresas se concentram na região sudeste do país. A pesquisa deu-se com base nas empresas associadas e também empresas e profissionais do mercado acústico em geral.



**Figura 2:** Infográfico sobre o mercado de acústica no Brasil.  
**Fonte:** PROACÚSTICA (2017).

A qualidade acústica dos ambientes está diretamente relacionada com a reflexão, absorção e transmissão do som. O recurso comumente utilizado para o controle de ruídos em ambientes internos é a aplicação de materiais de revestimento com propriedades de absorção, isolamento, reflexão e difusão sonora.

Em relação à absorção sonora, materiais com bom desempenho são materiais macios, porosos ou fibrosos. A variação de capacidade de absorção conforme as faixas de frequência, pode ser explicada pelas dimensões e formato dos poros ou fibras desses materiais.

O comportamento acústico também pode ser alterado conforme o processo de instalação, a aplicação de tintas e outros elementos. Existe uma diversidade de materiais e componentes absorvedores disponíveis no mercado, sendo eles de diversas origens tais como a mineral, lã de vidro e lã de rocha, e os oriundos de matéria-prima renovável como os painéis de fibra de madeira.



**Figura 3:** a) Painel de fibra de madeira; b) Lã de rocha; c) Lã de vidro.  
**Fonte:** a) knaufamf (2018) b) Refratil (2018) c) Refratil (2018).

Ao pensar em consumo e produção em escala, avaliar o gasto energético e prejuízo ambiental dos produtos e materiais se faz pertinente e necessário. Neste sentido, as pesquisas que busquem desenvolver produtos a partir de matérias-primas renováveis são importantes.

Os painéis de madeira reconstituída (PMR) são uma alternativa para componentes acústicos cuja matéria-prima seja de origem renovável e têm sido a estratégia utilizada pela indústria madeireira mundial, a fim de substituir e atender as demandas por madeira em diversos usos, principalmente no âmbito da construção civil.

Ibá (2018) indica que o Brasil ocupa atualmente uma importante posição na produção de painéis de madeira, sendo o oitavo maior produtor mundial. Em 2017 a produção estimada foi de 7,9 milhões de metros cúbicos, sendo que cerca de 90% desses painéis são consumidos pelo mercado interno.



**Figura 4:** Produção brasileira de painéis de madeira em 2017.  
**Fonte:** IBÁ (2018)



Dentre os tipos de painéis de madeira reconstituída têm-se os aglomerados, que são produtos oriundos da mistura de partículas de materiais lignocelulósicos, com a adição de adesivos e a submissão a pressão e temperatura. No Brasil, a produção desse tipo de painel utiliza majoritariamente pinus e eucalipto triturados e resinas sintéticas termofixas a base de formaldeído.

No entanto, a análise do ciclo de vida (AVC) do painel particulado no contexto brasileiro identificou que os pontos mais impactantes da produção dos painéis aglomerados, em termos ambientais, se dão em relação ao uso da resina ureia-formaldeído (UF), devido ao potencial carcinogênico da liberação de formol ou formaldeído em sua forma gasosa durante a produção dos painéis e do óleo BPF (baixo ponto de fluidez) utilizados nos equipamentos das linhas de produção. (SILVA, 2012)

Conforme a ABNT (2015), há políticas nacionais com o objetivo de minorar a emissão de formaldeído através de normas e certificações como por exemplo o Rótulo Ecológico ABNT. Essa certificação tem como objetivo reconhecer produtos e processos de produção com desempenho ambiental superior, sendo um dos critérios avaliados a emissão de formaldeído ( $\leq 8\text{mg}/100\text{g}$ ).

Outro ponto a ser considerado é que, apesar de a madeira ser um recurso renovável, a prática de monocultivo de florestas plantadas apresenta sérios prejuízos ao ecossistema, e sua produção implica em utilização de recursos não renováveis. (SILVA, 2012)

Dentro deste contexto a pesquisa de adesivos bioderivados para a confecção de painéis aglomerados se encontra em ascensão, bem como a pesquisa de materiais que possam complementar ou substituir a madeira de florestas plantadas.

Koizumi *et al* (2002) publicou um trabalho em que foram produzidos painéis de fibra de bambu que foram avaliados os índices de absorção e isolamento sonoro. Os resultados obtidos foram promissores, tanto em relação aos índices de absorção e isolamento que em alguns casos se assemelharam aos oferecidos por materiais convencionais, quanto pela utilização do bambu, matéria-prima de origem



lignocelilósica madeireira, amplamente disponível em várias regiões do planeta, de baixo custo, alto desempenho em absorção de CO<sub>2</sub>, entre outras vantagens.

Karlinasari *et al* (2012) desenvolveu um estudo semelhante, no entanto, os painéis foram produzidos com partículas de bambu, e não fibras. As vantagens dessa aplicação é que o beneficiamento do bambu se dá somente de forma mecânica, não havendo necessidade de processos químicos como o da polpação, utilizado para obter as fibras. Os resultados em relação aos índices de absorção e isolamento também se mostraram promissores.

Umemura *et al* (2012), iniciou trabalhos em relação a produção de aglomerados de madeira com a utilização de ácido cítrico como adesivo bioderivado. O uso dessa substância tem grandes vantagens, pois ela é amplamente adotada na indústria alimentícia, apresenta baixo custo e não é tóxica. Apesar do mecanismo de adesão não ser completamente elucidado, entende-se que haja a formação de ligações de éster entre o ácido cítrico e a madeira, que são fomentadas pelo mecanismo denominado “self-bonding” (adesão de partículas sem adição de adesivos) devido a aplicação de altas temperaturas.

Nakamura (2018) concluiu uma pesquisa com a produção de painéis aglomerados de fibra (material oriundo de trituração) de coco-da-baía e ácido cítrico como adesivo. Alguns painéis atenderam o especificado pela norma brasileira para painéis aglomerados ABNT NBR 14.810/18, além de apresentar boas condições de estanqueidade e estabilidade dimensional.

Sendo assim, o presente trabalho pesquisa a viabilidade da utilização do bambu como alternativa às partículas de madeira juntamente com a adoção do ácido cítrico como adesivo bioderivado na produção de painéis aglomerados. A intenção é adotar esse material para o condicionamento acústico de recintos com a função de absorção sonora devido a sua estrutura fibrosa.

A hipótese é de que os pilotos possam apresentar-se como uma alternativa promissora em relação ao desenvolvimento de um produto com performance



ambiental e acústica relevante devido as matérias-primas (tanto o bambu quanto o ácido cítrico) adotadas serem locais, de baixo custo e impacto ambiental.

### **Objetivo geral**

O objetivo geral deste trabalho é verificar a viabilidade da produção de painéis particulados (MDP) a partir da espécie *Bambusa vulgaris var. Vittata*, utilizando como adesivo o ácido cítrico, variando a densidade e a granulometria, e posteriormente aferir as propriedades físicas, mecânicas e acústica do material produzido.

### **Objetivos específicos**

- a) Estudar o potencial do ácido cítrico na aplicação como adesivo para a fabricação experimental de painéis de partículas de bambu MDP (Medium density particleboard).
- b) Estudar o potencial acústico dos painéis MDP de partículas de bambu produzidos.
- c) Considerar o fator sustentabilidade na produção de painéis MDP com propriedades acústicas empregando uma espécie de bambu endêmica, a *Bambusa vulgaris var. vitatta*.
- d) Examinar o aproveitamento total do colmo de bambu, tendo em vista a redução da produção de resíduos.
- e) Avaliar o desempenho do painel MDP de partículas de *Bambusa vulgaris var. vitatta* em relação às normas técnicas pertinentes a painéis de madeira reconstituída.
- f) Procurar identificar aquelas propriedades de painéis de partículas de bambu que concorrem para aumentar o seu desempenho acústico.
- g) Avaliar a influência da granulometria e da densidade na resistência mecânica dos painéis MDP de bambu.

### **Estrutura do trabalho**

O presente trabalho está estruturado em 4 capítulos. O primeiro é composto pela revisão bibliográfica. Nesta etapa é apresentada uma revisão da literatura a respeito dos conceitos e temáticas relativas a esta pesquisa, como os conceitos gerais de painéis aglomerados e dos adesivos, do potencial do uso do bambu, de acústica e condicionamento de recintos fechados.



No capítulo 2 aborda-se o programa experimental que descreve a metodologia utilizada na produção dos painéis e na realização dos experimentos. O terceiro capítulo apresenta os resultados experimentais e as análises efetuadas acerca dos dados obtidos nos experimentos. E por fim, têm-se o capítulo 4, no qual são apresentadas as conclusões relativas às análises dos dados, bem como a proposição de trabalhos futuros.

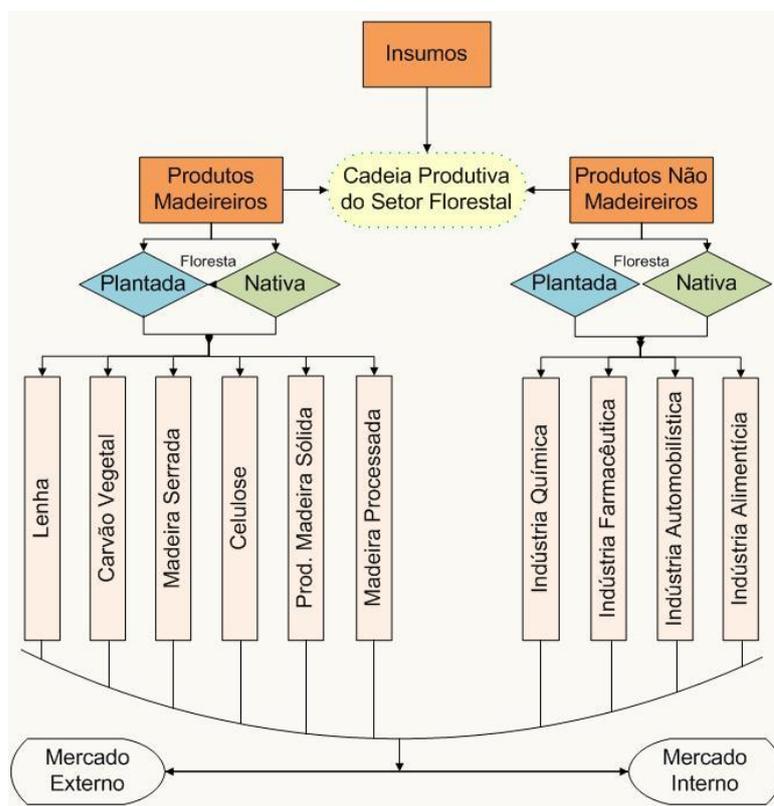


## CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Painéis de Madeira Reconstituída

#### 2.1.1 Definição

Conforme a ABIMCI (2018), o setor florestal e seus subprodutos são divididos em dois subgrupos, os madeireiros e os não-madeireiros (figura 05). No primeiro, enquadra-se a maioria dos produtos comuns ao cotidiano como as madeiras, bambus entre outros.



**Figura 5:** Cadeia produtiva do setor florestal.  
**Fonte:** SNIF (2018).

Esse setor apresenta grande importância na economia mundial, pois atua como fornecedor de matéria-prima para a indústria da construção civil e de energia para diversas outras plantas produtivas. No Brasil, destaca-se o fato de termos em nosso território abundantes recursos florestais, “sendo o único que possui extensas áreas de florestas tropicais”. (SNIF, 2018)



Em relação ao mercado de painéis, têm-se a madeira reconstituída como alternativa a sua utilização *in natura*, o que implica em maior otimização e aproveitamento da matéria-prima.

Os painéis de madeira reconstituída (PMR) são fabricados a partir do processamento da madeira que passa por processos de desagregação mecânicos e/ou químicos. No primeiro processo têm-se lâminas ou partículas e no segundo, apresenta-se um estágio mais acentuado de desagregação, as fibras. Os tipos de painéis são caracterizados conforme sua produção.

Conforme Souza (2002), os painéis MDF (Medium Density Fiberboard) são produzidos a partir da mistura das fibras com adesivos e prensagem a quente. Apresentam acabamento homogêneo e superfície lisa. Sua produção é mais cara e sofisticada se comparada aos produtos oriundos de processos mecânicos.

Já o MDP (Medium Density Particleboard), também denominado de aglomerado, é produzido a partir de partículas selecionadas e aglutinadas com o uso de adesivos e prensadas a quente. São fabricados geralmente com o uso de uréia-formaldeído, o que limita seu uso para ambientes internos, sendo que o adesivo é o item mais caro da mistura.

Souza (2002), também coloca que o compensado, produzido a partir da colagem de lâminas de madeira, apesar de ser o produto oriundo de madeira com maior resistência mecânica disponível no mercado, apresenta desvantagens em relação aos outros. Sendo elas a dimensão limitada, o alto custo de produção e o fato de o processo de produção ser seletivo em relação às espécies de árvores que servem como matéria-prima.

A produção de chapas OSB (*Oriented Strandboard*) é semelhante a do compensado, exceto por ser composta de partículas longas, largas e finas (flakes ou stands). Podem alcançar o desempenho mecânico dos compensados, no entanto seu acabamento superficial é rugoso.



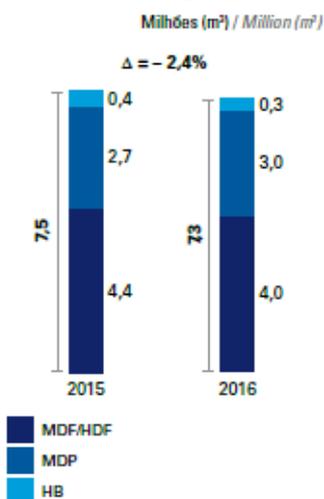
## 2.1.2 Os Painéis de madeira reconstituída e o mercado brasileiro

Os painéis de madeira reconstituída (PMR) são uma alternativa para componentes acústicos cuja matéria-prima seja de origem renovável, e têm sido a estratégia utilizada pela indústria madeireira mundial, a fim de substituir e atender as demandas por madeira em diversos usos principalmente no âmbito da construção civil.

Ibá (2017) indica que o Brasil ocupa atualmente uma importante posição na produção de painéis de madeira, sendo o sétimo maior produtor mundial. Em 2016, a produção estimada foi de 7,3 milhões de metros cúbicos, sendo que 86% desses painéis são consumidos pelo mercado interno, conforme é apresentado no infográfico abaixo.

### PRINCIPAIS INDICADORES DO SEGMENTO DE PAINÉIS DE MADEIRA RECONSTITUÍDA MAIN INDICATORS IN THE RECONSTITUTED WOOD PANEL SEGMENT

#### Produção brasileira de painéis de madeira reconstituída Brazilian production of reconstituted wood panels



#### Principais produtores mundiais Main producers worldwide

	Pais / Country	Produção Milhões (m <sup>3</sup> ) / Production Million (m <sup>3</sup> )
1º	China / China	83,6
2º	EUA / USA	19,3
3º	Alemanha / Germany	10,6
4º	Canadá / Canada	9,9
5º	Rússia / Russia	9,2
6º	Turquia / Turkey	9,2
7º	Polônia / Poland	8,2
8º	Brasil / Brazil	7,3
9º	França / France	4,9
10º	Tailândia / Thailand	4,9

#### Destino dos painéis brasileiros Destinations for brazilian panels

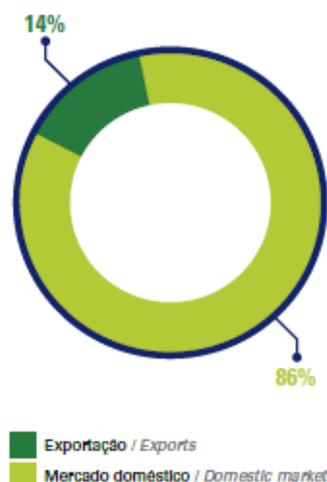


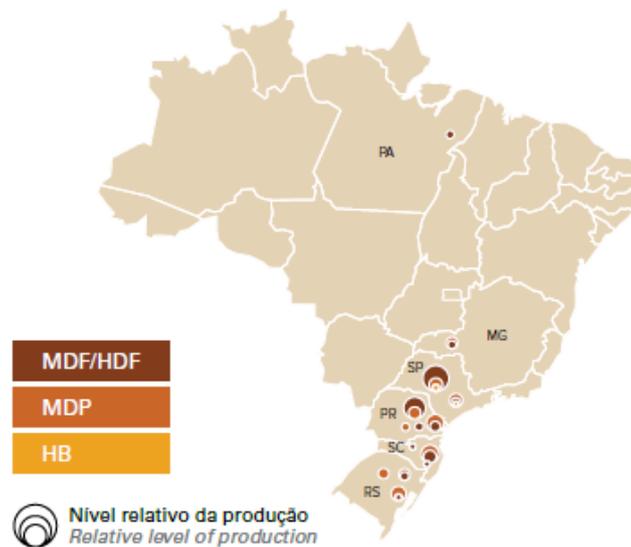
Figura 6: Infográfico sobre a produção de PMR no Brasil.  
Fonte: IBÁ (2017).

Há inúmeras vantagens na utilização de PMR, como o aproveitamento integral da matéria-prima, a produção de painéis de dimensões flexíveis conforme a necessidade, possibilidade de trabalhar com resíduos, mais facilidade na impregnação de produtos repelentes a insetos (como cupins ou vespas), umidade e retardantes de fogo (os chamados aditivos), entre outras.



Os principais tipos presentes no mercado brasileiro são: MDP, MDF e OSB, sendo que a produção desses painéis apesar de ser robusta, concentra-se na região sul e sudeste do país (figura 07).

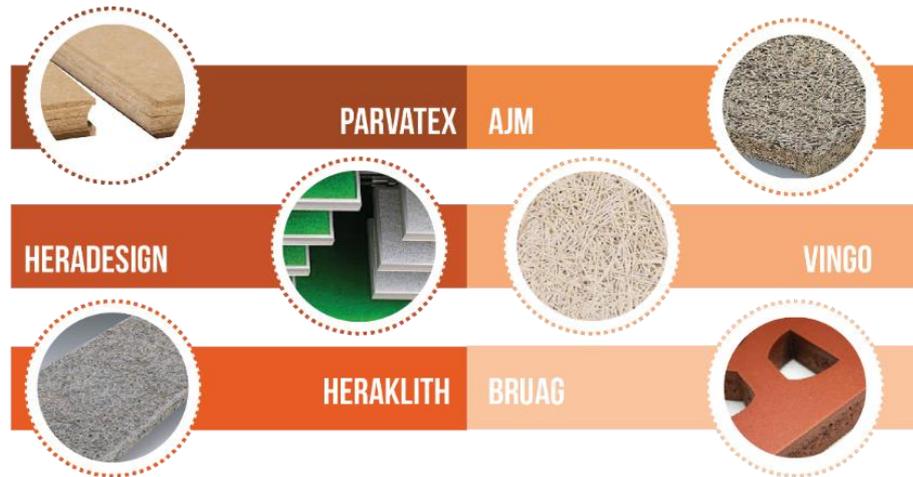
**DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DAS PRINCIPAIS UNIDADES  
PRODUTORAS DE PAINÉIS DE MADEIRA RECONSTITUÍDA**  
*GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION OF MAIN UNITS  
PRODUCING RECONSTITUTED WOOD PANELS*



**Figura 7:** Distribuição geográfica das unidades produtoras de PMR no Brasil.  
**Fonte:** IBÁ (2017).

Os painéis de madeira reconstituída são uma alternativa fortemente adotada pelas fábricas de componentes acústicos, sendo o painel de lâ de madeira comumente produzido e comercializado. Além de ser constituído a partir de matéria-prima renovável, podem receber diversos tratamentos que os tornam resistentes a ataques biológicos e ao fogo.

Na figura 08 é apresentado um infográfico que contém imagens, seguidas da indicação do nome das empresas responsáveis pela produção dos produtos representados, de painéis acústicos fabricados a partir de madeira reconstituída comercializados atualmente.



**Figura 8:** Exemplos de painéis de absorção acústica feitos a partir de painéis de PMR.  
**Fonte:** Autora (2018).

Dentre os vários tipos de painéis de madeira reconstituída têm-se os aglomerados que são produtos oriundos da mistura de partículas de materiais lignocelulósicos com a adição de adesivos e a submissão a pressão e temperatura. No Brasil, a produção desse tipo de painel utiliza majoritariamente pinus e eucalipto triturados e resinas sintéticas termofixas a base de formaldeído.

Há políticas nacionais com o objetivo de minorar a emissão de formaldeído através de normas e certificações como por exemplo o Rótulo Ecológico ABNT. Conforme a ABNT (2013) essa certificação tem como objetivo reconhecer produtos e processos de produção com desempenho ambiental superior, sendo alguns dos critérios avaliados a emissão de formaldeído ( $\leq 8\text{mg}/100\text{g}$ ), e o acompanhamento e exigência de certificação das matérias-primas.

### 2.1.3 Painéis acústicos de aglomerados de fibras naturais

As fibras naturais abordadas nos exemplos a seguir são obtidas a partir de um processamento mecânico da matéria-prima e os painéis produzidos a partir da aglomeração das mesmas.

Como citado anteriormente, os painéis absorvedores são comumente instalados em recintos fechados com o objetivo de diminuir o tempo de reverberação e melhorar a inteligibilidade das comunicações, e são produzidos de diversos materiais.



Dentre eles, têm-se os painéis aglomerados de partícula de madeira oriunda de floresta plantada, comumente vistos no mercado, como por exemplo aqueles produzidos com aglutinantes minerais. Na figura 09 pode ser observado um exemplo de painel absorvedor feito a partir de madeira reconstituída e aglutinantes de origem mineral, cimento portland e carbonato de cálcio.



**Figura 9:** Painéis a base de fibra de madeira e cimento portland da empresa Celenit.  
**Fonte:** Celenit (2018).

A pesquisa por materiais absorvedores oriundos de fibras naturais vem recentemente crescendo no Brasil. A título de demonstração das referências observadas para a organização desta pesquisa, apresenta-se os seguintes materiais: painéis de absorção acústica a partir da fibra de côco, de bananeira e do bambu.

Vieira (2008) desenvolveu e testou em sua dissertação de mestrado os painéis absorvedores a partir da fibra do côco. A matéria-prima já vinha sendo utilizada em diversos usos como a confecção de tapetes, cordas e painéis e é comumente beneficiada por pequenos produtores de maneira artesanal. O desenvolvimento do projeto, adotou parâmetros de pesquisa de demanda e design de produto com o intuito de produzir um bem que fosse absorvido pelo mercado e passível de ser



comercializado em escala. É um painel aglomerado multicamadas, a base de látex e fibra de côco.



**Figura 10:** Painel aglomerado de fibra de côco.  
**Fonte:** (VIEIRA, 2008).

O material foi produzido em diferentes espessuras e densidades. De forma geral, em ambos os ensaios para determinação do coeficiente de absorção, o painel Tipo III.2 (130kg/m<sup>3</sup> e 5cm de espessura feito em fibra de côco) apresentou um comportamento similar a espuma, sendo que nas baixas frequências mostrou-se mais eficiente.

Demarchi (2010), propôs o desenvolvimento de uma placa de revestimento visando à absorção acústica a partir da fibra do pseudocaule da bananeira, que uma vez extraído, caso não tenha uma destinação, serve de hospedeiro para o bicudo que pode depositar os ovos no rizoma e contaminar a nova planta.

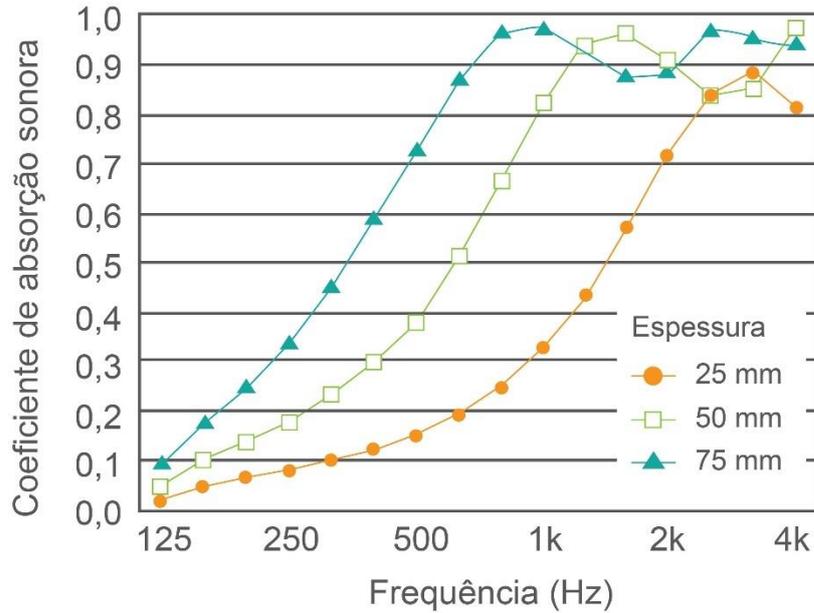
O processo se inicia com a colheita dos cachos e a extração dos pseudocaules. Após coleta, o processo se divide nas seguintes etapas: o corte ou desdobramento, o cozimento, polpação, centrifugação, prensagem e a secagem.



**Figura 11:** Painel aglomerado da fibra de bananeira.  
**Fonte:** (DEMARCHI, 2010).

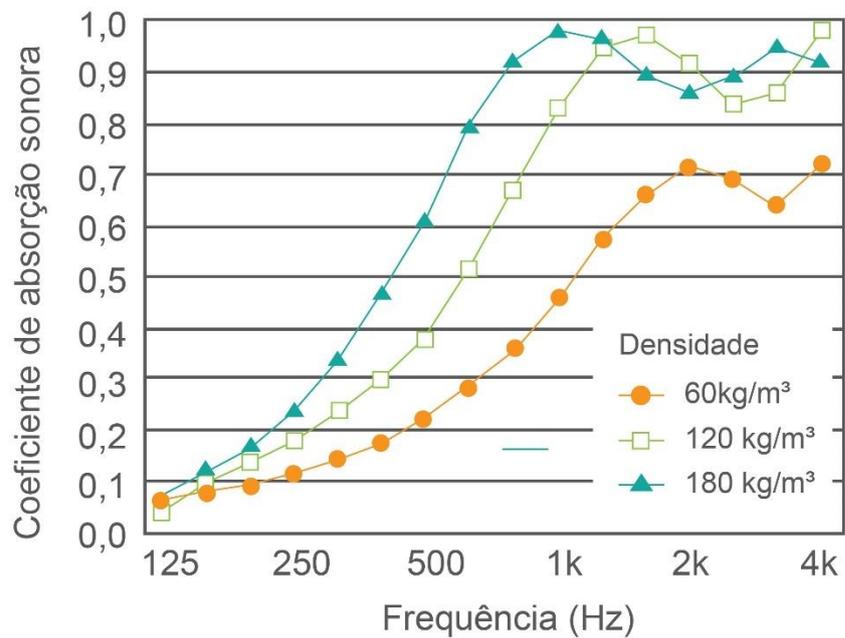
Nos testes de absorção sonora, as amostras com maior concentração de fibras em detrimento de polpa, alcançaram melhores resultados, independentemente da espessura. Em altas frequências, a absorção sonora do painel de fibra de bananeira aproxima-se ao desempenho de lã de rocha e lã de vidro. Com base na avaliação das experiências anteriores, percebemos que as investigações acerca de materiais absorventes a partir de fibras vegetais têm grande potencial.

Koizumi *et al* (2002), realizou uma experiência produzindo painéis MDF (Medium density fiberboard), nesse caso foi utilizada a fibra propriamente dita do bambu, obtida através de processos químicos de polpação, e não partículas denominadas fibras. Este estudo demonstrou que o material desenvolvido apresentou propriedades de absorção acústica equivalentes a lã de vidro, sendo que o coeficiente aumentou com o aumento da densidade e da espessura como pode ser visualizado nos gráficos a seguir:



**Figura 12:** Coeficiente de absorção aferido para pilotos de espessura 25mm, 50mm e 75mm.

**Fonte:** Koizumi et al (2002).



**Figura 13:** Coeficiente de absorção aferido para pilotos de densidade 60kg/m³, 120kg/m³ e 180kg/m³.

**Fonte:** Koizumi et al (2002).

A grande contribuição deste trabalho é a demonstração de que fatores como a dimensão das fibras e a espessura e densidade do painel são determinantes na configuração do índice de absorção sonora, e que o bambu se apresenta como uma matéria-prima promissora para esse fim.

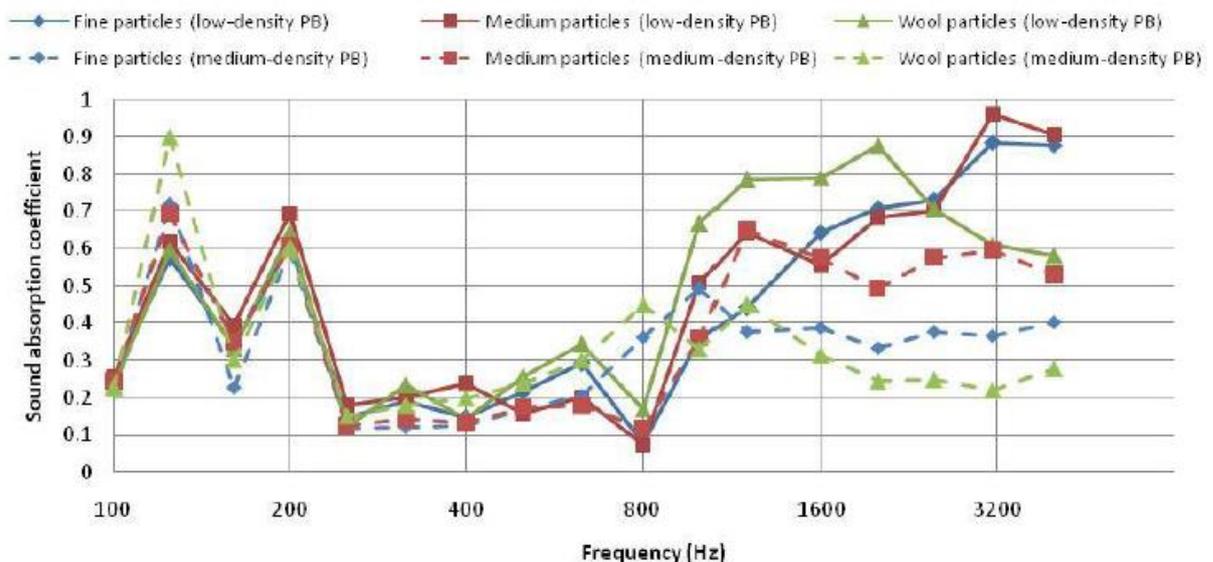


Karlinasari *et al* (2012) realizou 10 anos depois uma experiência bem-sucedida na produção de painéis aglomerados em bambu com função de absorção acústica. Foram fabricados pilotos de duas densidades diferentes ( $0,5 \text{ g / cm}^3$  e  $0,8 \text{ g / cm}^3$ ) feitos com três tamanhos de partículas (fino, médio e lã). Os resultados demonstraram que para absorção sonora os painéis de baixa densidade e de partículas pequenas (finas e médias) apresentaram melhor desempenho.



**Figura 14:** Dimensão partículas. a) Lã: 50 mm de comprimento, 0,2 a 0,5 mm de espessura e 3 a 4 mm de largura; b) Médias: largura de 2 a 3 mm, espessura de 0,5 mm e comprimento de 10 mm; c) Finas: Retidas na peneira de malha de 10 mesh;

**Fonte:** Karlinasai et al (2012).



**Figura 15:** Coeficientes de absorção sonora para o aglomerado de partículas de baixa e média densidade.

**Fonte:** Karlinasai et al (2012).



#### 2.1.4 Adesivos

A conscientização ambiental tem avançado cada vez mais, o que implica em maiores reflexões e busca de soluções sobre os impactos que geram os produtos e os serviços, nesse contexto surge a análise do ciclo de vida. Silva (2012) realizou um estudo de ciclo de vida do painel MDP produzido em território nacional. Os principais aspectos que influenciam o impacto ambiental foram listados no quadro a seguir:

<b>Tabela 01: Principais aspectos que influenciam o impacto ambiental no ACV do MDP brasileiro.</b>	
<b>Consumo de recursos</b>	<b>Hotspots</b>
Energéticos não renováveis	Óleo cru (base p/ combustíveis fósseis)
Energéticos renováveis	Resíduo de madeira
Materiais não renováveis	Eletricidade / Óleo BPF / Resina UF
Materiais renováveis	Água
<b>Categorias de impacto potencial</b>	<b>Hotspots</b>
Depleção dos recursos abióticos	Óleo BPF / Resina UF
Aquecimento global	Eletricidade / Óleo BPF / Resina UF
Acidificação	Óleo BPF / Resina UF
Eutrofização	Fertilizante / Resina UF
Form. Fotoquímica de ozônio trop.	Resina UF
Ecotoxicidade	Glifosfato
Toxicidade humana	Resina UF

**Fonte:** Silva (2012).

Ao analisar o quadro percebemos que a resina Uréia Formaldeído (UF) está presente na maioria dos fatores de impacto ambiental, sendo que “impactos mais significativos foram de 96,2% para a toxicidade humana, 32,4% para a eutrofização, 25,8% para a depleção dos recursos abióticos e 22,5% para o aquecimento global”. (SILVA, 2012)

Adesivos bioderivados são aqueles de origem natural e não-mineral e apresentam desempenho semelhante aos sintéticos. A pesquisa sobre esses adesivos é oriunda da maior conscientização ambiental e da busca pela minimização dos impactos gerados pelas linhas de produção.

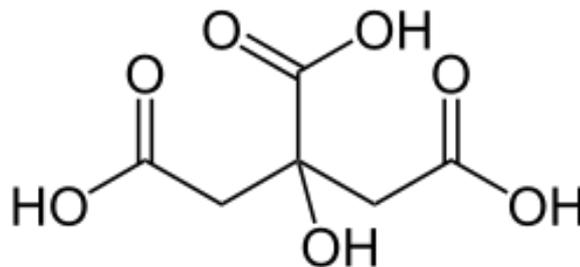
De acordo com Umemura *et al* (2013), grande parte dos adesivos para painéis de madeira reconstituída e madeiras em geral foram desenvolvidos em associação com a indústria petroquímica, como por exemplo, resinas à base de formaldeído, resinas



de acetato de vinila e à base de isocianato, e apresentam bom desempenho técnico e econômico.

No entanto, como são desenvolvidas a base de matéria-prima não renovável, recursos fósseis, é sabido que seu uso será restrito ao longo do tempo. Além disso, têm-se os aspectos relativos a saúde dos usuários como no caso da uréia-formaldeído, por exemplo, citada anteriormente.

Nesse sentido, surgem as pesquisas em relação aos adesivos naturais, dentre eles, o ácido cítrico. O ácido cítrico (AC), de nomenclatura oficial conforme a União Internacional de Química Pura Aplicada - IUPAC (2-hidroxi-1,2,3-propanotricarboxílico) é um ácido orgânico fraco contendo três grupos carboxila (-COOH), utilizado como conservante e antioxidante. É encontrado em frutas cítricas, como limões e é produzido comercialmente por fermentação de glicose ou de materiais contendo glicose e sacarose.



**Figura 16:** Representação molecular do ácido cítrico.  
**Fonte:** Autora

<b>Tabela 02: Propriedades do Ácido Cítrico</b>	
Fórmula molecular	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>
Massa molar	192,123g/mol
Aparência	Sólido branco e cristalino
Densidade	1,665g/cm <sup>3</sup>
Ponto de fusão	153°C
Ponto de ebulição	Decompõe-se a 175°Ct
Solubilidade em água	133 g/100ml (20°C)
Acidez (pKa)	pKa1=3.15 pKa2=4.77 pKa3=6.40

**Fonte:** FIB (2018).



Segundo pesquisas prévias, o AC foi identificado como um agente reticulante para fibras vegetais, papel, amido, madeira e elastômeros de base biológica, cujo principal mecanismo de adesão foram as ligações de esterificação entre os grupos carboxila do ácido e as hidroxilas presentes nas cadeias poliméricas dos componentes da madeira como a lignina ou a celulose.

Umemura *et al* (2013) coloca que a forma anidra é utilizada juntamente com materiais lignocelulósicos, pois libera nessa forma menor quantidade de água o que incorre em menores tempos de reação. A adesão através pelo ácido cítrico é fomentada pelo sistema de adesão “self-bonding” caracterizado pela prensagem de painéis sem a adição de adesivos, a colagem dos materiais lignocelulósicos acontece quando em altas temperaturas a lignina se torna fluida, proporcionando a fusão dos componentes.

## 2.2 O Potencial do Bambu

### 2.2.1 Considerações gerais

“The quite recent idea of the universe education, now shared worldwide, is occurring at a time of unprecedented global population growth. Raw material to make schools and to teach children to make and build and read and write in them are increasingly expensive. Cost-per-student is a critical aspect of all education design. Bamboo’s abundant growth, lightweight workability, and paper history suggest a possible future in schools of a dimension as yet undreamt by western educators. [...]” (FARRELY, 1984, p.03)

Farrely (1984) apresenta na citação acima a visão ampla de contribuição social do bambu, inclusive na educação, visto que suas características contribuem para usos diversos em condições de baixo investimento financeiro em beneficiamento e tecnologia. Além disso, vem historicamente fazendo parte das práticas sociais de diversas culturas.



**Figura 17:** Infográfico sobre o uso diversificado da matéria-prima bambu.  
**Fonte:** Autora (2018).

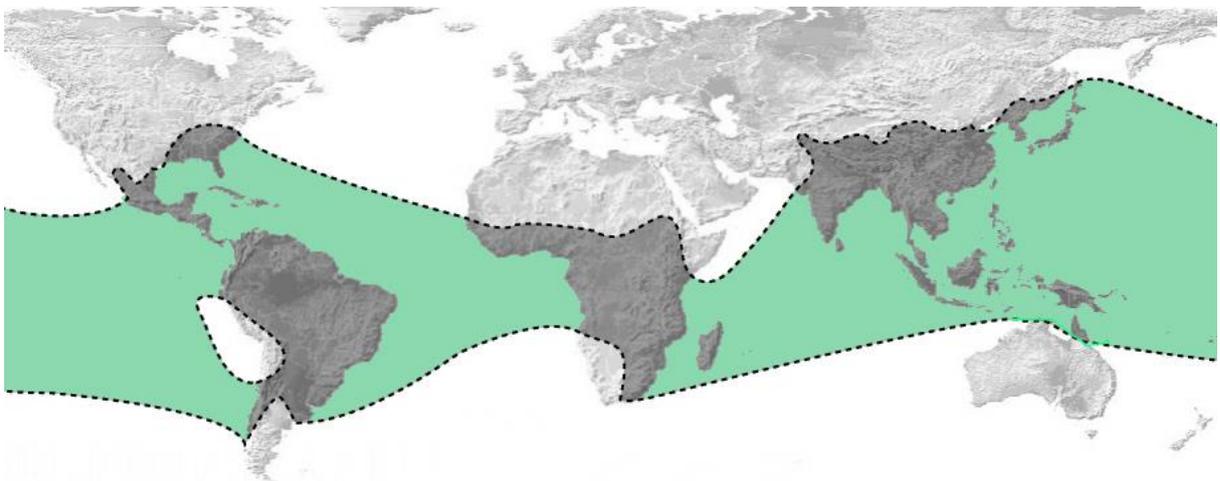
Conforme Pereira (2016), majoritariamente tropical, o bambu cresce rapidamente se comparado a outras plantas, necessitando em média de 6 meses para que um broto atinja sua altura máxima em espécies ditas gigantes. Apresenta uma estrutura leve, resistente e passível de ser trabalhada com ferramentas simples, e grande potencial agrícola por se tratar de uma planta renovável, perene e que produz novos colmos anualmente sem a necessidade de replantio.

De acordo com Osse e Meirelles (2014), o bambu caracteriza-se por ser uma planta pertencente à família das gramíneas, assim como a cana-de-açúcar, nelas o processo



de fotorrespiração é praticamente ausente, pois estas armazenam em suas fibras o CO<sub>2</sub> liberado pela fotorrespiração de plantas comuns.

Dados do INBAR (2019) indicam que os bambus pertencem a família *Poaceae*, e apresentam 1.642 espécies conhecidas em todo o mundo, principalmente na Ásia, África, América Central e do Sul.



**Figura 18:** Ilustração da presença de florestas endêmicas de bambu no planeta.  
**Fonte:** (BAMBOO BIODIVERSITY, 2017)

Conforme Salgado (2014), na região amazônica são encontradas florestas nativas de bambu cobrindo uma área de 180.000km<sup>2</sup>, metade no Brasil. Essa ocupação significativa da espécie em território nacional não se restringe aos Estados pertencentes a região Amazônica, sendo que o Brasil é o país da América Latina com maior índice de florestas endêmicas.

Essa gramínea apresenta diversas vantagens no seu cultivo em suas próprias características anatômicas como a resistência a períodos e estações secas e chuvosas. Em determinados momentos de seu desenvolvimento, crescem de 40 cm a 120 cm por mês, conforme a espécie e apresentam sistema radicular fasciculado atuando como barreiras naturais no combate a erosão de solos.

Em relação aos aspectos ambientais, Salgado (2010) declara que o bambu apresenta uma papel relevante no balanço ente oxigênio (O<sub>2</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na



atmosfera, pois libera mais O<sub>2</sub> que o equivalente a três árvores e algumas espécies chegam a absorver mais de 12 toneladas/hectare de CO<sub>2</sub> da atmosfera.



**Figura 19:** Infográfico acerca das vantagens de cultivo do bambu.

**Fonte:** Autora, (2018).

Outro fato que merece destaque é a contribuição para a cadeia produtiva no meio rural, pois as plantações de bambu crescem em um ritmo consideravelmente maior que árvores e pode ser colhido em ciclos. Em uma mesma touceira, os colmos podem ser encontrados em diferentes idades e estágios de crescimento.

Isso implica que o manejo e extração dos colmos se dá de maneira constante promovendo a fixação da mão-de-obra do campo. No entanto, a abrangência de empregabilidade da cadeia produtiva do bambu não se limita ao âmbito rural, pois o mesmo serve de matéria-prima para diversos produtos e muitos deles com alto valor de conhecimento e beneficiamento agregado.

Essa contribuição apresenta grande relevância [...] “na área social graças às mil e uma utilidades que o bambu oferece, permite a possibilidade do emprego de mão de obra urbana”, como coloca Salgado (2014). Como pode ser verificado nos exemplos ilustrados pelas figuras abaixo são diversas as aplicabilidades desta gramínea no contexto da vida urbana (figuras 20, 21 e 22).



**Figura 20:** Exemplo de aplicação do bambu em arquitetura.  
**Fonte:** Architizer (2017)



**Figura 21:** Utilização do bambu na produção de mobiliário em escala industrial.  
**Fonte:** Greenington, (2017)



**Figura 22:** Utilização do bambu no tratamento de esgoto.  
**Fonte:** AASCON (2017)

O forte apelo sócio-econômico e político do bambu pode ser enxergado como internacional. O grande exemplo é o já citado INBAR (International Bamboo and Rattan Organisation) que reúne 45 países em torno da discussão e aplicação de políticas de fomento ao plantio, pesquisa, uso, comercialização etc. desta gramínea (Figura 23).



**Figura 23:** Países membros do INBAR.  
**Fonte:** INBAR (2019)

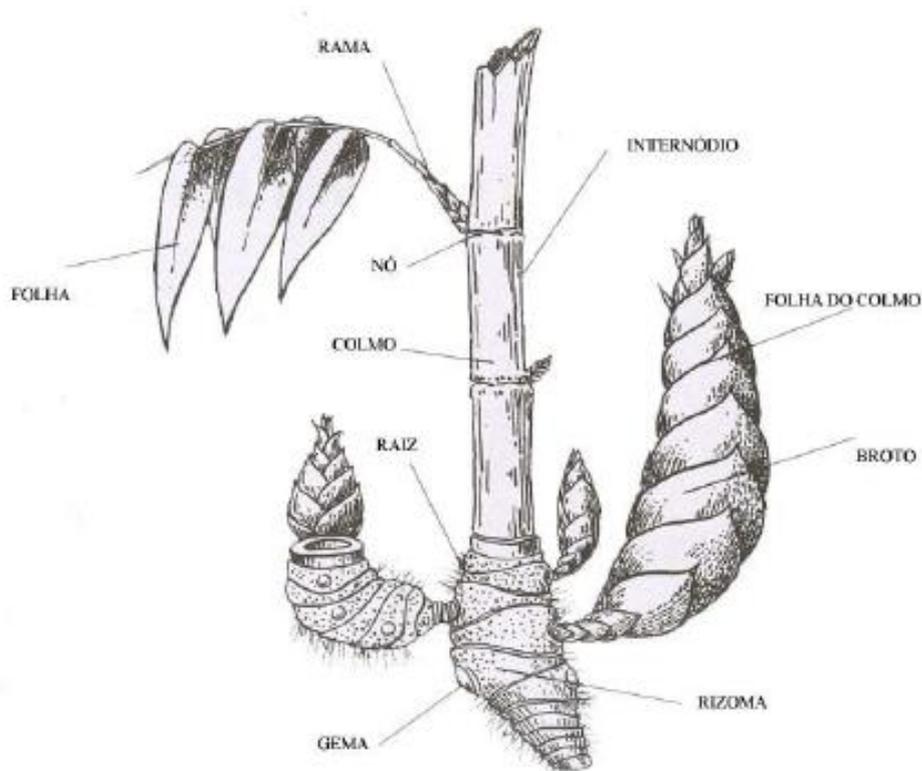


## 2.2.2 Características botânicas do bambu

### 2.2.2.1 Características morfológicas

Os bambus pertencem à família das gramíneas (*Poaceae*) e a subfamília *Bambusoideae* que por sua vez se divide em duas grandes tribos: bambus herbáceos e os bambus lenhosos. Filgueiras; Gonçalves (2004). Trata-se uma planta monocotiledônea, pertencente às Angiospermas, composto por parte aérea (colmos e folhas) e subterrânea (rizomas e raízes) e normalmente oco.

Em sua maioria, os colmos apresentam forma cilíndrica, e dispõem de uma sequência de nós e entrenós, separados transversalmente uns dos outros por diafragmas (septos) que externamente se apresentam como nós de onde saem os ramos e folhas. A principal contribuição dos nós é fornecer resistência e rigidez aos colmos dando-lhes condições de suportar os esforços do vento, intempéries e peso próprio. (Pereira, 2016)

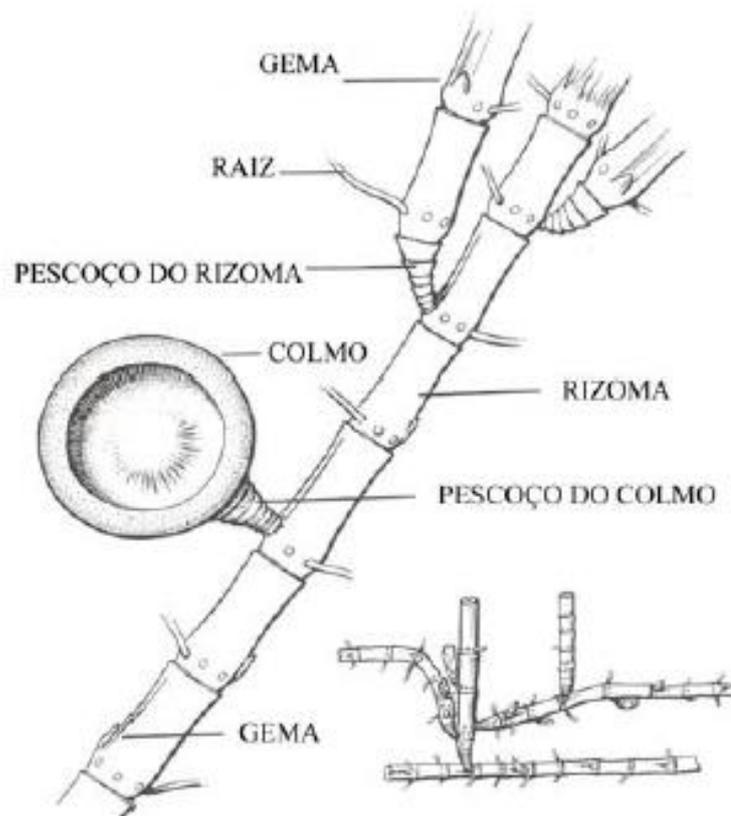


**Figura 24:** Partes do bambu.  
Fonte: (NMBA, 2004)



Em relação ao rizoma, Pereira (2016) indica que o mesmo é um caule subterrâneo dotado de nós e entrenós com folhas reduzidas a escamas e que se desenvolve paralelamente a superfície do solo. Basicamente existem dois grupos distintos de bambus quanto ao tipo de rizoma: os que formam touceiras (simpodiais ou paquimorfos) e os alastrantes (monopodiais ou leptomorfos).

Os bambus com rizomas alastrantes são resistentes a baixas temperaturas, apresentam formato cilíndrico, são longos e finos, tipicamente ocos e interrompidos em cada nó por um diafragma. Comumente a espessura e/ou diâmetro que apresentam são menores que os colmos que irão originar.



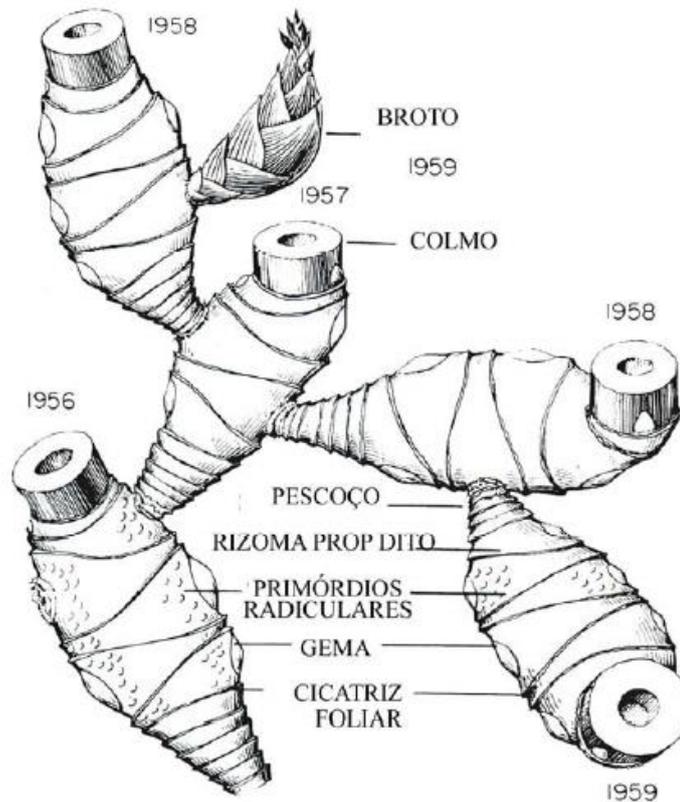
**Figura 25:** Rizoma tipo alastrante.

**Fonte:** (NMBA,2014)

Já os rizomas entouceirantes são curtos e sólidos. Seus entrenós são assimétricos e geralmente são mais grossos que o colmo do qual se originou. Esse grupo engloba em sua maior parte as espécies tropicais. Os rizomas possuem gemas laterais que ao se ativarem dão origem a novos rizomas e colmos, no entanto, a maior parte delas permanece dormente ou inativa. O crescimento dos novos rizomas é horizontal e em



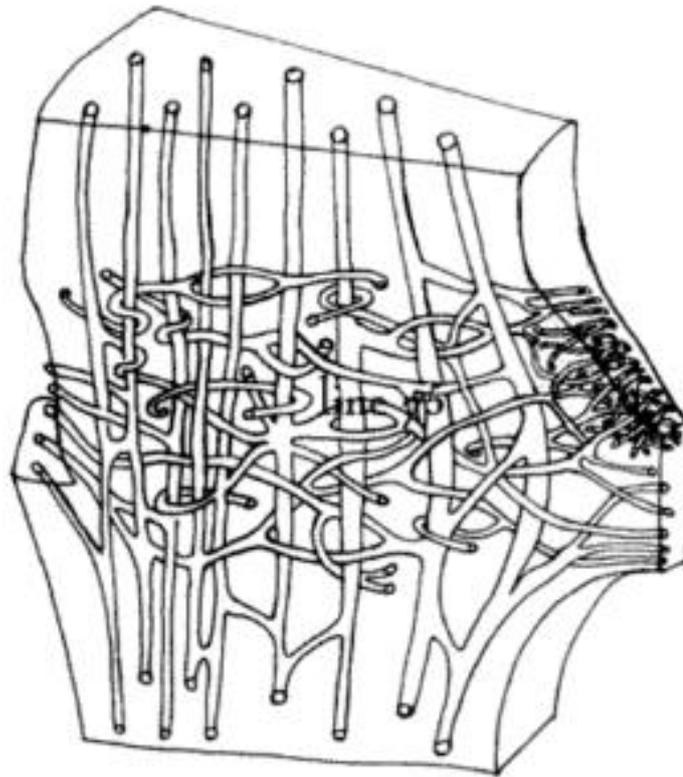
curtas distâncias, sendo que logo seu ápice volta-se para cima dando origem ao novo colmo.



**Figura 26:** Rizoma do tipo entouceirante.  
**Fonte:** NMBA (2014)

#### 2.2.2.2 Características anatômicas

Segundo Liese (1998), as células nos internós estão orientadas axialmente, enquanto que nos nós apresentam interconexões transversais entre as mesmas (figura 27). A parte externa é composta por duas camadas de células epidérmicas cobertas por uma camada cutinizada e com cera. Internamente a estas, tem-se uma camada mais espessa e altamente lignificada, constituída de numerosas células esclerenquimáticas. O colmo, de um modo geral, compreende cerca de 50% de parênquima, 40% de fibra e 10% de tecidos condutores. (PEREIRA, 2016)



**Figura 27:** Distribuição dos feixes vasculares na região do nó.  
**Fonte:** LIESE (1998)

Pereira (2016) coloca que as fibras celulósicas são consideradas longas, estreitas e relativamente rígidas. Suas dimensões sofrem variações conforme a espécie analisada, seu comprimento médio varia entre 1,65 mm a 3,43 mm. Comparadas as fibras de eucalipto e pinus, as de bambu ocupam posição intermediária, pois a primeira apresenta a dimensão média de 1 mm (curtas), e a segunda no intervalo de 3 mm a 4 mm (longas). A seguir apresentam-se dimensões médias para algumas espécies de bambu:

<b>Tabela 03: Dimensões das fibras de espécies de bambu</b>			
<b>Espécie</b>	<b>Comprimento (mm)</b>	<b>Largura/Lúmen (micron)</b>	<b>Espessura (micron)</b>
Bambusa vulgaris	3,43	15,41	3,73
Bambusa vulgaris var. vittata	2,98	16,21	3,43
Dendrocalamus asper	2,43	17,89	3,97
Dendrocalamus Strictus	2,44	17,06	3,44
Dendrocalamus Giganteus	3,08	19,1	5,66

**Fonte:** (BERALDO e AZZINI, 2002) *apud* (PEREIRA, 2016)



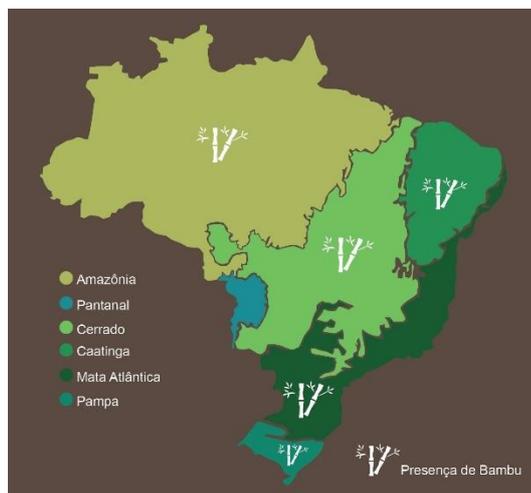
### 2.2.2.3 Características químicas

Denomina-se produto madeireiro todo o material lenhoso passível de aproveitamento para serraria, estacas, lenha, poste, moirão, entre outros MMA (2019). O bambu é um material madeireiro, constituído por carboidratos como celulose (55%), hemicelulose e lignina (25%), e em proporções menos expressivas resinas, taninos, ceras e sais inorgânicos. (LIESE, 1998)

A proporção de carboidratos varia conforme a espécie e o período de maturação do colmo, sendo que após um período médio de um ano as características químicas tendem a se manter constantes. Uma característica importante é que os nós se diferem dos internós na medida que apresentam maior concentração de celulose e menores concentrações de substâncias solúveis, de cinzas e de lignina. (PEREIRA, 2016).

### 2.2.3 Painéis de material madeireiro reconstituído com bambu

Ao longo do território nacional existem 232 espécies pertencentes a 34 gêneros, sendo que 65% são nativas do bioma Mata Atlântica ao longo da costa leste, 26% da floresta amazônica e 9% do cerrado (figura 28). Estima-se que apenas o Estado do Acre abrigue cerca de 1,6 milhão de hectares de floresta nativa com alta ocorrência de bambu destacando-se também o Cerrado, que possui cerca de 100.000 hectares. (INBAR, 2019)



**Figura 28:** Mapa esquemático de Biomas Brasileiros identificando a presença de bambu.

**Fonte:** Filgueiras e Viana in Drummond e Wiedman org. (2017)



Vislumbrando a grande abundância de matéria-prima disponível, a proposta desta pesquisa foi verificar a viabilidade de produzir painéis aglomerados utilizando como matéria-prima partículas de bambu, e como adesivo o ácido cítrico. Com o objetivo de contribuir para a pesquisa e desenvolvimento de materiais que estabeleçam relações mais próximas com a preservação ambiental.

Além de atender em seu formato natural, o colmo, a diversas utilidades na produção de itens aplicados a construção civil, possibilita, a partir de seu beneficiamento a extração de partículas passível de constituir aglomerados, bem como a fibra propriamente dita (a nível celular) para a obtenção de polpa celulósica. Conforme falado anteriormente, têm-se também, ganhos do ponto de vista social, pois ao identificar mais usos a esta planta, alimenta-se uma rica e complexa cadeia produtiva.

#### 2.2.4 Potencial acústico dos painéis de material madeireiro reconstituído com bambu

Em relação as edificações, Müller (2009) coloca que muitas das superfícies comumente aplicadas com função de envoltória ou revestimento como concreto, vidro, gesso e etc., refletem o som, sendo necessária a aplicação de materiais absorventes a fim de alcançar uma boa inteligibilidade.

Os ruídos estão presentes também na própria constituição dos edifícios como os de impacto entre lajes de edificações verticalizadas. Uma das principais frentes de atuação dos projetistas e construtores no tratamento acústico dos recintos é o conhecimento dos materiais e sua aplicação.

No mercado estão disponíveis diversos produtos para o fim de tratamento acústico. Podem ser encontrados pisos, placas de revestimento, placas de forração, mantas que podem ser colocadas entre as paredes de alvenaria ou servir como preenchimento do sistema dry wall, etc. Porém, muitos deles ainda apresentam um preço elevado se comparado aos materiais de construção populares.

Pode-se observar a ausência de tratamento acústico na maioria dos estabelecimentos: comerciais, residenciais, ambientes de linhas de produção em geral, bem como os edifícios institucionais que apresentam em seu interior atividades



que geram ruído, e atividades que exigem o controle deste ruído como hospitais, escolas, bibliotecas, galerias, entre outros.

Avaliar este quadro exige um olhar mais amplo sobre as questões que estão relacionadas a todo o sistema de produção destes espaços. Para tanto adota-se uma perspectiva que se alinha aquela colocada por Mascaró (2010), que faz a seguinte avaliação:

“[...] Em momentos como o atual, os produtos são reavaliados sob diversos pontos de vista, tornando-se indispensável analisar os aspectos econômicos das decisões arquitetônicas, bem como sua influência no custo do produto final: os edifícios. Parece-nos não só oportuno, mas também muito adequado, já que tem sido uma característica dos países em vias de desenvolvimento, pensar seriamente em reformular critérios da sua história socioeconômica, talvez justamente obrigados pelas limitações econômicas que caracterizam as crises (apesar de elas sempre existirem).” (MASCARÓ, 2010)

Tendo em vista que as construções em geral necessitam de forma abrangente de produtos que possibilitem o tratamento acústico, a pesquisa e desenvolvimento na área passa, necessariamente, pela avaliação dos aspectos sociais e dos relacionados com o meio ambiente, em que, as matérias-primas e tecnologias que compõe o produto devem ser determinadas de modo a minimizar ao máximo os impactos negativos.

Materiais fibrosos têm bom desempenho na absorção de ondas sonoras. Sendo assim, ao buscar uma alternativa para a produção de elementos acústicos, a fibra do bambu mostra-se bastante promissora, pois, no que tange ao mercado nacional ainda que apresente louváveis tentativas, têm-se uma carência significativa na pesquisa e produção de produtos para fins acústicos, bem como em sua produção a partir de matérias-primas renováveis e abundantes em território nacional.

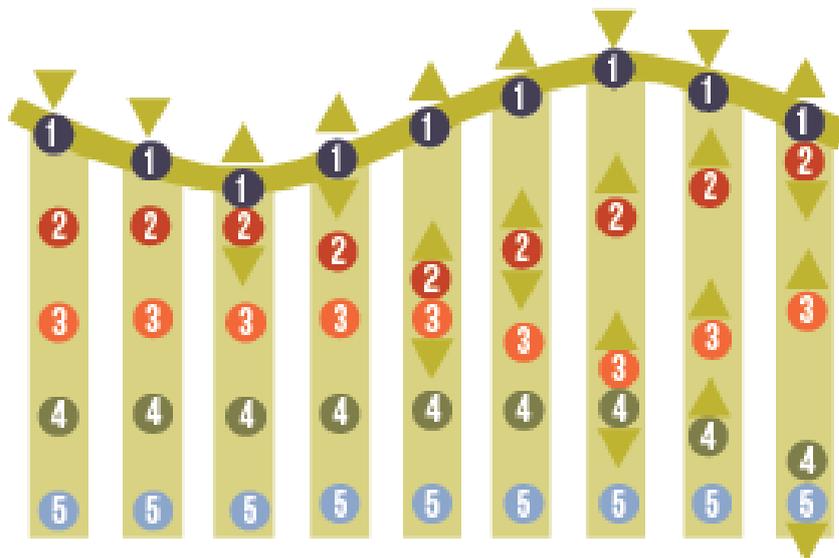


## 2.3 Conceitos gerais de acústica

### 2.3.1 Definição e propriedades do som

A onda sonora é toda vibração ou onda mecânica gerada por um corpo quando vibra, pode ser caracterizada como a perturbação de partículas presentes no ar que se propaga a partir de estruturas vibrantes. É denominada som, quando perceptível pelo ouvido humano. (CARVALHO, 2010)

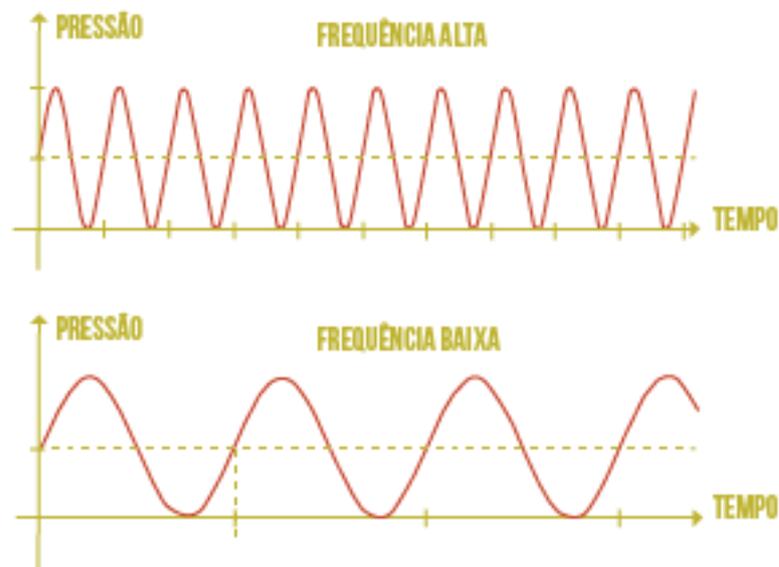
A propagação da onda sonora necessita de um meio material para ocorrer. Os diversos sons que ouvimos no cotidiano apresentam a propagação mais representativa na forma de ondas esféricas. A velocidade de propagação da onda sonora é dada conforme o meio elástico, sendo que para o ar têm-se 340m/s. (BISTAFA, 2011)



**Figura 29:** Ilustração da propagação da onda sonora.  
**Fonte:** Carvalho (2010), adaptado pela autora.

#### 2.3.1.1 Frequência

Ao se exercer pressão em meio elástico, tem-se como resultado oscilações cíclicas de pressão e depressão em determinados intervalos de tempo. Denomina-se frequência a quantidade de oscilações ou ciclos de pressão e depressão por unidades de tempo (período).



**Figura 30:** Ilustração da frequência sonora.  
**Fonte:** Carvalho (2010), adaptado pela autora.

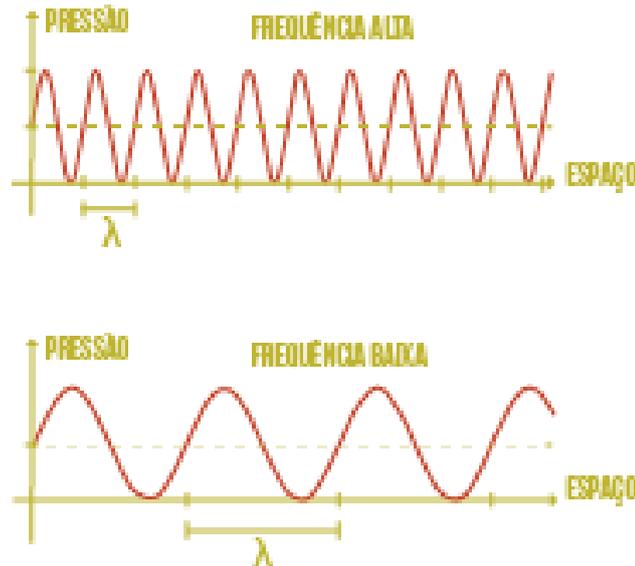
A frequência é descrita na unidade de medida denominada Hertz (Hz), que implica na quantidade de ciclos realizados em 1 segundo. A energia com a qual a onda sonora chega ao receptor é denominada intensidade sonora, sendo que esta característica não interfere na frequência do som. Os sons são perceptíveis, ou não, conforme sua frequência de acordo com o quadro abaixo:

<b>Tabela 04: Classificação das ondas sonoras conforme a frequência</b>		
<b>Infrasons</b>	<b>Abaixo de 20Hz</b>	<b>Não perceptíveis ao ouvido humano</b>
Baixas frequências	De 20Hz a 200Hz	Sons graves
Médias frequências	De 200Hz a 2.000Hz	Sons médios
Altas frequências	De 2.000Hz a 20.000Hz	Sons agudos
Ultrasons	Acima de 20.000Hz	Não perceptíveis ao ouvido humano

**Fonte:** Carvalho (2010) adaptado pela autora.

### 2.3.1.2 O Comprimento de onda

Consiste na distância que a onda percorre em um ciclo de pressão e depressão completo.



**Figura 31:** Ilustração do comprimento de onda.  
**Fonte:** Carvalho, 2010 adaptado pela autora.

### 2.3.1.3 Difração e refração do som

A difração é a propriedade da onda de ultrapassar obstáculos existentes entre a fonte e o receptor, na qual não ocorrem mudanças na direção do seu sentido de propagação e há diminuição da sua intensidade. Já a refração, ocorre quando o som passa de um meio de propagação para outro mudando sua direção e sentido de propagação.

### 2.3.1.4 Reflexão do som

O comportamento da onda sonora ao ser refletida por uma superfície é semelhante ao da óptica em que se estuda o comportamento das ondas luminosas, o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.

### 2.3.1.5 Inteligibilidade

Em relação as características acústicas dos recintos, têm-se a inteligibilidade como uma das mais importantes. Ela indica o grau de entendimento das comunicações nos ambientes. “Quando se refere à comunicação em um ambiente, a inteligibilidade é definida como “inteligibilidade acústica da linguagem”. (CARVALHO, 2010)



### 2.3.1.6 Reverberação

Entende-se como reverberação a permanência de um determinado som emitido em uma sala depois que sua emissão foi cessada. Essa permanência ocorre devido as reflexões sofridas pelas ondas sonoras nas superfícies que compõem os recintos.

Essa propriedade pode ser utilizada a favor do aumento da inteligibilidade dos ambientes quando o prolongamento do som emitido se faz necessário. Isso ocorre mais comumente em ambientes fechados aptos a abrigarem maior volume interno, tanto em dimensão, quanto em número de usuários.

### 2.3.1.7 Intensidade sonora

A intensidade sonora é a energia com que as ondas sonoras alcançam os receptores.

### 2.3.2 Avaliação da intensidade sonora e o decibel

Conforme Bistafa (2011), a partir da ação pioneira de Ernst Heinrich Weber no estudo da resposta humana aos estímulos físicos, através da realização de testes empíricos, foi identificado que a relação entre estímulo físico e sensação é descrita em escala logarítmica. O que significa dizer que para variar sensações conforme uma progressão aritmética, o estímulo deve variar conforme uma progressão geométrica. Tanto as ondas sonoras quanto as luminosas obedecem a este comportamento.

O bel é uma escala relativa (sem dimensão). Essa unidade é utilizada para descrever a medida do nível da potência emitida, avaliada em relação a uma potência arbitrária referência, podendo assim, assumir valores negativos ou positivos, sendo o bel utilizado para a comparação de potências ou grandezas proporcionais à potência. Esta escala é avaliada conforme a seguinte equação:



$$\text{Bel} = \log\left(\frac{P}{P_0}\right) \quad (01)$$

Onde:

P = Potencia avaliada;

P<sub>0</sub> = Potência referência;

No processo de aprimoramento da utilização da unidade vislumbrou-se a necessidade da demonstração de variações menores de potência, surgindo assim o Decibel (dB) submúltiplo do Bel, tal que, 1B equivale a 10dB. Nas medições de níveis de ruído utiliza-se o Decibel (dB), tendo como referência a intensidade sonora, conforme a equação abaixo:

$$L_i = 10 \times \log \frac{I}{I_0} \quad (02)$$

Onde:

L<sub>i</sub> = Nível de Intensidade sonora relativa expressa em dB

I = Intensidade absoluta do som avaliado;

I<sub>0</sub> = Intensidade do som correspondente ao limiar da audição (I<sub>0</sub> = 10<sup>-12</sup> w/m<sup>2</sup> para 1000 Hz)

Para que haja som, é necessária a variação da pressão ambiente, sendo assim o Nível de Pressão Sonora (NPS) pode ser quantificado em relação a variação da pressão ambiente. Outro fator importante é que este estímulo físico é o que mais se assemelha a sensação de som. O NPS é expresso em dB e descrito conforme a equação a seguir:

$$L_p = 20 \log \left(\frac{P}{P_0}\right) \quad (03)$$

Onde:

L<sub>p</sub> = Nível de pressão sonora relativa expressa em dB

P = Pressão absoluta do som avaliado;

P<sub>0</sub> = Pressão do som correspondente ao limiar da audição (P<sub>0</sub> = 2 x10<sup>-5</sup> Pa = 20 μPa)

Na tabela abaixo pode-se observar os parâmetros sonoros de ruídos que observamos no cotidiano expressos em Pa (Pascal) e dB (Decibel):



**Tabela 05: Níveis de pressão sonora**

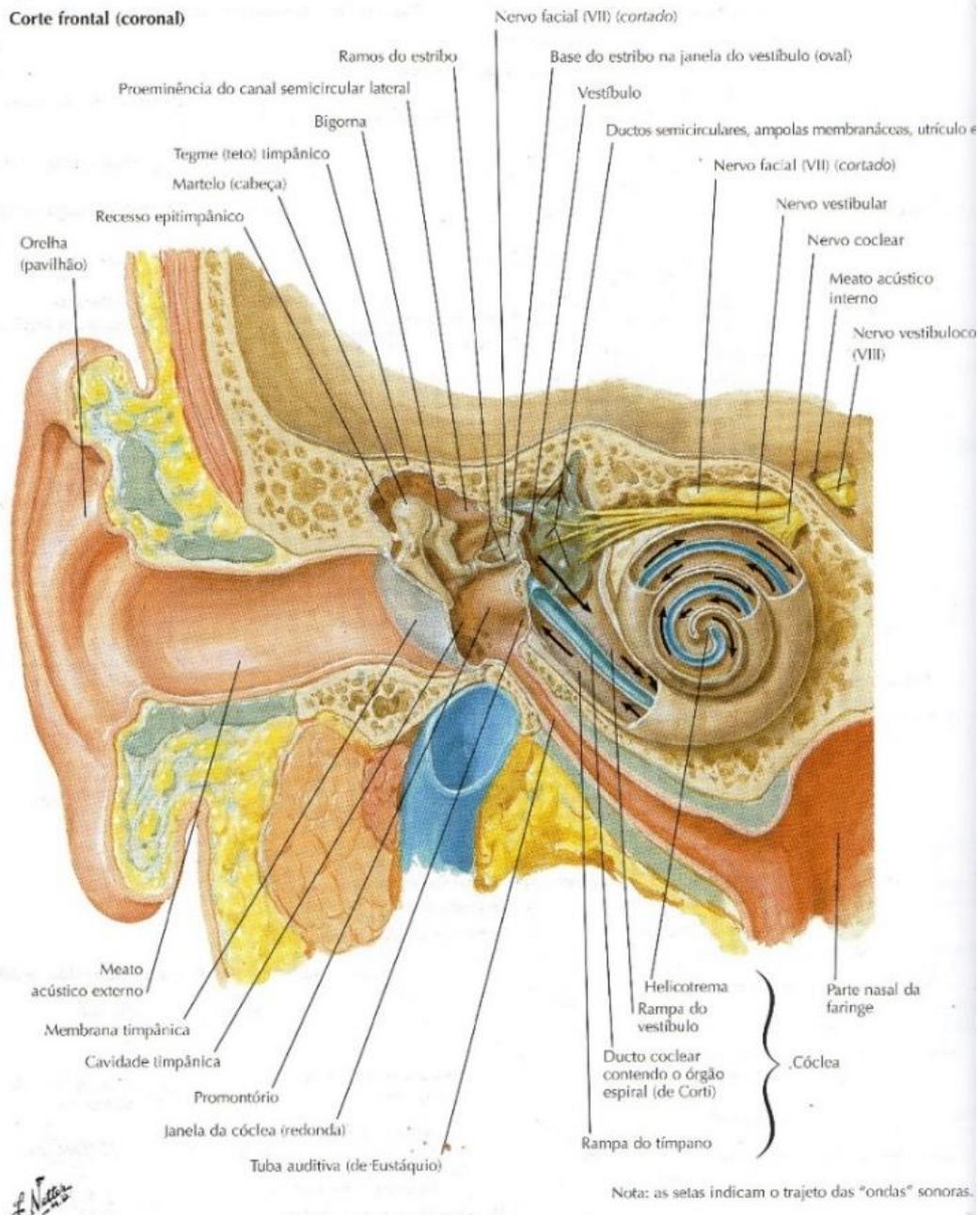
Fonte	Pressão sonora (Pa)	Nível de Pressão sonora (dB)
Foguete saturno	100.000	194
Avião a jato	2.000	160
Avião turbo hélice	200	140
Máquina rebitadora	20	120
Caminhão pesado	2	100
Trabalho ruidoso ou tráfego pesado	0,2	80
Conversa	0,02	60
Residência calma	0,002	40
Folhas caindo	0,0002	20
Limiar auditivo, excelentes ouvidos em resposta de frequência máxima	0,00002	0

**Fonte:** EVEREST; POHLMANN (2009) *apud* SÁ (2014)

### 2.3.3 Mecanismos da audição e reação das pessoas ao som

De acordo com Bistafa (2011), ao entrar em contato com o som emitido pela fonte, uma sequência de eventos fisiológicos ocorre no sistema auditivo do receptor. Primeiramente, o estímulo sonoro se propaga pela aurícula, e em seguida para o conduto auditivo externo.

Nesse instante, o tímpano e os ossículos da orelha média vibram. As ondas de pressão são transmitidas para o líquido interior da cóclea, ela codifica o som, e o som codificado é transmitido ao cérebro via nervo auditivo (figura 32).

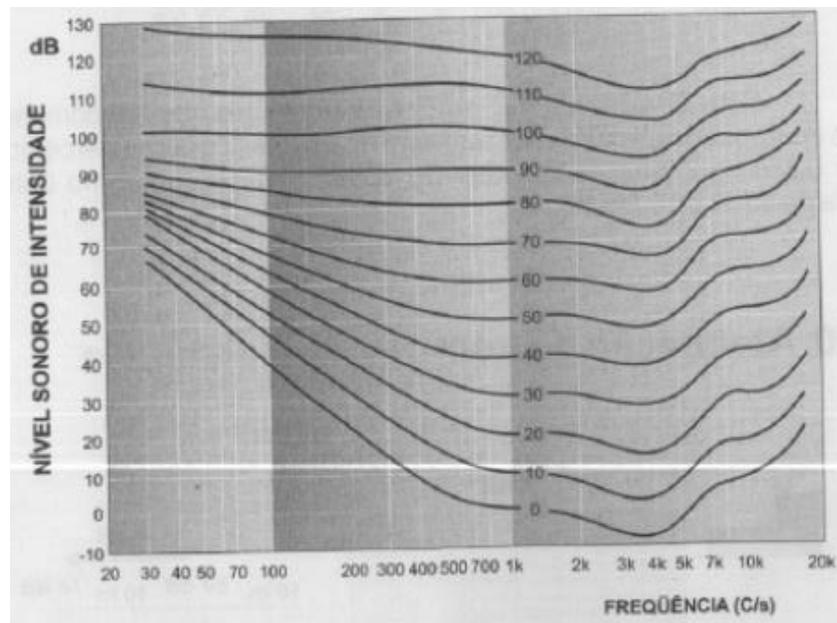


**Figura 32:** Ilustração da via de recepção sonora (corte frontal coronal)  
**Fonte:** Netter (2008)

A sensação auditiva depende tanto do Nível de Intensidade Sonoro, quanto da frequência das ondas emitidas. Para mensurar de maneira subjetiva a intensidade dos sons, criou-se a grandeza psicoacústica nível de audibilidade, determinada em função do Nível de Intensidade Sonoro e da frequência.



Conforme Carvalho (2010), Fletcher e Munson efetuaram testes empíricos acerca da sensibilidade do ouvido humano e construíram as curvas isofônicas (figura 33) que permitem comparar diferentes frequências e intensidades sonoras.



**Figura 33:** Curvas isofônicas  
**Fonte:** Carvalho (2010)

## 2.4 O comportamento Acústico dos Materiais e o Condicionamento de Recintos Fechados

### 2.4.1 O Ruído

A oscilação sonora intermitente e aleatória pode ser considerada como ruído. Esse conceito tem também sua parte subjetiva pois os sons indesejáveis, sejam eles de qualquer natureza, também podem ser considerados ruídos. As pesquisas nessa área tem se debruçado sobre os problemas que acometem os ambientes da atividade humana cotidiana, como residências, hospitais, escritórios entre outros.

Pesquisas fomentadas pela Organização Mundial de Saúde dispõe bibliografias que versam sobre os malefícios causados pela exposição ao ruído. Eles podem se manifestar em perda parcial da audição, distúrbios gastrointestinais e cardiovasculares, problemas respiratórios e de secreções hormonais, bem como distúrbios no sistema nervoso e etc. (CARVALHO, 2010)



Kroemer (2005) introduziu na década de 1930 o termo estresse nos campos da medicina e psicologia, ele objetiva caracterizar a reação do organismo humano a uma situação opressiva ou ameaçadora, distinguindo o “estressor” como a causa externa e “estresse” como a reação do corpo.

Situações recorrentes ou prolongadas de estresse podem incorrer em efeitos deletérios a saúde, através da indução de problemas funcionais, particularmente nos sistemas cardiovascular e gastrintestinal. Esses efeitos são frutos de perturbações psicossomáticas e a longo prazo podem tornar-se doenças orgânicas. (KROEMER, 2005)

Millanvoye *in* Falzon (2007, p. 75) aborda o ruído no ambiente de trabalho partir da perspectiva da ergonomia e coloca que [...] “entende-se por ambiência sonora a exposição a ruídos no local de trabalho. A nocividade do ruído para a audição está ligada a três parâmetros: o nível sonoro, a frequência e a duração da exposição.”

As tarefas em geral têm uma parcela de trabalho intelectual, se no momento da execução o trabalhador estiver exposto ao ruído, estará também exposto ao risco de incômodo e perturbação. Determinar o nível sonoro limite a partir do qual o incômodo e os efeitos deletérios a saúde ocorrem é difícil, pois “esse valor varia conforme o tipo de situação, de tarefa e de domínio sobre ela.” (MILLANVOYE *in* FALZON, 2007, p 76)

O ruído nos ambientes internos pode ser classificado como aéreo ou de impacto. O primeiro é transmitido pelo ar e o segundo é decorrente do impacto sobre os sólidos, em edificações têm-se por exemplo a queda de objetos e passos, além do ruído gerado diretamente têm-se os ruídos secundários oriundos da vibração das superfícies que sofreram o impacto.

Atualmente uma série de normas endossam e dão parâmetros e diretrizes para o conforto sonoro dos ambientes internos, dentre elas têm-se a ABNT NBR 15.575/15, que versa sobre os requisitos e critérios relativos a edificações habitacionais e a ABNT NBR 10.152/17 que determina dos níveis de pressão sonora máximos para cada ambiente conforme seu uso.



## 2.4.2 Condicionamento de recintos

O condicionamento adequado dos recintos consiste em promover boas condições de audibilidade, evitar que ruídos externos prejudiquem o entendimento das comunicações e evitar que os sons emitidos pela utilização do ambiente prejudiquem os espaços vizinhos.

Para tratar acusticamente um recinto deve-se avaliar a locação do imóvel, os índices máximos recomendados por norma, dos materiais que compõem as superfícies e dos objetos do interior, bem como sua arquitetura (volume do ambiente e seu formato, geometria).

As ações relativas a melhora do conforto acústico se fazem segundo algumas intervenções como: a distribuição equânime dos sons emitidos no recinto, com a utilização de superfícies refletoras, e a correção do tempo de reverberação através da aplicação de superfícies de absorção sonora.

### 2.4.2.1 Tempo de reverberação

Denomina-se tempo de reverberação o intervalo necessário para que a intensidade sonora de um som emitido decresça 60 dB após o término da emissão. Cada ambiente possui um tempo ótimo de reverberação conforme seu uso. Caso seja muito curto, a percepção dos sons emitidos se torna incipiente, ao passo que, quando muito longo incorre em sobreposição de sons prejudicando a inteligibilidade.

De acordo com Bistafa (2010), Wallace Sabine efetuou muitos estudos em recintos fechados e a partir das suas análises identificou-se uma relação intrínseca entre os índices de absorção dos materiais aplicados e a geometria interna do recinto. Assim como a absorção sonora, o tempo de reverberação varia conforme a frequência. A partir dessa conclusão, foi elaborada empiricamente a equação abaixo para determinar o cálculo do tempo de reverberação:



$$T_{60} = 0,161 \frac{V}{\sum (S_i \times \alpha_i)} \quad (04)$$

Onde:

$T_{60}$  = Tempo de reverberação;

$V$  = Volume interno do recinto em  $m^3$ ;

$A$  = Absorção total da sala em sabines;

0,161 = constante de precisão;

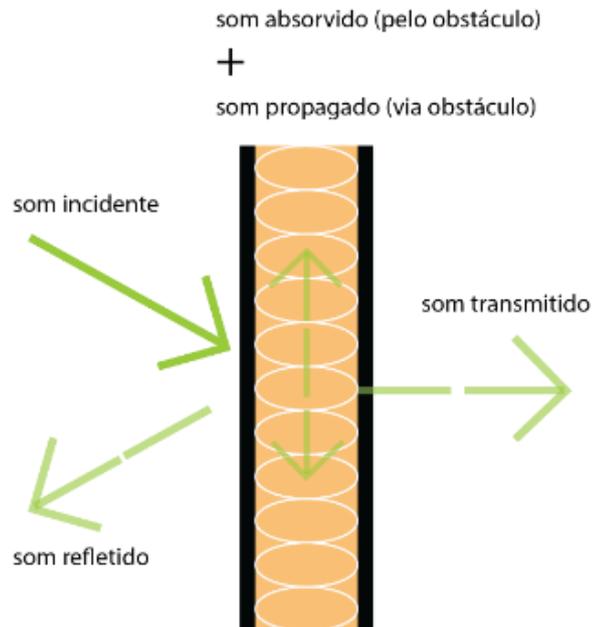
$S_i$  = Área da superfície do material em  $m^2$ ;

$\alpha_i$  = coeficiente de absorção sonora do material;

### 2.4.3 Comportamento acústico dos materiais

A onda sonora, ao incidir sobre qualquer material, se comporta de quatro formas distintas (figura 34): parte da energia incidente é absorvida pelo obstáculo, parte é propagada através dele, parte é transmitida por meio do material (via aérea) e o restante é refletido para o ambiente de onde a fonte originou as ondas.

Um determinado material pode ser considerado com boas propriedades acústicas se nesse processo explicitado anteriormente ele reter uma maior parte da energia sonora, transformando-a em energia térmica. De acordo com Carvalho (2010), caso o material reflita a maior parte da energia incidente, conseqüentemente evitando que esta energia se desloque para outros ambientes que não o da fonte, entende-se que o mesmo é um bom isolante acústico. Para obter ambos efeitos simultaneamente é necessário recorrer a associação de materiais com as características citadas, compondo um sistema.



**Figura 34:** Representação do comportamento da onda sonora em contato com o material  
**Fonte:** (CARVALHO, 2010), adaptado pela autora.

#### 2.4.4 Absorção sonora

Os materiais absorventes mais utilizados são porosos ou fibrosos, em que a absorção se dá essencialmente pela dissipação da energia sonora por atrito oriundo da movimentação das partículas sonoras no interior do material.

O desempenho elevado ocorre quando o material “respira”, ou seja, quando ele permite que as partículas do ar se movimentem em seu interior. Sendo assim, a propriedade fundamental dos materiais absorventes é a resistência ao fluxo de ar, sendo que ótimos desenhos de absorção sonora requerem uma resistência ótima através do material. (BISTAFA, 2011)

Para que os materiais porosos e fibrosos alcancem o máximo da sua capacidade em dissipar energia sonora devem ser fixados em superfícies sólidas, pois assim a onda refletida se combina com a onda incidente, gerando uma onda estacionária entre o material absorvente e a parede provocando a dissipação da energia sonora por atrito na estrutura do material.



O coeficiente de absorção sonora dos materiais varia conforme a frequência da onda sonora incidente, geralmente esse índice aumenta segundo a espessura e a densidade dos materiais.

A espessura deve ser no mínimo um décimo do comprimento de onda do som incidente. Junto às paredes de fixação a pressão sonora é máxima e a velocidade das partículas é zero, onde a pressão sonora é mínima a velocidade é máxima o que ocorre a uma distância da parede equivalente a  $\frac{1}{4}$  do comprimento da onda incidente.

Segundo Bistafa (2011), em relação aos coeficientes de absorção têm-se o coeficiente de redução sonora (NRC) que é um número único que sintetiza a capacidade de absorção sonora do material com base nos coeficientes aferidos por bandas de frequência. Ele é obtido através da média aritmética dos coeficientes de absorção obtidos na análise das bandas de oitava de 250 Hz a 2.000 Hz, conforme a equação abaixo:

$$\text{NRC} = \frac{1}{4} [\alpha (250\text{Hz}) + \alpha (500\text{Hz}) + \alpha (1.000\text{Hz}) + \alpha (2.000\text{Hz})] \quad (05)$$

Onde:

$\alpha$  = Coeficiente de absorção;

NRC = Coeficiente de redução sonora;

Além do coeficiente de redução sonora do material, a área da superfície é um fator preponderante. A capacidade de absorção de uma superfície é calculada mediante a fórmula:

$$A_{\text{sup}} = \alpha S \text{ m}^2 \text{ (Sabine)} \quad (06)$$

Onde:

S = Área da superfície;

$\alpha$  = Coeficiente de absorção do material;

\*  $1 \text{ m}^2$  (Sabine) =  $1 \text{ m}^2$  de material 100% absorvente

Além dos materiais aplicados nas superfícies, o mobiliário e as pessoas que integram os ambientes também são fontes de absorção sonora. Pela dificuldade de determinar a área de suas superfícies, a capacidade de absorção é dada diretamente em unidades sabine. A tabela abaixo traz alguns exemplos:

**Tabela 06: Absorção sonora de pessoas e mobiliário em m<sup>2</sup> (Sabine)**

Pessoas e Mobiliário	Absorção sonora (m <sup>2</sup> - Sabine), para as bandas de oitava indicadas (Hz)					
	125	250	500	1.000	2.000	4.000
Pessoas de pé	0,19	0,33	0,44	0,42	0,46	0,37
Pessoa sentada no chão (uma pessoa por m <sup>2</sup> )	0,17	0,36	0,47	0,52	0,53	0,46
Adulto sentado incluindo a cadeira	0,2	0,28	0,32	0,37	0,41	0,44
Criança sentada, incluindo a cadeira	0,17	0,21	0,26	0,3	0,33	0,37
Músico de orquestra com instrumento	0,4	0,85	1,15	1,4	1,3	1,2
Cadeira de madeira, simples, vazia, ou pequena mesa	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,05
Cadeira de palhinha	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Carteira escolar, vazia	0,02	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08
Carteira escolar ocupada	0,18	0,24	0,28	0,33	0,37	0,39
Poltrona de auditório, de madeira	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06
Poltrona de auditório, de madeira, com assento móvel levantado	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,03
Poltrona de auditório, estofada, com assento móvel levantado	0,08	0,16	0,22	0,23	0,24	0,24
Poltrona de auditório, estofada, ocupada	0,39	0,38	0,38	0,38	0,42	0,42

Fonte: BISTAFA (2011)

**Tabela 07: Constantes de absorção sonora do ar (m) a 25°C**

Umidade Relativa	Frequência central da banda de oitava (Hz)									
	31,5	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000	16.000
	Constante de absorção sonora do ar (m) e 1/m									
10	x	x	x	x	0,003	0,006	0,008	0,02	0,045	0,0625
20	x	x	x	x	0,001	0,002	0,004	0,015	0,046	0,083
30	x	x	x	x	x	0,0015	0,0028	0,0078	0,0171	0,0675
40	x	x	x	x	x	0,001	0,0025	0,0064	0,013	0,05
50	x	x	x	x	x	0,001	0,0024	0,0059	0,0111	0,041
60	x	x	x	x	x	0,001	0,0022	0,0055	0,0102	0,034
70	x	x	x	x	x	0,001	0,0021	0,0052	0,0097	0,03
80	x	x	x	x	x	0,001	0,002	0,005	0,0093	0,026
90	x	x	x	x	x	0,001	0,002	0,005	0,0093	0,0258

Fonte: BISTAFA (2011)

Sendo assim a absorção sonora total dos recintos é dada pela equação:

$$A_{\text{recinto}} = A_{\text{sup. Recinto}} + A_{\text{diveros}} + A_{\text{ar}} \quad (07)$$

Onde:

$A_{\text{recinto}}$  = Absorção do recinto;

$A_{\text{sup. Recinto}}$  = Absorção da superfície do recinto;

$A_{\text{diveros}}$  = Absorção dos itens diversos que compõem o recinto;

$A_{\text{ar}}$  = Absorção do ar;



#### 2.4.4.1 Painel ressonante

É composto por uma placa fina montada sobre uma superfície gerando um espaço entre elas. Esse componente é caracterizado pela densidade superficial do componente ( $\text{kg/m}^2$ ), pela espessura da placa (m) e pela densidade do material utilizado ( $\text{kg/m}^3$ ). A energia sonora é dissipada através da flexão do painel, sendo que ao preencher a cavidade vazia com material absorvente, têm-se a elevação do desempenho.

Sá (2014) desenvolveu um componente com essas características utilizando a matéria-prima Bambu Laminado Colado (BaLC). Foi testado o desempenho do componente com ar em seu interior e materiais absorventes como lã de vidro, sendo que o preenchimento do componente com lã de vidro forneceu desempenho superior.



**Figura 35:** Painel ressoador em Bambu Laminado Colado.  
Fonte: Sá (2014).

#### 2.4.5 Isolamento acústico

Ao entrar em contato com as ondas sonoras, a variação de pressão sonora faz com que as superfícies que recebem as ondas incidentes vibrem. Essa vibração transporta



o ruído para outros ambientes e torna a superfície uma fonte secundária. Sendo assim, quando maior a massa da superfície, maior sua resistência a vibração e conseqüentemente a passagem do som.

A partir dessa análise têm-se a Lei da Massa, onde, com base da densidade superficial ( $\lambda S$ ) de um material puro se calcula o seu isolamento para a frequência de 500Hz.

$$IA = 20 \times \log (\lambda S) \quad (08)$$

Onde:

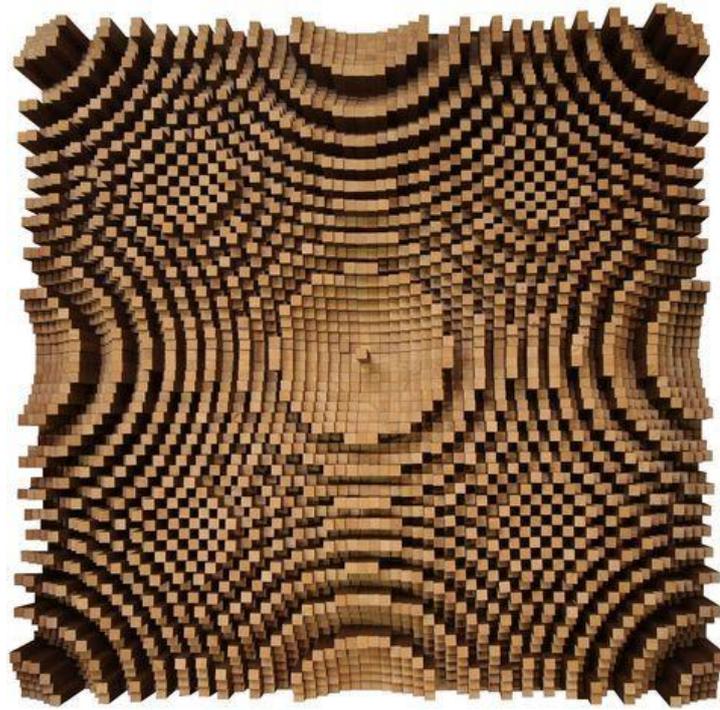
IA = Índice de isolamento para 500Hz  
 $\lambda S$  = Densidade superficial

Para bloquear uma onda sonora, deve-se interromper integralmente sua propagação. Para tanto, a espessura da superfície de incidência da onda deve ter espessura igual ou superior a  $\frac{1}{4}$  do comprimento da onda incidente. Em baixas frequências o comprimento de onda é maior o que implica em espessuras muito grandes, comumente inviáveis de serem aplicadas aos recintos, uma alternativa é a aplicação do efeito massa-mola-massa.

Esse efeito consiste na geração de espaços vazios entre as superfícies de incidência das ondas sonoras, preenchidos com ar ou materiais absorventes, pois o sistema minimiza a intensidade sonora da onda e aumenta o índice de isolamento para baixas frequências. Quanto maior o afastamento das placas do componente ou das superfícies, melhor o isolamento acústico para baixas frequências.

#### 2.4.6 Painéis difusores

Os painéis difusores são uma alternativa para o fomento da inteligibilidade dos recintos. São compostos de superfícies refletoras e irregulares (figura 36) que promovem a incidência e reflexão das ondas em ângulos e pontos distintos, evitando ecos e aumentando a qualidade da distribuição do som.



**Figura 36:** Painel difusor QRD67  
**Fonte:** RDA Acoustics.



### CAPÍTULO 3 - PROGRAMA EXPERIMENTAL

Neste capítulo será apresentado o programa experimental elaborado para a produção dos painéis MDP de partículas de bambu e ácido cítrico, bem como os métodos adotados nos ensaios de caracterização física, mecânica e acústica aplicados.

Denomina-se tratamento, a combinação de variáveis na produção dos painéis. Neste trabalho, as variáveis que foram testadas em diferentes combinações foram a granulometria e a densidade, sendo que o percentual de ácido cítrico foi mantido constante.

A produção dos painéis ocorreu em duas etapas. Em cada uma delas foi produzida uma série de painéis de onde foram extraídos os corpos de prova para os ensaios.

A primeira etapa desta pesquisa foi a verificação da viabilidade de produção de painéis aglomerados de média densidade a partir da partícula de *Bambusa vulgaris var. vittata* utilizando como adesivo o ácido cítrico. Sendo assim, primeiramente realizou-se a estruturação da metodologia de fabricação dos painéis e a verificação da viabilidade de sua produção, que neste texto, será descrita no item análise exploratória.

Nesta etapa foram produzidos 5 painéis considerados como série 1, com as dimensões 15 cm x 15 cm x 2 cm que representaram 5 tratamentos distintos conforme descrito na tabela 08. As densidades adotadas foram de 0,75 g/cm<sup>3</sup> e 0,55 g/cm<sup>3</sup>, escolhidas de modo a enquadrar os painéis produzidos na definição de painéis MDP e posteriormente avaliar o material conforme os parâmetros da ABNT NBR 14.810/18.

Em relação a granulometria, na série 1, foram testados três tipos. Partículas trituradas em moinho de martelo com peneira acoplada de abertura 7mm, retidas na peneira 7 mesh (abertura 2,8 mm). Partículas retidas entre a peneira 7 mesh (abertura 2,80 mm) e 10 mesh (abertura 1,70 mm), e partículas retidas entre a peneira 10 mesh (abertura 1,70 mm) e a peneira 24 mesh (abertura 0,71 mm). Todas as peneiras utilizadas foram da marca Bertel. Em relação ao percentual de ácido cítrico foi fixado o valor de 30% sobre a massa de partículas secas.



**Tabela 08: Descrição dos tratamentos adotados nos painéis da série 1**

Tratamento	Granulometria	Densidade	Percentual de Ácido Cítrico
A	10 - 24 mesh	0,75 g/cm <sup>3</sup>	30%
B	10 - 24 mesh	0,55 g/cm <sup>3</sup>	30%
C	7 - 10 mesh	0,75 g/cm <sup>3</sup>	30%
D	7-10 mesh	0,55 g/cm <sup>3</sup>	30%
E	7 mesh	0,75 g/cm <sup>3</sup>	30%

Fonte: Autora

As dimensões adotadas para a produção destes painéis foi escolhida visando a utilização daqueles que obtivessem sucesso na averiguação da viabilidade, para a extração dos corpos de prova a serem utilizados nos ensaios de avaliação dos parâmetros de desempenho sonoro.

Na primeira etapa identificou-se que o tratamento E (partículas retidas na peneira de abertura 2,8 mm e densidade 0,75 g/cm<sup>3</sup>) não foi viável. Este painel não apresentou estabilidade dimensional e compactação desfazendo-se. Sendo assim, esse painel foi descartado e os demais foram utilizados para a extração dos corpos de prova para os ensaios de verificação de parâmetros acústicos.

Cada painel com as dimensões 15 cm x 15 cm x 2 cm foi primeiramente seccionado em corpos de prova de dimensão 13 cm x 13 cm x 2 cm e utilizados na avaliação do potencial de perda de transmissão sonora. Posteriormente, esses painéis foram novamente seccionados e deles extraídos corpos de prova com 5,3 cm de diâmetro e 2 cm de espessura e utilizados na avaliação do coeficiente de absorção sonora pelo método do tubo de impedância.

A segunda etapa desta pesquisa foi voltada para a produção de 12 painéis de onde foram retirados os corpos de prova para a realização dos ensaios que possibilitaram a caracterização física e mecânica do material produzido, considerados painéis da série 2.

Nesta etapa não foi realizado painéis que representassem o tratamento E (partículas retidas na peneira de abertura 2,8 mm e densidade 0,75 g/cm<sup>3</sup>) pois identificou-se na etapa exploratória que o mesmo não é viável.



As características dos tratamentos indicados na etapa exploratória (série 1) foram mantidas na produção dos painéis produzidos na etapa de caracterização física e mecânica (série 2), exceto o percentual de ácido cítrico.

Na etapa seguinte foi mantido a fixação desse parâmetro na compilação dos tratamentos, no entanto, aplicou-se o percentual de 20% de ácido cítrico para a massa seca de partículas, visto que o percentual utilizado anteriormente é elevado se comparado às outras experiências semelhantes.

Sendo assim, na segunda etapa foram produzidos os painéis da série 2. Sendo 3 painéis nas dimensões 26 cm x 28 cm x 1 cm, para cada tratamento, totalizando 12 painéis, com o objetivo de se extrair os corpos de prova para a realização dos ensaios de caracterização física e mecânica do material.

**Tabela 09: Descrição dos tratamentos adotados nos painéis da série 2**

Tratamento	Granulometria	Densidade	Percentual de Ácido Cítrico
A	10 - 24 mesh	0,75 g/cm <sup>3</sup>	20%
B	10 - 24 mesh	0,55 g/cm <sup>3</sup>	20%
C	7 - 10 mesh	0,75 g/cm <sup>3</sup>	20%
D	7-10 mesh	0,55 g/cm <sup>3</sup>	20%

Fonte: Autora

As dimensões dos painéis foram adotadas conforme o plano de corte dos corpos de prova previamente elaborado, de modo a possibilitar a retirada dos mesmos em quantidades representativas e com as dimensões necessárias a cada experimento realizado.

### 3.1 Etapa 01: Análise exploratória

A pesquisa em relação a painéis aglomerados com a utilização de ácido cítrico é recente, sendo assim, fêz-se necessário pesquisas exploratórias, a fim de identificar as condicionantes do processo de produção dos painéis pelo sistema de adesão “self-bonding” com partículas de bambu.



As condicionantes de produção dos painéis incluíram alguns aspectos apresentados detalhadamente a seguir como a escolha da espécie, a extração da matéria-prima, o beneficiamento das partículas, e particularidades da produção de painéis como percentual de ácido cítrico, temperatura e tempo de prensagem entre outros.

Na apresentação dos métodos, serão apresentados também os parâmetros identificados na literatura que foram adotados e ampararam as decisões tomadas durante o processo.

### 3.1.1 Escolha da espécie

Três fatores principais influenciaram a escolha da espécie a ser utilizada neste trabalho. A primeira delas foi a disponibilidade na região de pesquisa, o que tem relação com a adaptação da planta ao clima e solo locais. A segunda foi em relação a optar pela investigação por usos de bambus que não apresentam características anatômicas que os tornam aptos a serem utilizados na construção civil *in natura*.

Por último, tomou-se como referência as espécies mais abundantes em território nacional indicado pelo International Bamboo and Rattan Organization (INBAR). A espécie escolhida para este experimento foi *Bambusa vulgaris var. vittata Rivière & C. Rivière*, sinônimo heterotípico da espécie *Bambusa vulgaris Schrad. ex J.C.Wendl.*

De acordo com Filgueiras (2015), esta espécie tem ocorrência confirmada nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste, e está presente nos seguintes domínios fitogeográficos: Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal. Tem ocorrência confirmada nas regiões Nordeste, Sudeste, Sul e Centro-oeste do país (figura 37) sendo que nesta última destaca-se a presença nos Estados de Goiás e Distrito Federal.



**Figura 37:** *Bambusa vulgaris* var. *vittata* Rivière & C. Rivière, sinônimo heterotípico da espécie *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C.Wendl  
**Fonte:** Filgueiras (2015)

Percebe-se, portanto, que esta espécie é de significativa recorrência em território nacional, bem como na região onde se deu este trabalho. Além disso, como a pesquisa dedica-se a painéis particulados, fatores como resistência mecânica do colmo a princípio não foram definidores da escolha, possibilitando a investigação do desempenho desta espécie para este uso em detrimento de outras, mais comumente utilizadas no âmbito da engenharia e arquitetura.

### 3.1.2 Aquisição da matéria-prima

Os colmos foram extraídos da coleção de bambus da Universidade Federal de Goiás (UFG) com o apoio do Laboratório de Máquinas Agrícolas (Lamagri). A coleção apresenta um catálogo com a identificação das espécies e sua localização. A certificação da espécie da touceira de onde se extraiu os colmos (figura 38) para esta primeira etapa foi definida, com base nesse documento.



**Figur 38:** Touceira de *Bambusa vulgaris* var. *vittata*, coleção de bambus da UFG.

**Fonte:** Acervo pessoal.

A espécie adotada, *Bambusa vulgaris* var. *vittata* Rivière & C. Rivière, é considerada entouceirante. Conforme Liese (1985) *apud* Pereira (2016), os bambus não devem ser colhidos em períodos chuvosos, pois neles ocorre a fase de crescimento das espécies com características entouceirantes e o corte pode danificar os brotos.

Na estação seca, os colmos apresentam menor teor de umidade, o que além de contribuir para a sua durabilidade, torna os colmos mais leves e facilita seu transporte. No entanto, é necessária uma atenção com os colmos pois, nesse período, tendem a secar mais rapidamente aumentando as chances de ocorrência de defeitos. Uma questão importante é que no Brasil as estações secas coincidem com temperaturas mais baixas, período em que os insetos xilófagos estão em estado de hibernação ou se encontram menos ativos. (PEREIRA, 2016)

Outra vantagem de efetuar os cortes na estação seca, reside no fato de que, como as espécies entouceirantes apresentam suas brotações geralmente de dezembro a março, há um grande gasto energético para a sustentação e desenvolvimento da



planta neste período, o que implica em uma menor quantidade de amido retido nos colmos. Considerando que o grau de amido presente nos colmos está diretamente proporcional a durabilidade dos mesmos, o período de extração indicado é muito vantajoso.

Os colmos utilizados nesta etapa da pesquisa foram extraídos no mês de junho. Após o corte, os colmos foram seccionados em partes menores e armazenados em sacos transparentes, com o objetivo de efetuar inspeção visual periodicamente, a fim de evitar acúmulo de umidade e ataques biológicos. E posteriormente condicionados em local seco, arejado e sombreado.

### 3.1.3 Processamento das partículas

As partículas foram obtidas através da trituração dos colmos previamente seccionados, secos em temperatura ambiente, em moinho de martelo marca Lippel Metal Mecânica, com peneira acoplada de abertura 7mm. O procedimento foi realizado no Laboratório de Qualidade da Madeira e Bioenergia (LQMbio), da Universidade Federal de Goiás.

Na trituração foram utilizadas todas as partes do colmo, inclusive a envoltória externa e nós, essa decisão foi tomada com base na necessidade de aproveitamento da matéria-prima e a minimização da geração de resíduos, bem como, visando otimizar uma futura prática produtiva do componente.



**Figura 39:** Parte do colmo de bambu.

**Fonte:** Acervo pessoal



**Figura 40:** Moinho de martelo.  
**Fonte:** Acervo pessoal

O método de classificação foi através da utilização do equipamento de seleção da marca Bertel (figura 40) em potência máxima por 5 min, com a adição de 100g de partículas por etapa, realizada com as seguintes especificações de partículas: retidas na peneira 07 mesh (abertura 2,80 mm), retidas entre as peneiras 07 mesh (abertura 2,80 mm) e 10 mesh (abertura 1,70 mm), retidas entre as peneiras 10 (abertura 1,70 mm) e 24 mesh (abertura 0,71 mm) e fundo 24 mesh.

A primeira parcela da classificação foi realizada no Laboratório da Qualidade da Madeira e Bioenergia (LQMBio), da UFG, e a finalização foi realizada no Laboratório de Produtos Florestais, no setor de Energia e Biomassa do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA.



**Figura 41:** Peneira de classificação.  
**Fonte:** Acervo pessoal

Percebe-se que com o padrão de trituração utilizado as partículas retidas entre as peneiras 7 mesh (abertura 2,80 mm), e 10 mesh (abertura 1,70 mm) e entre as peneiras 10 mesh (abertura 1,70 mm) e 24 mesh (abertura 0,71 mm), o rendimento é maior, bem como o fundo da peneira 24 mesh apresenta um quantitativo de material significativo. A tabela a seguir apresenta imagens das partículas selecionadas e aplicadas nos tratamentos produzidos na série 1.



**Figura 42:** Caracterização das partículas selecionadas.  
**Fonte:** Autora



### 3.1.4 Preparação da mistura

O ácido cítrico foi adquirido de empresas fornecedoras de produtos alimentícios com grau de pureza de 99,5%. A solução foi realizada em becker de vidro adicionando-se o AC em água na proporção de 1:1 (figura 43).



**Figura 43:** Preparação da solução de ácido cítrico  
**Fonte:** Acervo pessoal.

A mistura da solução com as partículas foi realizada através de aspersão com a utilização de pistola de ar comprimido em um misturador. Após esse procedimento as partículas ficaram condicionadas em estufa a uma temperatura de 80°C por 4h (figura 44), pois conforme Nakamura (2018), esse procedimento deve ser realizado para que o ácido cítrico possa reagir adicionando grupos químicos funcionais às partículas.



**Figura 44:** Estufa de secagem das partículas.  
**Fonte:** Acervo pessoal.



A avaliação da umidade foi realizada a partir da verificação de três amostras de 3g retiradas aleatoriamente da composição total das partículas selecionadas. Elas foram inseridas na termobalança da marca EEL (figura 45) de onde foram extraídos os dados. Essa avaliação foi realizada no Laboratório de Produtos Florestais (LPF) setor de produtos florestais.



**Figura 45:** Termobalança.  
**Fonte:** Acervo pessoal

No teste preliminar as partículas apresentaram um teor de umidade médio de 4% no momento da retirada da estufa. No entanto, a formação dos colchões e a prensagem do painel ocorreu por volta de 12h depois. As partículas foram condicionadas em local seco e sombreado, e uma nova avaliação da umidade foi realizada imediatamente antes do processo de finalização dos painéis, e os resultados apresentados na tabela a seguir:

<b>Tabela 10: Percentual de umidade conforme a granulometria após secagem em estufa a 80°C por 4h</b>				
<b>Peneira:</b>	<b>Avaliação 01</b>	<b>Avaliação 02</b>	<b>Avaliação 03</b>	<b>Média</b>
Retidas na peneira 07	6,32%	6,44%	6,83%	6,74%
Retidas na peneira 10:	6,97%	6,29%	6,36%	6,54%
Retidas na peneira 24:	6,18%	6,76%	6,87%	6,45%

**Fonte:** Autora

A umidade médias das partículas não ultrapassou o percentual de 7% o que implicou que os painéis fossem realizados com as mesmas, sem que elas sofressem outro processo de secagem.



### 3.1.5 Determinação das dimensões dos painéis piloto executados na primeira etapa

A determinação dos parâmetros de produção e das características formais dos painéis foi realizada através do referencial teórico e de análises exploratórias. A dimensão dos pilotos da série 1 foi definida de modo a possibilitar a retirada dos corpos de prova a serem utilizados nos experimentos de avaliação dos parâmetros de perda de transmissão sonora e do coeficiente de absorção sonora pelo método do tubo de impedância.

Conforme a prática usual de aferições do coeficiente de absorção sonora pelo método do tubo de impedância do Laboratório de Acústica e Vibrações da Universidade Federal de Uberlândia (LavUFU), os tratamentos deveriam ser aferidos a partir de amostras com 5,3 cm de diâmetro e 2cm de espessura. Sendo assim definiu-se a espessura dos pilotos conforme essa indicação.

A princípio, como foi referido anteriormente na revisão bibliográfica, Umemura *et al* (2013) recomenda que os painéis que utilizem ácido cítrico como aglomerante tenham altas densidades. No entanto, como o uso para o qual pretende-se direcionar o material produzido é absorção acústica, optou-se por adotar médias densidades com o objetivo de obter o material com mais ar em seu interior, assim como avaliá-lo posteriormente conforme metodologias e parâmetros indicados na NBR 14.810/18. Sendo assim, foram testados pilotos de duas densidades planejadas 0,55 g/cm<sup>3</sup> e 0,75 g/cm<sup>3</sup>.

O tratamento que utilizou a granulometria retido na peneira 07 mesh, foi testado somente na densidade planejada de 0,75 g/cm<sup>3</sup>, pois devido a dimensão das partículas, presumiu-se que em densidades mais baixas não haveria adesão. Caso houvesse sucesso na prensagem desse tratamento testaria-se essa granulometria com a densidade de 0,55 g/cm<sup>3</sup>, o que não chegou a ocorrer.

Nakamura (2018), obteve bons resultados em seu trabalho adotando a proporção de ácido cítrico de 12% da massa das partículas secas utilizando a matéria-prima cocoda-baía. Já Widyorini *et al.* (2017), adotou em seu estudo, referentes a painéis



particulados de bambu, a proporção de 30% das partículas secas. Na primeira etapa adotou-se o percentual de 30%.

Em relação a temperatura, o estudo realizado por Chen e Kuo (2010) avaliou o impacto da temperatura na estrutura de quatro materiais lignocelulósicos por meio de avaliação termogravimétrica onde identificou-se para o bambu: a perda de massa da celulose a 308°C, da hemicelulose a 275°C, e quanto a lignina a degradação térmica ocorreu no intervalo de 380°C a 470°C. Para a série 1 painéis adotou-se o intervalo de temperatura de 180°C a 200°C, sendo a finalização da prensagem ocorreu quando observou-se a temperatura de 180°C no interior dos painéis.

### 3.1.6 Formação dos colchões

Após a secagem e conferência da umidade, as partículas foram pesadas e separadas conforme o peso úmido indicada em tabela de cálculo fornecida pela supervisão do laboratório de produtos Florestais. Os colchões foram formados em fôrmas de compensado de madeira, onde a tampa do molde foi colocada e pressionada até a formação estável do colchão (figura 46).



**Figura 46:** Formação do colchão tratamento E.

**Fonte:** Autora.



As alturas dos colchões obtidos nesta primeira etapa estão descritas na tabela abaixo:

Tabela 11: Altura dos colchões		
Tratamento	Partículas (Mesh)	Altura (cm)
A	Partícula 10-24 (0,75g/cm <sup>3</sup> )	9,5
B	Partícula 10-24 (0,55 g/cm <sup>3</sup> )	5,2
C	Partícula 7-10 (0,75g/cm <sup>3</sup> )	6,9
D	Partícula 7-10 (0,75g/cm <sup>3</sup> )	7,3
E	Partícula 7 (0,75g/cm <sup>3</sup> )	6,9

Fonte: Autora

### 3.1.7 Prensagem

Os colchões foram pré-prensados em prensa hidráulica sem a aplicação de temperatura, de modo a já garantir uma diminuição da altura do colchão antes de inseri-lo na prensa a quente.

Posteriormente, foram prensados a quente em prensa Indumec, onde foi aplicada a pressão necessária para que o prato superior da prensa pressionasse os espaçadores de metal com pressão suficiente para mantê-los presos, sendo por volta de 3Mpa. A temperatura foi controlada através da utilização termômetro digital da Marca Icel, modelo TD 890 (figura 47).



Figura 47: a) Prensa hidráulica; b) Prensa elétrica quente; c) Termômetro digital.

Fonte: Acervo pessoal.

O primeiro painel a ser prensado foi o referente ao tratamento E (partículas retidas na peneira com abertura de 2,8 mm e densidade de 0,75 g/cm<sup>3</sup>). Após 15min submetidos a pressão e temperatura acima indicados, o painel alcançou 180°C de temperatura



interna. No entanto, sua estrutura não permaneceu estável, e as partículas de descolaram com facilidade, demonstrando a não viabilidade do material.

Após esta primeira experiência foram prensados os pilotos referentes aos tratamentos **A** (partículas retidas entre as peneiras de abertura 1,70 mm e 0,71 mm e densidade 0,75 g/cm<sup>3</sup>), **B** (partículas retidas entre as peneiras de abertura 1,70 mm e 0,71 mm e densidade 0,55 g/cm<sup>3</sup>), **C** (partículas retidas entre as peneiras de abertura 2,8 mm e 1,70 mm e densidade 0,75 g/cm<sup>3</sup>) e **D** (partículas retidas entre as peneiras de abertura 2,8 mm e 1,70 mm e densidade 0,75 g/cm<sup>3</sup>).

O tempo de prensagem dos pilotos oscilou entre 12 e 16 minutos, sendo que finalização ocorreu quando a temperatura de 180°C foi alcançada no interior dos mesmos. Após o procedimento os painéis permaneceram estáveis, não se desfizeram e demonstraram a viabilidade da produção do material.

Os painéis produzidos na primeira etapa (série 1) podem ser visualizados nas figuras abaixo:



**Figura 48:** Painel tratamento A, realizado na etapa 01.  
**Fonte:** Autora



**Figura 49:** Painel tratamento B, realizado na etapa 01.  
**Fonte:** Autora



**Figura 50:** Painel tratamento C, realizado na etapa 01.  
**Fonte:** Autora



**Figura 51:** Painel tratamento D, realizado na etapa 01.

**Fonte:** Autora

### **3.2 Etapa 02: Produção dos pilotos para caracterização física e mecânica**

Como dito anteriormente esta etapa foi dedicada a produção da série 2 de painéis com o objetivo de realizar a caracterização física e mecânica do material produzido. A seguir têm-se a descrição dos procedimentos adotados.

#### **3.2.1 Determinação das dimensões dos painéis piloto**

O objetivo do presente estudo além de verificar viabilidade da produção de painéis aglomerados com partículas de *Bambusa vulgaris var. vittata* e ácido cítrico, pretende avaliar seu potencial para fins de condicionamento acústico.

Esses materiais são comumente aplicados como revestimentos em edificações ou preenchimento em sistemas pré-fabricados como dry-wall. Conforme a ABNT NBR 14.810-2/18, os painéis aglomerados são classificados em 6 tipos, diferindo-se quanto ao uso e aplicação. Neste trabalho têm-se como objetivo analisar as propriedades dos



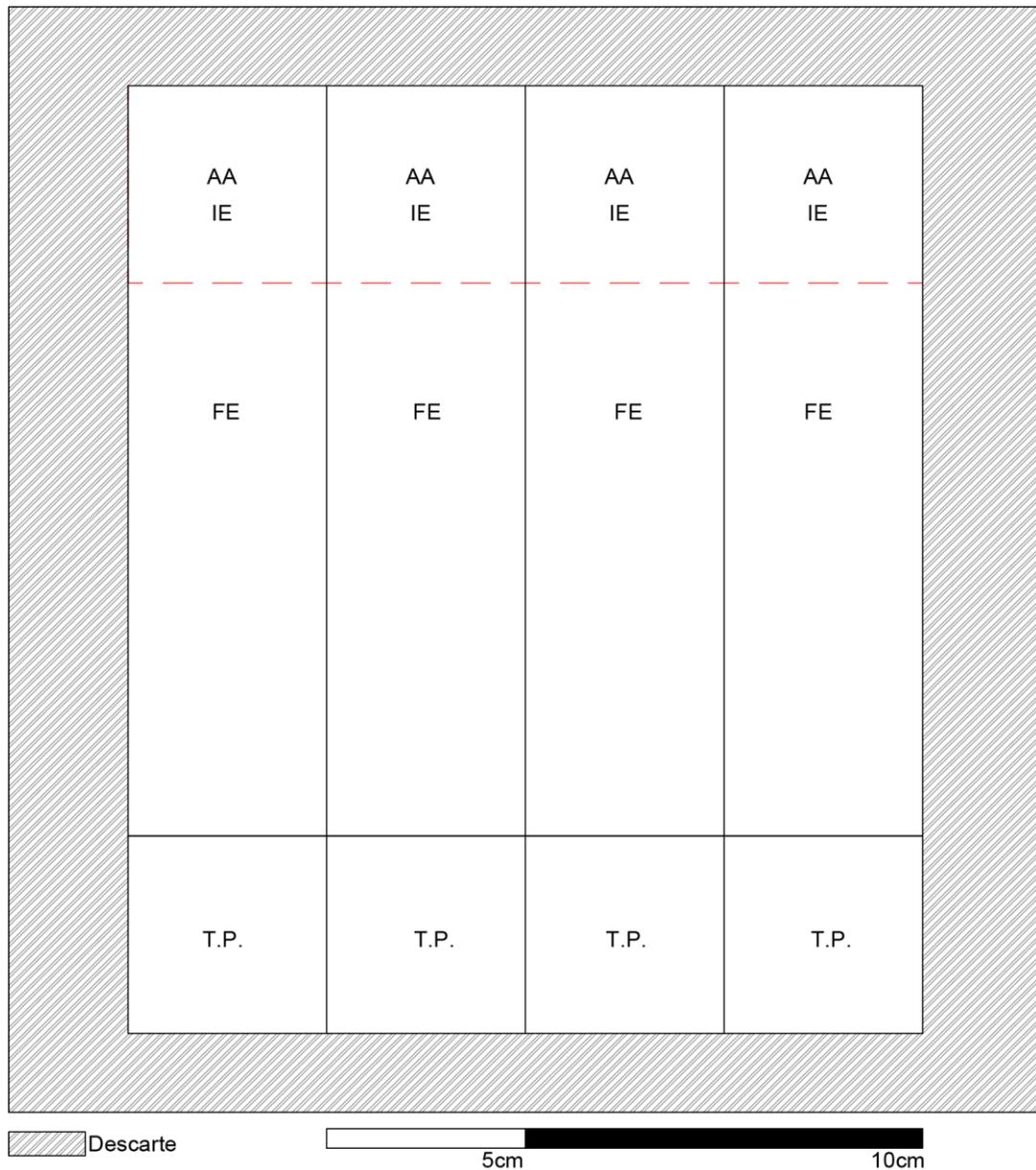
painéis produzidos para atender a classificação P2, que trata de painéis não estruturais para uso interno em condições secas. Para tanto foram realizados os ensaios citados no quadro abaixo, no Laboratório de Produtos Florestais (LPF).

Tabela 12: Requisitos e propriedades mecânicas para painéis não estruturais de uso interno em condições secas.											
Propriedades	Métodos de ensaio	Unidade	Requisitos por faixa de espessura nominal (mm)								
			< 3	3 a 4	> 4 a 6	> 6 a 13	> 13 a 20	> 20 a 25	> 26 a 32	> 32 a 40	> 40
Inchamento 24h	Anexo L	%	30	28	25	22	22	18	18	16	16
Resistência a tração perpendicular	Anexo J	N/ mm <sup>2</sup>	0,45	0,45	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20	0,20
Resistência a flexão estática	Anexo K		13	13	12	11	11	10,5	9,5	8,5	7
Módulo de elasticidade			1.800	1.800	1.950	1.800	1.600	1.500	1.350	1.200	1.050
Resistência a tração superficial	Anexo M		1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fonte: ABNT NBR 14.810-2/2018

A dimensão e espessura dos painéis a serem projetados, são decorrentes das especificações dos corpos de prova a serem extraídos que por sua vez têm suas características determinadas segundo a normativa citada, NBR 14.810/18.

Os pilotos foram produzidos conforme o plano de corte apresentado na figura abaixo, com dimensões 26 cm x 28 cm x 1 cm e propiciou a extração de corpos de prova para os testes de Resistência à Tração Perpendicular, Resistência à Flexão Estática e Módulo de Elasticidade, Resistência a Tração superficial e Inchamento 24h. O plano de corte está apresentado na figura 52.



**Figura 52:** Plano de corte dos corpos de prova. Onde: TP (tração perpendicular), FE (flexão estática), AA (absorção de água) e IE (inchamento em espessura).

**Fonte:** Autora.

Em cada painel foram obtidos 4 corpos de prova com as dimensões 5 cm x 5 cm utilizados no ensaio de tração perpendicular (TP) e 4 corpos de prova com as dimensões 19 cm x 5 cm utilizados nos ensaios de flexão estática.

Para o ensaio de flexão estática (FE) foram extraídos 04 corpos de prova com a dimensão de 19 cm x 5 cm, de cada painel na mesma quantidade descrita no parágrafo anterior. Após a sua utilização estes corpos de prova foram novamente seccionados na dimensão de 5 cm x 5 cm e utilizados nos ensaios de inchamento em espessura 24h (IE) e absorção de água (AA).



No total foram 12 corpos de prova por tratamento para cada ensaio, um total de 48 corpos de prova. No entanto, um dos painéis referente ao tratamento B sofreu ruptura no processo de descolamento das chapas de prensagem. O que implicou que para este tratamento utilizou-se 8 corpos de prova em todos os ensaios, completando um total de 44 corpos de prova avaliados.

### 3.2.2 Definição dos tratamentos

O planejamento dos painéis buscou manter os mesmos parâmetros de densidade e granulometria da fase exploratória, no entanto as medidas foram alteradas afim de realizar os corpos de prova para os ensaios mecânicos. Nesta etapa foram mantidos os tratamentos A, B, C e D, pois o tratamento E, se mostrou inviável na etapa anterior.

Em relação ao teor de ácido cítrico, o percentual de 30% utilizado anteriormente foi substituído pelo percentual de 20% da massa de partículas, visando minimizar o consumo de matéria-prima, e verificar o comportamento do material, visto que trabalhos semelhantes alcançaram desempenho com percentuais que variam de 12% a 18% Nakamura (2018). A descrição dos tratamentos está descrita conforme a tabela abaixo:

**Tabela 13: Descrição dos tratamentos adotados na série 2**

Tratamento	Partícula (Mesh)	Adesivo	Densidade	Dimensão (cm)
A	10-24	20% A.C	0,75 g/cm <sup>3</sup>	26 x 28 x 2
B	10-24	20% A.C	0,55 g/cm <sup>3</sup>	26 x 28 x 2
C	7-10	20% A.C	0,75 g/cm <sup>3</sup>	26 x 28 x 2
D	7-10	20% A.C	0,55 g/cm <sup>3</sup>	26 x 28 x 2

Fonte: Autora

### 3.2.3 Confirmação da espécie

Nesta etapa além da identificação oferecida pela coleção de bambus da Faculdade de Agronomia da UFG, buscou-se meios mais precisos de identificação e confirmação da espécie da touceira cuja matéria-prima foi extraída.



Uma das formas de identificação da espécie é realizada através da comparação das características taxonômicas da planta com exsicatas depositadas em herbário. A touceira de onde se extraiu a matéria-prima para a realização deste trabalho foi identificada através da exsicata de nº 66.709 (figura 53), elaborada e depositada no herbário da Universidade Federal de Goiás.



**Figura 53:** Exsicata *Bambusa vulgaris* var. *vittata* Rivière & C. Rivière, nº 66.709, herbário UFG.  
**Fonte:** Graciano Ribeiro, Louredo (2019)

### 3.2.4 Produção dos painéis piloto

A extração dos colmos de bambu, foi realizada na mesma touceira utilizada na etapa exploratória, em meados de agosto do ano de 2019, respeitando as condições climáticas e de armazenamento acima citadas.



A preparação da mistura e secagem das partículas foi realizada conforme o método citado anteriormente, sendo utilizado o percentual de 20% de AC, para a massa seca de partículas.

Após a mistura e secagem em estufa, as umidade aferida das partículas deu-se conforme os dados apresentados na tabela abaixo, onde todas as partículas apresentaram umidade abaixo de 7%, conforme tabela abaixo:

<b>Tabela 14: Umidade das partículas após o tratamento</b>				
<b>Partículas</b>	<b>Análise 01</b>	<b>Análise 01</b>	<b>Análise 01</b>	<b>Média</b>
<b>10 mesh</b>	5,94%	6,26%	6,13%	6,11%
<b>24 mesh</b>	6,23%	6,48%	6,11%	6,27%

Fonte: Autora

A temperatura adotada para a prensagem, prezou como na etapa exploratória não ultrapassar o limite observado para a degradação das fibras de bambu por Chen e Kuo (2010) onde identificou-se para o bambu a perda de massa da celulose a 308°C, da hemicelulose a 275°C, e quanto a lignina a degradação térmica ocorreu no intervalo de 380°C a 470°C.

No entanto, como em inspeção visual notou-se que as faces do painel apresentaram coloração escura, e considerando que a espessura foi reduzida pela metade, adotou-se a temperatura da prensa no intervalo de 170°C a 190°C, sendo que o tempo de prensagem foi condicionado a indicação do alcance da temperatura de 170°C no interior do painel, através da utilização termômetro digital da Marca Icel, modelo TD 890.

### **3.3 Ensaios de Caracterização Física e Mecânica**

#### **3.3.1 Preparação dos corpos de prova**

Os corpos de prova foram preparados conforme o plano de corte apresentado anteriormente, sendo que suas dimensões e norma referência foram descritos na tabela abaixo. A descrição dos corpos de prova com os respectivos resultados por são descritos em tabela no apêndice.



**Tabela 15: Normas e referências utilizadas como base para os ensaios**

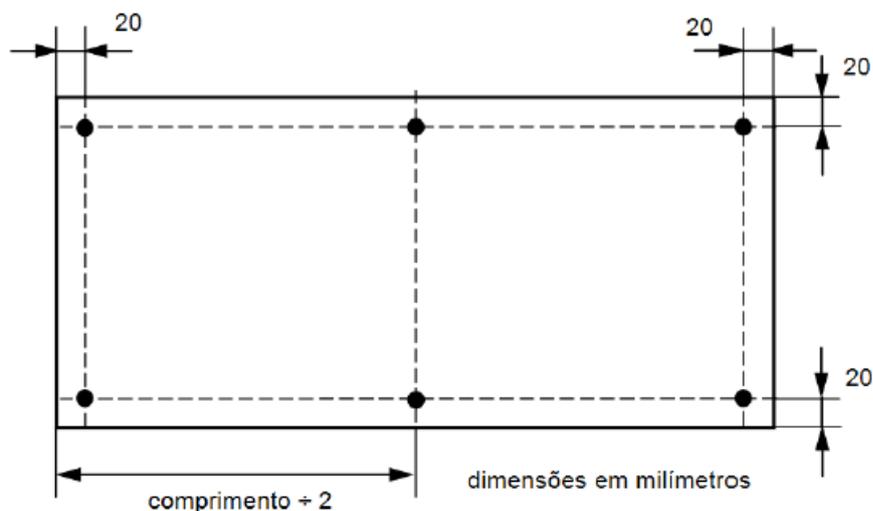
Ensaio/caracterização	Dimensões dos CPs	Norma
Densidade aparente ( $\rho$ );	19 cm x 5 cm x 1 cm	
Absorção de água (AA) e inchamento em espessura (IE),	5 cm x 5 cm x 1 cm	ABNT NBR 14810-2:2018
Flexão estática,	19 cm x 5 cm x 1 cm	
Resistência à tração perpendicular (TP)	5 cm x 5 cm x 1 cm	

Fonte: Autora

### 3.3.2 Ensaios de caracterização física dos painéis da série 2

#### 3.3.2.1 Densidade aparente

Para determinar a densidade geral dos corpos de prova por tratamento, primeiro identifica-se a espessura em pontos estabelecidos por norma (figura 54), mensurada através da utilização de micrômetro com precisão 0,01mm (figura 55), seguida da aferição das larguras em pontos também definidos com a utilização de paquímetro digital com precisão 0,01mm. O passo seguinte é a pesagem dos corpos de prova em balança de precisão de 0,01g.



**Figura 54:** Pontos da superfície do painel a serem adotados para a aferição da espessura.

Fonte: ABNT NBR 14.810-2/2018



**Figura 55:** Aferição de medidas dos corpos de prova com micrômetro.  
**Fonte:** Arquivo pessoal.

Após a verificação das massas, espessuras e dimensões para cada corpos de prova, onteve-se a espessura, largura comprimento médios e a densidade de cada corpo de prova. Em seguida calculou-se a densidade média por cada tratamento e o coeficiente de variação;

### 3.3.2.2 Inchamento e espessura (IE) e absorção de água (AA)

Os corpos de prova foram previamente avaliados em relação a sua espessura média e massa. Posteriormente foram completamente submersos em recipiente com água a temperatura de 25°C, por 24h, (figura 56) após esse período as amostras foram retiradas do recipiente e o excesso de água extraído. Em seguida foi aferido a espessura e a massa das amostras novamente para mediante comparação com os dados anteriores se efetuar o cálculo do IE e a AA, conforme as seguintes equações:



$$IE = \left( \frac{E_f - E_i}{E_i} \right) \times 100 \quad (09)$$

Onde:

$IE$  = Inchamento e espessura (%)

$E_f$  = Espessura final após imersão em água

$E_i$  = Espessura inicial

$$AA = \left( \frac{m_f - m_i}{m_i} \right) \times 100 \quad (10)$$

Onde:

$AA$  = Absorção de água

$m_f$  = massa final após a imersão

$m_i$  = massa inicial



**Figura 56:** Imersão dos corpos de prova.

**Fonte:** Arquivo pessoal.

### 3.3.2.3 Resistência a tração perpendicular

O teste ocorreu através da colagem dos corpos de prova (figura 57) em bases, com a utilização de adesivo termofusível (cola “hot melt”), uréia-formol, PVAc ou outro adesivo indicado. Após a colagem, os corpos de prova foram estabilizados em câmara de climatização, por cerca de 48h. Posteriormente foram tracionadas pela máquina de ensaios universal (figura 58).



A resistência à tração perpendicular do corpo de prova é calculada através da equação:

$$TP = \frac{P}{S} \quad (11)$$

Onde:

$S = b_1 \times b_2$

TP = Resistência à tração perpendicular (N/mm<sup>2</sup>)

P = Carga na ruptura (N)

S = Área da superfície do corpo de prova (mm<sup>2</sup>)

$b_1$  e  $b_2$  = dimensões do corpo de prova (mm)



**Figura 57:** Corpos de prova sendo preparados para cura do adesivo em prensa manual.  
**Fonte:** Acervo pessoal.



**Figura 58:** Teste de Tração Perpendicular  
**Fonte:** Acervo pessoal



### 3.3.2.4 Ensaio de flexão estática e os módulo de elasticidade e módulo de ruptura

Após a estabilização dos corpos de prova em câmara climática por cerca de 48h, foram aferidas as suas espessuras, comprimentos e larguras obtendo-se a média de dados por corpo de prova, e houve a pesagem dos mesmos.

Para a realização do ensaio depositou-se os extremos do corpo de prova sobre os dois apoios da máquina universal de ensaios, de modo que o dispositivo para aplicar a carga coincida com o centro do corpo de prova (figura 59). Os valores são calculados conforme as equações:

$$\text{MOR} = \frac{1,5 \times (P \times D)}{B \times (E)^2} \quad (12)$$

Onde:

MOR = Módulo de resistência à flexão estática (N/mm<sup>2</sup>)

P = Carga de ruptura lida no indicador de cargas (N)

D = Distância entre apoios do aparelho (mm)

B = Largura do corpo de prova (mm)

E = Espessura do corpo de prova (mm)

$$\text{MOE} = \frac{P1 \times D^3}{d \times 4 \times B \times E^3} \quad (13)$$

Onde:

MOE = Módulo de elasticidade (N/mm<sup>2</sup>)

P1 = Carga no limite proporcional lida no indicador de cargas (N)

D = Distância entre os apoios do aparelho (mm)

d = Deflexão, expressa em milímetros (mm), correspondente à carga P1

B = Largura do corpo de prova (mm)

E = Espessura do corpo de prova (mm)



**Figura 59:** Ensaio de Flexão Estática.  
**Fonte:** Acervo Pessoal.

### 3.4 Avaliação de Parâmetros Acústicos

#### 3.4.1 Absorção sonora pelo método do tubo de impedância

Um dos meios para se verificar o coeficiente de absorção sonora de um material é o método do tubo de impedância (ou tubo de ondas estacionárias). Os métodos normatizados para medição de impedância acústica se referem à incidência sonora normal à superfície refletora, que pode ser determinada a partir da medição da função de transferência entre dois pontos, e se dá conforme a norma ISO 10534-2 (1998). (GERGES, 1992) (MELO et al, 2010)

A determinação do coeficiente de absorção sonora dos painéis MDP de bambu e ácido cítrico se deu por meio do ensaio no tubo de impedância realizado no Laboratório de Acústica e Vibrações (LAV) da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia (FEMEC-UFU, Campus Santa Monica, Uberlandia/MG).



O experimento adotou o método digital através do ruído branco, um ruído com frequência de distribuição constante, que é gerado e aplicado no tubo. A pressão sonora dentro do tubo é identificada por dois microfones em posições predeterminadas.

Os sinais dos microfones são processados simultaneamente por um analisador digital. No entanto, como o campo sonoro gerado no interior do tubo, pode ser considerado estacionário, os sinais dos microfones não precisam ser processados simultaneamente.

Desta forma, apenas um microfone pode ser usado para realizar a aquisição de sinal em posições distintas ao longo do tubo, eliminando o procedimento de calibração entre os dois microfones, e consequentemente erros associados à diferença de fase entre cada microfone e dificuldades computacionais. (MIRANDA *et al*, 2014)

O sistema de medição do coeficiente de absorção sonora citado, foi descrito na figura 42, e é composto por um microfone, um dispositivo de aquisição (DAQ) conectado a um notebook com um software LabVIEW instalado, um gerador de sinal que gera ruído branco que é amplificado e conectado a um alto-falante que está em uma extremidade do tubo.

Para determinar o coeficiente de absorção sonora, é necessário encontrar o valor da função de transferência entre os sinais obtidos na posição F (Far) e na posição N (Near), respectivamente. Através dos dados calcula-se o coeficiente de absorção sonora ( $\alpha$ ) Chu (1986) *apud* Miranda *et al* (2014), e o coeficiente de redução sonora (NRC), obtido através da média aritmética ponderada entre os valores de ( $\alpha$ ) obtidos nas bandas de frequências analisadas. (MIRANDA *et al*, 2014)



$$\alpha = 1 - \frac{H_{FN} - e^{-iks}}{e^{iks} - H_{FN}} \quad (14)$$

Onde:

$\alpha$  = Coeficiente de absorção sonora;

$H_{FN}$  = Função de transferência entre os microfones;

$e$  = Constante exponencial;

$K$  = Número de onda (Velocidade angular / velocidade do som no ar)

$S$  = Distância entre as posições pré-determinadas dos microfones;

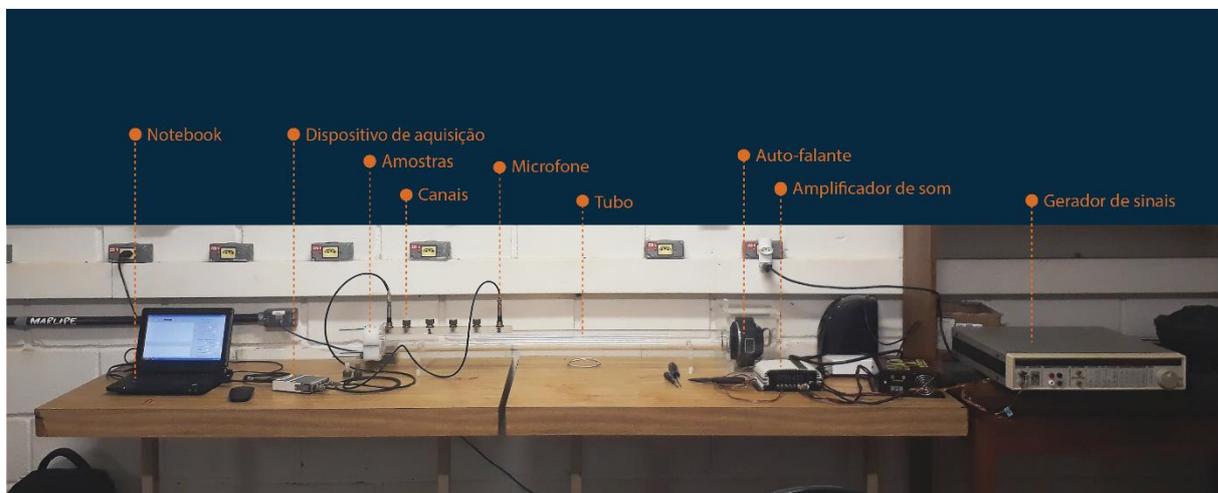
$$NRC = \frac{1}{4} (\alpha(250) + \alpha(500) + \alpha(1000) + \alpha(2000)) \quad (15)$$

Onde:

NRC: coeficiente de redução sonora;

$\alpha$ : Coeficiente de absorção sonora;

O tubo de impedância utilizado foi construído em acrílico conforme a norma ISO 10534-2, e os equipamentos que o compõem são: alto-falante modelo JBL2426H, microfone PCB pré-amplificado de ½ "modelo 377B02, com faixa de frequência de 5 a 10000Hz, e dispositivo de aquisição de dados da National Instruments, modelo NI USB-9162, gerador de sinais modelo DS360 e amplificador Stetsom CL 500. (Figura 60)

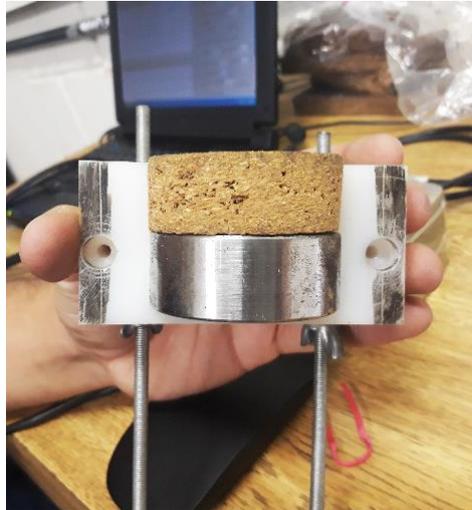


**Figura 60:** Esquema do tubo de impedância do LAV-UFU.

**Fonte:** Autora;



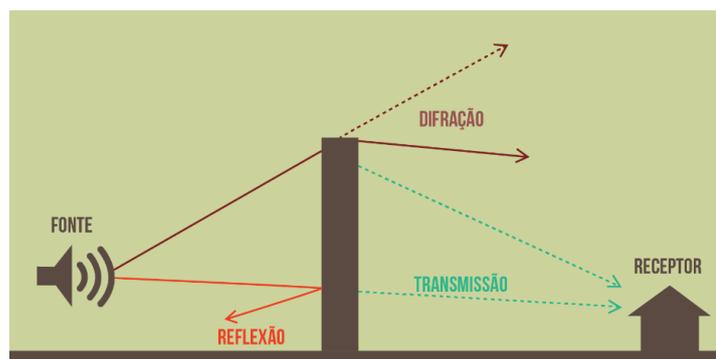
As amostras inseridas no tubo apresentaram 5,3 cm de diâmetro e 2 cm de espessura. Sendo ensaiadas com camada única. Os dados foram trabalhados em conjunto no programa, de compilação de dados Matlab, onde foram gerados os gráficos de apresentação dos índices de absorção sonora ( $\alpha$ ).



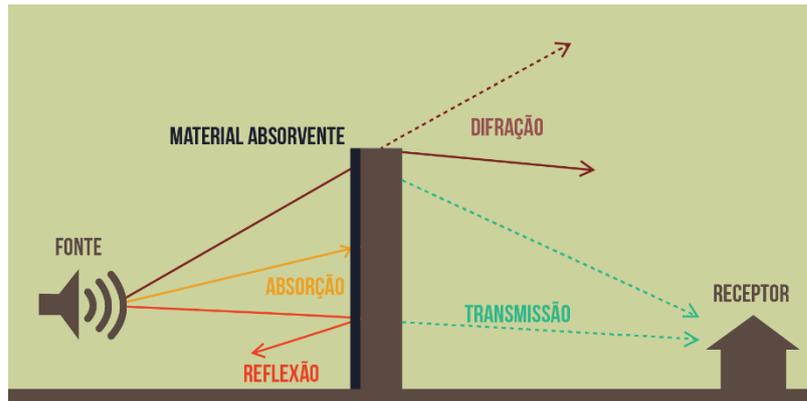
**Figura 61:** Exemplo de amostras inseridas no tubo de impedância.  
**Fonte:** Autora.

### 3.4.2 Decaimento de Nível sonoro

Na presença de obstáculos, a propagação do som é afetada, ocorrendo absorção, reflexão, difração e transmissão das ondas. Tal recurso é comumente utilizado para a atenuação sonora de Zonas Urbanas Sensíveis, tais como hospitalares, residenciais, e também em ambientes internos. A aplicação de materiais absorvedores nesse tipo de componente contribui significativamente para o seu desempenho, principalmente em relação ao ruído refletido. (WATSON, 2006)



**Figura 62:** Diagrama de representação da ação da barreira acústica sem material absorvente.  
**Fonte:** Autora.



**Figura 63:** Diagrama de representação da ação da barreira acústica sem material absorvente.  
**Fonte:** Autora.

O decaimento sonoro também é útil na aplicação de barreiras acústicas em ambientes internos como por exemplos bancos e ambientes corporativos por garantir mais privacidade em relação aos sons de conversação em ambientes parcelas de ambientes coletivos.

O melhor indicador do desempenho de uma barreira acústica é a perda por inserção (IL da sigla inglesa de Insertion Loss), que traduz a capacidade de uma barreira atenuar o ruído. Em termos simples a IL é a diferença de níveis sonoros antes e após a barreira ter sido construída. Depende da altura da barreira, da distância fonte/recetor à barreira, da frequência, do comprimento de onda do som e do coeficiente de absorção do material da barreira. (DAIGLE, 1999 *apud* GOLÇALVES, 2014)

Para alcançar desempenho satisfatório, a barreira deve diminuir a transmissão sonora. TL (sigla em inglês: transmission loss) é um indicador, que desconsidera reflexão e difração, para aferir a perda de energia sonora alcançada pelo componente. Qualquer material que confira uma TL de pelo menos 10 dB a mais do que a redução desejada no planejamento da barreira pode ser considerado eficiente. O TL pode ser obtido pela seguinte equação 16. (KNAUER *et al.*, 2000 *apud* GOLÇALVES 2014)



$$TL = 10 \text{ Log} \left[ \frac{10^{SPL_S/10}}{10^{SPL_T/10}} \right] \quad (16)$$

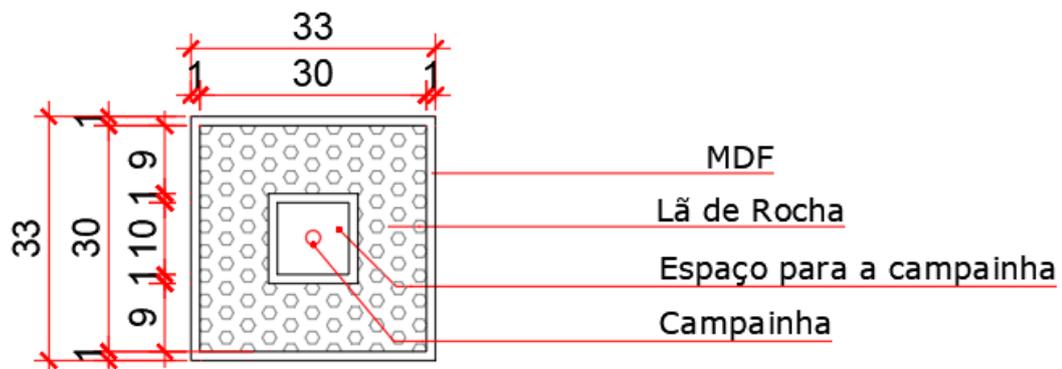
Onde:

TL: Perda de transmissão

SPL<sub>S</sub>: Nível sonoro medido antes da instalação da barreira;

SPL<sub>T</sub>: Nível sonoro medido após a instalação da barreira;

Afim de verificar o potencial de decaimento acústico do material desenvolvido, foi idealizado e realizado este ensaio. O procedimento é semelhante ao aplicado por Amorim (2014), com adaptações. Consistiu na construção de caixas de compensado de três lâminas, de 4 mm, com parede dupla e no seu interior foi inserido 3 camadas de lã de rocha de 3,5cm e uma campainha para emissão sonora contínua de 5,0 W de potência (tipo cigarra).



**Figure 64:** Esquema da caixa de verificação do potencial de TL.

**Fonte:** Autora

A caixa foi fechada com uma placa do mesmo material, com uma abertura na região de instalação da campainha. O decibímetro da marca x foi posicionado com o microfone voltado para a campainha a uma distância de 40cm.

Primeiramente foram realizadas 05 medições de nível sonoro do acionamento da campainha sem adição de barreira. As leituras foram expressas em decibéis (dB), e realizadas na faixa C (ideal para estudos de ruído de impacto, como o causado pelo som da campainha).



**Figura 65:** Itens utilizados para ensaio de decaimento sonoro.

**Fonte:** Autora.

Depois foram realizadas 05 medições para cada tratamento após a instalação da barreira composta pelo material desenvolvido, e por lã de rocha com a mesma espessura. Os níveis sonoros finais foram definidos através da média dos dados obtidos e através deles calculou-se o TL estimado para cada tratamento.



## CAPÍTULO 4 – RESULTADOS EXPERIMENTAIS: APRESENTAÇÃO E ANÁLISES

Neste capítulo serão apresentados os resultados dos ensaios de caracterização acústica realizados com os corpos de prova extraídos dos painéis produzidos na série 1. Assim como os resultados obtidos com os ensaios de caracterização física e mecânica realizados com os corpos de prova obtidos dos painéis produzidos na série 2.

Ao apresentar os dados dos ensaios de caracterização física e mecânica do material será informado nas análises dos resultados a adequação dos tratamentos avaliados aos requisitos mínimos para painéis não-estruturais em condições secas conforme a norma ABNT NBR 14.810/18.

Em alguns casos optou-se por trazer também um comparativo com o desempenho de materiais desenvolvidos em outros estudos que utilizaram a metodologia e tratamentos semelhantes aos aplicados neste trabalho em relação a produção dos painéis, mas com adoção de diferentes matérias-primas como por exemplo pinus e eucalipto.

Buscou-se também definir em análise estatística a significância dos fatores combinados nos tratamentos em relação às propriedades do material aferidas em cada ensaio. O único tratamento que não apresentou significância foi o inchamento em espessura 24h, onde a variação dos fatores que compõem os tratamentos não influenciam no resultado final.

Foram produzidos ao todo na segunda etapa 12 painéis. Em cada painel foram obtidos 4 corpos de prova com as dimensões 5 cm x 5 cm utilizados no ensaio de tração perpendicular (TP).

Para o ensaio de flexão estática (FE) foram extraídos 04 corpos de prova com a dimensão de 19 cm x 5 cm, de cada painel na mesma quantidade descrita no parágrafo anterior. Após a sua utilização estes corpos de prova foram novamente seccionados na dimensão de 5 cm x 5 cm e utilizados nos ensaios de inchamento em espessura 24h (IE) e absorção de água (AA).

Ao todo foram 12 corpos de prova por tratamento e 48 corpos de prova no total. No entanto, um dos painéis referente ao tratamento B sofreu ruptura no processo de descolamento das chapas de prensagem. O que implicou que para este tratamento utilizou-se 8 corpos de prova em todas as análises, completando um total de 44 corpos de prova.

Em relação a inspeção visual têm-se que os painéis produzidos apresentaram superfície lisa e homogênea, e odor característico de madeira torrificada. A ausência de manchas ou áreas com pouca adesão indica uma boa distribuição do adesivo (Figura 66).



**Figura 66:** Painel MDP de Bambu e Ácido Cítrico produzido, tratamento C.  
**Fonte:** Autora.

## **4.1 Propriedades Físicas dos Painéis Aglomerados MDF de Bambu e Ácido Cítrico**

### **4.1.1 Densidade aparente**

Conforme ABIPA (2014), os painéis particulados de média densidade (MDP), são aqueles cuja a densidade esteja entre  $551 \text{ kg/m}^3$  e  $750 \text{ kg/m}^3$ . As densidades aparentes dos painéis conforme tratamento foram verificadas e os resultados podem ser visualizados na tabela abaixo.



**Tabela 16:** Densidade aparente por tratamento dos painéis da série 2

A <sup>2</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	B <sup>2</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	C <sup>3</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	D <sup>1</sup> (kg/m <sup>3</sup> )
726,12 (3,42)	553,68 (4,47)	788,65 (6,84)	587,80 (7,07)

\*Os números iguais em sobrescrito representam médias sem diferença;

\*\* Os números entre parênteses são os coeficientes de variação;

\*\*\* Significativa ao nível de 5% de significância conforme ANOVA;

**Fonte:** Autora

Os valores diferem daqueles planejados, porém ainda se enquadram na caracterização de painéis de média densidade. Para efeito dos cálculos das características físicas e mecânicas foram adotados os dados obtidos com a produção dos painéis e conseqüentemente dos corpos de prova da série 2.

Os dados para cálculo da densidade aparente dos tratamentos foram compilados através da aferência dos corpos de prova com paquímetro, micrômetro e balança de precisão.

Primeiramente mede-se os corpos de prova conforme indicações apresentadas no programa experimental, e obtêm-se os dados de comprimento médio, largura média e massa para cada corpo de prova. Através destes dados têm-se a densidade por corpo de prova.

A densidade aparente por tratamento é verificada através do cálculo da média das densidades obtidas através da conferência dos corpos de prova utilizados para os ensaios de flexão estática (FE) cuja dimensão é 19 cm x 5 cm. Além da média, calcula-se o coeficiente de variação para cada tratamento.

Os dados foram submetidos a análise fatorial pelo método da Análise de Variância ANOVA, onde primeiramente submete-se os dados a avaliação da existência de outliers, e de significância. Feito esta análise calcula-se as densidades aparentes por tratamento.

Nessa propriedade há significância conforme a ANOVA o que indica que alteração de fatores como granulometria altera os resultados finais deste ensaio. Os tratamentos A e B apresentaram as médias sem diferenças significativas, já os tratamentos C e D apresentaram médias diferenciadas entre si e os tratamentos A e B.



#### 4.1.2 Inchamento e espessura (IE)

Para o ensaio em inchamento em espessura foram aferidas as dimensões e massa dos 44 corpos de prova que representaram os tratamentos avaliados, e os mesmos foram imersos em água deionizada por 24h. Após esse procedimento as dimensões e massa foram novamente aferidas em cada corpo de prova e os dados submetidos na equação 09. O resultado geral para cada tratamento foi obtido através da média dos resultados identificados nos corpos de prova correspondentes. Os resultados finais podem ser visualizados na tabela 17.

$$IE = \left( \frac{Ef - Ei}{Ei} \right) \times 100 \quad (09)$$

Onde:

IE = Inchamento e espessura (%)

Ef = Espessura final após imersão em água

Ei = Espessura inicial

Para a avaliação em relação ao inchamento em espessura, o tratamento B apresentou um percentual de IE bem abaixo dos demais, 16,99%, estando em conformidade ao que coloca a norma ABNT NBR 14.810/18, para painéis tipo P2, que é 22%. Somente o tratamento A não alcançou o máximo previsto pela norma, no entanto apresenta um percentual bem próximo ao parâmetro definido, como pode ser verificado na tabela 17.

**Tabela 17:** Percentual médio do inchamento 24h por tratamento.

A <sup>1</sup>	B <sup>1</sup>	C <sup>1</sup>	D <sup>1</sup>
22,49% (29,34)	16,99% (42,37)	21,64% (43,99)	21,21% (45,36)

\*Os números iguais em sobrescrito representam médias sem diferença;

\*\*Os números entre parênteses representam o coeficiente de variação;

\*\*\* Não é significativa ao nível de 5% de significância conforme análise de variância (ANOVA);

**Fonte:** Autora

Neste ensaio a variação dos fatores não é significativa o que implica que os resultados tendem ao mesmo padrão independente da variação da granulometria ou densidade. Em relação as médias têm-se que não há diferença, identificando que não há



particularidades que diferem os tratamentos entre si nos dados relativos a essa propriedade.

Na tabela 18 é apresentado o comparativo de resultados no que tange ao inchamento em espessura 24h, para experiências com metodologias semelhantes e matérias-primas distintas.

**Tabela 18: Comparativo inchamento em espessura 24h**

Referência	Material	Adesivo	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	IE%
Nakamura (2017)	Coco-da-baía	18% AC	0,76	4%
Pereira (2017)	Eucalipto	18% AC	0,8	22%
kusumah <i>et al</i> (2016)	Bagaço de sorgo	20%	0,8	9%
Widyorini <i>et al</i> (2016)	Teca	10%	0,9	13%
Umemura <i>et al</i> (2015)	Pinus	30%	0,8	50%
Tratamento A	Bambusa vulgaris	20%	0,72	22,49%
Tratamento B	Bambusa vulgaris	20%	0,55	16,99%
Tratamento C	Bambusa vulgaris	20%	0,78	21,64%
Tratamento D	Bambusa vulgaris	20%	0,58	21,21%

**Fonte:** Nakamura (2017); Pereira (2017); kusumah *et al* (2016); Widyorini *et al* (2016); Umemura *et al* (2015)

Nota-se que o percentual de inchamento em espessura dos tratamentos B, C e D são menores que os painéis de eucalipto, mesmo a densidade aparente sendo menor, principalmente nos tratamentos B e D. Em todos os tratamentos o percentual é menor que os painéis de pinus, com as considerações sobre densidade ditas anteriormente.

#### 4.1.3 Absorção de água

A absorção de água foi verificada através dos mesmos corpos de prova em que se aferiu o inchamento em espessura. Os dados por corpo de prova foram substituídos na equação 10. O resultado final por tratamento foi obtido através da média dos resultados obtidos com os corpos de prova correspondentes. O desempenho dos tratamentos referente a absorção de água deu-se conforme os dados da tabela 19.

$$AA = \left( \frac{mf - mi}{mi} \right) \times 100 \quad (10)$$

Onde:

AA = Absorção de água

mf = massa final após a imersão

mi = massa inicial



**Tabela 19: Percentual de absorção de água**

A <sup>2</sup>	B <sup>3</sup>	C <sup>1</sup>	D <sup>2</sup>
61,99% (13,81)	76,40% (10)	43,37% (10,40)	58,34% (12,15)

\*Os números iguais em sobrescrito representam médias sem diferença;

\*\*Os números entre parênteses representam o coeficiente de variação;

\*\*\* É significativa ao nível de 5% de significância conforme análise de variância (ANOVA);

**Fonte:** Autora

Para esse ensaio há significância conforme a ANOVA o que indica que a alteração de fatores como granulometria e densidade alteram os resultados do desempenho do material em relação a absorção de água.

Em relação as médias têm-se que os tratamentos D e A apresentam médias sem diferença, ao passo que os tratamentos B e C diferem entre si e os demais. Onde o tratamento B apresentou o maior percentual de absorção e o C o menor.

Na tabela 20 pode-se observar um comparativo entre os resultados de absorção de água obtidos com avaliação de compósitos de ácido-cítrico e matérias-primas distintas.

**Tabela 20: Comparativo absorção de água**

Referência	Material	Adesivo	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	AA%
Nakamura (2017)	Coco-da-baía	18% AC	0,76	46%
Pereira (2017)	Eucalipto	18% AC	0,8	52%
kusumah <i>et al</i> (2016)	Bagaço de sorgo	20% AC	0,8	62%
Widyorini <i>et al</i> (2016)	Teca	10% AC	0,9	30%
Tratamento C	Bambusa vulgaris	20% AC	0,78	43,37%
Tratamento D	Bambusa vulgaris	20% AC	0,58	58,34%

**Fonte:** Nakamura (2017); Pereira (2017); kusumah *et al* (2016); Widyorini *et al* (2016); Umemura *et al* (2015)

Ao comparar os dados deste trabalho com os demais, apresentados na tabela acima, nota-se que o desempenho de maneira geral foi positivo, principalmente nos tratamentos C e D. O tratamento C, alcançou um índice superior somente em relação ao material realizado com teca.



## 4.2 Propriedades Mecânicas dos Painéis Aglomerados de Bambu e Ácido Cítrico

### 4.2.1 Resistência a tração perpendicular (TP)

Os dados foram obtidos através do ensaio de resistência a tração perpendicular onde é aferida a carga de ruptura e calculada a tração perpendicular através da equação 11.

$$TP = \frac{P}{S} \quad (11)$$

Onde:

S = b1 x b2

TP = Resistência à tração perpendicular (N/mm<sup>2</sup>)

P = Carga na ruptura (N)

S = Área da superfície do corpo de prova (mm<sup>2</sup>)

b1 e b2 = dimensões do corpo de prova (mm)

A aferição e o cálculo é realizado por corpo de prova e posteriormente é realizada a média dos resultados obtidos com os corpos de prova por tratamento. O resultados verificados no ensaio estão descritos na tabela 21.

**Tabela 21: Tração Perpendicular (N/mm<sup>2</sup>)**

A <sup>1</sup>	B <sup>1</sup>	C <sup>2</sup>	D <sup>1</sup>
0,16 (32,2)	0,15 (48,2)	0,42 (0,24)	0,23 (64,70)

\*Os números iguais em sobrescrito representam médias sem diferença;

\*\*Os números entre parênteses representam o coeficiente de variação;

\*\*\* É significativa ao nível de 5% de significância conforme análise de variância (ANOVA);

**Fonte:** Autora

Os dados indicaram que o tratamento que alcançou o mínimo exigido pela NBR 14.810-2/2018, para painéis não estruturais de uso interno em condições secas, no que tange à tração perpendicular (0,40 N/mm<sup>2</sup>) foi o tratamento C com o valor de 0,42 N/mm<sup>2</sup>.

A análise estatística demonstrou que há significância para a propriedade em questão, o que indica que variações nos fatores como densidade e granulometria implicam em



modificações no desempenho do material. Nesse ensaio somente o tratamento C apresentou médias diferenciadas, o que neste caso implicou em maior resistência, os demais apresentaram um comportamento semelhante.

#### 4.2.2 Módulo de Elasticidade (MOE)

Através do ensaio de resistência a flexão estática, obteve-se a carga de ruptura e calculou-se o MOE substituindo esse valor na equação 12.

$$\text{MOR} = \frac{1,5 \times (P \times D)}{B \times (E)^2} \quad (12)$$

Onde:

MOR = Módulo de resistência à flexão estática (N/mm<sup>2</sup>)

P = Carga de ruptura lida no indicador de cargas (N)

D = Distância entre apoios do aparelho (mm)

B = Largura do corpo de prova (mm)

E = Espessura do corpo de prova (mm)

Esse procedimento é realizado por corpo de prova, o resultado final por tratamento é obtido através da média entre os dados obtidos por tratamento. Após análise fatorial, foram eliminados os outliers, e realizado a compilação de dados. Os resultados obtidos no ensaio referente ao módulo de elasticidade estão descritos na tabela 22.

**Tabela 22: Módulo de Elasticidade - MOE (N/mm<sup>2</sup>)**

A <sup>2</sup>	B <sup>1</sup>	C <sup>3</sup>	D <sup>1</sup>
1,212 (26,82)	418 (22,27)	1,938 (23,68)	479 (35,72)

\*Os números iguais em sobrescrito representam médias sem diferença;

\*\*Os números entre parênteses representam o coeficiente de variação;

\*\*\* É significativa ao nível de 5% de significância conforme análise de variância (ANOVA);

**Fonte:** Autora

Em relação ao módulo de elasticidade o tratamento que obteve os parâmetros recomendados pela NBR 14.810-2/2018, que é 1.800 N/mm<sup>2</sup> para painéis tipo P02 foi o tratamento C, onde têm-se a granulometria partículas retidas nas peneiras 7 mesh e 10 mesh e densidade 788,65 g/cm<sup>3</sup>.



Há significância também nesta propriedade, e a avaliação das médias indica que o comportamento dos tratamentos D e B são semelhantes, e dos tratamentos A e C são diferenciados, apresentando valores significativamente mais elevados. Sendo que o tratamento C apresentou um desempenho sensivelmente superior.

A tabela 23, apresenta um comparativo entre os resultados obtidos com pesquisas semelhantes e aqueles obtidos neste trabalho em relação ao MOE.

<b>Tabela 23: Comparativo Módulo de Elasticidade</b>				
<b>Referência</b>	<b>Material</b>	<b>Adesivo</b>	<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>MOE (N/mm<sup>2</sup>)</b>
Nakamura (2017)	Coco-da-baía	18% AC	0,76	1,614
Pereira (2017)	Eucalipto	18% AC	0,8	2,824
kusumah <i>et al</i> (2016)	Bagaço de sorgo	20%	0,8	5.270
Widyorini <i>et al</i> (2016)	Teca	10%	0,9	3,000
Umemura <i>et al</i> (2015)	Pinus	30%	0,8	4.500
Tratamento A	Bambusa vulgaris	20%	0,72	1,212
Tratamento B	Bambusa vulgaris	20%	0,55	418
Tratamento C	Bambusa vulgaris	20%	0,78	1,938
Tratamento D	Bambusa vulgaris	20%	0,58	479

**Fonte:** Nakamura (2017); Pereira (2017); kusumah *et al* (2016); Widyorini *et al* (2016); Umemura *et al* (2015)

O comparativo demonstra que o MOE do material desenvolvido está bem abaixo dos demais, exceto a fibra de coco-da-baía, cujo MOE do tratamento C é maior.

Percebe-se também que nos tratamentos em que a densidade é maior têm-se um maior valor para a propriedade avaliada, inclusive se compararmos os resultados obtidos com os tratamentos aferidos neste trabalho.

#### 4.2.3 Módulo de ruptura (MOR);

O módulo de ruptura foi aferido mediante o ensaio de resistência a flexão estática. Foram rompidos 44 corpos de prova representando os 4 tratamentos investigados, o método pode ser observado no capítulo 3. No ensaio é verificado os valores de carga limite proporcional e de deflexão. Os dados são submetidos a equação 13, e a partir dela é identificado o MOR para cada corpo de prova.



$$MOE = \frac{P1 \times D^3}{d \times 4 \times B \times E^3} \quad (13)$$

Onde:

MOE = Módulo de elasticidade (N/mm<sup>2</sup>)

P1 = Carga no limite proporcional lida no indicador de cargas (N)

D = Distância entre os apoios do aparelho (mm)

d = Deflexão, expressa em milímetros (mm), correspondente à carga P1

B = Largura do corpo de prova (mm)

E = Espessura do corpo de prova (mm)

O valor de MOR para cada tratamento é dado mediante a média dos valores obtidos com os corpos de prova correspondentes a cada tratamento. Os dados foram submetidos a análise fatorial e o desempenho dos tratamentos referente ao ensaio de flexão estática no que tange ao módulo de ruptura deu-se conforme os dados da tabela 24.

**Tabela 24: Módulo de Ruptura - MOR (N/mm<sup>2</sup>)**

A <sup>2</sup>	B <sup>1</sup>	C <sup>3</sup>	D <sup>1</sup>
4,76 (33,67)	1,8830 (21,60)	8,108 (31,12)	1,810 (37,03)

\*Os números iguais em sobrescrito representam médias sem diferença;

\*\*Os números entre parênteses representam o coeficiente de variação;

\*\*\* É significativa ao nível de 5% de significância conforme análise de variância (ANOVA);

**Fonte:** Autora

Nenhum dos tratamentos obteve o valor mínimo indicado pela norma acima citada de 11 N/mm<sup>2</sup>. O tratamento que mais se aproximou do valor referência foi o C. Como observado no ensaio anterior, têm-se que nos painéis com maior densidade o resultado foi mais promissor em relação as características mecânicas.

Para esse ensaio observou-se a significância, e em relação as médias os tratamentos B e D são semelhantes, o tratamento A obteve um desempenho superior, no entanto o tratamento C obteve a melhor performance com o MOR de 8,108 N/mm<sup>2</sup>.

### 4.3 Discussões sobre as propriedades físicas e mecânicas

Na avaliação de propriedades físicas e mecânicas, o fator de significância indica se a variação dos fatores da composição do tratamento implica na modificação da

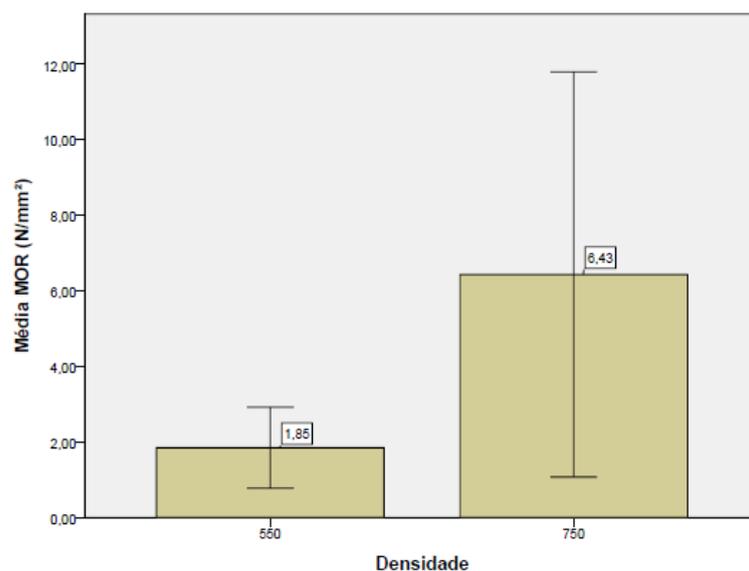


propriedade avaliada. De acordo com os resultados demonstrados a seguir a único propriedade que não apresentou significância foi de inchamento em espessura 24h.

#### 4.2.4 Teste de interação para os fatores densidade e granulometria

Realizou-se o teste de interação afim de verificar a influencia da densidade e da granulometria na alteração do módulo de ruptura e da tração perpendicular. Têm-se que tanto em relação ao MOR, quanto a TP, quanto maior a densidade (figuras 67 e 68) e a granulometria (figuras 69 e 70) melhor o desempenho.

Ao avaliar o MOR em relação a variação da densidade têm-se que para as densidades aplicadas nos tratamentos B e D, que apresentaram valores aparentes próximos a  $0,55 \text{ g/cm}^3$ , o MOR médio é de  $1,85 \text{ N/mm}^2$ . Já nas densidades aplicadas nos tratamentos A e C, esse valor triplica atingindo o MOR médio de  $6,43 \text{ N/mm}^2$ . Essa variação pode ser identificada no gráfico apresentado na figura 67, e indica que quanto maior a densidade aplicada ao tratamento maior o MOR do material.



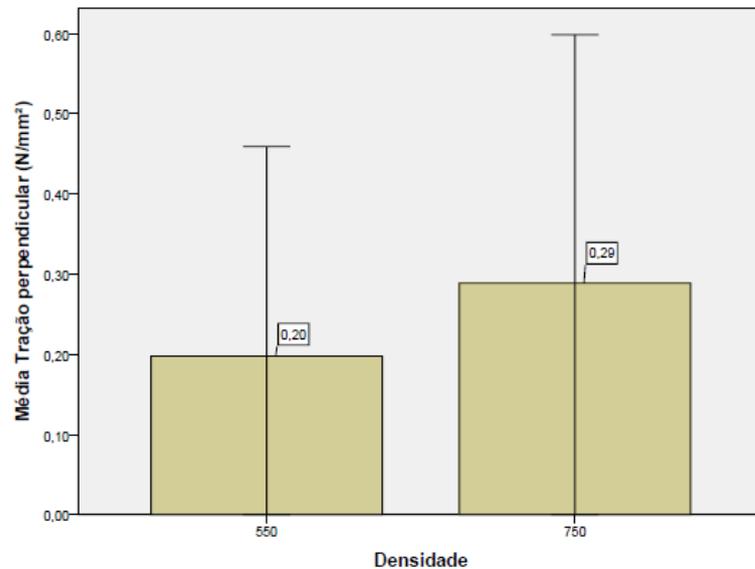
**Figura 67:** Teste de interação da Densidade em relação ao MOR

**Fonte:** Autora

Em relação a tração perpendicular para valores de densidade aparente próximos a  $0,55 \text{ g/cm}^3$ , tratamentos B e D, o valor médio de TP é  $0,20 \text{ N/mm}^2$  e para valores de



densidade aparentes próximos a  $0,75 \text{ g/cm}^3$  o valor médio de TP é de  $0,29 \text{ N/mm}^2$ , como pode ser visualizado no gráfico apresentado na figura 68.

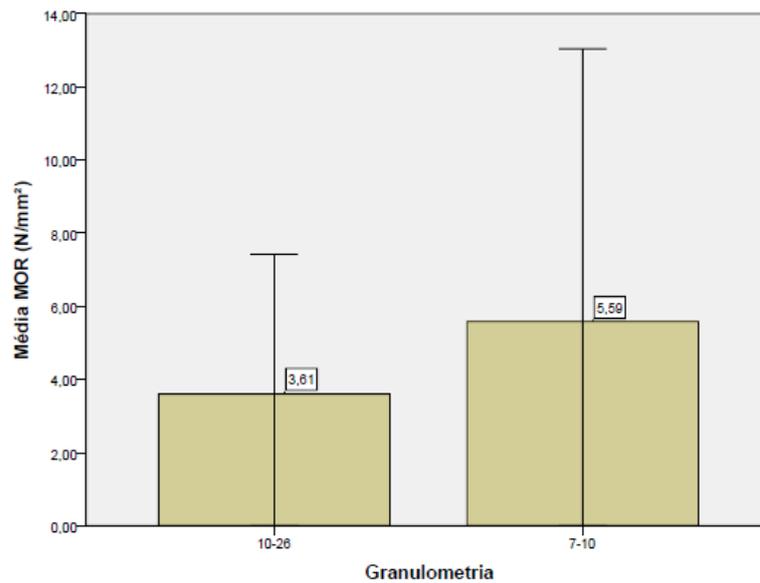


**Figura 68:** Teste de interação da Densidade em relação a TP.  
**Fonte:** Autora

Essa análise indica que o aumento da densidade, implica no aumento da resistência a tração perpendicular, no entanto esse aumento não é tão significativo como o que pôde ser observado em relação ao MOR.

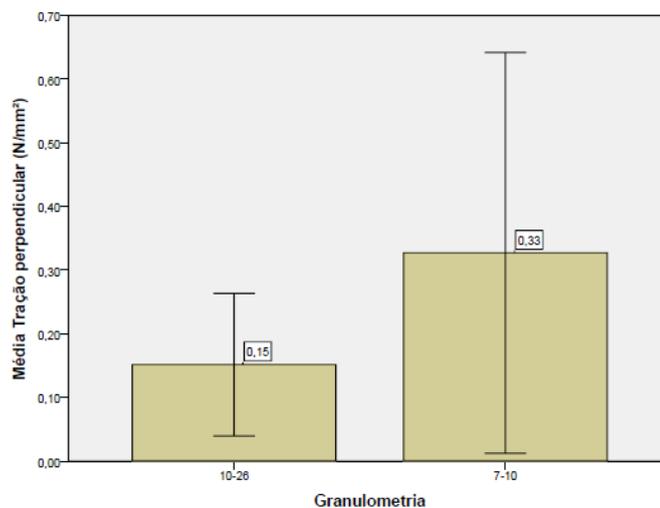
Ao observar o fator granulometria o comportamento é semelhante, no entanto o aumento da granulometria implica em um aumento mais significativo da resistência na tração perpendicular em detrimento do módulo de ruptura.

Para as partículas retidas entre as peneiras de 10 mesh e 24 mesh, tratamentos A e B, o valor médio de MOR é  $3,61 \text{ N/mm}^2$ , já as partículas retidas entre as peneiras de 7 mesh e 10 mesh o valor médio de MOR é de  $5,59 \text{ N/mm}^2$  (figura 69). Indicando que maiores partículas implicam em um valor mais elevado de MOR.



**Figura 69:** Teste de interação da Granulometria em relação ao MOR  
**Fonte:** Autora

Em relação a tração perpendicular, para as partículas retidas entre as peneiras de 10 mesh e 24 mesh, tratamentos A e B, o valor médio de TP é 0,15 N/mm<sup>2</sup>, já as partículas retidas entre as peneiras de 7 mesh e 10 mesh o valor médio de TP é de 0,33 N/mm<sup>2</sup> (figura 70). Nesse caso ao utilizar partículas de maior dimensão o valor médio de TP dobra.



**Figura 70:** Teste de interação da Granulometria em relação a TP.  
**Fonte:** Autora

Essas análises permitem concluir que painéis cujos tratamentos combinem partículas de maior dimensão e densidades mais elevadas apresentam melhor desempenho nas propriedades mecânicas.



#### 4.4 Propriedades Acústicas

Os corpos de prova utilizados para os ensaios de propriedades acústicas são aqueles produzidos na primeira etapa de análise exploratória. Eles foram utilizados na dimensão de 12 cm x 12 cm x 2 cm, no ensaio de perda de transmissão e posteriormente foram seccionados em corpos de prova com 5,2 cm de diâmetro por 2cm de espessura.

A densidade aparente foi verificada para esses painéis conforme as indicações metodológicas dos ensaios de verificação das propriedades físicas, exceto as análises estatísticas. Os resultados são apresentados na tabela 25.

<b>Tratamento</b>	<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>
A	0,42
B	0,71
C	0,63
D	0,47

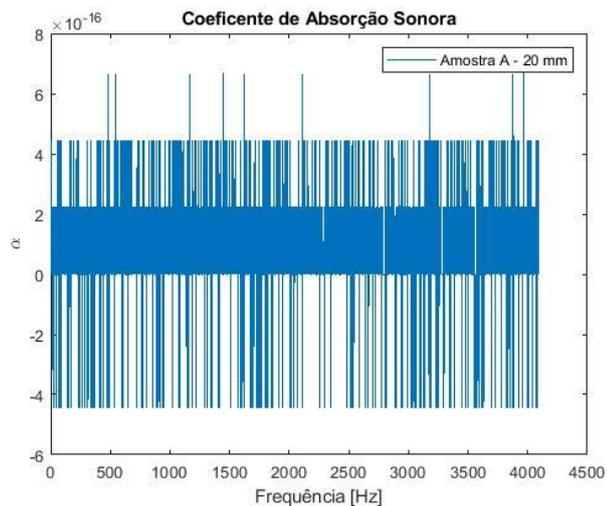
**Fonte:** Autora

As densidades ficaram mais distantes dos valores planejados se comparados aos painéis da série 2, 0,55g/cm<sup>3</sup> para os tratamentos B e D e 0,75g/cm<sup>3</sup> para os tratamentos A e C. Os tratamentos que mais se aproximaram foi o C e B respectivamente.

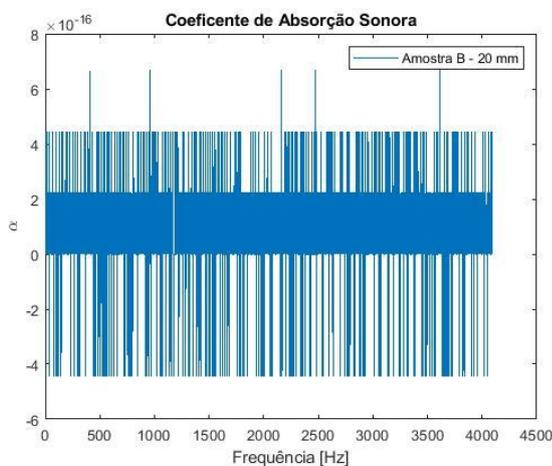
##### 4.4.1 Absorção sonora pelo método do tubo de impedância

Os ensaios foram realizados nos corpos de prova que representaram os quatro tratamentos. Foram captadas, cinco sequências de 500 medições com o microfone nos canais 01, 02 e 06 do tubo de impedância. Os dados obtidos foram submetidos na equação de identificação de absorção acústica através do programa Matlab.

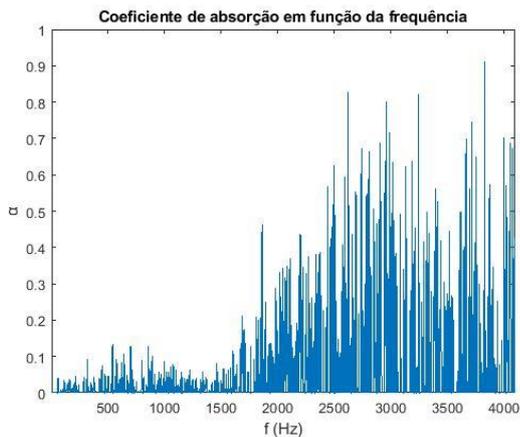
Ao verificar os dados percebeu-se que a curva de absorção indicou um desempenho satisfatório do material, cujo " $\alpha$ " apresenta valor superior a 0,4 em altas frequências, 2.000 Hz em diante, como pode ser mais claramente observado no gráfico referente a amostra C (figura 73).



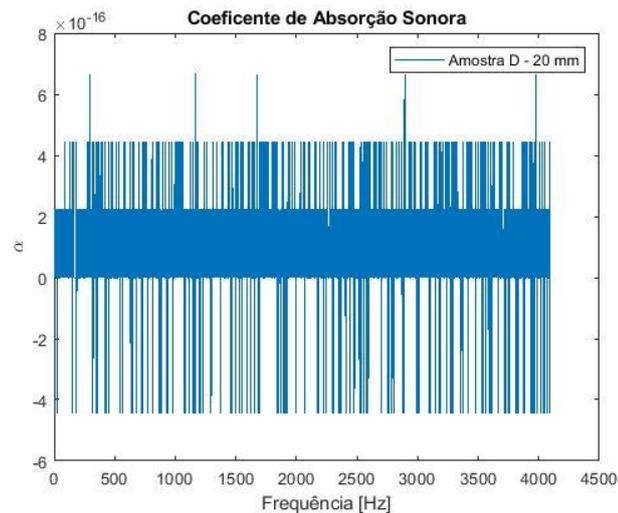
**Figura 71:** Coeficiente de absorção sonora em função das bandas de frequência do tratamento A.  
**Fonte:** Autora



**Figura 72:** Coeficiente de absorção sonora em função das bandas de frequência do tratamento B.  
**Fonte:** Autora



**Figura 73:** Coeficiente de absorção sonora em função das bandas de frequência do tratamento C.  
**Fonte:** Autora



**Figura 74:** Coeficiente de absorção sonora em função das bandas de frequência do tratamento D.  
**Fonte:** Autora

No entanto, a curva gerada nos gráficos de coeficientes de absorção para cada tratamento não se apresentou dentro da normalidade, como uma representação linear de picos de absorção nas bandas de frequência selecionadas. Esse resultado é característico de uma deficiência da leitura da placa de aquisição de dados, que identificou uma série de ruídos de fundo.

Nesse sentido, o teste indicou que o referido material têm aplicabilidade para o uso proposto, no entanto para a identificação do NRC, se faz necessária a realização de novas medições.

#### 4.4.2 Perda de transmissão

O cálculo da perda de transmissão foi efetuado conforme a metodologia apresentada no capítulo anterior. Retirou-se a média das 05 aferições de nível de pressão sonora realizada para cada tratamento, e para a caixa aberta e a partir desses dados foi calculado o TL, com base na equação 06. Os dados obtidos são apresentados na tabela 26.



$$TL = 10 \text{ Log} \left[ \frac{10^{SPL_S/10}}{10^{SPL_T/10}} \right] \quad (16)$$

Onde:

TL: Perda de transmissão

SPL<sub>S</sub>: Nível sonoro medido antes da instalação da barreira;

SPL<sub>T</sub>: Nível sonoro medido após a instalação da barreira;

**Tabela 26: Redução de transmissão sonora**

Tratamento	Média de Níveis sonoros verificados (dB)	SPLS A	SPLS T	TL (dB)
Ausente	90,90	1230268771	--	--
A	71,28	--	15135612,48	19,1
B	73,42	--	21877616,24	17,5
C	68,00	--	6309573,445	22,9
D	75,84	--	38018939,63	15,1

\*SPLS A: Nível sonoro mensurado sem a inserção da barreira;

\*\* SPLS T: Nível sonoro mendurado após a inserção da barreira;

\*\*\* TL: Potencial de perda de transmissão

**Fonte:** Autora

De acordo com o teste, todos os tratamentos apresentaram um TL superior a 10 dB, o que de acordo com (Knauer *et al.*, 2000 *apud* Golçalves, 2014) é um indicador de eficiencia para todos os tratamentos. No entanto esse indicador de desempenho dialoga com os resultados obtidos nas análises físicas e mecânicas indicando o tratamento C como o mais eficiente.



## CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A pesquisa identificou a viabilidade de produção dos painéis aglomerados MDP a partir de ácido cítrico e bambu. A matéria-prima ácido cítrico tem grande potencial pois é abundante no mercado nacional, apresenta preço acessível e formulação simples no que tange a sua aplicação como adesivo para painéis particulados.

Além de ser de origem renovável, o ácido cítrico não apresenta-se como uma alternativa a utilização de adesivos como resina a base de uréia-formaldeído. Sua utilização juntamente com o bambu, matéria-prima também de origem renovável, gera um material biodegradável. O que contribui qualitativamente para avaliações do material em relação a critérios de sustentabilidade.

Os painéis produzidos através da combinação de fatores descrita no tratamento C (partículas retidas entre peneiras de abertura 2,4 mm e 1,70 mm, com densidade 0,788 g/cm<sup>3</sup>) atingiu quase todas as designações da NBR 14.810-2/2013. Sendo assim, pode-se observar que a pesquisa de painéis aglomerados a partir de bambu e ácido cítrico é promissora.

As vantagens em relação a aspectos de sustentabilidade são muitas. Em relação ao bambu deve-se destacar que os painéis foram realizados a partir da *Bambusa vulgaris* var. *vittata* Rivière & C. Rivière. Esta espécie é abundante na região da pesquisa, e não é indicada para uso estrutural, sendo o painel de material madeireiro reconstituído uma alternativa de otimizar seu uso e aplicação.

Outro fator em relação ao bambu, é referente a utilização por completo dos colmos. Os painéis foram produzidos a partir do beneficiamento mecânico da matéria-prima, a trituração. Nesse processo foram aproveitadas todas as partes do colmo como nós, entrenós e envoltória externa. A verificação da viabilidade de produção dos painéis a partir dessa forma de apropriação da matéria-prima, minimiza a produção de resíduos.

A partir dos testes de interação, percebeu-se que o tratamento que mais obteve êxito, foi aquele onde utilizou-se partículas e densidade maiores. Isso pode estar relacionado a menor superfície de contato a ser coberta pelo mesmo percentual de



adesivo, além do fator densidade, que já descrito em outras experiências é de grande importância para o desempenho de painéis que utilizam ácido cítrico.

Sendo assim, estudos futuros podem apresentar mais claramente quais soluções podem adequar e aumentar o desempenho do material realizando painéis em que se possa avaliar o desempenho e a interação das seguintes condicionantes:

- a) Aumento gradativo da densidade e verificação do valor de melhor desempenho em relação às propriedades mecânicas e acústicas;
- b) Aumento gradativo do percentual de ácido cítrico e verificação do melhor percentual em relação às propriedades mecânicas e acústicas;
- c) Definição da temperatura de prensagem, a partir da realização da análise termogravimétrica do bambu utilizado e executar os painéis com um limiar de temperatura mais baixo do que o indicado no experimento;
- d) Avaliar o desempenho das propriedades mecânicas e acústicas com diferentes granulometrias;
- e) Avaliar o desempenho das propriedades mecânicas e acústicas em relação a utilização de diferentes espécies de bambu;

Outro fator que deve-se levar em consideração é que para o uso o qual pretende-se aplicar o material sua resistência mecânica pode ser corrigida através da adoção de bambu laminado colado (BaLC) na estruturação do componente e seu potencial absorvedor pode ser aproveitado. Essa solução possibilita a utilização do bambu em diferentes possibilidades de aplicação.

Em relação aos parâmetros acústicos, se faz necessária a realização de novos testes que possam oferecer acertadamente os coeficientes de absorção nas bandas de frequência a fim de obter o NRC. No entanto, com a experiência em relação ao experimento que apresenta o potencial de perda de transmissão pôde-se observar o potencial do material em relação ao uso pretendido, assim como através da verificação do desempenho do tratamento 3 no tubo de impedância.

Levando em consideração esse potencial se faz pertinente a realização de ensaios mais precisos e que possibilitem a avaliação do material com condições semelhantes



aquelas dos recintos, além de permitir aferir o desempenho de componentes, como o ensaio em câmara anecóica.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Rótulo Ecológico para Painéis de Madeira**. Comitê Técnico de Certificação – Grupo de Rotulagem Ambiental. PE-205.04. Junho. 2013

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.151 - Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade Procedimento**. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.152 - Acústica – Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.179 - Tratamento acústico em recintos fechados**. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575 - Desempenho de Edificações Habitacionais de até Cinco Pavimentos**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14.810 - Painéis de partículas de média densidade. Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11.941 - Madeira - Determinação da densidade básica**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9442 - Materiais de construção – Determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante**. Rio de Janeiro, 1986.



ABIMCI. Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. **O Setor.** Disponível em: <<http://www.abimci.com.br/o-setor/>> Acessado em 08/04/2018 às 21h.

ABIPA. Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira. **Programa Setorial da Qualidade de Painéis de Partícula de Madeira (MDP) e Painéis de Fibra de Madeira (MDF).** São Paulo, Abril, 2014.

AASCOM. **Acessoria de Comunicação da Universidade Federal de Goiás.** Disponível em: <<https://www.ascom.ufg.br/n/94052-pesquisa-da-ufg-utiliza-bambu-em-sistema-de-tratamento-de-esgoto>>. Acessado em: 10/06/2017, às 23:52h

ARCHITIZER. Disponível em: <https://architizer.com/projects/the-nomadic-museum>. Acessado em: 10/06/2017, às 22:54h

AMORIM, Patricia Gomes Ribeiro. **Produção de compósitos termo acústicos a base de resíduos reciclados provenientes da construção civil.** XLV, 106 p., 210 x 297 mm (EFL/FT/UNB), Doutor, Tese de Doutorado - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, 2014.

AZZINI, Anísio; GONDIM-TOMAZ, Rose Marry Araújo. **Extração de amido em cavacos de bambu tratados com solução diluída de hidróxido de sódio.** *Bragantia*, Campinas, 55(2):215-219, 1996.

AZZINI, A. **Desfibramento do bambu visando a produção conjunta de celulose e amido.** Congresso anual da ABCP, 16, 1983, São Paulo, V.1.

AZZINI, A; ARRUDA, M.C.Q; CIARAMELLO, D.; SALGADO, A.L.B.; **Produção conjunta de fibras celulósicas e etanol a partir do bambu.** Trabalho apresentado no 19º Congresso Anual de Celulose e papel – Semana do papel, da ABCP, realizado em São Paulo de 24 a 28 de novembro de 1986.



AZZINI, Anisio; ARRUDA, Maria Carla Queiroz de; FILHO, Tomazello Mário; SALGADO, Antônio Luiz de Barros; CIARAMELLO, Dirceu. **Variações dos teores de fibras celulósicas e amido no colmo de bambu**. Bragantia, Campinas, 46(1): 141-145, 1987.

**BAMBOO BIODIVERSITY**. Disponível em:  
<<https://www.eeob.iastate.edu/research/bamboo/maps.html>>. Acessado em:  
04/06/2017 às 17:30h.

BAXTER, Mike R. **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos**. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2010.

BERALDO, A L; AZZINI, A. **Characteristics of the three giant bamboo species**. In: Preceedings of the V<sup>th</sup> International Bamboo Congress, San Jose, Costa Rica, 1998, v. 1, p.287-297, 2002.

BISTAFA, Sylvio Reynaldo. **Acústica aplicada ao controle de ruído**. Ed. Blucher, São Paulo, 2<sup>a</sup>. edição, 2011.

BRASIL. Código Civil (2002). **Código civil brasileiro e legislação correlata**. – 2. ed. – Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 2008. 616 p.

BUCUR, V. **Acoustics of Wood**. Heidelberg: Springer - Verlag, 2006

CARLESSI, Andrei Scussel. **Avaliação da Substituição de Fibra de Aço por Fibra de Bambu em Piso de Concreto Não Armado**. Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de Engenheiro Civil no curso de Engenharia Civil da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC. Criciúma, Dezembro de 2010.

CARVALHO, Régio Paniago. **Acústica arquitetônica**. 2<sup>o</sup> ed. Thesaurus. Brasília, 2010.



CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013**. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

**CELENIT**. Disponível em: <<https://www.celenit.com/en-UK/download.php?filter=SchedaDownloadLingua-English>>. Acessado em: 12/04/2018, às 23:35h

**CONCEITO. DE. Conceito de ruído ambiental**. Disponível em: <<https://conceito.de/ruído-ambiental>>. Acessado em 16/01/2019 às 11:55h.

CHEN, W. H.; KUO, P. C. **A study on torrefaction of varios biomass materials and its impact on lignocellulosic structure simulated by thermogravimetry**. Energy, n.35, p.2580-2586, Taiwan. 2010.

CHU, W. T., “**Transfer function technique for impedance and absorption measurements in the impedance tube using a single microphone**”, Journal of Acoustical Society of America, New York, 80 (2): 555-60, Aug.1986.

DAIGLE, G. (1999) “**Technical assessment of the effectiveness of noise walls – Final Report**”. Noise/News International, I-INCE Publication 99-1, pages 137- 161. *In*: GONÇALVES, Rui Pedro Ribeiro. **Atenuação Sonora de Barreiras Acústicas**. Dissertação (Dissertação em mestrado). Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Coimbra, Outubro, 2014.

DALL’IGNA, Camilla. **Protótipos de painéis MDP de bambu e resíduo madeireiro / Camilla Dall’igna; orientador, Ugo Leandro Belini – Curitiba, SC, 2015**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitiba.



DEMARCHI, Carlos Alberto. **Aplicabilidade de placas de fibras de bananeira: produção, caracterização e absorção sonora**. Dissertação (mestrado) apresentada ao curso de Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento, da Universidade Estadual de Londrina – UEL. Londrina, 2010.

EVEREST, F. Alton; POHLMANN, Ken. **Master Handbook of Acoustics**, Fifth Edition. United States of America: McGraw-Hill Companies, 2009.

FARRELY, David. **The Book of Bamboo**. San Francisco. Sierra Club Books, 1984.

FERREIRA, Bruno Santos. **Produção e caracterização físico-mecânica de painel de compensado de Eucalyptus sp. e adesivo PVA** / Bruno Santos Ferreira – Itapeva, 2011 65 f.: il. 30 cm

REVISTA FOOD INGREDIENTS BRASIL (FIB). **Aplicações do ácido cítrico na indústria de alimentos**. Revista Food Ingredients Brasil, nº30. Disponível em: <<http://www.revista-fi.com/materias/402.pdf>>. Acesso em: 30/04/2018 às 13:16h.

FILGUEIRAS, T. S. ; GONÇALVES, A. P. S. **A checklist of the basal grasses and bamboos in Brazil (Poaceae)**. Bamboo Science & Culture. The journal of the American bamboo Society. Vol. 18. Califórnia, USA, 2004.

FILGUEIRAS, Tarciso S.; VIANA, Pedro Lage. **Bambus brasileiros: morfologia, taxonomia, distribuição e conservação**. In: Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia / organização Patrícia Maria Drumond, Guilherme Wiedman. - 1. ed. - Rio de Janeiro : ICH, 2017. 655 p. ; 16x23 cm. Apêndice ISBN 9788589962223.

FILGUEIRAS, T.S. **Bambusa in Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB86783>>.



GERGES, Samir. N. Y. **Ruído: Fundamentos e Controle**. Samir N. Y. Gerges. Revisores: Elizabeth R. C. Marques; Roberto Muller Heidrih. Florianópolis: S.N.Y. Gerges, 1992.

GUIMARÃES JÚNIOR, M.; NOVACK, K. M.; BOTARO, V. R. **Caracterização anatômica da fibra de bambu (*Bambusa vulgaris*) visando sua utilização em compósitos poliméricos**. Revista Iberoamericana de Polímeros, v. 11(7), p. 442-456, 2010. Disponível em: <<http://www.ehu.eus/reviberpol/pdf/DIC10/guimaraes.pdf>>. Acesso em: 02/04/2018, às 14:35h

**GREENINGTON**. Disponível em: <<http://www.greenington.com/ceres-living/>> . Acessado em: 10/06/2017, às 22:59h.

GIANNINI, Camila Fernanda. **Painéis para tratamento acústico utilizando resíduos de fibras naturais: uma alternativa de desenvolvimento sustentável na região de maringá**, PR. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil. 2013.

GOMIDE, J. L. Oliveira, R. C.; COLODETTE, J. L.; **Influência da idade do *Bambusa Vulgaris* nas suas características químicas e anatômicas, visando a produção de polpa celulósica**. Congresso anual na ABCP, 14, 1981, São Paulo, v. 1.

GOMIDE, J. L.; VIVONE, R.R; GALA, P.A.M. **Bambu: uma alternativa para o déficit de fibras longas no Brasil?** Congresso anual da ABCP, 21, 1988, São Paulo.

HIDALGO-LOPEZ, O. H. **Bamboo, the gift of the gods**. Hidalgo Lopez editor, Bogota – Colombia, 2003. 553p.

HIDALGO, LOPEZ O. **Bambú – su cultivo y aplicaciones em: fabricación de papel, construcción, Arquitectura, Ingeniería, Artesanía**. Estudios Tecnicos. Colombianos Ltda., Colombia, 1974, 318p.



INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Painéis de madeira: Produção, importação e exportação.** Disponível em: < <https://www.iba.org/historico-de-desempenho>>. Acessado em: 20/12/18 às 10:15h

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Anuário 2017.** Disponível em: < [https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA\\_RelatorioAnual2017.pdf](https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf)> Acessado em 16/01/2019 às 16:31h.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORESTAS (IFB). **Apagão Florestal: comércio de madeira tende a aquecer.** Disponível em:< <https://www.ibflorestas.org.br/conteudo/blog/1116-apagao-florestal.html>>. Acessado em 08/04/2018 às 22h.

INBAR; International Organization of Bamboo and Rattan. **Why Bamboo and Rattan?**. Disponível em: <<https://www.inbar.int/why-bamboo-rattan/>>. Acessado em: 13/01/2019 às 14:26h

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. **ISO 10534-2:1998 Acoustic – Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes – Part 2: Transfer-function method**”. first edition 1998-12-15, 27 pp., 1998.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. **ISO 10534-2: Acoustics — Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes — Part 2: Transfer-function method.** International Standarts: Genève, 1998.

JÚNIOR et al. **Caracterização físico-química de fibra e polpas de *Bambusa vulgaris* Schrad para utilização em compósitos poliméricos** / Mario Guimarães Junior, Kátia Monteiro Novack, Vagner Roberto Botaro, Thiago de Paula Protásio, Allan Motta Couto. Rev. LatinAm. Metal. Mat. 2013, 33(1): 33-42. pISSN: 0255-6952 | eISSN: 2244-7113.

KARLINASARI, Lina; HERMAWAN, Dede; MADDU, Akhiruddin; MARTIANTO, Bagus; LUCKY, Iedo Khrisna; NUGROHO, Naresworo; HADI, Yusuf Sudo. **Acoustical**



**properties of particleboards made from betung bamboo (*dendrocalamus asper*) as building construction material.** *BioResources* 7(4), 5700-5709. 5702, 2012.

KNAUFAMF. Disponível em: <<http://www.knaufamf.com/en-tmp/product-range/heradesign-woodwool/index.php>>. Acessado em: 14-03-2018, às 11:30h

Knauer, H., Pedersen, S., Lee, C., Fleming, G. (2000), “**FHWA highway noise barrier, design handbook**”. Relatório final. *In*: GONÇALVES, Rui Pedro Ribeiro. **Atenuação Sonora de Barreiras Acústicas**. Dissertação (Dissertação em mestrado). Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Coimbra, Outubro, 2014.

KOIZUMI, T.; TSUJIUCHI, N.; ADACHI, A. **The development of sound absorbing materials using natural bamboo fibers**. *High Performance Structures and Composites*. Southampton: WIT Press, 2002.

KOIZUMI, T.; TSUJIUCHI, N.; FUJITA, K. **Performance improvement of soundabsorbing materials using natural bamboo fibers and their application**. *High Performance Structures and Materials II*. WIT Press, 2004.

KROEMER, K. H. E. **Manual de ergonomia: adaptando o trabalho ao homem** / K. H. KROEMER e E. Grandjean; trad. Lia Buarque de Macedo Guimarães. – 5° ed. – Porto Alegre: Bookman, 2005.

KUSUMAH, Sukma S.; UMEMURA, Kenji; YOSHIOKA, Koichi; MIYAFUJI, Hisashi; KANAYAMA, Kozo. **Utilization of sweet sorghum bagasse and citric acid formanufacturing of particleboard I: Effects of pre-drying treatment andcitric acid content on the board properties**. *Industrial Crops and Products* 84 (2016) 34–42. Journal home page: [www.elsevier.com/locate/indcrop](http://www.elsevier.com/locate/indcrop). February 2016.

LIESE, W. **The Anatomy of Bamboo Culms**. Beijing: BRILL, 1998.



MASCARÓ, Juan Luis. **O custo das decisões arquitetônicas**. Masquatro Editora, Porto Alegre, 2010.

MILLANVOYE, Michel. **Ambiências físicas no posto de trabalho**. In FALZON, Pierre. **Ergonomia** / Pierre Falzon editor; [tradução: Giliane M. J. Ingratta, Marcos Maffei, Márcia W. R. Sznelwar, Maurício Azevedo de Oliveira, Agnes Ann Puntch; Revisão técnico-científica: Laerte Idal Sznelwar, Fausto Leopoldo Mascia, Leila Nadin Zidam; Revisão bibliográfica: Vera Lúcia Duarte; coordenador da tradução: Laerte Idal Sznelwar]. - - Editora Blucher, 2007.

MÜLLER, Eckard Mommertz – BBM. **Acoustics and Sounds Insulation. Principles, planning, examples**. Edition Detail. Institut für internationale. Editorial services: Melanie Schmid, Dipl. -Ing. Birkhäuser, Basel, Boston, Berlin 2009.

MELO, Noé Geraldo R. de Filho; SILVEIRA, Lucas Murelli; MORAIS, Marcus Vinicius Girão de; NUNES, Maria Alzira Araújo; GOMES, Marcio Henrique de Avelar; OLIVEIRA, Alessandro Borges Souza. **Construção de tubo de impedância educacional TIGaD (Tubo de impedância do gama demonstrativo) – Estudo numérico e experimental do comportamento vibroacústico de um tubo de impedância**. VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Campina Grande, 2010.

MIRANDA, João Gabriel; NETO, Marlipe Garcia Fagundes; DUARTE, Marcus Antonio Viana. **Study to Determine the Sound Absorption Coefficient for a New Masonry Paint Under Development**. POSMEC 2014 – Simpósio do Programa de Pós - Graduação em Engenharia Mecânica. Uberlândia, 2014.

NAKAMURA, ANA PAULA DINIZ. **Propriedades de painel biocompósito produzido com fibras de coco da baía e ácido cítrico como adesivo**. 2018. 999p., 210 x 297 mm (EFL/FT/UNB), Mestre, Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Florestal



NATIONAL MISSION ON BAMBOO APPLICATIONS - NMBA. **Bamboo flooring, market assessment.** MA 01. Nova Delhi, 2004.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Produtos Madeireiros e Não Madeireiros.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/florestas/manejo-florestal-sustentavel/produtos-madeireiros-e-nao-madeireiros.html>>. Acessado em 07/01/2019, às 15:35h

NETTER, Frank H. (Frank Henry) 1906-1991. **Netter, atlas de anatomia humana /** Frank H. Netter; [tradutores Fabiana Conti Rosé e outros]. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. II.

**NT 11/2014. NORMA TÉCNICA 10/2014 Controle de Materiais de Acabamento e Revestimento.** Estado de Goiás, Secretaria da Segurança Pública, Corpo de Bombeiros militar. Goiânia, 2014.

NUNES, M. J. L. **Metodologias de Desenvolvimento de Novos Produtos Industriais.** Dissertação (Mestrado). Portugal: Universidade do Minho, p. 328. 2004.

OSSE, Vera Cristina. MEIRELLES, Célia Regina Moretti. **O Potencial do Bambu na Minimização dos Problemas Climáticos nos Espaços Urbanos.** Revista LABVERDE, São Paulo, nº 03, Novembro de 2011.

OPRINS, Jan. Trier, Harry van et al. **Bamboo: A material for Landscape and Garden Design.** Birkhauser- publishers for Architecture Basel- Berlin-Boston, 2006

PEREIRA, Danielle do Carmo. **Avaliação da Capacidade adesiva do ácido ricinoléico, ácido cítrico e tanino/ácido cítrico para painéis de madeira aglomerada.** Trabalho de conclusão de curso. Instituto de química. Universidade de Brasília. 2017



PEREIRA, Marco A. R. **Bambu de corpo e alma** / Marco A. R. Pereira e Antonio L. Beraldo. – Bauru, SP: Canal6, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA A QUALIDADE ACÚSTICA (PROACÚSTICA). **ProAcústica realiza primeira pesquisa sobre o mercado de Acústica no Brasil.** Disponível em: <<http://www.proacustica.org.br/publicacoes/artigos-sobre-acustica-e-temas-relacionados/proacustica-realiza-primeira-pesquisa-sobre-mercado-de-acustica-no-brasil.html>> Acessado em 13 de fevereiro de 2018, às 17:35h.

RASMUSSEN, Steen Eiler. **Arquitetura Vivenciada.** Tradução: Álvaro Cabral. 2º ed. Martins Fontes. São Paulo, 1998.

RAZERA, Dalton Luiz. **Estudo sobre as interações entre as variáveis do processo de produção de painéis aglomerados e produtos moldados de madeira.** Tese (doutorado). Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

RDA ACOUSTICS. **ACOUSTIC DIFFUSER QRD67** Disponível em: <<http://www.rdacoustic.cz/high-end-audio/acoustic-diffuser-qr67/>>. Acessado em 03/02/2019 às 16:04h.

SÁ. Bruno Guilherme Barbosa. **Acústica de salas e bambu laminado colado: ensaios de painéis para condicionamento acústico.** Dissertação (mestrado). Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília. Brasília, 2014.

SALGADO, Antonio Luiz de Barros Salgado. **Bambu com sal: aqui e agora, lá e então.** / Antonio Luiz de Barros Salgado. Campinas: Amaro Comunicação, 2014.

SANTOS, Jorge Luis Pizzuti. **Estudo do potencial tecnológico de materiais alternativos em absorção sonora.** Editora UFSM, 2005



SANTOS, G. J.; BATTISTELLE, R. A. G. **Avaliação acústica das chapas de partículas produzidas com bagaço de cana-de-acúcar e folha caulinar de bambu.**

In: CIMAD 11 - 1o Congresso Ibero-Latino Americano da Madeira na Construção, 7-9/06/2011, **Anais...** Coimbra, PORTUGAL.

SILVA, Diogo Aparecido Lopes. **Avaliação do ciclo de vida de painel MDP no Brasil.** / Diogo Aparecido Lopes da Silva; São Carlos. 2012. Dissertação (mestrado).

Programa de Pós-graduação Interunidades em Ciências e Engenharia de Materiais e Área de concentração em Desenvolvimento Caracterização e Aplicação de Materiais – Escola de Engenharia de São Carlos. Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Carlos, 2012.

SNIF. **Serviço Nacional de Informações Florestais.** Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/snif/producao-florestal>> Acessado em: 02/04/2018 às 22:09h.

SOUZA, Léa Cristina Lucas de; ALMEIDA, Manuela Guedes de; BRAGANÇA, Luís. **Bê-á-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a Arquitetura.** – Editora da Universidade Federal de São Carlos - EdUFSCar, São Carlos, 2013.

SOUZA, Mário Rabelo. **Compósitos a base de madeira** / Mário Rabelo de Souza; Divino Eterno Teixeira. – Brasília: LPF, 2002. 24 p. :il ; 21 x 27 cm.

TEIXEIRA, Anelizabeth Alves. **Painéis de Bambu para Habitações Econômicas: Avaliação do Desempenho de Painéis Revestidos com Argamassa.** 179p. Dissertação (mestrado) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

UMEMURA, K., UEDA, T., MUNAWAR, S., & KAWAI, S. (2012a). **Application of citric acid as natural adhesive for wood.** Journal of Applied Polymer Science, 123, 1991-1996.



UMEMURA, Kenji; SUGIHARA, Osamu; KAWAI, Shuichi. **Investigation of a new natural adhesive composed of citric acid and sucrose for particleboard.** Journal of Wood Science (2013), 59(3): 203-208. Kyoto, 2013.

VIDAL, André Carvalho Foster; HORA, André Barros da. **Panorama de mercado: painéis de madeira.** BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.40 , p. 323-384, set. 2014.

VIEIRA, Rodrigo José de Andrade. **Desenvolvimento de painéis confeccionados a partir da fibra de coco para o controle acústico de recintos.** Dissertação (mestrado) Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará. Belém, 2008.

WATSON, D. (2006), **“Evaluation of Benefits and opportunities for innovative noise barrier designs”**, Relatório Final 572, Cooperação entre o Departamento de Transportes de Arizona e o FHWA, Arizona.

WIDYORINI, R., NUGRAHA, P., RAHMAN, M., & PRAYITNO, T. (2016). **Bonding Ability of a New Adhesive Composed of Citric Acid-Sucrose for Particleboard.** BioResources, 11 (2), 4526-4535.

WIDYORINI, Ragil; UMEMURA, Kenji; KUSUMANINGTYAS, Aprian Retno; PRAYITNO, Tibertius Agus. **Effect of Starch Addition on Properties of Citric Acid-bonded Particleboard Made from Bamboo.** Widyorini et al. (2017). “Starch-citric acid adhesive,” BioResources 12(4), 8068-8077.



APÊNDICE 1 – TABELA COM DESCRIÇÃO DOS CORPOS DE PROVA DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA

MOSTRA	Código	Tratamento	Densidade	IE24h	AA24h	Traçao	MOE	MOR	Média IE 24h	DP IE 24h	CV IE 24h	Média AA	DP AA	CV AA	Média TP	DP TP	CV TP	Média MOE	DP MOE	CV MOE	Média MOR	DP MOR	CV MOR
C1A1	1	A	710	21,90	71,64	0,15	1,092	4,50	22,49	6,60	29,34	61,99	8,56	13,81	0,16	0,05	32,2	1,212	325	26,82	4,759,7	160298	33,67
C1A2	2	A	711	21,09	62,63	0,13	1,092	4,51															
C1A3	3	A	727	35,14	63,74	0,10	977	4,04															
C1A4	4	A	700	26,83	71,37	0,09	917	3,48															
C2A1	5	A	736	24,17	60,02	0,14	1,159	4,45															
C2A2	6	A	730	28,53	65,44	0,11	984	3,55															
C2A3	7	A	674	19,71	70,30	0,16	827	3,56															
C2A4	8	A	732	29,86	70,96	0,16	973	2,39															
C3A1	9	A	748	13,46	49,30	0,25	1,783	7,52															
C3A2	10	A	721	14,92	51,17	0,21	1,542	6,85															
C3A3	11	A	752	17,69	49,27	0,18	1,598	5,23															
C3A4	12	A	773	16,59	58,06	0,19	1,598	7,03															
C1B1	13	B	581	18,30	80,12	0,22	391	1,71	16,99	7,2	42,37	76,40	7,64	10,00	0,15	0,07	48,2	418	93	22,27	1,883	0,4069	21,6
C1B2	14	B	552	16,20	80,26	0,10	522	2,21															
C1B3	15	B	544	24,70	75,43	0,10	470	1,85															
C1B4	16	B	514	16,43	90,30	0,11	292	1,23															
C2B1	17	B	528	27,53	64,05	0,04	513	2,35															
C2B2	18	B	596	7,42	72,46	0,25	461	2,18															
C2B3	19	B	555	7,15	76,30	0,19	411	2,13															
C2B4	20	B	559	18,23	72,25	0,15	280	1,40															



C1C1	21	C	727	13,88	45,80	0,38	1,412	4,97	21,64	9,52	43,99	43,37	4,51	10,40	0,42	0,1	0,24	1,938	459	23,68	8,108	252375	31,12															
C1C2	22	C	769	16,42	39,52	0,52	1,708	6,63																														
C1C3	23	C	780	15,55	39,63	0,58	2,007	7,72																														
C1C4	24	C	790	15,41	41,61	0,53	1,866	7,49																														
C2C1	25	C	692	22,75	50,62	0,42	1,248	4,38																														
C2C2	26	C	868	25,15	42,14	0,48	2,392	10,18																														
C2C3	27	C	841	25,08	53,02	0,50	2,435	10,58																														
C2C4	28	C	767	27,96	43,65	0,37	1,636	7,05																														
C3C1	29	C	736	32,09	44,46	0,34	1,377	5,76																														
C3C2	30	C	791	42,52	39,16	0,32	2,283	10,41																														
C3C3	31	C	829	8,68	41,52	0,30	2,422	9,68																														
C3C4	32	C	875	14,21	39,28	0,32	2,473	12,44																														
C1D1	33	D	627	10,08	65,03	0,49	373	1,66																21,21	9,62	45,36	58,34	7,09	12,15	0,23	0,15	64,7	479	171	35,72	1,810	0,6702	37,03
C1D2	34	D	648	38,73	61,92	0,14	831	3,24																														
C2D1	37	D	541	40,76	51,86	0,33	388	1,96																														
C2D2	38	D	638	46,46	52,25	0,15	613	1,90																														
C2D3	39	D	579	21,55	60,44	0,02	316	1,27																														
C2D4	40	D	550	11,39	55,97	0,19	360	1,01																														
C3D1	41	D	540	14,15	60,97	0,05	436	1,49																														
C3D3	42	D	580	5,84	75,06	0,15	514	1,95																														

\*Os corpos de prova ausentes no tratamento D, são os outliers identificados na análise fatorial ANOVA



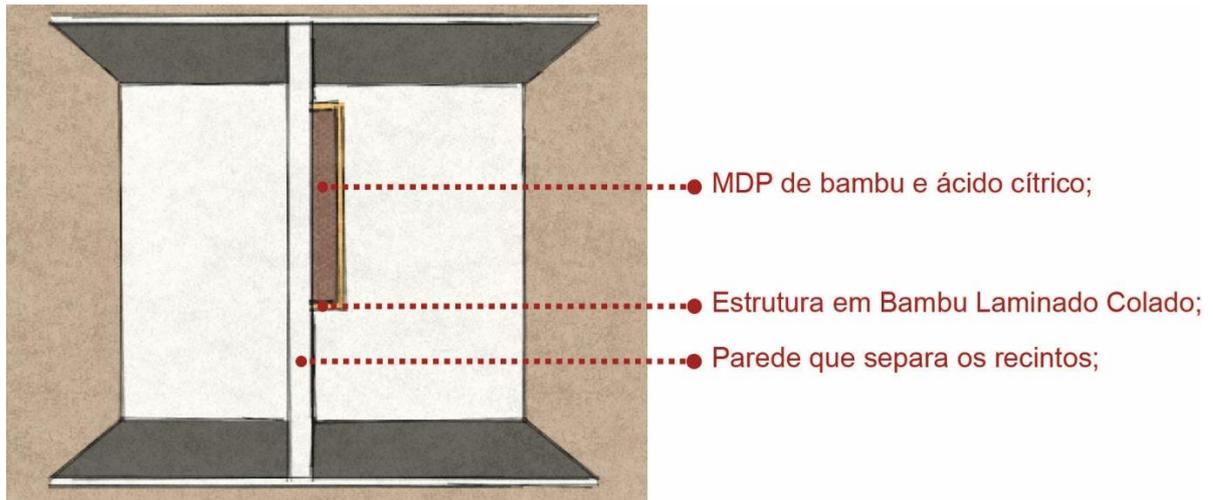
## APÊNDICE 2 – ESTUDO PRELIMINAR PARA COMPONENTE ACÚSTICO DE BAMBU

O uso pretendido para este componente acústico é absorção sonora, função esta, comumente utilizada em salas de aula, e de reunião. A absorção sonora traz como benefício a minimização do ruído de fundo, e conseqüentemente maior inteligibilidade para o recinto atuando com iminização da transmissão dos ruídos produzidos no recinto.

Buscando utilizar ao máximo o potencial do bambu, adotou-se o Bambu Laminado Colado como material base para a confecção da estrutura do componente, e o aglomerado de bambu e ácido cítrico para material absorvedor, a ser instalado no interior do componente.

A absorção ocorre através da dissipação da energia sonora por atrito, sendo a resistência ao fluxo de ar a propriedade fundamental dos materiais absorvedores. Devido a essa característica, para que os materiais absorvedores possam adquirir máximo desempenho, devem ser instalados sobre uma superfície sólida, pois nesse caso a onda refletida se combina com a incidente gerando uma onda estacionária que interage com o material absorvente e se dissipa por atrito. (Bistafa, 2011)

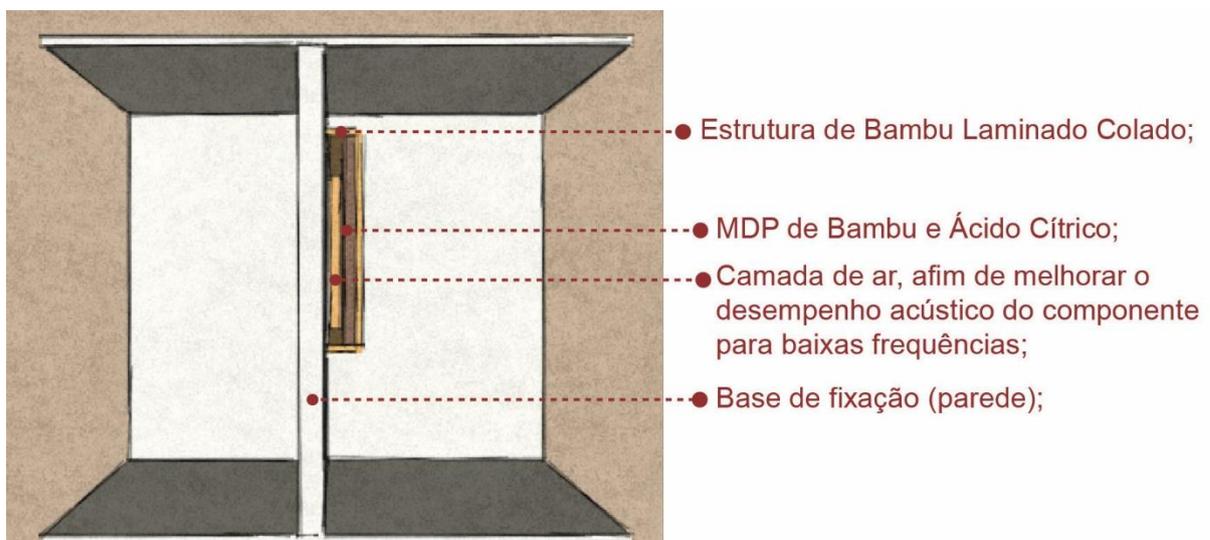
A figura 01 apresenta um esquema a nível de proposta preliminar da possibilidade de instalação do componente com o material absorvedor diretamente fixado na parede do recinto.



**Figura 01:** Esquema de instalação do componente de absorção sonora a partir de BLC e MDP de bambu e ácido cítrico diretamente sobre a superfície.

**Fonte:** Autora

O afastamento do material absorvedor da superfície com a adoção de cama de ar, aumenta a absorção em baixas frequências. (Bistafa, 2011). Esse recurso de design do componente pode aprimorar o desempenho do mesmo para usos específicos como demanda por absorção em baixas frequências. Como pode ser observado na figura 02.



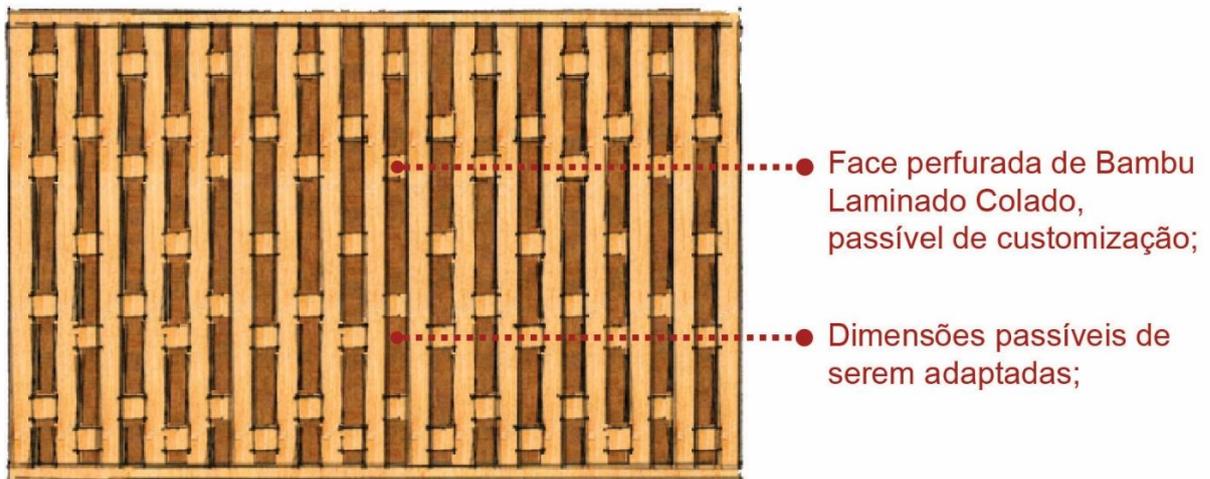
**Figura 02:** Esquema de instalação do componente de absorção sonora a partir de BLC e MDP de bambu e ácido cítrico com camada de ar.

**Fonte:** Autora

A exposição da superfície absorvedora se dá através das perfurações do painel da superfície que agrega em estética, pois pode ser confeccionado com design



personalizado e proteção mecânica ao material de absorção. (Figura 03) A fixação do componente pode ser feita mediante aplicação de adesivo PU, cola acústica sobre superfície.

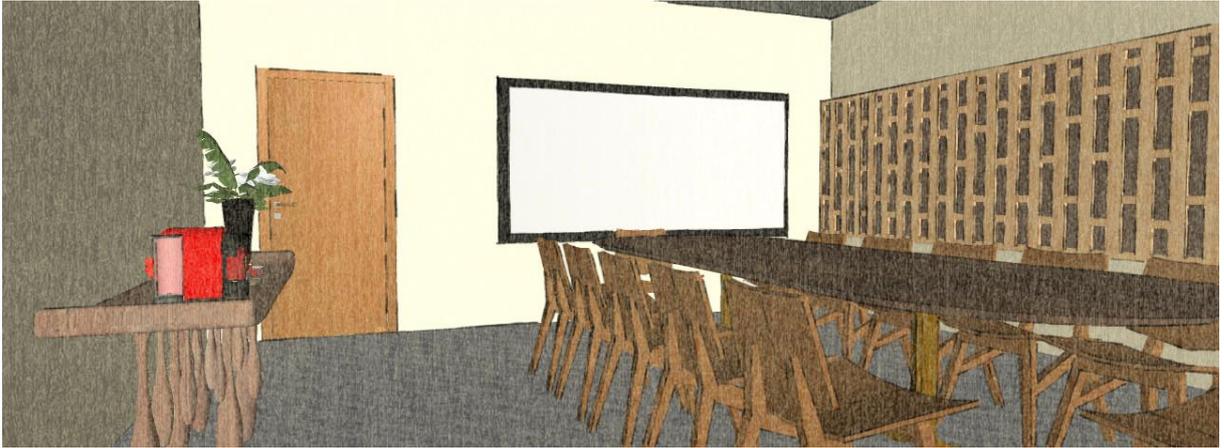


**Figura 03:** Esquema de painel perfurado de Bambu Laminado Colado  
**Fonte:** Autora

Em relação a aplicação entende-se que a mesma pode atender as particularidades das necessidades acústicas e princípios de design que norteiam o planejamento do interior dos recintos. Pois mediante recursos como corte a laser os painéis perfurados podem ser customizados e fabricados em módulos que atendam distintas dimensões e formas de superfícies. As figuras 04, 05 e 06 apresentam a simulação da aplicação do componente em sala de reunião e estudo.



**Figura 04:** Estudo de aplicação do componente.  
**Fonte:** Autora



**Figura 05:** Estudo de aplicação do componente.  
**Fonte:** Autora



**Figura 06:** Estudo de aplicação do componente.  
**Fonte:** Autora