

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

Fábio Severo da Rosa

**DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL DE ISOLAMENTO
TÉRMICO COMPÓSITO À BASE DE SABUGO DE MILHO**

Santa Maria, RS
2019

Fábio Severo da Rosa

**DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL DE ISOLAMENTO TÉRMICO
COMPÓSITO À BASE DE SABUGO DE MILHO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

Orientadora: Professora Dra. Giane de Campos Grigoletti
Coorientador: Professor Dr. Rogério Cattelan Antochaves de Lima

Santa Maria, RS
2019

Rosa, Fábio Severo da
Desenvolvimento de material de isolamento térmico
compósito à base de sabugo de milho / Fábio Severo da
Rosa.- 2019.
71 f.; 30 cm

Orientadora: Giane de Campos Grigoletti
Coorientador: Rogério Cattelan Antocheves de Lima
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, RS, 2019

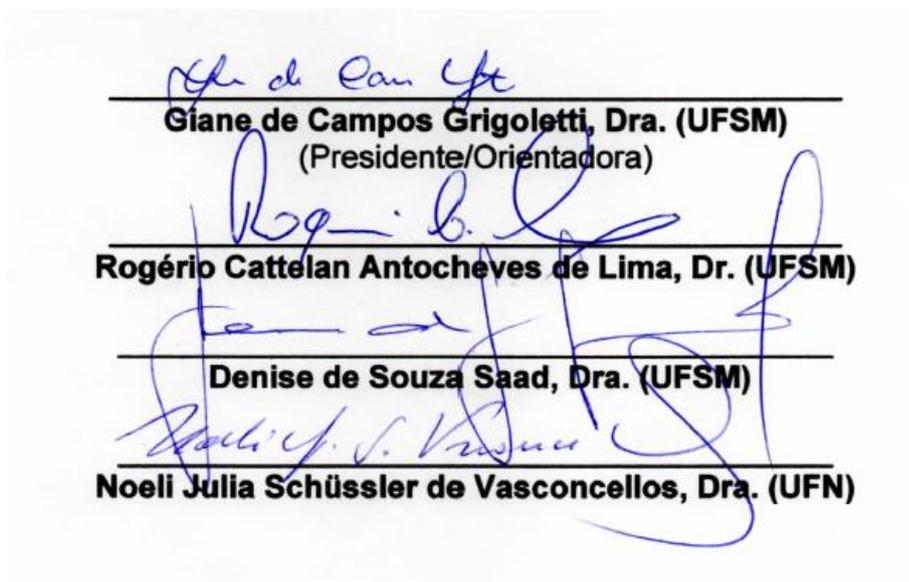
1. Isolante térmico 2. Compósito 3. Sabugo de milho 4.
Desempenho I. de Campos Grigoletti, Giane II. Cattelan
Antocheves de Lima, Rogério III. Título.

Fábio Severo da Rosa

**DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL DE ISOLAMENTO TÉRMICO
COMPOSITO À BASE DE SABUGO DE MILHO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

Aprovado em 17 de Janeiro de 2019:



Giane de Campos Grigoletti, Dra. (UFSM)
(Presidente/Orientadora)

Rogério Cattelan Antochaves de Lima, Dr. (UFSM)

Denise de Souza Saad, Dra. (UFSM)

Noeli Julia Schüssler de Vasconcellos, Dra. (UFN)

Santa Maria, RS
2019

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer à minha família, meus pais Leandro e Claudia e minha irmã Juliana, por sempre acreditarem em mim e pelo apoio em todas as etapas da minha formação acadêmica.

A Laís, minha namorada, que me apoiou durante este processo.

A minha orientadora Giane Grigoletti, pela confiança na minha capacidade por ter me proporcionado sabedoria e conhecimento, e por toda ajuda sempre que precisei.

Ao professor Rogério Antochaves, meu coorientador, pelas considerações de grande valor para o avanço da pesquisa.

Pela professora Denise Saad e o professor Joaquim Pizzutti por terem aceitado participar da banca de qualificação e por todas as críticas e ajuda durante a pesquisa.

A amiga Ana Paula Adamy e ao marido Flaviano, por toda ajuda durante o trabalho prático.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria, seus professores, funcionários e colegas de curso, pelos conhecimentos adquiridos.

A todos os professores e funcionários da Universidade Federal de Santa Maria, que de alguma forma, direta ou indiretamente contribuíram para a pesquisa, principalmente a todo o Laboratório de Materiais de Construção Civil.

Ao professor Saulo Guths e ao Centro Brasileiro de Eficiência Energética da Universidade Federal de Santa Catarina por disponibilizarem seu tempo e equipamentos para o desenvolvimento dos ensaios de condutividade térmica.

Aos amigos, colegas de estudo e trabalho por toda ajuda e compreensão durante esse tempo.

Ao Victor e o Olmiro por terem me ajudado em todo processo inicial de doação e separação do material sabugo de milho que foi utilizado na pesquisa.

A Imperveg, empresa que doou toda a resina utilizada na pesquisa.

A Capes, pela concessão da bolsa de mestrado, que tornou possível a realização desta pesquisa.

RESUMO

DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL DE ISOLAMENTO TÉRMICO COMPÓSITO À BASE DE SABUGO DE MILHO

AUTOR: Fábio Severo da Rosa
ORIENTADORA: Giane de Campos Grigoletti
COORDINADOR: Rogério Cattelan Antochaves de Lima

Um dos desafios mais importantes para o setor da construção civil é a redução de impactos ambientais em todas as suas fases do ciclo de vida. Dentre as possíveis diretrizes para redução de impactos ambientais, está o uso de materiais reciclados, seja da própria construção civil, seja de outros setores produtivos, como a agricultura. Muitos pesquisadores têm concentrado esforços no estudo do potencial da aplicação de materiais orgânicos na construção civil. Dentre os materiais orgânicos, o milho é produzido principalmente para a alimentação animal. O grão possibilita a produção de uma série de produtos industrializados. Entretanto, algumas partes da planta não possuem um uso direto, como o sabugo de milho. A pesquisa teve como objetivo desenvolver um compósito com características de isolante térmico com base no resíduo agrícola sabugo de milho para uso na construção civil. Foram desenvolvidos três compósitos com diferentes granulometrias denominados (A,B,C) e analisadas a condutividade térmica, densidade de massa aparente e flexão em três pontos. O compósito B foi o que apresentou melhor resistência mecânica, sendo este escolhido e submetido ao teste de Termogravimetria. Este mostrou que o compósito pode ser usado em sistemas quentes que são submetidos a temperaturas de até 240 °C. Todos os compósitos apresentaram baixa condutividade e adequada densidade compatíveis a outros compósitos à base de materiais lignocelulósicos. Foram verificadas, por meio de cálculos, as propriedades isolantes do compósito elaborado e combinado com elementos já comumente usados em sistemas de vedações verticais. O compósito desenvolvido demonstrou, que a utilização de um resíduo agrícola para preparação de material isolante térmico é possível.

Palavras-chave: Isolante térmico. Compósito. Sabugo de milho. Desempenho.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF A COMPOSITE THERMAL INSULATION MATERIAL BASED ON CORN COB

AUTHOR: Fábio Severo da Rosa
ADVISOR: Giane de Campos Grigoletti
CO-ADVISOR: Rogério Cattelan Antochaves de Lima

One of the most important challenges for the construction industry is the reduction of environmental impacts at all stages of the life cycle. Among the possible guidelines for reducing environmental impacts is the use of recycled materials, whether in the civil construction sector or in other productive sectors, such as agriculture. Many researchers have focused their efforts on studying the potential of applying organic materials to construction. Among the organic matter, maize is produced mainly for animal feed. The grain enables the production of a series of industrialized products. However, some parts of the plant do not have a direct use, like corn cob. The objective of the research was to develop a composite with thermal insulation characteristics based on the corn residue of corn husks for use in construction. Three composites with different grades denominated (A, B, C) were developed and the thermal conductivity, bulk density and flexion were analyzed in three points. The composite B was the one that presented better mechanical resistance, being this chosen and submitted to the test of Thermogravimetry. This showed that the composite can be used in hot systems that are subjected to temperatures of up to 240 °C. All composites presented low conductivity and adequate density compatible with other composites based on lignocellulosic materials. The insulating properties of composite made and combined with elements already commonly used in vertical fence systems have been verified by means of calculations. The developed composite has demonstrated that the use of an agricultural residue for preparing thermal insulation material is possible.

Keywords: Thermal Insulator. Composite. Corncob. Performance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação dos compósitos.....	19
Figura 2 – Estrutura do sabugo de milho.....	29
Figura 3 – Microestrutura das três camadas componentes do sabugo de milho...	29
Figura 4 – Metodologia.....	36
Figura 5 – Equipamento usado na separação granulométrica das partículas.....	37
Figura 6 – Elaboração dos compósitos.....	39
Figura 7 - Princípio do método de medição da resistência térmica.....	40
Figura 8 – Execução dos ensaios de condutividade térmica.....	41
Figura 9 – Analisador termogravimétrico usado no ensaio para determinação de perda de massa.....	42
Figura 10 – Ensaio de resistência à flexão.....	43
Figura 11 – Bloco vazado e respectivas dimensões.....	45
Figura 12 – Detalhes da parede de blocos vazados de concreto ou cerâmico.....	45
Figura 13 – Detalhes da parede de concreto maciço.....	46
Figura 14 - Representação gráfica mostrando a perda de massa percentual do compósito em função da temperatura.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Formulação dos compósitos elaborados na pesquisa.....	38
Tabela 2 – Resultados de resistência à flexão dos compósitos A, B e C.....	47
Tabela 3 – Condutividade térmica e densidade dos compósitos A, B e C.....	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Condutividade térmica (λ) dos materiais usados na simulação.....	52
Quadro 2 - Elementos componentes da resistência térmica total para os dois tipos de parede adotados no estudo, sem e com o uso dos compósitos adotados na pesquisa.....	53
Quadro 3 – Valores comparativos entre os dois tipos de parede adotados no estudo, sem e com o uso dos compósitos adotados na pesquisa.....	54
Quadro 4 – Comparação do compósito B com outros isolantes térmicos convencionais disponíveis no mercado.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
C	Celsius
CB3E	Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações
CBMRS	Comando de Bombeiros Militar do Rio Grande do Sul
CBPMESP	Corpo de Bombeiros Policia Militar do Estado de São Paulo
CCA	Cinza de sabugo de milho
cm	Centímetro
CMAR	Controle dos Materiais de Acabamento e Revestimento
CO ₂	Dióxido de carbono
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPS	Poliestireno Expandido
F	Carga usada no ensaio de flexão em três pontos
FS ₀	Fator solar de elementos opacos
g/cm ³	Grama por centímetro cúbico
h	Altura do corpo de prova no ensaio de flexão em três pontos
ha	Hectare
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISO	Organização Internacional de Normalização
IT	Instrução Técnica
K	Kelvin
kg	Quilograma
L	Espessura da amostra, ou distância entre os pontos de apoio do corpo de prova
LAPAM	Laboratório de Processos Ambientais
LMCC	Laboratório de Materiais de Construção Civil
m	Metro
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>
MDI	<i>Methylee Diphenyl Diisocyanate</i>
mm	Milímetro
N	Newton
PU	Poliuretano
q	Fluxo de calor médio
R	Resistência térmica
R _T	Resistência térmica total
RS	Rio Grande do Sul
s	Segundo
SINDUSCON	Sindicato das Indústrias da Construção Civil
T	Temperaturas médias nas superficiais das amostras
TGA	Análise Termogravimétrica
U	Transmitância térmica
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria

UNEP	<i>United Nations Environmental Program</i>
UNISINOS	Universidade do Vale do Rio dos Sinos
w	Largura do corpo de prova no ensaio de flexão em três pontos
W/m	Watt/metro
W/m ²	Watt/metro quadrado
XPS	Poliestireno Extrudido
α	Absortância à radiação solar
λ	Condutividade térmica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS.....	16
1.1.1	Objetivo geral	16
1.1.2	Objetivos específicos	17
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	17
2	REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1	COMPÓSITOS.....	18
2.2	ISOLANTES TÉRMICOS	19
2.3	COMPÓSITOS PARA ISOLAMENTO TÉRMICO	21
2.4	DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES	23
2.5	RESÍDUOS AGRÍCOLAS.....	25
2.6	MILHO E SABUGO DE MILHO	27
2.7	CARACTERIZAÇÃO DO COMPÓSITO	31
2.7.1	Condutividade térmica	31
2.7.2	Análise térmica	32
2.7.3	Análise termogravimétrica (TGA)	32
2.7.4	Resistência mecânica de materiais compósitos com fibras naturais ...	33
3	METODOLOGIA	35
3.1	TIPO DE PESQUISA	35
3.2	MATERIAIS	35
3.2.1	Sabugo de milho	35
3.2.2	Resina	36
3.3	SEPARAÇÃO GRANULOMÉTRICA DO SABUGO DE MILHO	37
3.4	ELABORAÇÃO DOS COMPÓSITOS	38
3.5	CONDUTIVIDADE TÉRMICA.....	39
3.6	ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (TGA)	41
3.7	RESISTÊNCIA MECÂNICA - FLEXÃO.....	42
3.8	ENSAIO DE DENSIDADE DE MASSA APARENTE	43
3.9	ANÁLISE ESTATÍSTICA	44
3.10	CONFIGURAÇÕES DE PAREDES USANDO O COMPÓSITO.....	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1	CARACTERIZAÇÃO DOS COMPÓSITOS	47
4.1.1	Resistência à flexão	47
4.1.2	Condutividade térmica e densidade de massa aparente	48
4.1.3	Análise termogravimétrica (TGA) do compósito	50

4.2	CONFIGURAÇÕES DE PAREDES USANDO O COMPÓSITO.....	52
4.3	COMPARATIVO DO MATERIAL COM MATERIAIS CONVENCIONAIS	55
5	CONCLUSÕES	59
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
	APÊNDICE A – ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS VALORES MEDIDOS DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA E DENSIDADE DE MASSA APARENTE	69
	ANEXO A – FICHA TÉCNICA RESINA USADA COMO AGLOMERANTE	70
	ANEXO B – LAUDO DO CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – UFSC	71

1 INTRODUÇÃO

Um dos desafios mais importantes para edificações futuras é a redução de impactos ambientais em todas as suas fases de vida, da construção à demolição. Dentre possíveis diretrizes para redução de impactos ambientais, está o uso de materiais reciclados, seja da própria construção civil, seja de outros setores produtivos, como a agricultura. Na indústria da construção civil, sobretudo nas áreas urbanas, nas edificações industriais, comerciais ou residenciais, há uma permanente busca pelo maior conforto humano, nos seus locais de trabalho ou de moradia, com especial atenção aos desempenhos térmico e acústico.

Já no início dos projetos, engenheiros e arquitetos apoiam-se no aparato tecnológico disponível, procurando por soluções que viabilizem o bem-estar das pessoas, com rápida execução, baixo custo, eficiência, qualidade e disponibilidade regional (RIBAS, 2013). A NBR 15575 (ABNT, 2013), que estabelece critérios para o desempenho dos sistemas de vedações verticais e o isolamento térmico interno e externo, colabora com melhores soluções para as edificações, sendo um apoio importante para os projetistas.

O avanço da civilização industrial levou a demandas crescentes por recursos naturais. O desenvolvimento e a aplicação de qualquer tecnologia resultam no uso e na degradação de recursos ambientais, com a conseqüente geração de resíduos, o consumo de certa quantidade de energia e de outros insumos, muitas vezes não renováveis. Neste contexto, se insere a busca de soluções alternativas para as edificações, em termos de materiais e componentes, incentivando o uso de tecnologias que, além de reduzirem a geração de recursos, privilegiem o emprego de produtos naturais e recicláveis, com reduzido impacto no meio ambiente durante todo o ciclo de vida (CUNHA, 2012).

A construção civil é a indústria que possui maior potencial para absorver resíduos e subprodutos gerados por outros setores industriais. O aproveitamento desses materiais se dá na fabricação de blocos, argamassas para sub-bases, pavimentação, concreto não estrutural, elaboração de compósitos, entre outros usos (SCHULTZ; FERREIRA, 2004).

Com o crescimento da demanda mundial por alimentos, além do aumento das áreas cultivadas, ocorreu uma grande evolução na produtividade agrícola e modernização dos equipamentos usados. Porém, o cultivo e beneficiamento desse

grande volume de produção têm gerado uma série de problemas ambientais, dentre eles uma enorme quantidade de resíduos, muitos deles sem uso e destinação adequados.

Muitos pesquisadores têm concentrado esforços no estudo do potencial da aplicação de materiais orgânicos na construção civil (PINTO et al., 2012). O aproveitamento de subprodutos agrícolas é de grande interesse. Dentre os materiais orgânicos, o milho é produzido principalmente para a alimentação animal. O grão possibilita a produção de uma série de produtos industrializados. Entretanto, algumas partes da planta não possuem uso direto, como o sabugo de milho, e nesse caso, são subutilizados ou mesmo jogados no meio ambiente.

Segundo Oliveira (2015), para cada 100 kg de espiga de milho, aproximadamente 18 kg são formados por sabugo. Diante de tanto resíduo sendo descartado, surge a preocupação com o meio ambiente e a necessidade de como reutilizar tal resíduo.

Os compósitos surgem da necessidade de aplicação de materiais que possuem propriedades específicas, e essas não são encontradas nos metais, polímeros e cerâmicas. Busca-se no compósito a leveza dos polímeros, a resistência dos metais e a capacidade térmica dos materiais cerâmicos. Na busca de eficiência de vários sistemas, os compósitos surgem em substituição a materiais usados em larga escala em barcos, veículos, aviões, motocicletas e bicicletas (OLIVEIRA, 2015).

Considerando o problema ambiental criado pela geração crescente de resíduos agrícolas, pelo acúmulo também crescente de sobras de rejeitos da construção civil que geram grande impacto ambiental, se justifica a busca por alternativas viáveis do ponto de vista técnico e ambiental, sendo uma delas o desenvolvimento de um compósito, a base de sabugo de milho, como um agregado leve com funções de isolamento térmico.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver material compósito com características de isolante térmico com base no rejeito agrícola sabugo de milho para uso na construção civil.

1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar a condutividade térmica do compósito.
- Determinar a resistência à flexão e termogravimetria do compósito escolhido.
- Propor configurações de paredes usando o compósito que atendam às normas NBR 15220 (ABNT, 2005) e NBR 15575 (ABNT, 2013).
- Comparar a eficácia do compósito, no que diz respeito à condutividade térmica, com outros materiais de isolamento térmico existentes no mercado.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O texto da dissertação foi estruturado em cinco capítulos, conforme é descrito a seguir.

No Capítulo 1 consta a introdução onde é apresentada uma contextualização, justificativa, objetivos, a delimitação da pesquisa e a estrutura do texto que descreve a pesquisa.

A seguir é apresentada a revisão da literatura no Capítulo 2, sendo apresentada a fundamentação teórica para a pesquisa. O capítulo está dividido em itens que tratam dos diversos temas relacionados à pesquisa, servindo de suporte aos métodos aplicados e interpretação dos dados obtidos ao longo das análises realizadas.

O Capítulo 3 aborda a metodologia utilizada na pesquisa, apresentando os diversos cenários onde as etapas foram realizadas e descrevendo em detalhes os ensaios de caracterização do compósito elaborado.

Os resultados obtidos nos ensaios realizados ao longo da pesquisa são apresentados no Capítulo 4, onde também é apresentada uma discussão dos resultados obtidos confrontando-os com os resultados de outras pesquisas na mesma linha e informações contidas em diversas normas relacionadas ao tema.

Por fim, no Capítulo 5, são apresentadas conclusões sobre os resultados atingidos nas diversas fases da pesquisa, bem como sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros dando continuidade à pesquisa.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Há uma crescente demanda por novos materiais com base em fontes naturais e renováveis, o que se configura também como uma oportunidade de redução do impacto ambiental nos processos e disposição dos materiais terminada sua vida útil e também dos resíduos provindos de seu uso. Assim, ao longo do capítulo serão abordados temas relacionados aos materiais empregados na pesquisa e elementos indispensáveis a sua realização.

2.1 COMPÓSITOS

Compósito é um material resultante da combinação de dois ou mais materiais de composição e forma diferentes de cada um de seus constituintes, mantendo intacta a sua identidade, não havendo, portanto, nem dissolução, nem fusão entre os vários constituintes. O objetivo principal em se produzir compósitos é de combinar diferentes materiais para produzir um único sistema ou componente com propriedades superiores às dos componentes unitários (MACEDO et al., 2011).

Ao combinar materiais com características e propriedades diferentes, pretende-se obter um composto onde as propriedades físicas e químicas dos constituintes se complementem, de forma a obter um material superior a qualquer um dos seus constituintes e adequado aos fins pretendidos. Com materiais compósitos é possível obter produtos com diferentes propriedades, entre as quais se pode citar: leveza, ductilidade, resistência a altas temperaturas, maior dureza e resistência ao choque (MACEDO et al., 2011).

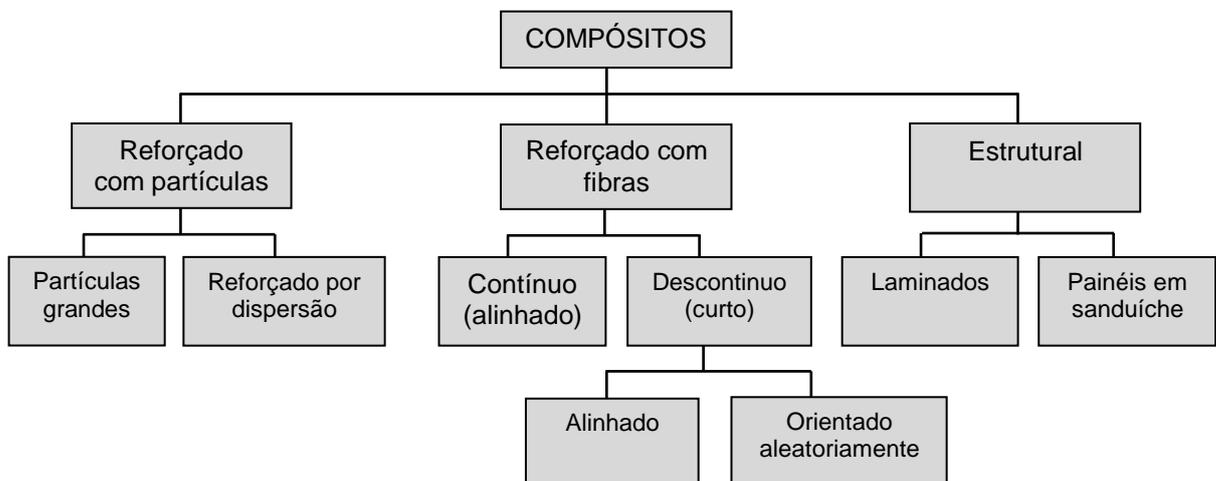
A maioria das pesquisas de compósitos visa à obtenção de um material com propriedades físico-químicas mais apropriadas a determinado uso que supere aqueles já existentes. No campo térmico, tem-se priorizado a obtenção de materiais que resistam a mudanças bruscas de temperatura e a temperaturas extremas (MACEDO et al., 2011).

A economia sustentável, em nível mundial, cresceu e a qualidade de vida das pessoas depende do uso de produtos alternativos na arquitetura e na construção, como por exemplo, materiais oriundos de rejeitos industriais, convencionalmente designados de materiais verdes. O granulado de cortiça, um subproduto da indústria da cortiça, a pasta de celulose, resíduo de papel reciclável e fibras de cânhamo são

materiais que podem ser utilizados com esse propósito. Esses materiais podem ser usados em placas compósitas e argamassas para elementos de construção não estruturais, como paredes divisórias, revestimento de tetos ou regularização de pisos (EIRES; JALALI; CAMÕES, 2010).

Geralmente os compósitos são formados por duas fases. Uma denominada matriz, que é contínua e envolve a outra, chamada de fase dispersa, que serve como reforço para a primeira. O material resultante (compósito) possui propriedades que não são obtidas isoladamente pelos materiais constituintes, matriz e reforço. Em função do material usado como reforço, os compósitos podem ser divididos em três grandes grupos: os compósitos reforçados com partículas, os compósitos reforçados com fibras e os compósitos estruturais, conforme indicado na Figura 1.

Figura 1 – Classificação dos compósitos



Fonte: CALLISTER, 2014, p. 472

2.2 ISOLANTES TÉRMICOS

Os isolantes térmicos são empregados com o objetivo de reduzir as trocas de calor entre dois meios. O isolamento pode ser utilizado para diversas finalidades, como o condicionamento da temperatura em um ambiente, conforto térmico, proteção de estruturas a fim de evitar dilatações em lajes, conservação, estocagem e processamento de alimentos, economia de energia, entre outros (FENILLI, 2008).

Os materiais isolantes térmicos apresentam baixo coeficiente de condutividade térmica, o que implica em baixa densidade e alta resistência térmica devido à porosidade. Portanto, quanto maior o número de poros do material, maior a presença de gases ou ar em seus vazios, o que impede a transferência de calor (BEZERRA, 2003). Benmansour et al. (2014) conduziram uma investigação sobre o uso de um novo material, composto por cimento natural, areia e fibras de tamareira. O principal objetivo foi avaliar a possibilidade de usar este novo material como material de construção isolante. Diversos compósitos foram preparados para diferentes concentrações de peso (de 0% a 30%) e para três tamanhos de fibras. Os resultados revelam que a incorporação de fibras de tamareira reduz a condutividade térmica e a resistência à compressão do compósito, reduzindo o peso. Para uma carga inferior a 15% de fibras o compósito atende aos requisitos térmicos e mecânicos dos materiais de construção e pode ser usado para estruturas de parede. O aumento no teor de fibras reduz a resistência mecânica da argamassa. Entretanto, valores interessantes de resistência mecânica foram obtidos em baixa concentração (5%, 10% e 15%) de fibras. Portanto, os autores concluem que o uso de 5%, 10% e 15% de fibras na argamassa permite obter um compósito com boas propriedades físicas e mecânicas que podem ser bem utilizadas em componentes de edifícios como novos materiais para eficiência energética nos edifícios.

Os isolantes térmicos são escolhidos de acordo com aspectos econômicos, funcionais e de segurança. O isolante térmico, para ser considerado eficiente, deve possuir baixo coeficiente de condutividade térmica, boa resistência mecânica, baixa difusividade térmica, baixa massa específica, alto calor específico, resistência a combustão, baixo coeficiente de combustão térmica, estabilidade física e química, resistência específica ao ambiente de utilização, resistência ao ataque de roedores, insetos, fungos e ser de fácil aplicação e baixo custo (CRUZ; FERREIRA; MARINHO, 2009). Entre os materiais que vêm sendo empregados na construção civil com a finalidade de controlar as trocas de calor entre o ambiente externo e interno, principalmente nas paredes e coberturas de edificações que sofrem incidência direta da radiação solar, encontram-se os naturais e os industrializados. Os materiais naturais isolantes mais usados são cortiça, penas de aves, cascas de cereais, argila expandida e fibras de madeira. Os principais materiais isolantes térmicos industrializados usados no Brasil são lã de vidro, lã de rocha e poliuretano (ROSA et al., 2015).

2.3 COMPÓSITOS PARA ISOLAMENTO TÉRMICO

Diversas pesquisas apontam para o uso de resíduos agrícolas como a casca de arroz, sabugo de milho e talos de girassol, dentre outros, na formulação de compósitos para uso em revestimentos internos de forros e paredes, na forma de painéis ou adicionados na camada de reboco para contribuir com a eficiência energética das edificações, diminuindo a transmissão de calor entre os ambientes. Possuem a vantagem de serem materiais totalmente renováveis, regionais e de baixo impacto ambiental (MENDES et al., 2010; KORJENIC et al., 2011; PANYAKAEW; FOTIOS, 2011; ROSA et al., 2015).

Mishra, Chakraverty e Banerjee (1986) trabalharam com a aplicação da casca de arroz em placas de isolamento, materiais de embalagem e cerâmicos. Os autores avaliaram a condutividade térmica da casca de arroz com diferentes teores de umidade, pela determinação do fluxo de calor através das amostras com auxílio de uma sonda de condutividade térmica, obtendo valores de 0,059 W/(m·K) para a casca de arroz inteira, até 0,082 W/(m·K) para a casca de arroz moída. O uso das cascas de arroz inteiro resultou em um material de menor condutividade térmica.

Rout e Satapathy (2012) avaliaram a condutividade térmica de compósitos elaborados com resina epóxi, com adição de casca de arroz em diferentes proporções. As cascas de arroz foram trituradas e misturadas com a resina em quatro diferentes formulações. A condutividade térmica foi determinada com um condutímetro similar ao usado nesta pesquisa. Os autores constataram que, desde a resina pura até o compósito com resina e 6,5% de casca de arroz, ocorreu uma redução média de 8,6% no valor da condutividade, resultando em 0,28 W/(m·K) como menor valor alcançado.

Binici et al. (2014) desenvolveram um compósito com resíduos provenientes da produção de girassol, de algodão e da indústria têxtil, tendo epóxi como aglutinante, para uso como isolante térmico em edifícios. Foram preparadas diferentes formulações, variando a mistura e quantidades dos diversos componentes. A condutividade térmica foi determinada com um condutímetro QTM-500 e os painéis com melhor desempenho térmico (0,1642 W/(m·K)) foram aplicados com gesso na face interna de parede de tijolos para avaliar sua funcionalidade.

Evon et al. (2014) formularam um compósito de fibras usando o resíduo gerado durante a extração do óleo de girassol, confeccionando painéis por termoprensagem, usando diferentes pressões e temperaturas de moldagem e avaliando sua influência nos resultados de ensaios de resistência à flexão, dureza, resistência ao impacto e condutividade térmica, tendo obtido para esta o melhor valor de $0,0885 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Os autores também concluíram que o compósito obtido apresenta boas condições para ser usado como isolamento térmico em forros de residências.

Mati-Baouche et al. (2014), obtiveram um biocompósito desenvolvido a partir de partículas de talo de girassol (casca e medula) com quitosana como aglutinante, testando diferentes granulometrias das partículas e quantidades de quitosana na influência das propriedades térmicas e mecânicas, obtendo condutividade térmica da ordem de $0,056 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, concluindo que os materiais obtidos apresentam desempenho similar aos de alguns materiais industrializados.

Cravo et al. (2015), avaliaram as propriedades térmicas de um compósito a base de resíduos agrícolas (casca de amendoim e fibra de coco) nas proporções de 50:50, juntamente com 15% de resina poliuretano bi-componente à base de óleo de mamona. Na pesquisa, os resíduos foram triturados, peneirados e misturados com a resina, sendo a seguir moldados na forma de painéis dos quais foi avaliada a condutividade térmica, resultando em condutividade térmica de $0,297 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Os autores também simularam uma instalação avícola com cobertura de fibrocimento e um forro com painéis do compósito, os resultados térmicos relataram que o compósito apresenta potencial para aplicação como isolante térmico, enquanto que a avaliação da durabilidade revelou a necessidade de incorporar um revestimento para assegurar constância das propriedades mecânicas do compósito.

Oliveira (2015) desenvolveu compósitos com sabugo de milho em diferentes granulometrias e uma resina poliéster denominada AZ 4.6 comercializada pela ARA Química S/A, na proporção de 80% em relação ao sabugo. Os sabugos de milho foram triturados em três diferentes tamanhos de partículas e misturados à resina em três diferentes formulações. Após a moldagem, cura e desmoldagem das amostras, foram realizados ensaios de tração, flexão, densidade, micrografia eletrônica e condutividade térmica em equipamento analisador de propriedades térmicas. Esses compósitos apresentaram condutividade térmica em torno de $0,186 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$.

Oliveira et al. (2015), produziram um compósito utilizando a resina de poliuretano à base de óleo de mamona juntamente da fibra de coco, resíduo proveniente da produção de coco de uma fazenda de Minas Gerais. Foram preparadas quatro diferentes formulações, usando a fibra de coco triturada em diferentes proporções de resina, seguida da moldagem e cura. Foi verificado que nas amostras onde a razão entre fibra e resina foi maior, houve redução no coeficiente de condutividade térmica, indicando que quanto menor a condutividade menor a proporção de resina em relação à massa de fibra na composição da amostra. Com isso o compósito produzido apresentou níveis satisfatórios e potenciais de uso em isolamento térmico, com valor em torno de $0,038 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$.

Adamy, Rosa e Rosa (2016), realizaram uma revisão bibliográfica, tomando por base uma série de artigos científicos publicados em periódicos internacionais, apresentaram e compararam diferentes compósitos que possuem como base o talo de girassol, quanto às suas propriedades isolantes pertinentes aos requisitos de desempenho térmico mínimo estabelecidos pela norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013) em sistemas de vedações verticais. Assim, demonstraram que compósitos produzidos utilizando talos de girassol apresentam um futuro promissor para uso como isolante térmico em aplicações.

Rosa e Scherer (2018) avaliaram a utilização de resíduos agrícolas em compósitos, com fins de isolamento térmico para uso em sistemas de vedações verticais em edificações, identificando o atendimento às normas pertinentes para a região sul do Brasil. Diferentes sistemas foram avaliados e comparados por meio dos valores de transmitância térmica e fator de ganho de calor solar. Os resultados obtidos comprovam a melhoria do desempenho das paredes com o uso dos compósitos considerados, concluindo que o uso da casca de arroz e do sabugo de milho possuem um papel importante no isolamento térmico.

Estes e outros estudos demonstram a viabilidade do uso de resíduos agrícolas para isolamento térmico.

2.4 DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

As exigências de conforto térmico estão relacionadas com o funcionamento do corpo humano. Havendo a sensação de frio ou calor, significa que o organismo está perdendo ou ganhando calor para que a sua temperatura interna se mantenha

na ordem de 37 °C. Partindo desse princípio, das condições climáticas e das características térmicas dos materiais usados no projeto e construção dos ambientes a serem ocupados pelas pessoas, se tem as condições necessárias para se projetar artefatos e ambientes que atendam as exigências de conforto térmico (FROTA; SCHIFFER, 2003).

As condições climáticas se alteram para locais distintos. A escolha dos materiais construtivos está relacionada à questões de resistência mecânica, de segurança e econômicos, deixando-se muitas vezes as questões de desempenho térmico para um plano secundário. Os custos de aquecimento, no inverno, e refrigeração, no verão, são muito elevados. Um dos grandes desafios é o de melhorar o desempenho energético dos edifícios, considerando, além desse critério, a crescente ênfase social dada às questões ambientais, a eliminação de resíduos, e ao esgotamento dos recursos não-renováveis (MATI-BAOUCHE et al., 2014).

O território brasileiro, pela sua extensão geográfica e grandes diferenças no clima, foi dividido em oito zonas bioclimáticas. Para cada zona, foram definidas recomendações técnico-construtivas para otimizar o desempenho térmico das edificações. A zona bioclimática 2, objeto desse estudo, compreende boa parte dos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e alguns pontos do estado de São Paulo e Minas Gerais (ABNT, 2005d).

Segundo a norma ABNT NBR 15220-3 (ABNT, 2005c), para essa zona, que compreende a maior porção da região sul, ficam estabelecidas para vedações externas, parede leve ($U \leq 3,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ e $FS_o \leq 5,0 \%$) e cobertura leve isolada ($U \leq 2,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ e $FS_o \leq 6,5 \%$).

Os requisitos de desempenho térmico mínimo para sistemas de vedações verticais são estabelecidos no Brasil através da norma ABNT NBR 15575-4 (ABNT, 2013). Um dos critérios adotados para avaliação do desempenho térmico desses sistemas é a transmitância térmica (U) de paredes externas. No caso de paredes externas, para a Zona Bioclimática 2, o valor estabelecido é $U \leq 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (ABNT, 2013a). No caso da variável fator solar para paredes, a ABNT NBR 15220-3 recomenda o valor $FS_o \leq 5,0 \%$ (ABNT, 2005d).

Esse conjunto de informações torna-se um referencial importante, pois se trata de uma série de especificações que devem ser observadas nos ambientes construídos em nosso país.

2.5 RESÍDUOS AGRÍCOLAS

O Brasil é conhecido por seu grande potencial de recursos renováveis e recicláveis tais como produtos agrícolas, florestais e resíduos como o bagaço de cana-de-açúcar, casca de arroz, casca da aveia e aparas de madeira. As principais culturas agrícolas destinadas à produção de grãos no Brasil são soja, milho e arroz, respondendo por quase 90% da produção física e aproximadamente 80% da área utilizada. A produção dessas três culturas somaram 226.981.683 toneladas em 2017 (IBGE, 2018).

Os resíduos agrícolas englobam todos os materiais resultantes das colheitas das diversas culturas agrícolas, sendo constituídos de folhas, caules e outras partes das plantas como pericarpo e sabugo, com pouca ou nenhuma utilidade na alimentação humana. Esses resíduos podem ser impactantes para o meio ambiente caso não sejam devidamente descartados. Os impactos ambientais estão relacionados à biomassa formada pelos resíduos em decomposição, e à queima a céu aberto feita pelos agricultores para limpar as terras, emitindo CO₂ e outros poluentes (UNEP, 2009).

A produção de resíduos agrícolas é variável, dependendo da espécie cultivada, do fim a que se destina, das condições de fertilidade do solo, de condições climáticas, entre outros fatores. Segundo dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), a estimativa da geração de resíduos oriundos das agroindústrias associadas à agricultura para as culturas agrícolas, soja, milho e arroz, representaram um total de quase 74 milhões de toneladas de resíduos para o ano de 2009 (IPEA, 2012).

Os resíduos agrícolas têm despertado grande interesse nos últimos anos pelo seu potencial na geração de energia (RUIZ et al., 2013). A utilização desses resíduos para adubação permite a recuperação de elementos de valor econômico presentes neles. Os resíduos do setor agrícola podem, ainda, ser aproveitados para alimentação animal, além de servirem como insumo para outros produtos. Esses resíduos têm apresentado resultados satisfatórios na aplicação como matéria-prima para o desenvolvimento de componentes de materiais substitutos aos materiais tradicionais de construção civil, pois em comparação aos materiais convencionais, os materiais compósitos provenientes de resíduos agrícolas apresentam

características valiosas, como: baixo custo, durabilidade, leveza e baixa condutividade térmica (MADURWAR; RALEGAONKAR; MANDAVGANE, 2013).

A casca de arroz é um dos mais abundantes resíduos agrícolas. Estima-se que, para cada hectare de cultura de arroz, sejam produzidas de 4,0 a 6,0 toneladas de casca (VIEIRA, 2012). A casca de arroz pode variar sua composição de acordo com a variedade plantada, clima e das condições do solo, sendo composta principalmente de celulose (50%), lignina (30%) e resíduo orgânico (20%), possuindo baixa densidade e elevado volume (FERNANDES, 2006; BEZERRA, 2010).

Na China, são geradas grandes quantidades de resíduos agrícolas, principalmente na cultura do arroz. Wei et al. (2015) desenvolveram um novo processo para a fabricação de materiais isolantes, usando palha de arroz e, como agente ligante, uma resina sintética identificada como MDI (*methylene diphenyl diisocyanate*) diluída em acetona. Os autores usaram diferentes tamanhos de partículas da palha de arroz, prensagem do compósito à quente de forma convencional e com aplicação de alta frequência, resultando em diferentes densidades nas amostras obtidas. As amostras confeccionadas com partículas maiores da palha de arroz resultaram numa condutividade térmica menor. As amostras com maior densidade apresentaram resultados melhores em sua resistência mecânica. Os resultados comprovaram uma ótima eficiência do compósito obtido como base de placas para isolamento térmico em paredes e tetos.

Sun et al. (2015) e Mati-Baouche et al. (2014), demonstraram que um biocompósito desenvolvido a partir de partículas de talo de girassol (casca e medula) com quitosana¹ como aglutinante, apresentou propriedades térmicas e mecânicas suficientes para ser usado para fins de isolamento térmico em edifícios.

Esses e outros estudos têm demonstrado o interesse de pesquisadores no aproveitamento de resíduos agrícolas e sua viabilidade na elaboração de compósitos em substituição aos materiais convencionais para diversas finalidades como uso em revestimento interno de forros e paredes, na forma de painéis ou adicionados na camada de reboco para contribuir com a conservação de energia das edificações, diminuindo a transmissão de calor entre os ambientes, além de

¹ A quitosana é um biopolímero obtido a partir da carapaça de crustáceos como camarão e caranguejo. Quando usada em conjunto com outros componentes químicos pode gerar vários tipos de resinas com propriedades mecânicas e de ligação, equivalentes a aglomerantes convencionais.

serem materiais totalmente renováveis, regionais e de baixo impacto ambiental (MENDES et al., 2010; KORJENIC et al. 2011; PANYAKAEW; FOTIOS, 2011; ROSA et al., 2015).

2.6 MILHO E SABUGO DE MILHO

O milho (*Zea mays L.*) é uma planta da família *Gramineae*. Trata-se de um cereal de alta qualidade nutritiva, cultivado em grande parte do mundo, usado como alimento humano ou ração animal, devido às suas qualidades nutricionais, sendo atualmente a maior cultura agrícola do mundo (EMBRAPA, 2014). É utilizado como alimento humano, animal e matéria-prima para a indústria, pela quantidade e natureza das reservas nutricionais nos grãos (BARBOSA, 2011).

No contexto nacional, o milho é uma cultura tradicional que ocupa uma posição significativa, quanto ao valor da produção agropecuária, área cultivada e volume produzido, com destaque para as regiões sul, sudeste e centro-oeste (TURCO, 2011). O Brasil está entre os maiores produtores de milho, junto com Estados Unidos, China e Portugal (PINTO et al., 2012).

O milho é uma cultura presente na maioria dos solos agricultáveis do Brasil, mas as regiões sul, sudeste e centro-oeste concentraram 90,9% da produção nacional em 2017. Dados da produção do milho no Brasil, em 2017, indicaram um valor de 99.546.028 toneladas, havendo uma participação de 27,6% para a Região Sul (IBGE, 2018).

De acordo com dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a produção de milho nos três estados da região sul, na safra dos anos 2015 e 2016, totalizou 23.089.700 toneladas (CONAB, 2016b).

Esse cereal representa cerca de 40% do atual volume produzido de grãos e 28% da área plantada no Brasil, sendo o mais forte insumo do setor de criação animal, principalmente na alimentação de aves e suínos. Na média dos últimos cinco anos, 59% da produção de milho no país destinaram-se à alimentação animal (avicultura 34%; suinocultura 13%; bovinocultura 7%), 28% às exportações, 7,5% ao consumo industrial e 3% ao consumo humano, sendo o restante destinado a outros setores (CONAB, 2016a).

As principais características da planta no momento da colheita são: colmo e folhas praticamente secos; espigas dobradas com a ponta voltada para baixo,

facilmente destacável e com palhas secas; grãos secos e firmes. Os métodos mais usados para a colheita são: colheita manual, sendo as espigas colhidas, transportadas e armazenadas; colheita semimecanizada em que as espigas são colhidas manualmente e a debulha mecânica através de um implemento acoplado ao trator; colheita mecânica onde a colheitadeira faz o corte da planta, a debulha e o transporte dos grãos (FINCH; BAHIA; MANTOVANI, 1983).

O milho tem como rejeito, durante seu processamento, o sabugo, colmo (caule), folhas e palha. A quantidade de resíduos geradas na cultura do milho para cada tonelada colhida é de aproximadamente 2,3 toneladas (VIEIRA, 2012).

O sabugo e a palha são os resíduos gerados após a retirada das espigas e debulha do milho. Esses resíduos são compostos por celulose, hemicelulose e lignina, em composições bastante similares, sendo a palha em geral deixada no campo após a colheita (SANTOS, 2014).

Segundo dados da CONAB, em 2012, foram produzidos, no Brasil, mais de 70 milhões de toneladas de milho em grãos. A quantidade de sabugo fica entre 15 e 20% dessa quantia, gerando por ano mais de 10 milhões de toneladas de sabugo (BENTO; CASARIL, 2012).

Estudos descrevem diversas destinações dadas ao sabugo de milho, sendo usado principalmente como mistura em alimentação animal. Existem relatos de seu uso na queima com outros resíduos para geração de energia (UNEP, 2009), em aplicações diversas na indústria química (KADAM; MCMILLAN, 2003), e até em experimentos na formulação de alimentos (ZIGLIO, et al., 2007). No Brasil, muito desses resíduos são simplesmente queimados. Sabugos de milho quando queimados em locais inadequados poluem o ar e as sobras do processo de queima contaminam o solo e a água (FERREIRA-LEITÃO et al., 2010).

Várias pesquisas têm sido desenvolvidas para investigar as propriedades do sabugo de milho e suas possíveis aplicações em substituição aos materiais convencionais na formulação de compósitos com as mais diversas finalidades.

O sabugo de milho é um material heterogêneo. A Figura 2 ilustra uma secção transversal de uma espiga de milho para compreender a macroestrutura deste material natural. Três diferentes camadas são identificadas, claramente percebidas pela sua cor, textura, forma e densidade.

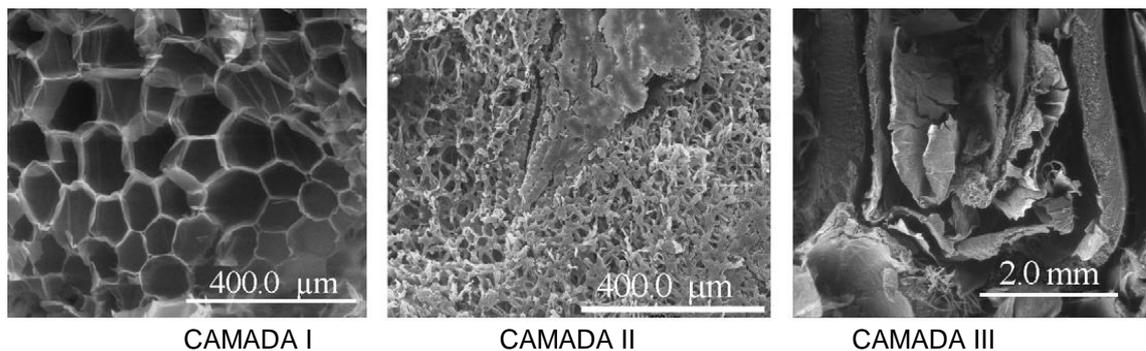
Figura 2 – Estrutura do sabugo de milho



Fonte: Autor.

A Figura 3 mostra a microestrutura das três camadas, as diferenças na textura e densidade de cada camada. Para Pinto et al. (2011), estrutura da camada mais interna se assemelha à microestrutura do poliestireno expandido (EPS), material sintético tradicionalmente usado de forma ampla na construção civil.

Figura 3 – Microestrutura das três camadas componentes do sabugo de milho



Fonte: Adaptado de PINTO et al., 2011.

Aglomerante ou aglutinante é o termo adotado para designar um componente de ligação usado para unir materiais de granulação fina ou partículas, com a finalidade de se obter corpos ou fragmentos coesos. As substâncias usadas para unir materiais são também comumente denominadas ligantes, colas, adesivos e resinas.

Os mecanismos de adesão envolvem várias áreas científicas, estando as informações dispersas, muitas vezes de forma incompleta ou superficial, em sítios eletrônicos de fabricantes, em alguns livros e em artigos científicos (FAUSTINO et al., 2012; CHIKHI et al., 2013; ASKELAND; WRIGHT, 2014).

Os aglomerantes, de acordo com a sua função na mistura, podem ser classificados em: tipo matriz, tipo película e aglomerantes químicos (LUZ; SAMPAIO; FRANÇA, 2010). Luz, Sampaio e França (2010) destacam uma classificação em líquidos, sólidos, solúveis e insolúveis em água. Os aglomerantes do tipo matriz provocam um embutimento das partículas dentro de uma fase substancialmente contínua, citando-se aqui o asfalto de petróleo e o cimento Portland. Os do tipo filme apresentam função semelhante à das colas adesivas e dependem da evaporação da água ou de algum solvente para desenvolver resistência mecânica. Os aglomerantes químicos podem ser usados tanto como matriz ou como filme, incluindo-se aqui os aglutinantes sintéticos como as resinas fenólicas e poliuretanos.

O óleo de mamona, pela pureza e possibilidade de sua sintetização, é muito empregado na fabricação de poliuretanos. A versatilidade e a origem natural e renovável, alta resistência aos agentes agressivos, o torna um produto melhor que os polímeros derivados do petróleo (CRUZ, 2009).

A mamoneira (*Ricinus communis*) é uma planta oleaginosa, a qual tem óleos que podem ser extraídos por meio de processos adequados, com elevado valor industrial. O óleo que é extraído de suas sementes é utilizado para fabricação de diversos produtos como biodiesel, plásticos, fibras sintéticas, esmaltes, resinas e lubrificantes (CANGEMI; SANTOS; CLARO NETO, 2010).

Conforme Ramalho (2013), os polióis originados do petróleo estão sendo substituídos pelo poliálcool presente no óleo de mamona. Sua biodegradabilidade é uma das principais razões para a entrada deste produto no mercado, tanto que o mesmo já tem sido tratado com os termos biopolímero e polímero mais sustentável.

Muitas pesquisas têm usado esse material como aglomerante em compósitos naturais. Fiorelli et al. (2012) compararam o desempenho do uso do poliuretano (PU) de óleo de mamona e um adesivo de ureia-formaldeído, na fabricação de painéis de partículas feitos com fibra de coco. O PU de mamona apresentou resultados superiores aos da resina de ureia-formaldeído, melhorando as propriedades físicas e mecânicas dos painéis.

Silva (2003) pesquisou o processamento e a caracterização de compósitos de poliuretano derivado de óleo de mamona reforçado com fibras de sisal e de coco. Também foram realizados ensaios de tração, flexão, impacto, tenacidade à fratura e absorção de água, testando as fibras nas formas, curta, longa, tecido e fios contínuos. Observaram-se melhores resultados com a fibra de sisal, sendo a fibra de coco inferior ao poliuretano puro. A absorção de água é maior do que a do poliuretano, visto que as fibras retêm mais líquido, porém o tratamento reduziu esse índice. Observa-se, que no Brasil vem sendo difundida a utilização de óleo de mamona como polioli na fabricação de poliuretanos.

2.7 CARACTERIZAÇÃO DO COMPÓSITO

2.7.1 Condutividade térmica

A condutividade térmica está relacionada à capacidade térmica de um material conduzir calor e determina o gradiente de temperatura ao longo de sua geometria. Nos compósitos, a condutividade térmica depende principalmente da composição, mas também da presença de espaços vazios e de sua homogeneidade (SILVA, 1997).

Nos materiais isolantes, a condutividade térmica varia em função da sua estrutura porosa, cujas pequenas cavidades detêm gases de baixa condutividade térmica confinados nas células fechadas. O principal fator que afeta a condutividade dos isolantes térmicos é a espessura desse material. Outros fatores a serem considerados incluem a massa específica e tamanho das células do material, umidade e temperatura ambiente (MENDES, 2002).

A condutividade térmica de um material (λ) corresponde à propriedade física que determina um fluxo de calor constante, com densidade de 1 W/m^2 , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de $1 \text{ }^\circ\text{K}$ (Kelvin) por metro, resultando numa unidade de medida $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Quanto menor for o valor da condutividade térmica de um material, mais isolante será (ABNT, 2005b).

2.7.2 Análise térmica

Análise térmica é um termo que abrange um grupo de técnicas nas quais uma propriedade física ou química de uma substância, ou de seus produtos de reação, é monitorada em função do tempo ou temperatura, enquanto a temperatura da amostra, sob uma atmosfera específica, é submetida a uma programação controlada (MOTHÉ; AZEVEDO, 2002). Desta forma a análise térmica tem seu campo de atuação voltado ao estudo de processos como catálises e corrosões, propriedades térmicas e mecânicas como expansão térmica e amolecimento, diagramas de fase e transformações.

Uma das principais técnicas termoanalíticas e necessárias para esse estudo é a termogravimetria (TGA) que será fundamentada no item que segue.

2.7.3 Análise termogravimétrica (TGA)

Termogravimetria (TGA) é a técnica que mostra a mudança de massa de uma substância em função da temperatura ou do tempo com programação controlada. Segundo Cavalheiro et al. (1995), é necessário alguns cuidados com os fatores que podem afetar os resultados experimentais, são eles: variação da taxa de aquecimento, da massa da amostra, do fluxo de gás de arraste, do adensamento da amostra e influência dos gases da atmosfera.

Quanto maior a taxa de aquecimento, maior a temperatura em que aparece a transição. Uma avaliação mais profunda mostra que a temperatura de transição não é alterada, o que varia na verdade é a velocidade com que o equipamento consegue detectar a variação da massa. Quanto menor a massa da amostra, menor a temperatura em que a transição aparece. A homogeneização de temperatura no material e a resposta do detector ocorrem em uma temperatura aparente menor. Com a variação do fluxo do gás de arraste, ocorre um retardamento nas transições quando se utiliza menor fluxo de gás, resultando em menor velocidade de remoção dos produtos voláteis de decomposição (água, monóxido e dióxido de carbono), retardando a saída. A variação no adensamento da amostra acarretada pela prensagem da amostra retarda a sua decomposição devido a diminuição da superfície efetiva de contato térmico da amostra com o ambiente (CAVALHEIRO et al., 2005).

A influência dos gases da atmosfera do forno, comparando gases como N_2 , ar sintético e dióxido de carbono (CO_2), indica que os dois primeiros gases têm uma pequena influência nas temperaturas de decomposição, enquanto o gás carbônico (CO_2), apresenta efeito marcante na decomposição da amostra. Isto acontece porque ocorre uma reação química que libera o mesmo gás, neste caso, CO_2 , que sendo utilizado para arraste, provoca um deslocamento no equilíbrio químico das reações. O nitrogênio é inerte neste caso e o ar sintético, mesmo apresentando uma composição mista de diversos gases, tem um efeito pequeno na decomposição da amostra (CAVALHEIRO et al., 2005).

A TGA ou análise termogravimétrica fornece informações acerca da composição e estabilidade térmica. É uma técnica de análise térmica, basicamente quantitativa, utilizada para medir variações de massa sofridas pela amostra, resultante de uma transformação física (sublimação, evaporação, condensação) ou química (degradação, decomposição, oxidação) em função da temperatura ou do tempo (MOTHÉ; AZEVEDO, 2002).

2.7.4 Resistência mecânica de materiais compósitos com fibras naturais

Um grande número de novos materiais tem sido desenvolvido, geralmente baseado em materiais tradicionais, mas incorporando de alguma forma elementos de reforço. Para tanto é necessário que se conheçam as propriedades mecânicas, físicas e químicas dos materiais de constituição e como eles podem ser combinados. Pode-se considerar que as fibras naturais são abundantes e oriundas de fontes renováveis. Assim, são potenciais reforços para compósitos, representando um bom potencial econômico, conforme comprova a revisão anteriormente apresentada neste capítulo.

Segundo Mohanty et al. (2005), as fibras vegetais são constituídas principalmente por fibrilas de celulose embebidas em uma matriz de lignina, sendo que os principais constituintes químicos das fibras vegetais são celulose, hemicelulose e lignina. Dessa forma as fibras podem ser aproveitadas para a produção de compósitos, principalmente porque as fibras possuem propriedades que podem ser usadas na engenharia como, baixa densidade, o que causa boa resistência e rigidez aos compósitos.

Para Machado et al. (2010), as fibras vegetais não são abrasivas aos equipamentos de mistura e moldagem devido a baixa densidade, o que garante a redução de custos com manutenção. Outra vantagem é que as fibras podem passar por modificações químicas, por meio de tratamentos como a simples lavagem das fibras em água. Contudo, Machado et al. salientam que compósitos reforçados com fibras naturais não podem ser processados em temperaturas acima de 200°C devido a suscetibilidade de degradar-se termicamente, além de possuírem baixa resistência à umidade e variação nas propriedades mecânicas.

Johnston (1994) define que a ação das fibras no compósito tende primeiro a reforçá-lo sobre todos os modos de carregamento que induzem tensões de tração (tração indireta, flexão e cisalhamento), melhorando, conseqüentemente, a ductilidade e a tenacidade da matriz com características frágeis.

Segundo Vendrusculo (2003), quanto maior o teor de fibra, maior é o acréscimo de resistência mecânica, até certo limite, a partir do qual este efeito não é mais observado. O aumento do teor de fibra provoca aumento do índice de fragilidade e da capacidade de absorção de energia de deformação, diminui o índice de fragilidade e aumenta a capacidade de absorção de energia.

As características de resistência, deformação e padrões de ruptura de uma grande variedade de compósitos reforçados com fibras dependem fundamentalmente da aderência fibra e matriz. Uma alta aderência entre a fibra e a matriz reduz o tamanho das fissuras e amplia sua distribuição pelo compósito. As fibras devem estar bem aderidas à matriz do compósito para que a sua resistência à tração seja mobilizada (VENDRUSCULO, 2003).

3 METODOLOGIA

3.1 TIPO DE PESQUISA

Quanto à natureza, trata-se de uma pesquisa aplicada, que busca empregar os conhecimentos adquiridos em uma situação específica, no caso o desenvolvimento de um compósito natural isolante térmico. No que tange aos objetivos, apresenta caráter explicativo, tendo em vista o intuito de elucidar o potencial isolante de componentes naturais, como o sabugo de milho, para uso como isolante térmico.

A abordagem é quantitativa devido ao caráter investigativo do estudo, que pretende caracterizar, por meio de ensaios, o desempenho do compósito proposto a base de sabugo de milho e resina derivada do óleo de mamona. O método de pesquisa a ser utilizado será o de experimento. Conforme Martins, Mello e Turrioni (2014), a principal característica da pesquisa experimental é o controle que o pesquisador possui sob os valores e variáveis que serão experimentadas, a fim de demonstrar as relações de causa e efeito entre as variáveis escolhidas para análise. Na Figura 4, constam as etapas que abrangem o desenvolvimento da metodologia.

3.2 MATERIAIS

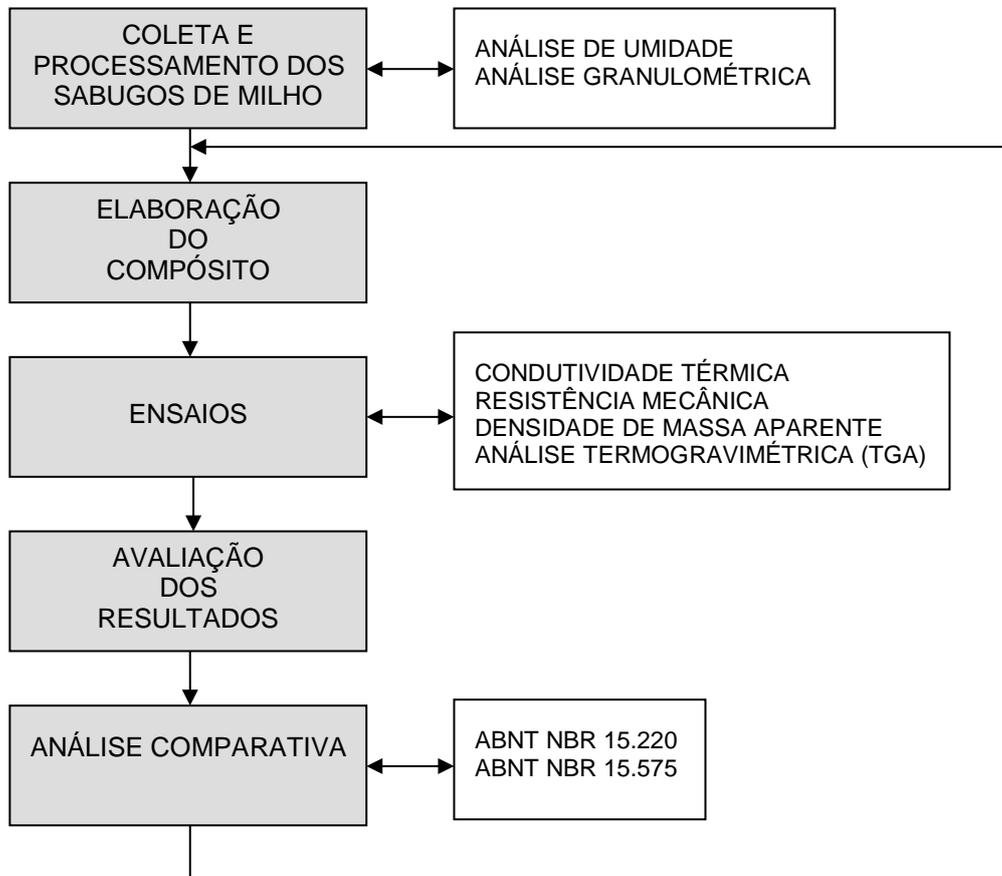
3.2.1 Sabugo de milho

O resíduo de sabugo de milho foi doado por uma propriedade na localidade de Santa Eulália, distrito do município de Santa Margarida do Sul, localizado na região sudoeste do estado do RS, devido a disponibilidade e proximidade de Santa Maria, RS.

O resíduo foi coletado manualmente na forma de espiga de milho e armazenado para secagem em local protegido de intempéries. Para isso foi necessário acompanhar os prazos de armazenamento e secagem do produto, pois para a debulha e retirada do grão do milho inteiro, a espiga tem que secar por aproximadamente seis meses. Depois do processo natural de secagem, o milho foi debulhado com um debulhador de acionamento manual para separar os grãos dos sabugos. Isso resultou em 16 kg de sabugos de tamanho variado com um peso

médio de 37 g por sabugo. Logo após a debulha, os sabugos passaram por novo processo de secagem ao ar livre, protegido de intempéries.

Figura 4 – Metodologia



Fonte: Autor.

3.2.2 Resina

A resina usada como aglutinante foi doada pela empresa Imperveg®, tendo como denominação comercial AGT 1315. É uma resina impermeabilizante a base de poliuretano vegetal (originado do óleo de mamona), bi-componente, 100% sólido (isento de solventes). É indicada para aplicação em materiais porosos como concreto, argamassa e madeira. É um material isento de solventes, podendo ser aplicado em ambientes confinados, pois não libera vapores tóxicos. Segundo o fabricante, as superfícies tratadas com esta resina apresentam uma membrana com alta durabilidade, razoável elasticidade, grande resistência aos raios ultravioleta,

estanqueidade a líquidos e gases, excelente penetração nos poros da superfície, obtendo-se uma boa aderência, e não apresenta retração volumétrica após a cura. A ficha técnica da resina encontra-se no Anexo A. A resina é formulada pela mistura a frio de um pré-polímero (componente A) e um poliol (componente B), que devem ser misturados na proporção de 1:1,5 (uma parte do componente A + uma parte e meia do componente B, em volume respectivamente). Ainda segundo o fabricante, a resina tem consistência fluída, tempo de cura e manuseio de 24 horas e resiste a uma temperatura de até 210 °C.

3.3 SEPARAÇÃO GRANULOMÉTRICA DO SABUGO DE MILHO

Os sabugos de milho passaram por uma trituração em moedor forrageiro da marca TRAPP, modelo TRF 70. Após esse procedimento, o material foi separado por peneiramento em diferentes granulometrias.

A separação granulométrica foi feita no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da Universidade Federal de Santa Maria (Figura 5), utilizando a norma para composição granulométrica de agregados, NBR NM248 (ABNT, 2003). Foram usadas peneiras com malhas 4,8 mm, 6,3 mm e 9,5 mm numa máquina vibratória para ensaios granulométricos Produtest, definindo assim as partículas de sabugo de milho triturado em partículas moída fina, média e grossa.

Figura 5 – Equipamento usado na separação granulométrica das partículas



Fonte: Autor.

3.4 ELABORAÇÃO DOS COMPÓSITOS

Três diferentes formulações foram elaboradas usando sabugo de milho triturado e resina denominada AGT 1315, como material aglutinante, em diferentes proporções, originando três compósitos diferentes denominados compósitos A, B e C, conforme consta na Tabela 1.

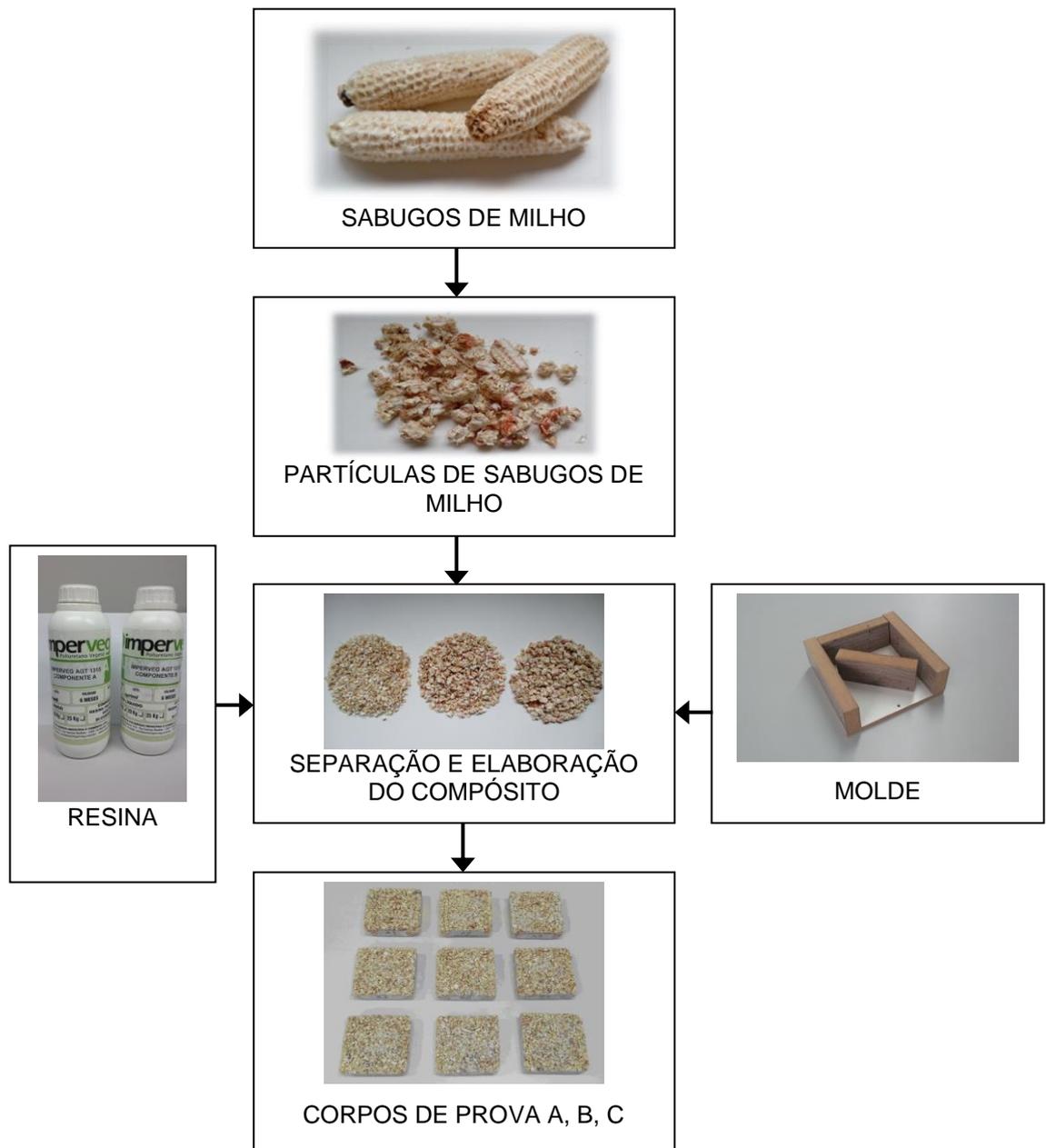
Tabela 1 – Formulação dos compósitos elaborados na pesquisa

Compósito	Composição							Resina (%)	Resina (g)
	Partícula grossa (%)	Partícula grossa (g)	Partícula média (%)	Partícula média (g)	Partícula fina (%)	Partícula fina (g)			
A	26,25	33	-	-	26,25	33	47,50	60,30	
B	13,10	16,50	13,10	16,50	26,25	33	47,50	60,30	
C	-		26,25	33	26,25	33	47,50	60,30	

Fonte: Autor.

O processo de elaboração está ilustrado na Figura 6. Os corpos de prova foram preparados em moldes desmontáveis, confeccionados em MDF (*Medium density fiberboard*), na medida de 100 mm x 100 mm x 30 mm por exigência do ensaio de condutividade térmica. Inicialmente foram misturados os sabugos de milho triturados (partículas) e a resina nas proporções citadas, colocadas dentro do molde com uma espátula, sendo submetido a uma pressão de 0,02 MPa em peso, durante 1 minuto e, após, foi colocado para cura a temperatura ambiente por 24 horas e desenformado. Para confeccionar cada corpo de prova nas dimensões especificadas anteriormente foram usadas 66 gramas de partículas de sabugo de milho.

Figura 6 – Elaboração dos compósitos



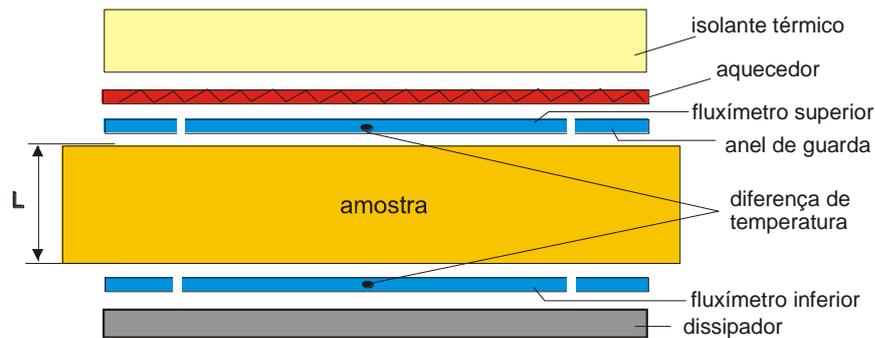
Fonte: Autor.

3.5 CONDUTIVIDADE TÉRMICA

Os ensaios de condutividade térmica foram realizados no Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E), da Universidade Federal de Santa Catarina (Figuras 7 e 8). Os testes seguiram as recomendações da Norma Técnica

ASTM C-518 (*Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus*) e ISO 8301 (*Thermal insulation - Determination of steady-state thermal resistance and related properties - Heat flow meter apparatus*) (ASTM, 2017; ISO, 1991). O laudo final emitido ao término dos ensaios consta no Anexo B.

Figura 7 - Princípio do método de medição da resistência térmica



Fonte: Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E).

A resistência térmica foi determinada a partir da lei de Fourier (ASTM, 2017) conforme Equação 1.

$$R = \frac{T_1 - T_2}{\left(\frac{q}{A}\right)} \quad (1)$$

Onde:

R - resistência térmica ($\text{m}^2 \text{K/W}$);

q - fluxo de calor médio medido pelos fluxímetros 1 e 2 (W); e

T_1 e T_2 - temperaturas médias nas superficiais das amostras ($^{\circ}\text{C}$).

Considerando que a amostra é homogênea, é possível determinar a condutividade térmica do material (λ) através da Equação 2.

$$\lambda = \frac{L}{R} \quad (2)$$

Onde:

λ é a condutividade térmica (W/m K); e

L é a espessura da amostra (m).

Figura 8 – Execução dos ensaios de condutividade térmica



Fonte: Autor.

3.6 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (TGA)

Os ensaios de perda de massa em função da degradação térmica dos polímeros foram realizados através de TGA, utilizando o equipamento TGA-50, Shimadzu (Figura 9) no Laboratório de Processos Ambientais (LAPAM) da Universidade Federal de Santa Maria. A amostra contendo 10 ± 1 mg foi inserida em um cadinho de quartzo e degradada em atmosfera de ar sintético a uma vazão de 50 mL/min. O aquecimento se deu a partir da temperatura ambiente até ser atingida a temperatura de 650 °C, a uma taxa de aquecimento de 20 °C/min. A perda de massa percentual foi plotada em função da temperatura. Foi obtida também a curva da derivada primeira da TGA, a derivada termogravimétrica (DTG). Os resultados foram registrados no *software* TA-60WS Collection Monitor (Shimadzu) e analisados no *software* TA60 (Shimadzu).

Figura 9 – Analisador termogravimétrico usado no ensaio para determinação de perda de massa



Fonte: Autor.

3.7 RESISTÊNCIA MECÂNICA - FLEXÃO

Considerando as possíveis utilizações futuras do compósito, é necessário realizar o ensaio de flexão em três pontos, indicado para materiais frágeis. Para tanto foi usada como referência a norma NBR 13279 (ABNT, 2005a), que estabelece o método para determinação da resistência à tração na flexão de argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos no estado endurecido, indicando os parâmetros necessários para execução do ensaio.

Foram preparados corpos de prova nas dimensões 160 mm x 40 mm x 40 mm, para as formulações A, B e C (três unidades de cada), seguindo os procedimentos descritos na norma mencionada no parágrafo anterior.

A tensão de ruptura (F) foi avaliada num equipamento universal de ensaios Solotest do Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da Universidade Federal de Santa Maria (Figura 10).

O corpo de prova a ser avaliado é submetido à aplicação de uma carga manual de 50 ± 10 N/s até a ruptura do corpo de prova conforme estabelece a norma (ABNT, 2005^a, p. 3). A fratura do corpo de prova inicia no ponto central e inferior da amostra. A resistência à flexão ou módulo de ruptura ($\sigma_{\text{flexão}}$) representa a

resistência do material testado (ASKELAND; WRIGHT, 2014), conforme a Equação 3.

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

A carga F é obtida no ensaio, L é a distância entre os pontos de apoio do corpo de prova, w e h são respectivamente a largura e altura do corpo de prova.

Figura 10 – Ensaio de resistência à flexão



Fonte: Autor.

3.8 ENSAIO DE DENSIDADE DE MASSA APARENTE

Este ensaio foi conduzido conforme método previsto na norma ABNT NBR 11356 (ABNT, 2016), a qual é utilizada para determinação da densidade de massa aparente de isolantes térmicos à base de fibras minerais, tais como painéis, mantas e feltros. Para determinação da densidade do compósito, foram utilizados três

corpos de prova de 100 mm x 100 mm x 30 mm, elaborados com a composição escolhida mediante os resultados do teste de condutividade térmica, seguindo as mesmas condições de fabricação descritas anteriormente.

A densidade das amostras foi medida com base no seu peso (kg) e nas suas dimensões volumétricas (m^3) e determinada por meio da razão entre sua massa e volume. Para a obtenção dos dados, utilizou-se um paquímetro analógico da marca Mitutoyo e uma balança digital BEL Mark L10001, com capacidade para 10 kg, ambos disponibilizados pelo Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

3.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados de condutividade térmica e densidade dos compósitos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), seguida do teste de *Tukey* para comparação de médias. Os resultados são considerados significativos quando $p < 0,05$. As análises estatísticas foram realizadas no *software* STATISTICA versão 7.0 (Anexo C).

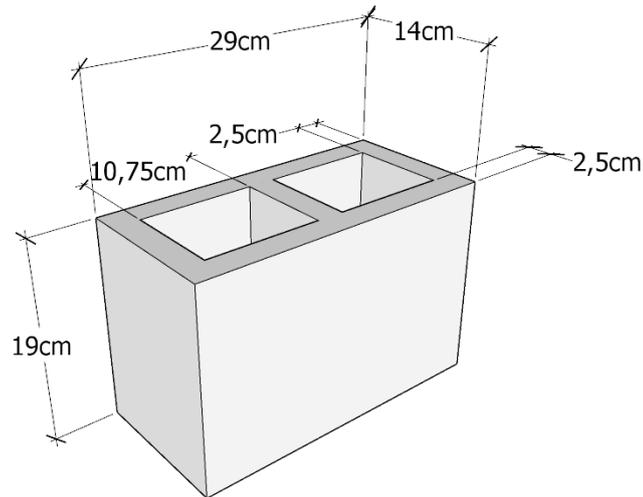
3.10 CONFIGURAÇÕES DE PAREDES USANDO O COMPÓSITO

Esse item foi realizado segundo Rosa e Scherer (2018). Foram definidas oito configurações de paredes com a finalidade de simular diferentes situações sem e com o uso de uma camada do compósito, para verificar sua eficiência quanto ao desempenho térmico conforme as exigências das normas ABNT NBR 15220 e ABNT NBR 15575 (ABNT, 2005b; ABNT, 2013).

Num dos casos simulou-se uma parede de alvenaria em blocos vazados de concreto simples, rebocada em ambas as faces, usando argamassa comum (espessura – 2 cm). Na sequência foi considerada uma parede de alvenaria idêntica, porém com blocos vazados de cerâmica nas mesmas dimensões, com revestimento de reboco semelhante. As dimensões dos blocos estão ilustradas na Figura 11.

Em ambos os casos considerou-se que os blocos foram assentados com argamassa comum com espessura de 1 cm.

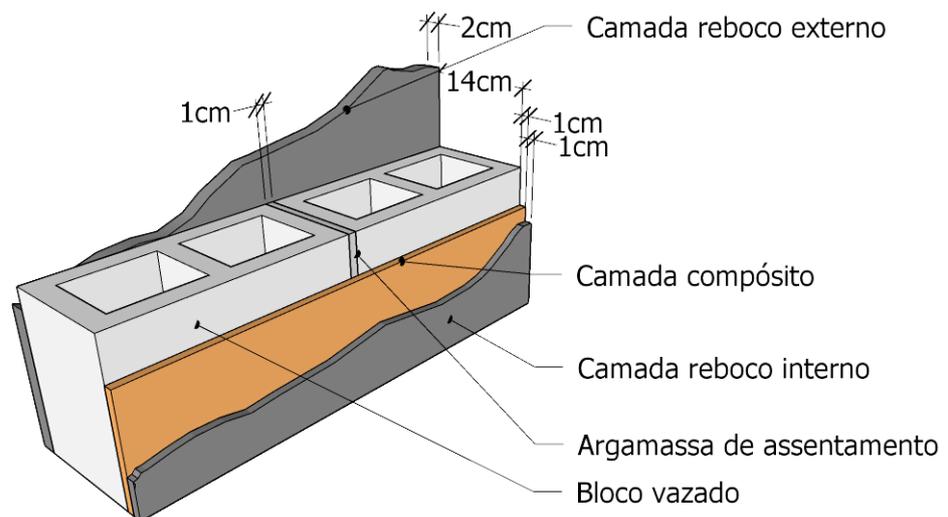
Figura 11 – Bloco vazado e respectivas dimensões



Fonte: ROSA e SCHERER (2018)

Nas duas situações de paredes com blocos (concreto simples e cerâmica), foi simulada uma alteração no revestimento da face interna da parede onde adotou-se uma camada de argamassa comum com espessura de 1 cm e uma camada de compósito com espessura de 1 cm, mantendo-se a face externa com uma camada de reboco, usando argamassa comum com espessura de 2 cm. A Figura 12 ilustra a configuração parede em blocos com revestimento nas faces externa e interna.

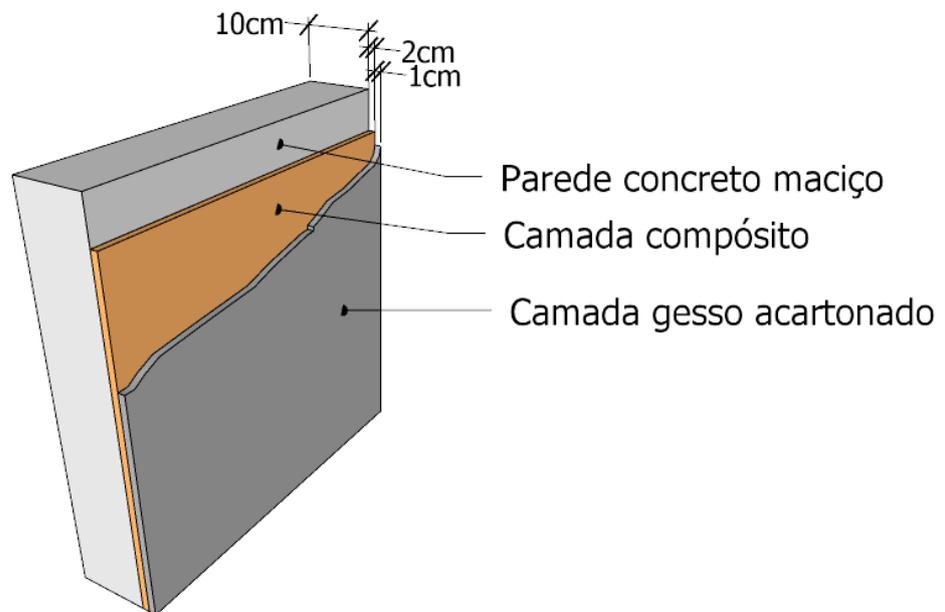
Figura 12 – Detalhes da parede de blocos vazados de concreto ou cerâmico



Fonte: ROSA e SCHERER (2018)

No outro caso, simulou-se paredes de concreto maciço com 5 cm e 10 cm de espessura respectivamente, sem revestimento interno e com revestimento interno. O revestimento interno consta de uma camada de compósito com 2 cm de espessura e para dar acabamento e proteção, uma placa de gesso acartonado com 1 cm de espessura. A Figura 13 ilustra a configuração parede de concreto maciço com revestimento na face interna.

Figura 13 – Detalhes da parede de concreto maciço



Fonte: Autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS COMPÓSITOS

4.1.1 Resistência à flexão

A resistência à flexão dos compósitos A, B e C são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados de resistência à flexão dos compósitos A, B e C

Compósito	Resistência à flexão (MPa)	
	Média	Desvio-padrão
A	2,97	0,302
B	3,79	0,344
C	2,00	0,151

Fonte: Autor.

Letras minúsculas iguais na mesma coluna não mostram diferença estatística ao nível de 5%. N=3, A= 50% moído grosso + 50% moído fino, B= 50% moído fino + 25% grosso + 25% médio, C=50% moído fino + 50% médio.

A Tabela 2 mostra que o compósito B (3,79 MPa) apresenta maior resistência à flexão que os demais. Entretanto os valores são baixos quando comparados aos encontrados por Oliveira (2015) em compósitos com diferentes granulometrias de sabugo de milho na proporção de 20% e resina AZ 4.6 (18,7 a 25,3 MPa), esses autores usaram a mesma metodologia deste trabalho a flexão em três pontos. No entanto, mostrou-se superior à maioria dos resultados encontrados por Panyakaew e Fotios, (2011), os quais desenvolveram compósitos usando casca e bagaço de coco, tendo como material aglutinante uma resina sintética usada na produção de aglomerados. Os autores encontraram valores de resistência à flexão em três pontos que variaram entre 0,12 MPa e 4,16 MPa. Os valores de resistência à flexão aumentaram à medida que aumentou a densidade do compósito. Os resultados encontrados nesse trabalho mostram que os compósitos elaborados podem ser aplicados em materiais que não exijam grandes esforços à flexão.

A norma ABNT NBR 16494 (ABNT, 2017), que determina os requisitos para blocos de gesso para vedação vertical e define os valores de resistência à flexão,

devendo ser igual ou superior a 1,0 MPa, 1,2 MPa e 1,5 MPa, respectivamente para blocos de gesso compactos com espessura de 50 mm, 70 mm e 100 mm (ABNT, 2017, p. 5). Levando em consideração essa norma, o compósito à base de sabugo de milho desenvolvido nesta pesquisa apresentou resistência à flexão superior ao gesso nas espessuras acima mencionadas, pois foram obtidos valores que variam entre 2,0 MPa e 3,79 MPa.

4.1.2 Condutividade térmica e densidade de massa aparente

Os resultados de condutividade térmica e densidade de massa aparente dos diferentes compósitos estão na Tabela 3.

Tabela 3 – Condutividade térmica e densidade dos compósitos A, B e C

Compósito	Condutividade térmica (λ) (W/(m.K))	Densidade de massa aparente (ρ) (g/cm ³)
A	0,114a \pm 0,05	0,369a \pm 0,01
B	0,113a \pm 0,02	0,362a \pm 0,03
C	0,107a \pm 0,02	0,334a \pm 0,03

Fonte: Autor.

Letras minúsculas iguais na mesma coluna não mostram diferença estatística ao nível de 5%. N=3, A= 50% moído grosso + 50% moído fino, B= 50% moído fino + 25% grosso + 25% médio, C=50% moído fino + 50% médio.

Na Tabela 3, observa-se que os compósitos não apresentam diferença estatística entre si quanto à condutividade térmica, apresentando um valor médio de 0,111 W/(m.K).

Segundo Khedari et al. (2001), a condutividade térmica de materiais porosos são governados pelos vazios na amostra. Esses vazios vão ocorrendo a partir do empacotamento de fibras. Em geral, as fibras curtas são mais difíceis de alinhar e empacotar densamente do que as maiores. Portanto, um compósito elaborado com fibras curtas aumenta do número de vazios, gerando menor densidade e baixa condutividade térmica, semelhante ao obtido nesta pesquisa.

Diversas pesquisas que resultaram em compósitos contendo resíduos agrícolas como a casca de arroz, sabugo de milho e talos de girassol, mencionadas no item 2.3, obtiveram resultados para a condutividade térmica numa faixa de 0,046

a 0,280 W/(m.K), dependendo da formulação usada e processo de obtenção do compósito (PANYAKAEW; FOTIOS, 2011; ROUT; SATAPATHY, 2012; BINICI et al., 2014; EVON et al, 2014; MATI-BAOUCHE et al., 2014; OLIVEIRA, 2015; ROSA et al., 2015).

A partir dos resultados encontrados (Tabela 3), pode-se afirmar que as formulações elaboradas A, B e C, atendem o requisito condutividade térmica para atuarem como isolante térmico.

A norma NBR 15220-2 relaciona valores de condutividade térmica de diversos materiais comumente usados na construção civil, dentre eles a argamassa comum com 1,15 W/(m.K), tijolos e telhas de barro com valores na faixa de 0,70 a 1,05 W/(m.K) e placas de fibrocimento com valores na faixa de 0,65 a 0,95 W/(m.K) (ABNT, 2005c).

O conhecimento da densidade dos materiais é de fundamental importância, pois influencia no peso total do sistema ao qual o material é aplicado e uma propriedade relevante para determinação da resistência mecânica. A densidade de massa aparente (ρ) resultou na faixa de 0,334 g/cm³ e 0,369 g/cm³ (Tabela 3) sem evidenciar relação direta com a incorporação da resina, o que provavelmente está relacionado à falta de homogeneidade na distribuição das partículas no processo de fabricação do compósito. A porosidade do sabugo de milho é responsável pela incorporação de ar e conseqüentemente pela baixa resistência à compressão, corroborando outros trabalhos na literatura (PINTO et al., 2011). Por outro lado o compósito apresenta baixa densidade.

Resistência mecânica, condutividade térmica e densidade, são parâmetros importantes para determinar o ponto ideal para a escolha do tipo de materiais isolantes de construção (BENMANSOUR et al., 2014). Os resultados obtidos na pesquisa mostram que o compósito B apresenta baixa condutividade e adequada densidade compatível a outros compósitos à base de materiais lignocelulósicos. A condutividade térmica e compressiva, os valores de força diminuem pela diminuição da densidade (e aumento do teor de fibras). É claro que na diminuição da temperatura a condutividade é acompanhada por perda de resistência mecânica para compressão

Marinho et al. (2013) elaboraram compósitos com bambu e resina de poliuretano derivado da mamona e a densidade dos compósitos variaram entre 0,85 g/cm³ e 0,96g/cm³.

Alguns materiais comumente usados como isolantes térmicos, tais como madeira ($0,620 \text{ g/cm}^3$), asbesto ($0,480 \text{ g/cm}^3$), gesso ($0,800 \text{ g/cm}^3$) e compensado ($0,615 \text{ g/cm}^3$), apresentam valores maiores de densidade (INCROPERA; DEWITT, 2008). Por outro lado, alguns apresentam valores menores na sua densidade como a lã de vidro ($0,02 \text{ g/cm}^3$) e espuma de PU ($0,015 \text{ g/cm}^3$) (KREITH, 2008; GALVÃO, 2014). Dessa forma o compósito elaborado é relativamente leve e tem sua densidade dentro da faixa dos materiais considerados isolantes térmicos, facilitando seu uso em aplicações apropriadas.

Baseando-se nos resultados obtidos, para dar seguimento à pesquisa, optou-se em escolher o compósito B, o qual apresenta melhor aproveitamento dos resíduos e também porque esse compósito apresentou melhor resistência à flexão (Tabela 3).

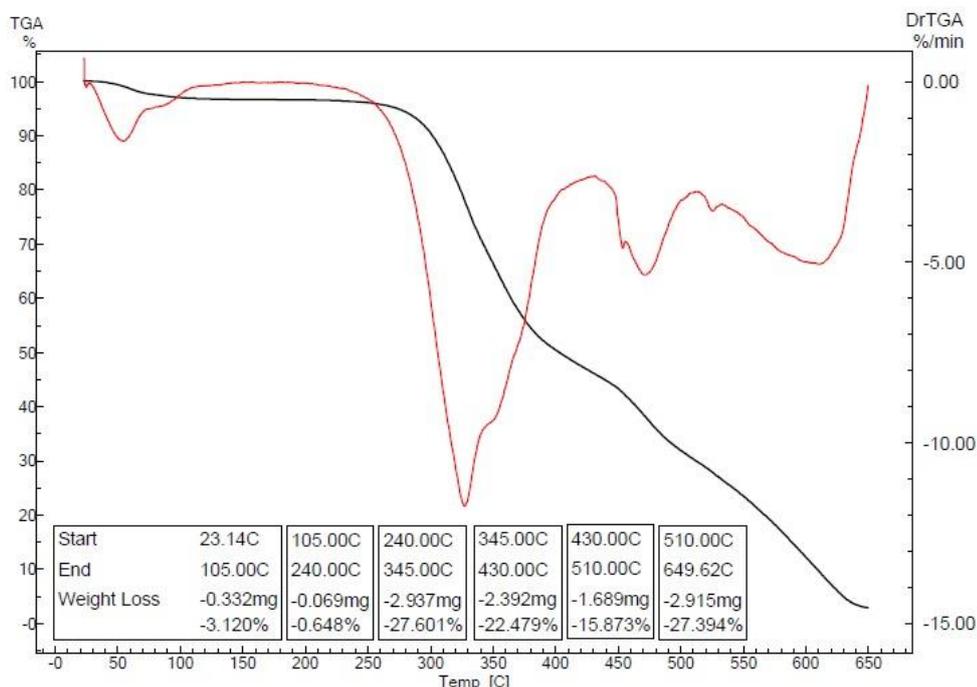
Os resultados obtidos na análise estatística constam no Anexo C.

4.1.3 Análise termogravimétrica (TGA) do compósito

O compósito B foi submetido à análise termogravimétrica conforme, sendo obtidos resultados conforme mostra a Figura 14. A partir desses resultados se pode inferir que o compósito permanece estável até a temperatura de $250 \text{ }^\circ\text{C}$, evidenciando o seu caráter hidrofóbico, quando então começa a perder massa até $350 \text{ }^\circ\text{C}$. Nesta faixa de temperatura, apresenta o rompimento dos segmentos rígidos, quebra das ligações uretânicas e uréicas (AZEVEDO, 2009).

A análise permitiu identificar seis etapas de degradação: a primeira, de $23,14^\circ\text{C}$ a 105°C , com perda de 3,12% de massa; a segunda, no intervalo de 105 a 240°C , com perda de 0,65% de massa; a terceira, no intervalo de 240°C a 345°C , com perda de 27,60% de massa; a quarta no intervalo de 345°C a 430°C , com perda de 22,48% de massa; a quinta, no intervalo de 430°C a 510°C , com perda de 15,87% de massa e o último intervalo entre 510°C a 650°C , com perda de 27,40% de massa. A primeira etapa de degradação foi atribuída à volatilização da umidade residual presente no compósito; a segunda pode ser associada a perda de massa pela evaporação dos extrativos solúveis em água como ceras, ácidos graxos, resinas, óleos essenciais, tanino dentre outros, evento este que atinge uma temperatura em torno de 240°C (MARINHO et al., 2013).

Figura 14 – Representação gráfica mostrando a perda de massa percentual do compósito em função da temperatura



Fonte: Autor.

A terceira etapa de decomposição pode ser atribuída a decomposição da hemicelulose que acontece no intervalo 260°C a 320°C (CHEN; KUO, 2010), em que são perdidos em torno de 27,60% de massa nas partículas de milho. Geralmente os picos de transição entre a decomposição da hemicelulose e celulose são bastante discretos. Nesta fase, a resina PU também começa a sua decomposição (MARINHO et al., 2013). Na faixa de temperaturas entre 345°C a 430°C começa a decomposição da celulose, iniciando-se com as partículas de milho numa temperatura próxima de 345°C e logo em seguida a uma temperatura de 350°C uma perda de massa por volta de 22,50% (MARINHO et al., 2013). Este deslocamento da degradação térmica para maiores valores de temperatura sugerem que durante a polimerização *in situ* da resina houve interação química entre os componentes do milho e o PU. A penúltima fase é caracterizada pela decomposição da lignina a uma temperatura entre 430°C a 510°C (CHEN e KUO, 2010). Neste evento térmico a decomposição da lignina com uma perda de massa em torno de

15,9%, e na etapa final ocorre a carbonização do material restante, com perda de massa de 27,4%.

Diante dos resultados obtidos através da análise termogravimétrica (TGA) ficou evidenciado que o compósito a base de sabugo de milho pode ser usado com o limite de temperatura de 240°C , tendo em vista a não degradação até esse valor de temperatura.

Esse limite de temperatura abrange a maioria das aplicações térmicas em baixa e média temperatura, utilizadas nos âmbitos doméstico, industrial e comercial (YUONG; FREEDMAN, 2008).

4.2 CONFIGURAÇÕES DE PAREDES USANDO O COMPÓSITO

Foram consideradas três seções, denominadas 1, 2 e 3, que correspondem respectivamente a: (1) reboco interno, argamassa de assentamento e reboco externo; (2) reboco interno, reforços transversais do bloco de concreto ou cerâmica e reboco externo; (3) reboco interno, duas laterais do bloco, espaço de ar interno ao bloco e reboco externo.

A condutividade térmica (λ) dos materiais componentes em ambos os casos, são descritas no Quadro 1. No cálculo da resistência térmica total de ambiente a ambiente adotou-se a resistência superficial interna $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ e externa $R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ (ABNT, 2005c).

Quadro 1 – Condutividade térmica (λ) dos materiais usados na simulação

Material	$\lambda \text{ (W/(m}\cdot\text{K))}$
Argamassa comum	1,15
Cerâmica	0,90
Concreto normal	1,75
Gesso acartonado	0,35
Compósito	0,113

Fonte: ABNT, 2005c, p. 13; dados da pesquisa (2018).

Os valores calculados das áreas (A1, A2 e A3) de cada seção, das resistências térmicas de superfície à superfície para cada seção (R1, R2 e R3), das

resistências térmicas da parede e total para cada um dos sistemas, estão representados no Quadro 2.

Quadro 2 – Elementos componentes da resistência térmica total para os dois tipos de parede adotados no estudo, sem e com o uso dos compósitos adotados na pesquisa

SISTEMA AVALIADO	Áreas das seções (m ²)			Resistência térmica de superfície à superfície para cada seção (m ² ·K)/W			Resistência superficial externa e interna (m ² ·K)/W		Resistência térmica da parede (m ² ·K)/W	Resistência térmica total (m ² ·K)/W
	A1	A2	A3	R1	R2	R3	Rse	Rsi	Rt	R _T
Parede de blocos vazados de concreto	0,005	0,005	0,020	0,157	0,115	0,233	0,04	0,13	0,182	0,352
Parede de blocos vazados de concreto – compósito B (0,113 W/mK)	0,005	0,005	0,020	0,236	0,195	0,313	0,04	0,13	0,267	0,437
Parede de blocos vazados de cerâmica	0,005	0,005	0,020	0,157	0,190	0,260	0,04	0,13	0,228	0,398
Parede de blocos vazados de cerâmica – compósito B (0,113 W/mK)	0,005	0,005	0,020	0,236	0,270	0,340	0,04	0,13	0,310	0,480
Parede de concreto maciço Espessura: 5,0 cm	-	-	-	-	-	-	0,04	0,13	0,028	0,198
Parede de concreto maciço Espessura: 5,0 cm com rev. int. 2 cm compósito B (0,113 W/mk) + 1 cm gesso acartonado	-	-	-	-	-	-	0,04	0,13	0,234	0,404
Parede de concreto maciço Espessura: 10,0 cm	-	-	-	-	-	-	0,04	0,13	0,057	0,227
Parede de concreto maciço Espessura: 10,0 cm com rev. int. 2 cm compósito B (0,113 W/mk) + 1 cm gesso acartonado	-	-	-	-	-	-	0,04	0,13	0,262	0,432

Fonte: Autor.

A avaliação dos resultados foi feita comparando-se os valores de transmitância térmica (U) de paredes externas e o fator solar (FS_O) de elementos opacos (parede leve), considerando-se as situações: parede de blocos vazados de

concreto e de cerâmica, rebocadas em ambas as faces com argamassa comum sem e com uma camada de compósito na face interna, e as paredes de concreto maciço com 5 cm e 10 cm de espessura sem e com a camada de compósito e gesso acartonado na face interna, observando os limites estabelecidos para a zona bioclimática 2. No cálculo de FS_o considerou-se acabamento com reboco claro com valor de absorvância à radiação solar $\alpha = 0,40$ (ABNT, 2005c).

Os resultados obtidos foram agrupados no Quadro 3, onde constam os valores resultantes dos cálculos de resistência térmica total (R_T) de ambiente a ambiente, da transmitância térmica (U) e do fator de ganho de calor solar (FS_o), para os diferentes sistemas comparados.

Pode-se observar, no Quadro 3, que ambos sistemas analisados, parede de blocos vazados de concreto, parede de blocos vazados de cerâmica usando reboco externo e interno com argamassa comum, paredes maciças de concreto com 5 cm ou 10 cm de espessura, não atendem à exigência quanto à transmitância térmica, uma vez que essa grandeza extrapola o limite exigido, que, segundo a norma ABNT NBR 15575-2 (ABNT, 2013), para a Zona Bioclimática 2, é $U \leq 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Entretanto os valores correspondentes ao fator solar para as paredes de blocos cerâmicos e de concreto estão dentro dos limites admissíveis, enquanto as de concreto maciço extrapolem os limites. Constata-se também que ao adotar-se em ambos sistemas, uma camada de compósito B, todos os casos atendem o valor mínimo de transmitância térmica de paredes externas para a Zona Bioclimática 2.

Quadro 3 – Valores comparativos entre os dois tipos de parede adotados no estudo, sem e com o uso dos compósitos adotados na pesquisa

(continua)

SISTEMA AVALIADO	R_T ($\text{m}^2 \cdot \text{K}$)/ W	U W / ($\text{m}^2 \cdot \text{K}$)	ATENDIMENTO DO PRÉ-REQUISITO ¹	FS_o (%)	ATENDIMENTO DO PRÉ-REQUISITO ²
Parede de blocos vazados de concreto	0,352	2,844	Não	4,550	Sim
Parede de blocos vazados de concreto – compósito B (0,113 W/m.K)	0,437	2,286	Sim	3,658	Sim
Parede de blocos vazados de cerâmica	0,398	2,511	Não	4,018	Sim

Quadro 3 – Valores comparativos entre os dois tipos de parede adotados no estudo, sem e com o uso dos compósitos adotados na pesquisa

(conclusão)

SISTEMA AVALIADO	R_T ($m^2 \cdot K$)/ W	U W / ($m^2 \cdot K$)	ATENDIMENTO DO PRÉ-REQUISITO ¹	FS _o (%)	ATENDIMENTO DO PRÉ-REQUISITO ²
Parede de blocos vazados de cerâmica – compósito B (0,113 W/m.K)	0,480	2,082	Sim	3,331	Sim
Parede de concreto maciço Espessura total da parede: 5,0 cm	0,198	5,04	Não	8,060	Não
Parede de concreto maciço Espessura total da parede: 5,0 cm + 2cm compósito B (0,113 W/mk) + 1 cm gesso acartonado	0,404	2,475	Sim	3,960	Sim
Parede de concreto maciço Espessura total da parede: 10 cm	0,227	4,405	Não	7,048	Não
Parede de concreto maciço Espessura total da parede: 10 cm + 2 cm compósito B (0,113 W/mk) + 1 cm gesso acartonado	0,432	2,315	Sim	3,70	Sim

Fonte: Autor.

1 – $U \leq 2,5 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$ – valor limite de transmitância térmica de paredes externas para a zona bioclimática 2 (ABNT, 2013a)

2 – $FS_o \leq 5,0 \%$ – valor admissível do fator solar de elementos opacos (parede leve) conforme exigências para a zona bioclimática 2 (ABNT, 2005c)

4.3 COMPARATIVO DO MATERIAL COM MATERIAIS CONVENCIONAIS

O Quadro 4 mostra a comparação do compósito B (à base de sabugo de milho) com outros materiais usados comumente na construção civil.

Considerando as informações do Quadro 4, ao se observar apenas os valores absolutos se pode notar que há vários materiais com melhor capacidade de isolamento térmica que o compósito B (à base de sabugo de milho). Por outro lado, o compósito B se mostra melhor que o compensado e o aglomerado de partículas de madeira.

Portanto, o sabugo de milho poderia ser associado a estes, para melhorar o desempenho térmico do conjunto.

Quadro 4 – Comparação do compósito B com outros isolantes térmicos convencionais disponíveis no mercado

Material	Densidade de massa aparente (ρ) (g/cm ³)	Condutividade térmica (λ) (W/(m.K))
Aglomerado de partículas de madeira	0,650-0,750	0,17
Compensado	0,450-0,550	0,15
Compósito B	0,362	0,113
Lã de rocha	0,020-0,200	0,045
Lã de vidro	0,010-0,100	0,045
Poliestireno expandido moldado	0,015-0,035	0,040
Poliestireno extrudado	0,025-0,040	0,035
Espuma rígida de poliuretano	0,030-0,040	0,030

Fonte: ABNT (2005c) e dados da pesquisa (2018).

Entretanto, além de pensar somente em valores absolutos, também se leva em consideração os aspectos ambientais, dando um uso para um resíduo agrícola, o qual pode se perceber tem valores baixos de condutividade térmica e densidade de massa aparente sendo bastante promissor para uso na construção civil.

Esse resultado vem ao encontro de um estudo de Pinto (2011) feito na região de Trás-os-Montes (Portugal), onde são feitas construções de tabique (técnica portuguesa que usa sabugo de milho como material de enchimento para paredes externas), nesta técnica o sabugo de milho é colocado inteiro intercalado com barro, diferente do proposto neste trabalho (em placas, como isolante). O trabalho mostra que o sabugo de milho é um resíduo agrícola com propriedades térmicas para ser usado em compósito, pois apresenta baixos valores de condutividade térmica.

O sabugo de milho apresentou semelhanças significativas com poliestireno extrudado (XPS) em termos de microestrutura e composição de minerais (PINTO et al., 2011). Resultados obtidos por Rout e Satapathy (2012), que usaram o resíduo casca de arroz, e Rosa et al. (2015), que desenvolveram compósitos com talos de girassol, cascas de arroz, gesso e juta, mostram também que os valores obtidos nos

experimentos usando o resíduo sabugo de milho apresentam resultados superiores na função de isolamento térmico.

A pesquisa transcorreu nos anos de 2017 e 2018, tendo usado um resíduo agrícola, mais especificamente o sabugo de milho obtido na região próxima ao município de São Gabriel, RS, com suas particularidades de solo e clima.

Para os ensaios de condutividade térmica e resistência mecânica, usou-se amostras do compósito em escala reduzida, pois apresentam como vantagens rapidez de execução, baixo custo e simplicidade de equipamentos e os ensaios consagrados permitirem o uso de elementos de dimensões menores.

Neste estudo foram averiguadas as propriedades isolantes do compósito elaborado na combinação com elementos já comumente usados em sistemas de vedações verticais o que não limita sua aplicabilidade em outras situações que podem ser testadas em pesquisas futuras.

Segundo o Comando de Bombeiros Militar do Rio Grande do Sul (CBMRS), para isolantes térmicos e materiais de revestimento, deve ser seguida a Instrução Técnica N°10, de 2018 (IT 10/2018), da polícia militar do Estado de São Paulo. A IT 10/2018 CBPMESP (2018) define, para materiais de revestimento e acabamento, diferentes ensaios para classificar os materiais empregados nos pisos, paredes ou tetos.

O controle de materiais de acabamento e revestimento (CMAR) empregado nas edificações destina-se a estabelecer padrões para o não surgimento de condições propícias do crescimento e da propagação de incêndios, bem como da geração de fumaça. O mesmo deve ser exigido conforme a ocupação da edificação, e em função da posição dos materiais de acabamento.

Para edificações com área menor ou igual a 750 m² e altura menor ou igual a 12 m, o CMAR não é exigido.

Neste estudo sugere-se e simulou-se algumas utilizações para o compósito, em situações onde o CMAR não é exigido. O compósito pode ser pesquisado para algumas condições em que são requeridos o uso de material de isolamento térmico em ambiente hermético como placas coletoras de calor e reservatórios para sistemas de aquecimento solar de água, entre paredes duplas de alvenaria ou entre placas metálicas para confecção de cobertura metálica com isolamento.

De qualquer forma considera-se relevante os ensaios relacionados a seguir:

- ISO 1182 – Ensaio de incombustibilidade (ISO, 2010); e

- NBR 9442 - Materiais de construção - determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante - método de ensaio (ABNT, 1986).

5 CONCLUSÕES

A pesquisa realizada atingiu os objetivos propostos, ou seja, desenvolver um material compósito com características de isolante térmico com base no rejeito agrícola sabugo de milho para uso na construção civil.

O compósito foi desenvolvido com sabugos de milho triturados e resina poliuretana derivada do óleo de mamona na função de aglomerante. Dentre os compósitos elaborados, a formulação denominada B composta de (50% sabugo triturado fino, 25% sabugo triturado grosso e 25% triturado médio) foi a que apresentou melhores características. O material se mostrou tecnicamente viável, pois:

- Os parâmetros térmicos analisados mostram que os compósitos à base de sabugo de milho podem ser usados como isolantes térmicos, pois possuem valores compatíveis com os isolantes térmicos convencionais;
- A boa resistência mecânica do compósito B foi comprovada, configurando-se como um material homogêneo e resistente;
- Apresentou maior resistência mecânica, sendo similar aos dados correspondentes ao gesso, bastante usado na construção civil;
- Com relação à densidade aparente, os compósitos apresentaram valores próximos a de isolantes disponíveis comercialmente, caracterizando-se como um material leve e com resistência adequada para seu necessário manuseio, transporte e uso, conferindo-lhe uma maior área de aplicação;
- A análise termogravimétrica (TGA) mostrou que o compósito B pode ser usado em sistemas quentes que são submetidos à temperaturas de até 240 °C.

Do ponto de vista ambiental, sua avaliação também é positiva, uma vez que foi concebido usando-se um resíduo agrícola que é gerado em grande quantidade, não possui uma destinação adequada e na sua elaboração não gera emissões de gases e efluentes.

O compósito elaborado na pesquisa, mesmo estando em fase de desenvolvimento inicial, mostrou que a utilização de um resíduo agrícola para preparação de material isolante térmico é possível e comercialmente viável, informação importante para que agricultores e empresas que industrializam o

produto, e possam lhe dar uma destinação mais adequada do que descartar ou queimar.

Os relatos expostos nos textos mencionados ao longo da revisão bibliográfica mostram uma infinidade de ensaios realizados, para atender as especificidades de cada uma das várias pesquisas apresentadas, dentre eles, além dos realizados nesta pesquisa, ensaio de resistência ao cisalhamento, compressão e impacto, absorção de umidade e inchamento, envelhecimento, acústica, dureza, adesão a outros materiais, microscopia eletrônica de varredura, inflamabilidade, além de algumas correlações entre algumas dessas variáveis.

Como sugestões para trabalhos futuros, sugere-se:

- Proceder uma avaliação de ciclo de vida (ACV) para o compósito elaborado;
- Para uma melhor caracterização do compósito outras propriedades devem ser avaliadas como ataque de agentes biológicos, absorção de umidade, acústica, ensaios de reação ao fogo, como, durabilidade, ensaio de incombustibilidade, e determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante;
- Avaliar a viabilidade econômica da produção industrial do compósito, para sua exploração comercial;
- Testar amostras variando granulometrias;
- Testar amostras variando a proporção de resina.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 11356: 2016**. Isolantes térmicos à base de fibras minerais — Painéis, mantas e feltros — Determinação das dimensões e da massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13279: 2005**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005a.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15220-1: 2005**. Desempenho térmico de edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005b.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15220-2: 2005**. Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005c.

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

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

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16494: 2017**. Bloco de gesso para vedação vertical — Requisitos. Rio de Janeiro, 2017.

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

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM248: 2003**. Agregados—Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ADAMY, A.; ROSA, F.; ROSA, L. Desempenho térmico de compósitos à base de talos de girassol em componentes de edificações. **Revista Espacios** , v.37 n.15, p.10, 2016.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C518**: Standard Test method for steady state thermal transmission properties by means of the heat flow apparatus. 2017.

ASKELAND, D. R.; WRIGHT, W. J. **Ciência e engenharia dos materiais**. São Paulo: Learnig, 2014. 648 p.

AZEVEDO, E. C. **Efeito da Radiação nas propriedades mecânicas do adesivo de PU derivado do óleo de mamona**. 2009. 110f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica)-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil- Universidade Federal do Paraná, Curitiba 2009.

BARBOSA, T. G. **Cultivares de milho a diferentes populações de plantas e épocas de semeadura em Vitória da Conquista-BA**. 2011. 73f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2011.

BENMANSOUR, N.; AGOUDJIL, B.; GHERABLI, A.; KARECHE, A.; BOUDENNE, A. Thermal and mechanical performance of natural mortar reinforced with date palm fibers for use as insulating materials in building. **Energy and Buildings**, v. 81, p. 98–104, 2014.

BENTO, C. B. P.; CASARIL, K. B. P. B. Bioconversão de resíduos agroindustriais lignocelulósicos por fungos causadores da podridão branca: uma alternativa à produção de alimentos. **Faz Ciência**, v. 14, n. 19, p. 151-180, 2012.

BEZERRA, I. M. T. **Cinza da casca do arroz utilizada em argamassas de assentamento e revestimento**. 2010. 108f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

BEZERRA, L. A. C. **Análise do desempenho térmico de sistema construtivo de concreto com EPS com agregado graúdo**. 2003. 95f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós – Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2003.

BINICI, H.; EKEN, M.; DOLAZ, M.; AKSOGAN, O.; KARA, M. An environmentally friendly thermal insulation material from sunflower stalk, textile waste and stubble fibres. **Constr. Build. Mater**, v.51, p. 24-33, 2014.

CALLISTER, JR., W. D. **Elementos da ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

CANGEMI, J. M.; SANTOS, A. M.; CLARO NETO, S. A Revolução Verde da Mamona. **Química Nova na Escola**, v. 32, n. 1, p. 3-9, 2010.

CAVALHEIRO, E.T.G; IONASHIRO, M.; BREVIGLIERI, T.; MARINO, G.; CHIERICE, O. A influência de fatores experimentais nos resultados de análises termogravimétricas. **Química Nova**, v.3, n.18, p. 305-308, 1995.

CHEN, W. H.; KUO, P. C. A study on torrefaction of various biomass materials and its impact on lignocellulosic structure simulated by a thermogravimetry. **Energy**, v. 35, n. 6, p. 2580-2586, 2010.

CHIKHI, M; AGOUDJIL, B.; BOUDENNE, A.; GHERABLI, A. Experimental investigation of new biocomposite with low cost for thermal insulation. **Energy and Buildings**, v. 66, p. 267-273, 2013.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Compêndio de estudos CONAB: Análise dos custos de produção e rentabilidade da cultura do milho.** Brasília: CONAB, 2016a.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Safras: Séries Históricas de Área Plantada, Produtividade e Produção, Relativas às Safras 1976/77 a 2015/16 de Grãos, 2001 a 2016 de Café, 2005/06 a 2016/17 de Cana-de-Açúcar.** Brasília: CONAB, 2016b.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Instrução Técnica Nº10/2018.** CBPMESP: São Paulo, 2018. Disponível em: <<http://www.cbm.rs.gov.br/upload/arquivos/201807/06104509-it-10-2018.pdf>> Acessado em: 15 novembro 2018.

CRAVO, J.; SARTORI, D.; BALIEIRO, J.; FIORELLI, J. Compósito à base de resíduos agrícolas para aplicação como forro em aviários. **Journal Bioeng.**, v.9 n.4, p.358-367, 2015.

CRUZ, M. P., **Aplicação de resíduo industrial para isolamento térmico: uma proposta para utilização do poliuretano de mamona com agregado de resíduo plástico termofixo.** 2009. 115f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

CRUZ, M. P.; FERREIRA, R. J. P.; MARINHO, G. S. Aplicação de resíduo industrial para isolamento térmico de ambientes. In: XXIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 24, 2009, Salvador. **Anais ...** Salvador: ABEPRO, 2009.

CUNHA, P. W. S. **Estudo sobre as potencialidades de compósitos a base de gesso e fibra de coco seco para a aplicação na construção civil.** 2012. 120f, Tese (Doutorado em Engenharia dos Materiais) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

EIRES, R.; JALALI, S.; CAMÕES, A. Novos compósitos eco-eficientes para aplicações não estruturais na construção. **Revista Internacional Construlink.** v. 8, n. 23, p. 45-55, 2010.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Diagnóstico dos Problemas e Potencialidades da Cadeia Produtiva do Milho no Brasil.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2014. 102 p.

EVON, P.; VANDENBOSSCHE, V.; PONTALIER, P. Y.; RIGAL, L. New thermal insulation fiberboards from cake generated during biorefinery of sunflower whole plant in a twin-screw. **Industrial Crops and Products**, v. 52, p. 354-362, 2014.

FAUSTINO, J; PEREIRA, L.; SOARES, S.; CRUZ, D.; PAIVA, A.; VARUM, H.; FERREIRA, J.; PINTO, J. Impact sound insulation technique using corn cob particleboard. **Construction and Building Materials**, v. 37, p. 153-159, 2012.

FENILLI, R. J. Sistemas termoisolantes: tipos, finalidades e aplicação. **Climatização e Refrigeração**. n. 94, 2008.

FERNANDES, A. **Síntese de Zeólita e Wolastonita a partir de cinza de casca de arroz**. 2006. 98f. Tese (Doutorado em Ciências dos Materiais) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

FERREIRA-LEITÃO, V.; GOTTSCHALK, L. M. F.; FERRARA, M. A.; NEPOMUCENO, A. L.; MOLINARI, H. B. C.; BOM, E. P. S. Biomass residues in Brazil: Availability and potential uses. **Waste Biomass Valorization**. v. 1, n. 1, p. 65-76, 2010.

FINCH, E.O.; BAHIA, F.G.F.T.C.; MANTOVANI, E. C. **Manual técnico: Colheita do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 1983.

FIORELLI, J.; CURTOLO, D. D.; BARRERO, N. G.; SAVASTANO JR., H.; PALLONE, E. M. J. A.; JOHNSON, R. Particulate composite based on coconut fiber and castor oil polyurethane adhesive: an eco-efficient product. **Industrial Crops and Products**. v. 40, p. 69–75, 2012.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. São Paulo: Nobel, 2003. 243 p.

FURTADO, T. S.; VALIN, M.; BRAND, M. A.; BELLOTE, A. F. J. Variáveis do processo de briquetagem e qualidade de briquetes de biomassa florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**. v. 30, n. 62, p. 101-106, 2010.

GALVÃO, A.C.P. **Obtenção e caracterização de um compósito de poliuretano de mamona e pó de vidro para aplicações como isolante térmico**. 2014. 72f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/>>. Acesso em: 11 ago. 2018.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 6 ed. Rio de Janeiro. Editora LTC, 2008.

IPEA. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas**. Brasília: IPEA, 2012.

ISO. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 1182: Reaction to fire tests for products – Non-combustibility test**. Geneve, Switzerland, 2010.

ISO. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 8301**: Thermal insulation -- determination of steady-state thermal resistance and related properties - heat flow meter apparatus. Geneve, Switzerland, 1991.

JOHNSTON, C.D. **Fiber-reinforced cement and concrete**. In: Malhorta, V. M. *Advances in concrete technology* . 2 ed. Ottawa: V.M. Malhorta, p. 603-673, 1994.

KADAM, K. L; MCMILLAN, J. D. Availability of corn stover as a sustainable feedstock for bioethanol production. **Bioresource Technology**. v. 88, n. 1, p. 17-25, 2003.

KHEDARI, B. SUTTISONK, P, PRATINTHONG, J. HIRUNLABH, New light weight composite construction materials with low thermal conductivity, **Cement and Concrete Composites**, v. 23, p.65–70, 2001.

KORJENIC, A.; PETRÁNEK, V.; ZACH, J.; HROUDOVÁ, J. Development and performance evaluation of natural thermal-insulation materials composed of renewable resources. **Energy and Buildings**. v. 43, n. 9, p. 2518-2523, 2011.

KREITH, F. **Princípios de transmissão de calor**. 9 ed. São Paulo. Editora Edgard Blucher, 2008.

LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. **Tratamento de minérios**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. 965 p.

MACEDO, M. C.; SOUZA, L. G. M.; GOMES, I. R. B.; MEDEIROS, L. C. Materiais compósitos a base de gesso e isopor para a construção de casas populares. **Holos**, v.5, p. 95-105, 2011.

MACHADO, A.R; MARTINS, P.F.; FONSECA, E.M; REIS, K.C. Compósitos biodegradáveis a base de polihidroxibutirato-hidroxivalerato (PHB-HV) reforçados com resíduos do beneficiamento do café. **Revista Matéria**. v.15, n.3, p. 400-404, 2010.

MADURWAR, M. V.; RALEGAONKAR, R. V.; MANDAVGANE, S. A. Application of agro-waste for sustainable construction materials: a review. **Construction and Building Materials**, v. 38, p. 872-878, 2013.

MARINHO, N.; NASCIMENTO, E.; NISGOSKI, S.; MAGALHÃES, W.; NETO, S.; AZEVEDO, E. Caracterização Física e Térmica de Compósito de Poliuretano Derivado de Óleo de Mamona Associado com Partículas de Bambu. **Polímeros**, v.23, n. 2, p. 201-205, 2013.

MARTINS, R. A.; MELLO, C. H. P.; TURRIONI, J. B. **Guia para elaboração de monografia e TCC em Engenharia de Produção**. São Paulo: Atlas, 2014. 210p.

MATI-BAOUCHE, N.; DE BAYNAST, H.; LEBERT, A.; SUN, S.; LOPEZ-MINGO, C. J. S.; LECLAIRE, P.; MICHAUD, P. Mechanical, thermal and acoustical characterizations of an insulating bio-based composite made from sunflower stalks particles and chitosan. **Industrial Crops and Products**, v. 58, p. 244-250, 2014.

MENDES, J.U.L. **Desenvolvimento de um compósito biodegradável para isolamento térmico**. 2002. 141f. Tese (Doutorado em Engenharia dos Materiais) - Programa de Pós-doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2002.

MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; GUIMARÃES JUNIOR, J. B.; MORI, F. A.; CÉSAR, A. A. da S. Efeito da incorporação de casca de café nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.34, n.3, p.610-617, 2010.

MISHRA, P.; CHAKRAVERTY, A.; BANERJEE, H. D. Studies on physical and thermal properties of rice husk related to its industrial application. **Journal of Materials Science**, v. 21, p. 2129-2132, 1986.

MOHANTY, A. K.; MISRA, M.; DRZAL, L. T. **Natural fibers, biopolymers, and biocomposites**. London: Taylor & Francis, 2005. 875 p.

MOTHÉ, C.G.; AZEVEDO, A.D. **Análise térmica de materiais**. São Paulo: I Editora, 2002, 300p.

OLIVEIRA, M. L. **Obtenção e caracterização de um compósito de matriz polimérica com carga de resíduos vegetal proveniente do sabugo de milho**. 2015. 66f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

OLIVEIRA, W. L.; XAVIER, A. A. B.; SOUZA, P. M.; CHAVES, R. C. F.; SILVA, L. O. Determinação do coeficiente de condutividade térmica de compósitos constituídos a partir da fibra de coco. CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 6, 2015, Porto Alegre. **Anais ...** Porto Alegre: IBEAS, 2015. Disponível em: <<https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2015/III-067.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2017.

PANYAKAEW, S.; FOTIOS, S. New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 7, p. 1732-1739, 2011.

PINTO, J., PAIVA, A., VARUM, H., COSTA, A., CRUZ, D., PEREIRA, S., FERNANDES, L., TAVARES, P., AGAWAL, J. Corn's cob as a potential ecological thermal insulation material. **Energy and Buildings**, v. 43, p. 1985-1990, 2011.

PINTO, J.; PEREIRA, H.; VILELA, P.; JACINTO, C.; VIEIRA, J.; PAIVA, A.; PEREIRA, S.; FERREIRA, J.; CUNHA, V. M. C. F.; VARUM, H. Camada de regularização com agregado de granulado de caroço da espiga de milho. In: 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS, 4, 2012, Coimbra. **Anais ...** Coimbra: APFAC, 2012.

RAMALHO, H. F. O Crescente uso de poliuretanas derivadas do óleo de mamona no mercado de polímeros. **Revista Virtual de Química**, v. 5, n. 1, p. 117-118, 2013.

RIBAS, R. A. J. **Método para avaliação do desempenho térmico e acústico de edificações aplicado em painéis de fechamento industrializados**. 2013. 156f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)- Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

ROSA, F. S.; SCHERER, M. Desempenho térmico de paredes de alvenaria protegidas com revestimento de compósitos de resíduos agrícolas. **Revista Gestão Industrial**, v.14, n. 2, p. 96-113, 2018.

ROSA, L. C.; SANTOR, C. G.; LOVATO, A.; ROSA, C. S.; GÜTHS, S. Use of rice husk and sunflower stalk as a substitute for glass wool in thermal insulation of solar collector. **Journal of Cleaner Production**, v. 104, p. 90-97, 2015.

ROUT, A. K.; SATAPATHY, A. Computational and experimental investigation on thermal insulation capabilities of rice husk filled epoxy composites. **Computational Thermal Sciences**, v. 4, n. 2, p. 107-114, 2012.

RUIZ, E.; ROMERO, I.; MOYA, M.; CARA, C.; VIDAL, J. D.; CASTRO, E. Dilute sulfuric acid pretreatment of sunflower stalks for sugar production. **Bioresource Technology**, v. 140, p. 292-298, 2013.

SANTOS, M. S. R. **Estudo de pré-tratamento de palha e sabugo de milho visando a produção de etanol 2G**. 2014. 73 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2014.

SCHULTZ, P.; FERREIRA, O. P. Estudo de viabilidade da utilização de poliuretano vegetal como aglomerantes de resíduos para a produção de componentes construtivos. In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 2004, **Anais....**São Paulo, 2004.

SILVA, R. V. **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais**. 2003. 157f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais - Universidade de São Paulo. São Carlos, 2003.

SILVA, S.B. **Propriedades termofísicas de polpa de abacaxi**. 1997. 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

SUN, S.; GRÉDIAC, M.; TOUSSAINT, E.; MATHIAS, J-D.; MATI-BOAUCHE, N. Applying a full-field measurement technique to characterize the mechanical response of a sunflower-based biocomposite. **Experimental Mechanics**, v. 55, p. 917–934, 2015.

TURCO, G. M. S. **Produção e composição física da planta de milho para silagem, cultivado em dois níveis de adubação associado a dois espaçamentos entre linhas e duas densidades de plantio**. 2011. 65f. Dissertação (Mestrado em

Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2011.

UNEP. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Converting waste agricultural biomass into a resource**, 2009. Disponível em: <http://www.unep.or.jp/letc/Publications/spc/WasteAgriculturalBiomassEST_Compendium.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2016.

VENDRUSCULO, M. A. **Estudo do comportamento de materiais compósitos fibrosos para aplicação como reforço de base de fundações superficiais**. 2003. 224f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

VIEIRA, A. C. **Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas para geração de energia**. 2012. 56f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Pós-Graduação em Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

WEI, K.; LV, C.; CHEN, M.; ZHOU, X.; DAI, Z.; SHEN, D. Development and performance evaluation of a new thermal insulation material from rice straw using high frequency hot-pressing. **Energy and Buildings**, v. 87, p. 116-122, 2015.

YOUNG, H. D; FREEDMAN, R. A. **Física IV- Ótica e Física moderna**, 12 ed. São Paulo, Addison Wesley, 2008.

ZIGLIO, B. R; BEZERRA, J. R. M. V.; BRANCO, I. G.; BASTOS, R.; RIGO, M. Elaboração de Pães com Adição de Farinha de Sabugo de Milho. **Ciências Exatas e Naturais**, v. 9, n. 1, p. 115-118, 2007.

**APÊNDICE A – ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS VALORES MEDIDOS DE
CONDUTIVIDADE TÉRMICA E DENSIDADE DE MASSA APARENTE**

Amostra	Condutividade térmica (λ) (W/(m.K))	Média	Desvio padrão
A1	0,1149	0,114767 ^a	0,0005132
A2	0,1152		
A3	0,1142		
B1	0,1120	0,113767 ^a	0,0021779
B2	0,1131		
B3	0,1162		
C1	0,1046	0,107133 ^a	0,0022143
C2	0,1081		
C3	0,1087		

Amostra	Densidade de massa aparente (ρ) (g/cm ³)	Média	Desvio padrão
A1	0,3577	0,368647 ^a	0,0096303
A2	0,3726		
A3	0,3757		
B1	0,3596	0,362631 ^a	0,0049928
B2	0,3684		
B3	0,3599		
C1	0,3365	0,334420 ^a	0,0110050
C2	0,2857		
C3	0,3442		

ANEXO A – FICHA TÉCNICA RESINA USADA COMO AGLOMERANTE

IMPERVEG® AGT 1315

Descrição

IMPERVEG® AGT 1315 é uma resina a base de poliuretano vegetal (originado do óleo de mamona), bi-componente, 100% sólido (isento de solventes) não liberando vapores tóxicos, formulado pela mistura a frio de um pré-polímero (componente A) e um polioliol (componente B), resultando em polímeros com diferentes características, de excepcional estabilidade físico-química, elasticidade, impermeabilidade.

Propriedades

IMPERVEG® AGT 1315 apresenta excelente resistência à ação do intemperismo e águas contendo substâncias agressivas como sais, ácidos e álcalis.

Os compósitos obtidos com esta resina apresentam as seguintes características:

- Alta durabilidade;
- Grande resistência aos raios ultravioleta;
- Estanqueidade a líquidos e gases;
- Excelente penetração nos poros da superfície, garantindo uma boa aderência;
- Não apresenta retração volumétrica após a cura.

Campos de Aplicação

Utilizado como adesivo e aglomerante para formação de compósitos com fibras vegetais, pó de serragem de madeiras, inservíveis e outros.

IMPERVEG® AGT 1315 é fornecido em dois componentes (A + B) que devem ser misturados na proporção de **1:1,5 (uma parte do componente A + uma parte e meia do componente B, em volume respectivamente)**. Após a mistura o tempo de trabalho (pot life) gira em torno de 15 minutos, quando a resina entra no ponto de gel dificultando o manuseio do material, gerando conseqüentemente perdas. É recomendada inicialmente a mistura de pequenas quantidades.

Características

- Consistência: fluida
- Cor após cura: âmbar;
- Resistência ao calor: apresenta perda de massa somente após 210 °C
- Liberação de elementos tóxicos: isento
- Secagem ao Toque: 60 a 90 minutos dependendo da temperatura ambiente
- tempo mínimo de retirada do molde: 6 horas
- Tempo de cura e manuseio: 24 horas

Rendimento

Varia de 10 a 50 % em relação à massa do material a ser utilizado, dependendo das características e resistências mecânicas que se queira dar ao compósito. Vale lembrar que as propriedades mecânicas da peça variam em função da porcentagem a ser utilizada e da carga a ser exercida. Caberá ao interessado a definição da porcentagem e carga para definir as características que pretenda dar ao seu compósito.

Acondicionamento e estocagem do IMPERVEG® AGT 1315

O produto deve ser estocado dentro de sua embalagem original, evitar grandes oscilações de temperatura e conservar as embalagens fechadas, Nestas condições, o produto pode ser conservado por 06 (seis) meses, sem alterações de suas propriedades.

Embalagem - bombonas plásticas de 05, 10 e 20 quilos.

IMPORTANTE

As informações fornecidas nesta literatura objetivam apenas orientar os interessados. Não assumimos, entretanto, qualquer responsabilidade pelo uso incorreto do produto ou dessas informações.

ANEXO B – LAUDO DO CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – UFSC



CB3E
centro brasileiro de eficiência
energética em edificações

Núcleo de Medição:
Depto de Engenharia Mecânica
Universidade Federal de Santa Catarina
88040-900 Florianópolis / SC Brasil
Fone: (48) 3721-7709 Fax: (48) 3721-7615
www.cb3e.ufsc.br



Florianópolis, 16 de janeiro de 2018.

De: Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E)

Para: Fábio Severo da Rosa

Assunto: Relatório ensaios condutividade térmica

Os ensaios de condutividade foram realizados no Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E), Universidade Federal de Santa Catarina, baseado na Norma Técnica ASTM C-518: “*Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus*” e ISO 8301:1991 “*Thermal insulation - Determination of steady-state thermal resistance and related properties - Heat flow meter apparatus*” A Figura 1 mostra um esquema do dispositivo:

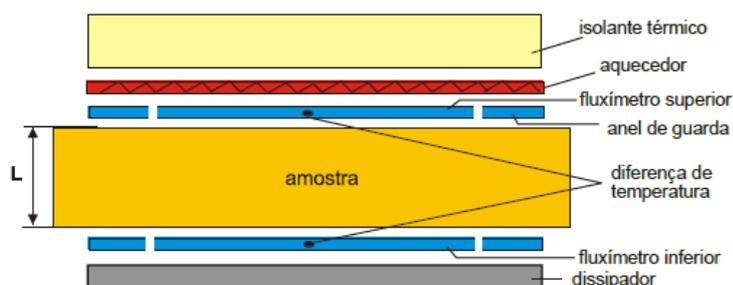


Figura 1 - Princípio do método de medição da resistência térmica

A resistência térmica é determinada a partir da lei de Fourier:

$$R = \frac{T_1 - T_2}{\left(\frac{q}{A}\right)}$$

onde R é a resistência térmica ($\text{m}^2 \text{K/W}$), q é o fluxo de calor médio medido pelos fluxímetros 1 e 2 (W) e T_1 e T_2 as temperaturas médias nas superfícies das amostras.

Considerando que a amostra é homogênea, é possível determinar a **condutividade térmica** do material (λ):

$$\lambda = \frac{L}{R}$$

onde λ é a condutividade térmica (W/m K) e L é a espessura da amostra (m).



CB3E
centro brasileiro de eficiência
energética em edificações

Núcleo de Medição:
Depto de Engenharia Mecânica
Universidade Federal de Santa Catarina
88040-900 Florianópolis / SC Brasil
Fone: (48) 3721-7709 Fax: (48) 3721-7615
www.cb3e.ufsc.br



Ensaio de Condutividade e Resistência Térmica

Data Ensaio: 16/01/2018

Num. Ensaio: 1605

Cliente: Fábio Severo da Rosa

Num. Ensaio	Denominação	espessura amostra (mm)	Condutividade Térmica (W/mK)	Resistência Térmica (m ² K/W)
1	A1	31,837	0,1149	0,2771
2	A2	33,550	0,1152	0,2912
3	A3	31,350	0,1142	0,2745
4	B1	30,025	0,1120	0,2681
5	B2	32,612	0,1131	0,2883
6	B3	30,750	0,1162	0,2646
7	C1	28,583	0,1046	0,2733
8	C2	28,750	0,1081	0,2660
9	C3	30,850	0,1087	0,2838

Temperatura média do Ensaio: 25 °C

Dimensão amostra = 100 x 100 mm

Incerteza estimada: 5 %, intervalo de confiança 95%

OBS: Em cumprimentos às normas da UFSC, não é permitido a utilização para fins de propaganda e comerciais, sob qualquer forma ou meio de difusão.

Prof. Saulo Güths

Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações - CB3E
Universidade Federal de Santa Catarina
88040-900 Florianópolis / SC Brasil
Fone: (48) 3721-7709 R17 e (48) 9907 5575
Email: saulo@lmpt.ufsc.br www.cb3e.ufsc.br