

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – UnICEUB

PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

LUCAS ACIOLE VANDERLEI PEREIRA

**PAINEL ACÚSTICO DE BAIXO CUSTO E IMPACTO AMBIENTAL PARA ESPAÇOS
ABERTOS**

BRASÍLIA

2020

LUCAS ACIOLE VANDERLEI PEREIRA

**PAINEL ACÚSTICO DE BAIXO CUSTO E IMPACTO AMBIENTAL PARA ESPAÇOS
ABERTOS**

Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica
apresentado à Assessoria de Pós-Graduação e
Pesquisa.

Orientação: Ludmila de Araújo Correia

BRASÍLIA

2020

1.1 AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos aqueles que me auxiliaram nessa jornada. Principalmente a minha família, por me apoiar e permitir que eu utilizasse minha casa como laboratório, usando os utensílios de cozinha no processo de extração das fibras e vários locais da casa para armazenamento das fibras e confecção das amostras.

Aos colaboradores da pesquisa, que doaram seu tempo, material ou conhecimento para que a pesquisa pudesse se desenvolver da melhor forma possível, em especial ao Vinícius e Cândida, da Síntese Acústica, por fornecer os materiais para confecção das formas, ao pesquisador Fábio Takwara, do Laboratório de Pesquisas em Construção e Fazeres Sustentáveis (LaPeCFaS), por ceder diversos materiais e conhecimentos de extrema importância para a pesquisa, bem como ao engenheiro Donizeti Curcio Luciano, diretor técnico comercial da empresa impervog, por disponibilizar o poliuretano Mamonex RD70, para ser testado pela pesquisa.

Agradecimentos especiais também à professora Maria Alzira de Araújo Nunes, da faculdade de engenharia da Universidade de Brasília (Unb), por ceder o Laboratório de Acústica e vibrações (LabNVH) para os testes no tubo de impedância e sua mestranda em Integridade dos materiais, Maria dos Reis Santos Borges, por me auxiliar e acompanhar durante os ensaios no tubo de impedância, a Jhennyfer Loyane Gama Pires, pelo auxílio com seu conhecimento durante o desenvolvimento do projeto e a minha orientadora, por aceitar me acompanhar e auxiliar nessa jornada. Sou muito grato a todos que me auxiliaram, pois é impossível desenvolver uma pesquisa sem parcerias e auxílios de diversas pessoas.

1.2 RESUMO

Brasília, uma cidade planejada, se diferencia das outras cidades por suas peculiaridades, seja por seu urbanismo setorizado, por sua arquitetura modernista característica ou por seu belo paisagismo. Entretanto, a proximidade dos bares e restaurantes - localizados nas chamadas entrequadras comerciais - da área residencial gera muitos conflitos. Devido ao fato do tamanho reduzido das lojas nas entrequadras comerciais, muitos estabelecimentos utilizarem a área externa pública para colocar mesas e cadeiras, gerando assim uma fonte sonora que muitas vezes ultrapassa o limite de som noturno, uma vez que o som das músicas, ou até mesmo da interação entre as pessoas se propaga facilmente por longas distâncias, principalmente em Brasília, onde a morfologia das edificações sobre pilotis, abre ainda mais espaço para a propagação (CORREIA et al., 2016). Como solução para tal problema, o tratamento acústico interno, quando existente, não é suficiente pois a fonte sonora se encontra muitas vezes externa ao estabelecimento, logo a presente pesquisa propõe como solução para reduzir tais conflitos a instalação de Barreiras acústicas, móveis e composta por painéis com material absorvedor na face voltada para a fonte. Afim de buscar um material que fosse mais acessível economicamente aos bares e restaurantes, que tivesse um baixo impacto ambiental em sua produção e que ao mesmo tempo tivesse uma boa eficiência acústica, foram propostas diferentes composições de materiais de origem vegetal, como poliuretano vegetal, fibra de coco, fibra de bananeira, fibra de Agávia, fibra de Cana de Açúcar e fibra de bambu. Foi medido o coeficiente de absorção sonora de diversas amostra até chegar em um grupo com 5 composições que mostraram ter uma boa eficiência acústica.

Palavras-Chave: Barreira Acústica. Fibras Vegetais. Poliuretano Vegetal. Absorção Acústica.

1.3 LISTA DE FIGURAS

- Imagem 01 – Espuma Expansiva de Poliuretano Vegetal
- Imagem 02 – Cola CASCOREZ EXTRA
- Imagem 03 – Processo de Produção
- Imagem 04 – Descarte de Coco. Fonte: <http://www.cocoverderj.com.br/lixo-cocoverde.htm> acessado em 26/10/2020.
- Imagem 05 – Bambuzal.
- Imagem 06 – Manejo do Bambuzal.
- Imagem 07 – Agávia.
- Imagem 08 – Folhas de Agávia.
- Imagem 09 – Troncos de Bananeira.
- Imagem 10 – Cana de Açúcar.
- Imagem 11 – Cana de Açúcar sendo consumida.
- Imagem 12 – Pedacos do Coco passando pelo moedor Elétrico.
- Imagem 13 – Separação manual das fibras de coco.
- Imagem 14 – Armazenamento das Fibras de Coco.
- Imagem 15 – Folha de Agávia cortada em tiras.
- Imagem 16 – Fibras de Agávia secando ao sol.
- Imagem 17 – Troncos de bananeira cortados com aproximadamente 40cm.
- Imagem 18 – Calhas do tronco da bananeira.
- Imagem 19 – Flocos de Bananeira.
- Imagem 20 – Flocos de bananeira sendo triturados.
- Imagem 21 – Retirada parcial da água das fibras de bananeira.
- Imagem 22 – Cozimento das fibras de bananeira.
- Imagem 23 – Fibras de bananeira sendo prensadas manualmente.
- Imagem 24 – Fibras de bananeira prensadas secando ao sol.
- Imagem 25 – Bagaço de Cana de Açúcar sendo triturado.
- Imagem 26 – Bagaço de Cana de Açúcar triturado.
- Imagem 27 – Pesagem das fibras.
- Imagem 28 – Pesagem da cola.

-
- Imagem 29 – Prensa de madeira de 15cm x 15cm x 10cm.
 - Imagem 30 – Fibras sendo prensadas.
 - Imagem 31 – Placas de Fibra Vegetal.
 - Imagem 32 – Preparação para aplicação do poliuretano nas placas.
 - Imagem 33 – Misturador.
 - Imagem 34 – Placas de Poliuretano e Fibra.
 - Imagem 35 – Corte das amostras do Grupo A.
 - Imagem 36 – Placas de Poliuretano.
 - Imagem 37 – Pesagem das amostras.
 - Imagem 38 – Tubo de Impedância BSWA 466.
 - Imagem 39 – Parâmetros utilizados pelo *software*.
 - Imagem 40 - Tubo de Impedância BSWA SW 466
 - Imagem 41 - Microfones BSWA MPA416
 - Imagem 42 - Placa de Aquisição BSWA MC3242
 - Imagem 43 - Amplificador BSWA PA50
 - Imagem 44 - Calibrador BSWA CA114
 - Imagem 45 – Primeira configuração do tubo.
 - Imagem 46 – Posições 1- *Source* CH1 CH2 *Sample* e 2- *Source* CH2 CH1 *Sample*
 - Imagem 47 – Combinação dos 3 testes.
 - Imagem 48 – Segunda configuração do tubo.
 - Imagem 49 – Combinação de dados.

1.4 LISTA DE TABELAS

- Tabela 01 – Grupo PU (Mamonex RD 70).
- Tabela 02 – Grupo A (PU + Fibras Vegetais).
- Tabela 03 – Grupos B e C (Fibras Vegetais).
- Tabela 04 – Grupo D (Multifibras).
- Tabela 05 - Resultado do Ensaio de Densidade Aparente, Densidade Superficial e Gramatura.
- Tabela 06 - Comparação do Grupo D Materiais Existentes.
- Tabela 07 – NRC.

1.5 LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 01 - Comparação da absorção sonora das amostras PU 1 e PU 2.
- Gráfico 02 - Comparação da absorção sonora das amostras PU 1 e PU 3.
- Gráfico 03 - Comparação da absorção sonora das amostras PU 2 e PU 4.
- Gráfico 04 - Comparação da absorção sonora das amostras PU 1, PU 2, PU 3 e PU 4.
- Gráfico 05 - Comparação da absorção sonora das amostras do grupo A.
- Gráfico 06 - Comparação da absorção sonora das amostras dos grupos B e C.
- Gráfico 07 - Comparação da absorção sonora entre as duas faces da amostra D1.
- Gráfico 08 - Comparação da absorção sonora entre as duas faces da amostra D1 e as amostras B4 e C1.
- Gráfico 09 - Comparação da absorção sonora entre as duas faces da amostra D2.
- Gráfico 10 - Comparação da absorção sonora entre as duas faces da amostra D2 e as amostras B3 e C1.
- Gráfico 11 - Comparação da absorção sonora entre as duas faces da amostra D3.
- Gráfico 12 - Comparação da absorção sonora entre as duas faces da amostra D3 e as amostras B3 e B4.
- Gráfico 13 - Absorção sonora da amostra D4.
- Gráfico 14 - Comparação da absorção sonora entre as duas faces da amostra D4 e as amostras B2 e B4.

-
- Gráfico 15 - Comparação da absorção sonora do grupo D.
 - Gráfico 16 - Comparação da Absorção das Melhores Amostras.
 - Gráfico 17 - Análise Global das Amostras.
 - Gráfico 18 - Comparação do Grupo D com outras pesquisas.
 - Gráfico 19 - Comparação do Grupo D Materiais Existentes

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	2
RESUMO	3
LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE TABELAS	6
LISTA DE GRÁFICOS	6
1 INTRODUÇÃO	6
1.1 PROBLEMA	8
1.2 JUSTIFICATIVA	9
1.3 OBJETIVOS	11
1.3.1 OBJETIVO GERAL	11
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
2.1 ASPECTOS ACÚSTICOS	12
2.1.1	
2.1.2 Conceitos Gerais.....	12
2.1.3 Grandezas sonoras	14
2.1.4	
2.1.5 Fontes Sonoras.....	15
Propagação do som no espaço aberto	15
2.2.1 Comportamento do som no espaço fechado	16
2.2 ASPECTOS ECONÔMICOS	18
2.3.1	
2.3.2 Parâmetros de Avaliação.....	18
2.3 ASPECTOS ECOLÓGICOS	20
Análise do Ciclo de Vida	20
Materiais Fibrosos de Origem Vegetal	20
2.4 Soluções ACÚSTICAS para espaços abertos	22

	Barreiras Acústicas	22
	Formato de Barreiras	22
	Estrutura de Barreiras	23
2.4.1	Forma e composição dos painéis	23
2.4.2	Materiais de absorção acústica	24
2.4.3		
2.4.4	Materiais fibrosos de origem vegetal para uso acústico	24
2.4.5	NORMAS.....	26
2.4.6		
2.5.1.1	ISO 9613:1993	27
2.5.1.2	ISO 10534-2:1998	27
2.5.1.3	ISO 1996:2016	27
2.5.1.4	ISO 10847:1997	27
2.5.1.5	NBR 12179:1992	28
2.5.1.6	NBR 10151:2019	28
2.5.1.7	NBR 15575:2013	28
2.5.1.8	NBR 16313:2014	29
2.5.1.9	CONCLUSÃO DAS NORMAS	29
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	30
3.1.1		
3.1	Metodologia de Desenvolvimento das Composições	30
	Classificação das Composições.....	30
3.1.1.1	Grupo PU	30
3.1.1.2	Grupo A	31
3.1.2		
3.1.1.3	Grupo B	32
3.1.1.4	Grupo C.....	32
3.1.1.5	Grupo D	32
	Aglomerantes.....	33

3.1.2.1	Cola Branca de Madeira.....	33
	Desenvolvimento dos Materiais.....	34
3.1.3.1	Coleta da matéria prima vegetal.....	34
3.1.3.2	Método de Extração das Fibras	38
3.1.3	3.1.3.3 Confecção das Amostras.....	46
	3.1.3.4 Prensagem das Fibras	46
3.2	Ensaio Experimentais e Caracterização Acústica	52
	Densidade Aparente, Densidade Superficial e Gramatura	52
3.2.1	3.2.1 Caracterização Acústica.....	53
3.2.2	3.2.2.1 Tubo de Impedância	53
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
4.1	4.1 Densidade Aparente, Densidade Superficial e Gramatura	60
4.2	4.2 Tubo de Impedância	61
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
6	REFERÊNCIAS	76

2 INTRODUÇÃO

Brasília, cidade projetada para ser a capital do Brasil, é um marco simbólico do modernismo na arquitetura. Diferente de muitas outras cidades, apresenta características únicas como sua setorização, a presença intrínseca da natureza e suas grandes rodovias, que cortam a cidade de norte a sul.

Seu comportamento acústico também é diferente, pois mesmo com suas grandes e intensas rodovias - que em outras cidades geram um grande problema na acústica da cidade, por serem uma extensa e intensa fonte de ruídos - há o mesmo problema devido à considerável distância que a maioria das áreas residenciais tem dos grandes eixos (GARAVELLI et al., 2014).

Entretanto, a proximidade dos bares e restaurantes - localizados nas chamadas *Entrequadras comerciais* - da área residencial gera muitos conflitos. Moradores, usuários e proprietários dos bares e restaurantes estão em constante impasse, pois com ou sem música ao vivo, os estabelecimentos são uma alta fonte sonora, devido a interação e conversa, alinhado com a falta de tratamento acústico dos estabelecimentos, o que gera algumas vezes fontes sonoras bastante elevadas (CORREIA et al., 2016).

Consideramos, assim, necessário buscar soluções que possam minimizar tais conflitos. Muitos bares e restaurantes não dispõem de muito espaço físico interno às lojas, além de que em climas tropicais como em Brasília, é muito comum o uso das áreas externas ao estabelecimento com mesas e cadeiras. Torna-se, portanto, ineficiente apenas o condicionamento acústico interno dos estabelecimentos, além de ser muito difícil a redução do incômodo sonoro gerado no espaço aberto devido à falta de barreiras físicas que em um espaço interno tem. Além disso, a morfologia das edificações, em pilotis, facilita a propagação do som por uma distância muito maior do que em locais com a malha urbana densamente construída.

A utilização de barreiras acústicas como solução para a redução de ruído em eixos rodoviários e metroviários já é bastante difundida. Elas também podem ser interessantes para atenuar o incômodo sonoro gerado pelos bares e restaurantes, uma vez que assim como as rodovias, são fontes localizadas em espaços abertos, sendo assim impossível isolar o som.

Porém, para utilização de barreiras acústicas em bares e restaurantes, é necessário pensar em alguns aspectos que para as rodovias não tem tanta relevância. Por exemplo, o aspecto estético visual, pode interferir no conforto visual do estabelecimento; e a mobilidade, pois diferente das barreiras de rodovias, que são fixas, as barreiras para esse tipo de estabelecimentos, precisam muitas vezes serem instaladas em áreas públicas para serem eficazes e não é possível sua fixação permanente, necessitando assim que seja montada apenas durante o funcionamento do estabelecimento.

Visando contribuir para minimizar o impacto gerado pelo lazer noturno em bares e restaurantes, essa pesquisa buscou estudar as características acústicas de materiais de origem vegetal para a composição de um material acústico que possa ser utilizado nos painéis das barreiras acústicas.

O material a ser desenvolvido deve ser: a) compatível visualmente com os ambientes que serão instalados; b) viável economicamente, com custo acessível, visando uma melhor adesão dos bares de todas as categorias; c) produzir um menor impacto ambiental, buscando assim a o uso de materiais de origem vegetal e a reutilização de materiais industrializados; d) de alta resistência a intempéries; e) peso e dimensões menores possíveis para facilitar sua montagem, desmontagem, transporte e armazenamento.

2.1 PROBLEMA

Uma das características marcantes de Brasília são suas Superquadras, que são o conjunto de edificações residenciais, construído sobre pilotis de forma a manter o espaço do solo livre para a circulação e de caráter público. As Superquadras são conectadas pela Entrequadras, onde se localiza o comércio local, recreio e equipamentos de uso comum.

Devido a essa disposição intercalada entre Superquadra (Residencial) e Entrequadra (Comercial), onde a área comercial está muito próxima a residencial, diversos problemas referentes ao incômodo que o lazer noturno gera nos moradores das superquadras.

O problema abordado pela pesquisa é o conflito existente entre moradores e usuários e proprietários de bares e restaurantes, gerado pelos sons e ruídos gerados pelos estabelecimentos que promovem lazer noturno nas Entrequadras (Bares e Restaurantes), com músicas, ao vivo ou eletrônicas ou até mesmo pela interação entre usuários dos bares e restaurantes, uma vez que a própria conversação entre as pessoas é capaz de gerar ruídos alto suficiente para incomodar os moradores das Superquadras.

2.2 JUSTIFICATIVA

Em Brasília, a necessidade de habitar com conforto sonoro e de utilizar as opções de cultura e lazer oferecidos pela cidade tem gerado uma série de conflitos, chegando até a processos judiciais, entre os moradores e os usuários e proprietários dos estabelecimentos que promovem lazer noturno. Devido a tais embates, amplas discussões surgem sobre a “Lei do Silêncio” – Lei no. 4.092, que regulamenta o Controle da Poluição Sonora e limita a intensidade dos sons e ruídos no Distrito Federal.

Para evitar tais embates, surge uma busca de alguns estabelecimentos que proporcionam lazer noturno por soluções acústicas para controlar sua emissão de sons e ruídos e assim poder funcionar sem atrito com a comunidade. Porém, muitas das vezes as soluções implementadas não são eficientes, pois não é possível a aplicação de soluções comuns de isolamento e atenuação em áreas abertas, e/ou tem um custo muito elevado para o estabelecimento, o que acarreta em uma elitização sobre o tratamento acústico. Por isso, no mercado brasileiro, não existem ainda muitas soluções acústicas com eficácia comprovada que atendam as demandas do lazer noturno em espaços abertos.

Apesar de existir uma grande variedade de estudos de soluções de barreiras acústicas voltadas para ruídos de tráfego e equipamentos, comprovando a eficiência do uso de barreiras acústicas como solução de controle de ruídos em áreas abertas, tais soluções não podem ser replicadas, sem modificações, para resolver os problemas dos estabelecimentos de lazer noturno de Brasília, pois em sua maioria, as barreiras utilizadas para o controle de ruído de tráfego e equipamentos são elementos fixos, com um peso elevado e que não provêm de uma preocupação com sua estética.

As barreiras voltadas para as áreas externas dos estabelecimentos exigem diversas demandas comuns a barreiras acústicas como quanto a sua resistência a intemperes e outras mais específicas a esse tipo como sua mobilidade, levando em consideração que os funcionários do estabelecimento terão que colocar e retirar a barreira durante seu período de funcionamento o peso das placas e estrutura, bem como suas dimensões, devem ser reduzidos, para facilitar seu transporte, montagem, desmontagem e armazenamento e seu caráter estético, levando em consideração que cada estabelecimento tem uma identidade visual e a barreira deve estar

de acordo ela, para não gerar um desconforto visual no local e acarretar em um prejuízo ao estabelecimento.

A partir do estudo de elementos de origem vegetal para a composição de um material acústico, será possível desenvolver um material que possa ser utilizado para a composição de um painel em uma barreira acústica, voltada para o contexto dos bares e restaurantes de Brasília, atendendo melhor as demandas do lazer noturno da cidade.

Com a utilização de materiais de origem vegetal, diminui-se o gasto com matéria prima, pois a matéria prima para a extração das fibras estudadas é descartada em vários locais da cidade. Assim, além da diminuição do custo do material, é reduzido também os gastos com deslocamentos e consequentemente a emissão de CO₂, diminuindo o impacto ambiental do material. Além da utilização de fibras vegetais, é possível a reutilização de materiais como lonas e papelões na composição dos painéis, contribuindo para a diminuição de lixo nos aterros da cidade.

Nesse sentido, o estudo de materiais alternativos para a composição das barreiras acústicas voltadas para solução dos problemas desses estabelecimentos, que tenham uma boa eficiência acústica, uma boa mobilidade, um baixo impacto ambiental e que leve em consideração as características estéticas do local torna-se cada vez mais relevante.

2.3 OBJETIVOS

2.3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desta pesquisa é o desenvolvimento de um material acústico de **baixo custo** e **baixo impacto ambiental** que possa ser utilizado em um painel acústico, juntamente com materiais reutilizados, viabilizando barreiras acústicas mais **eficientes acusticamente, ecológicas e economicamente viáveis**.

2.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar os parâmetros acústicos de materiais disponíveis no mercado e na bibliografia pré-existente, definindo os índices mínimos a serem atendidos pelo material proposto;
- Analisar diferentes possibilidades de material absorvedor, de origem vegetal, que possam compor painéis que apresentem a melhor relação entre impacto ambiental, viabilidade econômica e eficiência acústica;

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 ASPECTOS ACÚSTICOS

3.1.1 Conceitos Gerais

Som e onda sonora

O som está presente em nossas vidas desde nossa formação, com o som produzido pelo organismo da nossa mãe, quando estamos dentro do útero. Ele faz parte do nosso dia a dia, com a música que escutamos, ao conversar com outras pessoas, ao assistimos televisão, no trânsito, com os motores, as buzinas, na escola, com o sinal do intervalo, no trabalho, com o teclado dos computadores, com o ar condicionado, com as máquinas enfim, sempre que escutamos ou até mesmo sentimos algo, ele está ali presente.

O som é uma forma de energia transmitida, em forma de onda, através do choque sucessivo das moléculas devido a série de compressões e rarefações geradas durante sua propagação no meio em que ele está inserido (GERGES, 2000). As ondas sonoras podem então serem vistas como essa perturbação ou energia, transmitida em forma de onda, entre as moléculas do meio em que ela se propaga.

Ou como apresenta Bistafa (2011), o som é a sensação produzida no nosso sistema auditivo - dentro do limiar da audição - gerado pela variação cíclica da pressão ambiente, independente da satisfação com o que se está ouvindo. Já o ruído é qualquer som indesejado, sem harmonia, que muitas vezes geram efeitos negativos ou indesejáveis no corpo humano. Isso não quer dizer que devemos eliminar por completo todo som que impacte em nossas atividades, já que sua ausência completa pode causar efeitos negativos como a sensação de solidão. Sendo assim, o estudo acústico de situação de ruído tem como objetivo principal o controle do ruído, não sua eliminação por completo.

Sendo o som a variação da pressão ambiente, a menor variação em que se é possível ser detectada pelo sistema auditivo do ser humano é $2 \cdot 10^{-5}$ Pa, e é conhecida como **limiar da audição**. Já o **limiar da dor**, é a variação da pressão ambiente capaz de trazer dor ao sistema auditivo. Segundo Bistafa (2011), diferentes valores são atribuídos ao limiar da dor, variando entre 20 a 200 Pa.

A variação cíclica da pressão sonora ambiente pode então ser entendida como uma Onda Sonora. A **amplitude** (A) de uma onda é dada pela distância entre a crista da onda, o ponto mais alto da onda, e o seu ponto de equilíbrio, ou de deslocamento zero. Já o tempo necessário para que essa onda complete um ciclo é chamado de **período** (T). A quantidade de vezes que essa onda completa seu ciclo durante o período (T) de um segundo é chamado de frequência (f).

Frequência (f) então pode ser entendida como a quantidade de ciclos por segundo de uma onda. Sua unidade de medida, em acústica, é Hertz (Hz), em homenagem a Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894).

Podemos classificar ou dividir o espectro sonoro de acordo com o intervalo de frequência que podem ser detectados pelo sistema auditivo humano, onde temos as frequências de 20 Hz a 20.000 Hz. Essa faixa de frequência denominada de **faixa de áudio**. Abaixo dessa faixa temos os **Infrassons** e acima dela os **ultrassons**.

Fenômeno sonoro

O fenômeno sonoro ocorre a partir do momento em que uma fonte, seja ela pontual, linear ou superficial, emite uma certa quantidade de energia, que se propaga por um meio, como por exemplo o ar ou a água, durante uma trajetória, podendo sofrer modificações ao se chocar ou interagir com algum elemento, até chegar ao seu receptor, que vai receber, processar e analisar essa energia.

O espectro sonoro

Segundo Bistafa (2011), o espectro sonoro nos fornece o valor da pressão sonora para cada frequência presente em um som. Quando analisamos o espectro sonoro de tons puros por exemplo, teremos apenas um som em uma única frequência já se analisarmos o espectro sonoro de uma conversa, teremos um conjunto com várias frequências.

3.1.2 Grandezas sonoras

Intensidade Sonora

Intensidade Sonora (I) pode ser descrita como “{...} a quantidade média de energia, na unidade de tempo, que atravessa uma área unitária perpendicular à direção de propagação da onda.” (BISTAFA, 2011, p.25)

Sua unidade é dada em Watts por metro quadrado (W/m^2) e ela é responsável pela característica do “volume” do som.

Potência Sonora

Potência Sonora é a quantidade de energia gerada por uma fonte sonora durante um certo tempo, expressa em Watts (W). Ela é uma característica associada a fontes sonoras pois indica sua capacidade de emitir som.

Pressão Sonora

Entendemos como pressão sonora ou acústica (p) quando a variação da pressão ambiente for cíclica e tivermos uma amplitude (A) maior que o limiar da audição, ou seja, a variação da pressão sonora que pode ser detectada pelo nosso sistema auditivo. (BISTAFA, 2011).

Percepção sonora

O processamento do som no sistema auditivo do ser humano, se dá a partir da orelha, onde as ondas sonoras são captadas, processadas e codificadas em níveis fisiológicos e enviadas ao cérebro para serem interpretadas e classificadas. Podemos então dividir esse processo em três níveis: Físico, onde a informação se encontra em forma de onda sonora; fisiológico, onde a informação é recebida, processada e codificada; psíquico, onde a informação é interpretada e classificada como importante ou não.

Mascaramento

Mascaramento é o fenômeno que ocorre quando um som interfere na percepção de outro som. Ele pode ocorrer devido a diferença de potência sonora entre dois sons ou pela diferença entre a frequência de dois sons, pois tons de baixa frequência tem maior capacidade de interferir em tons de alta frequência.

3.1.3 Fontes Sonoras

Tipos de Fontes Sonoras

As fontes sonoras podem ser classificadas em três tipos: Pontuais, lineares e superficiais. As fontes pontuais tem a características de emitir ondas sonoras esféricas e ter uma perda de pressão sonora de metade do valor, toda vez que a distância entre a fonte e a onda dobrar. Já as fontes lineares por sua vez, tem a característica de emitir uma frente de onda cilíndrica ao longo do seu comprimento e ter uma perda de 3 dB da pressão sonora, toda vez que a distância entre a onda e a fonte dobrar. Por fim as fontes superficiais, que tem a característica de emitir ondas planas e não ter perda na pressão sonora enquanto se comportar como onda plana.

3.1.4 Propagação do som no espaço aberto

Campo sonoro direto e reverberante

Em espaços abertos, costuma-se encontrar um campo sonoro direto, onde o som que chega ao receptor é apenas aquele emitido da fonte e propagado diretamente a ele, sem que haja interferências de outros elementos. Porém ao implementarmos uma barreira acústica para atenuar e redirecionar esse som, criamos também um campo reverberante, similar ao que acontece em recintos fechados, onde o som que chega ao receptor é a união do som emitido diretamente da fonte mais aquele que é refletido pelas superfícies que delimitam o campo.

Atenuação

A trajetória do som se dá início quando o som é emitido por uma fonte sonora com uma certa potência, gerando um nível sonoro que vai diminuindo ao longo da sua trajetória de transmissão até chegar no seu receptor. Esse decaimento do nível sonoro é chamado de atenuação e ocorre devido a diversos fatores como: a distância entre fonte e receptor, elementos que atuem como barreira acústica como terreno, vegetação, edificações ou barreiras acústicas, ventos e temperatura ambiente, reverberação entre edificações etc. (BISTAFA, 2011)

Logo, o som que é recebido por um receptor, e o conjunto das ondas emitidas pela fonte e se propaga diretamente ao receptor mais as ondas refletidas pelas superfícies menos a atenuação que esse som durante toda a sua trajetória de transmissão.

3.1.5 Comportamento do som no espaço fechado

Todo material acústico é avaliado de acordo com suas duas principais características, o Isolamento e a Atenuação. Cada uma delas tem uma função diferente, e normalmente são confundidas.

Isolamento

O isolamento é a capacidade que o material tem de impedir que as ondas sonoras passem de um ambiente para outro. Ele é medido através da perda de transmissão do som. Materiais que proporcionam um bom isolamento acústico tem em sua maioria uma alta densidade e superfícies reflexivas.

Absorção

A absorção é a capacidade que o material tem de absorver as ondas sonoras, diminuindo seu nível sonoro, através da dissipação do som em seu interior. Materiais com boa absorção costumam ser fibrosos, onde a dissipação do som se dá pela vibração de suas fibras, gerando calor através do atrito entre elas, ou porosos, onde a dissipação se dá pela série de reflexões das ondas dentro dos poros do material, gerando calor através do atrito entre as partículas de ar.

3.2 ASPECTOS ECONÔMICOS

Empreendedorismo sustentável, conceito relativamente novo utilizado para definir aqueles empreendimentos que combinam a geração de riquezas com o desenvolvimento responsável pelo meio social e ambiental. O estudo e desenvolvimento de um material acústico utilizando matéria prima vegetal, renovável e de descarte de outros setores, além de ter um caráter ecológico, pode criar uma nova fonte de renda social, devido a simplicidade do processo de confecção do material, sem a utilização de equipamentos industriais ou produtos químicos.

3.2.1 Parâmetros de Avaliação

Custo

O custo dos materiais está muito ligado ao grau de complexidade de sua produção, bem como aos processos que a matéria prima é submetida para se transformar no produto final. Podemos então classificar, a partir dos processos que a matéria prima é submetida, os materiais em dois tipos, aqueles que passam por processo de fusão em grandes fornos, que acarreta um alto custo e aqueles que dispensam esse processo, diminuindo significativamente o custo do produto.

Os materiais feitos a partir de fibras vegetais, em sua maioria utilizam como matéria prima resíduos de outros setores, reduzindo muitas vezes o custo de aquisição da matéria prima a zero. Além disso, por utilizarem uma matéria prima na qual as fibras já estão “prontas”, dispensam a etapa de fusão em altas temperaturas, acarretando um custo inferior referente a essa etapa do processo produtivo.

Tempo

O tempo para a produção de um material está muito relacionado ao tipo de material e ao seu processo de produção. Materiais como a lã de vidro e a lã de rocha, necessitam de um maior tempo para a extração de sua matéria prima, porém, o processo de produção desses materiais é altamente industrializado, ganhando assim uma maior rapidez e produção. Já materiais como a lã de PET, que utiliza como matéria prima reciclada, o processo de extração da matéria prima é muito mais rápido, pois consiste apenas na separação e limpeza dos materiais a serem

reciclados e igualmente a lã de rocha e lã de vidro, seu processo de produção é altamente industrializado, fazendo com que o tempo de produção desse material seja bem maior que os citados anteriormente.

Já materiais que utilizam matéria prima vegetal, por utilizar como matéria prima resíduos de outros setores, o tempo de extração da matéria prima é nulo. Porém, por se tratar de um processo ainda bastante manual, o tempo de produção dos materiais de fibras vegetais ainda é um pouco elevado, se comparado a outros materiais industrializados, o que acarreta em um aumento no valor, em relação a esse aspecto. Porém, com o aumento de estudos referentes a estes materiais, cada vez mais vem se criando tecnologias para acelerar a produção desses materiais.

Qualificação da mão de obra

Materiais como a lã de rocha, lã de vidro e lã de PET, utilizam um processo produtivo altamente industrializado, com isso, a mão de obra para a produção desses materiais tem que ser qualificada para o serviço. Logo, a produção desses materiais está amarrada a grandes indústrias.

Materiais de fibras vegetais, devido a simplicidade dos seus processos de produção, não necessitam de mão de obra qualificada, podendo serem feitos por pequenas empresas ou por autônomos. Com isso, eles promovem o empreendimento social, servindo como possível fonte de renda para comunidades de baixa renda.

3.3 ASPECTOS ECOLÓGICOS

3.3.1 Análise do Ciclo de Vida

Todo material tem seu ciclo de vida, que começa com extração da matéria prima para sua confecção e tem fim no seu descarte. Muitos materiais tem ciclos parecidos, como a lã de rocha e a lã de vidro, que passam por fusões de materiais em grandes fornos, gerando um grande gasto energético e econômico, além da produção de gases poluentes. Outros materiais como a lã de PET, dispensam o processo de fusão em altas temperaturas e utiliza apenas fornos de baixas temperaturas devido ao baixo ponto de fusão do plástico, o que diminui o gasto energético e econômico, além de utilizar matéria prima reciclada. A desvantagem desses tipos de materiais costuma estar sempre no descarte, onde aqueles que tem origem mineral, não tem uma degradação e aqueles plásticos, se não forem reciclados, demoram mais de 100 anos para se decompor.

Materiais de origem vegetal, por sua vez, utilizam matérias primas renováveis, de fácil aquisição, muitas vezes de descartes, não necessitam passar por grandes fornos, evitando o gasto energético, minimizando o econômico e a emissão de gases poluentes. Além disso, ao serem descartados, por se tratar de materiais orgânicos, tem uma rápida decomposição, se comparado aos demais.

3.3.2 Materiais Fibrosos de Origem Vegetal

Extração

A extração da matéria prima vegetal, em sua maioria se dá a partir do reaproveitamento do resíduo de outros setores, como o coco, descartado após a retirada da água de coco, a bananeira, descartada após a retirada do cacho de banana, o bagaço da cana de Açúcar, após a retirada do seu caldo, da palha de aveia e soja, após a extração dos grãos, entre outros.

Confecção

O processo de produção desses materiais depende de cada material, e muitos deles ainda estão em etapas de pesquisas. Porém, como as fibras já estão em sua maioria prontas, o ciclo de vida do material se dá no desfibramento da matéria prima ou mesmo apenas no

tratamento e prensagem, dependendo da fibra. Pelo fato de as fibras já estarem prontas é possível através de processos simples, o desfibramento e a confecção dos materiais, por meio de moldes e prensas.

Descarte

A ideia de produzir um material utilizando fibras vegetais já tem por princípio a preocupação com o descarte do material após sua utilização. Por se tratar de materiais orgânicos, muitos dele podem ser descartados sem nenhum tipo de preocupação, apenas tendo que ter cuidado caso tenha sido utilizados elementos químicos na confecção do material, caso contrário, o material pode ser descartado normalmente nos locais apropriados que eles entraram em processo de decomposição natural.

3.4 Soluções ACÚSTICAS para espaços abertos

3.4.1 Barreiras Acústicas

Segundo Bistafa (2011), pode ser considerado uma barreira acústica qualquer elemento ou obstáculo que ficar entre a linha da fonte ao receptor, impedindo o contato visual direto entre eles. Eles podem ser a própria topografia, uma edificação, vegetação etc.

Dentro dos diversos tipos de elementos que podemos caracterizar como barreiras acústicas, podemos classificar eles em duas categorias: Naturais e Artificiais.

As barreiras naturais são compostas pelos elementos preexistentes no local ou elementos naturais que podem ser inseridos na linha Fonte-Receptor. Temos como exemplo a topografia, a vegetação, pedras etc.

Já as barreiras artificiais, são elementos construído pelo ser humano com a intenção ou não de barrar o som, por exemplo as edificações, as barreiras acústicas que ficam entre a fonte e o receptor.

As barreiras acústicas são então elementos que são inseridos entre uma fonte sonora e um receptor, na intenção de diminuir o impacto dessa fonte ao receptor. Elas podem ser fixas ou móveis e geralmente são compostas por painéis modulares, para facilitar a sua montagem, desmontagem e manutenção.

3.4.2 Formato de Barreiras

Quanto ao formato das barreiras acústicas, elas podem ser barreiras lineares ou poligonais, podendo ou não conter cantilever, geodésicas, entre outros. A escolha do melhor tipo de formato depende de cada situação, do tipo de fonte e ambiente, porém a eficiência da barreira está intrinsecamente ligada a escolha certa do seu formato.

Barreiras acústicas lineares costumam ser eficientes em situações em que a fonte está perto da barreira, pois quanto mais distante a fonte estiver da barreira, maior será a altura dela, para que se obtenha o resultado esperado. Para minimizar a altura necessária da barreira, é possível acrescentar ao seu topo um cantilever, estrutura inclinada para dentro da área em

que a fonte se encontra. Uma desvantagem da barreira linear é o vazamento do som pelas bordas, acarretando um aumento em sua extensão para atingir o resultado esperado.

Já as barreiras poligonais, são mais eficientes quando não é possível ou desejado tem uma barreira muito extensa, pois assim como a inclinação do cantilever acarreta a diminuição da altura da barreira, a inclinação das bordas, criando o formato poligonal, diminui a extensão necessária para se atingir o resultado esperado.

Além dos formatos citados anteriormente, que são os mais comuns, podemos ter ainda uma barreira acústica em formato geodésico, que é extremamente mais eficiente que as anteriores, porém é limitada ao diâmetro da estrutura. Sendo mais indicadas para eventos de pequeno porte ou para qualquer situação em que seja possível ser executada dentro da estrutura, como uma pista de dança.

3.4.3 Estrutura de Barreiras

A estrutura das barreiras acústicas pode ser feita de diversas maneiras e de diversos materiais, tendo assim que ser avaliado caso a caso para ser definido o tipo que melhor atende a necessidade do local. Porém podemos dividir elas em duas categorias: Fixas e Móveis.

As estruturas fixas tem por característica maior robustez, peso e não requer muita manutenção. Elas podem ser acopladas em estruturas preexistentes no local ou inseridas em áreas externas. São exemplos de barreiras fixas as barreiras inseridas em eixos viários, em áreas externas em casas de show ou bares.

Já as estruturas móveis tem por característica sua divisão modular, que facilita sua montagem, desmontagem e armazenamento sem necessidade de grandes maquinários. Elas podem ser implementadas em áreas externas de bares e restaurantes, quando estes utilizam áreas públicas e a implementação de barreiras fixas não é permitido, em eventos com música etc.

3.4.4 Forma e composição dos painéis

As barreiras acústicas são compostas principalmente por sua estrutura, com visto anteriormente e por seus painéis que a função de atenuar o som. Os painéis podem ser

classificados de acordo com sua função e composição. Segundo sua função, os painéis podem ser classificados em:

Painéis Refletores, normalmente são peças monolíticas e autoportantes, tem uma alta densidade e por isso, tem como característica principal a reflexão do som;

Painéis Absorventes, que são compostos por diversos materiais, refletores e absorventes buscando assim atenuar mais ainda o som. Esse será o tipo de painel estudado e proposto por essa pesquisa.

Bistafa (2011) e Costa (2003) classificam esses painéis em três tipos: Painel perfurado sobre material absorvente (poroso ou fibroso), Membrana flexível sobre material absorvedor (fibroso ou poroso) e Painel ressonante.

Os painéis perfurados sobre material absorvente, como o próprio nome diz, é composto por uma placa rígida, geralmente de madeira ou metal, que permite a passagem do som por meio dos furos até um material absorvente acústico, poroso ou fibroso,

3.4.5 Materiais de absorção acústica

Segundo Gerges (2000), os materiais de absorção acústica são aqueles capazes de transformar parte da energia acústica em energia térmica. Normalmente esses materiais são porosos, como espumas, onde a dissipação da energia sonora se dá por múltiplas reflexões das ondas sonoras e pelo atrito viscoso ou fibrosos, onde a energia é dissipada ao entrar nos interstícios das fibras, fazendo elas vibrarem junto com o ar, gerando assim um atrito entre elas e a transformação da energia sonora em térmica.

Com isso, uma das características mais importantes de um material acústico é a capacidade que o ar tem de atravessar o material, possibilitando assim que as ondas sonoras entrem no material e seja dissipada por ele. (GERGES, 2000)

3.4.6 Materiais fibrosos de origem vegetal para uso acústico

Diversos estudos vêm sendo feitos a respeito do uso de fibras vegetais no desenvolvimento de materiais acústicos, como por exemplo a dissertação de Demarchi (2010), onde foi

estudado a aplicação da fibra de bananeira, a dissertação de Outa (2014), onde foi estudado a utilização do bagaço da cana de açúcar, a dissertação de Bastos (2009), onde foi estudado a utilização de fibras de açaí, coco, dendê e sisal, na forma de painéis mesclados, unifibra e multifibras, a dissertação da Louredo (2019), onde foi estudado a utilização de bambu e ácido cítrico, a dissertação da Campos (2012), onde foi estudado o uso de aveia e cana de açúcar e a dissertação de Vieira (2008), onde foi estudado o uso da fibra de coco.

A grande vantagem da utilização de materiais fibrosos de origem vegetal, além da sua eficiência como material absorvedor, é a grande disponibilidade de matéria prima, pois em sua maioria, os materiais utilizados são resíduos de outros setores.

Além disso, materiais vegetais são renováveis, de fácil descarte, se não for empregado componentes químicos na sua confecção, leves, não necessitam de equipamentos de segurança para manusear e são de fácil confecção, podendo ser uma boa fonte de renda para comunidades de menor poder aquisitivo, contribuindo para a economia local.

3.5 NORMAS

No desenvolvimento desta pesquisa foram analisadas diversas normas que abrangem o campo da acústica, entretanto foi visto que existe ainda um déficit de normas para regulamentar todas as áreas da acústica. Devido a essa falta de normatização nacional, foi necessário a busca de normas internacionais (ISO), para fundamentar a pesquisa.

Após feita a pesquisa de todas as normas que abrangiam todos os parâmetros acústicos que a pesquisa exigia, foi feito uma seleção das que tinham mais relevância e aplicabilidade para a pesquisa. Apresentamos a baixo uma lista com as normas pesquisadas e em seguida uma breve explicação da norma e nas selecionadas, o que será utilizado dela na pesquisa:

- **ISO 9613:1993** | *Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors.*
- **ISO 10534-2:1998** | *Acoustics – Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes.*
- **ISO 1996:2016** | *Description, measurement and assessment of environmental noise.*
- **ISO 10847:1997** | *Acoustics - In-situ determination of insertion loss of outdoor noise barriers of all types.*
- **NBR 12179:1992** | Tratamento acústico em recintos fechados – Procedimento.
- **NBR 10151:2019** | Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas.
- **NBR 10152:2017** | Acústica - Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações.
- **NBR 15575:2013** | Edificações habitacionais – Desempenho.
- **NBR 16313:2014** | Acústica -Terminologia.

3.5.1 ISO 9613:1993

A Norma ISO 9613:1993 é dividida em duas partes, ISO 9613-1 e ISO 9613-2. Elas buscam especificar os métodos para cálculo da atenuação do som se propagando em áreas abertas, para descobrir o nível de ruído ambiental em locais distantes, com diferentes tipos de fontes sonoras.

A Norma ISO 9613-1 mostra a atenuação sonora proveniente da atmosfera, já a norma ISO 9613-2, abrange as outras formas de atenuação, utilizando sempre fontes sonoras genéricas e excluindo os ruídos extremamente elevados como os de aeronaves, explosões, atividades militares e de mineração.

3.5.2 ISO 10534-2:1998

A Norma ISO 10534-2 apresenta métodos para a medição do coeficiente de absorção sonora a partir de um tubo de impedância utilizando o método de função de transferência. A norma trás os procedimentos a serem adotados para a realização da medição do coeficiente de absorção sonora, utilizando o método de função de transferência a partir de um tubo de impedância.

3.5.3 ISO 1996:2016

A Norma ISO 1996:2016 *Acoustics — Description, measurement and assessment of environmental noise*, é dividida em duas partes, ISO 1996-1, *Part 1: Basic quantities and assessment procedures* e ISO 1996-2, *Part 2: Determination of sound pressure levels*. Elas especificam métodos para a descrição, medição e avaliação do ruído ambiental de todos os tipos de fontes.

3.5.4 ISO 10847:1997

A norma ISO 10847:1997 *Acoustics - In-situ determination of insertion loss of outdoor noise barriers of all types*, especifica métodos para a determinação da perda de inserção de barreiras ao ruído externo de diferentes tipos de fontes de ruído. Pode ser utilizada para comparar valores de perda de inserção de diferentes tipos de barreiras em um mesmo local e sob mesmas condições meteorológicas.

3.5.5 NBR 12179:1992

A norma NBR 12179:1992 Tratamento acústico em recintos fechados, apresenta um roteiro para ser seguido ao desenvolver o tratamento acústico de ambientes fechados. Ela trata tanto os aspectos de isolamento quanto de condicionamento acústico e apresenta duas tabelas, com coeficientes de isolamento e absorção sonora de diversas matérias.

Essa norma será utilizada para comparar os coeficientes obtidos pelos protótipos com os de materiais já utilizados no tratamento acústico, com a finalidade de mostrar a eficiência ou não, de cada placa.

A partir das tabelas: Tabela 1 - Valor do Isolamento acústico de diversos materiais e Tabela 2 - Coeficiente de absorção acústica (Fonte: tabela de Hans W, Bobran), foram feitas análises comparativas entre os coeficientes apresentados e os dados foram utilizados no desenvolvimento de outras análises.

3.5.6 NBR 10151:2019

Essa norma “estabelece os procedimentos técnicos a serem adotados na execução de medições de níveis de pressão sonora em ambientes internos e externos as edificações, bem como procedimentos e limites para avaliação dos resultados em função da finalidade de uso e ocupação do solo.” (ABNT NBR 10151:2019).

Será utilizado o método de medição simplificado, apresentado pela norma, para medir o nível de pressão sonora global e a “Tabela 3 – Limites de níveis de pressão sonora em função dos tipos de áreas habitadas e do período” para avaliar os resultados obtidos.

A partir da medição com e sem a barreira, poderemos avaliar a perda de pressão sonora em áreas que apresentarem níveis em desacordo com a norma.

3.5.7 NBR 15575:2013

Essa norma define o desempenho necessário de edificações residenciais para garantir que o nível sonoro das fontes seja compatível com o nível previsto para aquele local e tipo de edificação.

3.5.8 NBR 16313:2014

Essa norma estabelece os termos e definições de acústica, que serão utilizados na pesquisa.

3.5.9 CONCLUSÃO DAS NORMAS

Após a leitura e análise das normas citadas anteriormente, foi visto que a partir delas não seria possível definir os parâmetros mínimos esperados pela barreira, pois as normas definem mais métodos de medição e não os parâmetros mínimos.

Com isso, foram feitas novas pesquisas de materiais presentes no mercado e de materiais desenvolvidos em outras pesquisas, para comparar o desempenho deles juntamente com o dos materiais apresentados nas tabelas das normas e a partir dessa comparação, definir os parâmetros mínimos esperado pelo painel final da pesquisa.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1 Metodologia de Desenvolvimento das Composições

4.1.1 Classificação das Composições

As composições foram classificadas de acordo com suas composições características em cinco grupos: PU, A, B, C e D.

4.1.2 Grupo PU

O grupo PU é composto por 4 amostras, como pode ser observado na Tabela 01 – Grupo PU (Mamonex RD 70), constituídas por uma única camada de espuma expansiva de poliuretano vegetal, Mamonex RD 70, composta por uma resina poliuretano vegetal bicomponente (ver Imagem 01), da empresa Imperveg.

Tabela 01 – Grupo PU (Mamonex RD 70).			
Amostra	Espessura	Proporção	
		A	B
PU 1	1cm	0.8	1
PU 2	1cm	1	1
PU 3	5cm	0.8	1
PU 4	5cm	1	1



Imagem 01 – Espuma Expansiva de Poliuretano Vegetal

Esse grupo foi criado para analisar o desempenho da espuma expansiva de poliuretano vegetal, quanto a sua absorção acústica, a diferença entre as proporções de 0.8/1 e 1/1 dos seus componentes A e B e a relação da espessura no coeficiente de absorção sonora.

4.1.3 Grupo A

O grupo A é composto por 5 amostras, como pode ser visto na Tabela 02 – Grupo A (PU + Fibras Vegetais), constituídas por duas camadas de 1cm da espuma expansiva de poliuretano vegetal (PU) que envolvem uma camada de 3cm de 5 tipos de fibras vegetais, totalizando uma amostra de 5cm de espessura.

Tabela 02 – Grupo A (PU + Fibras Vegetais).				
Amostra	Fibra	Espessura (cm)	Proporção	
			A	B
A1	Poliuretano + Bambu	5cm	0.8	1
A2	Poliuretano + Coco	5cm	0.8	1
A3	Poliuretano + Bananeira	5cm	0.8	1
A4	Poliuretano + Cana de Açúcar	5cm	0.8	1
A5	Poliuretano + Agávia	5cm	0.8	1

Esse grupo foi criado para testar se a junção das fibras vegetais com a espuma expansiva de poliuretano vegetal (PU) resultaria em um aumento na absorção das fibras.

As amostras que tiveram resultados acima dos padrões mínimos passaram para as próximas etapas nos grupos seguintes. Devido ao desempenho inferior ao mínimo esperado pela pesquisa, da amostra A5, a fibra de Agávia foi descartada dos grupos seguintes.

4.1.4 Grupo B

O grupo B é composto por 4 amostras, como pode ser visto na Tabela 03 – Grupos B e C (Fibras Vegetais), constituídas por uma camada 3cm de 4 tipos de fibras vegetais e foi criado com a intenção de verificar a absorção sonora das fibras separadamente.

Tabela 03 – Grupos B e C (Fibras Vegetais).		
Amostra	Fibra	Espessura
B1	Bambu	3cm
B2	Coco	3cm
B3	Bananeira	3cm
B4	Cana de Açúcar	3cm
C1	Bambu	2cm

4.1.5 Grupo C

Criado para verificar a absorção sonora de uma amostra de fibra de bambu onde foi possível adicionar uma massa de fibra de bambu superior à amostra B1, devido ao volume inferior das fibras do bambu antes de ser prensado. A amostra C1, como pode ser visto na Tabela 03 – Grupos B e C (Fibras Vegetais) é constituída de uma camada de 2cm de fibra de bambu.

4.1.6 Grupo D

Devido aos resultados satisfatórios da absorção das amostras do Grupo B e C, foi criado o Grupo D, onde foi analisado a junção de dois tipos diferentes de fibras, visando uma composição com absorção ainda maior. O grupo D é composto por 4 tipos de composições, como pode ser visto na Tabela 04 – Grupo D (Multifibras).

Tabela 04 – Grupo D (Multifibras).					
Amostra	Fibra 1	Espessura 1 (cm)	Fibra 2	Espessura 2 (cm)	Espessura Final (cm)
D1	Bambu	2	Cana de Açúcar	3	5
D2	Bambu	2	Bananeira	3	5
D3	Cana de Açúcar	3	Bananeira	3	6
D4	Coco	3	Cana de Açúcar	3	6

4.2 Aglomerantes

4.2.1 Cola Branca de Madeira

Foi utilizado cola de madeira convencional, à base de PVA, do fabricante HENKEL (tipo CASCOREZ EXTRA) em embalagens de 1kg (ver Imagem 02). O resultado obtido por esse aglomerante foi satisfatório, logo ele foi empregado em todas as amostras.



Imagem 02 – Cola CASCOREZ EXTRA

Vale ressaltar que nem todas as fibras necessitam do uso de aglomerantes, como por exemplo a fibra de bananeira, que mostrou ter uma aderência apenas com a prensagem da fibra quente e húmida, porém optou-se por usar o aglutinante em todas as amostras como forma de padronizar as amostras.

A vantagem do uso desse tipo de cola é a facilidade de se encontrar no mercado, sua não toxicidade, não inflamabilidade, ser naturalmente solúvel em água, facilitando assim sua limpeza e o baixo preço. Por outro lado, suas desvantagens são, principalmente o reduzido tempo de vida e a baixa resistência a intemperes, por ser solúvel em água.

4.3 Desenvolvimento dos Materiais

Tendo como base pesquisas acadêmicas de desenvolvimento de outros materiais utilizando fibras vegetais, desenvolveu-se um processo de produção para ser seguido na confecção das amostras. O processo de produção é representado pela Imagem 03.



Imagem 03 – Processo de Produção.

4.3.1 Coleta da matéria prima vegetal

A matéria prima para a produção das composições, em sua maioria, se trata de resíduos de outros setores, logo, sua coleta se deu em locais de descarte de cada fibra.

Os Cocos, como pode ser visto na imagem 04, foram coletados em containers de descarte de lojas que vendem água de Coco.



Imagem 04 – Descarte de Coco. Fonte: <http://www.cocoverderj.com.br/lixo-cocoverde.htm> acessado em 26/10/2020.

O bambu foi cedido pelo pesquisador Fábio Takwara, responsável pelo Laboratório de Pesquisas em Construção e Fazeres Sustentáveis, como pode ser visto na Imagem 05, após ser

feito o manejo de um bambuzal (ver Imagem 06), cuja espécie é exótica e estava causando danos a flora local.



Imagem 05 – Bambuzal.



Imagem 06 – Manejo do Bambuzal.

As folhas de Agávia foram coletadas após a poda da planta na fazenda do pesquisador. Como pode ser visto nas Imagens 07 e 08.



Imagem 07 – Agávia.



Imagem 08 – Folhas de Agávia.

Os troncos de Bananeira (ver Imagem 09) foram coletados na fazenda do pesquisador, onde após a retirada do fruto, os troncos são cortados para abrir espaço para novas mudas crescerem.



Imagem 09 – Troncos de Bananeira.

Por fim, a Cana de Açúcar, como pode ser visto na Imagem 10, foi coletada após seu consumo na casa do pesquisador (ver Imagem 11).



Imagem 10 – Cana de Açúcar.



Imagem 11 – Cana de Açúcar sendo consumida.

4.3.2 Método de Extração das Fibras

Coco

Para a extração das fibras do Coco, inicialmente foi utilizado uma metodologia totalmente manual, cortando o Coco em 4 partes, retirando a parte dura onde fica a água do Coco, batendo com um martelo sobre cada parte, para separar as fibras e deixando as fibras secarem ao sol. Porém foi visto que essa metodologia não era muito eficiente pois se gastava muito tempo para desfibrar uma pequena quantidade de Cocos.

Para dar velocidade e eficiência ao processo de extração foi acrescentado um moedor elétrico de cana de açúcar, assim o Coco só precisava ser cortado em 4 partes e ser retirada a parte dura interna do Coco, após cortado, as partes foram passadas pelo moedor elétrico (ver Imagem 12), retirando a maior parte da água presente nas fibras e separando elas. Após passar pelo moedor, as fibras foram separadas manualmente, como pode ser visto na Imagem 13, e foram colocadas para secar ao sol durante 3 dias e por fim armazenadas para a produção das amostras posteriormente. (ver Imagem 14)



Imagem 12 – Pedacos do Coco
passando pelo moedor Elétrico.



Imagem 13 – Separação manual
das fibras de coco.



Imagem 14 – Armazenamento
das Fibras de Coco.

Agávia

Para a extração das fibras das folhas da Agávia, as folhas foram cortadas em tiras com aproximadamente 5cm de largura como na Imagem 15 e em seguida foram passadas pelo moedor elétrico para retirar a água presente nas fibras e para soltar eles. Após serem passadas pelo moedor as fibras foram colocadas para secar em um varal ao sol por 3 dias (ver Imagem 16). Durante o processo de passar as tiras das folhas no moedor, foi observado que o líquido que sai da folha gerou irritação na pele do pesquisador, tendo assim a necessidade de utilizar luvas durante essa etapa, para evitar esse problema.



Imagem 15 – Folha de Agávia cortada em tiras.



Imagem 16 – Fibras de Agávia secando ao sol.

Bananeira

Para a extração das fibras da bananeira, os troncos coletados foram limpos, para remover impurezas que se acumularam durante o processo de corte e transporte, em seguida foram cortados novamente em tamanhos menores, de aproximadamente 40cm (ver Imagem 17).



Imagem 17 – Troncos de bananeira cortados com aproximadamente 40cm.

Os pedaços cortados remanescentes tiveram então suas “calhas” separadas como pode ser observado na Imagem 18, em seguida as calhas foram cortadas novamente em pequenos flocos, com dimensão equivalente ao tamanho do liquidificador utilizado (ver Imagem 19).

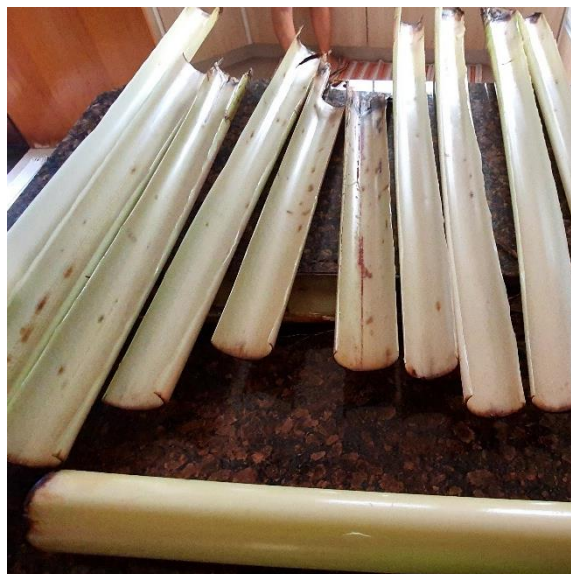


Imagem 18 – Calhas do tronco da bananeira.



Imagem 19 – Flocos de Bananeira.

Os flocos foram então triturados (ver Imagem 20), adicionando inicialmente um pouco de água, para facilitar a trituração no liquidificador, em seguida o material foi escorrido em uma peneira (ver Imagem 21), para que a água pudesse ser reutilizada em todo o processo.



Imagem 20 – Flocos de bananeira sendo triturados.



Imagem 21 – Retirada parcial da água das fibras de bananeira.

As fibras trituradas passaram então por um processo de cozimento em uma panela de pressão, durante 1h, para retirar as substâncias presentes na bananeira que poderiam acelerar o processo de decomposição da amostra (ver Imagem 22).



Imagem 22 – Cozimento das fibras de bananeira.

Após o cozimento das fibras, elas foram prensadas manualmente com uso de um amassador de batata (ver Imagem 23), para retirar o máximo de água das fibras, formando assim pequenos cilindros, que ficaram expostos por mais 3 dias ao sol como mostrado na Imagem 24, para remover o máximo de umidade e poder ser armazenado até a confecção do painel.



Imagem 23 – Fibras de bananeira sendo prensadas manualmente.



Imagem 24 – Fibras de bananeira prensadas secando ao sol.

Cana de Açúcar

Para a extração das fibras da Cana de Açúcar, os bagaços foram triturados com um liquidificador, como mostra a Imagem 25, acrescentando água para facilitar a trituração, em seguida as fibras trituradas foram escorridas em uma peneira, para retirar o máximo possível da água utilizada na trituração (ver Imagem 26). Por fim as fibras foram espalhadas em bandejas e colocadas para secar ao sol durante 3 dias.



Imagem 25 – Bagaço de Cana de Açúcar sendo triturado.



Imagem 26 – Bagaço de Cana de Açúcar triturado.

4.3.3 Confecção das Amostras

Para a confecção das amostras, foi calculado a massa de fibras necessária para se obter uma densidade equivalente a 200kg/m^3 na camada das fibras, chegando ao valor de 135g de fibra. Para fixar as fibras utilizou-se cola branca como aglomerante na proporção de 1g fibra / 1g cola, diluindo a cola em água na proporção de 1g cola / 0.5ml água.

4.3.4 Prensagem das Fibras

O primeiro passo foi pesar as 135g de cada fibra, como pode ser visto na Imagem 27;



Imagem 27 – Pesagem das fibras.

Em seguida foi pesado 135g de cola branca (ver Imagem 28) e adicionado 67,5ml de água, para diluir a cola e possibilitar a mistura da cola em todas as fibras;

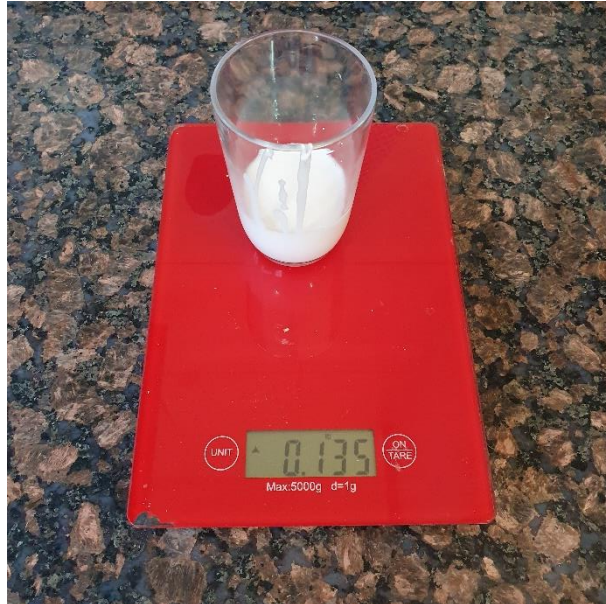


Imagem 28 – Pesagem da cola.

Tendo pesado as fibras e a cola diluída, misturou-se as fibras com a cola em uma panela, até que todas as fibras tivessem cola, em seguida foi colocado a mistura na forma de madeira de 15cm x 15cm x 10cm (ver Imagem 29). Por fim, as fibras foram prensadas em uma prensa caseira, onde foi adicionado peso em cima da forma até que as fibras atingissem a espessura de 3cm, durante 6h, como pode ser visto na Imagem 30.

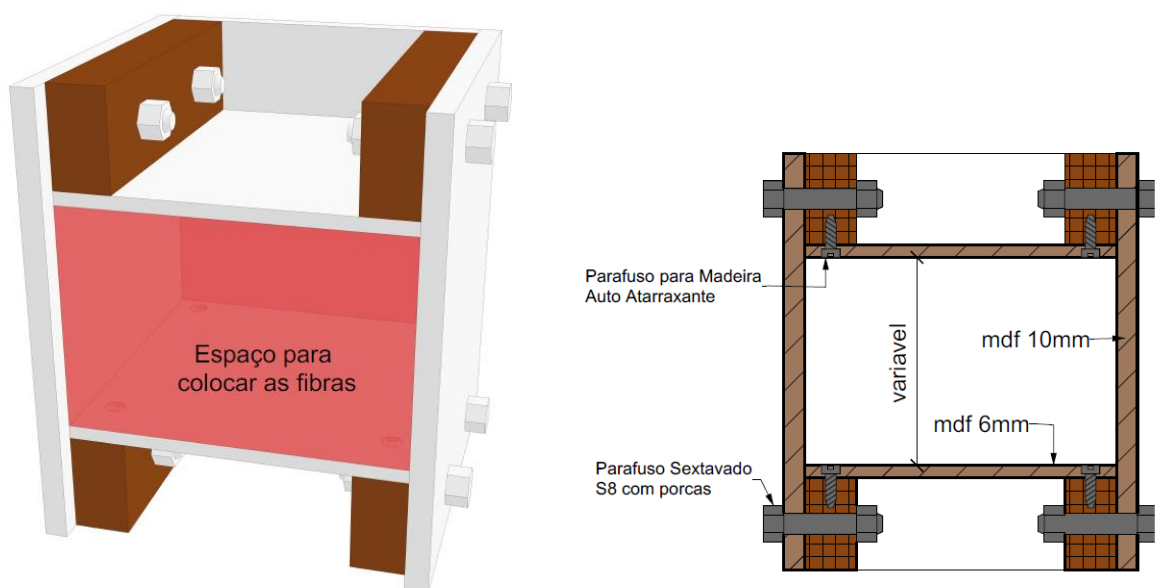


Imagem 29 – Prensa de madeira de 15cm x 15cm x 10cm.



Imagem 30 – Fibras sendo prensadas.

Com exceção das fibras de bambu, que também foi testado com densidade de 300kg/m^3 , nesse caso a mesma mistura foi prensada com 2cm. A fibra de bambu foi a única que foi testada com maior densidade pois o volume que as 135g de fibra ocupavam era relativamente inferior que as demais, e devido a simplicidade da prensa utilizada, foi a única que a prensa conseguiu prensar até atingir uma densidade maior. Após serem prensadas, as placas de cada fibra foram deixadas para secar ao sol durante 1 dia. Ao final dessa etapa, as placas para retirada das amostras do Grupo B e C estavam prontas, como mostra a Imagem 31.



Imagem 31 – Placas de Fibra Vegetal.

Iniciou-se então o processo de aplicação da espuma expansiva de poliuretano vegetal em ambas as faces das placas, para confecção das amostras do Grupo A (ver Imagem 32). Para a aplicação do poliuretano, foi misturado 16ml do componente A com 20ml do componente B, referente a proporção 0.8/1, em um copo plástico, para facilitar a limpeza e reutilização do recipiente ao longo da aplicação em todas as placas, pois o poliuretano tem uma baixa aderência ao plástico.



Imagem 32 – Preparação para aplicação do poliuretano nas placas.

Utilizando uma hélice feita sob medida para caber dentro do copo, acoplada a uma parafusadeira, como mostra a Imagem 33, foi misturado os dois componentes e despejado dentro da forma e colocado a tampa para limitar a expansão da espuma a altura desejada de 1cm. Após 30 minutos, foi virado a forma de cabeça para baixo e repetido o processo descrito anteriormente para a outra face da placa de fibras.



Imagem 33 – Misturador.

Após 30 minutos, as placas foram desenformadas (ver Imagem 34) e em seguida foram cortadas no diâmetro de 6cm, equivalente ao diâmetro do porta amostra do tubo de impedância, utilizando um tubo de aço com um borda afiada (ver imagem 35), para a produção das amostras do Grupo A.



Imagem 34 – Placas de Poliuretano e Fibra.



Imagem 35 – Corte das amostras do Grupo A.

Por fim, foram feitas as amostras do grupo PU, misturando primeiro 20ml do componente A com 25ml do componente B, misturando os dois componentes, despejando dentro da forma e deixando os componentes reagirem por 30 minutos. Dado o tempo da cura parcial na forma, a placa de poliuretano é desenformada e deixada para curar final por 24h (ver Imagem 36). Após feito a placa do poliuretano na proporção 0.8/1, é repetido o processo utilizando a proporção 1/1.

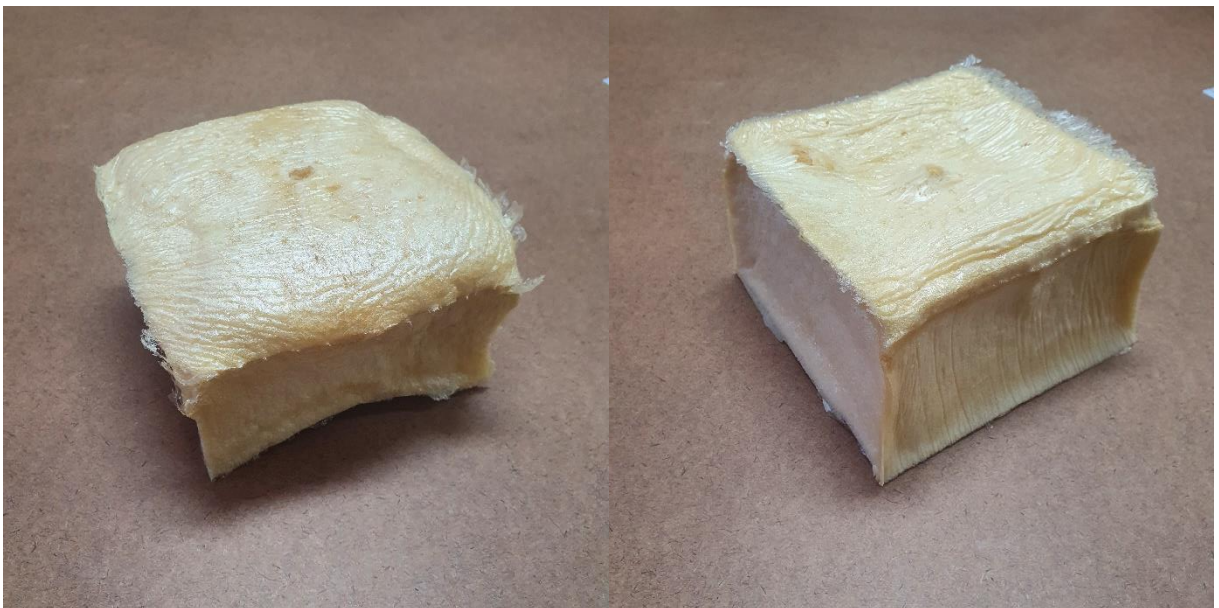


Imagem 36 – Placas de Poliuretano.

Após a cura total das duas placas de poliuretano, foi feito o recorte no diâmetro de 6cm e por fim o corte dos cilindros com 1 e 5 cm de altura. Gerando assim as amostras do Grupo PU.

4.4 Ensaios Experimentais e Caracterização Acústica

4.4.1 Densidade Aparente, Densidade Superficial e Gramatura

As amostras passaram por um processo de pesagem (ver Imagem 37), determinando assim a massa de cada uma delas. As dimensões das amostras já são conhecidas, logo não é necessário fazer medições, e com elas é calculado o volume de cada amostra. Com esses dados, é possível calcular a densidade aparente de cada amostra, dividindo a massa de cada uma dela pelo seu volume respectivo. Para calcular a Densidade Superficial, é calculado a área superficial de cada amostras e dividindo a massa da amostra pelo valor encontrado. Por fim, o valor da densidade superficial, apresentado em Kg/m^2 é convertida para g/m^2 para chegar no valor de sua gramatura.



Imagem 37 – Pesagem das amostras.

4.4.2 Caracterização Acústica

A caracterização acústica de um material é feita quando se deseja de verificar a viabilidade da utilização de um material, analisando a eficiência do material quanto a absorção ou isolamento gerado por ele.

As duas propriedades que melhor caracterizam um material quanto ao seu desempenho acústico são a Perda de Transmissão e o Coeficiente de Absorção Sonora. A presente pesquisa irá caracterizar apenas o Coeficiente de Absorção Sonora, pois os materiais desenvolvidos são feitos de fibras vegetais, tendo um baixo peso e uma baixa densidade, além de possuírem espaços vazios em seu interior, o que permite que o ar e consequentemente o som, transpasse o material. Tais características os configuram melhor como materiais absorvedores, característicos em tratamento para atenuação sonora.

4.4.3 Tubo de Impedância

As amostras foram submetidas ao ensaio do tubo de impedância, no Laboratório de Acústica e Vibrações (LabNVH), da Universidade de Brasília (UNB). Para a realização dos testes, foi utilizado o tubo de impedância comercial da empresa BSWA modelo SW 466 (ver Imagem 38). Para calcular o coeficiente de absorção sonora (α_w), o *software* VA-Lab4, utilizando o método de função de transferência e a técnica de dois microfones, segundo a ISO 10534-2.

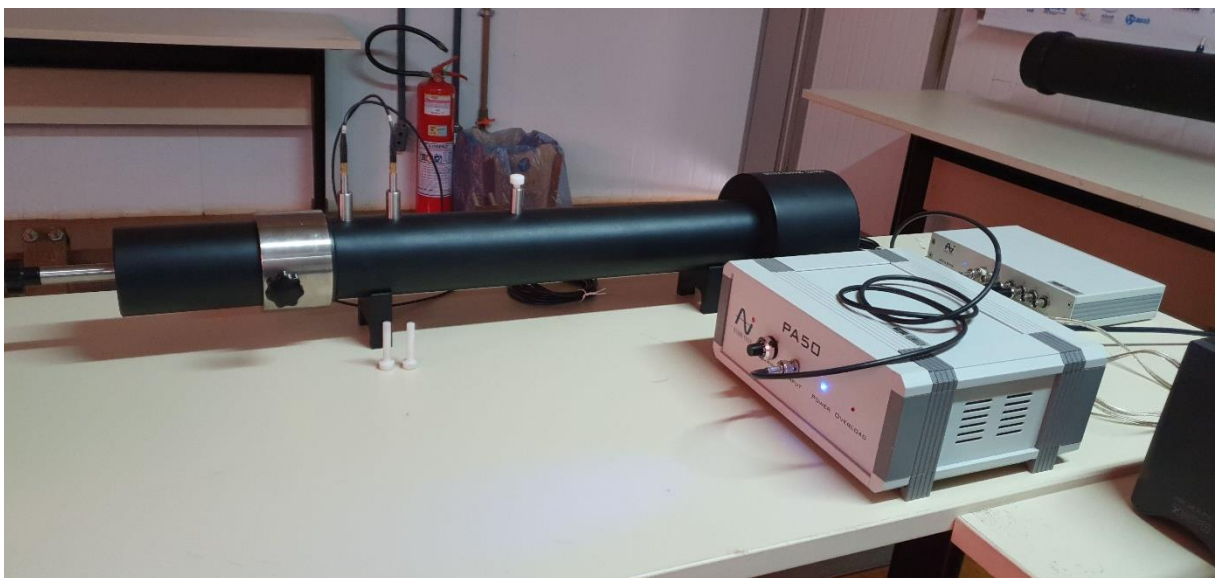


Imagem 38 – Tubo de Impedância BSWA 466.

Para realizar os cálculos no *software*, foram utilizados os seguintes: Pressão Atmosférica = 101325, Temperatura = 20°, Humidade Relativa = 50%, Velocidade do som = 343,237 m/s, Densidade do Ar = 1,202 kg/m³ e Impedância Característica do Ar = 412,568 (ver Imagem 39).

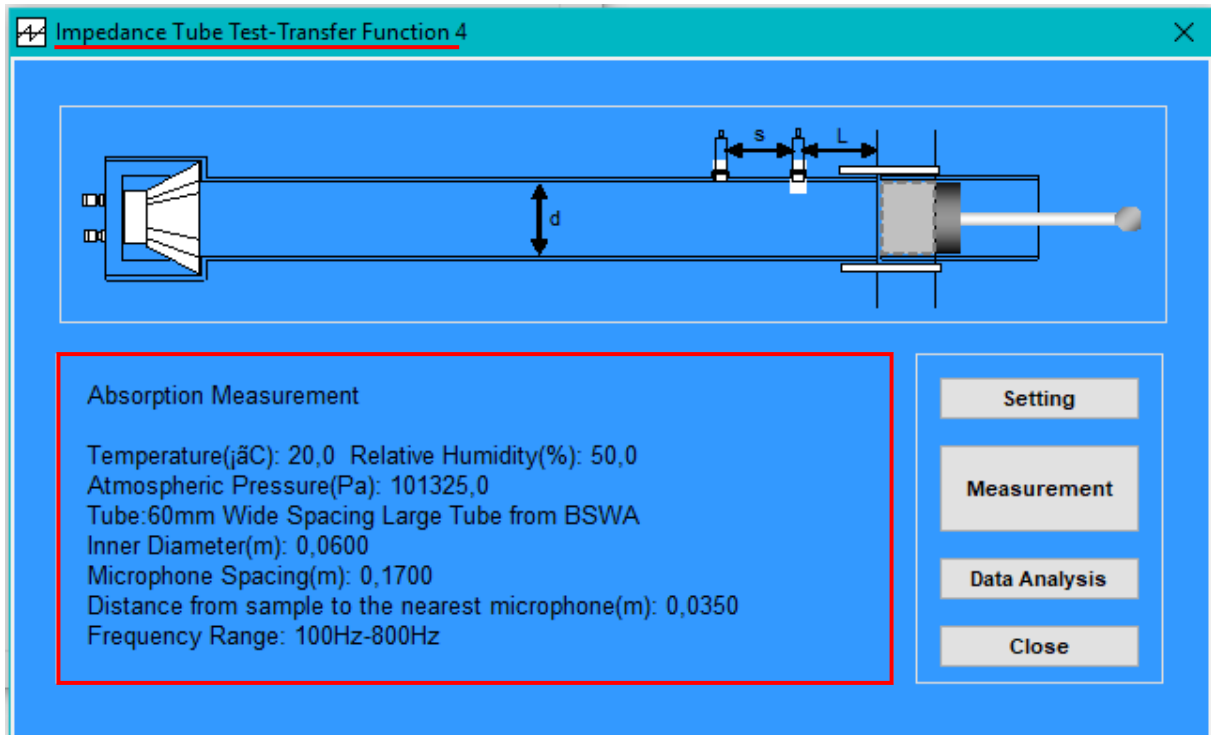
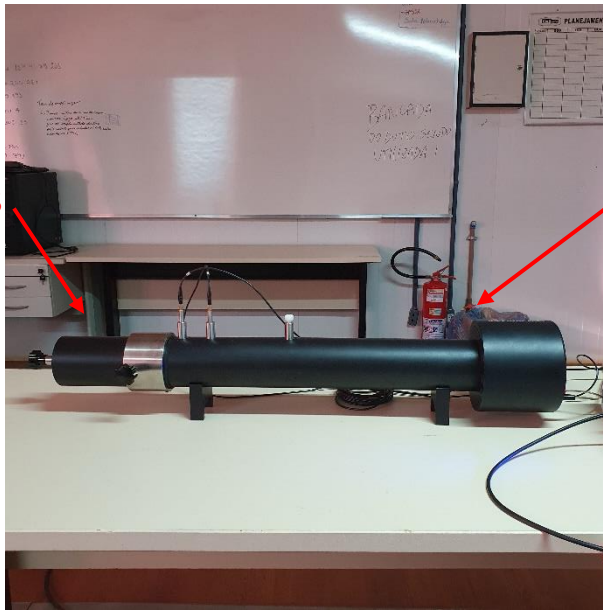


Imagem 39 – Parâmetros utilizados pelo *software*.

Para se obter o coeficiente de absorção sonora a partir do tubo de impedância, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Tubo de Impedância BSWA SW 466 SW060-L. (ver Imagem 40)
- 2 Microfones BSWA MPA416. (ver Imagem 41)
- Placa de Aquisição BSWA MC3242. (ver Imagem 42)
- Amplificador BSWA PA50. (ver Imagem 43)
- Porta Amostras BSWA SW060-S. (ver Imagem 40)
- Calibrador BSWA CA114. (ver Imagem 44)
- Computador com o *software* VA-Lab4.

Porta Amostras BSWA SW060-S



Tubo de Impedância
BSWA SW 466 SW060-L

Imagem 40 - Tubo de Impedância BSWA SW 466.



Imagem 41 - Microfones BSWA
MPA416.



Imagem 42 - Placa de Aquisição
BSWA MC3242.



Imagem 43 - Amplificador BSWA PA50.



Imagem 44 - Calibrador BSWA CA114.

Os testes foram realizados utilizando o tubo de impedância SW060-L, cujo diâmetro interno é de 6cm, duas configurações diferentes de microfone. Na primeira configuração, os microfones 1 e 2, estavam na posição 0 e 2 (ver Imagem 45), respectivamente do tubo de impedância, e foi selecionado o modelo *60mm Wide Spacing Large Tube from BSWA* no software.

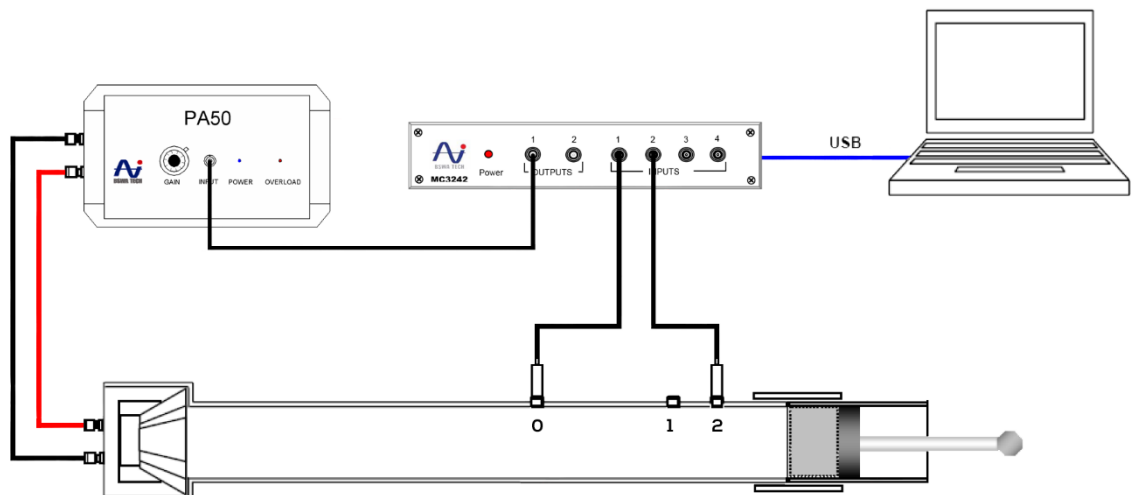


Imagem 45 – Primeira configuração do tubo.

Nessa configuração, foi testado a absorção do material na faixa de frequência de 100 a 800 Hz, cada material foi testado 3 vezes, em cada teste do material, foram feitas análises com os microfones em duas posições, invertendo os microfones entre elas. A primeira posição dos microfones foi: Microfone 1 e 2 na posição 0 e 2, respectivamente e no *software* a opção *Source CH1 CH2 Sample*. A segunda posição dos microfones foi: Microfone 1 e 2 na posição 2 e 0, respectivamente e no *software* a opção *Source CH2 CH1 Sample* (ver Imagem 46).

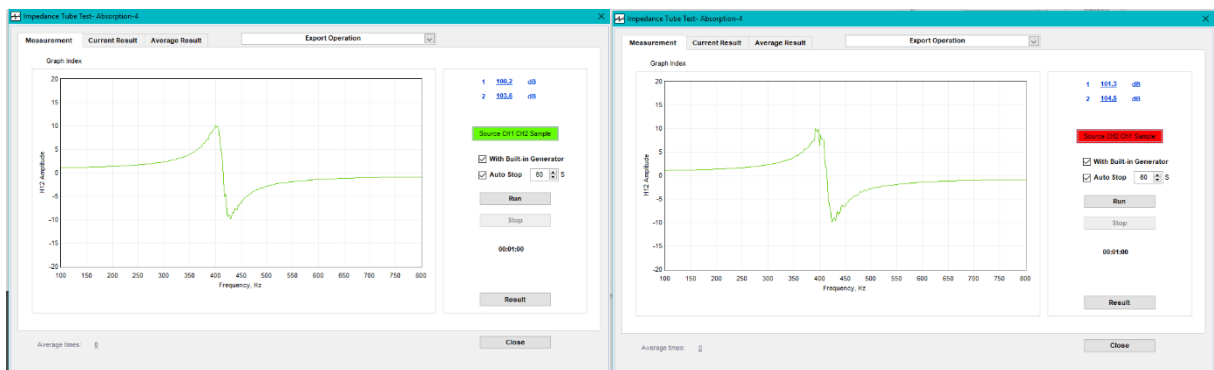


Imagem 46 – Posições 1- *Source CH1 CH2 Sample* e 2- *Source CH2 CH1 Sample*.

Após serem feitos os 3 testes do material, o *software* gera o resultado final como pode ser visto na Imagem 47, que pode ser exportado em diversos formatos, porém para a pesquisa foi escolhido a opção de exportação dos resultados em 1/3 de oitava.

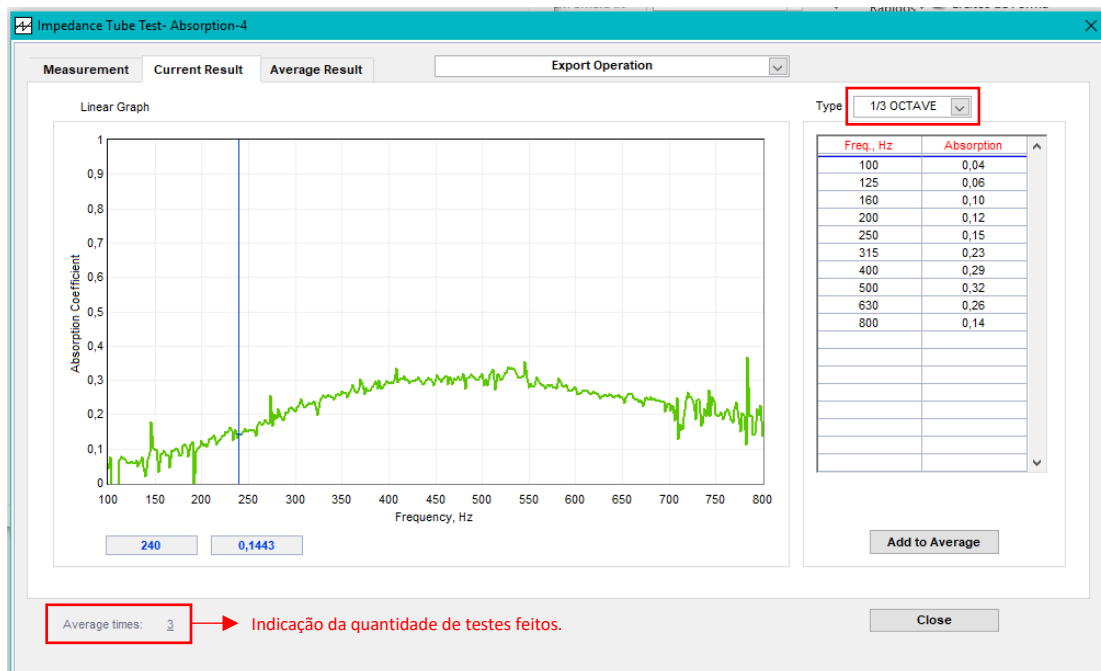


Imagem 47 – Combinação dos 3 testes.

Na segunda configuração, os microfones 1 e 2, estavam na posição 1 e 2 (ver Imagem 48), respectivamente do tubo de impedância, e foi selecionado o modelo *60mm Wide Spacing Large Tube from BSWA* no *software*.

Nessa configuração, foi testado a absorção do material na faixa de frequência de 800 a 2500 Hz, cada material foi testado 3 vezes, em cada teste do material, foram feitas análises com os microfones em duas posições, invertendo os microfones entre elas. A primeira posição dos microfones foi: Microfone 1 e 2 na posição 1 e 2, respectivamente e no *software* a opção *Source CH1 CH2 Sample*. A segunda posição dos microfones foi: Microfone 1 e 2 na posição 2 e 1, respectivamente e no *software* a opção *Source CH2 CH1 Sample* (ver Imagem 46).

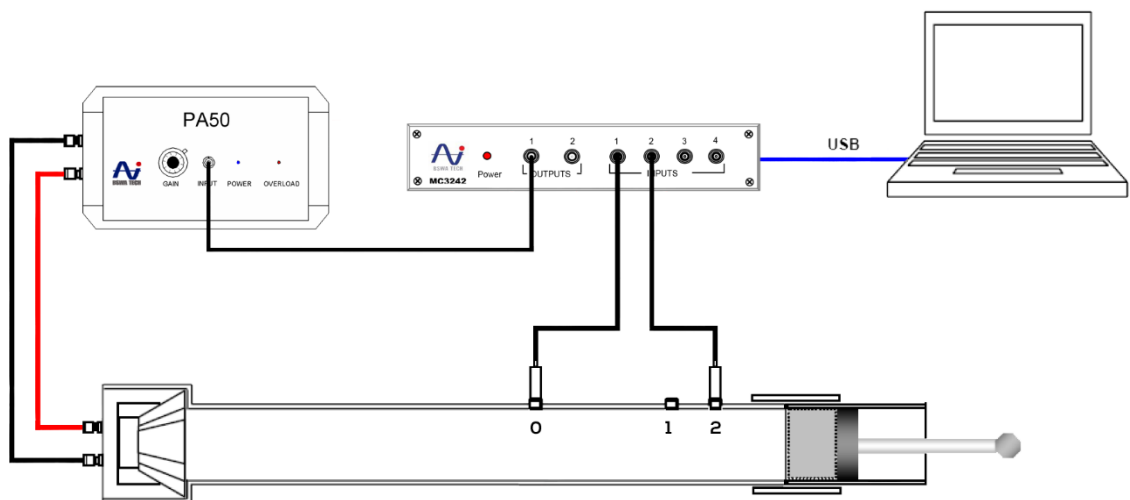


Imagem 48 – Segunda configuração do tubo.

Após serem feitos os 3 testes do material, o *software* gera o resultado final como pode ser visto na Imagem 47, igualmente feito na configuração anterior.

Por fim, o *software* junta os resultados dos dois testes e cria uma tabela com o resultado final da absorção do material, na faixa de frequência de 100Amp a 2500 Hz, como pode ser visto na Imagem 49.



Imagem 49 – Combinação de dados.

Os dados obtidos no ensaio do tubo de impedância foram importados no *software* Excell para análise dos dados e criação das tabelas e gráficos que serão apresentados pela pesquisa.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Densidade Aparente, Densidade Superficial e Gramatura

Os valores aproximados obtidos a partir da pesagem e medição das amostras são apresentados a seguir pela Tabela 05.

Tabela 05 - Resultado do Ensaio de Densidade Aparente, Densidade Superficial e Gramatura.					
Amostra	Material	Espessura (cm)	Densidade (kg/m ³)	Densidade Superficial (Kg/m ²)	Gramatura (g/m ²)
PU 1	Poliuretano	1cm	141,47	1,41	1414,71
PU 2	Poliuretano	1cm	70,74	0,71	707,36
PU 3	Poliuretano	5cm	84,88	4,24	4244,13
PU 4	Poliuretano	5cm	70,74	3,54	3536,78
A1	Poliuretano + Bambu	5cm	332,46	16,62	16622,85
A2	Poliuretano + Coco	5cm	226,35	11,32	11317,68
A3	Poliuretano + Bananeira	5cm	165,05	8,25	8252,48
A4	Poliuretano + Cana de Açúcar	5cm	136,76	6,84	6837,77
A5	Poliuretano + Agávia	5cm	198,06	9,90	9902,97
B1	Bambu	3cm	392,98	11,79	11789,26
B2	Coco	3cm	294,73	8,84	8841,94
B3	Bananeira	3cm	157,19	4,72	4715,70
B4	Cana de Açúcar	3cm	121,82	3,65	3654,67
C1	Bambu	2cm	335,99	6,72	6719,88
D1	Bambu + Cana de Açúcar	5cm	200,42	10,02	10020,87
D2	Bambu + Bananeira	5cm	228,71	11,44	11435,58
D3	Cana de Açúcar + Bananeira	6cm	135,58	8,13	8134,59
D4	Coco + Cana de Açúcar	6cm	206,31	12,38	12378,72

Observa-se que nas amostras do Grupo PU, a proporção indicada pelo fabricante de 0.8/1 atingiu uma densidade superior a indicada pelo fabricante, de 70Kg/m³ já a proporção de 1/1, atingiu o valor indicado para a proporção anterior.

Do Grupo A, apenas as amostras A1 e A2, obtiveram uma densidade variada entre 136 e 332 kg/m³, sendo classificadas como de média densidade, característica importante para os painéis de barreiras acústicas móveis, onde o peso do painel pode ser um fator limitante.

Os Grupos B e C ficaram com as amostras de maior densidade, variando de 121 a 392 kg/m³, característica que refletiu diretamente no desempenho das amostras no ensaio do tubo de impedância, que será apresentado posteriormente. Por fim, o Grupo D, apresentou uma maior uniformidade na densidade das amostras, ficando perto dos 200 kg/m³, pensados na etapa de pesquisa e desenvolvimento teórico dos materiais.

Comparando com materiais existentes, a densidade dos materiais ficou mais próxima de materiais de maior rigidez, como o Paineel Fiberwood da empresa OWA, com densidade de 550 kg/m³ e menos de materiais com textura de lã, como a TECH FELT IR50 da empresa Trisoft, que tem densidade de 35 kg/m³.

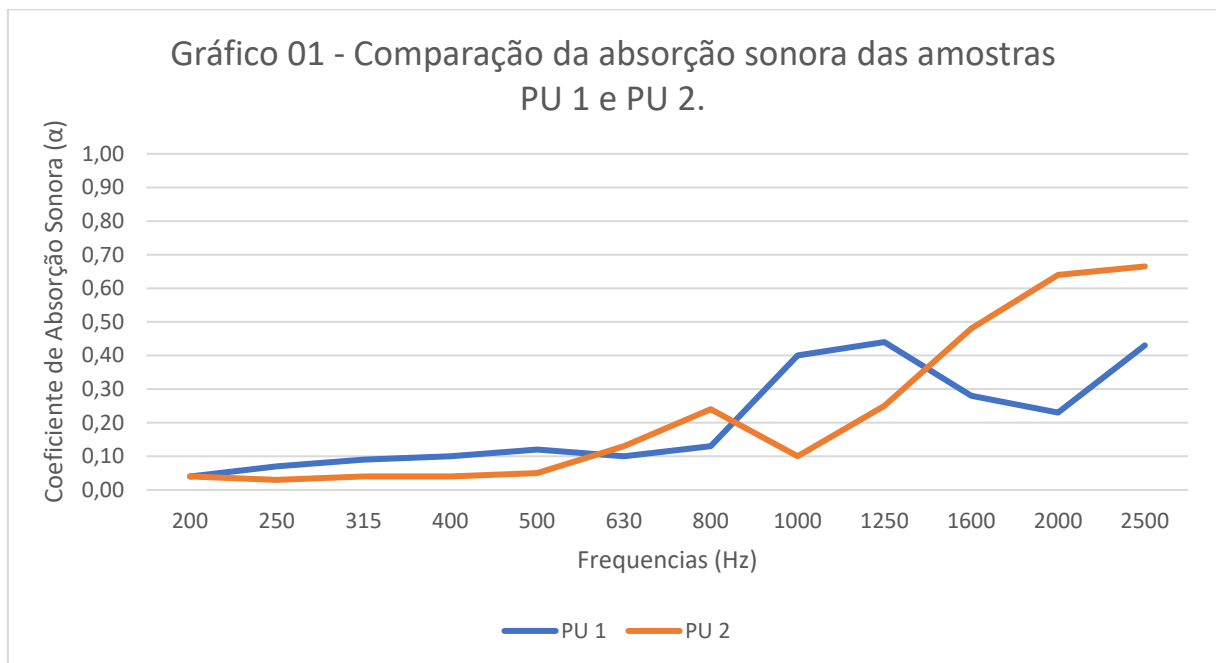
Acredita-se que a característica de rigidez adquirida pelos materiais se deve pelo tipo de aglomerante utilizado na confecção dos painéis.

5.2 Tubo de Impedância

Primeiro foi ensaiado o grupo “PU”, com 4 amostras, de PU Vegetal, variando a espessura e a proporção dos componentes A e B, como mostra a Tabela 01 .

Tabela 01 – Grupo PU (Mamonex RD 70).			
Amostra	Espessura	Proporção	
		A	B
PU 1	1cm	0.8	1
PU 2	1cm	1	1
PU 3	5cm	0.8	1
PU 4	5cm	1	1

No primeiro teste foram analisadas as amostras PU 1 e 2, para verificar se o aumento na densidade da espuma geraria um aumento na sua absorção (ver Gráfico 01). Pode se observar que até 800Hz não teve uma grande diferença entre as amostras, já em 1000Hz a PU 1 teve um desempenho melhor que a PU 2 e em 2000Hz, a PU 2 teve desempenho superior. Logo, não podemos afirmar que o aumento na densidade da espuma, usando proporções diferentes dos componentes, resulta em um aumento na sua absorção, apenas uma mudança na faixa de absorção.



O segundo teste buscou verificar a influência da espessura na absorção da espuma. As amostras PU 3 e PU4 foram analisadas duas vezes, para confirmação dos dados (ver Gráfico 02 e Gráfico 03). Foi possível assim verificar uma queda na absorção na faixa dos 1000Hz na amostra PU 3, já na amostra PU 4 houve um aumento nas frequências inferiores a 1000Hz e uma queda nas frequências superiores.

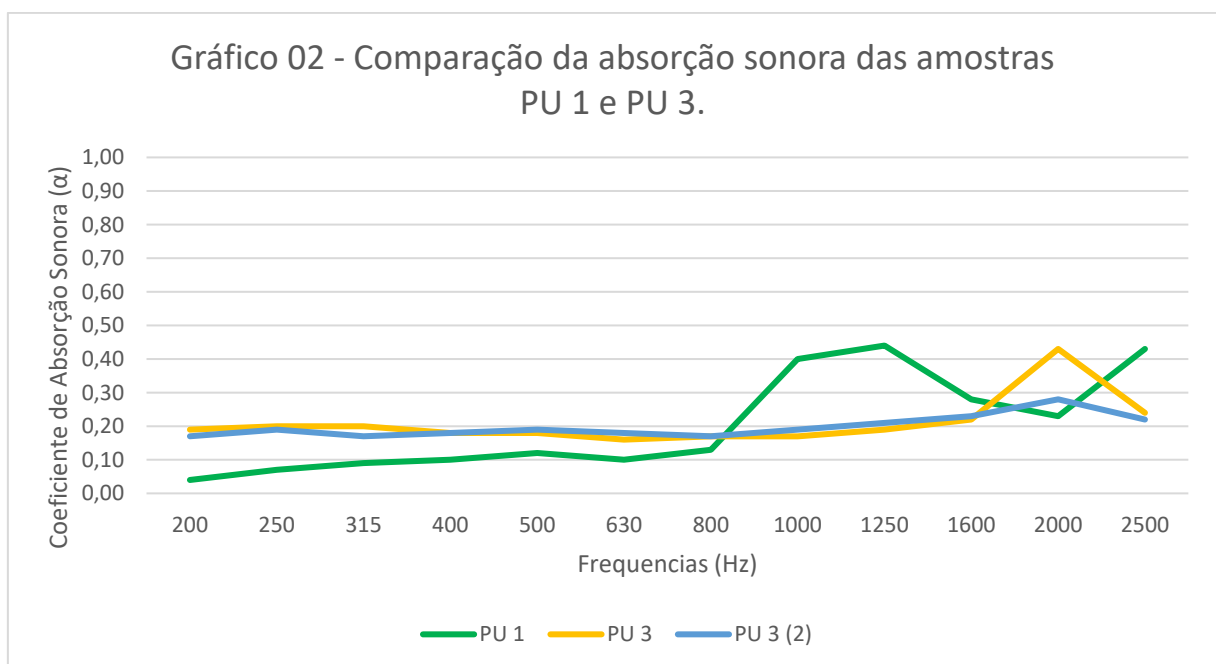
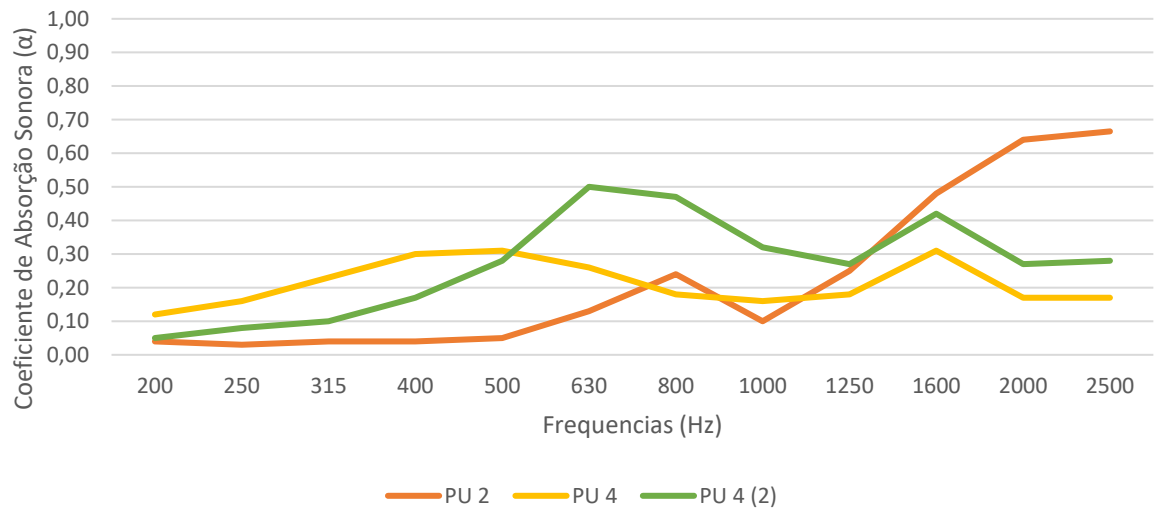
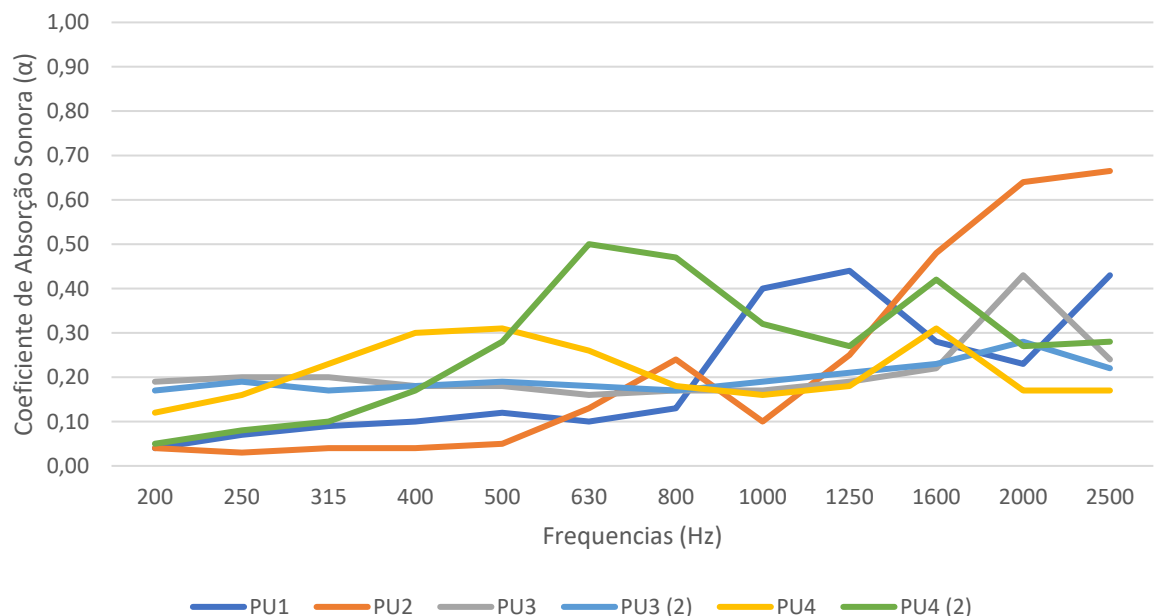


Gráfico 03 - Comparação da absorção sonora das amostras
PU 2 e PU 4.



Após a análise desses dados, podemos observar que a espessura da espuma interfere mais que a diferença na proporção dos componentes na absorção do material, porém mesmo aumentando a espessura da amostra em 5 vezes, houve apenas um pequeno aumento nas baixas frequências. Por fim, pode ser feita uma comparação entre todas as amostras do Grupo PU, mostrada abaixo no Gráfico 04.

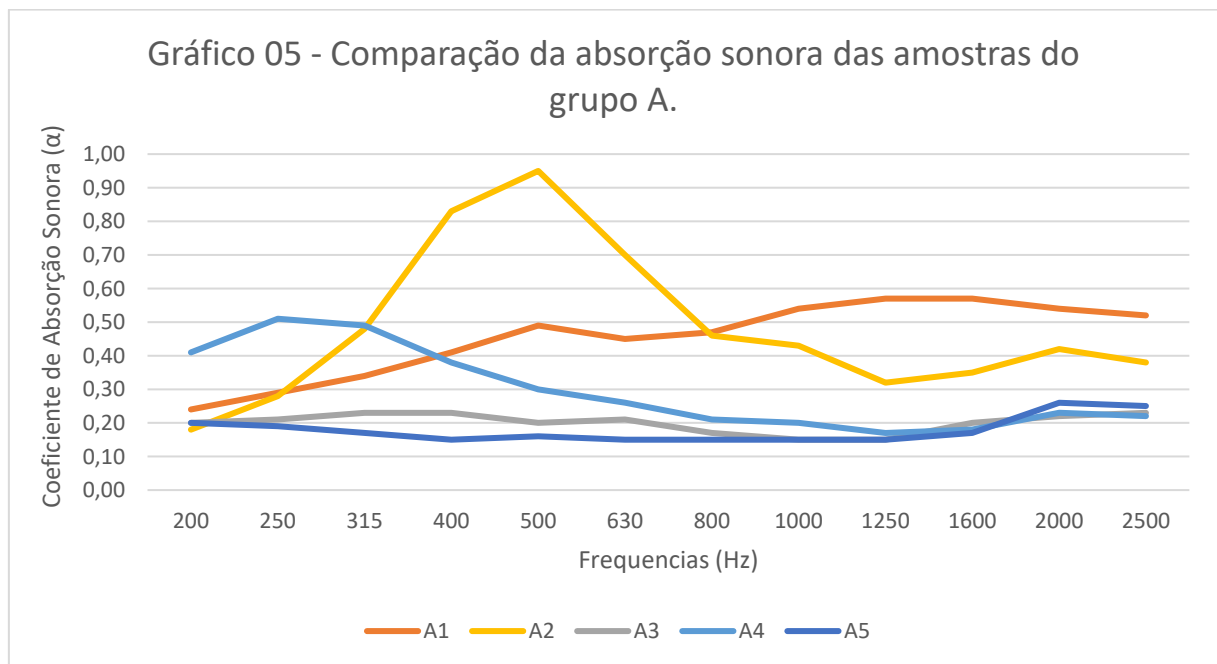
Gráfico 04 - Comparação da absorção sonora das amostras
PU 1, PU 2, PU 3 e PU 4.



Em seguida foram analisadas as 5 amostras do Grupo A, PU vegetal e fibras vegetais, variando o tipo de fibra entre Coco, Bambu, Cana de Açúcar, Agávia e Bananeira, como mostra a Tabela 02 – Grupo A (PU + Fibras Vegetais).

Tabela 02 – Grupo A (PU + Fibras Vegetais).				
Amostra	Fibra	Espessura (cm)	Proporção	
			A	B
A1	Poliuretano + Bambu	5cm	0.8	1
A2	Poliuretano + Coco	5cm	0.8	1
A3	Poliuretano + Bananeira	5cm	0.8	1
A4	Poliuretano + Cana de Açúcar	5cm	0.8	1
A5	Poliuretano + Agávia	5cm	0.8	1

Os testes mostram que o Grupo A se mostrou mais eficiente para as ondas de baixa frequência (ver Gráfico 05). As amostras A3 e A5 apresentaram um comportamento muito parecido mas não conseguiu alcançar um α_w superior a 0,3, se mostrando pouco eficiente. A amostra A4 por sua vez já apresentou uma melhor absorção na faixa de 200 a 500 Hz, chegando a 0,5 em 250 Hz, porém para frequências acima dessa faixa ela apresentou uma baixa absorção, equivalente as amostras A3 e A5. Os melhores resultados foram apresentados pelas amostras A1, que manteve uma absorção satisfatória entre 500 e 2500 Hz, com α entre 0,4 e 0,6 e relevante entre 250 e 500 Hz, com α maior que 0,3.

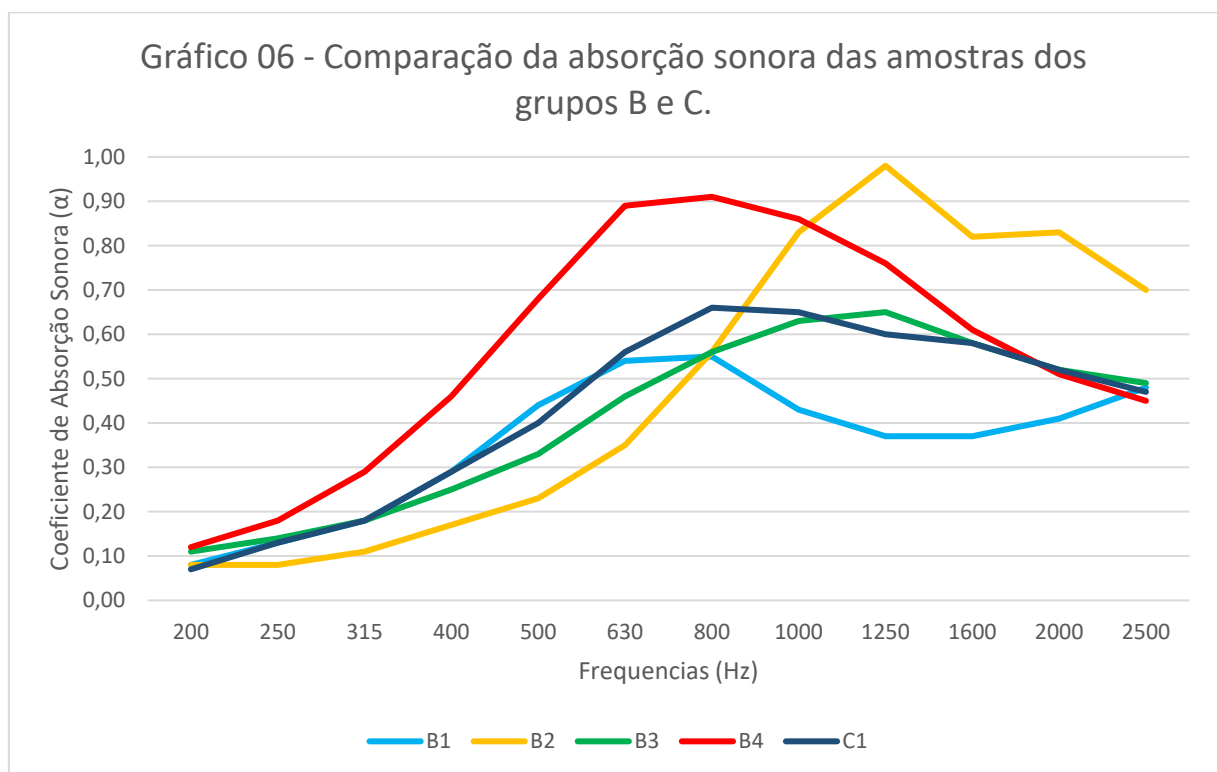


Devido aos resultados relativamente baixos em algumas amostras, foram criados os Grupos B e C, apenas com as fibras vegetais, para verificar a influência na camada de PU na absorção da amostra.

No terceiro ensaio foram analisadas 5 amostras, uma de cada tipo de fibra, com exceção da fibra de Agávia, que no teste anterior apresentou os resultados mais baixos e uma repetindo a fibra de bambu, alterando a espessura e densidade, como mostra a Tabela 03.

Tabela 03 – Grupos B e C (Fibras Vegetais).		
Amostra	Fibra	Espessura
B1	Bambu	3cm
B2	Coco	3cm
B3	Bananeira	3cm
B4	Cana de Açúcar	3cm
C1	Bambu	2cm

Ao retirar a camada de PU, as amostras apresentaram resultados muito mais satisfatórios. As amostras que apresentaram os melhores resultados foram as B2 e B4, como apresenta o Gráfico 06.

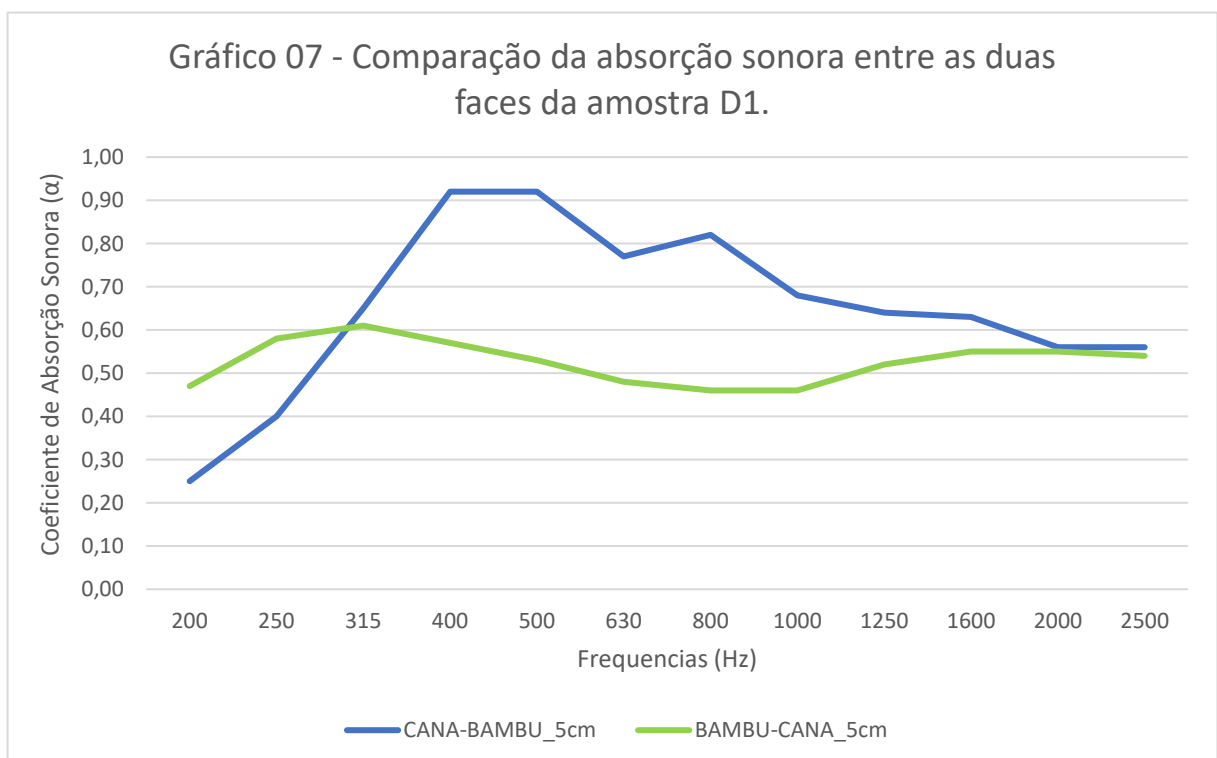


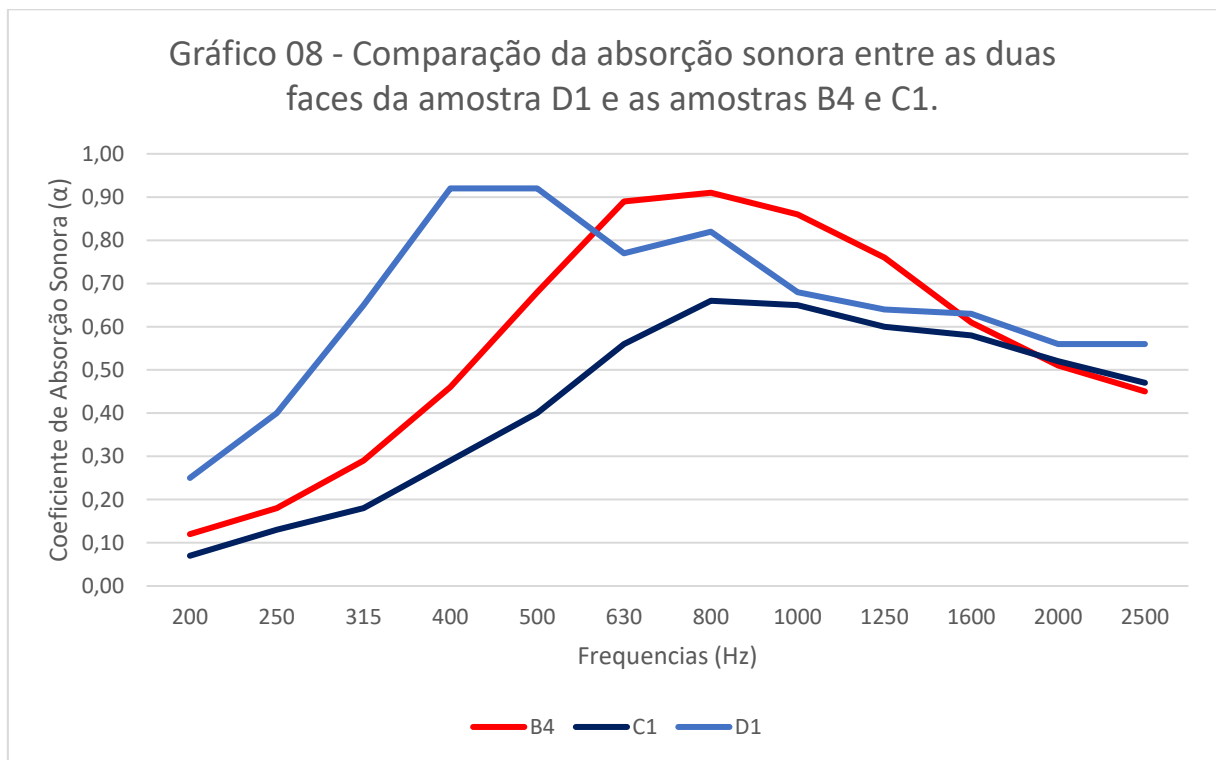
Com a melhora dos resultados, resolveu-se então criar o Grupo D, misturando os 4 tipos de fibras, formando uma amostra de multifibras, visando melhora ainda mais os resultados. Como a amostra C1 foi superior a B1, mesmo tendo uma espessura menor, foi utilizado a amostra C1 no lugar da B1 no último tipo de composição, como mostra a Tabela.

Tabela 04 – Grupo D (Multifibras).					
Amostra	Fibra 1	Espessura 1 (cm)	Fibra 2	Espessura 2 (cm)	Espessura Final (cm)
D1	Bambu	2	Cana de Açúcar	3	5
D2	Bambu	2	Bananeira	3	5
D3	Cana de Açúcar	3	Bananeira	3	6
D4	Coco	3	Cana de Açúcar	3	6

Assim como Leopoldo Pacheco Bastos (2009), apresentou em sua pesquisa, foram feitos dois testes em cada amostra, alterando a face voltada para a fonte, para analisar que posição teria a melhor absorção.

Na amostra D1, a posição que teve melhor resultado foi com a face da fibra de Cana de Açúcar voltada para a fonte (ver Gráfico 07). Como apresenta o Gráfico 08, a junção das duas camadas gerou um aumento na absorção das frequências entre 200 e 500 Hz, bem como entre 1600 e 2500 Hz, mas gerou uma queda em relação a amostra B4 nas frequências entre 500 e 1600 Hz.





Na amostra D2, a posição que teve melhor resultado foi com a face da fibra de Bananeira voltada para a fonte (ver Gráfico 09). A partir do Gráfico 10, podemos observar que a junção das duas camadas gerou um aumento na absorção das frequências entre 200 e 630 Hz e uma pequena queda nas frequências entre 630 e 2500 Hz.

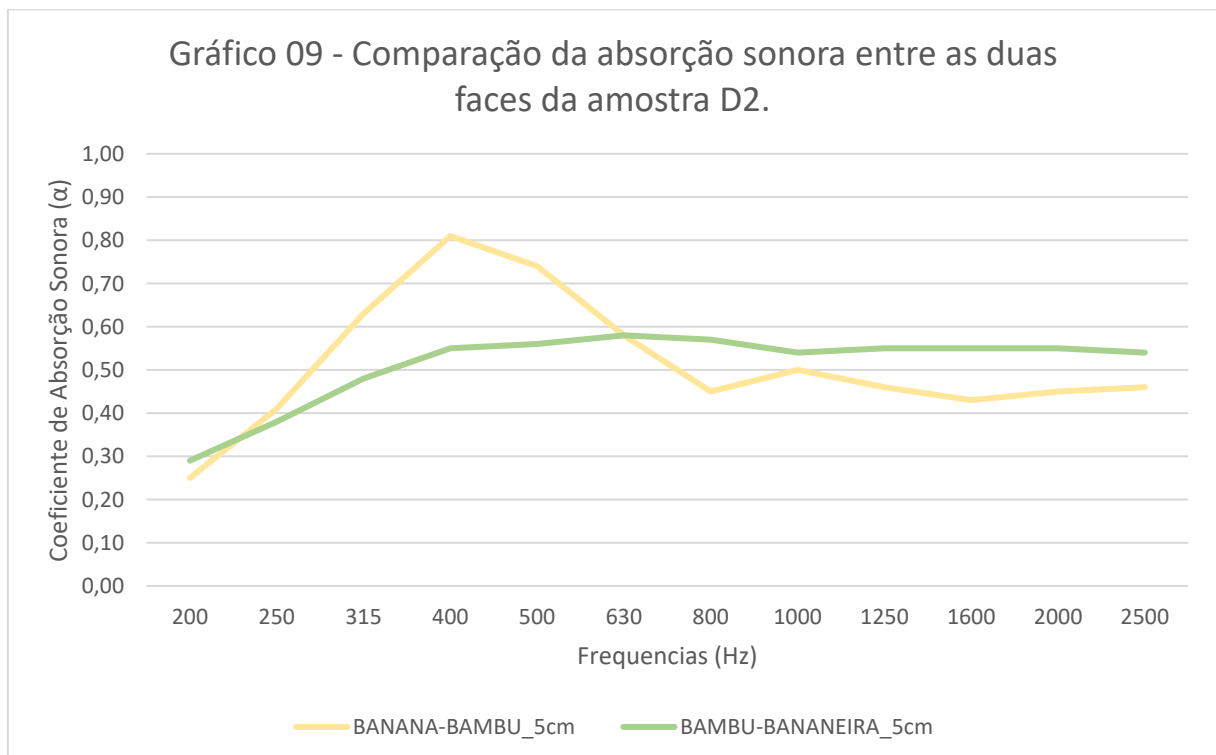
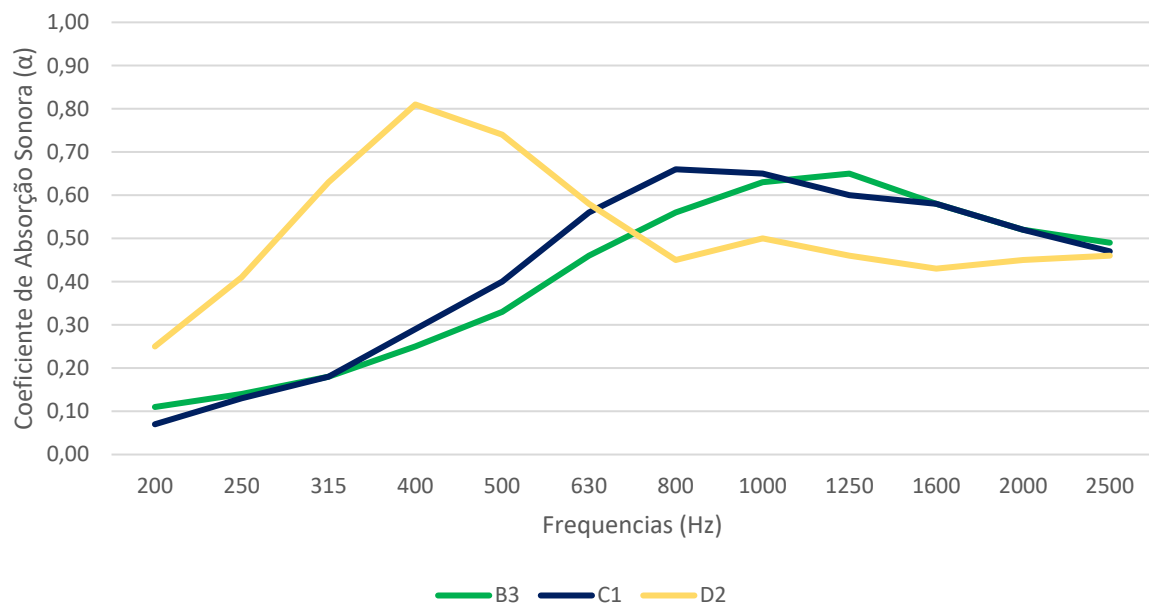


Gráfico 10 - Comparação da absorção sonora entre as duas faces da amostra D2 e as amostras B3 e C1.



Na amostra D3, a posição que teve melhor resultado foi com a face da fibra de Cana de Açúcar voltada para a fonte (ver Gráfico 11). A partir do Gráfico 12, foi observado que junção das duas camadas gerou um aumento na absorção nas frequências entre 200 e 500 Hz, bem como entre 1600 e 2500 Hz. Porém, gerou também uma pequena queda nas frequências entre 500 e 1600 Hz, em relação a amostra B4.

Gráfico 11 - Comparação da absorção sonora entre as duas faces da amostra D3.

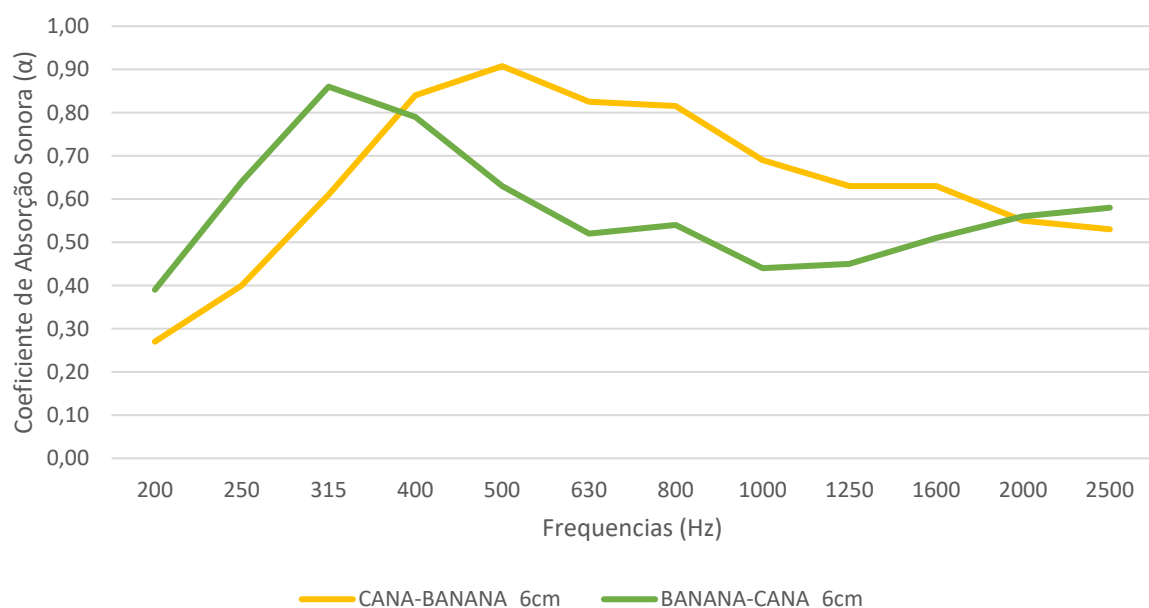
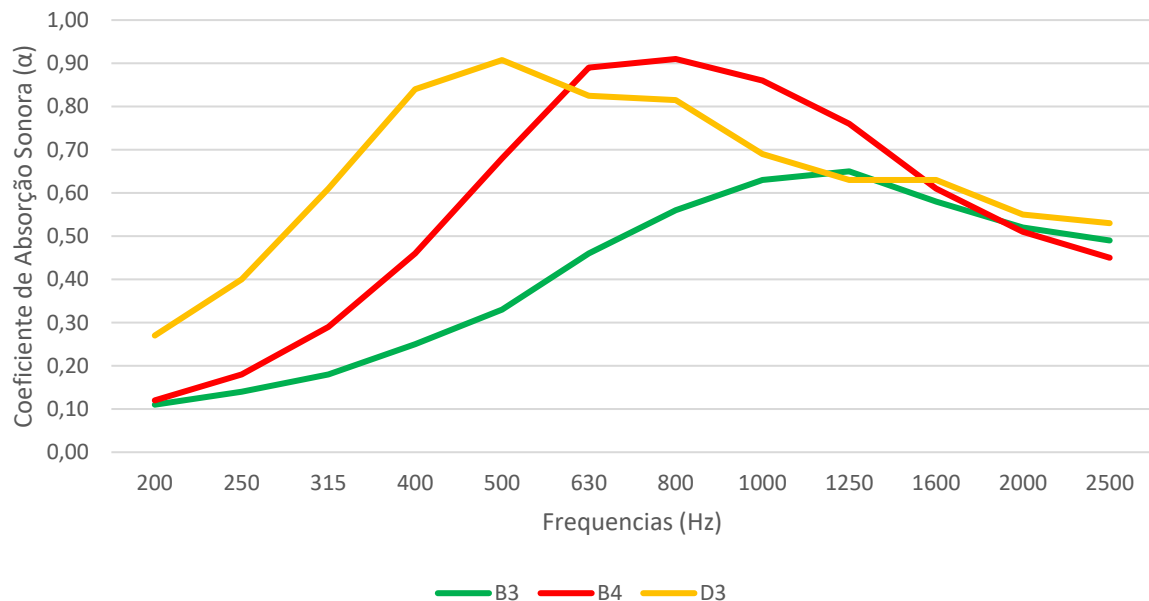


Gráfico 12 - Comparação da absorção sonora entre as duas faces da amostra D3 e as amostras B3 e B4.



Na amostra D4, só foi possível fazer a análise com a face da fibra de Coco voltada para a fonte sonora, devido ao término do tempo que havia sido previsto para fazer as análises (ver Gráfico 13). A junção das duas camadas, como mostra o Gráfico 14, gerou um aumento na absorção nas frequências entre 200 e 500 Hz, bem como entre 1600 e 2500 Hz. Porém, gerou uma grande queda nas frequências entre 500 e 1600 Hz.

Gráfico 13 - Absorção sonora da amostra D4.

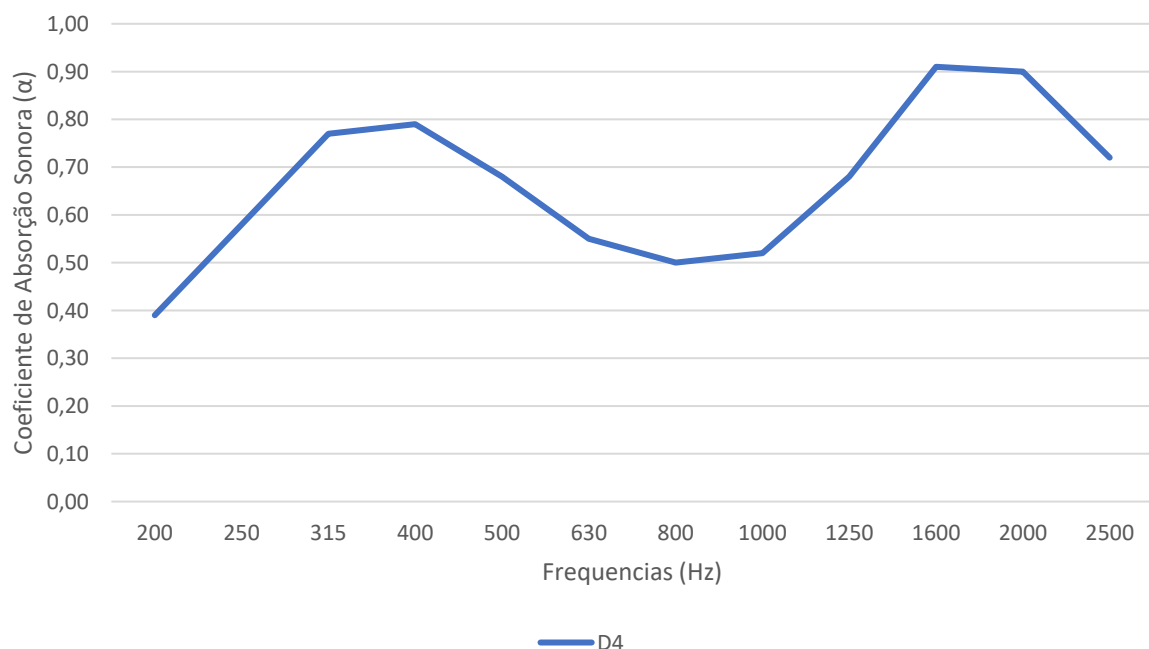
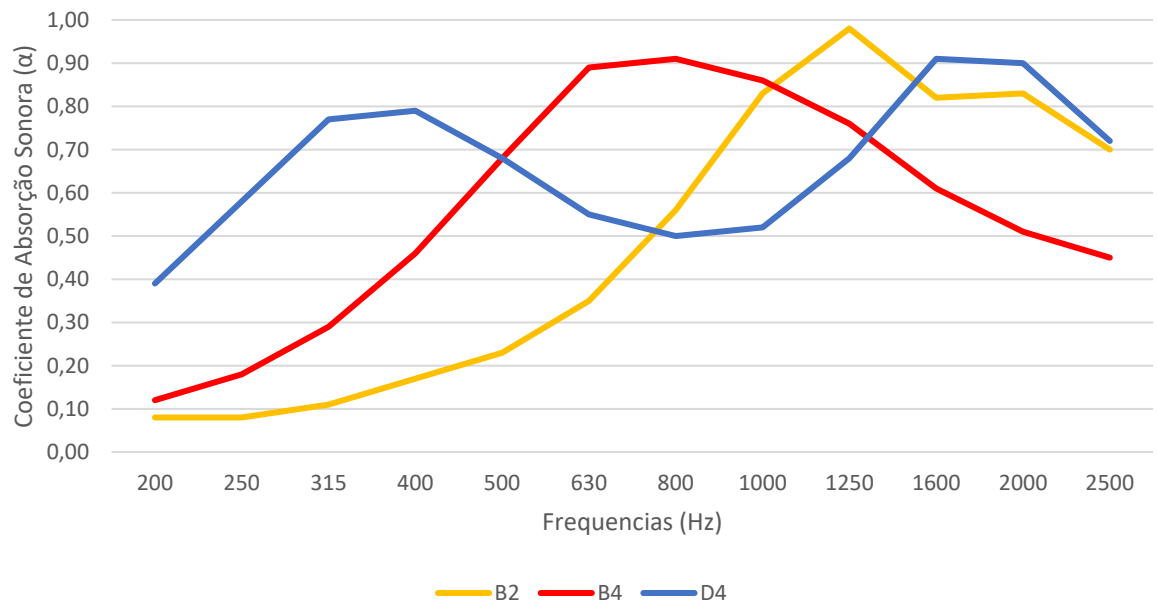
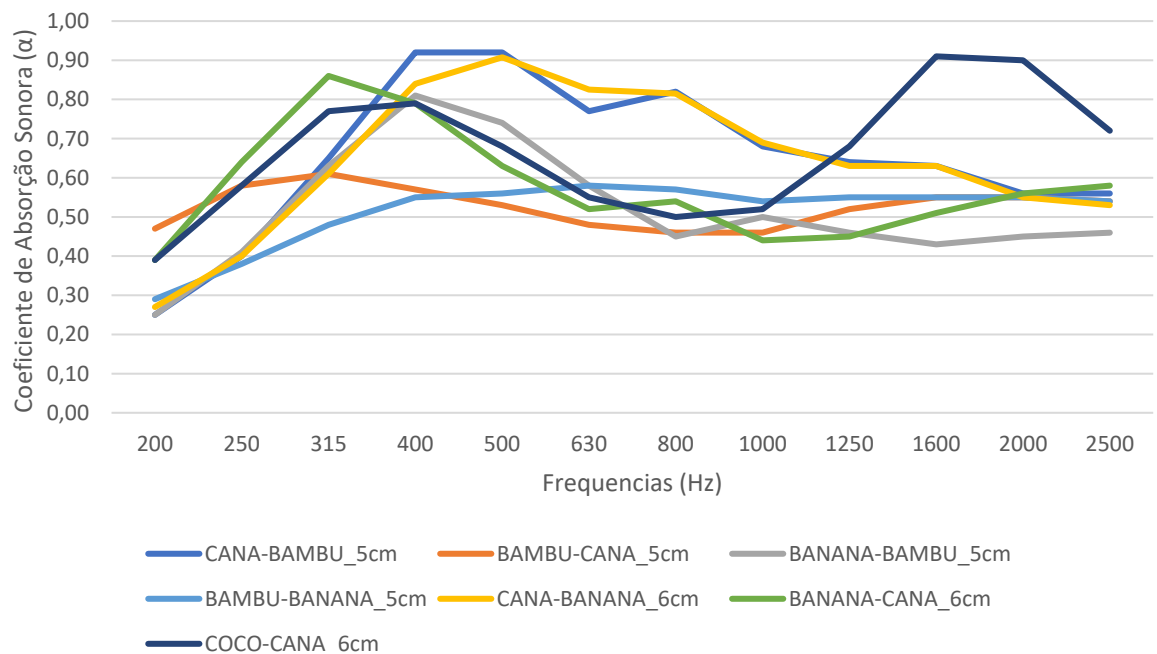


Gráfico 14 - Comparação da absorção sonora entre as duas faces da amostra D4 e as amostras B2 e B4.



Por fim foi feito a comparação das duas faces de todas as amostras do Grupo D, gerando o Gráfico 15, mostrado a seguir.

Gráfico 15 - Comparação da absorção sonora do grupo D.



Para concluir a análise das amostras da pesquisa, em relação ao coeficiente de absorção por 1/3 de oitava, foi comparado o desempenho das melhores amostras de cada grupo, como pode ser visto no Gráfico 16, e uma análise global, com todas as amostras, apresenta pelo Gráfico 17.

Gráfico 16 - Comparação da Absorção das Melhores Amostras.

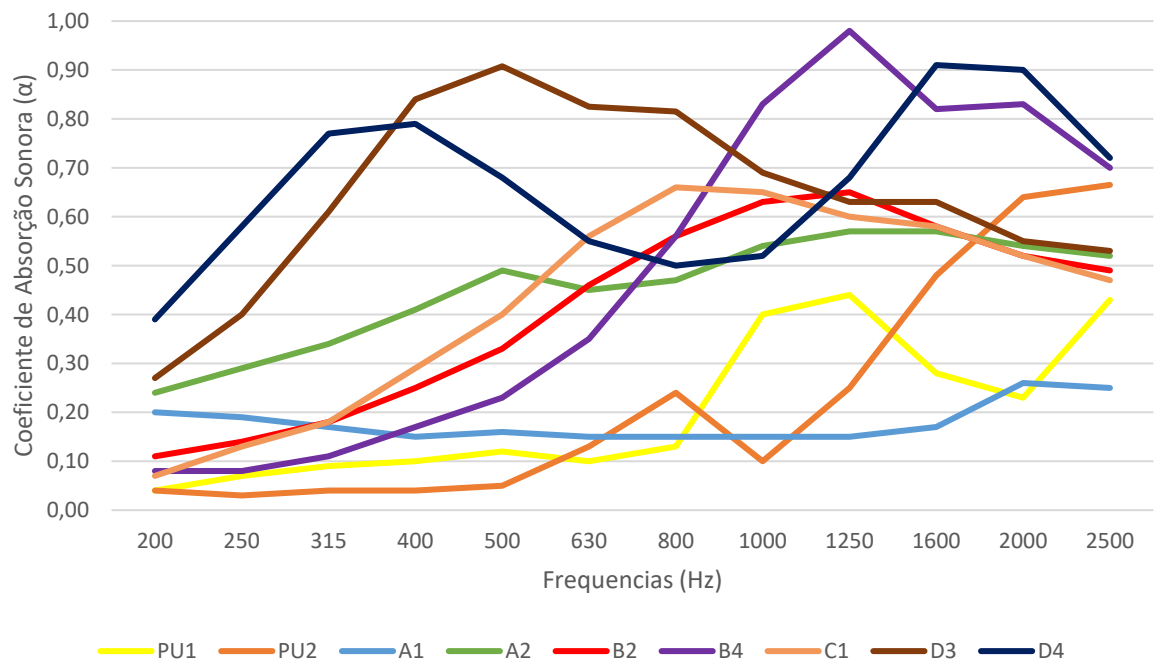
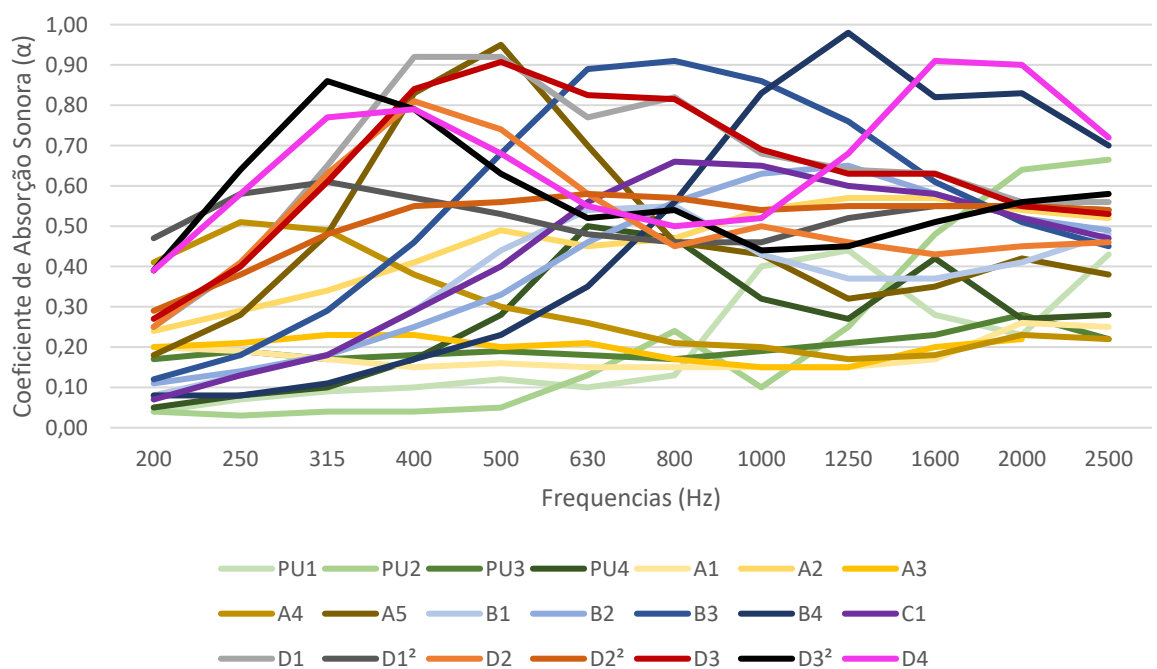


Gráfico 17 - Análise Global das Amostras.



Após as análises entre as amostras, foi feita uma comparação entre as 4 amostras que atingiram resultados acima de 0,6, ou seja, o Grupo D, e os resultados obtidos em outros trabalhos acadêmicos, como mostra o Gráfico 18 e por fim uma comparação entre as mesmas amostras e materiais existentes, apresentada pela Tabela 06 e pelo Gráfico 19.

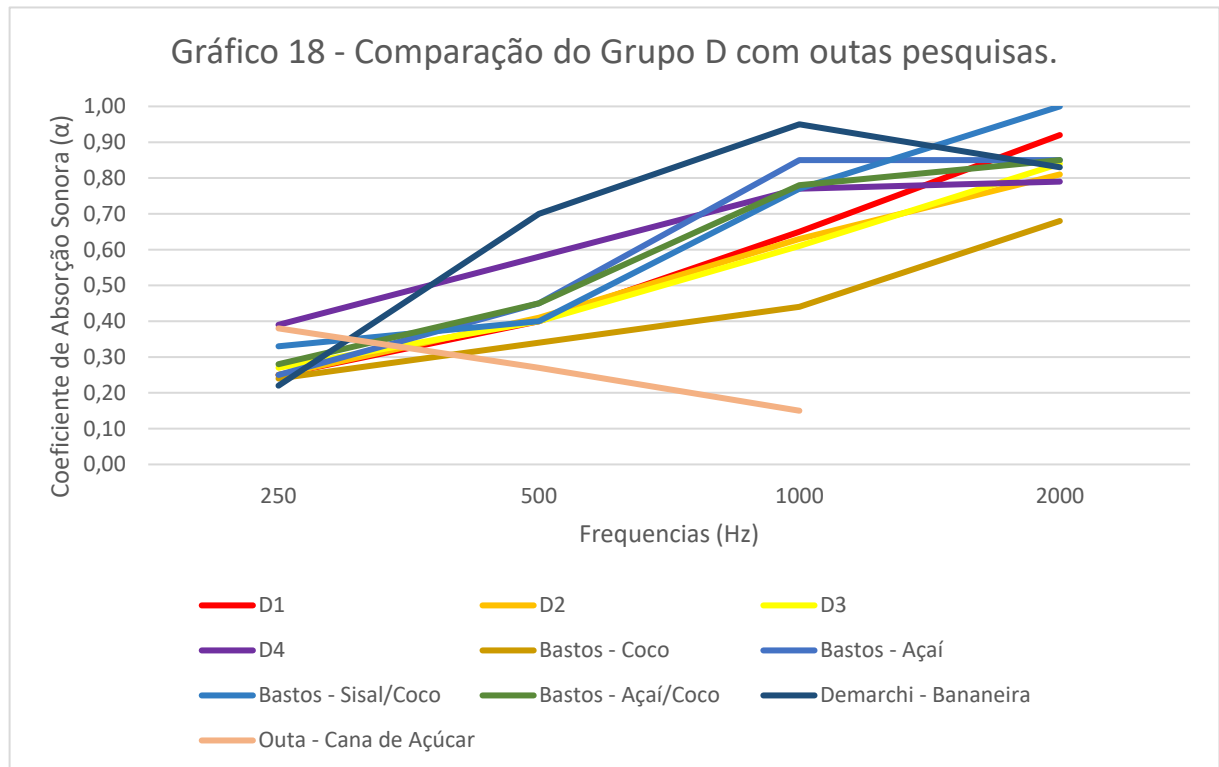
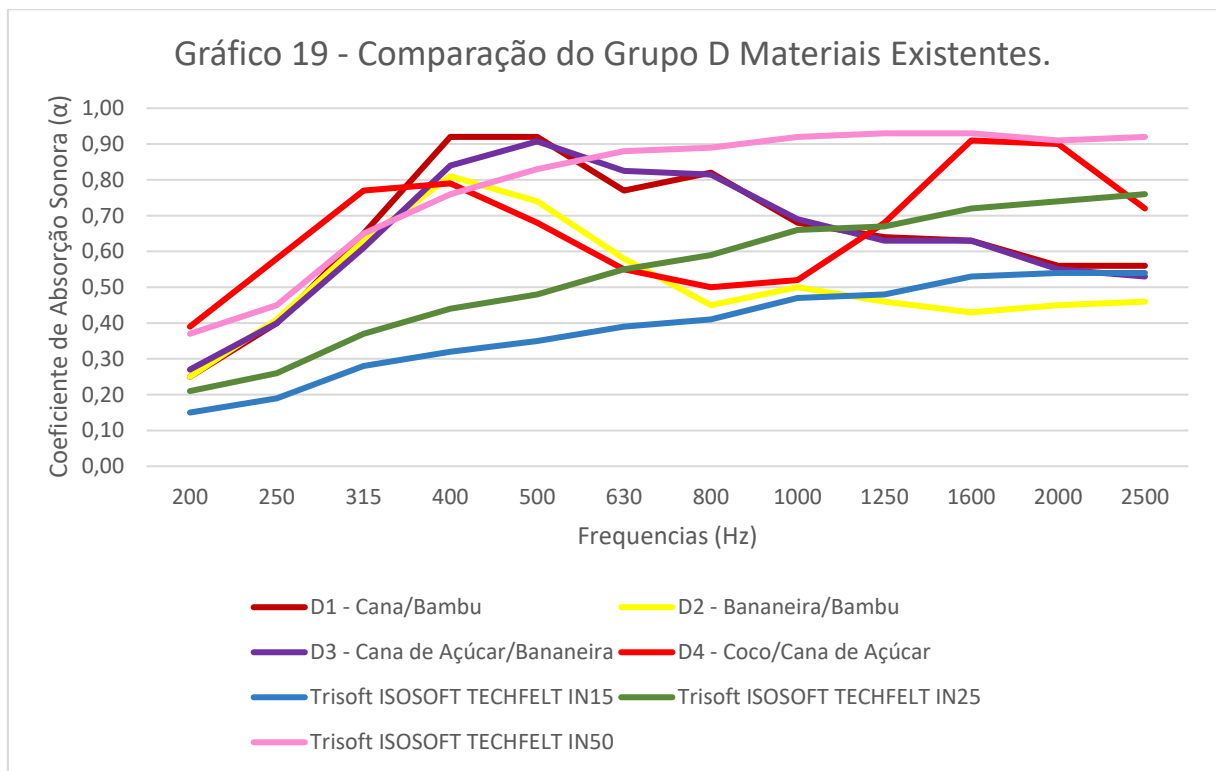


Tabela 06 - Comparação do Grupo D Materiais Existentes.				
Amostra/ Empresa	Material	Espessura (cm)	Densidade Superficial (Kg/m ²)	NRC
D1	Bambu + Cana de Açúcar	5,00	10,02	0,64
D2	Bambu + Bananeira	5,00	11,44	0,53
D3	Cana de Açúcar + Bananeira	6,00	8,13	0,64
D4	Coco + Cana de Açúcar	6,00	12,38	0,67
Trisoft	ISOSOFT TECH FELT IN15	1,50	0,60	0,40
Trisoft	ISOSOFT TECH FELT IN25	2,50	0,70	0,55
Trisoft	ISOSOFT TECH FELT IN50	5,00	1,30	0,80



Analisando o NRC de todos as composições apresentado na Tabela 07, o material que apresentou o maior coeficiente é o referente à amostra D4, Multicamada de Cana de Açúcar e Coco, com a face de Coco voltada para a fonte. Porém todas as amostras do grupo D tiveram excelentes resultados, acima de 0,5. Além do Grupo D, as amostras do Grupo B e C, também tiveram bons resultados, acima de 0,35. Já o Grupo A, somente as amostras A1, A2 e A4 apresentaram uma média absorção. As amostras A3 e A5 e o Grupo PU não conseguiram atingir resultados satisfatórios.

Tabela 07 - NRC			
Amostra	NRC	Amostra	NRC
PU 1	0,21	B1	0,35
PU 2	0,21	B2	0,49
PU 3	0,25	B3	0,41
PU 4	0,21	B4	0,56
A1	0,47	C1	0,43
A2	0,52	D1	0,64
A3	0,20	D2	0,53
A4	0,31	D3	0,64
A5	0,19	D4	0,67

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa desenvolveu diversos tipos de composições e materiais feitos a partir de diferentes tipos de fibras vegetais e comprovou a eficiência acústica de diversos deles. A matéria prima vegetal utilizada e testada foram as fibras de Bambu, Coco, Cana de Açúcar, Bananeira e Agávia e a espuma expansiva de poliuretano vegetal Mamonex RD70.

A espuma expansível de poliuretano vegetal, dentro dos materiais testados, quando utilizada sozinha, não apresentou uma absorção considerável, logo ela se mostrou ineficiente para tratamentos acústicos, sem a composição de outro material. Porém ela continua sendo um material com excelentes características, em relação a sua degradação quanto a intempéries, impermeabilidade, impacto ambiental entre outras. Sugere-se então para trabalhos futuros, o teste de mais amostras utilizando as mesmas proporções, entretanto, variando mais a espessura para avaliar com mais precisão a relação entre espessura e absorção da espuma.

As composições de poliuretano com fibras vegetais, tiveram um baixo desempenho. Sugere-se para trabalhos futuros, a análise mais apurada da relação entre as fibras e o poliuretano, testando camadas mais finas de poliuretano para tentar diminuir a interferência da espuma na absorção das fibras. Outro teste sugerido é aplicar a espuma apenas na camada oposta à fonte, deixando a face das fibras livre e voltada para a fonte.

As amostras com apenas fibras, em sua maioria, tiveram um desempenho moderado, mostrando a grande capacidade que as fibras podem atingir, se houver uma pesquisa mais apurada dos parâmetros que interferem na absorção do material. Sugere-se para trabalhos futuros, o teste de diferentes tipos de aglomerantes, pois o utilizado pela pesquisa, enrijeceu as fibras, fator que pode ter diminuído a absorção das amostras.

Por fim, as amostras que tiveram melhor desempenho foram as do Grupo D, com multifibras, mostrando que a união de diferentes tipos de fibras, geram composições com maior eficiência acústica. Foram atingidos coeficientes entre 0,53 e 0,67, nas composições, comprovando que é capaz a confecção de um material com baixo custo, baixo impacto ambiental e com boa eficiência acústica, com processos e equipamentos simples, podendo ser uma boa fonte de renda para comunidades de baixa renda. Sugere-se para trabalhos futuros, composições com

mais camadas, com menor espessura em cada camada e intercalando essas camadas, para verificar a influência de cada camada e espessura no coeficiente de absorção do material.

7 REFERÊNCIAS

BASTOS, Leopoldo Pacheco. **Desenvolvimento e Caracterização Acústica de painéis multicamadas unifibra, multifibras e mesclados, fabricados a partir de fibras vegetais.** Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém. 2009.

BISTAFA, Sylvio R. **Acústica aplicada ao controle do ruído.** 2ª Edição. São Paulo: Blucher, 2011.

CAMPOS, Rubya Vieira de Mello. **Painéis para tratamento acústico utilizando fibras naturais.** 2012. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

CORREIA, L. A.; TREVISAN, R. ; GARAVELLI, S. ; MAROJA, A. ; CROCE, B. ; PIRES, J. . **Paisagem sonora do Plano Piloto de Brasília: estudo de caso na Superquadra Norte 410 (SQN 410).** In: X Ibero-american Federation of Acoustics Congress (FIA)/ 22nd International Congress on Acoustics ICA 2016, 2016, Buenos Aires. 22nd International Congress on Acoustics ICA 2016. Gonnet: Asociación de Acústicos Argentinos, 2016.

DEMARCHI, Carlos Alberto. **Aplicabilidade de placas de fibra de bananeira: caracterização, produção e absorção sonora.** 2010. 106 fl. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.

Fibra da Bananeira - Processo de extração das fibras passo a passo: Link: <https://www.youtube.com/watch?v=x5k3Vkt2C7k> - (Acessado em 21/08/2019)

GARAVELLI, S. L. ; MAROJA, A. M. ; COSTA, C.A ; CARVALHO JÚNIOR, E. B.. **O Projeto de Lucio Costa para Brasília DF e a Contaminação Acústica.** In: 6º. Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional Integrado e Sustentável, 2014, Lisboa. Anais do 6º. Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional Integrado e Sustentável, 2014. v. 01. p. 1597-1608.

GERGES, Samir Nagi Yousri. **Ruído: fundamentos e controle.** 2ª Edição. Florianópolis: S. N. Y. Gerges, 2000.

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.

OUTA, Roberto. **Estudo e análise do coeficiente de absorção acústico do compósito da fibra de cana**. Dissertação (mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira. 2014.

VIEIRA, Rodrigo José de Andrade. **Desenvolvimento de painéis confeccionados a partir de fibras de coco para controle acústico de recintos**. 2008. 262 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Belém, 2008. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.