



**CENTRO UNIVERSITÁRIO CHRISTUS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

FELIPE DE FREITAS BRILHANTE

**DESENVOLVIMENTO DE MANTA TERMOACÚSTICA À BASE DE FIBRA DA
PALHA DE MILHO E RESINA EPÓXI**

FORTALEZA

2020

FELIPE DE FREITAS BRILHANTE

DESENVOLVIMENTO DE MANTA TERMOACÚSTICA À BASE DE FIBRA DA
PALHA DE MILHO E RESINA EPÓXI

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Christus, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Elayne Valério Carvalho.

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Centro Universitário Christus - Unichristus
Gerada automaticamente pelo Sistema de Elaboração de Ficha Catalográfica do
Centro Universitário Christus - Unichristus, com dados fornecidos pelo(a) autor(a)

B857d Brilhante, Felipe de Freitas.
 DESENVOLVIMENTO DE MANTA TERMOACÚSTICA À BASE
 DE FIBRA DA PALHA DE MILHO E RESINA EPÓXI / Felipe de
 Freitas Brilhante. - 2020.
 65 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro
Universitário Christus - Unichristus, Curso de Engenharia Civil,
Fortaleza, 2020.

Orientação: Profa. Dra. Elayne Valério Carvalho.

1. Manta acústica. 2. Fibras da palha do milho. 3. Resina epóxi.
4. Conforto ambiental. 5. Isolamento termoacústico. I. Título.

CDD 624

FELIPE DE FREITAS BRILHANTE

DESENVOLVIMENTO DE MANTA TERMOACÚSTICA À BASE DE FIBRA DA
PALHA DE MILHO E RESINA EPÓXI

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia Civil
do Centro Universitário Christus, como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Elayne Valério
Carvalho.

Aprovada em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Elayne Valério Carvalho
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

Prof. Me. Nelson de Oliveira Quesado Filho
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

Profa. Ma. Tatiana Soares de Oliveira
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar saúde e força para superar as dificuldades.

Ao Centro Universitário Christus, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro, baseados na confiança, mérito e ética.

À professora Dra. Elayne, pela orientação, apoio e confiança.

Aos meus pais, Sérgio e Nívia, e a minha irmã, Amanda, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

A minha namorada, que é sempre meu amparo, que me ajuda e incentiva em todos os projetos da minha vida.

Meus agradecimentos aos meus amigos companheiros (Iran, Jéferson, Roger, Rodrigo e Yuri) que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida.

Agradeço aos professores Me. Nelson Quesado Filho e Ma. Tatiana Oliveira pela participação na banca e por todas as orientações passadas.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

Diversos modelos construtivos precisaram ser modificados a fim de atender adequadamente às especificações da NBR 15575:2013, que apresenta parâmetros técnicos de desempenho das unidades habitacionais no Brasil. Nesse sentido, materiais têm sido desenvolvidos para proporcionar conforto ambiental exigido pela norma. Sendo a indústria da construção civil uma das maiores consumidoras de matéria-prima, há a preocupação da inserção de materiais sustentáveis que causem mínimos impactos ambientais. Portanto, este trabalho tem o objetivo de desenvolver e avaliar o desempenho de diferentes mantas termoacústicas experimentais, constituídas por um compósito produzido a partir da fibra da palha do milho dispersa em uma matriz polimérica à base de resina epóxi. Para isso, confeccionou-se três tipos de mantas, com proporções e massas diferentes de fibra da palha de milho e resina epóxi. Os corpos de prova foram submetidos a ensaios de isolamento acústico, com câmaras reverberantes, ensaio de transmissão térmica por condução e ensaio de fluência à compressão, por uma carga fixa em um período determinado. Os resultados indicaram maior viabilidade para a manta C, comprovando que apresentar maior diferença proporcional entre resina e fibra da palha de milho é mais eficaz do que apresentar maior massa de ambos os polímeros. Dessa forma, a Amostra C apresentou melhores resultados quanto à resistência à fluência à compressão e ao desempenho acústico e térmico. Por fim, pode-se afirmar que a concentração de fibra pode ser relacionada ao desempenho termoacústico, devido à sua influência na formação de vazios na estrutura do material. Contudo, as três mantas apresentaram resultados positivos, tanto no ensaio acústico quanto no ensaio térmico.

Palavras-chave: Manta acústica. Fibras da palha do milho. Resina Epóxi. Conforto ambiental. Isolamento termoacústico.

ABSTRACT

Several construction models needed to be modified to adequately meet the specifications of NBR 15575: 2013, which presents technical performance parameters for housing units in Brazil. In this sense, materials have been developed to provide environmental comfort required by the standard. As the construction industry is one of the largest consumers of raw materials, there is a concern with the insertion of sustainable materials that cause minimal environmental impacts. Therefore, this work aims to develop and evaluate the performance of different experimental thermoacoustic blankets, consisting of a composite produced from the fiber of corn straw dispersed in a polymeric matrix based on epoxy resin. For this, three types of blankets were made, with different proportions and different masses of corn straw fiber and epoxy resin. The specimens were subjected to acoustic insulation tests, with reverberating chambers, thermal transmission test by conduction and compression creep test, by a fixed load in a determined period. The results indicated greater viability for blanket C, proving that presenting a greater proportional difference between resin and corn straw fiber is more effective than presenting a greater mass of both polymers. Thus, Sample C showed better results regarding resistance to creep to compression and acoustic and thermal performance. Finally, it can be said that the concentration of fiber can be related to the thermoacoustic performance, due to its influence on the formation of voids in the material structure. However, the three blankets showed positive results, both in the acoustic test and in the thermal test.

Keywords: Acoustic blanket. Corn straw fibers. Epoxy Resin. Environmental comfort. Thermoacoustic insulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ilustração esquemática da interação da lignina com a celulose e a hemicelulose.	21
Figura 2 – Esquema representativo da produção da resina epóxi bisfenol.	22
Figura 3 - Esquema representativo da resina epóxi flexível.....	23
Figura 4 – Tipos de compósitos quanto as diversas características geométricas e espaciais das partículas da fase dispersa. (a) concentração, (b) tamanho, (c) forma, (d) distribuição, (e) orientação.....	26
Figura 5 – Zoneamento bioclimático brasileiro.	37
Figura 6 – Esquema representativo que organiza as etapas do método deste estudo.	39
Figura 7 – Descarte de Palha de Milho no mercado São Sebastião em Fortaleza/CE	40
Figura 8 - Palhas cortadas	41
Figura 9 - Fibra da palha do milho (A) após a trituração e (B) após a secagem	41
Figura 10 – Corpo de prova moldado na forma (A) e (B) após a desforma.....	42
Figura 11 - Representação Esquemática da Câmara Reverberante.....	43
Figura 12 – Representação das marcações na amostra.....	45
Figura 13 - Representação do ensaio de fluência à compressão.....	45

LISTA DE GRÁFICOS

Gráficos 1 - Desempenho de redução acústica (frequência de 500Hz).	48
Gráficos 2 – Desempenho de redução acústica (frequência de 1000 Hz).	49
Gráficos 3 – Desempenho de redução acústica (frequência de 2000 Hz).	50
Gráficos 4 – Desempenho médio de redução acústica (frequência de 500, 1000 e 2000Hz).....	51
Gráficos 5 - Média de redução acústica (dB)	52
Gráficos 6– Comparativo de redução térmica (°C).....	53
Gráficos 7 – Resultados de fluência à compressão da amostra A.	54
Gráficos 8 – Resultados de fluência à compressão da amostra B.	55
Gráficos 9 – Resultados de fluência à compressão da amostra C.....	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação dos compósitos.	24
Quadro 2 – Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de verão	37
Quadro 3 – Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Índice de redução sonora ponderado, R_w , de componentes construtivos utilizados nas vedações entre ambientes.....	28
Tabela 2 – Critérios de diferença ponderada de nível ponderada, $D_{nT,W}$	31
Tabela 3 – Índice de redução sonora ponderado, R_w , de fachada	32
Tabela 4 – Isolamento Acústico da coberta – Requisitos, $D_{2m,nT,w}$	33
Tabela 5 – Valores de referência para ambientes internos de uma edificação de acordo com suas finalidades de uso (adaptada).....	34
Tabela 6 - Classificação dos tipos de materiais de isolamento térmico.	35
Tabela 7 – Proporção matriz: reforço dos corpos de prova A, B e C.	42
Tabela 8 – Resultados para isolamento acústico (frequência de 500Hz).....	47
Tabela 9 – Resultados para isolamento acústico (frequência de 1000Hz).....	49
Tabela 10 – Resultados para isolamento acústico (frequência de 2000Hz).....	50
Tabela 11 – Resultados para redução de transmissão sonora.	51
Tabela 12 – Resultado para o ensaio de isolamento térmico.....	53

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
dB	Decibéis
DnT,W	Diferença de padronização de nível ponderada
D2m,nT,w	Diferença de padronizada de nível ponderada a dois metros de distância da fachada
FTIR	Infravermelho com Transformada de Fourier
ISO	<i>“International Organization for Standardization”</i>
LnT,w	Nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NPT	Núcleo de Práticas Tecnológicas
RCD	Resíduos da Construção e Demolição
RLAeq	Valor de referência da comparação dos níveis de pressão sonora representativo equivalente
RLASmáx	Valor de referência da comparação dos níveis de pressão sonora representativo máximo
RLNC	Nível de curva de avaliação de ruído
Ti,máx.	Valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação
Te,máx	Valor máximo diário da temperatura do ar no exterior à edificação
TGA	Análise Termogravimétrica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	15
1.1.1	<i>Objetivo Geral</i>	15
1.1.2	<i>Objetivos Específicos</i>	15
1.2	Estrutura do Trabalho	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Sustentabilidade	17
2.1.1	<i>Impactos ambientais da construção civil</i>	17
2.2	Polímeros	19
2.2.1	<i>Polímeros naturais</i>	20
2.2.1.1	<i>Palha do milho</i>	20
2.2.2	<i>Resina Epóxi</i>	22
2.3	Compósitos	23
2.3.1	<i>Classificação dos Compósitos</i>	24
2.3.2	<i>Propriedades da fase dispersa</i>	26
2.3.3	<i>Compósitos de matriz polimérica</i>	26
2.3.4	<i>Compósitos reforçados por fibras naturais</i>	27
2.4	Acústica	28
2.4.1	<i>Isolamento Acústico</i>	28
2.4.2	<i>Conforto Acústico</i>	29
2.4.3	<i>Desempenho Acústico nas edificações</i>	29
2.4.3.1	<i>Desempenho de requisitos para os sistemas de piso</i>	30
2.4.3.2	<i>Desempenho de requisitos para o sistema de vedações verticais internas e externas (SVVIE)</i>	31
2.4.3.3	<i>Desempenho de requisitos para os sistemas de coberturas</i>	33
2.4.4	<i>Norma 10152:2017 Acústica – Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações</i>	33
2.5	Térmico	34
2.5.1	<i>Isolamento Térmico</i>	34
2.5.2	<i>Desempenho térmico nas edificações</i>	36
2.5.2.1	<i>Requisitos de desempenho no verão</i>	37
2.5.2.2	<i>Requisitos de desempenho no inverno</i>	38

3	MATERIAIS E MÉTODOS	39
3.1	Materiais	40
3.1.1	<i>Fibra vegetal de milho</i>	40
3.1.2	<i>Resina epóxi flexível.....</i>	40
3.2	Métodos	40
3.2.1	<i>Seleção e preparação da palha de milho</i>	40
3.2.2	<i>Produção dos corpos de prova.....</i>	41
3.2.4	<i>Ensaio de isolamento acústico</i>	42
3.2.5	<i>Ensaio de isolamento térmico.....</i>	44
3.2.6	<i>Ensaio mecânico de fluência à compressão.....</i>	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
4.1	Ensaio de isolamento acústico	47
4.2	Ensaio de isolamento térmico	52
4.3	Ensaio Mecânico de Fluência à Compressão	54
5	CONCLUSÃO.....	57
	REFERÊNCIAS.....	59

1 INTRODUÇÃO

Com o intuito de proporcionar o desenvolvimento sustentável e de minimizar os impactos ambientais provenientes das atividades da construção civil (BRASIL, 2019), a sociedade tem evoluído para um modelo de construção eficiente. Dessa forma, oferece viabilidade econômica e características da sustentabilidade ambiental, proporcionando além do conforto, o bem-estar dos usuários, que são impactados diretamente com a poluição sonora e desconforto térmico.

Nos grandes centros urbanos, encontram-se os maiores geradores de poluição sonora (MAGIOLI; TORRES, 2018). As fontes de ruídos são diversas: meios de transporte, vizinhança, sirenes, construção civil, casas noturnas, aglomerações de pessoas, entre outras. Esse tipo de poluição ambiental causa descontrole nos ecossistemas, gerando graves problemas patológicos aos seres humanos, como “fadiga, depressão, nervosismo, distúrbios do sono, dores de cabeça e mudança de comportamento” (BELOJEVIĆ; JAKOVLJEVIĆ; ALEKSIĆ, 1997).

Nesse sentido, outro problema relacionado ao desempenho ambiental que merece atenção em um projeto é o desconforto térmico. Esse tipo de problema é comum, principalmente em grandes centros populacionais nos quais, pessoas que possuem proteção inadequada, são expostas a baixas ou altas temperaturas, causando sérios prejuízos à saúde (ORMANDY; EZRATTY, 2016). Dessa forma, o conforto térmico não é apenas responsável por proporcionar satisfação ambiental e melhorar a performance humana mental sobre qualquer atividade, mas também é um aspecto essencial em termos de saúde pública (SANTOS, 2017).

Assim, em resposta aos dois problemas de conforto ambiental em processos construtivos abordados, há em vigência a NBR 15575 (ABNT, 2013a) que define e regulamenta parâmetros de desempenho que as edificações habitacionais e seus sistemas devem abranger, garantindo requisitos de segurança, habitabilidade, sustentabilidade e nível de desempenho relacionado ao conforto térmico e acústico. De acordo com o regulamentado, o desempenho térmico das habitações deve estar adequado quanto às avaliações de transmitância e capacidade térmica, apresentando condições de temperatura no interior do edifício habitacional melhores que do ambiente externo. Já relacionado ao desempenho acústico, a referida norma aborda que as unidades habitacionais devem oferecer isolamento acústico adequado das vedações externas, referente aos ruídos aéreos originários do exterior da edificação,

e devem apresentar isolamento acústico entre as áreas internas das edificações (ABNT, 2013a).

Com o advento da tecnologia, novos materiais da construção civil são desenvolvidos para atender às exigências das normas regulamentadoras. Assim, mantas termo acústicas comumente à base do polímero polietileno são desenvolvidas e aplicadas em paredes, contra pisos e cobertas para proporcionar conforto ao isolamento acústico e térmico, de acordo com o regulamentado (ABNT, 2013a). No entanto, o polietileno apresenta a problemática de geração de resíduos de difícil degradação e, apesar de ser um polímero reciclável, a demanda é muito maior que o potencial de reaproveitamento (J.COSTA *et al.*, 2016). Assim, a maior parte desses materiais são descartados de forma irregular, causando o aumento da poluição de mananciais e sobrecarga de aterros sanitários e lixões (AMSAVENI; KANMANI GHAYATHRI; VENKATESAN, 2019). Portanto, faz-se necessário a inserção de novos produtos sustentáveis no mercado.

No que diz respeito ao desenvolvimento de novos materiais aplicados à construção, outros aspectos além do conforto ambiental devem ser considerados. Segundo (FALESCHINI *et al.*, 2016, p.01), “a indústria da construção é um dos principais consumidores de matérias-primas, com enormes quantidades de volumes de recursos naturais não renováveis, causando também grandes fluxos de resíduos, particularmente de resíduos da construção e demolição.” O modelo anteriormente adotado por este setor resultou em um crescimento não sustentável gerando danos e prejuízos sérios ao meio ambiente. Portanto, nas últimas décadas, tem-se investigado métodos capazes de contribuir para a implementação dos preceitos sustentáveis no setor da construção civil (PEREIRA, 2019). Uma eficiente estratégia é a produção de materiais ecológicos associada ao aproveitamento, de modo racional, dos recursos naturais, assim como também, promover a reutilização dos resíduos da construção civil.

O uso desses recursos naturais, pode reduzir os custos de produção e os impactos ambientais (RIBEIRO, 2015) além de ser inovador no âmbito das pesquisas de materiais da construção civil.

Um dos materiais em estudo é a palha do milho (*Zea mays L.*) que é uma alternativa viável para aplicação no desenvolvimento de materiais de construção sustentável. Se trata de um resíduo agrícola e um material pouco utilizado, exceto na produção de artesanatos (ROMÃO, 2015). Esse resíduo “representa cerca de 10 %

da espiga de milho seca” (PAES ; TEIXEIRA ; MARTINS, 2008, p. 01), sendo estimada, no Brasil, na safra de 2018/2019, uma produção de aproximadamente 10 milhões de toneladas de palha de milho, considerando o volume de milho produzido nessa mesma safra de 100 milhões de toneladas, aproximadamente (FIESP, 2019). Assim, apresentando grande disponibilidade.

Nesse sentido, Ribeiro (2015) investigou o desempenho de um eco-compósito para isolamento térmico e acústico à base de látex e bainha da palha do coqueiro. Tal compósito tem a vantagem de substituir as fibras sintéticas dos materiais tradicionais, proporcionando uma expansão de mercado para países agroindustriais. No entanto, o material apresentou uma limitação no ensaio de biodegradabilidade, em que o compósito expôs a proliferação de bactérias que degradaram a matéria orgânica do produto desenvolvido (RIBEIRO, 2015).

Portanto, essa pesquisa torna-se relevante quando se tem a utilização de materiais que existem em abundância na sociedade e que são pouco utilizados, e tem como propósito desenvolver um compósito à base de resina epóxi flexível reforçada com fibra da palha milho, para aplicação como manta e avaliar o desempenho térmico e acústico comparativamente as normas regulamentadoras.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma manta termoacústica formada por uma matriz polimérica à base de resina epóxi flexível reforçada com fibra da palha de milho e avaliar seu desempenho, de acordo com a NBR 15575 (ABNT,2013a).

1.1.2 Objetivos Específicos

- Produzir mantas com diferentes proporções (1:0,50; 1:0,35 e 1:0,25) de resina epóxi flexível reforçadas com resíduos de fibra da palha de milho;
- Avaliar o desempenho das mantas produzidas quanto ao isolamento sonoro e térmico;
- Determinar a resistência mecânica por meio de ensaios de fluência à compressão da amostra.

1.2 Estrutura do Trabalho

Este trabalho é constituído de cinco seções. Esta seção se trata de uma introdução que aborda a problemática relacionada ao tema do estudo, o problema a ser explanado, justificativa e os objetivos esperados.

Na segunda seção, é realizada uma revisão de literatura sobre o tema abordado. Serão apresentados importantes conceitos acerca de técnicas construtivas e desenvolvimento de materiais sustentáveis, desempenho acústico e térmico de acordo com a norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013a).

A seção da *Metodologia* consiste na descrição dos procedimentos experimentais para realização da presente pesquisa.

Na seção *Resultados e Discussão*, serão apresentados e discutidos os dados coletados a partir dos ensaios por meio de gráficos e tabelas, demonstrando a relevância com embasamento na literatura.

Por fim, na seção *Conclusão* será realizada uma síntese dos resultados mais relevantes, finalizando os questionamentos apresentados na seção da introdução, direcionando à conclusão final que o estudo chegou e a contribuição para a área de pesquisa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção é realizada uma revisão bibliográfica a partir de temas relacionados com a pesquisa. Assim, essa temática apresenta definições, características e propriedades acerca de cada subdivisão, definidos como Sustentabilidade, Polímeros, Compósitos, Acústica e Térmico.

2.1 Sustentabilidade

A indústria da construção civil é uma atividade humana que gera a deterioração progressiva dos recursos naturais gerando impactos ao meio ambiente, economia e sociedade (CARVAJAL-ARANGO *et al.*, 2019). Diante disso, muitos pesquisadores têm investigado o desenvolvimento de técnicas construtivas sustentáveis (AMSAVENI; KANMANI GHAYATHRI; VENKATESAN, 2019; HATAF; GHADIR; RANJBAR, 2018).

2.1.1 Impactos ambientais da construção civil

A atividade da indústria da construção civil é uma das maiores causadoras de impactos ambientais devido ao grande consumo de recursos naturais, ocorrendo o desperdício nas diferentes etapas de construção e inadequada destinação de resíduos. Um exemplo comum são os entulhos originários dos restos do tipo construtivo utilizado. Além disso, essa atividade provoca a alteração da paisagem natural.

A ausência da gestão dos resíduos pelas construtoras gera a degradação ambiental por parte dos descartes de resíduos da construção e demolição (RCD), com grande parte dos entulhos recebendo tratamento ineficiente. Os fiscais responsáveis por vistoriar tal gestão de resíduos nas obras não possuem capacidade de planejar e gerenciar as grandes quantidades de resíduos produzidos. Nesse sentido, os gestores de obras não priorizam a adequada destinação dos resíduos e, muitas vezes, adotam um caráter emergencial e corretivo para a condução de um problema de impacto ambiental gerado pelo RCD (NETO, 2010).

No entanto, a resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, estabelece orientações, parâmetros e

métodos para a gestão dos resíduos da construção civil com a intenção de minimizar os impactos ambientais. Tal resolução responsabiliza os próprios geradores dos resíduos produzidos em atividades de construção e demolição de estruturas, retirada de vegetação e escavação de solos. A resolução analisa a viabilidade executiva e econômica de desenvolvimento e uso de materiais advindos da reciclagem e resíduos da construção civil. Por fim, a resolução informa orientações para transportadores dos resíduos, encarregados pela coleta e transporte entre o local gerador e a o local de destinação final (CONAMA, 2002).

Com isso, o desenvolvimento de uma sociedade pode ser sustentável, alinhando “a necessidade de produzir a maior quantidade de bens com a menor quantidade de recursos naturais e a menor poluição” (BRASILEIRO; MATOS, 2015, p. 05). Isso promove um crescimento ecologicamente planejado e sem impactos ambientais, pois é fundamental que a população tenha a visão que os recursos naturais são finitos e só estarão disponíveis para as futuras gerações se forem utilizados de forma consciente e racional.

Desse modo, houve o incremento da Agenda 21 Brasileira, presente na comissão de políticas de desenvolvimento sustentável, que propunha propostas de uma construção sustentável para o Brasil, com mudanças no modo de produção e consumo de materiais nas cidades, produzindo o desenvolvimento de técnicas sustentáveis (NOVAES, 2000).

2.1.2 Recuperação e reutilização de resíduos na construção civil

Alinhado à resolução do CONAMA, há em vigência o decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010 que regulamenta a lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que aborda sobre a política nacional de resíduos sólidos e implantação dos sistemas de logística reversa. Segundo o art. 13 dessa resolução, “a logística reversa é caracterizada por viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos, para reaproveitamento, em seu ciclo produtivo, ou outra destinação final ambiental adequada” (CONAMA, 2010).

Além disso, a resolução cita a coleta seletiva, mediante a segregação prévia dos resíduos, conforme sua constituição ou composição. Sendo a implementação desse sistema essencial para se chegar ao escopo da disposição final

ambientalmente apropriada dos rejeitos, conforme art. 54 da Lei nº 12.305, de 2010 (BRASIL, 2010).

Segundo Brasileiro e Matos (2015), os resíduos da construção e demolição (RCD) podem ser utilizados como matéria-prima para agregados, podendo ser utilizados em diversos processos construtivos, como confecção de tijolos, blocos pré-moldados, meio-fio, calçadas, argamassa de revestimento, camadas de base e sub-base, pavimentos, entre outros.

Outros resíduos podem ser utilizados na fabricação de materiais na construção civil, como os de origem polimérica. Pimentel e colaboradores (2006), por exemplo, desenvolveram um compósito de biomassa vegetal-cimento modificado por polímero de resíduos provenientes de *Pinus caribea*, coletada de uma empresa de produção de materiais de escritório, que conferiu ótimas condições de durabilidade, redução de absorção de água e aumento de resistência a tração (PIMENTEL; BERALDO, 2006).

2.2 Polímeros

Os polímeros são materiais naturais ou sintéticos, que geralmente possuem sua origem de características orgânicas e são compostos por cadeias com altos pesos moleculares, formados a partir de unidades de estruturas menores, os monômeros. Essas moléculas, de relativo baixo peso molecular, se combinam a outras do mesmo tipo ou diferentes, para a formação de macromoléculas, os polímeros (RUDIN; CHOI, 2013). Essas reações em que os monômeros se combinam para formar os polímeros são conhecidas como reações de polimerização (RIBEIRO, 2015).

De forma característica, os polímeros apresentam baixa massa específica, baixa condutividade térmica e elétrica, baixas temperaturas de processamento, maior resistência à corrosão, porosidade relativamente grande e, em muitos casos, possibilidade de reciclagem (RIBEIRO, 2015).

Os materiais plásticos, amplamente utilizados em diferentes áreas, são polímeros de origem sintética, em geral, derivados de produtos extraídos diretamente do petróleo. Apesar de suas propriedades atraentes, os plásticos apresentam diversas características que potencializam sua atuação poluente, gerando graves problemas ambientais. A principal delas é baixa taxa de degradação que resulta no acúmulo desses materiais em lixões e aterros sanitários. Além disso, é um dos principais

poluentes dos oceanos (SILVA, 2018), principalmente na forma de um perigoso contaminante emergente: o microplástico. Sendo assim, tem-se investigado o uso de polímeros biodegradáveis, visando tornar os processos mais sustentáveis e reduzir a quantidade de resíduos descartados no meio ambiente. Nesse sentido, os polímeros naturais são uma alternativa atraente, pois além de terem razoável taxa de degradação, são produzidos a partir de recursos renováveis.

2.2.1 *Polímeros naturais*

Os polímeros naturais, como o nome indica, são encontrados na natureza, diferente dos polímeros sintéticos que são produzidos no laboratório. Estão presentes na composição orgânica de espécies vegetais e animais como celulose, proteínas, polissacarídeos, fibras vegetais, quitina, entre outros.

Nos últimos anos, a utilização desses materiais biodegradáveis de forma racional tem proporcionado desenvolvimento ecológico, pois minimiza o impacto ambiental por utilizar matérias-primas de fontes naturais biodegradáveis.

Em contrapartida aos polímeros naturais, a maioria dos polímeros sintéticos são produzidos a partir de fonte não-renovável, compostos basicamente por hidrocarbonetos derivados do petróleo. Essas macromoléculas formam plásticos, borrachas e fibras sintéticas que, além de não serem biodegradáveis, nem sempre são recicláveis e, em geral, sua incineração causa danos ao meio ambiente, gerando grandes quantidades de resíduos (FRANCHETTI; MARCONATO, 2003).

2.2.1.1 *Palha do milho*

O milho (*Zea mays L.*) tem sua origem no México e na América Central há, aproximadamente, dez mil anos, apresentando as mesmas características botânicas da atualidade. É um dos vegetais mais estudados, por isso possui sua caracterização genética bastante detalhada (GUIMARÃES, 2007).

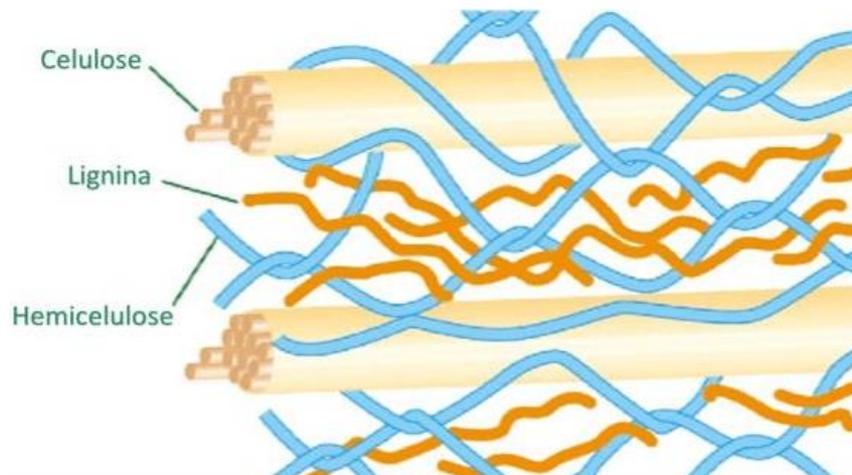
O milho é um dos produtos vegetais mais cultivados do mundo, com cerca de 1,11 bilhão de toneladas na safra 2018/2019, sendo os maiores produtores Estados Unidos da América, China e Brasil (FIESP, 2019). “Com uma área cultivada com milho de 15,12 milhões de hectares e produção de 82 milhões de toneladas em 2013, o Brasil é hoje um país estratégico, pois, é o terceiro maior produtor e o segundo maior

exportador de mundial de milho” (PIONEER, 2014). No Brasil, na safra de 2018/2019 foi registrado 101 milhões de toneladas produzidas e um consumo de 66 milhões de toneladas (FIESP, 2019), tornando o brasileiro com um dos maiores produtores e consumidores de milho no mundo.

A grande produção desse produto agrícola gera toneladas de resíduos compostas basicamente por sabugos, palhas, pontas de espigas e espigas refugadas. A palha do milho, especificamente, tem como suas destinações finais a incineração, produto de cama em criadouros de aves, e é tido no artesanato a única forma se de obter renda com esse material (PAES; TEIXEIRA ; MARTINS, 2008).

A palha do milho é composta por uma fibra natural do tipo lignocelulósica, constituída por celulose e lignina. A celulose é um polímero linear que está presente na estrutura básica de todas as plantas e é um polissacarídeo formado por unidades de monossacarídeo β -D-glucose. A lignina é uma substância que torna a parede das células rígida e na madeira é um agente de ligação entre as células, conferindo estrutura resistente ao impacto, compressão e dobra. Outros materiais que compõem a palha do milho são as hemiceluloses (hemicelulósica), que são polímeros de baixo peso molecular e os constituintes menores formados por compostos orgânicos e inorgânicos (BIANCHI, 1995; KOGA, 1988). A Figura 1 ilustra a interação entre a celulose, lignina e hemicelulose.

Figura 1 – Ilustração esquemática da interação da lignina com a celulose e a hemicelulose.



Fonte: Boudet (2003).

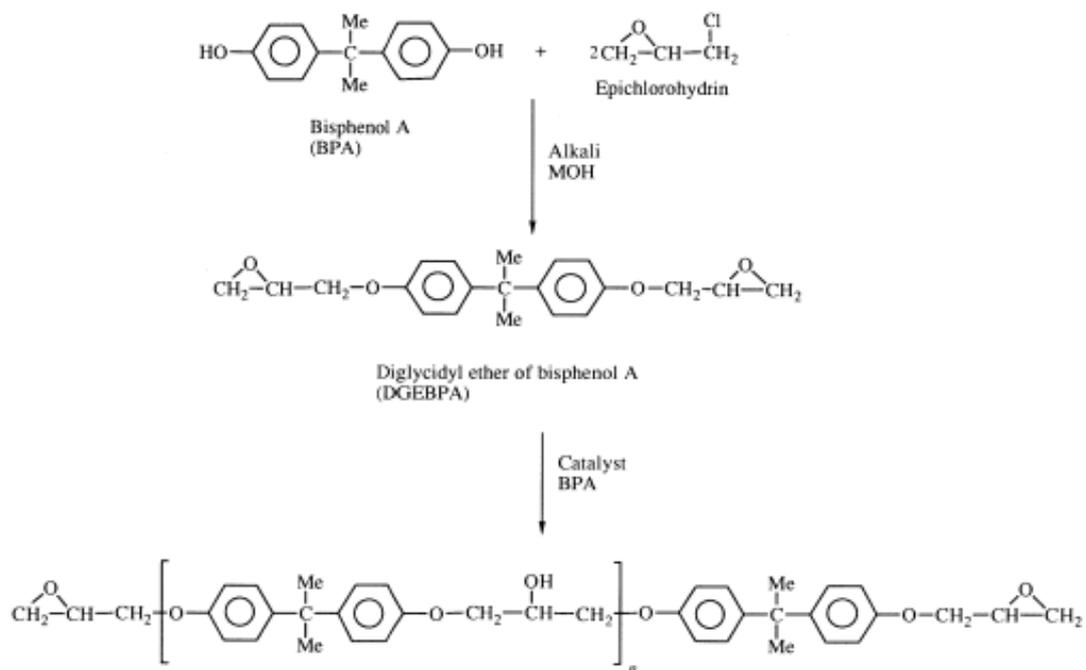
2.2.2 Resina Epóxi

A resina epóxi é classificada como polímero termofixo e tem bastante utilidade por ser considerado polivalente e por suas propriedades. Essa resina endurece quando é misturada com um agente catalisador ou endurecedor (BARBOSA, 2019).

Na composição química, a resina epóxi possui mais que um grupo funcional epóxi na sua estrutura. O óxido de etileno é um dos grupos epóxi mais comum, formando um anel químico no formato triangular por átomos de oxigênio ligados a dois grupos radicais, sendo conhecido como oxirano (ELLIS, 1993).

A resina epóxi à base de Bisfenol-A, cuja estrutura molecular é representada na Figura 2, tem a sua produção comercial baseada, na maior parte dos casos, a partir da reação que ocorre entre 2,2-bis(4-hidroxifenil) propano (Bisfenol A) e a 1- chloropropene 2 -oxide (Epicloridrina). O produto dessa reação consiste em uma família de epóxidos, apresentando grau de polimerização (n) variando entre 0 a 1, sendo comum o diglicidiléter de bisfenol A (DGE BPA) com n aproximadamente de 0,2 (QUINAYÁ, 2017).

Figura 2 – Esquema representativo da produção da resina epóxi bisfenol.

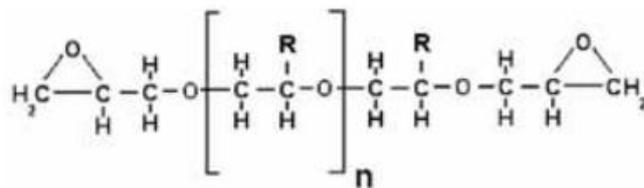


Fonte: Chemistry and Technology of Epoxy Resins (1993).

Ao fim da reação entre a epícloridrina e o bisfenol, há a produção de um polímero, que possui uma forma flexível e não apresenta características adesivas. Assim, o polímero adquire a característica de cola apresentando rigidez e adesividade após ser incorporada por um agente de cura com características de endurecedor, como um catalisador. Esse tipo de resina geralmente é mais utilizado, pois apresenta maior versatilidade e menor custo, podendo ser encontrado no estado líquido, semi-sólido ou sólido (QUINAYÁ, 2017).

Outro tipo de resina epóxi encontrada comercialmente é a resina epóxi flexível (Figura 3). Tal resina apresenta longas cadeias lineares, em que poliglicóis pouco ramificados substituem os bisfenóis, dessa forma, caracterizam resinas de baixa reatividade que normalmente são utilizadas como flexibilizantes reativos em outras resinas, sendo eficazes na resistência mecânica ao impacto, baixa concentração, resistência térmica e química (SILVEIRA, 2009).

Figura 3 - Esquema representativo da resina epóxi flexível



Fonte: QUINAYÁ (2017).

2.3 Compósitos

As novas tecnologias exigem materiais incomuns com propriedades não atendidas pelas ligas metálicas, cerâmicas e materiais poliméricos convencionais, sendo necessário compostos com combinações de características específicas, em que tais materiais só podem atingir tais propriedades com o desenvolvimento de materiais compósitos (CALLISTER, 2014).

Os materiais compósitos são produzidos por dois ou mais constituintes combinados em níveis macroscópicos de diferentes materiais que são insolúveis um no outro, dos quais apresentam fases diferentes, que são os reforços ou dispersas, sendo consideradas as fibras, partículas ou bainhas, e a fase contínua ou matriz, que

são os constituintes fibrosos de polímero, cerâmica ou metal, sendo responsáveis por envolver a fase dispersa.

Dessa forma, essa matriz tem a função de manter a orientação das fibras, proteger das intempéries e oferecer resistência ao cisalhamento e torções do material. Já o reforço tem a característica de conferir a função estrutural para o compósito (RIBEIRO, 2015).

A função dos compósitos é unir as características de dois ou mais materiais para a obtenção de um novo componente. Com a união o compósito poderá desenvolver novas propriedades espaciais que não existiam nos constituintes originais, dependendo da aplicação a ser utilizada. É, portanto, indispensável ter conhecimento das propriedades físico-químicas dos materiais que irão integrar o compósito, já que é necessária a afinidade entre os materiais para que, juntos, possam responder a esforços físicos (NETO; DE CARVALHO; ARAÚJO, 2007).

Um exemplo simples de um compósito é um tijolo feito de barro e reforçado com palha natural, em que tais constituintes separados individualmente, a argila e a palha, não podem desempenhar a função sozinhos, mas unidos sim (KAW, 2006).

2.3.1 Classificação dos Compósitos

A classificação dos materiais compósitos pode ser feita de acordo com o Quadro 1, em que consiste em três divisões: compósitos reforçados com partículas, compósitos reforçados com fibras e os compósitos estruturais e suas subdivisões. Na fase de reforço, os compósitos reforçados com partículas apresentam os eixos iguais, já os compósitos reforçados com fibra apresentam a composição estrutural de uma fibra. Já os compósitos estruturais apresentam uniões de compósitos e materiais homogêneos (CALLISTER, 2014).

Quadro 1 – Classificação dos compósitos.

Compósitos	Reforçados com partículas	Partículas grandes	
		Reforçados por dispersão	
	Reforçados com fibras	Contínuas (alinhadas)	–
		Descontínuas (curtas)	Alinhadas
			Ordenadas aleatoriamente
	Estrutural	Laminados	
Painéis-sanduiche			

Fonte: Callister (2014).

Os compósitos reforçados com partículas apresentam duas subclassificações: compósitos reforçados com partículas grandes e compósitos reforçados por dispersão, que se diferem pelo mecanismo do reforço ou o aumento da resistência. Nas grandes, a fase particulada de reforço é mais rígida do que a matriz tendendo a restringir seu movimento. Já nas reforçadas por dispersão, as partículas são menores e as interações entre a partícula e a matriz direcionada ao aumento da resistência ocorre à nível molecular, assim a matriz suporta a maior parte do esforço de carga, enquanto as pequenas partículas dispersivas prejudicam a movimentação de discordâncias (ASKELAND, 2015).

Os compósitos reforçados com fibras são considerados os mais importantes no conceito de tecnologia, apresentando objetivos que incluem alta resistência e rigidez com relação ao peso (BALIEIRO, 2017). Assim são desenvolvidos materiais compósitos reforçados com fibras que apresentam resistência e módulos específicos altos e que oferecem baixa densidade para a fibra e a matriz. Eles são classificados de acordo com o seu comprimento da fibra, contínuo (alinhado) e descontínuo (curto), em que a diferença, além do tamanho, está na alta resistência das fibras curtas (MORGADO, 2014).

Devem ser considerados ao projetar tal compósito, com relação as suas fibras, “o comprimento, diâmetro, orientação, quantidade e propriedades, além das propriedades da matriz e a união entre as fibras e a matriz” (ASKELAND, 2015, p. 567)

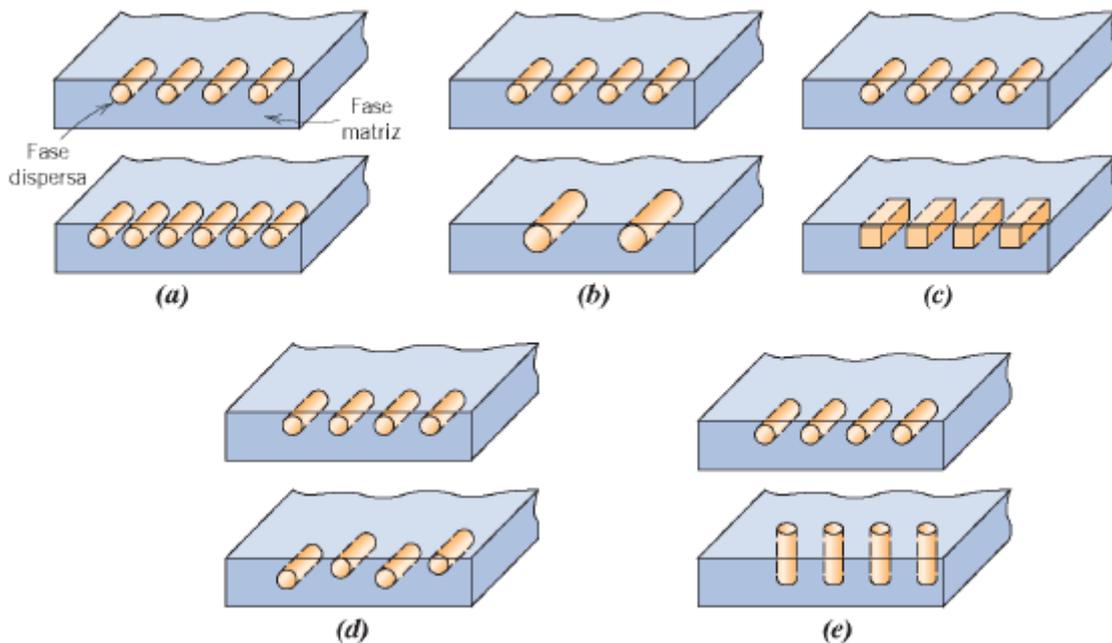
Os compósitos de matriz polimérica, cerâmica e metálica são exemplos de compósitos reforçados com fibras. Os poliméricos e metálicos são utilizados quando se busca ductilidade no componente, já a matriz com base cerâmica é quando se busca reforço para melhorar a tenacidade à fratura (CALLISTER, 2014).

Por fim, o compósito estrutural é classificado por compor materiais homogêneos e por materiais compósitos, cuja propriedades dependem dos materiais constituintes e da estrutura geométrica espacial dos elementos. Esse compósito é subclassificado em compósitos laminares e painéis em sanduiche, que são os mais comuns (BALIEIRO, 2017).

2.3.2 Propriedades da fase dispersa

Os compósitos apresentam características em função das propriedades das fases constituintes, das respectivas quantidades relativas e da fase dispersa. Assim, com relação a fase reforço, subte-se por geometria da forma, o tamanho, a distribuição e a orientação das partículas, representada na Figura 4 (CALLISTER, 2014).

Figura 4 – Tipos de compósitos quanto as diversas características geométricas e espaciais das partículas da fase dispersa. (a) concentração, (b) tamanho, (c) forma, (d) distribuição, (e) orientação.



Fonte: Callister (2014).

2.3.3 Compósitos de matriz polimérica

Os compósitos poliméricos, ou plásticos reforçados com fibras, são constituídos por fibras de alta resistência envoltas por uma matriz polimérica constituída de resina (CARNEIRO; TEIXEIRA, 2008).

As matrizes termorrígidas são constituídas de polímeros com moléculas de estrutura tridimensional. Podem ser classificados em resinas de poliéster, resinas de vinil éster, resinas fenólicas, resinas epóxi, bismaleimidas e poliimidas termoendurecíveis. Dessa forma, “as resinas termorrígidas podem ser modificadas tanto para proporcionar uma maior facilidade de processamento quanto para alterar

propriedades” (LEVY, 2016, p. 45). Tais resinas, por possuírem baixa viscosidade, tem como principal vantagem a impregnação com facilidade do reforço (ALMEIDA, 2012).

As matrizes termoplásticas são formadas pela linearidade de macromoléculas individuais e possuem a vantagem de apresentar alta resistência ao impacto, elevada tenacidade e menor nível higroscópico. São enunciados em Ácido polilático (PVA), polipropileno (PP), poliamida (PA), policarbonato (PC), poli-éter-éter-cetone, poliimida termoplásticas e polisulfureto de fenileno (ALMEIDA, 2012).

2.3.4 Compósitos reforçados por fibras naturais

As fibras naturais podem ser extraídas a partir de animais, vegetais e minerais. Possuem “cinco componentes básicos que são a celulose, hemicelulose, pectina, lignina e extrativos (gorduras, proteínas e sais inorgânicos)” (ALBINANTE; PACHECO; VISCONTE, 2013). São heterogêneas e cada uma possui as suas próprias características e estruturas químicas. Essas variações são explicadas pelas condições em que se desenvolvem, como solo, condições do clima, se foram utilizados aditivos no seu crescimento, qual o método da sua colheita, que dimensão era essa fibra originalmente, e dentre outros (SILVA, 2014).

As fibras naturais são pesquisadas em diversos trabalhos acadêmicos como referência aos vegetais fibrosos (RIBEIRO, 2015), em que as fibras são processadas para serem utilizadas como reforço. Tais fibras são resíduos agroindustriais e terão como destinação final a reciclagem e o aproveitamento na formulação de eco compósitos (RIBEIRO, 2015).

Os reforços tipo fibra são bastante utilizados em indústrias automobilísticas, construção mecânica, farmacêutica, aeronáutica, dentre outros, por apresentar alta resistência à tração e módulo de elasticidade na forma fibrosa, sendo bastante utilizado como combinação com uma matriz (SILVA, 2014).

No entanto, as fibras naturais apresentam algumas desvantagens devido ao seu caráter hidrofílico, em que o material tem afinidade de interagir com a água, e higroscópico, em que absorvem a água. Dessa forma, aumentam a probabilidade de proliferação de fungos e bactérias, acelerando o processo de biodegradação. Portanto, é necessário haver o tratamento químico do compósito (ALBINANTE; PACHECO; VISCONTE, 2013; SILVA, 2014).

2.4 Acústica

2.4.1 Isolamento Acústico

A capacidade de impedir ou diminuir a intensidade com que as ondas sonoras ultrapassam um corpo que separa dois ambientes é definido como isolamento acústico. Os materiais isolantes comumente utilizados são paredes de alvenaria, chapas cimentícias, painéis pré-moldados, esquadrias de vidro ou madeira, mantas de lã de rocha ou de vidro, entre outros.

A Tabela 1 apresenta o isolamento acústico de componentes construtivos utilizados na construção civil, de acordo com a NBR 15575-4 (ABNT, 2013c).

Tabela 1 – Índice de redução sonora ponderado, R_w , de componentes construtivos utilizados nas vedações entre ambientes.

Elemento	R_w dBa	Nível de desempenho
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório.	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório.	50 a 54	M
	55 a 59	I
	≥ 60	S
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos.	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria dos pavimentos.	35 a 39	M
	40 a 44	I
	≥ 45	S
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas.	50 a 54	M
	55 a 59	I
	≥ 60	S
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall.	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013c).

Por fim, o M é nível mínimo de aceitação, o I é o nível Intermediário e o S é o nível Superior (ABNT, 2013c).

2.4.2 Conforto Acústico

A qualidade de vida do ser humano está relacionada ao conforto ambiental que, em diversos aspectos, pode-se citar o nível sonoro combinado com a natureza física, psicológica e emocional das pessoas. Sendo assim, deve-se destacar a necessidade do adequado desempenho acústico das edificações. Dessa forma, o ruído intervém no equilíbrio natural do ser humano, interferindo nas suas atividades (S. COSTA, 2016).

Com o desenvolvimento das cidades, os ruídos se intensificaram, seja pelas atividades humanas em aglomerações, seja pelo aumento da circulação de automóveis. Nesse sentido, no intuito de proporcionar conforto acústico e melhorar a qualidade de vida da população, há estudos específicos de isolamento sonoro para reduzir a transmissão sonora entre diferentes locais (S. COSTA, 2016).

A propagação de som de dentro de uma edificação depende do tamanho da superfície delimitada e do material que a compõe, influenciando na taxa de absorção de energia sonora. Desse modo, o tempo de reverberação deve ser um importante fator levado em consideração para quantificar a taxa de qualidade sonora de um ambiente, podendo favorecer ou prejudicar as atividades realizadas no local (ROSSI *et al.*, 2018).

2.4.3 Desempenho Acústico nas edificações

Há em vigência a norma de desempenho NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), que garante um conjunto de requisitos para a edificação, visando a segurança, habitabilidade e sustentabilidade. Tem-se como uma de suas seções a regulamentação dos níveis de desempenho acústico, por meio do controle dos coeficientes de pressão sonora no interior das edificações. Sendo analisada as instalações, equipamentos prediais, sistemas hidrossanitários, de pisos, de vedações verticais internas, de vedações verticais externas e de coberturas (ABNT, 2013a).

Dessa forma, para cada situação, existem procedimentos normativos especificados na referida norma: (i) a avaliação do desempenho acústico entre unidades habitacionais medida em termos de diferença de padronização de nível ponderada (DnT,W); (ii) avaliação de desempenho acústico de fachada de edificações habitacionais medida em termos de diferença padronizada de nível ponderada a dois

metros de distância da fachada ($D_{2m,nT,w}$); (iii) avaliação de ruído de impacto medido em $L_{nT,w}$, que é o nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado; (iv) avaliação de ruído aéreo ($D_{nT,w}$); e a (V) avaliação de ruído provocados por equipamentos individuais e hidrossanitários (ABNT, 2013a).

2.4.3.1 Desempenho de requisitos para os sistemas de piso

De acordo com a NBR 15575-3 (ABNT, 2013b), que aborda o desempenho de requisitos para os sistemas de piso, há uma seção referente ao desempenho acústico. Essa norma informa os critérios de verificação do isolamento acústico do sistema de piso entre unidades autônomas.

A verificação do desempenho acústico em pisos pode ser feita pelo método de engenharia, realizado em campo, determinando o nível de pressão sonora de impacto-padrão e ruído aéreo em sistemas de pisos entre unidades autônomas. Outra forma de verificação é o mesmo método, mas de maneira mais simplificada, quando não se dispõe de instrumentos necessários para a medição do tempo de reverberação do ruído (ABNT, 2013b).

Por isso, essa norma estabelece um nível de desempenho para isolamento ao ruído aéreo dos sistemas de pisos demonstrada na Tabela 2.

Tabela 2 – Critérios de diferença ponderada de nível ponderada, DnT,W.

Elemento	DnT,w dB	Nível de desempenho
Sistema de piso entre unidades habitacionais autônomas, no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório.	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos, bem como em pavimentos distintos; Sistema de piso entre unidades habitacionais autônomas, nas situações onde não haja ambiente dormitório.	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de uso coletivo, para atividades de lazer e esportivas, tais como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas.	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S

Fonte: NBR 15575-3 (ABNT, 2013b).

Em que, o M é nível mínimo de aceitação, o I é o nível Intermediário e o S é o nível Superior (ABNT, 2013b).

2.4.3.2 Desempenho de requisitos para o sistema de vedações verticais internas e externas (SVVIE)

De acordo com a NBR 15575-4 (ABNT, 2013c), que aborda o desempenho de requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas, há um informativo referente ao nível de ruído permitido nas edificações habitacionais. Assim, é estabelecido o nível de desempenho compatível com a proteção da privacidade contra a intrusão de ruído de atividades nos ambientes próximos, sendo qualquer tipo de som (ABNT, 2013c).

Por isso, essa norma estabelece um nível de desempenho para componentes de fachada determinado pelo seu índice de redução sonora demonstrada na Tabela 3.

Tabela 3 – Índice de redução sonora ponderado, R_w , de fachada

Classe de Ruído	Localização da habitação	R_w dBa	Nível de desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas	≥ 25	M
		≥ 30	I
		≥ 35	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 30	M
		≥ 35	I
		≥ 40	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação	≥ 35	M
		≥ 40	I
		≥ 45	S

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013c).

Em que, o M é nível mínimo de aceitação, o I é o nível Intermediário e o S é o nível Superior (ABNT, 2013c).

Assim, a forma de verificação do desempenho acústico, segundo essa norma em vedações externas e internas pode ser feita de três maneiras: o método de precisão realizado em laboratório, o método de engenharia realizado em campo e o método simplificado de campo.

O método de precisão realizado em laboratório segue a determinação de isolamento sonora de componentes e elementos construtivos, sendo fornecidos valores de referência de cálculo para projetos. (ABNT, 2013c).

Dessa forma, um projeto é avaliado com seus elementos construtivos e é verificada a necessidade de realizar ensaios com cada um e depois calcular o isolamento global do conjunto.

O método de engenharia realizado em campo se divide em dois sistemas: (I) sistema de vedação vertical externa, as fachadas, em que determina em campo o isolamento sonoro global da vedação externa; e (II) sistema de vedação vertical interna, paredes internas, onde é determinado o isolamento sonoro global entre as unidades autônomas e entre uma unidade e as áreas comuns (ABNT, 2013c).

Por fim, segundo a ABNT (2013c), o método simplificado em campo obtém uma estimativa do isolamento geral de toda a vedação externa e dos recintos internos, em situações em que não há a disposição de equipamentos para medir o tempo de reverberação do ruído (ABNT, 2013c).

2.4.3.3 Desempenho de requisitos para os sistemas de coberturas

De acordo com a NBR 15575-5 (ABNT, 2013d), que aborda o desempenho de requisitos para os sistemas de coberturas, há uma seção referente ao desempenho acústico que informa os requisitos e critérios para a verificação do isolamento acústico entre o meio externo e o interno de coberturas.

O critério de avaliação do desempenho pode ser realizado de duas formas: (i) o método de engenharia, realizado em campo, em que é avaliado o isolamento de ruído aéreo externamente da edificação para a região interna; e (ii) método simplificado de campo, em que permite analisar o isolamento acústico sem a instrumentação necessária para medir o tempo de reverberação do ruído (ABNT, 2013d).

Por isso, essa norma estabelece o requisito de isolamento acústico da cobertura devido a sons aéreos, demonstrada na Tabela 4.

Tabela 4 – Isolamento Acústico da coberta – Requisitos, D2m,nTw.

Classe de Ruído	Localização da habitação	D2m,nTw dBa	Nível de desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas	≥ 20	M
		≥ 25	I
		≥ 30	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 25	M
		≥ 30	I
		≥ 35	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação	≥ 30	M
		≥ 35	I
		≥ 40	S

Fonte: NBR 15575-5 (ABNT, 2013d)

Em que, o M é nível mínimo de aceitação, o I é o nível Intermediário e o S é o nível Superior (ABNT, 2013d).

2.4.4 Norma 10152:2017 Acústica – Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações

Esta norma apresenta os procedimentos que devem ser executados nas medições dos níveis de pressão sonora em ambientes internos das edificações (ABNT, 2017).

As medições de pressão sonora podem ser realizadas de duas maneiras: (i) pelo método simplificado, em que é avaliado com base em uma análise dos níveis de pressão sonora representativos, e o (ii) método detalhado que é utilizado para avaliações em análise de pressão sonora global e espectrais nas bandas de 1/1 de oitava. Esse método pode ser utilizado em análise da variação do nível de pressão sonora ao longo do tempo de medição (ABNT, 2017).

Esta norma apresenta valores de referência para ambientes internos das edificações de acordo com o tipo de uso de cada ambiente, apresentando valores de referência pelos descritores sonoros como, RLA_{eq} , que é o valor de referência da comparação dos níveis de pressão sonora representativo equivalente, o $RLA_{Sm\acute{a}x}$ que é o valor de referência da comparação dos níveis de pressão sonora representativo máximo e o $RLNC$ que é um nível de curva de avaliação de ruído em um ambiente determinado com relação as frequências centrais das bandas de oitava (ABNT, 2017). Tais valores de referência podem ser observados em alguns ambientes de residências de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5 – Valores de referência para ambientes internos de uma edificação de acordo com suas finalidades de uso (adaptada).

Finalidade de uso	Valores de referência		
	RLA_{eq} (dB)	$RLA_{Sm\acute{a}x}$ (dB)	$RLNC$
Dormitórios	35	40	30
Salas de estar	40	45	35
Salas de cinema em casa	40	45	35
Cozinhas e lavanderias	50	55	45

Fonte: NBR 10152 (ABNT, 2017)

2.5 Térmico

2.5.1 Isolamento Térmico

Para se obter um quantitativo de condutibilidade térmica ideal é necessário utilizar como solução, em edifícios, materiais de isolamento térmico que compensam a baixa inércia térmica dos sistemas construtivos convencionais. Tais materiais que podem ser utilizados tanto em sistemas de vedações verticais como alvenarias, sistemas de *dry wall* ou *steel frame* e em cobertas, permitindo o isolamento de modo

a garantir a funcionalidade de instalações e de transmitir o conforto térmico para a pessoas (AUGUSTO; BRAGANÇA; ALMEIDA, 2016).

Sendo assim, a Tabela 6 apresenta a classificação e características referentes a alguns materiais naturais ou sintéticos de isolamento térmico.

Tabela 6 - Classificação dos tipos de materiais de isolamento térmico.

Material de isolamento	Classificação	Densidade (Kg/m³)	Condutividade térmica (W/(mK))
Lã de vidro	Inorgânico-sintético	13	0,036
Lã de rocha	Inorgânico-sintético	20 - 200	0,035 - 0,040
Argila expandida (4/16)	Inorgânico-natural	400	0,800 - 1,000
Poliestireno expandido (EPS)	Orgânico-sintético	30	0,035
Poliestireno extrudido (XPS)	Orgânico-sintético	37	0,032
Espuma rígida de poliuretano (PUR)	Orgânico-sintético	40	0,030
Cortiça (placa rígida)	Orgânico-natural	100 - 120	0,040
Fibra de coco (placa)	Orgânico-natural	70 - 90	0,045
Cânhamo (reforçado com poliéster)	Orgânico-natural	30	0,045

Fonte: (AUGUSTO; BRAGANÇA; ALMEIDA, 2016).

Alguns materiais de isolamento térmico devem apresentar algumas propriedades como, (i) condutividade térmica, que é a capacidade dos materiais ou elementos de permitir o fluxo de calor; (ii) resistividade térmica, que mede a dificuldade da condutibilidade de calor pelos materiais; (iii) difusividade térmica, que caracteriza o material com relação à condução instável de calor; (iv) calor específico, que é a quantidade de calor necessário para variar em um grau a temperatura de uma unidade de um determinado material; (v) capacidade térmica, que é uma grandeza que determina a variação térmica de um corpo após receber determinada quantidade de calor; e por fim, (vi) resistência a chama ou inflamabilidade, que é uma propriedade importante quando materiais forem utilizados em locais de altas temperaturas ou que estarão em contato de substâncias muito quentes (RIBEIRO, 2015).

2.5.2 Desempenho térmico nas edificações

As unidades habitacionais devem apresentar satisfatórias características de desempenho térmico. Assim, a NBR 15575 (ABNT, 2013a) apresenta procedimentos normativos para avaliação da adequação da habitação, que podem ser realizados de duas formas: (i) o procedimento simplificado, que é uma atividade normativa presente nos sistemas de vedação e cobertas. Nesse método, deve ser avaliado o desempenho térmico da edificação pelo método de simulação computacional; e (ii) um procedimento de medição que é apenas informativo, em que é verificado o atendimento aos critérios em norma, por meio de verificações em edificações ou protótipos construtivos (ABNT, 2013a).

Segundo Fabrício e colaboradores (2017), os critérios utilizados no procedimento simplificado dessa norma estabelecem valores limites para a transmitância, capacidade e propriedades térmicas das paredes e cobertas das edificações e devem garantir que todos os sistemas construtivos que não estão de acordo com as condições climáticas do recinto devem ser rejeitados. São apresentadas exigências de características térmicas para cada edificação, relacionado ao sistema de vedação e cobertas da edificação de acordo com o clima do local (FABRICIO; BRITO; VITTORINO, 2017).

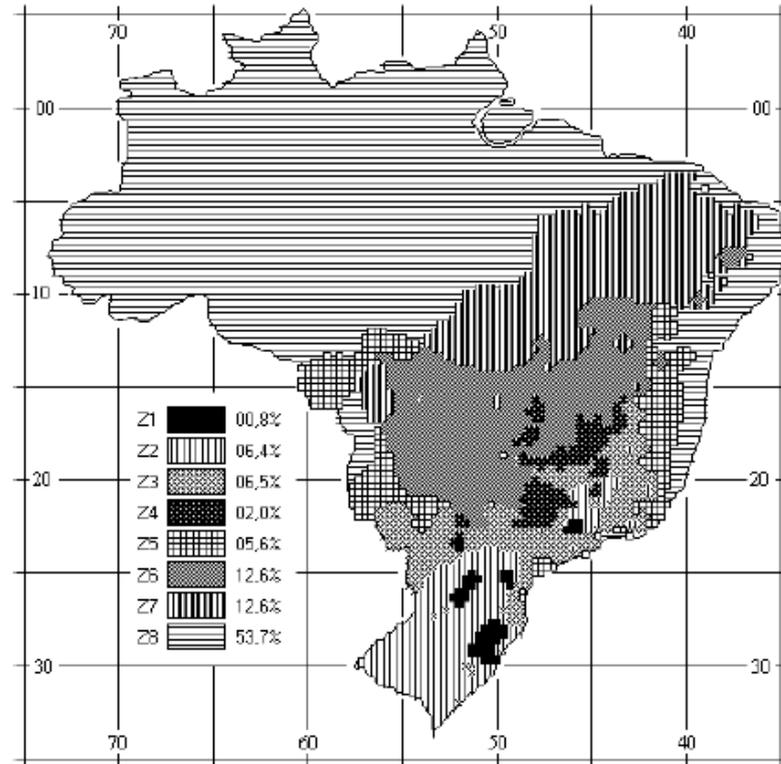
Fabrício e colaboradores (2017) ainda afirmam que ocorre divergência nos sistemas de isolamento térmico de acordo com cada clima. Em climas de inverno rigoroso, há a necessidade de sistemas de calefação e, nesse caso, o isolamento térmico ocorre na eficiência energética da envoltória dos sistemas construtivos (FABRICIO; BRITO; VITTORINO, 2017).

Por fim, estes autores também informam que em locais de predomínio de condições de clima de verão, em que as temperaturas externas das edificações estão mais próximas do conforto térmico, somente o isolante térmico de envoltória não é suficiente, sendo necessário o acréscimo da inércia térmica dos edifícios (FABRICIO; BRITO; VITTORINO, 2017).

Sendo assim, a terceira parte da NBR 15220-3 (ABNT, 2005) apresenta as zonas bioclimáticas brasileiras que, em casos de falta de dados climáticos de uma determinada cidade ou região onde se encontra uma unidade habitacional, pode-se utilizar essas zonas com características climáticas semelhantes para a adequação climática de cada habitação (ABNT, 2005).

Assim, de acordo com a norma o zoneamento climático brasileiro, divide-se o território em oito zonas conforme a Figura 5.

Figura 5 – Zoneamento bioclimático brasileiro.



Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005).

2.5.2.1 Requisitos de desempenho no verão

A norma NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) apresenta valores máximos de temperatura do ar no interior das unidades habitacionais durante o período de verão, caracterizando condições térmicas do interior da edificação comparáveis igualmente a ambientes externos na sombra.

Dessa forma, é atribuído o Quadro 2, referente ao critério de valor máximo de temperatura para condições de verão.

Quadro 2 – Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de verão.

Nível de Desempenho	Critérios	
	Zonas de 1 a 7	Zona 8
M	$T_i, \text{máx.} \leq T_{e,\text{máx}}$	$T_i, \text{máx.} \leq T_{e,\text{máx}}$
I	$T_i, \text{máx.} \leq (T_{e, \text{máx.}} - 2 \text{ }^\circ\text{C})$	$T_i, \text{máx.} \leq (T_{e, \text{máx.}} - 1 \text{ }^\circ\text{C})$
S	$T_i, \text{máx.} \leq (T_{e,\text{máx.}} - 4^\circ\text{C})$	$T_i, \text{máx.} \leq (T_{e, \text{máx.}} - 2 \text{ }^\circ\text{C})$

Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013a).

Em que, $T_{i,m\acute{a}x}$. é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius e $T_{e,m\acute{a}x}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no exterior à edificação, em graus Celsius. Por fim, o M é nível mínimo de aceitação, o I é o nível Intermediário e o S é o nível Superior (ABNT, 2013a).

2.5.2.2 Requisitos de desempenho no inverno

A NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) apresenta valores mínimos da temperatura do ar no interior das unidades habitacionais, devendo ser maiores ou iguais à temperatura mínima externa com um acréscimo de 3 °C (ABNT, 2013a).

Dessa forma, o Quadro 3 apresentam os critérios dos níveis de valor mínimo da temperatura para condições de inverno.

Quadro 3 – Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno

Nível de Desempenho	Critérios	
	Zonas de 1 a 5	Zonas 6,7 e 8
<i>M</i>	$T_{i, \text{mín.}} \geq (T_{e, \text{mín.}} + 3^{\circ}\text{C})$	Nestas zonas, esse critério não é adequado
<i>I</i>	$T_{i, \text{mín.}} \geq (T_{e, \text{mín.}} + 5^{\circ}\text{C})$	
<i>S</i>	$T_{i, \text{mín.}} \geq (T_{e, \text{mín.}} + 7^{\circ}\text{C})$	

Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013a).

Em que, $T_{i, \text{mín}}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius e $T_{e, \text{mín}}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius. Por fim, o M é nível mínimo de aceitação, o I é o nível Intermediário e o S é o nível Superior (ABNT, 2013a).

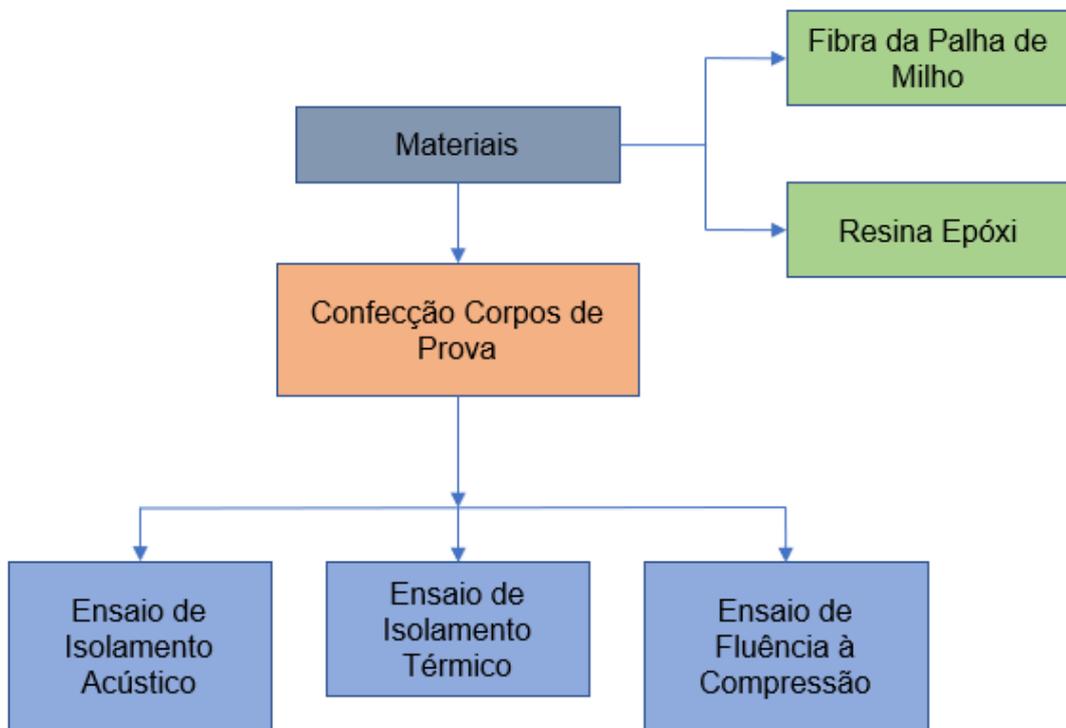
3 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa é ambientada na cidade de Fortaleza-CE. As coletas dos materiais foram realizadas localmente e os procedimentos experimentais foram executados no Núcleo de Práticas Tecnológicas (NPT), do Centro Universitário Christus.

A tipologia da pesquisa é classificada, quanto à natureza, como aplicada; quanto aos fins, é descritiva e explicativa; e, quanto aos procedimentos, é pesquisa experimental. O estudo tem abordagem quantitativa, pois se baseia na objetividade dos cálculos que foram analisados, de acordo com a literatura.

A Figura 6 apresenta um fluxograma que esquematiza as etapas realizadas para obter os resultados deste trabalho.

Figura 6 – Esquema representativo que organiza as etapas do método deste estudo.



Fonte: Autor (2019).

3.1 Materiais

3.1.1 Fibra vegetal de milho

As palhas de milho (Figura 7) foram coletadas em setores de descarte de material dos postos de venda de milho verde, localizado no mercado São Sebastião (Latitude: 3°43'49.26" S e Longitude: 38°32'19.95" O), na Rua Clarindo de Queiroz, 1745, no Bairro Centro, em Fortaleza-Ce.

Figura 7 – Descarte de Palha de Milho no mercado São Sebastião em Fortaleza/CE



Fonte: Autor (2019).

3.1.2 Resina epóxi flexível

Para a produção da manta experimental, utilizou-se a resina epóxi flexível, um produto da empresa Oticrel LTDA, situada na cidade de Fortaleza -CE. Essa resina é resultado da polimerização de poliglicóis.

3.2 Métodos

3.2.1 Seleção e preparação da palha de milho

O resíduo de palha de milho selecionado apresentou coloração verde e ausência de agente biológicos decompositores. Para a produção da manta experimental, a palha foi cortada em sua seção transversal, no sentido perpendicular às fibras, com espaçamento de 5 cm em cada seção, de acordo com a Figura 8.

Figura 8 - Palhas cortadas



Fonte: Autor (2019).

Posteriormente, as seções de palha de milho foram processadas em um triturador mecânico para redução de dimensões (Figura 9A). Por fim, foram secas sob radiação Ultravioleta (natural) em sistema aberto, por 24 h, resultando em fibras de coloração amarelada apresentadas na Figura 9B.

Figura 9 - Fibra da palha do milho (A) após a trituração e (B) após a secagem



Fonte: Autor (2019).

3.2.2 Produção dos corpos de prova

Para confecção das mantas experimentais, usou-se uma forma acrílica com dimensões de 15 x 15 x 1 cm – largura, comprimento e profundidade, respectivamente. Assim, foram produzidos três corpos de prova de proporções de massa (matriz: reforço) diferentes, representados na Tabela 7.

Tabela 7 – Proporção matriz: reforço dos corpos de prova A, B e C.

Amostra	Massa matriz: reforço (g)	Proporção matriz: reforço
A	30:15	1:0,50
B	90:32	1:0,35
C	80:20	1:0,25

Fonte: Autor (2020).

O material ficou acondicionado na forma por 48 h em sistema aberto, ambiente seco e protegido contra radiações ultravioletas. Na Figura 10, os corpos de prova resultantes são apresentados.

Figura 10 – Corpo de prova moldado na forma (A) e (B) após a desforma.



Fonte: Autor (2020).

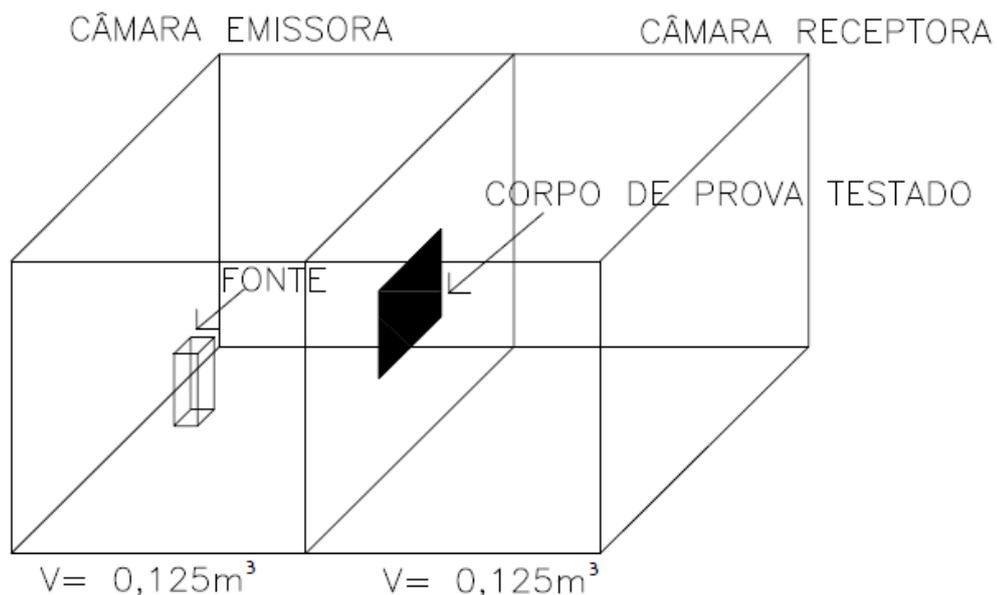
3.2.4 Ensaio de isolamento acústico

Para a realização do ensaio de avaliação do isolamento acústico do compósito produzido, foi utilizado um sistema adaptado de câmaras reverberantes compostas de caixotes de madeira interligados por um orifício, onde o compósito experimental é inserido. As duas câmaras são revestidas internamente de espuma de absorção acústica.

A câmara reverberante emissora possui uma fonte emissora de som amplificado, emitindo as frequências de 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz, com duração de 5 min. Além disso, o sistema apresenta um decibelímetro para medir a intensidade sonora, em decibéis. O sistema, por sua vez, é acoplado a uma segunda caixa, a câmara receptora, que também possui um decibelímetro, quantificando as ondas sonoras que atravessam o compósito que conecta as duas câmaras. Por fim, após o encaixe da manta experimental, usou-se silicone para impedir passagem indevida do som, garantindo maior vedação.

O ensaio de isolamento acústico foi realizado por meio de uma adaptação das Normas ISO 10052:2004 e 10140-1:2016. A Figura 11 mostra um esquema detalhado dos sistemas de câmaras reverberantes.

Figura 11 - Representação Esquemática da Câmara Reverberante



Fonte: Autor (2019).

Realizou-se um estudo comparativo do índice de redução sonora das mantas A, B e C, para determinar a influência da concentração de fibras e massa do compósito na atenuação acústica.

3.2.5 Ensaio de isolamento térmico

Para a determinação da transmissão térmica do material, será analisada a difusividade térmica dos corpos de prova, sendo considerada a distribuição da temperatura transiente unidimensional por condução.

O ensaio realizado foi uma adaptação da metodologia da pesquisa da BARBOSA (2014), em que se utilizou duas câmaras. A primeira é inteiramente revestida de espelhos, onde será inserida uma lâmpada incandescente de 42 W a fim de gerar o fluxo de calor constante em contato com o compósito, medido por um termômetro em contato com os corpos de prova avaliados.

A segunda câmara também é revestida de espelhos e apresenta um termômetro que é posicionado de forma a ficar em contato com a face oposta do compósito avaliado. As duas caixas foram, então, vedadas por silicone para impedir a perda de energia térmica para o ambiente. Interligando as duas caixas, o compósito estudado.

Inicialmente, instalou-se a lâmpada dentro da câmara transmissora que permaneceu ligada por 10 min para que gerasse calor. Em seguida, foi instalado o compósito entre as câmaras, transmissora e receptora, e a medição foi realizada após um intervalo de 15 min. O processo foi realizado novamente com os outros dois compósitos.

3.2.6 Ensaio mecânico de fluência à compressão

Para o ensaio de fluência à compressão, as amostras foram assinaladas de 1 a 8 de acordo com a Figura 12, com o objetivo de avaliar de forma pontual a fluência em cada região do corpo de prova.

Figura 12 – Representação das marcações na amostra.



Fonte: Autor (2020).

Os corpos de prova foram posicionados entre duas placas e a carga foi aplicada na placa superior de acordo com a figura 13. Os corpos de prova foram submetidos a uma carga de 98 N. Realizou-se, então, quatro medições: a primeira após a desforma, a segunda com 24 horas, a terceira com 7 dias e a quarta com 14 dias.

Figura 13 - Representação do ensaio de fluência à compressão



Fonte: Autor (2020).

3.3 Limitações do estudo

São necessárias pesquisas mais aprofundadas para uma análise microestrutural do compósito que foi impossibilitada devido ao decreto estadual de isolamento social mediante a pandemia do Covid-19, em 2020. Assim, não foi possível realizar todos os experimentos de forma a atender os prazos determinados.

Dessa forma, não foi possível realizar a caracterização do compósito por meio das seguintes técnicas: (i) FTIR, para um estudo qualitativo e quantitativo de traços elementares do material desenvolvido; (ii) TGA, para uma análise térmica da manta; e (iii) MEV, para uma análise microscópica das características microestruturais do compósito. Além disso, o ensaio de biodegradabilidade também forneceria resultados importantes já que a amostra utiliza produtos naturais em sua composição e que podem ser degradados por ações de microrganismos. Contudo, seria necessário o uso das instalações de um laboratório de química.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, são expostos os resultados dos ensaios de isolamento acústico, isolamento térmico e mecânico de fluência à compressão.

4.1 Ensaio de isolamento acústico

O índice de redução sonora é o parâmetro mais eficiente para determinação de isolamento acústico. Para a determinação da transmissibilidade sonora das mantas experimentais, foi realizado o ensaio de isolamento com a utilização de câmaras reverberantes.

Em cada corpo de prova, foram realizadas três medidas em intervalos de 5 min, totalizando 15 min para cada placa. Os resultados dos ensaios de isolamento acústico realizados com as amostras A, B e C podem ser observados na Tabela 8, onde são apresentados os valores obtidos quanto à transmissão da caixa reverberante, quanto aos percentuais passantes de som para a câmara receptora.

Tabela 8 – Resultados para isolamento acústico (frequência de 500Hz).

ENSAIO DE TRANSMISSÃO SONORA (MÉDIA) - 500Hz			
Amostra	Câmara emissora (dB)	Câmara receptora (dB)	Percentuais Passantes (%)
A	76,50	71,00	92,81
B	77,50	70,00	90,32
C	78,00	60,50	77,56

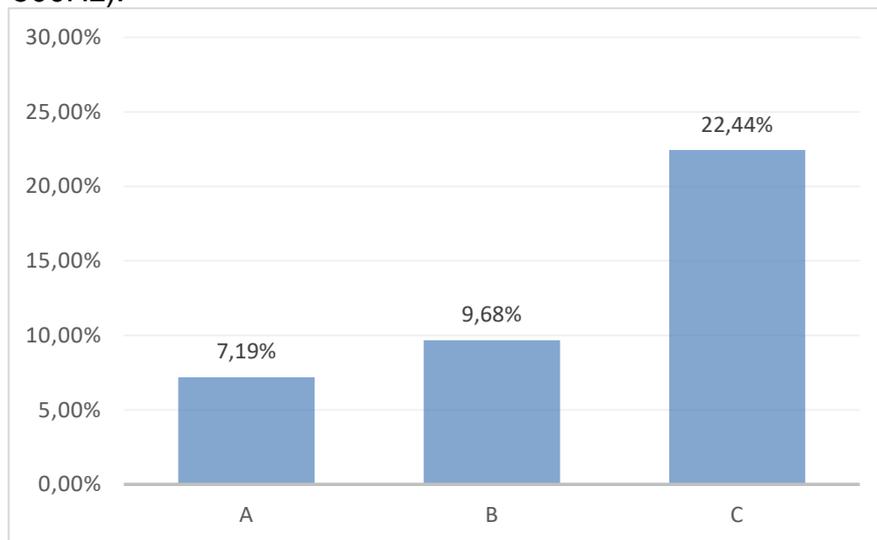
Fonte: Autor (2020).

No Gráfico 1, pode-se verificar, para uma frequência de 500 Hz, o desempenho de redução acústica de cada manta confeccionada. As amostras A e B não apresentaram diferença significativa, reduzindo a intensidade acústica em 5,5 dB e 7,5 dB, respectivamente. Já a amostra C foi a que demonstrou melhor desempenho acústico. De acordo com a Tabela 8, essa manta obteve o menor percentual de som passante para a câmara receptora. Sugere-se que, mesmo a manta B apresentando maior massa de matriz e fibras, a manta C obteve melhor resultado, pois quando se aumenta a diferença de proporção entre reforço e matriz ocorre a redução da quantidade de vazios capilares das fibras (reforço). Sendo assim, diminuem os espaços para a passagem de som. Dessa forma, pode-se afirmar que a presença de

fibras deve ser controlada, pois o aumento da concentração provoca redução na eficiência de isolamento acústico da amostra.

Isso explica o motivo da manta A obter o pior resultado, pois é a amostra que possui a menor massa dos polímeros e é a que apresenta a menor proporção de matriz:fibra.

Gráficos 1 - Desempenho de redução acústica (frequência de 500Hz).



Fonte: Autor (2020).

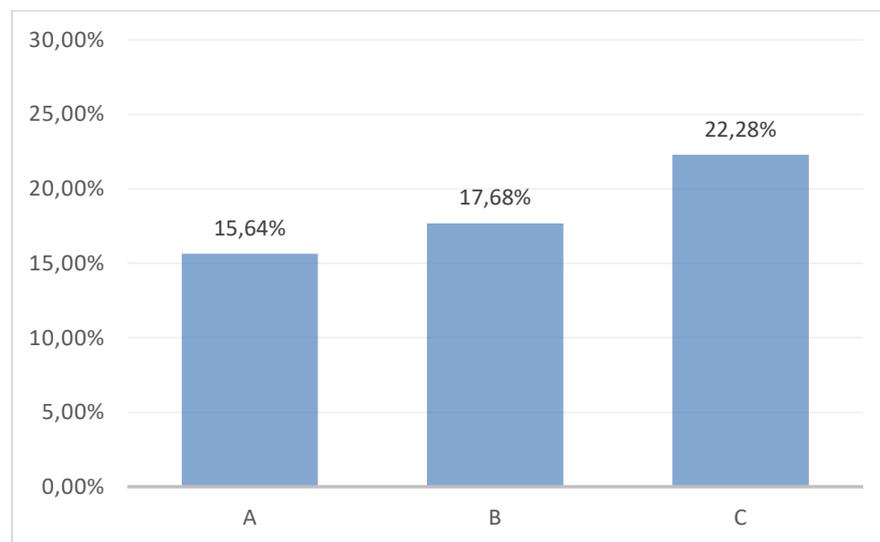
Na Tabela 9, apresentam-se os valores obtidos para a frequência de 1000 Hz. O Gráfico 2 mostra o desempenho de redução acústica de cada manta confeccionada nessa mesma frequência. Pode-se verificar que houve um aumento percentual de redução significativa das mantas A e B para a frequência de 1000 Hz e o percentual de som passando para a câmara receptora diminuiu 8,45% para a manta A e 8% para a manta B. Já para a manta C, houve praticamente uma estabilização na redução sonora, quando comparado com os resultados da Tabela 7 com a Tabela 6. Ainda assim, a manta C apresenta o maior nível de redução acústica.

Tabela 9 – Resultados para isolamento acústico (frequência de 1000Hz).

ENSAIO DE TRANSMISSÃO SONORA (MÉDIA) -1000Hz			
Amostra	Câmara emissora (dB)	Câmara receptora (dB)	Percentuais Passantes (%)
A	89,50	75,50	84,36
B	90,50	74,50	82,32
C	92,00	71,50	77,72

Fonte: Autor (2020).

Gráficos 2 – Desempenho de redução acústica (frequência de 1000 Hz).



Fonte: Autor (2020).

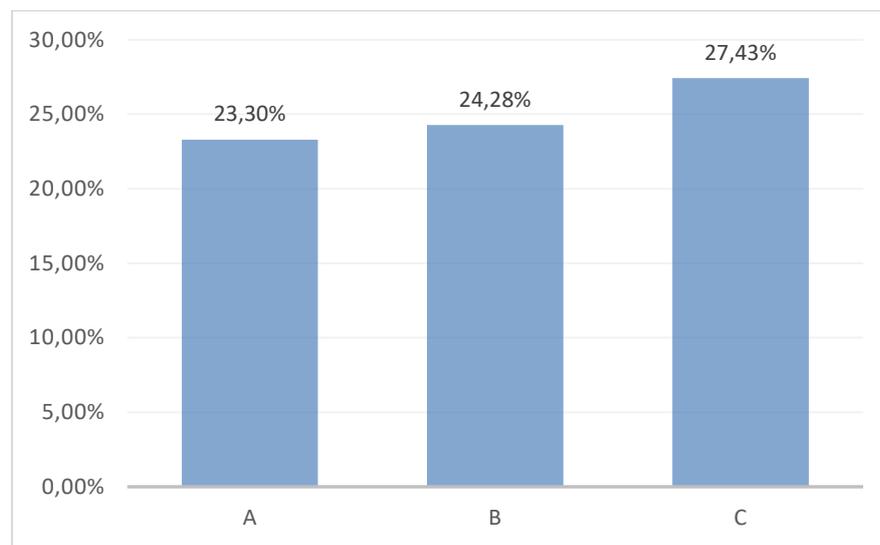
Na Tabela 10, são exibidos os valores obtidos referente à frequência de 2000 Hz. Com base nesses dados, construiu-se o Gráfico 3, que apresenta o desempenho de redução acústica de cada manta confeccionada. Pode-se verificar nesse gráfico que as mantas A e B apresentaram um aumento significativo no percentual de redução sonora. Conseqüentemente, houve uma diminuição expressiva no percentual passante de som para a câmara receptora (Tabela 10). Já a manta C apresentou um melhor resultado de redução sonora, mas não tão expressivos como as outras amostras. Ainda assim, a manta C ainda apresenta o melhor desempenho.

Tabela 10 – Resultados para isolamento acústico (frequência de 2000Hz).

ENSAIO DE TRANSMISSÃO SONORA (MÉDIA) -2000Hz			
Amostra	Câmara emissora (dB)	Câmara receptora (dB)	Percentuais Passantes (%)
A	88,00	67,50	76,70
B	86,50	65,50	75,72
C	87,50	63,50	72,57

Fonte: Autor (2020).

Gráficos 3 – Desempenho de redução acústica (frequência de 2000 Hz).



Fonte: Autor (2020).

O Gráfico 4 representa o desempenho de redução acústica médio, das três frequências utilizadas. Sendo assim, pode-se aferir que a manta C obteve a melhor performance, apresentando uma redução média global de 20,67 dB, seguida pela manta B com uma redução média de 14,83 dB e pela manta A com uma redução média de 13,33 dB.

Gráficos 4 – Desempenho médio de redução acústica (frequência de 500, 1000 e 2000Hz).



Fonte: Autor (2020).

Ao comparar os dados da Tabela 1 referente à NBR 15575-4 (ABNT, 2013c) com os resultados da redução média total de cada amostra, pode-se verificar o bom desempenho da manta experimental, considerando a relação entre a dimensão do material com sua capacidade de redução sonora. Enquanto uma parede cega entre unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, com aproximadamente 15 cm de espessura, deve atenuar entre 50 a 60 dB, as amostras analisadas, que são 15 vezes mais finas, conseguem ter uma redução sonora proporcionalmente satisfatória (Tabela 11).

Tabela 11 – Resultados para redução de transmissão sonora.

ENSAIO DE TRANSMISSÃO SONORA - 500HZ, 1000 Hz e 2000Hz			
Amostra	Redução (dB) - 500 Hz	Redução (dB) - 1000 Hz	Redução (dB) - 2000 Hz
A	5,50	14,00	20,50
B	7,50	16,00	21,00
C	17,50	20,50	24,00

Fonte: Autor (2020).

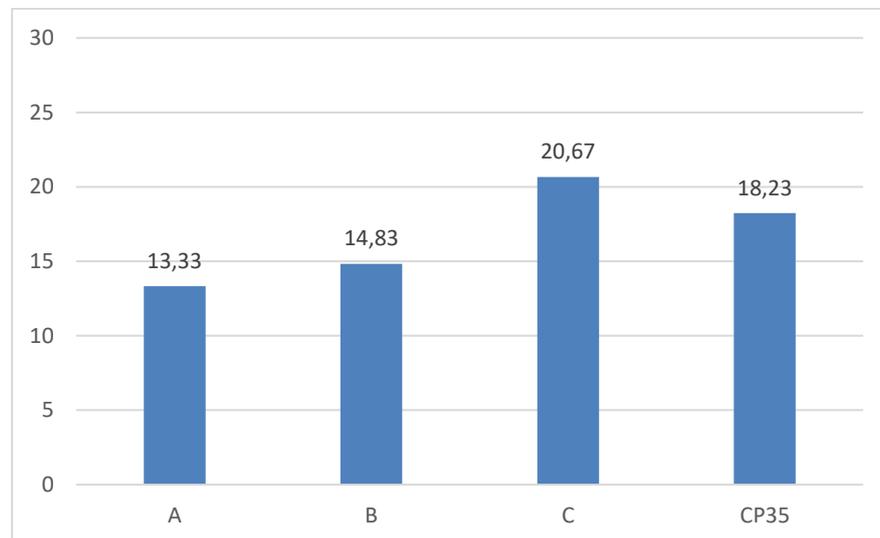
Ao comparar os dados das Tabelas 2, 3 e 4 referente as NBR 15575-3 (ABNT, 2013b), NBR 15575-4 (ABNT, 2013c) e NBR 15575-5 (ABNT,2013d), respectivamente, com os resultados das Tabela 11, pode-se verificar que as análises individuais das mantas não atendem às diretrizes de atenuação sonora. No entanto,

os dados amostrais das Tabelas 2, 3 e 4 são referentes a sistemas construtivos. As mantas produzidas neste estudo, por sua vez, são apenas um dos componentes desses sistemas.

Sendo assim, pode-se concluir que as mantas avaliadas neste trabalho apresentam elevado potencial como material de atenuação sonora, quando comparado ao isolamento total de conjuntos construtivos, utilizados nos sistemas de vedações verticais internas e externas, ao isolamento ao ruído dos sistemas de pisos e de cobertas.

Por fim, ao comparar o desempenho dos corpos de prova produzidos com os resultados de índice de redução sonora relatados por Ribeiro (2015) para o compósito CP35, pode-se afirmar que o material com uma proporção 1:0,25 de resina epóxi e fibra da palha de milho (Amostra C), respectivamente, apresentou melhor redução sonora (Gráfico 5). O estudo de Ribeiro (2015) informa que o compósito à base de látex e fibra do coco apresentou índice médio de redução sonora de 18,23 dB, para as frequências de 500, 1000 e 2000 Hz.

Gráficos 5 - Média de redução acústica (dB)



Fonte: Autor (2020).

4.2 Ensaio de isolamento térmico

Para a determinação da transmissibilidade térmica das mantas experimentais estudadas, foi realizado o ensaio de isolamento térmico por meio de câmaras transmissoras e receptoras de calor.

Os resultados de transmissão térmica realizadas com as amostras A, B e C podem ser vistas da Tabela 12.

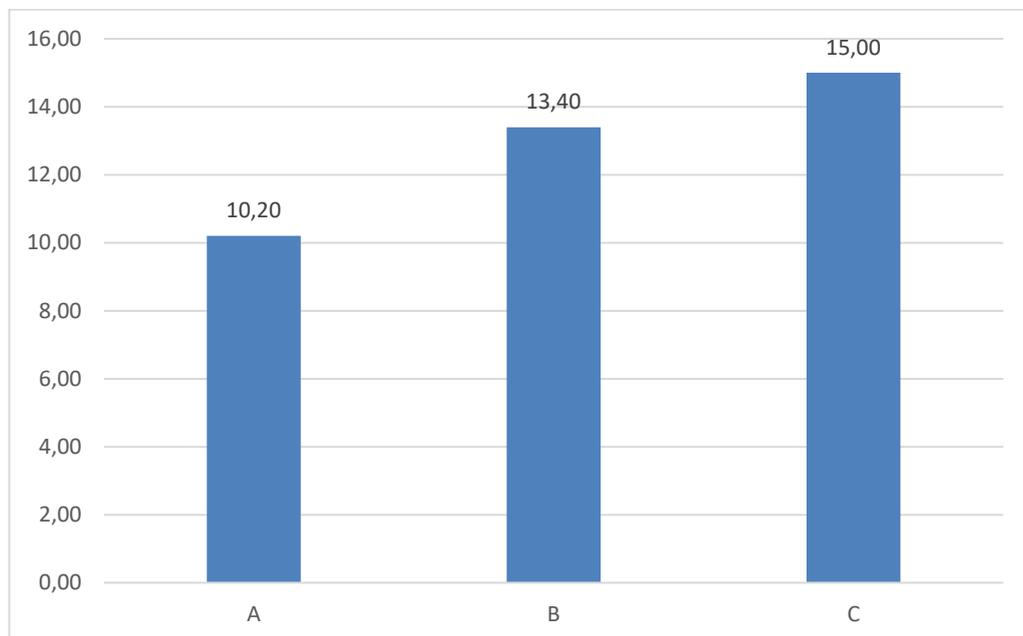
Tabela 12 – Resultado para o ensaio de isolamento térmico.

ENSAIO DE TRANSMISSÃO TÉRMICA (MÉDIA)			
Amostra	Lado Com Luz (°C)	Lado Sem Luz (°C)	Transmissão Térmica (%)
A	47,5	37,3	78,53
B	49,1	35,7	72,71
C	49,5	34,5	69,70

Fonte: Autor (2020).

O Gráfico 6 apresenta, de forma comparativa, o desempenho das amostras na redução de transmissão térmica. Observa-se que a Amostra C apresentou o melhor resultado quanto ao desempenho de isolamento térmico, sendo capaz de reduzir 30,3% da transmissão do calor gerado. O desempenho positivo dessa amostra pode ser explicado pela maior diferença de proporção entre reforço e matriz, em que uma maior concentração de resina proporciona melhor isolamento térmico.

Gráficos 6– Comparativo de redução térmica (°C).



Fonte: Autor (2020).

Por fim, comparou-se os resultados dos corpos de prova (Gráfico 6) com relação aos critérios de avaliação do desempenho térmico de edificações no verão, referente a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) (Quadro 2). Pode-se, então, verificar que as

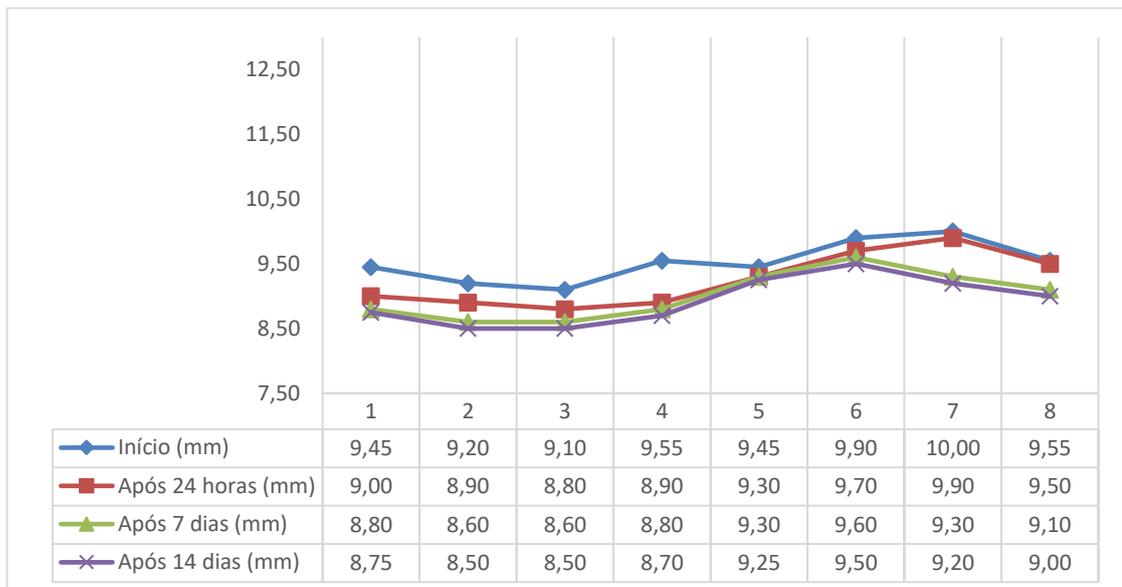
três amostras, A, B e C, apresentaram resultados positivos para os critérios de desempenho térmico das zonas de 1 a 7 e da zona 8, pois a diferença de temperatura entre os ambientes é maior do que 4 °C e 2 °C, respectivamente. Assim, os resultados indicam que o desempenho das três mantas produzidas é mais assertivo do que o maior nível de critério, o superior. Sendo assim, a critério normativo, as três amostras foram aprovadas para as condições de verão.

4.3 Ensaio Mecânico de Fluência à Compressão

Para a determinação da resistência mecânica da manta, foi realizado o ensaio de fluência à compressão nas amostras A, B e C, fornecendo resultados de espessuras das mantas referentes aos ensaios à compressão após 24 h, 7 dias e 14 dias intermitentes de aplicação de carga fixa de 98 N.

A Manta A (Gráfico 7) expôs uma diferença média, entre o início e após o décimo quarto dia de ensaio, de 0,60 mm de espessura. Ao final do ensaio, foi constatado uma espessura média da amostra de 9,18 mm. Assim, é possível observar que para a amostra há uma maior tendência de linearidade (Gráfico 7) nos oito pontos ensaiados.

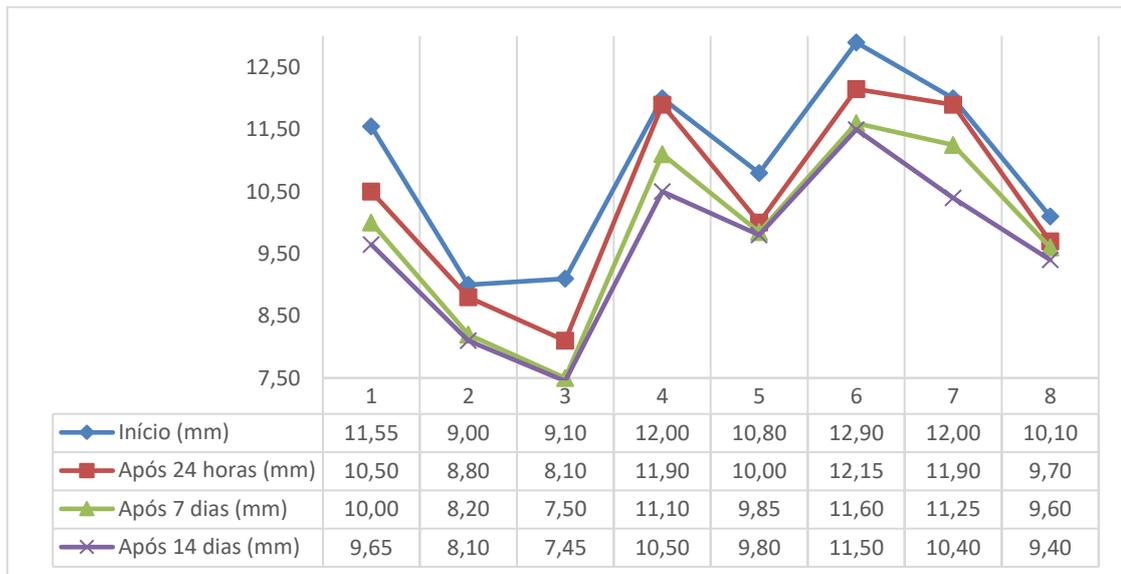
Gráficos 7 – Resultados de fluência à compressão da amostra A.



Fonte: Autor (2020).

A manta B (Gráfico 8) exibiu uma diferença média, entre o início e após o décimo quarto dia de ensaio, de 1,33 mm de espessura. Pode-se verificar que houve 0,73 mm a mais de redução na espessura quando comparada com a manta A. Mesmo assim, ao final do ensaio foi constatado uma espessura média da Amostra B de 10,20 mm.

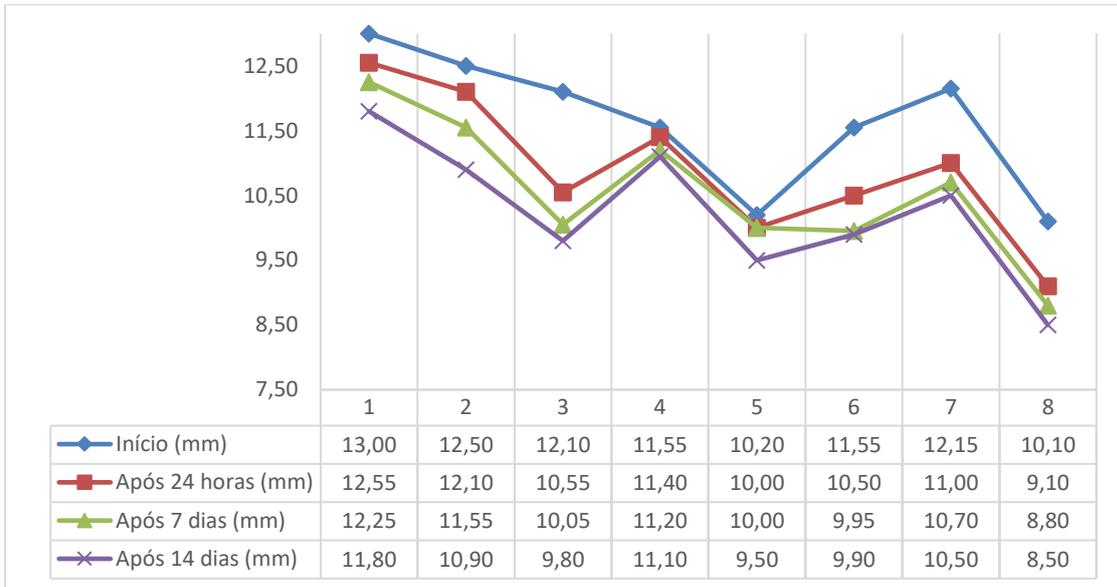
Gráficos 8 – Resultados de fluência à compressão da amostra B.



Fonte: Autor (2020).

A manta C (Gráfico 9) apresentou uma diferença média, entre o início e após o décimo quarto dia de ensaio, de 1,39 mm de espessura, resultado mais próximo do que foi apresentado pela manta B. Assim, ao final do ensaio, foi constatada uma espessura média da Amostra C de 10,84 mm, sendo classificada como a amostra mais espessa dentre as ensaiadas.

Gráficos 9 – Resultados de fluência à compressão da amostra C



Fonte: Autor (2020).

Por fim, pode-se afirmar que a Amostra A apresentou, entre todas as mantas submetidas ao ensaio, a menor espessura média verificada, apesar de apresentar a menor redução de sua espessidão. Isso pode ser explicado pela baixa concentração de polímeros, matriz:reforço, utilizadas na amostra quando comparado com as outras mantas.

A manta C, apesar de ter menor quantidade de polímeros do que a manta B, apresentou maior espessura média. Sugere-se que esse fato se deve ao corpo de prova C ter uma maior diferença proporcional de resina:fibra (1: 0,25) e isso reduz a quantidade de vazios deixados pelo reforço, tornando-o mais empacotado e, conseqüentemente, maior é resistência à compressão.

5 CONCLUSÃO

O processo de produção dos compósitos reforçados com fibras de palha milho se mostrou eficiente, atendendo às condições necessárias para uso, em uma pequena escala com finalidades acadêmicas. Atendendo à proposta deste estudo, foi possível produzir um componente de sistema termoacústico por meio de um método simples e de baixo custo, com caráter sustentável.

No ensaio de isolamento acústico, a Amostra C (1:0,25) configurou o melhor desempenho de redução sonora, apresentando a maior atenuação média, entre as amostras estudadas. Pode-se verificar que o isolamento acústico registra melhores resultados com a crescente diferença de proporção entre polímeros na composição da manta, ou seja, com maior concentração de matriz que de reforço. Sendo assim, pode-se afirmar que, nesse caso, o isolamento acústico está mais relacionado com a diferença de proporção entre os polímeros do que o aumento de suas massas. Desse modo, sugere-se que o aumento percentual da fibra da palha de milho produz aumento de vazios capilares dentro da manta, o que proporciona aumento de passagem de som. Por outro lado, observa-se que mesmo em grande proporção como no caso da manta A (1:0,50), a fibra da palha de milho apresenta uma porosidade que é ideal para a atenuação sonora entre dois ambientes.

No ensaio de isolamento térmico, todas as amostras apresentaram resultados que atendem às diretrizes de desempenho térmico de edificações no verão, previstos pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) para a redução térmica de uma fonte de calor. Sendo assim, pode-se concluir que as amostras que apresentam menor concentração proporcional de reforço têm resultados mais expressivos. Apesar dos resultados obtidos para a manta C (1:0,25) serem superiores, a amostra A (1:0,50), com maior teor percentual de fibra de palha de milho, atende às especificações da norma regulamentadora. Esse é um resultado positivo, pois indica que um material de baixo custo e de viés sustentável apresenta a mesma viabilidade que os demais.

No ensaio de fluência à compressão, a amostra A (1:0,50) apresentou a menor espessura quando comparada com as mantas B (1:0,35) e C (1:0,25). Essa espessura reduzida pode ser atribuída a menor quantidade de materiais utilizados na confecção das amostras. Além disso, como a amostra A (1:0,50) apresenta maior proporção de fibra do que nos outros corpos de prova, a matriz não manteve a espessura de 1,0 cm ainda na forma durante o processo de cura, causando uma

pequena retração de aproximadamente 0,50 mm durante as 48 horas de sazonalidade do material. Dessa forma, essa redução da espessura pode ser associada ao inferior desempenho dessa manta nos ensaios de isolamento acústico e térmico, já que a densidade do material é um importante fator quanto a esses parâmetros, além dos vazios originados pelas fibras de milho.

Sendo assim, a fabricação de mantas reforçadas com resíduos vegetais indica novas possibilidades quanto ao desenvolvimento de materiais sustentáveis, que atendam aos parâmetros da norma de desempenho térmico e acústico e que possam ser utilizados em edificações habitacionais. Além disso, desenvolveu-se um material composto por um polímero natural e sustentável, a palha de milho, dando um destino útil para esse resíduo.

Para os estudos futuros, sugere-se a realização de ensaios microestruturais e de biodegradação do material. Além disso, é sugerido incorporar partículas da palha de milho, para minimizar a formação de vazios capilares e, assim, melhorar o desempenho acústico do material. Por fim, é proposta a incitação de ensaios de inflamabilidade, para a medição da velocidade de combustão do material.

REFERÊNCIAS

ALBINANTE, S. R.; PACHECO, É. B. A. V.; VISCONTE, L. L. Y. **Revisão dos tratamentos químicos da fibra natural para mistura com poliolefinas**. p.1 - 2. Quimica Nova, 2, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

ALMEIDA, Nuno Miguel. **Estudo estrutural de compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras de juta**. 2012. Relatório de dissertação do MIEM, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2012. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/68248/1/000154121.pdf>. Acesso em: 9, nov. 2019. p. 38-41.

AMSAVENI, D.; KANMANI GHAYATHRI, D.; VENKATESAN, S. Optimizing the usage of plastic waste in cement industry using discrete dynamic programming. **Materials Today: Proceedings**, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.05.424>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785319313914>. Acesso em: 21, ago. 2019. p. 1-14.

AUGUSTO, C.A.; BRAGANÇA, L.; ALMEIDA, M. Materiais de Isolamento Térmico de Edifícios. **Revista Hábitat Sustentable**. Vol.6, p. 37–39, Chile, 2016.

ASKELAND, DONALD R.; WENDELIN J. WRIGHT. **Ciência e Engenharia dos Materiais**. 3ª ed. Editora Trilha. Rio de Janeiro, 2015. p.567.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 10152**: Acústica- Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 01: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 15575-3**: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 03: Requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro, 2013b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 04: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 15575-5**: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 05: Requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte03: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

BALIEIRO, Rafael. **Deformações em elementos estruturais de materiais compósitos reforçados por fibras em software baseado em elementos finitos.** 2017. 5 f. Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Estadual Paulista. Guaratingueta, SP. 2017. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/157004/000906410.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20, mar. 2020.

BARBOSA, Juliana. **Caracterização de compósito polimérico feitos com resíduos pós-consumo (poliestireno de alto impacto) e industriais (lama vermelha e fibra de vidro/resina epóxi).** 2019. 17 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Bauru, SP. 2019. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/180874/barbosa_jtl_me_bauru_ub.pdf?sequence=5&isAllowed=y. Acesso em: 25, mar. 2020.

BARBOSA, Paula Glória. **Uma contribuição para o design do conforto: avaliação da difusividade térmica de blocos cerâmicos e de concreto utilizando termografia infravermelha.** 2014. 75 f. Dissertação (Pós-graduação em Design da Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG). Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <http://anapaulanasta.com/wp-content/uploads/2015/01/Paula-Gloria.pdf>. Acesso em: 15, ago. 2019.

BELOJEVIĆ, G.; JAKOVLJEVIĆ, B.; ALEKSIĆ, O. Subjective reactions to traffic noise with regard to some personality traits. **Environment International**, v. 23, n. 2, p. 221–226, 1997.

BIANCHI, Maria Lúcia. **Polpação de Palha de Milho Utilizando-se Diferentes Processos Organosolv.** 1995. 10 f. Dissertação (Mestrado), UNICAMP, Campinas, SP. 1995. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/249491> Acesso em: 20, set. 2019.

BOUDET, A. M.; KAJITA, S.; GRIMA-PETTENATI, G.; GOFFNER, D. Lignins and lignocellulosics: a better control of synthesis for new and improved uses. **TRENDS in Plant Science**, v. 8, n. 12, p.576-581, 2003.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – **A Agenda 21.** 2019. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21>. Acesso em: 09 set. 2019.

BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA – Casa Civil, Decreto Nº 7.404, de 23 de Dezembro de 2010 - **Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências;** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm. Acesso em: 05 de set. de 2019.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. **Revisão Bibliográfica: Reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil**. *Ceramica*, v. 61, n. 358, p. 178–189, São Paulo, 2015.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução. 5ª edição**. Editora LTC. Rio de Janeiro, RJ. 2014. p. 358-383.

CARNEIRO, L.; TEIXEIRA, A. Propriedades e Características dos materiais compósitos poliméricos aplicados na engenharia de construção. **Revista Militar de Ciência e Tecnologia**, Vol. XXV- 3º quadrimestre p. 54-66, Rio de Janeiro, 2008.

CARVAJAL-ARANGO, D. *et al.* Relationships between lean and sustainable construction: Positive impacts of lean practices over sustainability during construction phase. **Journal of Cleaner Production**, v. 234, p. 1322–1337, out. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.216>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619317500?via%3Dihub>. Acesso em: 27 set. 2019.

CONAMA. **Resoluções CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente**. 2002.

CONAMA. **Resoluções CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente**. p. 1, 2010.

COSTA, J.; BARDI, M.; MUNHOZ, M.; MACHADO L. Caracterização de filmes de polietileno de baixa densidade aditivados com agentes pró-degradantes. **Revista Iberoamericana de Polímeros**. Volume 17(1) p. 01. Espanha. 2016.

COSTA, Selma Patrícia. **Isolamento Acústico Aéreo em Campo de Participações Verticais em Construção Light Steel Framing, em Habitações Unifamiliares**. 2016f. 153 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal de Alagoas. Maceio, Alagoas. 2016. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/1788/1/Isolamento%20ac%20c%20bastico%20a%20a9reo%20em%20campo%20de%20parti%20a7%20c%20b5es%20verticais%20em%20constru%20a7%20c%20a3o%20light%20steel%20framing%20em%20habita%20a7%20c%20b5es%20unifamiliares.pdf> . Acesso eem: 15, nov. 2019.

ELLIS, B. Chemistry and technology of epoxy resins. **Livro do Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade de Sheffield**. v.1. p. 22-25. Springer-Science+Business Media, B.V. Alemanha. 1993.

FABRICIO, M.; BRITO A.; VITTORINO, F. **Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras: Conforto Ambiental, Durabilidade e Pós-Ocupação**. Porto Alegre, RS. 2017.

FALESCHINI, F; ZANINI, MARIANO ANGELO; PELLEGRINO, CARLO; PASINATO, STEFANO. Sustainable management and supply of natural and recycled aggregates in a medium-size integrated plant. **Waste Management**, Vol. 49, p. 146-155. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.01.013>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X16300137?via%3Dihub>. Acesso em: 27, out. 2019.

FIESP - Federação da Indústrias do Estado de São Paulo, **Safra mundial de milho 2018/2019**, 2019. Disponível em: <https://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/safra-mundial-de-milho-2/attachment/file-20190813175242-boletimmilhoagosto2019/>. Acesso em: 20, ago. 2019.

FRANCHETTI, S.; MARCONATO, J. A importância das propriedades físicas dos polímeros na reciclagem. **Química nova na escola**, n. 18, p. 42–45, São Paulo, 2003.

GUIMARÃES, Paula de Sousa . **Desempenho de híbridos simples de milho (*Zea mays L.*) e correlação entre heterose e divergência genética entre as linhas parentais**. 2007. 4 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical).IAC, Instituto Agrônomo, Campinas, SP.2007.

INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION, ISO. **ISO 10052**: Acoustics- Field measurements of airborne and impact sound insulation and of service equipment sound – Survey method. Switzerland, 2004.

INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION, ISO. **ISO 10140-1**:Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building elements – Part 1: Application rules for specific products. Switzerland, 2016.

KAW, A. K. **Mechanics of Composite Material**. 2ª edição p. 81-85 . Editora CRC Press. Boca Raton, Florida, EUA, 2006.

KOGA, M.E.T. **Celulose e Papel**, P. Phillip e M.L.D’Almeida(eds.). IPT/SENAI, v. 1, 2ª ed. São Paulo. 1988.

LEVY, F. N.; PARDINI, L. C.. **Compósitos Estruturais Ciência e Tecnologia**. 2ª ed. Editora Blucher. p.45. São Paulo, 2016.

MAGIOLI, F.; TORRES J. Influência das transformações urbanas no conforto acústico: estudo-piloto da cidade universitária da UFRJ. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**. v.10.2. p. 401-415. Rio de Janeiro, RJ. 2018.

MORGADO A. Compósitos reforçados com fibras. **Livro VR-Baja**. p. 01. 2014.

NETO, J. C. M. **Gestão dos resíduos de construção e demolição: estudo da situação no município de São Carlos- SP, Brasil**. nº 36. p. 1-10. São Carlos, SP. 2010.

NETO, J. R. A. .; DE CARVALHO, L. H. .; ARAÚJO, E. M. Influência da adição de uma carga nanoparticulada no desempenho de compósitos poliuretano/fibra de juta. **Polímeros**, v. 17, n. 1, 2007. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47017106>. Acesso em: 24 Set.2019.

NOVAES, W. **Agenda 21 brasileira - Bases para Discussão**.2000.

ORMANDY, D.; EZRATTY, V. Thermal discomfort and health: protecting the susceptible from excess cold and excess heat in housing. **Advances in Building Energy Research**. 2016. p.1-12 DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/17512549.2015.1014845>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/action/showCitFormats?doi=10.1080/17512549.2015.1014845>. Acesso: 20 Ago./2019.

PAES, M. ; TEIXEIRA, F. ; MARTINS, I. **Composição química da palha de milho com qualidade para artesanato**. p. 1. Sete Lagoas, MG. 2008.

PEREIRA, J. **Sustentabilidade na construção civil**. p. 1-5. Artigo Científico. UNISUL. Santa Catarina. 2019.

PIMENTEL, L. L. ; BERALDO, A. L. ; **Durabilidade de compósito biomassa vegetal-cimento modificado por polímero**. Eng. Agrícola., Jaboticabal, v.26, n2, p. 344-353. 2006.

PIONEER. **O milho no Brasil, sua importância e evolução**. 2014. Disponível em: <http://www.pioneersementes.com.br/media-center/artigos/165/o-milho-no-brasil-sua-importancia-e-evolucao>. Acesso em: 10 set. 2019.

QUINAYÁ, Diana. **Fabricação e caracterização de materiais compósitos resina epóxi/ fibras de bucha (Luffa cylindrica)**. 2017. 38 f. Tese (Doutorado em Engenharia de materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos). PUC-Rio. Rio de Janeiro, RJ. 2017. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/31211/31211.PDF>. Acesso em: 9, mar. 2020.

RIBEIRO, José. **Obtenção E Caracterização de Um Eco-Compósito à Base De Látex E Bainha Da Palha Do Coqueiro para isolamento térmico e acústico**. 2015. 1 f.Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2015. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/20874/1/JoseRibeiroDeSouzaFilho_TESE.pdf. Acesso: 10, ago. 2019.

ROMÃO, Daniela. **Potencial de fibras de resíduo agrícola : palha de milho (zeamays l .) para produção decelulose**. 2015. 11 f.Dissertação (Graduação em Engenharia Florestal). Universidade de Brasília. Brasília, 2015. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/13337/1/2015_DanielaRamalhoRomao.pdf. Acesso em: 8, ago. 2019.

ROSSI, C. T. *et al.* **Análise do comportamento acústico de sala por tempo de reverberação de sabine e eyring**. p. 1-5.Universidade Federal do Pampa, Rio Grande do Sul, 2018.

RUDIN, A.; CHOI,P. Front-matter. **The Elements of Polymer Science & Engineering**, 3ªedição, Editora Elsevier, Canadá, 2013.

SANTOS. T.; SILVA.A.; CASTRO.A.; JARDIM. A.; ARAÚJO JÚNIOR. G.; SILVA. T.;

Projeções de conforto térmico e seus efeitos na saúde humana para o século XXI. VII Congresso Brasileiro de Biometeorologia, Ambiente, Comportamento e Bem-Estar Animal. BBIOMET. Jaboticabal, SP. 2017.

SILVA, Isabela. **Propriedades e estrutura de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas de juta.** 2014. 19 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes. 2014. Disponível em: http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/Tese-de-Doutorado_Isabela-Leao.pdf. Acesso em: 20, ago. 2019.

SILVA, Rayane. **Poluição marinha por resíduos plásticos e suas consequências ao meio ambiente.** 2018. 13 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) Faculdade Pitágoras, Uberlândia, 2018. Disponível em: <https://repositorio.pgskroton.com/handle/123456789/21948>. Acesso em: 9, ago. 2019.

SILVEIRA, João. **Preparação e caracterização de resina epóxi transparente dopada com nanoestruturas semicondutoras de CdS.** 2009. 18 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais). Universidade Estadual Paulista - UNESP. Ilha Solteira, SP. 2009. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/91986/silveira_jb_me_ilha.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 9, abr. 2020.