

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Patrícia Stefan de Carvalho

**ELABORAÇÃO DE UM COMPÓSITO A PARTIR DOS RESÍDUOS DA
CULTURA DE GIRASSOL COM PROPRIEDADES DE ABSORÇÃO
SONORA**

Santa Maria, RS

2019

Patrícia Stefan de Carvalho

**ELABORAÇÃO DE UM COMPÓSITO A PARTIR DOS RESÍDUOS DA CULTURA DE
GIRASSOL COM PROPRIEDADES DE ABSORÇÃO SONORA**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Engenharia de Produção, na área de pesquisa de Gestão Integrada, da Universidade Federal de Santa Maria, como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestra em Engenharia de Produção.**

Orientador: Prof. Dr. Leandro Cantorski da Rosa

Santa Maria, RS

2019

de Carvalho, Patrícia Stefan
ELABORAÇÃO DE UM COMPÓSITO A PARTIR DOS RESÍDUOS DA
CULTURA DE GIRASSOL COM PROPRIEDADES DE ABSORÇÃO SONORA
/ Patrícia Stefan de Carvalho.- 2019.
93 p.; 30 cm

Orientador: Leandro Cantorski da Rosa
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção, RS, 2019


1. Compósito 2. Talo de girassol 3. Absorção sonora I.
Cantorski da Rosa, Leandro II. Título.

Patrícia Stefan de Carvalho

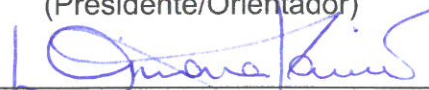
ELABORAÇÃO DE UM COMPÓSITO A PARTIR DOS RESÍDUOS DA CULTURA DE GIRASSOL COM PROPRIEDADES DE ABSORÇÃO SONORA

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Engenharia de Produção, na área de pesquisa de Gestão Integrada, da Universidade Federal de Santa Maria, como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestra em Engenharia de Produção**.

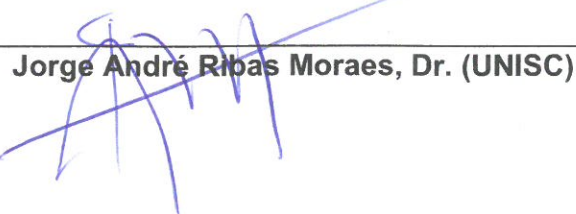
Aprovado em 25 de março de 2019:



Leandro Cantorski da Rosa, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Dinara Xavier da Paixão, Dr. (UFSM)



Jorge André Ribas Moraes, Dr. (UNISC)

Santa Maria, RS
2019

AGRADECIMENTOS

Durante este período de dois anos de realização de mestrado, no qual foi desenvolvido um compósito a partir de resíduos da cultura de girassol com propriedades acústicas, posso afirmar que foram encontrados diversos desafios, muitas vezes colocando em prova minha força, persistência e determinação. Porém, pessoas especiais se fizeram presentes durante esse percurso, às quais gostaria de agradecer:

- Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos que permitiu dois anos de pesquisa;

- Ao meu professor orientador Leandro, pelo empenho e dedicação, e por ter me dado a oportunidade de ter uma experiência como docente;

- Agradeço aos meus pais e meu irmão, por todo o apoio desprendido, sem eles tudo se tornaria mais difícil. Agradeço também ao Leonardo, companheiro e amigo, sempre presente me acompanhando em todos os desafios;

- Ao professor Adalberto Lovato meu eterno agradecimento por toda ajuda e suporte dado, pelo seu tempo disponibilizado para trocas de ideias e auxílio em momentos de dificuldade;

- Agradeço ao Laboratório de Engenharia Acústica, principalmente ao Bruno, o qual me auxiliou na realização dos testes, obrigada por toda ajuda nessa etapa. E também ao professor Paulo Henrique Mareze, pela atenção e disponibilidade em me ajudar com todas as dúvidas encontradas;

- Aos colaboradores do Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da UFSM, pela ajuda na realização dos ensaios. E ainda ao Laboratório de Engenharia Civil da UNIJUI;

- Agradeço à Vanessa pela amizade e parceria, por estar presente nesses dois anos em todos os momentos;

- Finalmente, quero agradecer à UFSM pela oportunidade de realização e obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção. Bem como aos professores do Programa pelos ensinamentos e aos funcionários pelo apoio e atenção dedicados a nós alunos.

“Todos falam de paz, mas ninguém educa para a paz. As pessoas educam para a competição e esse é o princípio de qualquer guerra. Quando educarmos para cooperarmos e sermos solidários uns com os outros, nesse dia estaremos educando para a paz”

Maria Montessori

RESUMO

ELABORAÇÃO DE UM COMPÓSITO A PARTIR DE RESÍDUOS DA CULTURA DE GIRASSOL COM PROPRIEDADES DE ABSORÇÃO SONORA

AUTORA: Patrícia Stefan de Carvalho
ORIENTADOR: Prof. Dr. Leandro Cantorski da Rosa

Esta pesquisa teve o objetivo de desenvolver um compósito com propriedades acústicas a partir dos resíduos da cultura de girassol. O trabalho segue as práticas da produção mais limpa em conjunto com a inovação sustentável. A produção mais limpa se faz presente na reciclagem de resíduos, e proporciona benefícios ambientais e econômicos. A inovação é sustentável pois considera o estudo de um novo material que visa o aproveitamento de matéria prima vegetal e renovável: o talo de girassol, resíduo da cultura após a colheita. O compósito foi resultado da mistura de talo de girassol, gesso e água como aglomerante, e benzoato de sódio como inibidor da proliferação de fungos. Compósitos de diferentes granulometrias de partícula de talo foram submetidos a um ensaio em tubo de impedância. Através do teste ANOVA e teste de Duncan, o desempenho dos mesmos foi comparado à um nível de significância de 5%, indicando a melhor performance média de absorção sonora de 0,8293 no compósito de partícula de 1,18 mm à 2,36 mm. O teste de resistência à flexão apontou valor de 0,69 MPa, sendo classificado como razoavelmente bom, considerando o fato do material não ter um fim estrutural e comparando-o com demais compósitos desenvolvidos em pesquisas. O custo de fabricação do compósito foi 76,09% menor do que o de um material comercial, sendo atrativo sob o ponto de vista econômico. A avaliação ambiental se mostrou positiva, tendo em vista que atendeu às exigências da produção mais limpa e inovação sustentável, pois houve o emprego de matéria prima reciclável de baixo custo e baixo impacto ao meio ambiente.

Palavras-chave: Compósito. Talo de girassol. Absorção sonora.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF A COMPOSITE FROM SUNFLOWER STALKS WITH SOUND ABSORPTION PROPERTIES

AUTHOR: Patrícia Stefan de Carvalho
ADVISOR: Prof. Dr. Leandro Cantorski da Rosa

This research had the objective to develop a composite with acoustic properties from the residues of the sunflower culture. The work follows cleaner production practices in conjunction with sustainable innovation. The cleaner production is present in the recycling of waste, and provides environmental and economic benefits. The innovation is sustainable because it considers the study of a new material that aims at the use of renewable and vegetal raw material: the stalk of sunflower, residue of the culture after the harvest. The composite was the result of mixing sunflower stalk, gypsum and water as a binder, and sodium benzoate as a fungus proliferation inhibitor. Composites of different particle size of stalks were subjected to an impedance tube test. Through the ANOVA test and Duncan test, their performance was compared at a significance level of 5%, indicating the best average sound absorption performance of 0,8293 in the 1,18 mm particle composite at 2,36 mm. The flexural strength test showed a value of 0,69 MPa, being classified as reasonably good considering the fact that the material did not have a structural end and compared it with other composites developed in researches. The manufacturing cost of the composite was 76,09% lower than that of a commercial material and economically attractive. The environmental assessment was positive, considering that it met the requirements of cleaner production and sustainable innovation, since there was the use of recyclable raw material of low cost and low impact to the environment.

Keywords: Composite. Sunflower stalk. Sound absorption.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Fases da teoria da inovação para produtos sustentáveis | 12 |
| Figura 2 – Esquema da classificação dos compósitos | 17 |
| Figura 3 – Variações da pressão ambiente | 22 |
| Figura 4 – Estrutura de materiais porosos e fibrosos | 25 |
| Figura 5 – Curva típica de perda na transmissão de painéis sólidos e homogêneos..... | 26 |
| Figura 6 – Tubos de impedância de 100 mm e 29 mm de diâmetro interno | 27 |
| Figura 7 – Posição dos microfones no tubo de impedância | 28 |
| Figura 8 – Coeficientes de absorção sonora de materiais porosos e fibrosos | 30 |
| Figura 9 – Coeficientes de absorção sonora de diferentes partículas..... | 32 |
| Figura 10 - Diferentes porosidades em um meio poroso..... | 35 |
| Figura 11 – Características de uma planta de girassol | 38 |
| Figura 12 – Estrutura do caule de girassol..... | 38 |
| Figura 13 – Parte parênquima do caule sob o microscópio eletrônico de varredura..... | 39 |
| Figura 14 – Etapas da pesquisa..... | 43 |
| Figura 15 – Processo de fabricação do compósito..... | 44 |
| Figura 16 – Amostra sem [a] e com a adição de Benzoato de Sódio [b]..... | 46 |
| Figura 17 – Molde para corpos de prova do ensaio em tubo de impedância | 49 |
| Figura 18 – Tubo de impedância para alta frequência | 49 |
| Figura 19 – Representação do ensaio de flexão em três pontos | 51 |
| Figura 20 – Molde para corpos de prova do ensaio de flexão em três pontos | 51 |
| Figura 21 – Equipamento usado no ensaio de flexão em três pontos..... | 52 |
| Figura 22 – Corpos de prova (compósito A [a], compósito B [b], compósito C [c], compósito D [d]) para ensaio em tubo de impedância | 55 |
| Figura 23 – Curvas de absorção dos corpos de prova da Partícula A | 56 |
| Figura 24 – Curvas de absorção dos corpos de prova da Partícula B | 56 |
| Figura 25 – Curvas de absorção dos corpos de prova da partícula C..... | 57 |
| Figura 26 – Curvas de absorção dos corpos de prova da partícula D..... | 57 |
| Figura 27 – Comparativo entre corpos de prova de diferentes compósitos | 58 |
| Figura 28 – Corpos de prova para ensaio de flexão em três pontos | 62 |
| Figura 29 - Ensaio de flexão e seção transversal das três amostras após fratura | 62 |
| Figura 30 – Compósito após perfuração no ensaio de funcionalidade..... | 63 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Materiais normalmente usados na absorção sonora | 28 |
| Tabela 2 – Materiais alternativos para uso em absorção sonora | 29 |
| Tabela 3 – Espessuras dos corpos de prova usados no ensaio em tubo de impedância | 55 |
| Tabela 4 – Resultados do ensaio em tubo de impedância | 59 |
| Tabela 5 – Resultado do teste ANOVA | 60 |
| Tabela 6 – Teste de Tukey | 61 |
| Tabela 7 – Teste de Duncan | 61 |
| Tabela 8 – Resultado do ensaio de flexão em três pontos | 62 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 – Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente | 21 |
| Quadro 2 – Valores do coeficiente de absorção sonora de fibras brutas | 34 |
| Quadro 3 – Requisitos físicos do gesso para construção civil (tempo de pega) | 40 |
| Quadro 4 – Classificação das partículas | 45 |
| Quadro 5 – Formulação do compósito | 47 |
| Quadro 6 – Custo estimado de produção de 1 m ² de uma placa com espessura de 28 mm | 65 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|------------------------|---|
| A | Amplitude |
| B | Bel |
| dB | Decibel |
| DF | Grau de liberdade |
| DOS | Disk Operating System |
| EE | Energia incorporada |
| EPS | Poliestireno expandido |
| Fc | Estatística de teste |
| f | Frequência do som incidente |
| F | Carga |
| g | grama |
| I _{absorvida} | Intensidade sonora absorvida |
| I _{incidente} | Intensidade sonora do som refletido |
| I _{refletida} | Intensidade sonora do som incidente |
| h | Espessura |
| Hz | Hertz |
| kg/m ² | Quilograma por metro quadrado |
| kg/m ³ | Quilograma por metro cúbico |
| L | Distância aplicada entre os pontos de apoio |
| L _{p1} | Nível de pressão sonora na sala da fonte |
| L _{p2} | Nível de pressão sonora na sala da recepção |
| M | Densidade superficial da parede |
| MJ/kg | Densidade de energia por massa |
| mm | Milímetro |
| MPa | Megapascal |
| MS | Quadrados médios sequenciais |
| NR | Norma Regulamentadora |
| NRC | Coeficiente de redução de ruído |
| P | Potência do sistema |
| P ₀ | Potência de referência |
| PML | Produção Mais Limpa |
| PT | Perda na transmissão sonora |
| SS | Somas dos quadrados sequenciais |
| T | Período |
| T ₁ | Período inicial |
| T ₂ | Período final |
| UNEP | United Nations Environmental Program |
| VHS | Video Home System |
| w | Largura |
| W | Potência sonora |
| XPS | Poliestireno extrudado |
| α | Absorção sonora |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 3 |
| 1.1 | TEMA E PROBLEMA | 5 |
| 1.2 | JUSTIFICATIVA..... | 5 |
| 1.3 | OBJETIVOS..... | 8 |
| 1.3.1 | Objetivo geral | 8 |
| 1.3.2 | Objetivos específicos | 8 |
| 1.4 | ESTRUTURA DO TRABALHO | 8 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA | 9 |
| 2.1 | PRODUÇÃO MAIS LIMPA | 9 |
| 2.2 | INOVAÇÃO SUSTENTÁVEL..... | 11 |
| 2.3 | APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS..... | 14 |
| 2.4 | COMPÓSITO..... | 16 |
| 2.5 | RUÍDO NA INDÚSTRIA..... | 19 |
| 2.6 | ACÚSTICA E RUÍDOS | 21 |
| 2.6.1 | Materiais usados na absorção sonora | 29 |
| 2.6.2 | Isolamento e absorção sonora através de materiais compósitos | 31 |
| 2.7 | PROPRIEDADES DE MATERIAIS ACÚSTICOS | 35 |
| 2.7.1 | Resistividade de fluxo | 35 |
| 2.7.2 | Porosidade | 35 |
| 2.7.3 | Tortuosidade | 36 |
| 2.8 | GIRASSOL | 36 |
| 2.9 | GESSO..... | 39 |
| 3 | METODOLOGIA | 42 |
| 3.1 | CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA..... | 42 |
| 3.2 | ETAPA 1 E 2 – ANÁLISE PRELIMINAR E ELABORAÇÃO DO COMPÓSITO | 44 |
| 3.3 | ETAPA 3 – AVALIAÇÃO TÉCNICA | 48 |
| 3.3.1 | Desempenho acústico | 48 |
| 3.3.2 | Análise estatística | 50 |
| 3.3.3 | Resistência mecânica | 50 |
| 3.3.4 | Ensaio de funcionalidade | 52 |
| 3.4 | ETAPA 4 – ANÁLISE COMPARATIVA..... | 53 |
| 4 | ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS | 54 |
| 4.1 | ENSAIO DE UMIDADE..... | 54 |
| 4.2 | AVALIAÇÃO TÉCNICA..... | 54 |
| 4.2.1 | Ensaio em tubo de impedância | 54 |
| 4.2.2 | Análise estatística | 60 |
| 4.2.3 | Ensaio de resistência mecânica | 61 |
| 4.2.4 | Ensaio de funcionalidade | 63 |
| 4.3 | AVALIAÇÃO ECONÔMICA | 64 |
| 4.4 | AVALIAÇÃO AMBIENTAL | 66 |
| 5 | CONCLUSÃO | 68 |
| 5.1 | SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS..... | 69 |
| | REFERÊNCIAS | 71 |
| | APÊNDICE A | 85 |

1 INTRODUÇÃO

Devido ao constante crescimento populacional e avanço tecnológico, caminha-se para uma escassez progressiva de recursos energéticos e minerais em geral (NETO, PARDINI, 2006), e o ser humano, faz o uso de bens finitos para sua sobrevivência, na maioria das vezes excedendo os limites ambientais. Isto acarreta na escassez dos recursos naturais, no aumento dos índices de poluição e também um grande acúmulo de resíduos. Partindo desse princípio, torna-se necessário o estudo de formas alternativas para suprir essa carência, analisando formas sustentáveis de bens e serviços, uma vez que isso é um meio de amenizar os impactos ambientais negativos.

O aquecimento global e a exaustão de recursos minerais e da principal fonte de energia – fóssil — exercem uma pressão por inovações no âmbito de um panorama amplo, como também nos detalhes da construção de equipamentos. Portanto, cabe à engenharia, projetar, construir e operar novas tecnologias de novos materiais, e principalmente, processos que permitam a utilização de matérias primas de origem vegetal e renovável.

O Brasil é um país com tendência para a sustentabilidade, considerando suas reservas naturais e sua biodiversidade, apresentando grande potencial de contribuição para as mudanças climáticas (PINSKY; KRUGLIANSKAS, 2017). Dessa forma, é necessário salientar a participação da inovação sustentável neste trabalho, conforme apresentado por Roy (2016), que envolve desenvolver funções, usando sistemas/serviços otimizados, levando em conta a sustentabilidade socioeconômica.

A inovação sustentável implica na consideração do *ecodesign*. Borchardt et al. (2008) relatam que *ecodesign* é uma técnica de projeto de produto onde os objetivos tradicionais como desempenho, custo da manufatura e confiabilidade, surgem conjuntamente com objetivos ambientais, tais como redução de riscos ambientais, redução do uso de recursos naturais, aumento da eficiência energética e da reciclagem, se mostrando como uma estratégia para a melhoria do desempenho ambiental e desenvolvimento de produtos.

Processos como reciclagem, recuperação de recursos, minimização de resíduos e recuperação de materiais, e conceitos como economia circular, *ecodesign* e zero

desperdício, são termos que estão sendo cada vez mais utilizados por políticos, industriais e empresas. Significa que a sociedade está começando a reconhecer que os recursos contidos nos resíduos devem ser recuperados e utilizados tanto quanto possível. Existem vários motivos para isso, como a preocupação com o aumento do consumo global de recursos não renováveis, escassez progressiva de matérias-primas primárias, redução do espaço disponível para disposição final de resíduos, necessidade de redução de quantidade e volume de resíduos gerados, entre outros (COSSU, WILLIAMS, 2015).

Para Maciel e Freitas (2013), atitudes que geram impacto ambiental ainda persistem em muitas organizações, principalmente, nas de caráter industrial. Contudo, com a pressão da atual conjuntura de mercado e da sociedade, essas empresas têm voltado seu foco para a prática do conceito de gestão ambiental, devido, por exemplo, à obediência às leis, eficácia nos custos, vantagem competitiva e mudanças na opinião pública. Para tanto, segundo os autores, existem inúmeras ferramentas passíveis de aplicação nas organizações para se obter uma gestão ambiental proativa, voltada para a redução dos resíduos e impactos na fonte geradora destes.

De acordo com Pinto, Matos e Silva (2016), a concepção de novos produtos faz com que as pessoas sejam conduzidas a avaliar e considerar novas formas de consumo. Isto desperta nas empresas e consumidores uma nova postura com relação aos impactos ambientais e suas consequências, direcionando muitos a assumir novos compromissos ligados a uma consciência ambiental, bem como a preservação dos recursos naturais importantes para existência dos seres vivos.

Com base nesse princípio, o girassol é uma planta de fácil acesso no Brasil, com grande quantidade de resíduos após a colheita, tendo em vista que o interesse pelo cultivo da mesma se dá apenas pela semente. Considerando esses aspectos, o estudo analisou o comportamento acústico (absorção sonora), a resistência mecânica e a funcionalidade de um material produzido seguindo as práticas da produção mais limpa em conjunto com a inovação sustentável, desenvolvido a partir de resíduos da cultura do girassol, apresentando uma alternativa para o mercado.

1.1 TEMA E PROBLEMA

A pesquisa teve como tema a elaboração de um compósito feito a partir dos resíduos da cultura de girassol e gesso para uso em absorção sonora. O uso do gesso se deu pelo fato deste material ser um aglutinante de baixo custo, que necessita pouco uso de energia durante seu processo de fabricação. A pesquisa foi alicerçada pelos preceitos da produção mais limpa e inovação sustentável, uma vez que esta última visa melhorar os produtos, serviços e processos existentes em relação ao desempenho ambiental e social (AAGAARD; LINDGREN, 2015). Foram elaborados corpos de prova do compósito com o fim de avaliar a capacidade de absorção sonora, a resistência mecânica, e a funcionalidade dos mesmos, apresentando um meio alternativo aos materiais convencionais usados para o fim proposto.

Considerando que uma pesquisa é um processo constituído de etapas, sendo estas, entradas e saídas, o trabalho em questão visa responder a seguinte problemática: como elaborar um compósito a partir do talo de girassol, para fins de absorção acústica industrial?

1.2 JUSTIFICATIVA

Ao longo das últimas décadas, as preocupações ambientais crescentes provocaram um aumento da pesquisa pela comunidade científica para desenvolver biocompositos de fibras naturais (MATHIAS, et al., 2015). Concomitante a este fator, a demanda por melhores materiais isolantes e absorvedores de ruído está aumentando (PATNAIK, et al., 2015).

Sendo assim, o desenvolvimento de um material com bom desempenho acústico sob o ponto de vista ambiental seria de grande valia no âmbito industrial, uma vez que estaria aliado à qualidade de vida com práticas sustentáveis. Nesse contexto, é importante salientar que a causa mais comum de perda da audição se deve à exposição prolongada a níveis de ruído elevados nos ambientes de trabalho (BISTAFA, 2006).

A propagação de ruídos é muito comum em ambientes de trabalho, principalmente na indústria, onde colaboradores ficam expostos diariamente. O ruído industrial e as

doenças ocupacionais dele decorrentes podem ocasionar em danos físicos e mentais. Bistafa (2006) destaca como danos o estresse, a ansiedade, isolamento e autoimagem pobre, comprometimento das relações do indivíduo na família, no trabalho e na sociedade, prejudicando o desempenho das atividades na vida diária. Dessa forma, torna-se evidente a necessidade de materiais com propriedades acústicas no meio de trabalho.

Patnaik et al. (2015) relatam que o material de isolamento acústico amplamente utilizado na indústria da construção é à base de fibra de vidro, derivada das fontes de sílica, e outras fibras sintéticas utilizadas derivadas dos recursos do petróleo. Papadopoulos (2004) acrescenta que esses materiais devem melhorar o seu desempenho, sendo adaptáveis, benignos aos trabalhadores e que apresentem baixo custo. Nesse sentido, quando possível é importante evitar a utilização de matérias-primas de origem fóssil, como os materiais convencionais utilizados como isolantes acústicos que provém dessa fonte, além de que em sua manufatura demandam o uso de grande quantidade de energia.

A pesquisa sobre o desenvolvimento de materiais absorventes de som em bandas de frequência específicas ou amplas tornou-se um segmento importante no campo da acústica (SILVA; MAREZE; BRANDÃO, 2016). Para os autores, a aplicação destes materiais envolve o controle de som em vários contextos, como aeronáutica, indústria e ruído em estradas e rodovias, por isso reforçam que o desafio na engenharia de controle de ruído é o desenvolvimento de projetos de materiais absorventes que atenuem o som com uma quantidade mínima de material, peso e custo.

Em comparação com as fibras sintéticas convencionais, as fibras naturais oferecem algumas vantagens, incluindo baixo custo, baixa densidade e biodegradabilidade (SUN, et al., 2013a). Os autores acrescentam ainda que além de atividades industriais dedicadas exclusivamente à produção de fibras, outra fonte potencial de fornecimento de fibra natural são os subprodutos agrícolas, especialmente para aplicações industriais nas quais o desempenho mecânico exigido não é muito alto, oferecendo uma maneira potencialmente efetiva de aliviar as disparidades na oferta e demanda de fibra natural.

No que tange ao girassol, conforme dados da CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento), o Mato Grosso é o estado brasileiro maior produtor de girassol do país, sendo que na safra de 2016, registrou-se um aumento de aproximadamente 24,2% na área plantada em relação à safra anterior, passando de 25,6 mil hectares para 31,8 mil. Sendo assim, a produção foi estimada em 50,1 mil toneladas, volume 40,7% maior do que as 35,6 mil toneladas da safra anterior (CONAB, 2017).

Os subprodutos de girassol são de interesse porque não são explorados. Sua composição permite uma extração de baixo impacto no solo e as biorrefinarias de oleaginosas podem alcançar uma maior viabilidade econômica vendendo estes subprodutos (MATHIAS, et al., 2015). Para eles, o cultivo de girassol tem menos impacto ambiental, em termos de necessidade de água, fertilizantes e pesticidas, comparado à uma produção de culturas padrão, como o milho, por exemplo. Além disso, o uso de subprodutos existentes constitui um benefício ambiental em comparação com outras fibras naturais.

Para Sun et al. (2013a) a flor do girassol é claramente a parte mais útil da planta, e uma vez que o interesse está voltado para a mesma, não há uso industrial significativo dos talos triturados após a sua colheita. No entanto, estas hastes podem apresentar propriedades mecânicas favoráveis (da casca), além disso, os autores sugerem ainda que a medula do caule apresente boas propriedades de isolamento térmico, o que instiga a presente pesquisa referente ao uso do talo na fabricação de um compósito para absorção sonora.

No que diz respeito ao gesso, este está cada vez mais sendo utilizado como material de revestimento para paredes e tetos devido às suas propriedades acústicas, bem como duas boas características: resistência ao fogo e isolamento térmico (ELKHESSAIMI, DOYEN, SMITH, 2017). Asdrubali et al. (2017) confirmam que o gesso apresenta boa resistência ao fogo, ao relatar em seu trabalho que este material é utilizado na cobertura de paredes e pisos de madeira por ser não inflamável. Uma das formas mais eficazes de aumentar a resistência à água do gesso é usando diferentes aditivos (KONDRATIEVA et al., 2017).

Dessa forma, o estudo do aproveitamento de materiais sustentáveis na absorção sonora é um tema em pauta. Assim, um trabalho utilizando resíduos de girassol na elaboração de compósito para o uso em questão seria de grande valia.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Desenvolver um compósito a partir dos resíduos da cultura de girassol com propriedades acústicas.

1.3.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Avaliar diferentes formulações utilizando resíduos de girassol e gesso;
- b) Elaborar o compósito e corpos de prova; e
- c) Analisar resultados dos ensaios em tubo de impedância, resistência mecânica, e de funcionalidade.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está organizado em cinco seções. Na primeira seção está a introdução, onde é apresentado o assunto abordado no estudo, bem como a contextualização do problema do mesmo. É abordada ainda a justificativa pela escolha da temática em questão, bem como os objetivos que norteiam a pesquisa.

O referencial teórico, presente na segunda seção, consiste no estudo de conceitos e trabalhos já feitos por outros autores sobre os assuntos pertinentes ao tema da pesquisa, servindo como embasamento para o desenvolvimento do trabalho.

A terceira seção engloba a metodologia, no qual foram detalhados os procedimentos a realizados no decorrer da pesquisa para o alcance dos objetivos. Seguido pela análise e discussão dos resultados na quarta sessão, na quinta sessão constam as conclusões, e por fim, as referências.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção foi evidenciada uma breve exposição sobre produção mais limpa, inovação sustentável, aproveitamento de resíduos agrícolas, compósitos, ruído na indústria, acústica e ruídos, propriedades de materiais acústicos, girassol e gesso.

2.1 PRODUÇÃO MAIS LIMPA

A Produção Mais Limpa (PML) é a aplicação contínua de estratégias ambientais preventivas e integradas para processar bens e serviços para incrementar a eficiência total, reduzindo os riscos para as pessoas e para o ambiente (UNEP, 2012).

A definição de PML foi cunhada, em 1988, pelo UNEP (*United Nations Environmental Program*), sendo um método de abordagem que integra uma estratégia econômica, tecnológica e ambiental, aos processos e produtos. Possui o fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas e insumos básicos, através da redução dos desperdícios, não-geração, minimização ou reciclagem, principalmente interna, dos resíduos gerados, proporcionando benefícios econômicos e ambientais para as empresas (MILAN, GRAZZIOTIN, 2012).

O Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI, 2003) define produção mais limpa como a aplicação de uma estratégia técnica, econômica e ambiental integrada aos processos e produtos, com o objetivo de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, através da não geração, minimização ou reciclagem dos resíduos e emissões geradas, trazendo benefícios ambientais, de saúde ocupacional e econômicos.

Para Tagliari et al. (2015), o princípio básico da produção mais limpa consiste em eliminar a poluição durante o processo produtivo, atacando as causas do problema. Em um processo de fabricação, toda matéria-prima adquirida irá resultar em produto final, e desperdícios, sendo esse último na forma de resíduos para descarte que começam a gerar custos como armazenamento, transporte, coletas, inspeções, disposição e multas. No caso de um desses gerar algum dano ambiental, a imagem da empresa poderá vir a ser comprometida junto à sociedade.

É com base nesse princípio que a produção mais limpa busca não só a eliminação ou minimização de desperdícios (resíduos) modificando os processos pertinentes a determinado produto, como também objetiva a possibilidade desses resíduos serem aproveitados.

Muitos trabalhos foram realizados usando como metodologia a produção mais limpa. Um deles, realizado por Venanzi e Moris (2013), consistiu em entrevistar seis empresas fornecedoras de componentes automotivos com o fim de analisar sua posição empresarial em relação à produção mais limpa. Constataram, que o foco das empresas em relação à gestão de seus resíduos sólidos está em reduzi-los, porém, suas práticas estão mais relacionadas ao reuso de resíduos como reciclagem externa, do que reciclagem interna ou redução da fonte.

Yam e Mak (2014) empregaram a produção mais limpa no estudo por um compósito que aproveitasse a casca de arroz, processado através de moldagem por injeção assistida a gás, propondo um meio para reduzir a dependência de polímeros baseados em produtos petroquímicos neste tipo de processo. Osmani (2013) investigou a reciclagem de resíduos de plástico reforçado com fibra de vidro em compósitos de concreto, cimento e borracha, melhorando suas propriedades mecânicas.

Rosa et al. (2013) avaliaram a eco eficiência de materiais compósitos de fibra de vidro, substituindo estas fibras por cânhamo orgânico. No estudo de Souza et al. (2018) foi apresentada uma alternativa de produção mais limpa, onde foi pesquisada a viabilidade técnica e os aspectos ambientais da fabricação de um compósito feito com resíduos de *Pinus sp.* e espécies de madeira de teca (*Tectona grandis*), e como aglomerante resíduo de tinta à base de epóxi.

Fongang et al. (2015) estudaram a condutividade térmica de um compósito fabricado com o subproduto de serragem de indústrias madeireiras, ligado com pasta de cimento geopolimérico.

Caetano, Depizzol e Reis (2017) estudaram o gerenciamento de resíduos sólidos produzidos pela indústria moveleira, com o objetivo de definir estratégias de redução ou eliminação desses resíduos na fonte, e também a melhor destinação desses quando gerados. Os autores relatam que é preciso conhecer quais são os resíduos produzidos para reduzi-los. Foram sugeridas outras técnicas de PML que a empresa poderia adotar,

como o reaproveitamento da água, utilização das sobras de madeira para geração de energia ou fabricação de painéis aglomerados por meio de partículas de madeira ou outros materiais, aglutinados por meio de uma resina.

Gomes, Lima e Franco (2016) descrevem que uma série de medidas devem ser postas em prática para implantar a tecnologia da produção mais limpa nos processos produtivos, que vão desde eficiência energética ao consumo racional dos recursos.

A produção mais limpa sempre contribuiu significativamente para a implementação do desenvolvimento sustentável nos negócios e na indústria, caminhando para um ambiente mais limpo (HENS, et al., 2018). Para os autores, um dos pontos fortes da produção mais limpa é que suas metas e métodos contribuirão para uma sociedade que caminha em direção a transições de longo prazo, respeitadas e responsáveis.

2.2 INOVAÇÃO SUSTENTÁVEL

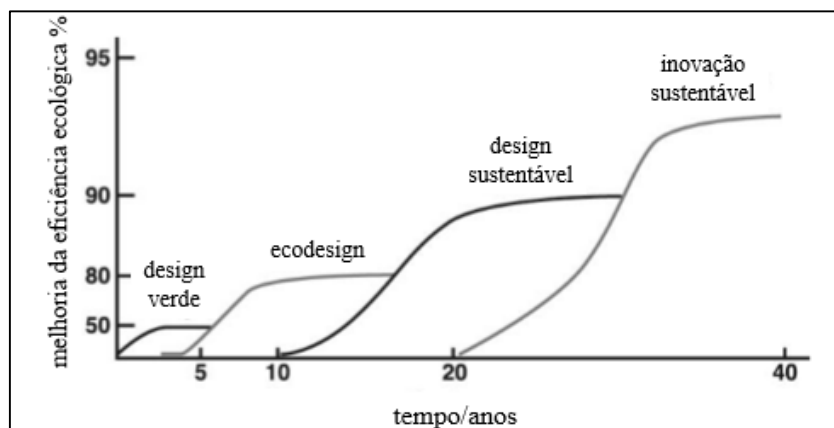
A inovação sustentável é uma ferramenta que pode contribuir para a renovação de todo o sistema de inovação, levando em consideração os aspectos sociais, ecológicos e econômicos (HERMOSILLA et al., 2010).

Desde o início da revolução industrial, o carvão e o petróleo têm sido as fontes principais de energia e matérias primas de novos produtos necessários ao incremento de qualidade de vida que a humanidade desfrutou desde então. Desde o final do século passado já se previu dois fatores preocupantes nesse cenário: a exaustão das fontes de materiais e combustíveis de origem fóssil, o aumento da população mundial e a melhoria das condições de vida de grande parte da população mundial (RANDERS, 2012; HUISING et al, 2015). O consumo de materiais de origem fóssil supera a capacidade de reposição, o que exerce uma pressão para se encontrar substitutivos capazes de recuperar o equilíbrio desfeito. Torna-se necessário, então, acelerar a transição para uma sociedade sustentável e pós-fóssil (INGRAO et al., 2016) e para uma economia baseada na utilização de materiais biológicos, o que Golden e Hanfield (2014) chamam de bio-economia.

Essa transição exige inovações que cabe aos diversos ramos da engenharia promover. Nesse sentido, o caminho aleatório, de tentativa e erro, não pode ser tomado

como paradigma. É necessário cursar uma via que apresente embasamento teórico. Duas teorias de inovação se pode destacar. A primeira é aquela preconizada por Roy (2016) que a apresenta como padrões de inovação. E a segunda foi lançada por Brezet (1997) com as fases: o projeto verde, o *ecodesign*, o design sustentável e a inovação sustentável, conforme Figura 1 (ROY, 2016).

Figura 1 – Fases da teoria da inovação para produtos sustentáveis



Fonte: Roy (2016, p. 3764).

Roy (2016) analisa diversos produtos de uso doméstico em comum, como bicicleta, rádio, aspirador de pó, telefone celular, televisores, máquinas de lavar e reconhece uma sequência de alternâncias entre convergência e divergência na evolução. Cada uma das fases é provocada por novos conhecimentos científicos ou novas tecnologias. Inicialmente existe uma divergência entre os produtos desenvolvidos e ofertados ao mercado: diversos modelos de bicicletas, diversos sistemas operacionais na área de computação, diversos sistemas de gravação de vídeos em fita (betamax e VHS). Depois segue uma fase de convergência, como nos casos do sistema operacional DOS, e das fitas VHS. Uma nova descoberta científica ou o desenvolvimento de nova tecnologia de materiais ou processos, abre uma nova fase de divergência, como é o caso dos diversos sistemas de televisão digital, diversos materiais usados nas bicicletas modernas.

Brezet (1997) propôs quatro níveis de desenvolvimento de produtos de reduzido impacto ambiental. Esses níveis, apresentados em 1997, seguem uma sequência temporal. Inicialmente existe o projeto verde, no segundo nível, o *ecodesign*, no terceiro o projeto para sustentabilidade e, por último, a inovação para a sustentabilidade.

O projeto verde ocorre quando os fabricantes introduzem alterações nos produtos para atender requisitos legais, que na maior parte das vezes não são significativos em termos de proteção do meio-ambiente. O nível seguinte, *ecodesign*, procura reduzir impactos ambientais durante todo o ciclo de vida do produto e focado nos impactos mais importantes. No nível de projeto sustentável, o objetivo é atender os requisitos funcionais do sistema com o uso de soluções técnicas de menor impacto ambiental possível. Por exemplo, usando energia solar ou usando madeira originada de florestas renováveis. Este nível também inclui considerações socioeconômicas, como a isenção de trabalho infantil e de segurança da saúde do trabalhador. A fase final, inovação sustentável, envolve um escopo mais amplo, ao considerar não só o produto em si, mas todo o sistema produto-serviço, no qual está inserido. Assim sendo, é imprescindível o estudo por novos materiais originalmente projetados para diversos fins, fabricados com materiais renováveis, recicláveis e de baixo impacto ao meio ambiente (ROY, 2016).

Seguindo o contexto da inovação, o manual de OSLO, definiu quatro tipos de inovações que abrangem mudanças nas atividades das empresas, envolvendo os seguintes segmentos: produto, processo, organização e marketing (OSLO, 2005). No estudo de Marcon, Medeiros e Ribeiro (2017) que teve como objetivo identificar as melhores práticas de inovação ambientalmente sustentáveis em multinacionais do mercado brasileiro, foi relatado que o primeiro tipo de inovação produto, refere-se a bens ou serviços novos ou significativamente melhorados que são implementados no mercado, com alterações nos materiais utilizados, nas especificações técnicas e nas características do produto ou serviço. Em relação ao segundo tipo, processos, os autores relatam que consiste em mudanças nas técnicas com o fim de melhorar os métodos de produção; quanto à organização, a inovação está voltada em reorganizar e melhorar os aspectos das empresas; e por fim, o último tipo, compreende a implementação de novos métodos de marketing, através da colocação do produto no mercado.

Marcon, Medeiros e Ribeiro (2017) reforçam a ideia de que o uso indevido de recursos naturais compromete o equilíbrio do planeta e a vida humana e, dessa forma, juntamente com as outras atividades realizadas pela sociedade contemporânea e o crescimento demográfico acelerado, a industrialização exige maior atenção de todos para que, no futuro, a estabilidade entre práticas de consumo e meio ambiente seja alcançada.

2.3 APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS

Para Viana e Cruz (2016), um dos principais entraves para a ascensão das atividades agrícolas no Brasil, além da falta de incentivo aos pequenos produtores e a escassez de políticas públicas mais eficientes voltadas para o dinamismo das ações desse setor, é a falta de uma logística e infraestrutura adequada para o escoamento dos produtos, que a cada dia ganha maior importância dentro das empresas. Concomitante a isso, outra problemática relacionada à agroindústria brasileira é a grande quantidade de resíduos gerados durante o processamento/beneficiamentos de seus produtos. Na maioria dos casos, esses resíduos não são tratados e apresentam uma disposição ambientalmente inadequada, com potenciais ricos de contaminação dos solos e águas.

Uma preocupação presente no dia a dia do setor agroindustrial é a grande geração de resíduos durante o processamento e beneficiamento das matérias-primas, onde na maioria das vezes, constitui a maior parte de material, mais do que o produto de interesse, não possuindo um destino adequado. Um exemplo disso é o girassol, onde após a colheita é de interesse comercial apenas a semente, possuindo grande quantidade de resíduos (caule, folhas e flores). Contudo o conhecimento sobre os resíduos e suas utilidades podem contribuir para reduzir os impactos ao meio ambiente.

São múltiplos os estudos relacionados ao aproveitamento e reciclagem de resíduos agroindustriais, muitos deles consistem na elaboração de compósitos à base de resíduos, usados em diferentes fins. Rosa et al. (2015) obtiveram diferentes placas para isolamento térmico em coletor solar, utilizando casca de arroz, talo de girassol, gesso e tecido de juta, testando seu desempenho e compararam seu desempenho com a lã de vidro, obtendo bons resultados, comprovando ser uma alternativa viável na substituição de materiais convencionais.

Na pesquisa de Ayirmis, Kaymakci e Ozdemir (2012), foi estudado o uso da semente de girassol (resíduo após a extração do óleo) como enchimento de reforço em compósitos termoplásticos de polipropileno. O resíduo passou por um processo de moagem obtendo partículas de 0,18 mm, que junto com o polipropileno foi processado em uma extrusora e moldado por injeção em ensaio de tração. O módulo de flexão e tração dos compósitos melhorou significativamente com o aumento do teor da farinha da semente de girassol.

Naymakci et al. (2013), investigaram a estabilidade dimensional e o desempenho mecânico de compósitos termoplásticos de polipropileno e farinha de talo de girassol a 30, 40, 50 e 60% em massa. A farinha girassol, o polipropileno com granulados de polipropileno anidrido maleico e sem aglomerante, foram processados numa extrusora. Os autores concluíram que a farinha do caule de girassol pode ser usada com sucesso para produzir compostos termoplásticos estáveis e fortes.

Kocaman, Sisman e Gezer (2011), usaram casca de arroz, talo de girassol, cimento e gesso, na elaboração de compósito para fins de isolamento térmico em edifícios rurais. Os talos de girassol foram triturados em tamanhos de 2 a 5 mm. Os valores de condutividade térmica variaram de 0,062 a 0,145 W/mK para as amostras utilizando cimento como material aglutinante, e de 0,054 a 0,089 W/mK para amostras usando gesso.

Mgbemene et al. (2014) exploraram a viabilidade de produzir painéis com espigas de milho, cascas de arroz e cascas de amendoim, usando extrato de tanino de acaia mimosa natural como aglomerante. As propriedades mecânicas do painel de partículas derivadas de casca de arroz e casca de amendoim não satisfizeram os requisitos da norma europeia em termos de resistência à flexão. Já os de espigas de milho atenderam as especificações, mas com densidade mais alta em comparação com o aglomerado comum de madeira. Os painéis de espiga de milho apresentaram características como a capacidade de ser perfurado.

Binici, Askogan e Demirhan (2016) desenvolveram um compósito feito de talo de milho, e como aglomerante gesso e resina epóxi. Os autores avaliaram a resistência à compressão e flexão, o coeficiente de velocidade de penetração sonora e a condutividade térmica, e concluíram que o material pode ser usado no isolamento térmico.

Panyakaew e Fotios (2011) fabricaram compósitos de casca de coco e bagaço de coco como matéria-prima, não utilizando um aglomerante. No estudo, foi empregado o método de prensagem a quente para investigar os efeitos da densidade da placa, bem como o isolamento térmico. Os autores constataram que concomitante ao aumento da densidade do material, a resistência do mesmo também aumentava.

Adamy, Rosa e Rosa (2016) compararam diferentes compósitos tendo como base o talo de girassol, quanto suas propriedades isolantes em relação aos requisitos de desempenho térmico mínimo estabelecidos na norma ABNT NBR 15575-4:2013. Nesse estudo, foram comparados doze compósitos obtidos em pesquisas anteriores, constatando que todos poderiam ser usados em aplicações na função de isolamento térmico em edificações no Brasil, sustentando que o desenvolvimento de compósitos à base de resíduos agrícolas, neste caso o talo de girassol, têm um futuro promissor para uso como isolante térmico.

2.4 COMPÓSITO

Smith e Hashemi (2012) definem compósito como um material formado por uma mistura ou combinação de dois ou mais micro ou macro constituintes que diferem na forma e na composição química e que, em sua essência, são insolúveis uns nos outros.

A abrangência da utilização de compósitos é ampla, seja na construção civil, na área automotiva, aeroespacial, recreação e lazer, bens de consumo, ou na eletrônica, enfim, o alcance do uso desse tipo de material é amplo. Estudos nessa área têm crescido cada vez mais, devido à necessidade por recursos sustentáveis e econômicos.

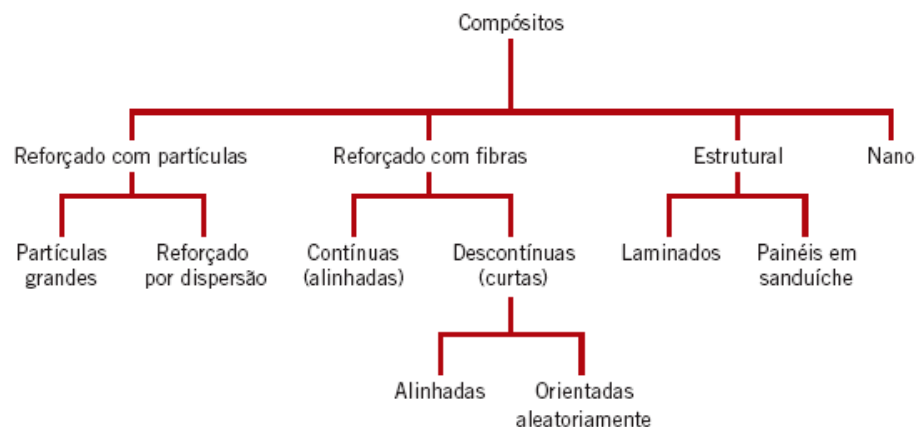
Callister Jr. e Rethwisch (2016) relatam que um compósito pode ser considerado como qualquer material multifásico que exibe uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases constituintes, obtendo a melhor combinação de propriedades. Melhores combinações de propriedades são obtidas por uma combinação adequada de dois ou mais materiais distintos. Um equilíbrio entre propriedades também é feito para muitos materiais compósitos. Smith e Hashemi (2012) reforçam essa ideia, ao relatar a importância dos compósitos no campo da engenharia, que se deve ao fato de que ao combinar dois ou mais materiais diferentes, pode-se obter um material

compósito cujas propriedades são superiores, ou até mesmo melhores em alguns aspectos, em relação às propriedades de cada um dos componentes.

De acordo com Newell (2010), de forma semelhante às ligas metálicas, os compósitos misturam dois ou mais materiais, para formar, juntos, um material com propriedades que são diferentes das de ambos os materiais iniciais. Entretanto, os compósitos diferem das ligas porque os materiais iniciais continuam a existir separadamente como uma fase distinta. Os materiais compósitos são classificados em uma de três categorias: compósitos reforçados por fibras (têm fibras resistentes envolvidas por uma matriz, normalmente amorfa, que protege e orienta as fibras), compósitos particulados (envolvem partículas grandes, dispersas em uma matriz), e compósitos laminados (envolvem camadas alternadas de material unidas umas às outras).

Alguns compósitos apresentam rigidez e resistência semelhantes à de alguns metais, porém com densidade menor e, conseqüentemente, peso resultante mais baixo, tornando-se um material atraente em situações nas quais o peso do produto é um fator a ser considerado (SMITH; HASHEMI, 2012). Para os autores, principalmente no que tange aos materiais cerâmicos, a desvantagem principal da maioria dos compósitos deste tipo é a fragilidade e a baixa resistência à fratura. Os compósitos são classificados conforme ilustra a Figura 2.

Figura 2 – Esquema da classificação dos compósitos



Para Smith e Hashemi (2012) os compósitos com partículas grandes são aqueles em que as interações partícula-matriz não podem ser tratadas a nível atômico ou molecular, a fase particulada é mais dura e mais rígida do que a matriz. Essas partículas de reforço tendem a restringir o movimento da fase matriz na vizinhança de cada partícula. Essencialmente, a matriz transfere parte da tensão aplicada às partículas, as quais suportam uma fração da carga. O grau de reforço ou de melhoria do comportamento mecânico depende de uma ligação forte na interface matriz-partícula.

Os compósitos reforçados por dispersão apresentam partículas geralmente muito menores, com diâmetros entre 0,01 e 0,1 μm (10 e 100 nm). As interações partícula-matriz que levam ao aumento da resistência ocorrem a nível atômico ou molecular e a matriz suporta a maior parte da carga aplicada, e as pequenas partículas dispersas impedem ou dificultam o movimento das discordâncias (CALLISTER JR.; RETHWISCH, 2016).

Em relação aos compósitos reforçados com fibras, Callister Jr. e Rethwisch (2016), descrevem que os objetivos desses materiais incluem, com frequência, alta resistência e/ou rigidez em relação ao peso. Essas características são expressas em termos dos parâmetros resistência específica e módulo específico, que correspondem, respectivamente, às razões entre o limite de resistência à tração e a massa específica e entre o módulo de elasticidade e a massa específica.

A utilização de fibras naturais em um compósito tem a principal finalidade de fazer com que o mesmo atue como uma carga de material reciclável e de baixo custo à matriz, do que realmente reforçá-la mecanicamente (NETO, PARDINI, 2006).

O uso de fibras naturais de origem vegetal em compósitos envolve questões ambientais, sociais e econômicas. As principais vantagens das fibras vegetais são a baixa massa específica; maciez e abrasividade reduzida; são recicláveis, não tóxicas e biodegradáveis; e possuem um baixo custo (NETO, PARDINI, 2006). Os autores trazem também as desvantagens e limitações das fibras vegetais, como a baixa temperatura de processamento; alta sensibilidade a efeitos ambientais, como variação de temperatura e umidade; sofrem influências referentes ao solo, como época de colheita, processamento após a colheita e localização; apresentam geometria complexa e não uniforme; e propriedades mecânicas modestas quando comparadas aos materiais tradicionais.

Já quanto ao compósito estrutural, Callister Jr. e Rethwisch (2016) relatam que é um compósito multicamada e em geral de baixa massa específica, usado em aplicações que exigem integridade estrutural, resistências à tração, compressão e torção e rigidez normalmente elevadas. As propriedades desses compósitos dependem não somente das propriedades dos materiais constituintes, mas também do projeto geométrico dos vários elementos estruturais. Os compósitos laminados e os painéis-sanduíche são dois dos mais comuns compósitos estruturais.

Os nanocompósitos são compostos por partículas com tamanho nanométrico que estão inseridas em um material de matriz. Eles podem ser projetados para possuir propriedades mecânicas, elétricas, magnéticas, óticas, térmicas, biológicas e de transporte que são superiores às de materiais carregados convencionais (CALLISTER JR. E RETHWISCH, 2016).

De acordo com Rizzo et al. (2015), a combinação de diferentes materiais para composições de elementos construtivos deve atender aos critérios de viabilidade técnica e, além de questões ambientais, novos materiais com propostas de reuso e reciclagem devem também respeitar exigências específicas, conforme sua indicação de aplicação. No caso da construção civil, os materiais precisam atender vários requisitos, como de segurança estrutural e contra o fogo, de desempenho térmico, acústico, de durabilidade e de funcionalidade (ABNT, 2013a).

Na maior parte das aplicações de compósitos poliméricos na construção civil, há uma forte exigência para um desempenho adequado em caso de incêndio. Em termos qualitativos, a reação ao fogo de materiais compósitos é semelhante à da madeira, ou seja, quando o material é relativamente fino, a queima ocorre rapidamente. Por outro lado, quando o material compósito é relativamente espesso, forma-se uma camada de proteção que pode prolongar o tempo de integridade estrutural sem perder parte significativa de sua resistência mecânica (RIZZO, et al., 2015).

2.5 RUÍDO NA INDÚSTRIA

O ruído, o calor, vibrações, pressões, radiações entre outros, são considerados estressores ambientais encontrados em vários locais de trabalho. Os trabalhadores, por

estarem expostos a estes agentes, sofrem uma série de efeitos sobre a saúde e bem-estar. O ruído está presente nos mais diversos ramos de atividades e sabe-se que os trabalhadores expostos ao mesmo podem apresentar dentre outras alterações, a perda auditiva e o zumbido (BOGER, BARRETO, 2015). Deve-se reconhecer que o ruído é um sério risco para a saúde, e com a indústria moderna, problemas como a surdez foram intensificados. Assim, existe a relação entre ruído e dinheiro, pois pagar um trabalhador por indenização pela surdez é mais caro do que implementar o controle industrial do ruído (BIES, HANSEN, 2003).

Para proteger os trabalhadores dos efeitos nocivos do ruído excessivo nas indústrias, é necessário implementar um programa de conservação auditiva bem organizado. Isto inclui levantamentos regulares de ruído do ambiente de trabalho, testes audiométricos regulares dos trabalhadores expostos, instalação e monitoramento de equipamento de controle de ruído, consideração de ruído na aquisição de novos equipamentos, considerar a reorganização do local de trabalho para minimizar o número de indivíduos expostos e a duração da exposição (BIES, HANSEN, 2003).

A norma regulamentadora N^o 15 trata sobre atividades e operações insalubres. De acordo com a NR 15, entende-se por ruído contínuo ou intermitente o ruído que não seja ruído de impacto, e devem ser medidos em decibel (dB), possuindo um limite máximo de exposição (BRASIL, 1978).

Os tempos de exposição aos níveis de ruído não devem exceder os limites de tolerância do Quadro 1, dados em dB (A), sendo o A um filtro ponderador. Os filtros ponderadores são utilizados para modificar o espectro sonoro de acordo com a resposta do sistema auditivo às diferentes frequências do som (BISTAFA, 2006).

Para a NR 15, ruído de impacto é aquele que apresenta picos de energia acústica de duração inferior a 1 (um) segundo, a intervalos superiores a 1 (um) segundo. Em uma indústria, os critérios de ruído são importantes para o projeto de salas de reunião, salas de treinamento, auditoria e instalações nas quais as pessoas possam se comunicar, ou simplesmente buscar descanso e abrigar-se do ruído excessivo (BIES, HANSEN, 2003).

Quadro 1 – Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente

| NÍVEL DE RUÍDO dB (A) | MÁXIMA EXPOSIÇÃO DIÁRIA PERMISSÍVEL |
|-----------------------|-------------------------------------|
| 85 | 8 horas |
| 86 | 7 horas |
| 87 | 6 horas |
| 88 | 5 horas |
| 89 | 4 horas e 30 minutos |
| 90 | 4 horas |
| 91 | 3 horas e 30 minutos |
| 92 | 3 horas |
| 93 | 2 horas e 40 minutos |
| 94 | 2 horas e 15 minutos |
| 95 | 2 horas |
| 96 | 1 hora e 45 minutos |
| 98 | 1 hora e 15 minutos |
| 100 | 1 hora |
| 102 | 45 minutos |
| 104 | 35 minutos |
| 105 | 30 minutos |
| 106 | 25 minutos |
| 108 | 20 minutos |
| 110 | 15 minutos |
| 112 | 10 minutos |
| 114 | 8 minutos |
| 115 | 7 minutos |

Fonte: BRASIL (1978).

Bies e Hansen (2003) classificam o ruído em ruído contínuo, ruído de impulso e ruído de impacto. Onde, o ruído contínuo consiste em uma exposição contínua de oito horas a cada dia ao ruído de banda larga comum. O ruído de impulso consiste em um som de curta duração caracterizado por uma forma de onda de pressão de choque (um aumento quase instantâneo como explosivos ou explosões de armas). Ruídos de impacto são normalmente produzidos por meios não explosivos, como os impactos de metal com metal nos processos industriais.

2.6 ACÚSTICA E RUÍDOS

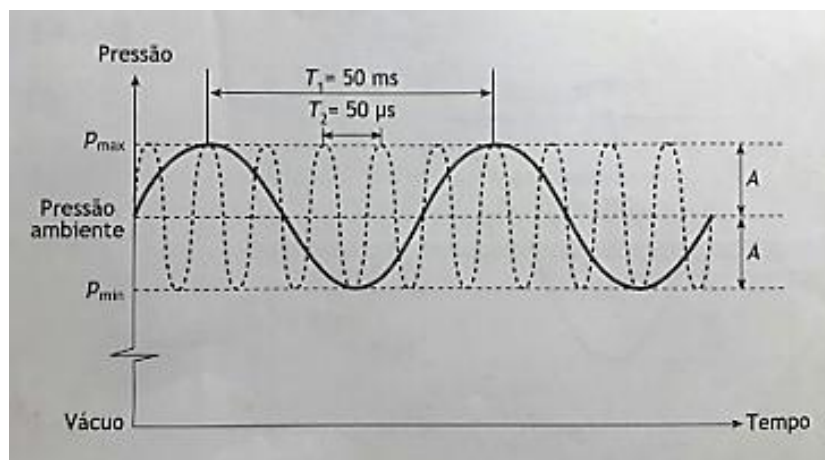
A acústica como ciência pode ser definida como geração, transmissão e recepção de energia como ondas vibratórias na matéria. Quando as moléculas de um fluido ou sólido são deslocadas de suas configurações normais, surge uma força de restauração elástica interna. Essa força, associada à inércia do sistema, permite que a matéria

participe de vibrações oscilantes e, assim, gere e transmita ondas acústicas (KINSLER et al., 2000).

O som é caracterizado por flutuações de pressão em um meio compressível e se propaga em forma de ondas esféricas a partir de uma fonte (GERGES, 2000). O som é dado por meio do medidor de nível sonoro, ou sonômetro, que fornece o nível sonoro total do som que incide no microfone, que, por sua vez, é um transdutor eletroacústico que transforma a pressão sonora em um sinal elétrico equivalente (BISTAFA, 2006).

De modo geral, o som consiste em uma variação da pressão ambiente detectável pelo sistema auditivo (BISTAFA, 2006). Na Figura 3, de acordo com Bistafa (2006), estão esquematizadas as variações da pressão ambiente em função do tempo, onde é definido como período (T) o intervalo de tempo em que um ciclo se completa na curva de variação da pressão ambiente com o tempo, e a amplitude (A) é a variação entre um valor máximo e um valor mínimo da pressão ambiente.

Figura 3 – Variações da pressão ambiente



Fonte: Bistafa (2006, p. 7).

Nesse contexto, a pressão sonora, dada em pascal, é a variação da pressão ambiente que apresente variação cíclica, com período T compreendido entre T_1 e T_2 , e amplitude (A) maior que o limiar da audibilidade, fazendo com que o sistema auditivo detecte o som (BISTAFA, 2006). Para o autor, limiar da audibilidade é a menor variação de pressão ambiente detectável pelo sistema auditivo.

A pressão sonora está correlacionada com a sensação subjetiva de intensidade do som, sendo o quão intenso este som é (BISTAFA, 2006). Ainda segundo o autor, a potência sonora (W) indica a capacidade de uma fonte sonora de gerar som, enquanto que a intensidade sonora consiste na localização e quantificação de fontes sonoras, indicando o fluxo de energia sonora (W/m^2) que atravessa uma superfície.

O nível de pressão sonora consiste na medida física preferencial para caracterizar a sensação subjetiva da intensidade dos sons, sendo calculado com o valor da pressão sonora e é dado em decibel (BISTAFA, 2006).

O bel (B) é uma medida do nível da potência em relação à potência de referência, pois é dado pela equação (1).

$$bel = \log \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad (1)$$

Onde P é a potência do sistema e P_0 uma potência de referência, assim, como 1 B equivale a $P = 10 \cdot P_0$, foi criado o decibel, como submúltiplo do bel, para mostrar com clareza variações menores de potência, tal que 1 B equivale a 10 dB, e dessa forma 1 dB corresponde a $P = 1,26 \cdot P_0$ (BISTAFA, 2006).

O ruído e o barulho são interpretações subjetivas e desagradáveis do som (SALIBA, 2016). O termo ruído consiste em um som (sensação produzida no sistema auditivo) indesejável e sem harmonia que, no geral, possui uma conotação negativa (BISTAFA, 2006). O autor define os seguintes parâmetros físicos que mais contribuem para o incômodo do ruído: conteúdo espectral e níveis sonoros associados; a complexidade do espectro e a existência de tons puros; duração; amplitude e frequência das flutuações de nível; tempo de subida de sons impulsivos.

Kinsler et al. (2000) reforçam que o efeito do ruído sobre as emoções humanas varia de insignificante, gerando de aborrecimento e raiva, até a perturbação psicológica. Também pode exercer fatores econômicos, diminuindo a eficiência do trabalhador, afetando o volume de negócios, diminuindo os valores das propriedades, e assim por diante.

A mecanização e industrialização, juntamente com a população em crescimento, tendem a aumentar a quantidade de ruído gerado e, conseqüentemente, o número de

peessoas expostas a ela, acarretando em uma série de efeitos negativos às mesmas, afetando a qualidade de vida, principalmente em lugares menos desenvolvidos com políticas de gerenciamento de ruído ambiental menos desenvolvidas (FAHY, WALKER, 2004).

Nas últimas décadas, a sociedade progrediu significativamente, desde os pontos de vista industrial, tecnológico e social em relação ao ruído, uma vez que a maioria das ações realizadas pelos seres humanos em relação à indústria, o uso de novas tecnologias, ou as interações cotidianas com o meio ambiente são a causa do ruído (REIXACH et al., 2015).

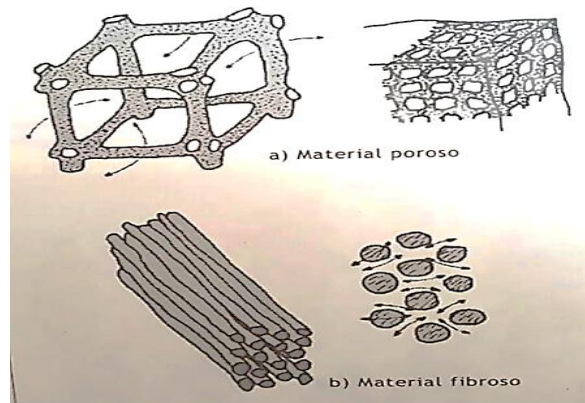
Dessa forma, por meio de rigorosos regulamentos de ruído, houve uma crescente conscientização dos consumidores em relação ao ruído gerado por produtos, e assim o conforto acústico tornou-se um interesse primordial no projeto e fabricação de um sistema mecânico (BARNARD, et al., 2004).

Para Barnard et al. (2004), uma maneira de reduzir os efeitos indesejáveis ou prejudiciais do som é bloquear os caminhos de transmissão do mesmo com tratamentos de materiais acústicos passivos, constituídos geralmente de várias camadas, consistindo em algum tipo de material de barreira densa em combinação com materiais absorventes porosos.

Bistafa (2006) faz a distinção entre absorção e isolamento sonora. A absorção sonora é empregada para controle do tempo de reverberação de um recinto, onde, um material para este fim apresenta estrutura fibrosa ou porosa (Figura 4), são geralmente pouco densos e normalmente não oferecem propriedades estruturais (BISTAFA, 2006). Em relação à isolamento sonora, o autor relata que é utilizada para impedir que o ruído de um recinto se transmita para outro. Apresenta estrutura densa e reflexiva, normalmente oferecendo propriedades estruturais.

Tradicionalmente, os materiais absorventes são feitos de espuma de poliuretano, e a perda de transmissão é uma quantificação chave da eficácia dos tratamentos acústicos para aplicações de engenharia (BARNARD et al., 2004).

Figura 4 – Estrutura de materiais porosos e fibrosos



Fonte: Bistafa (2006, p. 232).

O coeficiente de absorção sonora (α) é uma medida da capacidade de uma superfície em absorver som, conforme fórmula (2).

$$\alpha = \frac{I_{\text{absorvida}}}{I_{\text{incidente}}} = \frac{I_{\text{incidente}} - I_{\text{refletida}}}{I_{\text{incidente}}} = 1 - \frac{I_{\text{refletida}}}{I_{\text{incidente}}} \quad (2)$$

Em que $I_{\text{absorvida}}$ é a intensidade sonora absorvida (energia sonora absorvida por unidade de tempo e por unidade de área da superfície), $I_{\text{refletida}}$ é a intensidade sonora do som refletido, e $I_{\text{incidente}}$ é a intensidade sonora do som incidente (BISTAFA, 2006).

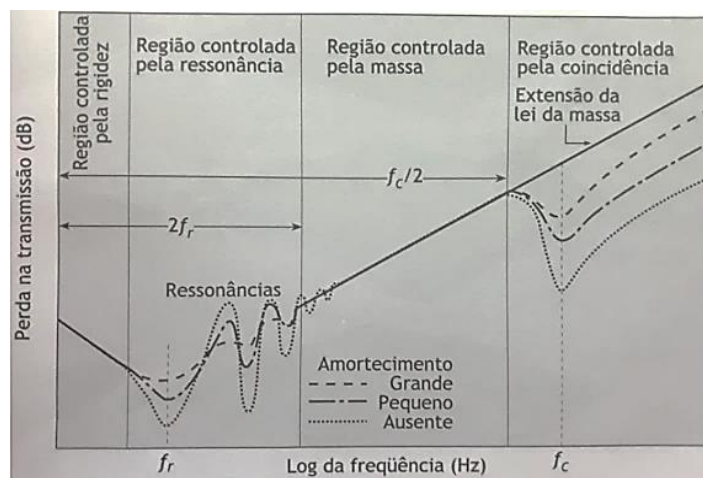
Para Bistafa (2006), a perda na transmissão sonora (PT) é o parâmetro usado para caracterizar a isolamento sonora de uma parede, e é dada pela fórmula (3).

$$PT = 10 \log \frac{1}{\tau} \quad (3)$$

Onde, τ é o coeficiente de transmissão sonora, ou seja, a capacidade de uma parede transmitir (ou isolar) som, e que, quanto menor for, mais isolante será a parede, e assim, maior a perda de transmissão PT (BISTAFA, 2006). Para o autor, a perda na transmissão baseia-se num modelo idealizado, representado por um painel sólido e homogêneo, caracterizado por suas dimensões e características físicas, como rigidez à flexão (B) e densidade superficial (M), onde a perda na transmissão é fortemente

dependente da frequência do som incidente. A Figura 5 ilustra uma curva típica de perda na transmissão em função da frequência, de painéis sólidos e homogêneos, podendo-se observar quatro regiões: nas baixas frequências, a região controlada pela rigidez e região controlada pela ressonância; nas médias frequências, a região controlada pela massa; e, nas altas frequências, a região controlada pela coincidência (BISTAFA, 2006).

Figura 5 – Curva típica de perda na transmissão de painéis sólidos e homogêneos



Fonte: Bistafa (2006, p. 267).

Para Bistafa (2006), na região controlada pela massa, a perda de transmissão é idealmente dada pela fórmula (4).

$$PT = 20 \log(f.M) - 47 \text{ dB} \quad (4)$$

Sendo f a frequência do som incidente em Hz, e M a densidade superficial da parede, em kg/m^2 , assim, quanto maior a massa, maior a perda de transmissão (BISTAFA, 2006). Esta lei de massa prevê que ao duplicar a massa por unidade de área a uma dada frequência, ou duplicar a frequência para uma dada massa por unidade de área, ocorre um aumento de 6 dB na perda na transmissão (KINSLER et al., 2000).

Existem os chamados enclausuramento, cabine, e envoltório acústico. Para Beranek e Vér (2006), o enclausuramento acústico é uma estrutura que protege o meio

ambiente de uma fonte emissora de ruído (geralmente uma máquina). As cabines são estruturas totalmente envolventes especificamente projetadas para proteger um ser humano do ruído ambiental, podendo ser um operador de uma máquina barulhenta ou um supervisor de uma operação de fabricação. Os envoltórios são estruturas acústicas que envolvem de perto a caixa de máquinas, válvulas e tubagens conectadas para fornecer um alto grau de redução de ruído em altas frequências.

A principal diferença entre o enclausuramento e o envoltório acústico é que, no caso do enclausuramento, a camada absorvente de som não está em contato com a superfície do equipamento vibratório, enquanto que no caso do invólucro, a camada absorvente de som porosa está em contato total com o corpo vibrante (BERANEK, VÉR, 2006).

Os materiais porosos são frequentemente utilizados com o objetivo de absorver o som. Em geral os revestimentos sonoros são construídos com algum material poroso, como fibra de vidro ou lã de rocha, mas qualquer material poroso pode ser utilizado (BIES, HANSEN, 2003). As camadas de um material poroso desempenham um papel crucial na absorção de som devido às pequenas dimensões características dos poros (SILVA; MAREZE; BRANDÃO, 2016).

No procedimento de teste ASTM E2611-17, os dados para os cálculos são obtidos a partir de medições de pressão sonora dos microfones, dois posicionados entre a fonte de som e a amostra, e dois posicionados no lado oposto da amostra. O tubo pode ter um diâmetro interno de 100 mm ou 29 mm (ALLAN et al., 2012), ilustrado na Figura 66.

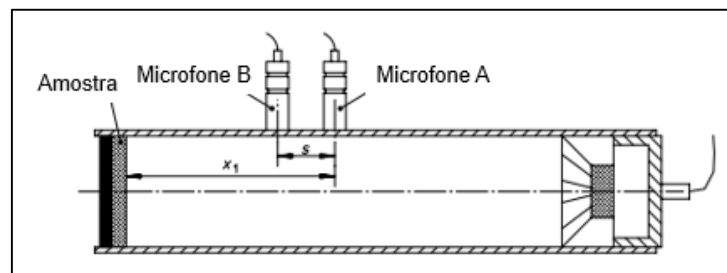
Figura 6 – Tubos de impedância de 100 mm e 29 mm de diâmetro interno



Fonte: Allan et al. (2012, p. 313).

A norma ISO 10534-2 prevê a determinação do coeficiente de absorção sonora e impedância em tubos de impedância, onde, o aparelho é essencialmente um tubo com um suporte para a amostra a ser testada em uma extremidade, e uma fonte de som na outra. As aberturas do microfone geralmente estão localizadas em dois ou três locais ao longo da parede do tubo, mas variações envolvendo um microfone montado no centro ou um microfone de sonda são possíveis (ISO 10534-2). A Figura 77 esquematiza um tubo de impedância mostrando o posicionamento dos microfones e da amostra testada.

Figura 7 – Posição dos microfones no tubo de impedância



Fonte: ISO 10534-2 (1998, p. 6).

No recente estudo de Pedroso, Brito e Silvestre (2017), por meio de uma revisão, foram listados os materiais comumente utilizados e os materiais alternativos usados no controle de ruído. A Tabela 1 apresenta esses resultados para os materiais usuais empregados na absorção sonora, juntamente com o coeficiente de redução de ruído (NRC). A Tabela 2 apresenta os materiais alternativos usados em absorção sonora.

Tabela 1 – Materiais normalmente usados na absorção sonora

| Descrição | Espessura [mm] | Densidade [kg/m ³] | NRC | EE [MJ/kg] |
|-----------------------|----------------|--------------------------------|------|------------|
| Espuma de poliuretano | 50 | 30 | 0,67 | 135 |
| Lã de rocha | 50 | 80 | 0,64 | 20 |
| Lã de vidro | 50 | 50 | 0,68 | 35 |
| EPS | 50 | 28 | 0,50 | 125 |
| XPS | 50 | 25 | 0,33 | 130 |

Fonte: Pedroso, Brito e Silvestre (2017, p. 224).

Tabela 2 – Materiais alternativos para uso em absorção sonora

| Descrição | Espessura [mm] | Densidade [kg/m ³] | NRC | EE [MJ/kg] |
|--------------------------------------|----------------|--------------------------------|------|------------|
| Aglomerado de borracha reciclada | 30 | 1400 | 0,52 | nd |
| Aglomerado de rolha expandida | 50 | 105 | 0,41 | 4 |
| Esteira de fibras de coco | 35 | 70 | 0,52 | 42 |
| Cânhamo | 40 | 40 | 0,57 | 40 |
| Celulose | 50 | 28 | 0,70 | 19 |
| Fibras têxteis recicladas | 50 | 50 | 0,95 | 16 |
| Lã de ovelha | 60 | 25 | 0,52 | 29 |
| Lã de madeira aglomerada com cimento | 50 | 470 | 0,51 | 28 |
| Linho | 35 | 43 | 0,71 | 50 |
| Palha | 50 | 80 | 0,70 | 14,5 |

Fonte: Pedroso, Brito e Silvestre (2017, p. 224).

O estudo de Pedroso, Brito e Silvestre (2017), mostrou que os materiais alternativos em comparação aos usados regularmente na construção possuem boas características de absorção sonora.

2.6.1 Materiais usados na absorção sonora

Existe uma variedade de materiais disponíveis para absorção. A lã mineral, um material absorvedor acústico, é feita de areia, rocha basáltica e vidro reciclado. Essas matérias-primas são fundidas a alta temperatura e depois fiadas ou puxadas em filamentos de lã (COX, D' ANTONIO, 2005).

A fibra de vidro é constituída pelos mesmos ingredientes que o vidro normal: areia, calcário, carbonato de sódio, entre outros, e o processo de fabricação é semelhante a lã de rocha ou de basalto, embora estes tendam a ser mais pesados (COX, D 'ANTONIO, 2005). Para os autores, a absorção acústica alcançada é determinada pela composição da fibra, orientação, dimensões, densidade do produto e quantidade e natureza do ligante usado.

As espumas podem ter estruturas celulares abertas ou fechadas, sendo que com estruturas de células abertas, os poros estão interligados e uma absorção acústica

significativa pode resultar. Já as estruturas celulares fechadas, não permitem a passagem do som e, portanto, a absorção é bastante baixa (COX, D' ANTONIO, 2005).

Bistafa (2006) listou o coeficiente de absorção sonora em bandas de oitava de alguns materiais porosos e fibrosos (Figura 88), onde, analisando os valores do material fibroso placa de lã de vidro com 25 mm de espessura em 1000 Hz, verifica-se um resultado de 0,87 e 0,94 (densidade de 30 kg/m³ e 60 kg/m³, respectivamente). Da mesma forma, avaliando os dados do material poroso espuma flexível de poliuretano poliéster com 20 mm e 35 mm de espessura, em 1000 Hz, têm-se os valores de 0,44 e 0,71, respectivamente.

Figura 8 – Coeficientes de absorção sonora de materiais porosos e fibrosos

| Material | | | | | Frequência central da banda de oitava (Hz) | | | | | | NRC | |
|----------|--|--------------------------------|----------------|----------------|--|------|------|-------|-------|-------|------|------|
| | | | | | 125 | 250 | 500 | 1.000 | 2.000 | 4.000 | | |
| Fibroso | Isover - Santa Marina Placa de lã de vidro aglomerado | Densidade (kg/m ³) | 30 | Espessura (mm) | 25 | 0,08 | 0,27 | 0,50 | 0,87 | 0,98 | 1,04 | 0,66 |
| | | | 60 | | 50 | 0,17 | 0,62 | 0,90 | 1,08 | 1,07 | 0,97 | 0,92 |
| | | 60 | Espessura (mm) | 25 | 0,05 | 0,27 | 0,68 | 0,94 | 1,03 | 1,05 | 0,73 | |
| | | | | 50 | 0,13 | 0,75 | 0,96 | 1,03 | 0,88 | 0,96 | 0,91 | |
| | Thermax - RockFibras Manta de lã de rocha basáltica | Densidade (kg/m ³) | 32 | Espessura (mm) | 50 | 0,35 | 0,48 | 0,74 | 0,88 | 0,91 | 0,96 | 0,75 |
| | | | 64 | | 100 | 0,85 | 0,98 | 1,10 | 1,11 | 1,09 | 1,18 | 1,07 |
| | | 64 | Espessura (mm) | 50 | 0,50 | 0,59 | 0,91 | 1,05 | 1,06 | 1,06 | 0,90 | |
| | | | | 100 | 0,87 | 1,23 | 1,19 | 1,15 | 1,12 | 1,10 | 1,17 | |
| Poroso | Espumex - Acústica São Luiz Espuma flexível de poliuretano poliéster incombustível | Espessura (mm) | 40 | 0,06 | 0,19 | 0,38 | 0,52 | 0,48 | 0,65 | 0,39 | | |
| | | | 60 | 0,10 | 0,28 | 0,49 | 0,53 | 0,47 | 0,82 | 0,44 | | |
| | | | 70 | 0,15 | 0,42 | 0,75 | 0,74 | 0,66 | 0,95 | 0,64 | | |
| | | | 75 | 0,15 | 0,50 | 0,90 | 0,99 | 1,00 | 1,00 | 0,85 | | |
| | | | 75 | 0,15 | 0,50 | 0,90 | 0,99 | 1,00 | 1,00 | 0,85 | | |
| | Sonex - Illbruck Espuma flexível de poliuretano poliéster (com retardadores de chama) Densidade: 32 kg/m ³ | Espessura (mm) | 20 | 0,04 | 0,12 | 0,28 | 0,44 | 0,60 | 0,73 | 0,36 | | |
| | | | 35 | 0,06 | 0,20 | 0,45 | 0,71 | 0,95 | 0,89 | 0,58 | | |
| | | | 50 | 0,07 | 0,32 | 0,72 | 0,88 | 0,97 | 1,01 | 0,72 | | |
| | | | 75 | 0,13 | 0,53 | 0,90 | 1,07 | 1,07 | 1,00 | 0,89 | | |
| | | | 75 | 0,13 | 0,53 | 0,90 | 1,07 | 1,07 | 1,00 | 0,89 | | |

Fonte: Bistafa (2006, p.235).

O comportamento dos materiais granulares (alguns materiais reciclados) é diferente dos fibrosos, como a lã mineral. As diferenças surgem porque os grãos se agrupam de maneira diferente das fibras, geralmente resultando em uma menor

porosidade dos materiais granulares em comparação aos materiais fibrosos (COX, D' ANTONIO, 2005). Segundo os autores, a absorção é muito mais desigual em frequência para materiais granulares do que para materiais fibrosos. Por exemplo, a lã mineral muitas vezes irá apresentar maior absorção acústica, mas os materiais granulados reciclados podem ser favorecidos por razões como a sustentabilidade.

2.6.2 Isolamento e absorção sonora através de materiais compósitos

Foi feito um estudo quanto ao que diz respeito à trabalhos recentes feitos e fomentados a partir do uso de compósitos na isolação acústica, realizados por estudiosos e pesquisadores. Isto se deu com o intuito de verificar a relação da presente pesquisa com os trabalhos já feitos.

Há um grande interesse em tentar fabricar produtos a partir de materiais reciclados, sejam tecidos reciclados, metal, espumas, madeira, plásticos ou borracha (COX, D' ANTONIO, 2005).

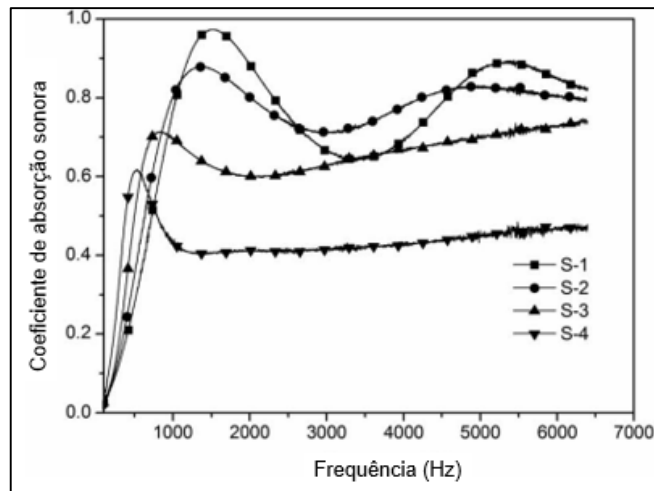
Em pesquisa para avaliar o coeficiente de absorção sonora de diferentes materiais compósitos, foram construídas placas de cortiça e de fibra têxtil (lã), e placas de diferentes composições de fibras, com espessuras de 3 mm e 10 mm. O estudo evidencia que a espessura dos materiais é um fator crucial que influencia diretamente nas propriedades de absorção do som: quanto mais a espessura do material aumenta, maior sua capacidade de absorver as ondas sonoras em frequências mais baixas (IASNICU et al., 2015). A partir de 1250 Hz, a curva de absorção sonora de uma placa mais espessa mostra um aumento exponencial, atingindo um coeficiente de 0,81.

Reixach et al. (2015) desenvolveram um estudo utilizando a biomassa de fibras da poda de laranjeira juntamente com polipropileno para preparar materiais compósitos. A biomassa foi submetida a um processo de esmagamento e classificação. Os autores concluíram por meio de medições em tubo de impedância que tais compósitos apresentam bom comportamento das propriedades acústicas contra o som aéreo, mostrando semelhanças com as placas convencionais.

No estudo de Sun et al. (2013b) foi investigada a viabilidade de reutilizar resíduos de placas de circuito impresso na produção de materiais absorventes de som, usando a resina epóxi como agente aglutinante. Uma mistura composta de resina epoxi,

etilenodiamina e acetona foi agitada e adicionada às partículas não metálicas em um misturador rotativo por 15 minutos. Para a produção dos compósitos cilíndricos para a medição acústica foram usados moldes de aço inoxidável com diferentes dimensões e levemente comprimidos (0,01 MPa). Foi estudado o coeficiente de absorção sonora dos compósitos porosos com diferentes tamanhos de partículas, onde na Figura 99 é possível verificar as curvas de absorção sonora de quatro tamanhos de partículas (S-1 a S-4), no qual a partícula S-1 (partícula maior), mostra um coeficiente de absorção máximo de 0,97, ou seja, 97% da energia sonora incidente pode ser absorvida para a frequência, em torno de 1500 Hz (SUN, et al., 2013b).

Figura 9 – Coeficientes de absorção sonora de diferentes partículas



Fonte: Sun et al. (2013b, p. 1273).

No trabalho realizado por D'Amore et al. (2017), foi elaborada uma espuma inovadora para uso em isolamento acústico produzida com resíduo de vidro. Shi et al. (2017) sintetizaram nanotubos de sílica oca e incorporaram na resina epoxi para preparar nanocompósitos, e estudaram o desempenho acústico dos mesmos. Piégay et al. (2018) estudaram lãs vegetais, no caso a lã de linho e lã de cânhamo, quanto ao comportamento acústico.

Estudos empregando a fibra de coco como material alternativo no controle de ruído vêm sendo elaborados. Fouladi et al. (2010) estudaram o aumento da absorção acústica

de estruturas multicamadas construídas por fibra de coco, por meio da adição de placa perfurada e lacunas de ar. Fouladi, Ayub e Nor (2011) investigaram a absorção acústica da fibra de coco de amostras frescas naturais e fibras preparadas industrialmente misturadas com aglutinante. Huang et al. (2013) pesquisaram a absorção do som, o isolamento térmico e o desempenho da resistência ao fogo de uma placa composta de fibra de coco e um polímero plástico.

Rabbi et al. (2014) estudaram os efeitos da aplicação de nanofibras de poliuretano e poliacrilonitrila em camadas não tecidos de poliéster no comportamento de absorção sonora. Fatima e Mohanty (2011) analisaram as propriedades acústicas da fibra de juta e feltro (compósito de juta de látex natural) medidas em termos de coeficiente de absorção sonora normal e perda de transmissão sonora, apresentando uma alternativa ecológica, biodegradável e econômica para materiais de controle de ruído.

No trabalho preconizado por Elkhessaimi, Doyen e Smith (2017) o efeito da microestrutura no isolamento acústico de placas de gesso foi investigado por meio de três microestruturas diferentes de gesso. Em uma delas, teve a adição de cortiça para projetar uma nova placa composta.

Taghiyari, Taheri e Omrani (2016) investigaram a correlação das propriedades acústicas com as propriedades físicas e mecânicas de diferentes painéis feitos de talo de girassol e cavaco de madeira. Foram fabricados dois tipos de placas em camadas, um com talo de girassol na seção central e outro nas camadas superficiais. Então as placas estratificadas foram comparadas com dois tipos de placas homogêneas feitas de 100% caule de girassol e 100% cavacos de madeira. O maior módulo de perda de transmissão sonora foi encontrado nas placas homogêneas com 100% talo de girassol. Os autores recomendaram a não remoção das medulas do caule do girassol.

Mati-Baouche et al. (2016) desenvolveram compósitos feitos com talos trituradas de girassol e quitosana, onde avaliaram a absorção sonora do material através do tubo de impedância. Os talos foram moídos em partículas entre 3 e 5 mm. O material foi compactado durante 1 minuto a 20°C sob pressão de 0,032 MPa usando pesos, utilizando molde de 180x50x40 mm. Após secagem, as placas foram cortadas em forma delgada para o ensaio mecânico e em forma cilíndrica para o ensaio em tubo de impedância. A absorção acústica deste material atingiu um pico de 0,7.

Na pesquisa de Berardi e Iannace (2015), os autores analisaram a absorção sonora de fibras brutas, kenaf, madeira, cânhamo, coco, cortiça, cana, papelão e lã de ovelha, sem serem influenciadas por um aglutinante. O resultado desse estudo pode ser visualizado no Quadro 2.

Quadro 2 – Valores do coeficiente de absorção sonora de fibras brutas

| Material | Espessura [m] | Frequência [Hz] | | | | | NRC | |
|--------------|----------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|
| | | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | | |
| Kenaf | (Leve) | 0,06 | 0,09 | 0,19 | 0,33 | 0,68 | 0,90 | 0,55 |
| | (Denso) | 0,04 | 0,08 | 0,18 | 0,32 | 0,70 | 0,94 | 0,55 |
| | (Denso) | 0,06 | 0,10 | 0,30 | 0,61 | 0,99 | 0,95 | 0,70 |
| Madeira | (Fibras) | 0,06 | 0,20 | 0,40 | 0,50 | 0,65 | 0,91 | 0,60 |
| | (Mineralizada) | 0,03 | 0,05 | 0,10 | 0,10 | 0,20 | 0,40 | 0,20 |
| Cânhamo | 0,03 | 0,01 | 0,15 | 0,25 | 0,51 | 0,70 | 0,40 | |
| Coco | 0,05 | 0,10 | 0,20 | 0,34 | 0,67 | 0,79 | 0,50 | |
| | 0,10 | 0,25 | 0,42 | 0,83 | 0,81 | 0,94 | 0,75 | |
| Cortiça | 0,03 | 0,01 | 0,02 | 0,10 | 0,30 | 0,86 | 0,30 | |
| Cana | (Misturado) | 0,04 | 0,05 | 0,10 | 0,35 | 0,54 | 0,58 | 0,40 |
| | (Misturado) | 0,08 | 0,10 | 0,21 | 0,56 | 0,52 | 0,68 | 0,50 |
| | (Só casca) | 0,04 | 0,10 | 0,12 | 0,38 | 0,64 | 0,62 | 0,45 |
| | (Só casca) | 0,08 | 0,10 | 0,26 | 0,63 | 0,54 | 0,89 | 0,60 |
| Papelão | 0,10 | 0,10 | 0,27 | 0,48 | 0,54 | 0,66 | 0,50 | |
| Lã de ovelha | 0,04 | 0,10 | 0,14 | 0,36 | 0,73 | 0,94 | 0,55 | |
| | 0,06 | 0,15 | 0,28 | 0,66 | 0,95 | 0,94 | 0,70 | |

Fonte: Berardi, Iannace (2015, p. 844).

2.7 PROPRIEDADES DE MATERIAIS ACÚSTICOS

2.7.1 Resistividade de fluxo

A resistividade do fluxo é uma medida de quão facilmente o ar pode entrar em um absorvedor poroso e a resistência que o fluxo de ar encontra através de uma estrutura, dando uma ideia da quantidade de energia sonora que pode ser perdida devido aos efeitos da camada limite no material (COX, D' ANTONIO, 2005).

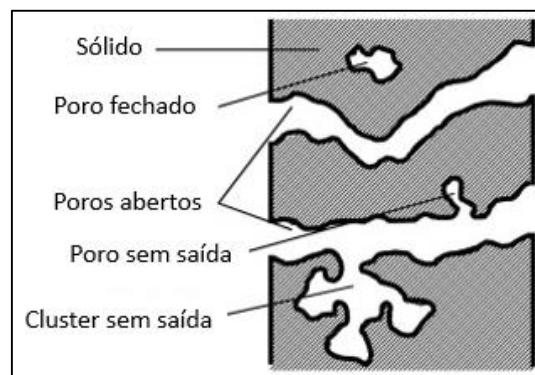
Se um material tiver uma alta resistividade de fluxo, significa dizer que é difícil que o ar flua pela superfície (BERANEK, VÉR, 2006).

2.7.2 Porosidade

Porosidade dá a quantidade fracionária de volume de ar dentro do absorvente, é uma relação entre o volume total de poros e o volume total do absorvente. Bons absorventes tendem a ter alta porosidade (COX, D' ANTONIO, 2005).

Mati-Baouche et al. (2016) relataram em seu estudo que em um material poroso, o fluido pode estar contido em inclusões ou conectado aos arredores, classificam a porosidade em porosidade total, fechada e aberta, conforme a Figura 100. Para os autores, a porosidade que importa na propagação de ondas acústicas é a porosidade aberta, sendo a porosidade fechada considerada como parte do sólido.

Figura 10 - Diferentes porosidades em um meio poroso



Fonte: Mati-Baouche et al. (2016, p. 181).

2.7.3 Tortuosidade

A tortuosidade de um sólido poroso é uma medida da irregularidade de partes preenchidas de fluido através da matriz sólida (BERANEK, VÉR, 2006). Quanto mais complexo o caminho de propagação através do absorvente, maior a absorção, e a complexidade do caminho é parcialmente representada pela tortuosidade (COX, D'ANTONIO, 2005).

Em frequências muito altas, a tortuosidade é responsável pela diferença entre a velocidade do som no ar e a velocidade do som através de um material poroso rígido (BERANEK, VÉR, 2006). Segundo os autores, a tortuosidade está relacionada ao fator de formação usado para descrever a condutividade elétrica de um sólido poroso saturado com um fluido condutor.

2.8 GIRASSOL

O girassol (*Helianthus annuus L.*) é uma dicotiledônea anual da família *Compositae*, originária do continente Norte Americano, sendo uma oleaginosa que apresenta características agronômicas importantes, como maior resistência à seca, ao frio e ao calor do que a maioria das espécies normalmente cultivadas no Brasil (CASTRO, et al., 1996). Os autores relatam que, em média, além de 400 kg de óleo, para cada tonelada de grão, são produzidas 250 kg de casca e 350 kg de torta, com 45% a 50% de proteína bruta, sendo basicamente aproveitado na produção de ração, em misturas com outras fontes de proteína.

O talo de girassol, por sua vez, não possui aplicação real na agricultura e estima-se que cada hectare de girassol pode produzir de 3 a 7 toneladas de biomassa seca, incluindo caules (MARECHAL; RIGAL, 1999).

O desempenho produtivo de uma lavoura de girassol está diretamente relacionado à época de semeadura, do genótipo, do manejo adequado da fertilidade do solo, além dos fatores ambientais, como a distribuição de água uniforme durante o ciclo da cultura. É uma planta que se adapta a diferentes condições de clima, podendo ser cultivada em todo o Brasil. No Rio Grande do Sul, pode ser cultivado entre os meses de julho a setembro, com a colheita realizada até meados de dezembro, o que permite a

implantação de uma segunda cultura (soja ou milho) na mesma estação de crescimento (LEITE, et al., 2007).

Até 2005, o cultivo do girassol basicamente era voltado à produção de aquênios (sementes) para alimentação de pássaros, produção de óleo comestível e ração para animais, quando então a cultura despertou o interesse de agricultores, técnicos e empresas devido à possibilidade de utilizar o óleo na fabricação de biodiesel (BACKES, et al., 2008). Souza et al. (2015) reforçam essa ideia, relatando que o girassol é uma espécie que tem apresentado no Brasil expansão de área de cultivo.

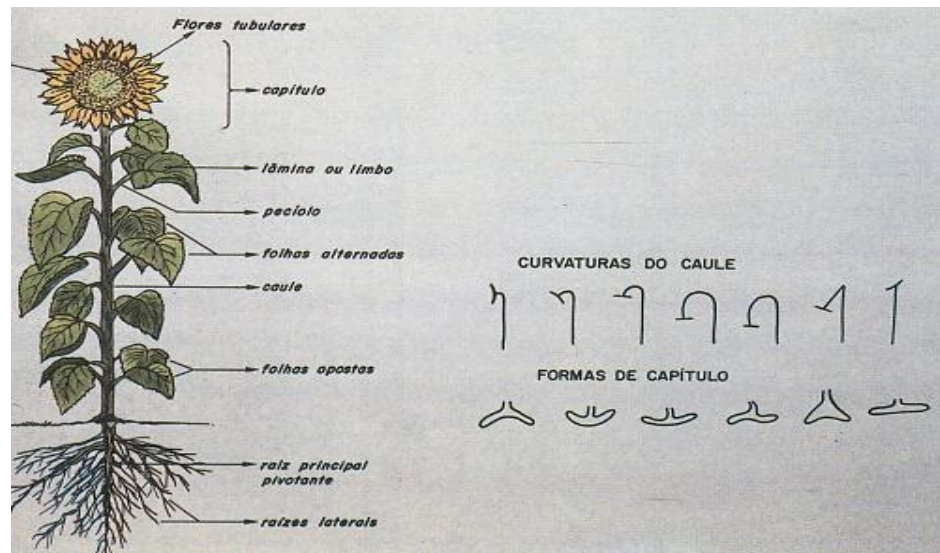
O caule do girassol é ereto, geralmente não ramificado, com altura variando entre 1,0 a 2,5 m, com cerca de 20 a 40 folhas por planta. No capítulo se desenvolvem os grãos. Nos genótipos comerciais, o peso de 1000 aquênios varia de 30 a 60 g e o número mais frequente de aquênios pode variar entre 800 e 1700 por capítulo. Apresenta sistema radicular pivotante e ramificado, explora grande profundidade de solo, absorvendo água e nutrientes onde outras plantas normalmente não alcançam, sendo sensível a solos compactados (CASTRO, et al., 1996).

O girassol pode ser distinguido das outras plantas pelo tamanho e colorido da sua flor. A altura, diâmetro da cabeça, tamanho do aquênio, e dias para o florescimento variam muito, dependendo do ambiente em que as plantas de girassol são plantadas. Aquênios são utilizados para o óleo comestível, ração para aves, e como um produto comestível para as pessoas, pode ser usado como forragem para animais, além da flor ser usada na floricultura, devido à sua estética, cor e estrutura das pétalas (SEILER, 1997).

Conforme a Figura 111, a planta do girassol é caracterizada pelo seu sistema radicular com raiz principal pivotante, o capítulo pode variar sua forma em seis classes, assim como o caule, podendo apresentar diferentes curvaturas (CASTIGLIONE, et al., 1997).

Rossi (1998) relata que o caule da planta possui cor verde até o final da floração, tornando-se amarelo e pardo durante a colheita, é cilíndrico e constituído por um tecido esponjoso, forma no seu ápice no momento da reprodução um alargamento chamado receptáculo, onde são inseridas as flores, formando o capítulo.

Figura 11 – Características de uma planta de girassol



Fonte: Castiglione et al. (1997, p. 9).

Marechal e Rigal (1999) relataram em seu trabalho que a parte externa da haste de girassol (*bark*), de cor marrom, é fibrosa e representa 90% do peso seco do total do caule. Já a parte interna (*pith*), tem alto teor de pectina e baixos níveis de hemiceluloses e lignina. A estrutura do caule, parte interna e externa, pode ser visualizada na Figura 122.

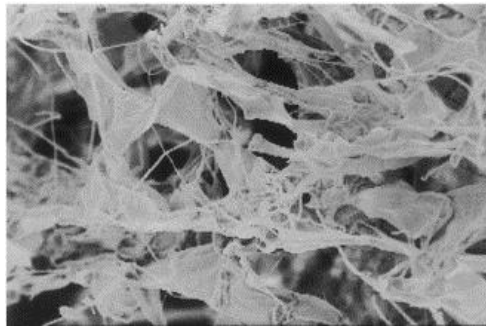
Figura 12 – Estrutura do caule de girassol



Fonte: Mathias, et al. (2015, p. 8079).

De modo geral, o caule do girassol pode ser dividido em duas partes, consistindo de fibra externa (esclerênquima) e interna (parênquima), este último consistindo em um emaranhado de filamentos, conforme Figura 133.

Figura 13 – Parte parênquima do caule sob o microscópio eletrônico de varredura



Fonte: Marechal, Rigal (1999, p. 188).

2.9 GESSO

Considera-se o gesso um aglomerante de muita eficiência energética, sendo de grande interesse para a sustentabilidade da construção, uma vez que no processo de fabricação do cimento Portland são exigidas temperaturas da ordem de 1450°C, emitindo dióxido de carbono na atmosfera; o gesso pode ser obtido com menos de 170°C, liberando apenas vapor d'água na sua produção (SILVA, BARBOSA, OLIVEIRA, 2012). Outra vantagem do gesso quando comparado ao cimento Portland, está na maior taxa de endurecimento do gesso em condições de ar seco (PANCHENKO; KOZLOV, 2016).

O Brasil possui a maior reserva mundial de gipsita e representa 1,4% da produção mundial. O estado de Pernambuco é responsável por 95% da produção nacional (MEIRA, et al., 2013).

O gesso apresenta excelente propriedade de resistência ao fogo (YU; BROUWERS, 2012). É um material endurecido através de uma reação de hidratação, onde, quando a suspensão líquida reage, cristais sólidos de gesso crescem, restando poucos poros entre os cristais (ASKELAND; WRIGHT, 2014). Os autores relatam que maiores quantidades de água acarretam em mais porosidade, e conseqüentemente reduz a resistência final do gesso.

A aplicação do gesso é significativamente inferior aos materiais similares com base em cimento, devido à baixa resistência à água. Dessa forma, os materiais e produtos de gesso são usados basicamente em condições de umidade seca e normal (KONDRATIEVA et al., 2017).

A pasta de gesso é definida pela norma ABNT NBR 13867:1997 como uma mistura pastosa de gesso e água (não deve estar contaminada com impurezas), com capacidade de aderência e endurecimento. Os aditivos são materiais que podem ser incorporados em pequenas proporções no preparo da pasta de gesso, com o objetivo de modificar algumas propriedades da pasta. Em estado de endurecimento não se tornará novamente trabalhável com adição de água, por isso, deve ser preparado na quantidade suficiente para uso e ser utilizado antes do endurecimento. Deve-se utilizar a relação água/gesso recomendada pelo fabricante, e no procedimento, colocar o gesso sobre toda a água e aguardar a completa absorção para formar a pasta, sem ocorrer contato manual (ABNT, 1997).

O tempo de pega do gesso está prescrito na norma ABNT NBR 13207:2017, que prevê valores de acordo com o Quadro 3. As embalagens de gesso devem conter no máximo 40 kg, e devem ser entregues em sacos de papel que contenham impressos a identificação do fabricante, prazo de validade, forma de uso e sua massa (ABNT, 2017a).

Quadro 3 – Requisitos físicos do gesso para construção civil (tempo de pega)

| Ensaio | Tempo de pega min | |
|--|----------------------|------|
| | Início | Fim |
| Gesso para fundição | ≤ 10 | ≤ 20 |
| Gesso para revestimento (sem aditivos) | ≥ 10 | ≥ 35 |
| Gesso para revestimento (com aditivos) | ≥ 4 | ≥ 50 |

Fonte: ABNT NBR 13207 (2017a, p. 1).

Rivero, Baez e Navarro (2014), estudaram o desempenho físico e mecânico de um compósito feito de resíduos de borracha de isolamento de espuma de tubulação em uma matriz à base de gesso. Diferentes tamanhos de partículas de borracha foram analisados

(1 a 2 mm, 2 a 4 mm, 4 a 6 mm e 20 a 25 mm), bem como diferentes razões água/gesso. Placas de 40x40x160 mm foram produzidas para avaliar o comportamento físico e mecânico do novo compósito. O limite de adição de resíduo de borracha aceito pela mistura foi de 7,50% em peso de gesso.

No trabalho de Gencil et al. (2016) foi estudado um novo composto de gesso contendo fibras de diatomito e polipropileno com o fim de investigar suas condutividades térmicas, propriedades físicas e mecânicas. As misturas de gesso contendo fibras de diatomito e polipropileno foram preparadas num misturador. Dois moldes com dimensões de 40x40x160 mm e 120x120x20 mm foram preparados para produzir amostras para os ensaios mecânicos e determinação de condutividade térmica, respectivamente. A adição de diatomito aumenta a porosidade que é desejável em termos de desempenho térmico.

Cherki et al. (2014) desenvolveram um compósito composto de cortiça granulada e gesso para uso como teto falso, com o fim de melhorar as propriedades térmicas do gesso. Os autores usaram diferentes granulometrias de cortiça (2,5-5 mm, 5-6,3 mm, 6,3-8 mm, 8-12,5 mm) para verificar se o tamanho dos grãos tem efeito sobre as propriedades térmicas do compósito. A condutividade térmica foi comparada com diferentes modelos teóricos, apresentando valor menor do que outras pesquisas desenvolvidas.

O estudo de Adamopoulos et al. (2015) foi sobre a fabricação de um novo produto para a construção residencial, onde diferentes amostras à base de gesso, resíduos de madeira e resíduos de borracha de pneus foram investigadas. Os materiais reciclados foram misturados manualmente por 10 minutos com gesso e água, a mistura foi acomodada em moldes cilíndricos e seca ao ar. A capacidade de absorver o som foi menor do que a dos produtos isolantes tradicionais.

3 METODOLOGIA

O presente estudo seguiu os preceitos da produção mais limpa concomitante à inovação sustentável, por meio da construção de um compósito. A pesquisa consistiu em analisar o potencial de absorção acústica do material desenvolvido, sendo este aparato fabricado com resíduos da plantação de girassol, dando atenção ao talo da planta, combinado com o aglomerante gesso.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

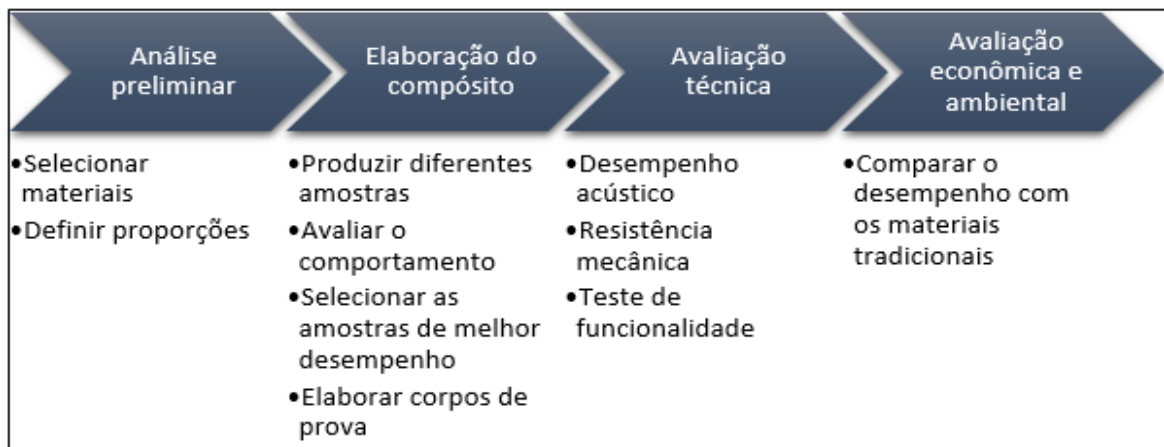
A pesquisa foi de natureza aplicada, valendo-se das contribuições das teorias já existentes (SANTOS, FILHO, 2011). Dessa forma, foi uma contribuição e aplicação prática dos conhecimentos estudados, visando a construção de um compósito.

Quanto aos objetivos, a pesquisa foi de caráter exploratório e explicativo. Exploratório no que diz respeito ao estudo preliminar do objetivo da pesquisa com o fim de obter maior familiaridade com o assunto do trabalho desenvolvido e suas peculiaridades, por meio de um levantamento bibliográfico e análise de exemplos que estimulem a compreensão do tema. E explicativa no que tange ao aprofundamento do conhecimento com a realidade, valendo-se do método experimental, onde foram fabricados corpos de prova para posterior aplicação de testes para avaliação técnica do material elaborado (GIL, 2010).

Quanto à abordagem, a pesquisa foi de caráter quantitativa. Em relação aos procedimentos, foi experimental (GIL, 2010).

Para atender ao objetivo proposto, a pesquisa foi conduzida de acordo com o planejamento organizado e descrito na Figura 144, seguindo as quatro etapas principais: análise preliminar, elaboração do compósito, avaliação técnica e avaliação econômica e ambiental.

Figura 14 – Etapas da pesquisa



Fonte: Autora (2019).

Inicialmente foi realizada uma análise preliminar, onde foram selecionados os materiais para formulação do compósito que foi elaborado utilizando como fase dispersa partículas de talo de girassol, e como matriz o aglomerante gesso, sendo este último trabalhado conforme a norma ABNT NBR 13867:1997 (ABNT, 1997).

Os talos de girassol passaram por um processo de moagem, onde foi definida a granulometria das partículas do talo, sendo classificadas em três tamanhos diferentes. Na etapa de elaboração do compósito, diferentes formulações foram produzidas e testadas com o fim de analisar o comportamento do material, no qual foram selecionados àqueles de melhor desempenho e aparência.

Os corpos de prova elaborados com o compósito nas formulações selecionadas foram submetidos à uma análise técnica, realizando ensaios de desempenho acústico, resistência mecânica e de funcionalidade.

Para determinar o desempenho acústico, foram realizados os ensaios previstos na norma ISO 10534-2:1998 no Laboratório de Acústica da Universidade Federal de Santa Maria. A análise da resistência mecânica foi por meio do ensaio de flexão em três pontos, indicado para materiais frágeis, realizado no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da Universidade Federal de Santa Maria.

Os testes de funcionalidade serviram para avaliar o comportamento do material em condições de uso (perfuração, fixação e corte) (MGBEMENE et al., 2014).

Após a avaliação técnica foi realizada a análise econômica e ambiental, confrontando o desempenho do material desenvolvido com os materiais tradicionais usados no isolamento acústico.

3.2 ETAPA 1 E 2 – ANÁLISE PRELIMINAR E ELABORAÇÃO DO COMPÓSITO

Na Figura 15 pode ser visualizado o processo de elaboração do compósito, através de suas principais etapas.

Figura 15 – Processo de fabricação do compósito



Fonte: Autora (2019).

Os talos de girassol foram fornecidos pela Sociedade Educacional Três de Maio – SETREM, onde a planta é cultivada pelo curso de Agronomia na área experimental da Instituição. As variedades foram a BRS 323 e a SYN 045.

No processo de moagem, os talos de girassol foram triturados em um triturador forrageiro da marca Becker. Feito isso, obteve-se partículas irregulares de talo, tendo em vista que não houve a separação da fibra externa (esclerênquima) da interna (parênquima).

O ensaio de umidade usado foi o descrito pela Embrapa (1997). O procedimento consistiu em colocar a amostra em lata de alumínio numerada e de peso conhecido, pesar e transferir para estufa a 105-110°C, deixando nesta condição durante 24 horas. A amostra então foi retirada da estufa e pesada após esfriar.

A umidade foi calculada determinando-se a umidade gravimétrica, por meio da equação (5).

$$\text{Umidade gravimétrica} = \frac{100 (a-b)}{b} \quad (5)$$

Onde, “a” equivale ao peso da amostra úmida (g), e “b” consiste no peso da amostra seca (g).

O ensaio de umidade foi realizado no Laboratório de Engenharia Civil da UNIJUI, localizada na cidade de Santa Rosa – RS. Duas amostras foram colocadas em latas de alumínio e submetidas à 110°C durante 24 h, em uma estufa da marca Fanem.

Após, realizou-se o processo de separação em diferentes granulometrias de partículas. Para tanto, foram empregadas peneiras de malha 1,18 mm, 2,36 mm, 4,75 mm e 6,3 mm, resultando em três granulometrias diferentes (Quadro 4). As partículas resultantes abaixo de 1,18 mm e acima de 6,3 mm não foram utilizadas.

Quadro 4 – Classificação das partículas

| Partícula | Tamanho |
|------------------|-----------------------|
| Partícula A | 1,18 mm à 2,36 mm |
| Partícula B | 2,36 mm à 4,75 mm |
| Partícula C | 4,75 mm à 6,3 mm |
| Partícula D | 1/3 de cada partícula |

Fonte: Autora (2019).

O gesso utilizado foi o convencional, da marca GM Gesso, vendido em sacos de 40 kg. O preparo do gesso ocorreu conforme recomendações da norma ABNT NBR 13867:1997, a qual prescreve quantidade de água empregada na mistura conforme indicação do fabricante. Nesse caso, para 1 litro de água, recomenda-se usar 1,2 kg de gesso.

Posteriormente, ocorreu a fabricação de diferentes amostras do compósito no que diz respeito às quantidades de talo de girassol triturado, gesso e água, acomodados em moldes de 90x90x20 mm, com o fim de avaliar o comportamento.

No processo de cura das amostras as mesmas apresentaram odor, além do surgimento de mofo. Através de um ensaio de Unidades Formadoras de Colônia (UFC) realizado no Laboratório de Microbiologia da Universidade Federal de Santa Maria, foi verificada e comprovada a proliferação de fungos no compósito.

De modo a sanar este problema, seguiu-se o procedimento descrito por Giannini (2013), no qual a pesquisadora aplicou Benzoato de Potássio com o objetivo de evitar a propagação de fungos no compósito de fibras naturais elaborado pela mesma.

Foi empregado o Benzoato de Sódio na mistura de talo de girassol e gesso, devido ao fácil acesso em comparação ao Benzoato de Potássio, considerando que ambos são conservantes para a mesma finalidade. Na Figura 16 é possível verificar o compósito com e sem a adição do Benzoato de Sódio. Quanto à quantidade do conservante, foi utilizada a proporção descrita por Giannini (2013), sendo de 10:0,02 (Massa: Benzoato).

Figura 16 – Amostra sem [a] e com a adição de Benzoato de Sódio [b]



Fonte: Autora (2019).

Com o objetivo de usar a maior quantidade de resíduo de girassol possível, compósitos com diferentes formulações foram elaborados. Nesta etapa, a capacidade de liga do aglomerante gesso foi analisada. As formulações testadas podem ser visualizadas no Quadro 5. As pesagens dos materiais foram realizadas no Laboratório de Materiais de

Construção Civil (LMCC) da Universidade Federal de Santa Maria, por meio da balança de precisão digital da marca Edutec.

Quadro 5 – Formulação do compósito

(continua)

| Formulação | Componentes | Partículas de girassol | Massa (g) | Porcentagem (%) |
|-------------------|--------------------|-------------------------------|------------------|------------------------|
| 1 | Girassol | A | 22 | 9,7 |
| | Gesso | | 112 | 49,2 |
| | Benzoato de sódio | | 0,45 | 0,2 |
| | Água | | 93,3 | 41 |
| 2 | Girassol | B | 22 | 14,6 |
| | Gesso | | 64 | 42,6 |
| | Benzoato de sódio | | 0,3 | 0,2 |
| | Água | | 64 | 42,6 |
| 3 | Girassol | B | 22 | 11,1 |
| | Gesso | | 96 | 48,4 |
| | Benzoato de sódio | | 0,4 | 0,2 |
| | Água | | 80 | 40,3 |
| 4 | Girassol | B | 20 | 17,9 |
| | Gesso | | 50 | 44,7 |
| | Benzoato de sódio | | 0,22 | 0,2 |
| | Água | | 41,7 | 37,2 |
| 5 | Girassol | C | 22 | 13,2 |
| | Gesso | | 72 | 43,3 |
| | Benzoato de sódio | | 0,33 | 0,2 |
| | Água | | 72 | 43,3 |
| 6 | Girassol | C | 22 | 10,3 |
| | Gesso | | 104 | 48,8 |
| | Benzoato de sódio | | 0,43 | 0,2 |
| | Água | | 86,7 | 40,7 |
| 7 | Girassol | D | 23 | 20 |
| | Gesso | | 46 | 39,9 |
| | Benzoato de sódio | | 0,23 | 0,2 |
| | Água | | 46 | 39,9 |
| 8 | Girassol | D | 23 | 18,7 |
| | Gesso | | 50 | 40,6 |
| | Benzoato de sódio | | 0,25 | 0,2 |
| | Água | | 50 | 40,6 |

Quadro 5 – Formulação do compósito

(conclusão)

| Formulação | Componentes | Partículas de girassol | Massa (g) | Porcentagem (%) |
|------------|-------------------|------------------------|-----------|-----------------|
| 9 | Girassol | D | 22 | 17,4 |
| | Gesso | | 52 | 41,2 |
| | Benzoato de sódio | | 0,25 | 0,2 |
| | Água | | 52 | 41,2 |
| 10 | Girassol | D | 22 | 16,4 |
| | Gesso | | 56 | 41,7 |
| | Benzoato de sódio | | 0,27 | 0,2 |
| | Água | | 56 | 41,7 |

Fonte: Autora (2019).

A proporção de talo de girassol, gesso, benzoato de sódio e água de melhor aparência e desempenho quanto ao ligante gesso, foi a formulação 10, sendo esta a escolhida para a fabricação do compósito. Utilizando maior quantidade de talo de girassol e menor quantidade de gesso do que a definida, o material se torna frágil, com características quebradiças.

3.3 ETAPA 3 – AVALIAÇÃO TÉCNICA

Na etapa de avaliação técnica, o compósito foi submetido à ensaios, sendo eles: de desempenho acústico, resistência mecânica, e de funcionalidade.

3.3.1 Desempenho acústico

O ensaio utilizado para avaliar o desempenho acústico foi o teste em tubo de impedância, previsto pela norma ISO 10534-2. Foram definidos 4 corpos de prova para cada tamanho de partícula (granulometria), totalizando em 12 amostras.

Foram usados moldes fabricados em impressora 3D (Figura 17), disponibilizada pela Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC. Os moldes foram de formato circular com 28 mm de diâmetro e 30 mm de altura, contando com uma base e tampa. Para a acomodação do material no interior do molde, foi exercida uma pressão de 0,02 kgf/cm²,

por tempo cronometrado de 1 minuto, conforme metodologia usada em pesquisa de Mati-Baouche, et al. (2016).

Figura 17 – Molde para corpos de prova do ensaio em tubo de impedância

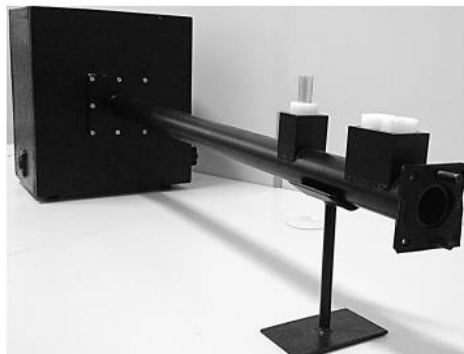


Fonte: Autora (2019).

O ensaio foi realizado no laboratório de Engenharia Acústica da Universidade Federal de Santa Maria, no qual foi empregado o tubo de alta frequência (Figura 188) com faixas de 100 Hz – 6400 Hz e diâmetro do tubo e de amostra de aproximadamente 28 mm.

Para realização do ensaio, foram utilizados os seguintes equipamentos: Pulse - Type 3160-B-022; Microfones B&K - 4942 - A- 021 – 2679226; Microfones B&k - 4942 - A - 021 – 2679227; Computador: Itautec; Calibrador 4231 - Bruel & Kjaer: 2699080; Paquímetro - *Electronic Digital Caliper* - 0-150mm.

Figura 18 – Tubo de impedância para alta frequência



Fonte: Autora (2019).

Os resultados do ensaio foram obtidos a partir do software de aquisição de dados em tempo real Labshop, e foram processados através do software Matlab 2016b, onde foram geradas as imagens com as curvas de absorção sonora.

3.3.2 Análise estatística

Com o objetivo de verificar se os coeficientes de absorção sonora apresentaram diferença significativa, os dados foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA), utilizada quando se quer comparar a média entre duas ou mais populações por meio de amostras, testando se houve ou não igualdade entre as médias das populações das quais elas foram retiradas (VIRGILLITO, 2017).

No teste ANOVA, as médias foram ajustadas, e através do teste Tukey comparadas a um nível de significância de 5%. Posteriormente, por não apresentar diferença significativa devido ao fato de este ser um teste mais rigoroso, o Tukey foi substituído pelo teste Duncan, mais flexível, que fornece diferença significativa mais facilmente. Este último também foi comparado ao nível de significância de 5%. A análise foi realizada por meio do software R.

Essa análise teve o fim de determinar a amostra de partícula que apresentou melhor desempenho no ensaio em tubo de impedância, para então dar continuidade aos ensaios de resistência mecânica e funcionalidade, a partir do compósito escolhido.

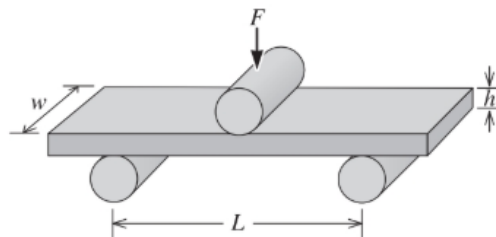
3.3.3 Resistência mecânica

Para estabelecer a resistência mecânica do material desenvolvido, o mesmo foi submetido à um ensaio de flexão em três pontos, provocando-se uma flexão ao se aplicar um carregamento em três pontos, causando uma tensão no ponto central e inferior da amostra, sendo indicado para materiais frágeis. É um método em que ocorre uma fratura na carga máxima, no qual o limite de resistência e a tensão de fratura são idênticos (ASKELAND; WRIGHT, 2014). A resistência à flexão, ou módulo de ruptura (MOR), é dado a partir da equação (6).

$$\sigma_{\text{flexão}} = \frac{3FL}{2wh^2} \quad (6)$$

Onde F é a carga aplicada (resultado do ensaio de flexão em três pontos), L é a distância entre os dois pontos de apoio, w é a largura e h a espessura (Figura 1919).

Figura 19 – Representação do ensaio de flexão em três pontos



Fonte: Askeland e Wright (2014, p. 175).

Para elaborar os corpos de prova, foram misturados os componentes do compósito de melhor desempenho do ensaio em tubo de impedância, alocando a mistura em um molde prismático metálico (Figura 20), com armações abertas e paredes removíveis. O molde foi disponibilizado pelo Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da Universidade Federal de Santa Maria, é formado por três compartimentos quando montado, de 16x4x4 cm cada, resultando em três corpos de prova (ABNT NBR 13279: 2005).

Figura 20 – Molde para corpos de prova do ensaio de flexão em três pontos



Fonte: Autora (2019).

A tensão de ruptura (F) foi determinada num equipamento universal de ensaios Solotest do Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da Universidade Federal de Santa Maria (Figura 21). O corpo de prova a ser ensaiado é posto sob dois apoios do equipamento e através da deformação do anel dinamométrico é submetido a uma carga de 50 ± 10 N/s (ABNT NBR 13279: 2005), onde a fratura do material inicia no ponto em que ocorre o rompimento do mesmo, indicando a tensão de ruptura.

Figura 21 – Equipamento usado no ensaio de flexão em três pontos



Fonte: Autora (2019).

3.3.4 Ensaio de funcionalidade

O compósito foi submetido a um ensaio de funcionalidade conforme descrito no estudo de Mgbemene et al. (2014), no qual um teste foi empregado, verificando a penetração de parafusos através de testes de perfuração.

Os autores não detalharam as dimensões do corpo de prova para o ensaio em questão. Nesta pesquisa foram preparados dois corpos de prova com 190x65x28 mm.

Foram realizadas perfurações no material desenvolvido com o emprego de uma furadeira elétrica manual da marca Profield, de 810 W de potência e rotação de 2600 rpm,

e uma broca para madeira de 8 mm, com o objetivo de investigar o desempenho do compósito quanto a sua integridade.

3.4 ETAPA 4 – ANÁLISE COMPARATIVA

Foi feita uma comparação entre o compósito elaborado e materiais convencionais para o fim proposto, no que diz respeito ao desempenho acústico, econômico e ambiental.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Na seção 4 são discutidos os resultados obtidos com a elaboração do compósito proposto empregando resíduos da cultura de girassol, evidenciando o que foi obtido nas etapas da produção mais limpa, avaliação técnica, avaliação econômica e ambiental. A solução apresentada na pesquisa visou a reutilização de resíduos, além da redução da poluição, energia e custos durante sua fabricação.

4.1 ENSAIO DE UMIDADE

Empregando o método de determinação do teor de umidade descrito no item 3.2, obteve-se o teor de umidade de 9,94% dos talos de girassol triturados.

4.2 AVALIAÇÃO TÉCNICA

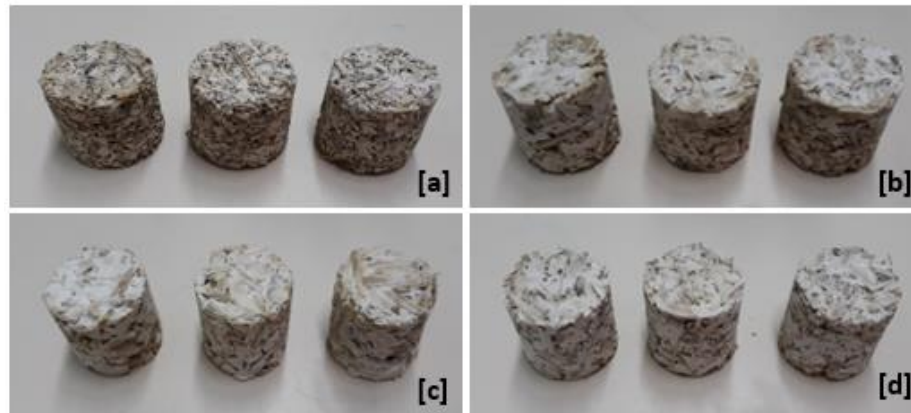
4.2.1 Ensaio em tubo de impedância

O ensaio em tubo de impedância foi realizado em 3 corpos de prova para cada uma das 3 granulometrias e 3 corpos de prova para a partícula D (1/3 de cada partícula), totalizando em 12 amostras, conforme Figura 222, em tubo de alta frequência (diâmetro de 28 mm).

Foram feitas três medições da espessura dos corpos de prova em cada um em locais diferentes, obtendo a média das mesmas (Tabela 33). É relevante ressaltar a importância de valores de espessura serem próximos ou iguais, tendo em vista que esse dado altera o resultado final.

Após realizadas as medições no tubo, os resultados das curvas de absorção do compósito foram obtidos pelo software Labshop e gerados através no software Matlab 2016b. Os resultados são apresentados nas Figuras 23 a 26.

Figura 22 – Corpos de prova (compósito A [a], compósito B [b], compósito C [c], compósito D [d]) para ensaio em tubo de impedância



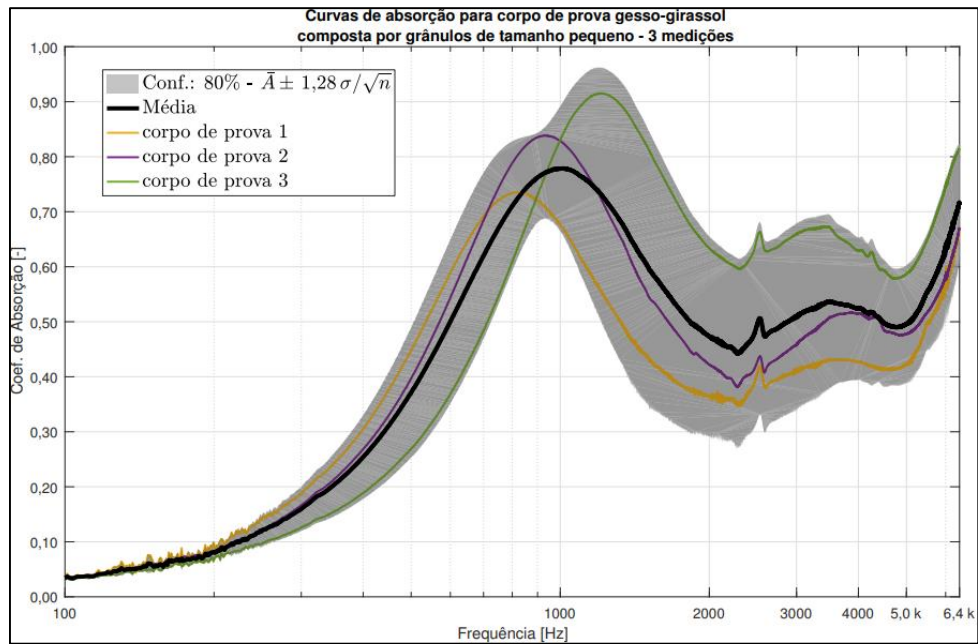
Fonte: Autora (2019).

Tabela 3 – Espessuras dos corpos de prova usados no ensaio em tubo de impedância

| Compósito | Corpo de prova | Espessura medida (mm) |
|-----------|----------------|-----------------------|
| A | 1 | 27,57 |
| | 2 | 27,53 |
| | 3 | 27,31 |
| B | 1 | 27,49 |
| | 2 | 26,56 |
| | 3 | 27,31 |
| C | 1 | 27,23 |
| | 2 | 28,15 |
| | 3 | 27,14 |
| D | 1 | 26,69 |
| | 2 | 26,70 |
| | 3 | 27,30 |

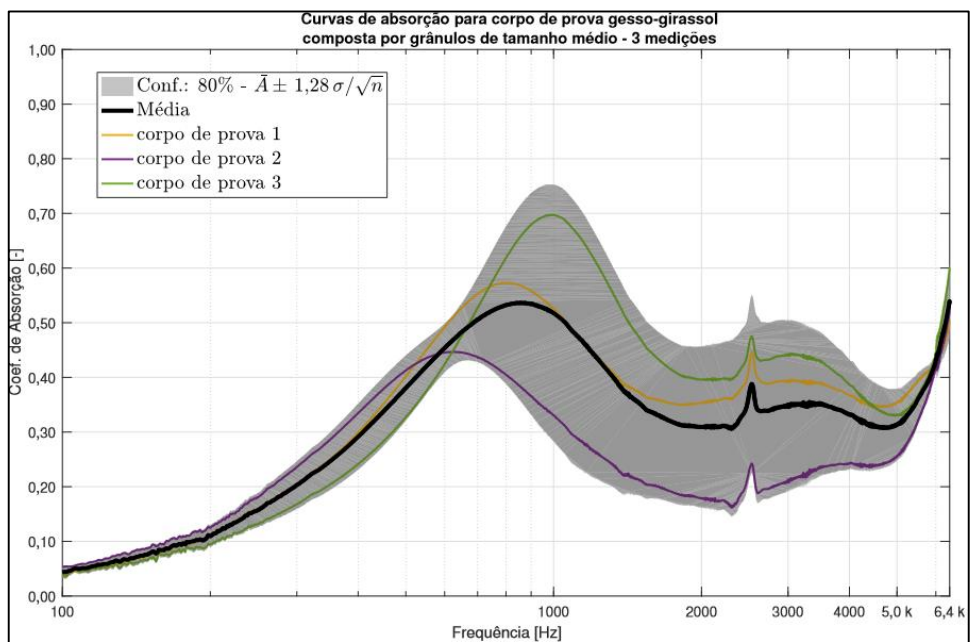
Fonte: Autora (2019).

Figura 23 – Curvas de absorção dos corpos de prova da Partícula A



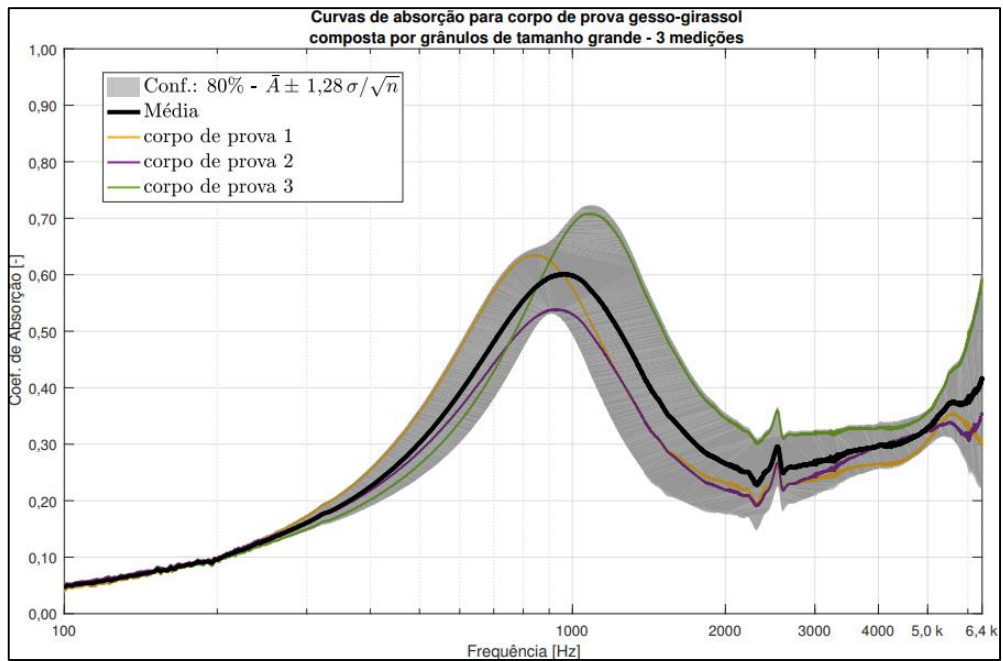
Fonte: Autora (2019).

Figura 24 – Curvas de absorção dos corpos de prova da Partícula B



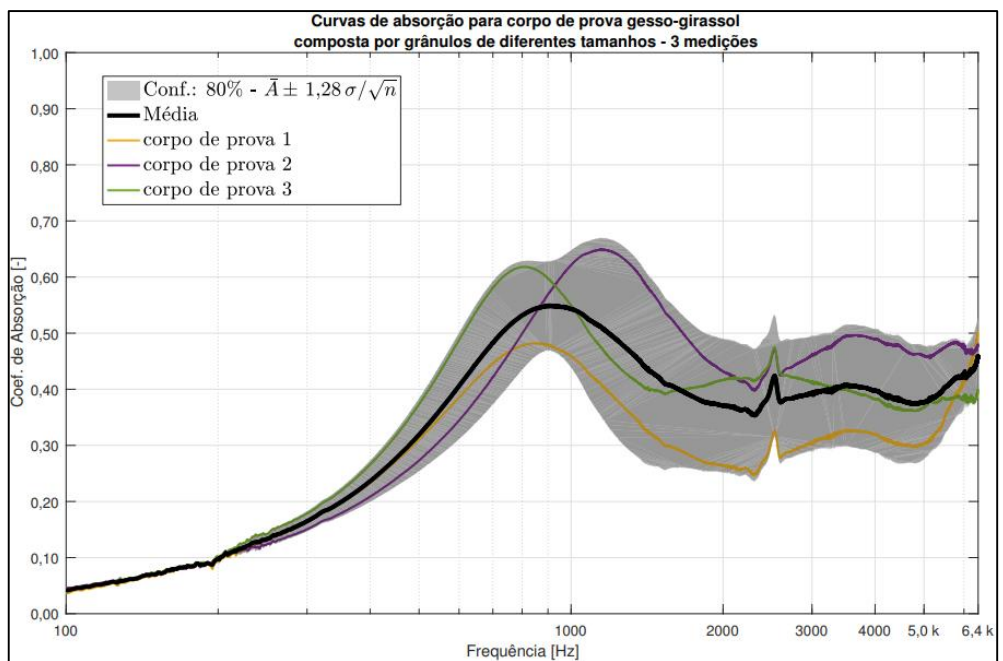
Fonte: Autora (2019).

Figura 25 – Curvas de absorção dos corpos de prova da partícula C



Fonte: Autora (2019).

Figura 26 – Curvas de absorção dos corpos de prova da partícula D



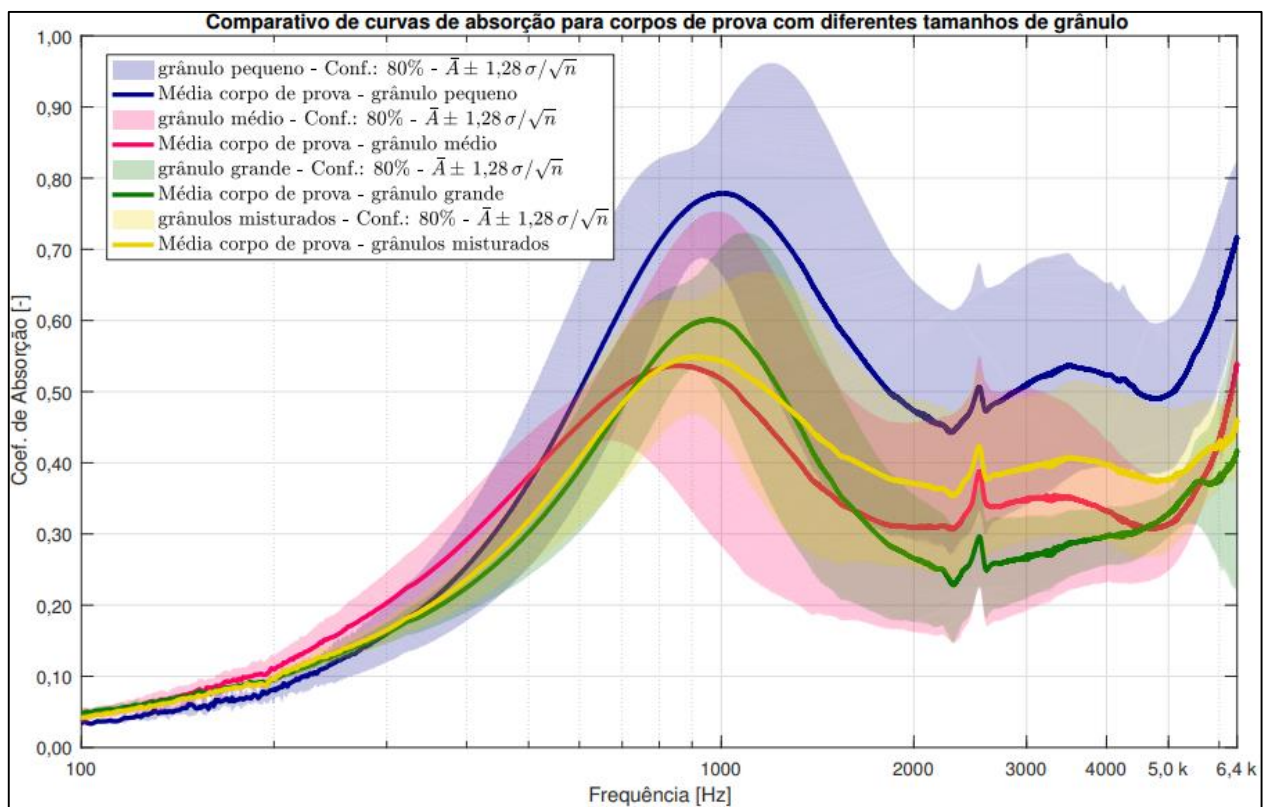
Fonte: Autora (2019).

Observa-se que o compósito A foi o que apresentou melhor desempenho (granulometria 1,18 mm à 2,36 mm), apresentando coeficiente de absorção com elevação a partir da frequência de 200 Hz, e picos nas faixas entre 600 Hz e 2000 Hz.

Observando os gráficos das Figura 233 a 26, verifica-se que as curvas apresentam um formato similar, com variações de amplitude de absorção e descolamento no eixo das frequências. A curva com maior coeficiente de absorção foi o corpo de prova 3, compósito A, sendo estimada em 0,9, em aproximadamente 1209 Hz.

A Figura 277 apresenta o conjunto de curvas resultantes dos ensaios dos diferentes compósitos.

Figura 27 – Comparativo entre corpos de prova de diferentes compósitos



Fonte: Autora (2019).

Os resultados individuais dos corpos de prova de acordo com o compósito estão na Tabela 4, onde, a partir desta e de acordo com o constatado nos gráficos (Figura 233

a Figura 266), pode-se afirmar que o de melhor desempenho foi o corpo de prova 3 do compósito A.

Tabela 4 – Resultados do ensaio em tubo de impedância

| Corpo de prova | Coefficiente de Absorção | Média do coeficiente de absorção | Frequência (Hz) |
|-----------------------|---------------------------------|---|------------------------|
| Compósito A 1 | 0,7346 | | 810 |
| Compósito A 2 | 0,8383 | 0,829 | 927 |
| Compósito A 3 | 0,9151 | | 1209 |
| Compósito B 1 | 0,5726 | | 806 |
| Compósito B 2 | 0,4464 | 0,572 | 615 |
| Compósito B 3 | 0,6972 | | 982 |
| Compósito C 1 | 0,6348 | | 842 |
| Compósito C 2 | 0,538 | 0,626 | 937 |
| Compósito C 3 | 0,7079 | | 1080 |
| Compósito D 1 | 0,482 | | 860 |
| Compósito D 2 | 0,6488 | 0,589 | 1162 |
| Compósito D 3 | 0,618 | | 817 |

Fonte: Autora (2019).

O tamanho dos grânulos e sua disposição afetam consideravelmente o formato da curva. A dispersão das curvas pode ser explicada pelo processo de montagem dos corpos de prova e a disposição aleatória das partículas.

Analisando os resultados dos materiais de 40 mm de espessura do estudo de Mati-Baouche et al. (2016), por serem os que mais se assemelham às amostras de talo de girassol e gesso do ensaio em tubo de impedância (próximo à 28 mm), observa-se o coeficiente de redução sonora (NRC) do compósito de talo de girassol e quitosana de 0,7. Comparado com o compósito desenvolvido, o compósito A teve um desempenho médio de absorção sonora de 0,8293.

Comparando o desempenho do compósito elaborado com os materiais listados por Bistafa (2006), é possível observar que os valores se mostram semelhantes com espessuras similares, sendo assim uma opção de aparato para o fim proposto.

O processo de fabricação dos corpos de prova para o ensaio de absorção acústica, apresentou obstáculos como a dificuldade atrelada à padronização das amostras, não ficando uniforme como seria se fabricado em uma placa, ao invés da moldagem.

4.2.2 Análise estatística

De acordo com o teste de normalidade de Shapiro-Wilk a 5% de significância, os resíduos podem ser considerados normais.

Conforme consta no Apêndice A, foi aplicado o teste ANOVA para verificar se havia diferença significativa entre os dados. Assim, de acordo com o teste F da Tabela 55 (4,4261) e o p-valor de 0,041079, considerando um nível de significância de 5%, rejeita-se a hipótese nula (H_0) e por isso existem evidências de que as médias dos coeficientes de absorção sonora diferem entre os tipos de compósitos, havendo diferença significativa entre os compósitos.

Tabela 5 – Resultado do teste ANOVA

| | DF | SS | MS | Fc | Pr>Fc |
|-----------|----|----------|----------|--------|----------|
| Compósito | 3 | 0.129702 | 0.043234 | 4.4261 | 0.041079 |
| Resíduos | 8 | 0.078144 | 0.009768 | | |
| Total | 11 | 0.207846 | | | |

Fonte: Autora (2019).

Para verificar quais resultados diferem uns dos outros, os mesmos foram comparados por meio da aplicação do teste de Tukey, que tem 95% de probabilidade de não apontar uma diferença significativa entre as amostras. O valor do dms (o qual prevê que as médias são diferentes quando o valor da diferença entre duas médias é igual ou maior que o seu valor) foi de 0,2589, e o resultado do teste foi o da Tabela 66. Assim, os resultados do teste não deram diferença significativa e por isso o mesmo foi substituído pelo teste de Duncan, menos rigoroso do que o primeiro.

O teste de Duncan (Tabela 7) colocou o fator A no grupo a e os demais fatores no grupo B. Por isso, de acordo com o teste, para um nível de significância de 5%, a média

do coeficiente de absorção acústica da partícula A difere significativamente da média dos demais tipos B, C e D, sendo que as médias de B, C e D não diferem entre si.

Tabela 6 – Teste de Tukey

| Grupos | Compósitos | Médias |
|--------|------------|-----------|
| a | A | 0.8293333 |
| a | C | 0.6269 |
| a | D | 0.5829333 |
| a | B | 0.5720667 |

Fonte: Autora (2019).

Tabela 7 – Teste de Duncan

| Grupos | Compósitos | Médias |
|--------|------------|-----------|
| a | A | 0.8293333 |
| b | C | 0.6269 |
| b | D | 0.5829333 |
| b | B | 0.5720667 |

Fonte: Autora (2019).

Portanto, o corpo de prova que apresentou melhor desempenho no ensaio em tubo de impedância foi o fabricado a partir do compósito A, tendo a performance média de absorção sonora de 0,8293. Assim, esse foi o compósito definido para os ensaios seguintes.

4.2.3 Ensaio de resistência mecânica

Foram fabricados os corpos de prova a partir do compósito escolhida por meio do ensaio em tubo de impedância. Para tanto, as amostras foram preparadas valendo-se de um molde previsto na norma ABNT NBR 13279:2005, resultando em três corpos de prova (Figura 288).

Figura 28 – Corpos de prova para ensaio de flexão em três pontos



Fonte: Autora (2019).

Foi realizado o ensaio de flexão em três pontos, submetendo os corpos de prova à uma carga (F) conforme Figura 29. O resultado consta na Tabela 8.

Figura 29 - Ensaio de flexão e seção transversal das três amostras após fratura



Fonte: Autora (2019).

Tabela 8 – Resultado do ensaio de flexão em três pontos

| Corpo de Prova | Tensão de ruptura (N) | Resistência à flexão (MPa) | Média | Desvio-padrão |
|----------------|-----------------------|----------------------------|-------|---------------|
| A | 327,96 | 0,769 | 0,69 | 0,0809 |
| A | 300,51 | 0,704 | | |
| A | 259,35 | 0,608 | | |

Fonte: Autora (2019).

A Tabela 8 mostra que o maior valor de resistência à flexão foi de 0,769 MPa. É um resultado considerado bom, tendo em vista que o compósito não terá fim estrutural, sendo usado como apoio na redução de ruídos sonoros. No entanto, esses valores se mostraram superiores aos encontrados por Binici, Askogan e Demirhan (2016), no qual o resultado do ensaio de resistência a flexão variou entre 0,04 e 0,13 MPa. Já Panyakaew e Fotios (2011) encontraram em seu estudo valores de resistência à flexão entre 0,12 MPa e 4,16 MPa.

A norma ABNT NBR 16494:2017 determina os requisitos para blocos de gesso para vedação vertical, onde define os valores de resistência à flexão como igual ou superior a 1,0 MPa, 1,2 MPa e 1,5 MPa, respectivamente para blocos de gesso compactos com espessura de 50 mm, 70 mm e 100 mm (ABNT, 2017b). Nesse sentido, a resistência á flexão média de 0,69 MPa do compósito obtido nesta pesquisa, é classificado como razoavelmente bom, considerando sua espessura de 40 mm, e trabalhos semelhantes que visaram a construção de compósitos similares.

4.2.4 Ensaio de funcionalidade

Na Figura 300 está representado o resultado do ensaio, onde é possível verificar os orifícios originados no teste de perfuração, usando furadeira elétrica com broca de 8 mm.

Figura 30 – Compósito após perfuração no ensaio de funcionalidade



Fonte: Autora (2019).

Nos locais intermediários da placa, pode-se constatar que as perfurações foram realizadas com sucesso, havendo leve desintegração do material (esfarelamento). Porém, mais próximo à borda do que 13 mm o compósito se quebra. O material obtido ainda deve passar por aprimoramento, tornando-o mais íntegro para que não seja quebradiço em suas bordas ou haja esfarelamento.

4.3 AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Os custos referem-se aos gastos da produção de bens ou serviços (YANASE, 2018). Foi realizada uma estimativa do custo de fabricação do compósito, onde, existem incertezas em estimar o custo da sua matéria prima principal, o talo de girassol, considerando que se trata de um resíduo da cultura após a colheita sem interesse comercial.

O talo de girassol usado foi doado para a pesquisa. Assim, seu custo foi estimado com base em valores de resíduos da cultura de milho, comercializados em uma cooperativa da cidade de Novo Machado, região noroeste do Rio Grande do Sul. O gesso empregado no material é vendido em embalagens de 15 kg pelo preço de R\$33,00, porém, também foi doado para o estudo. O benzoato de sódio foi adquirido em uma loja de produtos químicos em um recipiente de 500 g pelo valor de R\$35,00.

O custo da energia consumida na trituração dos talos de girassol foi determinado a partir das especificações técnicas do equipamento usado nesse processo. Assim, o consumo de energia elétrica do equipamento é de 1,33 kWh, e o tempo destinado na trituração para a confecção de um corpo de prova foi de 1 minuto. Dessa forma, considerou-se para o valor do quilowatt-hora o preço cobrado pela empresa distribuidora de energia no mês de novembro de 2018 na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul.

Assim, o custo de uma placa do compósito está representado no Quadro 6, onde foi considerado apenas o custo da matéria prima. Não se considerou o custo de mão-de-obra, pois a produção foi artesanal. As quantidades estão apresentadas por unidade de medida padrão, como quilogramas (kg), grama (g), metro (m) e kWh (quilowatt-hora).

Quadro 6 – Custo estimado de produção de 1 m² de uma placa com espessura de 28 mm

| Material usado | Quantidade | Custo Unitário (R\$) | Custo Total (R\$) |
|--|-------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Talo de Girassol | 3,24 kg | 0,33 / kg | 1,07 |
| Gesso | 8,1 kg | 2,20 / kg | 17,82 |
| Benzoato de Sódio | 35,62 g | 0,07 / g | 2,49 |
| Energia | 1,8 kWh | 0,4 / kWh | 0,72 |
| Custo total por (m²) | | | 22,10 |

Fonte: Autora (2019).

O custo estimado do metro quadrado do compósito com 28 mm de espessura é de R\$22,12. O cálculo apresenta limitações, pois custos diretos de mão de obra não foram considerados (DUTRA, 2017). Além disso, os custos indiretos, como por exemplo o custo do espaço ocupado na fabricação do material, água e esgoto, internet, segurança, manutenção predial e de equipamentos, higiene e limpeza, e depreciação de máquinas (YANASE, 2018), também não foram analisados no custo do material.

O compósito fabricado foi confrontado com um absorvedor sonoro comercial de um fabricante conhecido da cidade de Curitiba, no estado do Paraná. O material é composto de lã de rocha e revestido com véu de vidro. Em consulta ao setor comercial da empresa, verificou-se que o valor do metro quadrado desse material com 50 mm de espessura é de R\$185,00 (valor obtido em 14/12/2018). O custo do compósito fabricado na mesma espessura do material comparado, é de R\$44,24/m².

O valor do compósito elaborado é atrativo sob o ponto de vista econômico, considerando seu custo de fabricação. Assim, seu custo é 76,09% mais barato do que o material comercial consultado, sendo atrativo também sob o viés ambiental. Deve-se ponderar que quando pretende-se modificar um produto para torná-lo sustentável, investimentos com pesquisa devem ser considerados.

4.4 AVALIAÇÃO AMBIENTAL

O compósito desenvolvido na pesquisa seguiu os preceitos da produção mais limpa juntamente com o consumo sustentável. Hens et al. (2018) relataram que, enquanto o desenvolvimento sustentável é uma meta para a população, consumidores, empresas, entre outros, a produção mais limpa é direcionada para negócios, indústria (processos, produtos) e serviços.

É importante destacar que o uso de fibras naturais em materiais vem ganhando importância, em parte devido à redução no consumo de energia para considerações ambientais, por serem geralmente resíduos agrícola (BELAYACHI; HOXHA; SLAIMIA, 2016).

O material desenvolvido buscou a utilização de matéria prima renovável, de baixo custo, e de baixo impacto ao meio ambiente. O talo de girassol empregado na fabricação do compósito como principal componente, é considerado um resíduo da cultura após a colheita, não havendo interesse comercial e sendo descartado.

No que tange ao aglutinante gesso, seu processo demanda de pouca energia. Durante sua fabricação, a temperatura exigida é de 105°C à 400°C (ENGBRECHT; HIRSCHFELD, 2016). O gesso é um produto de baixo custo e tem sido uma proposta valiosa como material matricial para prototipagem rápida (MEIRA, et al., 2013).

No caso da lã de vidro, material comercial empregado na absorção acústica, seu custo está relacionado com o elevado consumo de energia para preparar o vidro fundido, o que representa sua principal desvantagem (D'AMORE et al, 2017). Conforme dados da *European Insulation Manufacturers Association* (EURIMA), na fabricação da lã de vidro são empregadas as matérias-primas areia, calcário e carbonato de sódio. Na primeira etapa, os componentes são fundidos a temperaturas elevadas, entre 1.300 e 1.500 °C. A fase da cura, ocorre num forno a cerca de 200 °C. Então, a lã é cortada no tamanho e formato necessários (EURIMA).

O estudo por um material alternativo à absorção sonora engloba todo o sistema produto-produto, conforme salientado por Roy (2016), o que durante o processo produtivo

do compósito, demandou pouca energia, usada apenas na etapa de trituração dos talos de girassol.

Entre as principais metas ambientais da produção mais limpa, podem ser citadas (SENAI, 2003):

- Eliminação/redução de resíduos – não ocorreu o lançamento de resíduos sólidos, efluentes líquidos, emissões atmosféricas, ou calor durante a fabricação do compósito, a não ser durante a trituração dos talos de girassol, onde houve a produção de poeira e ruído, no qual equipamentos de proteção individual sanariam o problema, do contrário, foram reaproveitadas sobras da cultura de girassol, eliminando desperdícios.

- Produção sem poluição – durante o processo produtivo do compósito, não houve contaminação do meio ambiente, no qual foram empregados recursos naturais com a máxima eficiência possível, considerando ainda o reaproveitamento de um resíduo agrícola sem interesse comercial. Houve a poluição sonora, que é resolvida com equipamentos de proteção individual.

- Eficiência energética – a produção do compósito, bem como da matéria prima gesso, desempenhou alto nível de eficiência energética, uma vez que demandou de pouca quantidade de energia durante sua fabricação.

- Saúde e segurança no trabalho – o processo de fabricação do material desenvolvido é de significativa segurança para os envolvidos na sua produção, tendo por exemplo que não ocorre a emissão de gases poluentes provenientes do processo produtivo, sendo um ambiente seguro e saudável.

- Produtos ambientalmente adequados – o produto desenvolvido apresenta características de um produto ambientalmente adequado, isso no que diz respeito à fatores como saúde e meio ambiente durante toda a cadeia produtiva do material, considerando que durante seu uso, o mesmo não possui características tóxicas.

- Embalagens ambientalmente adequadas – essa questão fica como sugestão de um trabalho futuro, no qual seria considerada a eliminação ou minimização de embalagens para um produto com o fim proposto, visando o menor impacto ambiental possível.

5 CONCLUSÃO

O objetivo proposto pela pesquisa foi atingido, foi elaborado um compósito a partir dos resíduos da cultura de girassol com propriedades acústicas para uso industrial, usando como aglomerante o gesso. Foram seguidas as práticas da produção mais limpa em conjunto com a inovação sustentável, pois buscou a fabricação de um material com aproveitamento de resíduos, agregando valor a um subproduto agrícola, além da eliminação de poluição durante sua produção, presente nos materiais convencionais. A formulação do compósito foi composta de 22 g de girassol, 56 g de gesso, 0,27 g de benzoato de sódio, e 56 g de água.

Foi elaborado o compósito com talos de girassol triturados, misturados com gesso, água e benzoato de sódio como inibidor de fungos. O material foi fabricado com granulometrias de tamanhos diferentes, apresentando bom desempenho de absorção sonora.

Na etapa de avaliação técnica, demonstrou no ensaio em tubo de impedância um coeficiente de absorção médio de 0,8293 (conforme página 61), apresentando um resultado significativo comparado com demais compósitos e materiais comerciais de espessura semelhante. Além disso, no ensaio de resistência à flexão, seu resultado médio foi de 0,69 MPa (tabela 8, página 62), sendo classificado como razoavelmente bom, tendo em vista que o mesmo não terá fins estruturais. No ensaio de funcionalidade, apresentou bom desempenho ao perfurá-lo, apenas tendo que aprimorar sua integridade tornando-o mais resistente.

Sob o ponto de vista econômico, o material proposto apresenta características atrativas, apresentando custo inferior quando comparado com um material comercial para o mesmo fim.

Quanto à avaliação ambiental do compósito, esta foi positiva, pois atendeu as metas ambientais da produção mais limpa e inovação sustentável. Buscou o emprego de matéria prima renovável, de baixo custo e baixo impacto ao meio ambiente, além de não demandar de altas quantidades de energia durante seu processo produtivo, visando o aproveitamento de resíduos agrícolas que seriam descartados.

O compósito está em fase de desenvolvimento inicial, e ainda deve passar por processos de aprimoramento. Porém, o mesmo apresenta características comerciais para o fim de absorvedor sonoro, possuindo aplicações no meio industrial onde a proliferação de ruídos é alta, facilitando o ambiente de trabalho de colaboradores em contato com máquinas ruidosas.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Para melhor caracterização, submeter o compósito à ensaios de resistência ao fogo;
- Trabalhar a formulação do compósito com maior enfoque em suas propriedades mecânicas, tornando um material íntegro;
- Realizar ensaios conforme ABNT NBR 11675:2016 (ABNT, 2016) para melhor determinação do seu desempenho em relação à funcionalidade do material em condições de uso;
- Realizar uma análise de ciclo de vida para o compósito elaborado;
- Fazer uma análise de viabilidade econômica, avaliando se o material desenvolvido traria retorno financeiro ao investidor.

REFERÊNCIAS

- AAGAARD, A.; LINDGREN, P. The Opportunities and Challenges of Persuasive Technology in Creating Sustainable Innovation and Business Model Innovation. **Wireless Personal Communications**, v. 81, n. 4, p. 1511-1529, Mar. 2015. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11277-015-2484-1>>. Acesso em: 10 nov. 2017.
- ADAMOPOULOS, S. et al. Manufacturing and Properties of Gypsum-Based Products with Recovered Wood and Rubber Materials. **BioResources**, v. 10, n. 3, p. 5573-5585, 2015. Disponível em: <<http://web.a-ebscohost-com.ez47.periodicos.capes.gov.br/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&sid=7ece1eba-3c43-442e-8ce3-15f349e0a279%40sessionmgr4006>>. Acesso em: 07 mar. 2018.
- ADAMY, A. P. A.; ROSA, F. S.; ROSA, L. C. Desempenho térmico de compósitos à base de talos de girassol em componentes de edificações. **Revista Espacios**, v. 37, n. 15, p. 17, mar. 2016. Disponível em: <<http://www.revistaespacios.com/a16v37n15/16371520.html>>. Acesso em: 31 jul. 2017.
- ALLAN, P. S. et al. Sound transmission testing of polymer compounds. **Polymer Testing**, v. 31, n. 2, p. 312-321, Apr. 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014294181100211X>>. Acesso em: 29 jan. 2018.
- ASDRUBALI, F. et al. A review of structural, thermo-physical, acoustical, and environmental properties of wooden materials for building applications. **Building and Environment**, v. 14, p. 307-332, Mar. 2017. Disponível em: <<https://www-sciencedirect-com.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0360132316305285?via%3Dihub>>. Acesso em: 25 jan. 2018.
- ASKELAND, D. R.; WRIGHT, W. J. **Ciência e engenharia dos materiais**. 2. ed. São Paulo: Learnig, 2014. 648 p.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11675**: Divisórias leves internas moduladas - Verificação da resistência aos impactos. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2016. 11 p.
- _____. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2005. 13 p.
- _____. **NBR 13867**: revestimento interno de paredes e tetos com pasta de gesso – materiais, preparo, aplicação e acabamento. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1997. 2 p.
- _____. **NBR 13207**: gesso para construção civil - requisitos. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2017a. 7 p.

_____. **NBR 16494**: Bloco de gesso para vedação vertical - Requisitos. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2017b. 7 p.

ASTM, AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E2611-09**: Standard Test Method for Measurement of Normal Incidence Sound Transmission of Acoustical Materials Based on the Transfer Matrix Method. West Conshohocken, 2009, 14 p.

AYRILMIS, N.; KAYMAKCI, A.; OZDEMIR, F. Sunflower seed cake as reinforcing filler in thermoplastic composites. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 129, n. 3, p. 1170-1178, 2012. Disponível em: <<http://onlinelibrary-wiley.ez47.periodicos.capes.gov.br/doi/10.1002/app.38806/full>>. Acesso em: 07 mar. 2018.

BACKES, R. L. et al. Desempenho de cultivares de girassol em duas épocas de plantio de safrinha no planalto norte catarinense. **Scientia Agraria**, v. 9, n. 1, p. 41-48, 2008. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/agraria/article/view/10131/8174>>. Acesso em: 29 jan. 2018.

BARNARD, A. R. et al. Measurement of Sound Transmission Loss Using a Modified Four Microphone Impedance Tube. **NOISE-CON 2004**, Baltimore, May. 2004. Disponível em: <<https://trid.trb.org/view/813291>>. Acesso em: 29 jan. 2018.

BELAYACHI, N.; HOXHA, D.; SLAIMIA, M. Impact of accelerated climatic aging on the behavior of gypsum plaster-straw material for building thermal insulation. **Construction and Building Materials**, v. 125, p. 912-918, 2016. Disponível em: <<https://www-sciencedirect.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0950061816313812?via%3Dihub>>. Acesso em: 12 dez. 2018.

BERANEK, L. L.; VÉR, I. L. **Noise and vibration control engineering**. 2. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2006.

BERARDI, U.; IANNACE, G. Acoustic characterization of natural fibers for sound absorption applications. **Building and Environment**, v. 94, p. 840-852, 2015. Disponível em: <<https://www-sciencedirect.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S036013231530007X?via=ihub>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

BIES, D. A.; HANSEN, C. H. **Engineering noise control: theory and practice**. 3. ed. London: Spon Press, 2003.

BINICI, H.; AKSOGAN, O.; DEMIRHAN, C. Mechanical, thermal and acoustical characterizations of an insulation composite made of bio-based materials. **Sustainable Cities and Society**, v. 20, p.17–26, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670715300305>>. Acesso em: 05 dez. 2018.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle de ruído**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2006.

BOGER, M. E.; BARRETO, M. A. S. C. Zumbido e perda auditiva induzida por ruído em trabalhadores expostos ao ruído ocupacional. **Revista Eletrônica Gestão & Saúde**, Brasília, v. 6, n. 2, p. 1321-1333, 2015. Disponível em: <<http://periodicos.unb.br/index.php/rgs/article/view/22470/16067>>. Acesso em: 8 nov. 2017.

BORCHARDT, M. et al. Considerações sobre ecodesign: um estudo de caso na indústria eletrônica automotiva. **Ambiente & Sociedade**, v. 11, n. 1, p. 341-353, jul./dez. 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1414-753X2008000200009&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 10 nov. 2017.

BRASIL. Ministério do Trabalho. Portaria nº 3214, de 08 de junho de 1978. Norma **Regulamentadora de Atividades e Operações Insalubres** – NR 15, 1978. Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR15/NR-15.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

BREZET, H. Dynamics in ecodesign practice. **UNEP Industry and Environment**, v. 20, n. 1, p. 21– 24, 1997. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/279586878_Dynamics_in_ecodesign_practice>. Acesso em: 15 out. 2017.

CAETANO, M. D. D. E.; DEPIZZOL, D. B.; REIS, A. O. P. Análise do gerenciamento de resíduos sólidos e proposição de melhorias: estudo de caso em uma marcenaria de Cariacica, ES. **Gestão e Produção**, v. 24, n. 2, p. 382-394, fev. 2017. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v24n2/0104-530X-gp-0104-530X1413-16.pdf>>. Acesso em: 24 jul. 2017.

CALLISTER Jr. D. W. RETHWISCH, G., D. **Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. 868 p.

CASTIGLIONE, V. B. R. et al. **Fases de desenvolvimento da planta de girassol**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1997. 24 p.

CASTRO, C. et al. **A cultura do girassol**. Londrina: Embrapa, 1996. 38 p.

CHERKI, A. et al. Experimental thermal properties characterization of insulating cork–gypsum composite. **Construction and Building Materials**, v. 54, p. 202-209, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061813012336>>. Acesso em: 07 mar. 2018.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v. 4, p. 1-144, 2017. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/noticias/conab-preve-supersafra-de-232-milhoes-de-toneladas-de-graos/boletim-graos-maio-2017.pdf>>. Acesso em: 25 jan. 2018.

COSSU, R.; WILLIAMS, I. D. Urban mining: Concepts, terminology, challenges. **Waste Management**, v. 45, p. 1-3, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X15005280?via%3Dihub>>. Acesso em: 9 nov. 2017.

COX, T. J.; D' ANTONIO, P. **Acoustic Absorbers and Diffusers**: Theory, design and application. 1. ed. Londres: Spon Press, 2005. 432 p.

D'AMORE, G. K. O. et al. Innovative thermal and acoustic insulation foam from recycled waste glass powder. **Journal of Cleaner Production**, v. 165, p. 1306-1315, 2017. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0959652617316694>>. Acesso em: 12 nov. 2017.

DUTRA, R. G. **Custos**: uma abordagem prática. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

ELKHESSAIMI, Y.; DOYEN, N. T.; SMITH, A. Effects of microstructure on acoustical insulation of gypsum boards. **Journal of Building Engineering**, v. 14, p. 24-31, 2017. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2352710217304515>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de Métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

EURIMA, EUROPEAN INSULATION MANUFACTURERS ASSOCIATION. **Production Process**. Disponível em: <http://www.eurima.org/about-mineral-wool/production-process.html> Acesso em: 18 dez. 2018.

FAHY, F.; WALKER, J. **Advanced Applications in Acoustics, Noise and Vibration**. 1. ed. New York: Rountledge, 2004. 640 p.

FATIMA, S.; MOHANTY, A. R. Acoustical and fire-retardant properties of jute composite materials. **Applied Acoustics**, v. 72, n. 2-3, p. 108-114, 2011. Disponível em: <<https://www-sciencedirect-com.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0003682X10002331?via%3Dihub>>. Acesso em: 06 jun. 2018.

FONGANG, R. T. T. et al. Cleaner production of the lightweight insulating composites: Microstructure, pore network and thermal conductivity. **Energy and Buildings**, v. 107, p. 113-122, 2015. Disponível em: <<https://www-sciencedirect.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0378778815301948?via%3Dihub>>. Acesso em: 11 jul 2018.

FOULADI, M. H. et al. Utilization of coir fiber in multilayer acoustic absorption panel. **Applied Acoustics**, v. 71, n. 3, p. 241-249, 2010. Disponível em: <<https://www-sciencedirect-com>>

com.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0003682X09002175?via%3Dihub>. Acesso em: 06 jun. 2018.

FOULADI, M. H.; AYUB, M.; NOR, M. J. M. Analysis of coir fiber acoustical characteristics. **Applied Acoustics**, v. 72, n. 1, p. 35-42, 2011. Disponível em: <[https://www.sciencedirect-com.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0003682X10002112?via%3Dihub](https://www.sciencedirect.com.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0003682X10002112?via%3Dihub)>. Acesso em: 06 jun. 2018.

GENCEL, O. et al. A novel lightweight gypsum composite with diatomite and polypropylene fibers. **Construction and Building Materials**, v. 113, p. 732-740, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061816304299?via%3Dihub>>. Acesso em: 07 mar. 2018.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: fundamentos e controle**. 2. ed. Florianópolis: NR Consultoria e Treinamento, 2000.

GIANNINI, C. F. **Painéis para tratamento acústico utilizando resíduos de fibras naturais: uma alternativa de desenvolvimento sustentável na região de Maringá, PR**. 2013. 119 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana)-Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2013.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GOLDEN, J.; HANDFIELD, R. Opportunities in the emerging bioeconomy. **US Department of Agricultural, Office of Procurement and Property Management**. 2014. Disponível em: <<https://www.biopreferred.gov/files/WhyBiobased.pdf>>. Acesso em: 16 out. 2017.

GOMES, L. G.; LIMA, L. B.; FRANCO, E. A. P. Gestão ambiental corporativa: análise da aplicação da metodologia de produção mais limpa (P+L). **E-xacta**, v. 9, n. 2, p. 83-100, 2016. Disponível em: <<http://revistas2.unibh.br/index.php/dcet/article/view/1814/1060>>. Acesso em: 25 jul. 2017.

HENS, L. et al. On the evolution of “Cleaner Production” as a concept and a practice. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 3323-3333, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617327427>>. Acesso em: 23 dez. 2018.

HERMOSILLA, J. C.; RÍO, P. del; KÖNNÖLÄ, T. Diversity of eco-innovations: reflections from selected case studies. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 10-11, p. 1073-1083, 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652610000612>>. Acesso em: 25 jan. 2018.

HUANG, C. H. et al. The Efficacy of Coconut Fibers on the Sound-Absorbing and Thermal-Insulating Nonwoven Composite Board. **Fibers and Polymers**, v. 14, n. 8, p.

1378-1385, 2013. Disponível: <<https://link-springer-com.ez47.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s12221-013-1378-7>>. Acesso em: 06 jun. 2018.

HUISINGH, D. et al. Recent advances in carbon emissions reduction: policies, technologies, monitoring, assessment and modeling. **Journal of Cleaner Production**, v. 103, n., p. 1-12, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615004734>>. Acesso em 09 set. 2017.

IASNICU, I. et al. Determination of sound absorption coefficient for plates and layered composite material made from textile waste and cork. **Journal of Engineering Studies and Research**, v. 21, n. 2, p. 48-56, 2015. Disponível em: <<https://search.proquest.com/openview/e27a67dd8012e09f17ae2d68cc334d8d/1?pq-origsite=gscholar&cbl=716380>>. Acesso em: 12 set. 2017.

INGRAO, C. et al. Agricultural and forest biomass for food, materials and energy: bio-economy as the cornerstone to cleaner production and more sustainable consumption patterns for accelerating the transition towards equitable, sustainable, post fossil-carbon societies. **Journal of Cleaner Production**, v. 117, p. 4-6, 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/journal/09596526/117?sdc=1>>. Acesso em: 09 set. 2017.

ISO. International Organization for Standardization. **ISO 10534-2: Acoustics - Determination of sound absorption coefficient and impedance tubes - Part 2: Transfer-function method**. Switzerland, 1998, 11 p.

KINSLER, L. E., et al. **Fundamentals of Acoustics**. 4. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc, 2000.

KOCAMAN, I.; SISMAN, C. B.; GEZER, E. Investigation the using possibilities of some mineral-bound organic composites as thermal insulation material in rural buildings. **Scientific Research and Essays**, v. 6, n. 7, p. 1673-1680, 2011. Disponível em: <<http://www.academicjournals.org/journal/SRE/article-abstract/B3A192F20439>>. Acesso em: 13 set 2017.

KONDRATIEVA, N., et al. Study of modified gypsum binder. **Construction and Building Materials**, v. 149, p. 535–542, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061817310255?via%3Dihub>>. Acesso em: 25 jan. 2018.

LEITE, R. M. V. et al. **Indicações para o cultivo de girassol nos Estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Mato Grosso do Sul**, Mato Grosso, Goiás e Roraima. Londrina: Embrapa Soja, 2007, 4 p.

MACIEL, D. S. C.; FREITAS, L. S. Análise do processo produtivo de uma empresa do segmento de cerâmica vermelha à luz da produção mais limpa. **Produção Online**, v.

13, n. 4, p. 1355-1380, 2013. Disponível em:

<<https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/1396>>. Acesso em: 24 jul. 2017.

MARCON, A.; MEDEIROS, J. F.; RIBEIRO, J. L. D. Innovation and environmentally sustainable economy: Identifying the best practices developed by multinationals in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 160, p. 83-97, 2017. Disponível em:

<[https://www.sciencedirect-](https://www.sciencedirect.com.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0959652617303153?via%3Dihub)

[com.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0959652617303153?via%3Dihub](https://www.sciencedirect.com.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0959652617303153?via%3Dihub)>. Acesso em: 29 jan. 2018.

MARECHAL, V.; RIGAL, L. Characterization of by-products of sunflower culture – commercial applications for stalks and heads. **Industrial Crops and Products**, v. 10, n. 3, p. 185-200, 1999. Disponível em:

<[https://www.sciencedirect-](https://www.sciencedirect.com.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0926669099000230?via%3Dihu)

[com.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0926669099000230?via%3Dihu](https://www.sciencedirect.com.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0926669099000230?via%3Dihu)>. Acesso em: 29 jan. 2018.

MATHIAS, J. D. et al. Upcycling Sunflower Stems as Natural Fibers for Biocomposite Applications. **BioResources**, v. 10, n. 4, p. 8076-8088, 2015. Disponível em:

<[http://web.b-ebshost-](http://web.b-ebshost-com.ez47.periodicos.capes.gov.br/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&sid=add1d022-5e59-4f59-b8df-cc2196e3c710%40sessionmgr120)

[com.ez47.periodicos.capes.gov.br/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&sid=add1d022-5e59-4f59-b8df-cc2196e3c710%40sessionmgr120](http://web.b-ebshost-com.ez47.periodicos.capes.gov.br/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&sid=add1d022-5e59-4f59-b8df-cc2196e3c710%40sessionmgr120)>. Acesso em: 15 jan. 2018.

MATI-BAOUCHE, N. et al. Sound absorption properties of a sunflower composite made from crushed stem particles and from chitosan bio-binder. **Applied Acoustics**, v. 111, p. 179-187, 2016. Disponível em:

<[https://www.sciencedirect-](https://www.sciencedirect.com.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0003682X16301128?via%3Dihu)

[com.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0003682X16301128?via%3Dihu](https://www.sciencedirect.com.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0003682X16301128?via%3Dihu)>. Acesso em: 14 jun. 2018.

MEIRA, C. R. et al. Desenvolvimento de pó à base de gesso e binder para prototipagem rápida. **Cerâmica**, v.59, n. 351, 2013. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132013000300009>.

Acesso em: 13 dez. 2018.

MGBEMENE, C. et al. Feasibility Study on the Production of Particleboard from Maize Cobs, Rice Husks, and Groundnut Shells Using Acacia Mimosa Tannin Extract as the Bonding Adhesive. **Journal of Architectural Engineering**, v. 20, n. 1, 2014. Disponível em:

<<https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29AE.1943-5568.0000135>>.

Acesso em: 25 jan. 2018.

MILAN, G. S.; GRAZZIOTIN, D. B. Um estudo sobre a aplicação da Produção mais Limpa (P+L). **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, n. 1, p. 127-140, 2012. Disponível em:

<[https://search.proquest.com/openview/2003c6968e0a55c8dfd5cc8e45c69b2f/1?pq-](https://search.proquest.com/openview/2003c6968e0a55c8dfd5cc8e45c69b2f/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2034372)

[origsite=gscholar&cbl=2034372](https://search.proquest.com/openview/2003c6968e0a55c8dfd5cc8e45c69b2f/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2034372)>. Acesso em: 24 jul. 2017.

NAYMAKCI, A. et al. Utilization of Sunflower Stalk in Manufacture of Thermoplastic Composite. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 21, n. 4, p. 1135-1142. Disponível em:

<<https://link-springer->

com.ez47.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s10924-012-0564-9>. Acesso em: 07 mar. 2018.

NETO, F. L.; PARDINI, L. C. **Compósitos Estruturais**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

NEWELL, J. **Fundamentos da Moderna Engenharia e Ciência dos Materiais**. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

OSLO Manual. **Guidelines for collecting and interpreting innovation data**. 3. ed. França: OECD, 2005.

OSMANI, M. Innovation in cleaner production through waste recycling in composites. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, v. 24, n. 1, p. 6-15, 2013. Disponível em: <<https://www-emeraldinsight-com.ez47.periodicos.capes.gov.br/doi/full/10.1108/14777831311291104>>. Acesso em: 04 mai. 2018.

PANCHENKO, A. I.; KOZLOV, N. Water-resistant gypsum binder. **MATEC Web of Conferences**, v. 86, p. 1-6, 2016. Disponível em: <https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2016/49/mateconf_ipicse2016_06001/mateconf_ipicse2016_06001.html>. Acesso em: 20 jan. 2018.

Panyakaew, S.; Fotios, S. New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 7, p. 1732-1739, 2011. Disponível em: <<http://eprints.whiterose.ac.uk/43213/>>. Acesso em: 07 dez. 2018.

PAPADOPOULOS, A. M. State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments. **Energy and Buildings**, v. 37, v. 1, p. 77–86, 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778804001641>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

PATNAIK, A. et al. Thermal and sound insulation materials from waste wool and recycled polyester fibers and their biodegradation studies. **Energy and Buildings**, v. 92, p. 161-169, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0378778815000821>>. Acesso em: 12 nov. 2017.

PEDROSO, M.; BRITO, J.; SILVESTRE, J. D. Characterization of eco-efficient acoustic insulation materials (traditional and innovative). **Construction and Building Materials**, v. 140, p. 221-228, 2017. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0950061817303264>>. Acesso em: 12 nov. 2017.

PIÉGAY, C. et al. Acoustical model of vegetal wools including two types of fibers. **Applied Acoustics**, v. 129, p. 36-46, 2018. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0003682X17303274>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

PINSKY, V.; KRUGLIANSKAS, I. Inovação tecnológica para a sustentabilidade: aprendizados de sucessos e fracassos. **Estudos Avançados**, v. 31, n. 90, p. 107-126, maio/ago. 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142017000200107>. Acesso em: 22 jan. 2018.

PINTO, L. S. D.; MATOS, C. C.; SILVA, M. L. F. Resíduos sólidos de madeira: aplicabilidade de resíduo de serragem de MDF no design de ambientes. **Blucher Design Proceedings, Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design**, v. 9, n. 2, 2016. Disponível em: <<http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/resduos-slidos-de-madeira-aplicabilidade-de-resduo-de-serragem-de-mdf-no-design-de-ambientes-24601>>. Acesso em: 21 jul. 2017.

RABBI, A. et al. Manufacturing of PAN or PU Nanofiber Layers/PET Nonwoven Composite as Highly Effective Sound Absorbers. **Advances in Polymer Technology**, v. 33, n. 4, 2014. Disponível em: <<https://onlinelibrary-wiley.ez47.periodicos.capes.gov.br/doi/full/10.1002/adv.21425>>. Acesso em: 06 jun. 2018.

RANDERS, J. **2052: a global forecast for the next forty years**. White River Junction: Chelsea Green. 2012.

REIXACH, R. et al. Acoustic properties of agroforestry waste orange pruning fibers reinforced polypropylene composites as an alternative to laminated gypsum boards. **Construction and Building Materials**, v. 77, p. 124-129, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061814013439>>. Acesso em: 12 set. 2017.

RIVERO, A. J.; BAEZ, A. G.; NAVARRO, J. G. New composite gypsum plaster-ground waste rubber coming from pipe foam insulation. **Construction and Building Materials**, v. 55, p. 146-152, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061814000518>>. Acesso em: 07 mar. 2018.

RIZZO, M. et al. Reação ao fogo, isolamento térmico e desempenho acústico de aglomerados de poliuretano rígido com adição de fibras naturais. **Scientia cum Industria**, v. 3, n. 3, p. 17-22, 2015. Disponível em: <http://www.academia.edu/12050756/Rea%C3%A7%C3%A3o_ao_fogo_isolamento_t%C3%A9rmico_e_desempenho_ac%C3%BAstico_de_aglomerados_de_poliuretano_r%C3%ADgido_com_adic%C3%A3o_de_fibras_naturais>. Acesso em: 9 set. 2017.

ROSA, A. D. La. et al. Life cycle assessment of a novel hybrid glass-hemp/thermoset composite. **Journal of Cleaner Production**, v. 44, p. 69-76, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect-com.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0959652612006312?via%3Dih>>. Acesso em: 04 mai. 2018.

ROSA, L. C. et al. Use of rice husk and sunflower stalk as a substitute for glass wool in thermal insulation of solar collector. **Journal of Cleaner Production**, v. 104, p. 90-97, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615005028>>. Acesso em: 15 jul. 2017.

ROSSI, R. O. **Girassol**. Curitiba: Tecnoagro, 1998. 333 p.

ROY, R. Consumer Product Design and Innovation: Past, present and future. **Consumer product innovation and sustainable design: the evolution and impacts of successful products**. Oxon (UK): Routledge. 2016.

SALIBA, T. M. **Manual prático de avaliação e controle do ruído**. 8. ed. São Paulo: LTr, 2016. 144 p.

SANTOS, J. A.; FILHO, D. P. **Metodologia científica**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 251 p.

SEILER, G. J. **Anatomy and Morphology of Sunflower**. Madison: Sunflower Technology and Production, 1997. 834 p.

SENAI. SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. **Implementação de programas de produção mais limpa**. Porto Alegre: Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI-RS/UNIDO/INEP, 2003.

SHI, X. et al. Novel sound insulation materials based on epoxy/hollow silica nanotubes composites. **Composites Part B: Engineering**, v. 131, p. 125-133, 2017. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1359836816319473>>. Acesso em 12 nov. 2017.

SILVA, A. R.; MAREZE, P.; BRANDÃO, E. Prediction of sound absorption in rigid porous media with the lattice Boltzmann method. **Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical**, v. 49, n. 6, 2016. Disponível em: <<http://iopscience.iop.org.ez47.periodicos.capes.gov.br/article/10.1088/1751-8113/49/6/065501/meta>>. Acesso em: 25 jan. 2018.

SILVA, C. G.; BARBOSA, N. P.; OLIVEIRA, M. P. Tratamentos superficiais visando à melhoria da aderência entre gesso e taliscas de bambu. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 2, p. 222–228, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662012000200014>. Acesso em: 25 jan. 2018.

SMITH, F., W., HASHEMI, J. **Fundamentos de Engenharia e Ciência dos Materiais**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.

SOUZA, A. M. et al. Wood-based composite made of wood waste and epoxy based ink-waste as adhesive: A cleaner production alternative. **Journal of Cleaner Production**, v.

193, p. 549-562, 2018. Disponível em: <<https://www-sciencedirect.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0959652618314239?via%3Dihub>>. Acesso em: 11 jul. 2018.

SOUZA, F. R. et al. Características agronômicas do cultivo de girassol consorciado com *Brachiaria ruziziensis*. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 1, p. 110-116, 2015. Disponível em: <<http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/2383>>. Acesso em: 29 jan. 2018.

SUN, S. et al. Hygromechanical characterization of sunflower stems. **Industrial Crops and Products**, v. 46, p. 50-59, 2013a. Disponível em: <<https://www-sciencedirect-com.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0926669013000320?via%3Dihu>>. Acesso em: 29 jan. 2018.

SUN, Z. et al. Novel recycling of nonmetal particles from waste printed wiring boards to produce porous composite for sound absorbing application. **Environmental Technology**, v. 35, n. 10, p. 1269-1276, 2013b. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09593330.2013.865792>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

TAGHIYARI, H. R.; TAHERI, A.; OMRANI, P. Correlation between acoustic and physical–mechanical properties of insulating composite boards made from sunflower stalk and wood chips. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 75, n. 3, p. 409-418, 2016. Disponível em: <<https://link-springer-com.ez47.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s00107-016-1101-7>>. Acesso em: 30 jul. 2018.

TAGLIARI, L. D., et al. Processo de produção mais limpa no setor jato de granalha em uma empresa metal mecânica. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, Espírito Santo do Pinhal, v. 12, n. 1, p. 147-163, 2015. Disponível em: <<http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=1122&layout=abstract>>. Acesso em: 13 set. 2017.

UNEP. UNITED NATIONS ENVIROMENT PROGRAMMAS. **ABC OF SCP: Clarifyng Concepts on Sustainable Consumption and Production**. Paris: UNEP. 2012.

VENANZI, D. C.; MORIS, V. A. S. Produção mais Limpa: estudo sobre as empresas fabricantes de componentes automotivos localizadas na cidade de Sorocaba-S. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 8, n. 1, p. 119-132, 2013. Disponível em: <<http://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/view/995>>. Acesso em: 21 jul. 2017.

VIANA, L. G.; CRUZ, P. S. **Reaproveitamento de resíduos agroindustriais**. In: IV Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2016, Cruz das Almas/ BA. Disponível em: <<http://cobesa.com.br/2016/download/cobesa-2016/IVCOBESA-133.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2017.

VIRGILLITO, S. B. **Estatística aplicada**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2017, 631 p.

YAM, R. C. M.; MAK, D. M. T. A cleaner production of rice husk-blended polypropylene eco-composite by gas-assisted injection moulding. **Journal of Cleaner Production**, v. 67, p. 277-284, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652613008925>>. Acesso em: 04 mai. 2018.

YANASE, J. **Custos e formação de preços**: importante ferramenta para tomada de decisões. 1. ed. São Paulo: Trevisan Editora, 2018, 164 p.

YU, Q. L.; BROUWERS, H. J. H. Development of a self-compacting gypsum-based lightweight composite. **Cement & Concrete Composites**, v. 24, p. 1033-1043, 2012. Disponível: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095894651200114X>>. Acesso em: 25 jan. 2018.

APÊNDICE A – ANÁLISE ESTATÍSTICA

Anova + Tuckey

Analysis of Variance Table

| | DF | SS | MS | FC | Pr>Fc |
|-----------|----|----------|----------|--------|----------|
| Treatment | 3 | 0.129702 | 0.043234 | 4.4261 | 0.041079 |
| Residuals | 8 | 0.078144 | 0.009768 | | |
| Total | 11 | 0.207846 | | | |

CV = 15.14 %

Shapiro-wilk normality test

p-value: 0.3027121

According to Shapiro-wilk normality test at 5% of significance, residuals can be considered normal.

Homogeneity of variances test

p-value: 0.9510129

According to the test of Bartlett at 5% of significance, residuals can be considered homocedastic.

Tukey's test

| Groups | Treatments | Means |
|--------|------------|-----------|
| a | A | 0.8293333 |
| a | C | 0.6269 |
| a | D | 0.5829333 |
| a | B | 0.5720667 |

Anova + Duncan

Analysis of Variance Table

| | DF | SS | MS | Fc | Pr>Fc |
|-----------|----|----------|----------|--------|----------|
| Treatment | 3 | 0.129702 | 0.043234 | 4.4261 | 0.041079 |
| Residuals | 8 | 0.078144 | 0.009768 | | |
| Total | 11 | 0.207846 | | | |

CV = 15.14 %

Shapiro-wilk normality test

p-value: 0.3027121

According to Shapiro-wilk normality test at 5% of significance, residuals can be considered normal.

Homogeneity of variances test

p-value: 0.9510129

According to the test of bartlett at 5% of significance, residuals can be considered homocedastic.
-----Duncan's test

| Groups | Treatments | Means |
|--------|------------|-----------|
| a | A | 0.8293333 |
| b | C | 0.6269 |
| b | D | 0.5829333 |
| b | B | 0.5720667 |