

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

Ana Paula do Amaral Adamy

**COMPÓSITO À BASE DE TALOS DE GIRASSOL: UMA SOLUÇÃO DE  
PRODUÇÃO MAIS LIMPA PARA ISOLAMENTO TÉRMICO**

Santa Maria, RS  
2017

Ana Paula do Amaral Adamy

**COMPÓSITO À BASE DE TALOS DE GIRASSOL: UMA SOLUÇÃO DE  
PRODUÇÃO MAIS LIMPA PARA ISOLAMENTO TÉRMICO**

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

Orientador: Prof. Dr. Leandro Cantorski da Rosa

Santa Maria, RS  
2017

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Adamy, Ana Paula do Amaral

Compósito à base de talos de girassol: uma solução de produção mais limpa para isolamento térmico / Ana Paula do Amaral Adamy.- 2017.

89 f.; 30 cm

Orientador: Leandro Cantorski da Rosa

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, RS, 2017

1. Resíduos agrícolas 2. Talo de girassol 3. Compósito para isolamento térmico 4. Produção mais limpa I. Cantorski da Rosa, Leandro II. Título.

**Ana Paula do Amaral Adamy**

**COMPÓSITO À BASE DE TALOS DE GIRASSOL: UMA SOLUÇÃO DE  
PRODUÇÃO MAIS LIMPA PARA ISOLAMENTO TÉRMICO**

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

**Aprovado em 30 de maio de 2017:**

---

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

---

**Janis Elisa Ruppenthal, Dra. (UFSM)**

---

**Noeli Julia Schüssler de Vasconcellos, Dra. (UNIFRA)**

Santa Maria, RS  
2017

## AGRADECIMENTOS

*Durante este percurso de dois anos em busca de cumprir o desafio de desenvolver um compósito para isolamento térmico a partir de resíduos da cultura de girassol, dentre os muitos aprendizados que fiz, acredito que o maior deles foi de que pesquisa não se faz sozinho. O conhecimento existe para compartilharmos e multiplicarmos.*

*Desta forma, gostaria de deixar aqui registrado meu agradecimento especial à algumas pessoas e instituições que contribuíram de forma fundamental para os resultados deste estudo:*

*- ao meu orientador Professor Leandro, pela dedicação, ensinamentos e apoio em todos os momentos;*

*- à minha família pelo apoio e compreensão, em especial ao meu namorado Flaviano pela ajuda na construção dos moldes, na colheita e processamento dos talos de girassol;*

*- ao Professor Adalberto Lovato da Faculdade de Hoizontina (FAHOR), por disponibilizar alguns talos e os equipamentos para realização do teste de desempenho dinâmico das placas desenvolvidas;*

*- ao Professor Arno Bernardo Heldwein do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFSM, que gentilmente nos cedeu talos de girassol;*

*- à Professora Claudia Severo Rosa do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia dos Alimentos da UFSM, pelas orientações e pela realização do ensaio de umidade;*

*- ao Professor Saulo Güts do Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas da UFSC, pela realização do ensaio de condutividade térmica;*

*- à equipe do Laboratório de Materiais da Construção Civil (LMCC) da UFSM, pela realização dos ensaios de desempenho mecânico e por ceder o espaço para confecção das placas isolantes;*

*- à Empresa IMPERVEG, que doou a resina utilizada na elaboração do compósito;*

*- aos colegas, Fábio e Débora, por me ajudarem na elaboração das placas e na construção de muitos dos conhecimentos apresentados nesse estudo;*

*- As amigas Scheila e Eliane pelo companheirismo, apoio e amizade durante todo esse período;*

*- Ao Sr. Evori Nascimento e Esposa, que gentilmente cederam o triturador para moagem dos talos;*

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

## RESUMO

### COMPÓSITO À BASE DE TALOS DE GIRASSOL: UMA SOLUÇÃO DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA PARA ISOLAMENTO TÉRMICO

AUTORA: Ana Paula do Amaral Adamy  
ORIENTADOR: Leandro Cantorski da Rosa

O aumento no consumo de recursos naturais renováveis instigado pelo crescimento populacional e a demanda por bens e serviços, atrelado às exigências sociais e governamentais para a sustentabilidade, motivam o desenvolvimento de novas soluções industriais que consigam reduzir ou até eliminar o impacto ambiental gerado pelos seus processos produtivos. A pesquisa teve como objetivo elaborar e caracterizar um compósito à base de talos de girassol para uso como material alternativo de isolamento térmico. Usou-se como referência os princípios da produção mais limpa e do *ecodesign*, na intenção de oferecer uma opção ao uso de materiais tradicionalmente empregados para este fim, como lã de vidro e lã de rocha, que além de consumir grande quantidade de energia para sua fabricação, ainda não dispõem de muitas opções de reaproveitamento no fim de sua vida útil. O compósito resultou da mistura do talo de girassol triturado com uma resina poliuretana derivada do óleo de mamona, usada como aglomerante. Foram confeccionadas placas rígidas com o compósito. Os testes indicaram que o material reúne características promissoras para uso como isolante térmico, apresentando uma condutividade térmica de 0,0928 W/mK, resistência à flexão de 5,87 MPa e densidade de 350,59 kg/m<sup>3</sup>. Os resultados do ensaio em uso demonstraram desempenho semelhante ao da lã de vidro, na função de isolante térmico em coletor solar de um sistema de aquecimento de água para uso doméstico. A avaliação ambiental foi positiva, uma vez que na sua produção buscou-se sempre reduzir a geração de resíduos e dos demais recursos. O alto custo da placa comparado ao da lã de vidro se deve principalmente ao preço da resina usada.

**Palavras-chave:** Resíduos agrícolas. Talo de girassol. Compósito isolante térmico.

## ABSTRACT

### COMPOSITE MADE FROM SUNFLOWER STEMS: A CLEANER PRODUCTION SOLUTION FOR THERMAL INSULATION

AUTHOR: Ana Paula do Amaral Adamy

ADVISOR: Leandro Cantorski da Rosa

The increase in consumption of renewable natural sources urged by the population growth and the demand for goods and services, associated with social and governmental demands towards sustainability, motivates the development of new industrial solutions that can diminish or even eradicate environmental impact created by their production processes. This research has as its goal to elaborate and distinguish a composite made from sunflower stems in order to use it as alternative material for thermal insulation. Cleaner production principles and ecodesign were used as reference, aiming to offer an option to traditionally used materials to this purpose, such as glass wool and stone wool that in addition to consuming a great quantity of energy on their manufacture, still lack on options to reclaim their useful life. The composite was a result from the mix of triturated sunflower stems with a polyurethane resin made from castor bean, used as binder. Rigid boards were manufactured with the composite. The tests indicated that the material gathers promising characteristics for its use as a thermal insulator, presenting a thermal conductivity of 0,0928 W/mK, flexural strength of 5,87 MPa and density of 350,59 kg/m<sup>3</sup>. In use test results exhibit a similar performance to the glass wool, used as thermal insulation on a solar collector of a water heating system for household consumption. The environmental evaluation was positive, since while on its production the goal has always been the diminishment of residues as well as the other resources. The high cost of the board compared to the glass wool one is mainly due to the high price of the resin used.

**Keywords:** Agricultural waste. Sunflower stems. Thermal insulation composite.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Abordagem do processo de gestão ambiental para a geração de poluentes através dos princípios da PML.....	20
Figura 2 – Práticas ambientais operacionais.....	23
Figura 3 – Características básicas de uma planta de girassol.....	28
Figura 4 – Representação esquemática da duração das principais fases de desenvolvimento do girassol, com as respectivas durações e exigências térmicas e hídricas.....	30
Figura 5 – Acúmulo de matéria seca nos diferentes órgãos da planta de girassol.....	31
Figura 6 – Estrutura de um talo de girassol.....	31
Figura 7 – Micrografias da seção transversal da estrutura do núcleo do talo de girassol.....	32
Figura 8 – Principais propriedades físicas e químicas de talos de girassol.....	33
Figura 9 – Classificação dos materiais isolantes mais utilizados.....	39
Figura 10 – Processo de seleção de um isolamento.....	40
Figura 11 – Etapas da pesquisa.....	48
Figura 12 – Processo de fabricação do compósito de talos de girassol desenvolvido na pesquisa.....	50
Figura 13 – Princípio do método de medição da resistência térmica usado na avaliação da condutividade térmica do compósito.....	52
Figura 14 – Representação do método de ensaio de flexão em três pontos usado na determinação da resistência mecânica das amostras.....	53
Figura 15 – Equipamento utilizado para realização do ensaio de resistência à flexão das amostras.....	54
Figura 16 – Processo de instalação das placas isolantes no coletor solar.....	56
Figura 17 – Coletores solares usados na avaliação do desempenho em uso do compósito.....	56
Figura 18 – Sistema de aquecimento solar térmico utilizado para o ensaio.....	57
Figura 19 – Amostras elaboradas para determinação da condutividade térmica usando três tamanhos de partículas de talos de girassol.....	61
Figura 20 – Aparência do compósito desenvolvido.....	63
Figura 21 – Momento do teste de flexão e seção transversal das três amostras após fratura no teste.....	65
Figura 22 – Vista em detalhes dos recortes na placa isolante para adaptação no coletor solar.....	66
Figura 23 – Comportamento das temperaturas da água durante os ciclos de aquecimento A e B observado nos coletores C1 e C2.....	70
Figura 24 – Temperaturas da água ao fim de um dia de coleta observadas nos coletores C1 e C2.....	71
Figura 25 – Temperaturas máximas dos ciclos de aquecimento observadas nos coletores C1 e C2.....	72
Figura 26 – Temperaturas mínimas dos ciclos de aquecimento observadas nos coletores C1 e C2.....	72
Figura 27 – Fluxograma qualitativo do processo produtivo do compósito e das placas isolantes.....	76

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Análise estatística descritiva do conjunto de observações.....	69
---	----

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Vantagens e desvantagens das fibras naturais.....	42
Quadro 2 – Compósitos isolantes com talo de girassol.....	43
Quadro 3 – Materiais utilizados como aglomerantes em compósitos com fibras vegetais.....	45
Quadro 4 – Representação do método utilizado para confecção dos corpos de prova.....	51
Quadro 5 – Valores de condutividade térmica das amostras elaboradas em três tamanhos de partículas de talos de girassol.....	61
Quadro 6 – Resistência térmica das amostras elaboradas usando partículas de talos de girassol em tamanhos A, B e C.....	62
Quadro 7 – Resultados do ensaio de flexão em três pontos em triplicata.....	64
Quadro 8 – Valores da densidade de massa aparente avaliadas em triplicata.....	67
Quadro 9 – Valores de condutividade e densidade de diversos materiais usados como isolamento térmico.....	67
Quadro 10 – Custo de fabricação de uma placa isolante elaborada com o compósito desenvolvido na pesquisa.....	74

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PML	Produção mais limpa
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
UNEP	<i>United Nations Environmental Program</i>
UNIDO	<i>United Nations Industrial Development Organization</i>
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
ACV	Análise de ciclo de vida
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
FAOSTAT	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
λ	Condutividade térmica
W/m <sup>2</sup>	Watt/metro quadrado
K	Kelvin
C	Celsius
kg	Quilograma
g	Gramma
ml	Mililitro
mm	Milímetro
kPa	KiloPascal
kgf	Quilograma-força
ha	Hectare
cm	Centímetro
PVC	Cloreto de polivinila
PC	Policarbonato
PS	Poliestireno
PE	Polietileno
PVA	Acetato de polivinila
ANOVA	Análise de variância
CB3E	Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações
LMCC	Laboratório de Materiais de Construção Civil
C1	Coletor isolado com lã de vidro
C2	Coletor isolado com as placas confeccionadas com o compósito
EURIMA	<i>European Insulation Manufacturers Association</i>
PU	Poliuretano
MDF	<i>Medium-Density Fiberboard</i>
MOR	Módulo de Ruptura
N	Newton
MPa	MegaPascal
kWh	QuiloWatt-hora
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
m <sup>3</sup>	Metro cúbico

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	15
1.2 OBJETIVOS.....	16
<b>1.2.1 Objetivo geral.....</b>	<b>16</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>17</b>
1.3 LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	17
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>18</b>
2.1 PRODUÇÃO MAIS LIMPA.....	18
2.2 ECODESIGN.....	21
2.3 RESÍDUOS AGRÍCOLAS.....	25
<b>2.3.1 Girassol.....</b>	<b>27</b>
2.4 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS.....	35
2.5 ISOLAMENTO TÉRMICO .....	37
<b>2.5.1 Compósitos para isolamento térmico.....</b>	<b>41</b>
2.6 AGLOMERANTES.....	44
<b>2.6.1 Resina poliuretana derivada do óleo de mamona.....</b>	<b>46</b>
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>48</b>
3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	48
3.2 ETAPA 1 - ELABORAÇÃO DO COMPÓSITO.....	49
3.3 ETAPA 2 - ENSAIOS.....	50
<b>3.3.1 Ensaio de condutividade térmica.....</b>	<b>51</b>
<i>3.3.1.1 Análise estatística.....</i>	<i>53</i>
<b>3.3.2 Ensaio de resistência mecânica.....</b>	<b>53</b>
<b>3.3.3 Ensaio de densidade de massa aparente.....</b>	<b>54</b>
3.4 ETAPA 3 - ANÁLISE COMPARATIVA.....	55
<b>3.4.1 Instalação das placas isolantes desenvolvidas no coletor solar.....</b>	<b>55</b>
<b>3.4.2 Ciclos de medição.....</b>	<b>57</b>
<b>3.4.3 Análise dos dados.....</b>	<b>58</b>
<b>4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>60</b>
4.1 AVALIAÇÃO TÉCNICA.....	60
<b>4.1.1 Propriedades térmicas.....</b>	<b>60</b>
<b>4.1.2 Propriedades mecânicas.....</b>	<b>63</b>

<b>4.1.3 Propriedades físicas.....</b>	<b>60</b>
<b>4.1.4 Desempenho do compósito em uso.....</b>	<b>68</b>
4.2 AVALIAÇÃO ECONÔMICA.....	73
4.3 AVALIAÇÃO AMBIENTAL.....	75
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>78</b>
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	79
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>80</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>89</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A necessidade da adoção de métodos ou estratégias de aperfeiçoamento contínuo para questões voltadas à qualidade e eficiência de produtos e processos, a fim de reduzir desperdícios de recursos e consumo de materiais, é um assunto cada vez mais emergente na sociedade, tendo em vista o fato de consumidores, fornecedores, governos e mercado em geral estarem mais exigentes com a comunidade empresarial no que diz respeito à responsabilidade ambiental (BUCCELLI; NETO, 2014).

Essas demandas, são reflexos das transformações nos padrões de consumo da sociedade, que vêm ocasionando uma inversão de valores, onde criam-se necessidades ilimitadas, que essencialmente dependem de recursos naturais limitados (AMATO NETO, 2011). Assim, é importante adotar metodologias como a produção mais limpa (PML), que auxilia as empresas e indústrias a repensar e remodelar seus processos de produção a fim de otimizar a utilização dos recursos e evitar ou reduzir a geração de resíduos prejudiciais ao meio ambiente.

Através da PML é possível identificar possíveis soluções para os problemas ambientais, principalmente no que se refere a resíduos de processos de produção, sendo uma delas a utilização desses resíduos para criação de novos produtos e tecnologias, que poderão ser utilizados internamente na empresa ou comercializados no mercado externo.

Existem sistemas produtivos em que, embora haja uma grande quantidade de resíduos, os mesmos apresentam condições potenciais de reutilização, como é o caso do setor agrícola. Pedrosa et al. (2013) afirmam, que o setor é um dos grandes colaboradores para o crescimento econômico do país ao mesmo tempo que contribui constantemente para a geração de grandes quantidades de resíduos, que manejados inadequadamente podem contaminar o solo, o ar e corpos hídricos, criando sérios problemas ambientais. Mesmo assim, afirmam que esses resíduos possuem valor econômico agregado, podendo ser tratados e aproveitados para diversas finalidades.

Há algum tempo, muitas pesquisas têm se dedicado a utilizar materiais de resíduos agrícolas, principalmente as fibras, como matéria-prima para a fabricação de compósitos, com a intenção de promover o desenvolvimento socioeconômico, através da redução de impactos ambientais (BEKTAS et al., 2005). Algumas destas pesquisas estão voltadas para a elaboração de compósitos para isolamento térmico, tendo em vista o crescimento da demanda e do custo por energia, assim como o esgotamento de suas fontes (BINICI et al., 2014).

Reddy e Yang (2005) afirmam que as fibras de base agrícola representam a alternativa mais promissora para fibras naturais, pois sua disponibilidade e economia de utilização superam

suas limitações, em comparação ao desenvolvimento de fibras provenientes de fontes não naturais. Nesse contexto, destaca-se o potencial de utilização do talo de girassol, caracterizado como um tipo de resíduo agrícola que é queimado nas lavouras após a colheita, para mantê-la limpa e evitar a propagação de doenças vegetais (RUIZ et al., 2013).

Em estudos anteriores, como de Marechal e Rigal (1999), estimou-se que são produzidos de três a sete toneladas de resíduos por hectare (ha) nas lavouras de girassol. Foram produzidas 41.335.165 toneladas de grãos de girassol em todo o mundo em 2014, que renderam 1.669,3 kg/ha de área colhida no período segundo a *Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division* (FAOSTAT, 2014). Já no Brasil, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a quantidade produzida foi de 154.159 toneladas, referentes a 111.761 ha de área plantada (IBGE, 2015). Esses dados demonstram, que há uma grande fonte de recursos à ser explorado.

Inclusive, já existem estudos que comprovam que o resíduo proveniente do talo do girassol apresenta potencial de aplicação para diversas finalidades, como por exemplo, para uso como aglomerados na indústria de móveis, fabricação de biocompósitos e até mesmo como matéria-prima para produção de bioetanol (BEKTAS et al., 2005, MATI-BAOUCHE et al., 2014a; RUIZ et al., 2013).

Considerando tais aspectos e a possibilidade de agregar valor a um material até então inexplorado pela indústria, o estudo, com o auxílio da PML, investigou a possibilidade de utilização de resíduos agrícolas no desenvolvimento de um compósito natural com propriedades suficientes para ser utilizado como isolante térmico, utilizando como principal matéria-prima o talo de girassol, no intuito de disponibilizar uma alternativa com potencial técnico e econômico para o mercado.

A pesquisa foi desenvolvida sob a abordagem da PML voltada para o aproveitamento de resíduos agrícolas, apoiada pelos princípios do *ecodesign* para o desenvolvimento de produtos. Dentre as ações da PML, procura-se modificar o produto a fim de reduzir a geração de resíduos prejudiciais ao meio ambiente, assim como nos preceitos do *ecodesign*, buscam-se desenvolver produtos que possuam também atributos ambientais, relacionados à redução dos impactos ambientais causados pelo mesmo ao longo de seu ciclo de vida.

Chou (2014), afirma que para resolver problemas através da metodologia da PML, são necessários esforços que vão além da prevenção da poluição e minimização de resíduos, como os de cunho tecnológico, que envolvem as questões relacionadas ao *design* do produto. Sob estas condições, foi desenvolvido um compósito utilizando materiais provenientes de fontes naturais com propriedades eficientes para utilização como isolante térmico.

Para tanto este cenário traz a problemática: O compósito elaborado à base de talos de girassol apresenta desempenho adequado para uso como isolante térmico?

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A maioria das atividades humanas gera algum tipo de impacto sobre o meio ambiente, e minimizá-los tornou-se uma tarefa comum à toda sociedade (DIAS, 2014). Ho et al. (2012) acrescentam que, o aumento recente dos preços dos produtos à base de petróleo, as normas governamentais rigorosas e a adoção de produtos verdes, têm impulsionado o crescimento do desenvolvimento de materiais com o uso de recursos naturais, como os compósitos de fibras naturais, que são potenciais substitutos à fibra de vidro e outras fibras de polímero sintético, em diversas aplicações.

Em relação às fibras sintéticas convencionais, essas fibras naturais oferecem algumas vantagens como, baixo custo, baixa densidade e biodegradabilidade. Contudo, suas propriedades mecânicas são geralmente inferiores (SUN et al., 2013). Além da atividade industrial de plantio e colheita exclusivamente dedicado à produção de fibras, os autores salientam que outra fonte potencial de fornecimento de fibra natural são os subprodutos agrícolas (resíduos), que vêm tornando-se uma alternativa eficaz contra a elevada demanda e o ainda baixo, fornecimento de fibra natural.

Pesquisas recentes como a de Mathias et al. (2015) chamam atenção para as potencialidades do uso de talos de girassol para aplicação em biocompósitos, já que o mesmo ainda é um resíduo agrícola não valorizado e pouco explorado, mas que se configura como uma matéria-prima promissora para uma variedade de aplicações, principalmente devido às suas propriedades térmicas e mecânicas, e seu reduzido impacto ambiental.

Na perspectiva dos autores, ainda são necessários estudos detalhados para identificar o comportamento das propriedades do talo, casca e medula, sob a influência de diferentes tratamentos ou processos industriais, dado que, diante do mercado de fibras naturais, apresenta as vantagens de grandes estoques, preço baixo e habilidade da cultura em todo o mundo.

Consoante a esta ideia, Mati-Baouche et al. (2014a) afirmam que um dos grandes desafios da indústria para os próximos anos, é o de melhorar o desempenho energético das construções novas e antigas, tendo em vista a crescente ênfase social sobre questões do ambiente, eliminação de resíduos, e o esgotamento dos recursos não-renováveis.

Ademais, é preciso atentar ao fato de que o consumo de energia elétrica no setor residencial no Brasil, deverá aumentar 110%, considerando o período de 2005-2020, fazendo-

se necessária a criação de políticas sólidas de eficiência e conservação de energia no setor residencial, uma vez que o aumento do número de domicílios e aquisição de equipamentos, que em 2005 basicamente não existiam nos lares brasileiros, seriam os principais responsáveis por este aumento no consumo (ANDRADE; PINHEIRO, 2014).

Dessa forma, o desenvolvimento de materiais isolantes de base biológica elaborados a partir de subprodutos da agricultura, além de serem uma alternativa interessante aos obtidos a partir de carbono fóssil e auxiliarem na diminuição do consumo de energia, caracterizam-se como uma solução viável para o problema da poluição e conservação dos recursos naturais (MADURWAR; RALEGAONKAR; MANDAVGANE, 2013).

Em complemento às considerações aqui expostas para justificar o desenvolvimento da presente pesquisa, tem-se o fato de que, em comparação a outros resíduos, como a casca de arroz, as potencialidades de utilização do talo de girassol ainda são pouco exploradas pela comunidade científica. Ao realizar buscas nos bancos de dados científicos nacionais e internacionais, são identificados poucos estudos que demonstram as propriedades do talo de girassol para uso como isolante térmico.

Foram encontrados seis artigos, que apresentam resultados de experimentos feitos a partir do desenvolvimento de compósitos isolantes, tendo como base o talo de girassol, que demonstraram bom desempenho em comparação aos isolantes convencionais (BINICI et al., 2014; EVON et al., 2014; KOCAMAN; SISMAN; GEZER, 2011; MATI-BOAUCHE et al., 2014a; SUN et al., 2015; ROSA et al., 2015). Mas, ainda são necessários estudos, afim de identificar novas composições e tratamentos para o talo de girassol, que melhorem seu desempenho térmico e favoreçam o seu desenvolvimento em escala industrial.

## 1.2 OBJETIVOS

Nesta seção apresenta-se o objetivo geral e os específicos, a fim de que se possa responder o problema da pesquisa.

### 1.2.1 Objetivo geral

Elaborar e caracterizar um compósito à base de talos de girassol para uso como material alternativo de isolamento térmico.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Desenvolver um compósito à base de talos de girassol e caracterizá-lo quanto às suas condições específicas: condutividade térmica, densidade de massa aparente e resistência à flexão;
- Apresentar a viabilidade técnica, econômica e ambiental do compósito desenvolvido.

### 1.3 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

O compósito desenvolvido foi avaliado quanto ao seu desempenho em uso no isolamento de coletor solar devido a disponibilidade de equipamentos e estrutura, o que não impede ou diminui sua aplicabilidade em outras condições de uso, como por exemplo, em sistemas de vedações verticais.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A demanda por novos materiais ecológicos com base em fontes naturais e renováveis está crescendo de forma rápida, configurando-se como uma solução para substituir o uso de componentes altamente poluentes ao meio ambiente na produção industrial (KORJENIC et al., 2011). Desta forma, ao longo do capítulo serão abordados temas como PML e resíduos agrícolas, que irão auxiliar no desenvolvimento do presente estudo.

### 2.1 PRODUÇÃO MAIS LIMPA

O conceito de produção mais limpa surgiu em 1989 através do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, PNUMA (em inglês, *United Nations Environmental Program – UNEP*), no intuito de estabelecer uma estratégia ambiental preventiva e integral para a produção de bens e serviços que reduzisse os riscos para o ser humano e o meio ambiente (DIAS, 2011). Conforme o autor, o programa atua com base na difusão da informação e na capacitação, e para isso tem como órgãos de apoio os Centros Nacionais para a Produção Mais Limpa, que atuam em parceria com a Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (*United Nations Industrial Development Organization, UNIDO*).

A PML surgiu como uma alternativa às exigências das legislações ambientais vigentes na época e aos elevados custos com tratamento de resíduos, efluentes e emissões gerados pelas indústrias em países desenvolvidos, indicando formas de adequação para a indústria através da difusão dos conceitos de prevenção de poluição e minimização de resíduos (SCHWANKE, 2013).

Conforme definição do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI, 2003), a PML trata-se da aplicação contínua de uma estratégia técnica, econômica e ambiental integrada aos processos, produtos e serviços, com o objetivo de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, pela não geração, minimização ou reciclagem de resíduos e emissões, com benefícios ambientais, de saúde ocupacional e econômicos.

Na concepção de Giannetti e Almeida (2006) a PML deve ser utilizada ao longo de todo o ciclo de vida de um produto, a fim de ampliar seu horizonte de ação. Os autores propõem que a metodologia deve ser aplicada em quatro etapas: (1) substituir matérias-primas, considerando o significado ambiental da utilização de materiais não-renováveis; (2) observar a necessidade de melhorar o processo de produção, definir a real necessidade de insumos e estabelecer a viabilidade de reutilização ou reciclagem de subprodutos; (3) verificar as implicações

ambientais das embalagens e distribuição dos produtos; (4) considerar o produto como um intermediário em seu estágio final, a fim de que seja reutilizado ou reciclado ao fim de sua vida útil.

Em seus estudos, Amato Neto (2011) destaca que a metodologia aposta em uma mudança radical nos padrões de produção industrial, no momento que considera a trajetória de vida do produto desde a fase de sua concepção até o seu descarte pós-consumo, o chamado princípio de tratamento do produto do “berço ao berço”. Nesse sentido, o autor ressalta que a adoção da PML precisa envolver todos os níveis organizacionais e estender-se aos consumidores e a outros segmentos industriais.

Mediante o exposto, na Figura 01 é possível observar a dinâmica de atuação da PML, assim como seus níveis de aplicação, proposta por Seiffert (2011), em que o principal desafio é encontrar medidas de intervenção que possam reduzir ou eliminar o resíduo na fonte (nível 1). Conforme o autor, o processo de reaproveitamento de resíduos pode abranger ações como reciclagem, reutilização e recuperação e deve preferencialmente ser realizado internamente na empresa (nível 2) ou externamente (nível 3), e se caso, após essas intervenções, a geração de resíduos não seja evitada, é necessário desenvolver meios de reintegrá-los ao processo de produção ou negociá-los com outras empresas para que voltem a ser tratados como insumos em outros processos.

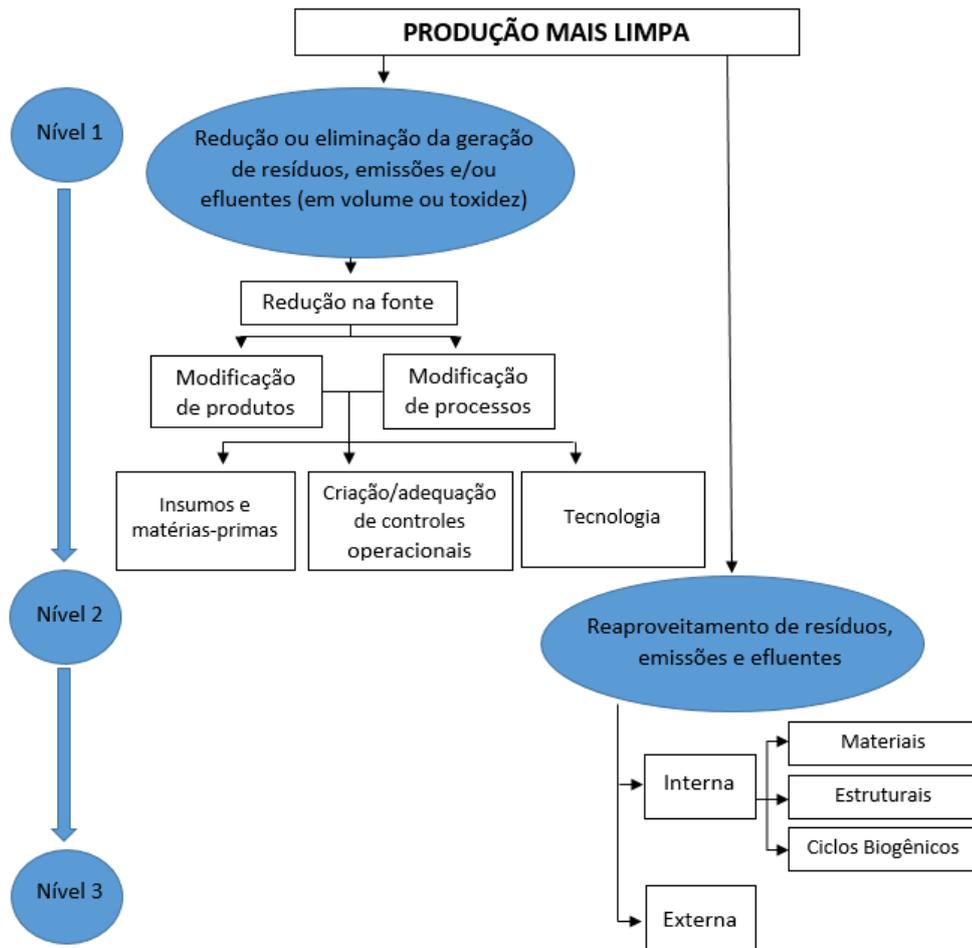
Na perspectiva de Schwanke (2013), as ações propostas pela abordagem da PML, podem ser consideradas oportunidades de prevenção que podem auferir muitos benefícios à empresa. Conforme a autora, as ações destinadas a reciclagem interna, que envolvem o reaproveitamento de resíduos sólidos, líquidos e gasosos do próprio processo produtivo no qual foram gerados, são um bom exemplo, pois ao mesmo tempo que esses resíduos podem ser reutilizados e reciclados, também há a possibilidade de transformá-los em outros produtos ou subprodutos.

Žarković, Rajaković-Ognjanović e Rajaković (2011) verificaram que por meio da aplicação de medidas de PML, seria possível resolver problemas com consumo de água e de fibra, geração de águas residuais e recirculação de lamas, em uma indústria de papel e celulose. Com as medidas propostas, o consumo de água seria reduzido em 50% e o consumo de fibra teria um aumento de 25%. Os autores comprovaram que um investimento total em PML de oitocentos e sessenta e cinco mil euros proporcionaria uma economia total de cerca de três milhões de euros em nove meses para a empresa.

Giannetti et al. (2008), também conseguiram resultados satisfatórios com a aplicação da PML em uma indústria de joias. O artigo destaca que as intervenções, resultaram

principalmente, em uma redução de 86% no volume de solução desengordurante e 36% no consumo de energia elétrica. Mas também, a PML atuou na empresa, no intuito de reaproveitar os resíduos metálicos e plásticos do processo e reduzir o consumo de água em 36%.

Figura 1 – Abordagem do processo de gestão ambiental para a geração de poluentes através dos princípios da PML



Fonte: Seiffert (2011, p. 70).

Mizsey e Racz (2010) avaliaram a utilização da biomassa como uma das grandes alternativas de PML. Conforme o estudo, a utilização da energia renovável da biomassa com a biotecnologia tem um alto potencial na economia de recursos naturais fósseis. As formas de utilização direta da biomassa, para produção de calor ou eletricidade, mostram muito maior potencial, tendo em vista que a energia fóssil é substituída mais do que no caso da produção de biocombustíveis, podendo variar de 1 a 100 o número de combustíveis fósseis substituídos pelas tecnologias diretas e indiretas de uso da biomassa.

No estudo feito por Mendoza et al. (2014), a PML auxiliou a melhorar aspectos relativos à produção de lajes de granito, dado que, o processo produtivo, que envolve o corte da pedra, além de demandar uma alta quantidade de energia e água, ainda gera um tipo de serragem, que misturada com água ao longo do processo, acaba virando uma lama. As soluções encontradas foram capazes de reduzir de 35 a 80% o impacto ambiental do produto. Dentre elas, destacaram-se a mudança no método de corte da pedra, a utilização de água da chuva e o aproveitamento da serragem como subproduto para a indústria cerâmica.

As medidas de PML vão além da modificação do processo produtivo. Muitas vezes estão presentes desde a concepção do produto, auxiliando *designers* e projetistas a desenvolverem produtos que não agridam o meio ambiente durante todo seu ciclo de vida. Atuando desta forma, a abordagem da PML age em conformidade com os princípios do *ecodesign* para o desenvolvimento de produtos, que visam evitar/reduzir a utilização de materiais prejudiciais ao meio ambiente, a geração de resíduos, o consumo de energia e água, entre outros.

## 2.2 ECODESIGN

Durante as últimas duas décadas, o *design* e o desenvolvimento de produtos e processos têm sido cada vez mais responsáveis por questões ambientais, como utilização de recursos naturais e geração de resíduos, em virtude do fato de a maioria dos impactos ambientais relacionados com os produtos serem determinados durante a fase de concepção do mesmo (CHOU, 2014). No entanto, o autor destaca, que as abordagens normalmente utilizadas pela indústria, atuam principalmente na prevenção da poluição e na gestão de resíduos, no intuito de evitar ou minimizar os efeitos ambientais potenciais, e acabam por não considerar o *design* dos produtos.

Atualmente, os produtos são substituídos por novos projetos em um ritmo muito acelerado e cada vez mais as empresas exigem que seus fornecedores disponibilizem produtos de baixo impacto ambiental (KUO et al., 2016). Posto isso, os autores salientam, que os fornecedores precisam avaliar os impactos ambientais de seus produtos na fase inicial do projeto, a fim de que consigam atender às necessidades de seus clientes, fato esse, que justifica o desenvolvimento de novos processos de concepção ecológica, que possam avaliar rapidamente os impactos ambientais de um novo *design*.

Em sintonia com a metodologia da PML o *ecodesign* surge como uma nova forma de pensar o desenvolvimento do produto, que leva em consideração alguns aspectos como: não

causar danos ao meio ambiente, evitar o uso de materiais tóxicos, reduzir o uso de energia e de materiais, incluindo embalagens, usar materiais reciclados e aumentar a vida útil e capacidade de remanufatura do produto (ALVES; FREITAS, 2015).

O *ecodesign* surgiu na década de 1990 com a intenção de mudar conceitos de produtos provenientes da produção e consumo em massa para a produção sustentável, tendo como objetivo reduzir os impactos ambientais ao longo do ciclo de vida do produto através da melhoria da concepção do produto (CHOU, 2014). Para sua implementação, o autor ressalta, que é fundamental um processo de resolução de problemas complexos para fornecer produtos com descrições de estruturas físicas que desempenham funções especificadas com as considerações de razoabilidade econômica, compatibilidade social e necessidade ecológica.

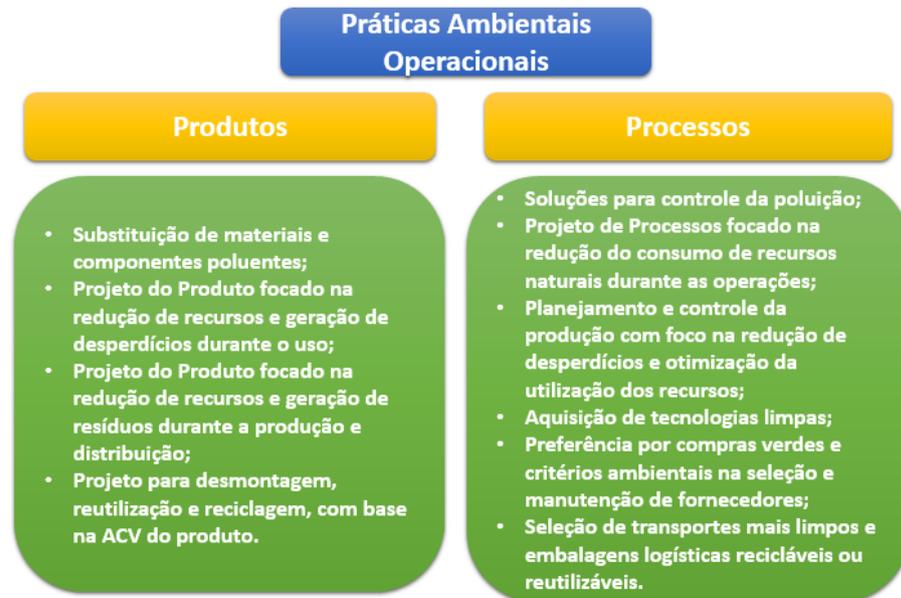
Na concepção de Pigosso, Rozenfeld e McAloone (2013), a intenção principal do *ecodesign* é minimizar os impactos ambientais ao longo do ciclo de vida do produto, sem comprometer outros critérios essenciais, tais como desempenho e custo, contudo, apesar da existência de várias ferramentas e técnicas para a concepção dos produtos, a aplicação efetiva do *ecodesign* não atingiu as empresas em todo o mundo, principalmente devido às dificuldades na implementação e gestão de concepção ecológica.

Um dos instrumentos mais utilizados pelo *ecodesign* é a Análise do Ciclo de Vida (ACV), pois ela permite a comparação entre perfis ecológicos de produtos ou a identificação de potenciais impactos a partir da realização de um inventário, no qual são avaliados, quantitativamente, todos os materiais e processos que intervêm ao longo do ciclo de vida de determinado produto (BRAGA, 2014). Segundo o autor, o *ecodesign* passou a ser considerado uma ferramenta que pode reforçar a competitividade das empresas, melhorar os indicadores ambientais, sociais e econômicos, além de estimular sistemas de produção eficientes. Contudo iniciativas de difusão, promoção e fomento à metodologia ainda são tímidas, como pode ser percebido nas dificuldades encontradas por profissionais e empresas de pequeno e médio porte para compreender e aplicar tanto as normas ISO 14000 – que definem requisitos gerais para a condução de ACV, quanto às demais ferramentas de *ecodesign*.

A Figura 2 ilustra algumas das ações propostas por Jabbour e Jabbour (2013), para adequar o desenvolvimento de produtos e os processos operacionais às exigências ambientais emergentes. As ações envolvem práticas relacionadas ao projeto do produto e ao processo produtivo, tendo em vista a necessidade advinda com a adoção de práticas ambientais operacionais. As medidas propostas envolvem aspectos que buscam integrar produtos e processos com a abordagem da gestão ambiental e da sustentabilidade, de maneira a evitar

desperdícios e transtornos ao meio ambiente antes mesmo do produto ser fabricado, conforme a proposta do *ecodesign*.

Figura 2 – Práticas ambientais operacionais



Fonte: Adaptado de Jabbour e Jabbour (2013).

Conforme Vieira, Alves e Roque (2013), as motivações para a adoção do *ecodesign* para as empresas vão além dos benefícios ambientais, já que o mesmo proporciona também benefícios adicionais que podem ser de grande interesse. Os autores propõem que as razões para a aplicação do *ecodesign* são oriundas de fatores de motivação internos e externos, sendo que os internos envolvem o aumento da qualidade do produto, a melhoria da imagem do produto e da empresa, a redução de custos, o poder de inovação, o sentido de responsabilidade ambiental da gestão e a motivação dos funcionários. Por outro lado, conforme os autores, os fatores de motivação externos envolvem: gestão (legislação e regulação), exigências dos clientes, concorrentes (fatores diferenciadores e *marketing* verde), responsabilidade ambiental, organizações setoriais (motivação ambiental sobre as empresas), e fornecedores (inovação tecnológica).

Sob este enfoque, Luttrupp e Lagerstedt (2006) desenvolveram um conjunto de diretrizes para o *ecodesign*, a partir de uma síntese de uma série de ações de *design* ambientais utilizadas em empresas e universidades. Para os autores, as questões ambientais precisam ser equilibradas com todos os outros requisitos do produto. Assim, a reciclagem e outras ações

ambientais impostas têm de estar relacionadas a todos os elementos centrais do projeto, sem permitir que eles dominem, uma vez que existem outras prioridades importantes, como funcionalidade e economia.

Outro aspecto importante quando se pretende adotar os preceitos do *ecodesign* para o desenvolvimento de produtos, é a rentabilidade. Plouffe et al. (2011), avaliaram este aspecto em algumas empresas que fabricam produtos “tradicionais” e também “ecoprodutos” e os resultados demonstraram que a adoção do *ecodesign* traz benefícios a curto prazo para a empresa, pois as receitas e o volume de vendas são predominantemente mais elevados para os ecoprodutos. A pesquisa também demonstrou, que na maioria das empresas estudadas houve redução nos custos variáveis de produção em relação ao método de produção tradicional, gerando principalmente uma grande economia com matérias-primas. Os autores finalizaram o estudo afirmando que o aspecto mais importante a ser considerado em um projeto de concepção ecológica é se concentrar em aumentar a funcionalidade e buscar a melhoria ambiental e econômica, no maior número de etapas possíveis do ciclo de vida do produto.

Borchardt et al. (2011), utilizaram os conceitos de *ecodesign* na indústria de calçados. O estudo de caso relatou, que ao redesenhar o produto e o processo produtivo de um material utilizado para reforço interno em calçados, a empresa conseguiu reduzir os custos em cerca de 10%, substituir matérias-primas por outras menos poluentes, e ainda eliminar totalmente a utilização de materiais tóxicos no processo de produção. A nova solução gerou até uma patente para a empresa.

Alves et al. (2010), avaliaram o uso de compósito de fibra de juta para aplicações de *design* automotivo na fabricação de uma capota frontal de um veículo *buggy*. O estudo demonstrou, que a substituição do material tradicional, fibra de vidro reforçada com compósitos plásticos, pelo compósito de fibra de juta, consegue ao mesmo tempo manter as características funcionais do produto e melhorar seu desempenho ambiental.

A pesquisa feita por Braga (2014), demonstra as iniciativas de difusão e promoção do *ecodesign* no Brasil. Dentre os muitos exemplos que o artigo aborda, de ecoprodutos desenvolvidos no país, destaca-se um compósito utilizado para a produção de um *skateboard*. O compósito é formado por três camadas interiores de massa orgânica de bambu, produzido no Brasil e livre de agrotóxicos, além de mais duas camadas de um compósito produzido a partir de juta, malva e curauá, reforçadas com 30% de polipropileno reciclado. As camadas são unidas por um adesivo fabricado a partir de óleo de mamona.

Platcheck et al. (2008), redesenharam um compressor de ar para uso em tanque de peixes, tendo como foco a redução de componentes, a máxima utilização de matéria-prima e

redução de processos de fabricação. Na técnica apresentada para a fabricação do novo compressor, elementos de junção úteis e eficientes receberam um toque de inovação e os sistemas convencionais, tais como parafusos, porcas, cola, entre outros, bem como ferramentas de desmontagem, como chaves de fenda ou alicates, foram eliminados do processo produtivo.

Na concepção de Verhulst e Doorsselaer (2015) pelo fato do *ecodesign* ser considerado uma abordagem promissora para produção e consumo sustentáveis, ele torna-se altamente relevante para o ensino de engenharia, contudo, ainda não existem ferramentas de suporte disponíveis para o ensino com foco em *ecodesign* como um fator relevante do desenvolvimento sustentável.

Diante do exposto, Karlsson e Luttrupp (2006) apontam que ainda existem alguns desafios a serem vencidos pelo *ecodesign* como: o *design* tem de trabalhar em conjunto com as prioridades do mercado; preferências de estilo de vida e os aspectos imateriais são fundamentais; ecoeficiência não é suficiente, é necessário planejar os produtos de maneira a torná-los mais ecoeficazes; a indústria tem se concentrado principalmente na redução de impactos ambientais, e, pensar no por que fazer isso é mais básico do que pensar em como fazer.

### 2.3 RESÍDUOS AGRÍCOLAS

O setor agrícola possui um papel importante no desempenho econômico do Brasil, tendo alcançado forte crescimento nas últimas três décadas, uma vez que a produção agrícola mais do que dobrou em volume comparada ao nível registrado em 1990 (FAO, 2015). Ainda conforme o relatório, o setor contribui para a balança comercial do país, sendo que as exportações da agricultura e das indústrias agroalimentares totalizaram mais de US\$ 86 bilhões em 2013, sendo responsáveis por 36% do total das exportações brasileiras.

Conforme a Nota Técnica DEA 15/14 do Ministério de Minas e Energia (2014), é considerado como resíduo agrícola todo material excedente após as colheitas e produções agrícolas, tendo contribuição importante para proteção do solo nos períodos entre as safras. Segundo dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) a estimativa da geração de resíduos oriundos das agroindústrias associadas à agricultura para as culturas temporárias e permanentes mais representativas em termos de área cultivada no Brasil, representa um total de 291 milhões de toneladas de resíduos (IPEA, 2012). Os maiores índices de produção dos resíduos no país, são das culturas do trigo, soja e milho respectivamente, já que apresentam

volumes de produção bem superiores às outras culturas (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2014).

Pires e Mattiazzo (2008), propõem uma classificação quanto a origem para os resíduos agrícolas:

- **Resíduos da atividade agrícola**, originados exclusivamente da produção agropecuária, compostos por resíduos de lavouras, como as palhas e da atividade zootécnica, como dejetos orgânicos passíveis de tratamento para posterior utilização como esterco; e considerados, ambos, como portadores de baixa concentração de contaminantes;

- **Resíduos da atividade industrial**, compostos de matéria-prima originada estritamente da produção agrícola e completamente isenta de outros elementos que não aqueles provenientes dos produtos de colheita ou da criação durante o processo de industrialização;

- **Resíduos da atividade industrial, compostos por matéria-prima agrícola com adição de outras substâncias durante o processamento industrial.**

Quanto às causas de geração desses resíduos e dos florestais, Savastano Junior e Pimentel (2000), afirmam que estão associadas principalmente aos seguintes elementos: características intrínsecas às plantas e aos processos de obtenção das fibras vegetais; mercado extremamente seletivo e restrito, com baixa produtividade de itens comercializáveis (mercados que trabalham com especificações técnicas que geram índices elevados de rejeição de matérias-primas); perecibilidade dos produtos; poucas informações disponíveis de como se destinar resíduos.

Pelizer, Pontieri e Moraes (2007), consideram que o resíduo depois de gerado precisa ser encaminhado para um destino adequado, pois, além de criar potenciais problemas ambientais, representam perdas de matérias-primas e energia, o que acaba exigindo investimentos significativos em tratamentos para controlar a poluição. Os impactos ambientais, estão relacionados à biomassa formada pelos resíduos em decomposição, que emite metano e chorume, e também com às queimas a céu aberto feita pelos agricultores para limpar as terras, que acaba emitindo CO<sub>2</sub> e outros poluentes (UNEP, 2009).

Segundo Ruiz et al. (2013) esses resíduos têm despertado grande interesse nos últimos anos, principalmente pelo seu potencial para geração de energia através da produção de biocombustíveis. Fora isso, os resíduos também vêm apresentando resultados satisfatórios no que tange a aplicação de seus subprodutos 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, baixa

condutividade térmica e principalmente, não agridem o meio ambiente (MADURWAR; RALEGAONKAR; MANDAVGANE, 2013).

Em uma pesquisa realizada por Asin et al. (2015), são citadas algumas das aplicações que já estão sendo desenvolvidas pela comunidade científica com esses resíduos, como: uso de fibras de quenafe (*Hibiscus cannabinus*) e de casca de arroz para fabricação de isolantes térmicos, resíduos lignocelulósicos para confecção de compósitos ligantes, casca de coco e durian (*Durio zibethinus*) para fabricação de painéis de partículas, entre outros.

Bevitori e Silva (2013), estudaram a fibra extraída do caule da planta de rami, caracterizada como uma das mais fortes fibras lignocelulósicas, quanto as suas propriedades de difusividade, capacidade térmica específica e condutividade térmica, e os resultados comprovaram que as fibras apresentam alta capacidade de isolamento térmico.

Devido à alta quantidade de resíduos agrícolas na China, principalmente casca de arroz, Wei et al. (2015) iniciaram pesquisas para produzir materiais de construção a partir desses componentes, já que apresentam baixa condutividade térmica, caráter fibroso, baixa densidade e não são tóxicos. Assim, os autores desenvolveram um novo processo para a fabricação de materiais isolantes a partir de palha de arroz, usando prensagem a quente, em que, a partir de testes sobre efeito do aquecimento por alta frequência, densidade da placa, tamanho de partícula e temperatura ambiente, foi comprovada a eficiência do compósito.

Assim, existe uma grande possibilidade de os subprodutos agrícolas serem uma das principais fontes de produtos industriais e produtos químicos no futuro, mas para isso, é preciso encontrar soluções para suas principais limitações, como é o caso, da falta de um sistema de recolha, armazenamento e manuseio, que possam impedir sua degradação quando armazenado por um longo período (REDDY; YANG, 2005).

### **2.3.1 Girassol**

O girassol (*Helianthus annuus L.*) é uma dicotiledônea anual da família *Compositae*, originária da América do Norte, sendo cultivado em todos os continentes (CASTIGLIONE; CASTRO; SILVEIRA, 1997). Ainda conforme os autores, é uma oleaginosa que apresenta maior resistência aos períodos de estiagem, ao frio e ao calor do que a maioria das espécies normalmente cultivadas no Brasil, sendo considerado uma boa opção para sistemas de rotação e sucessão de culturas nas regiões produtoras de grãos.

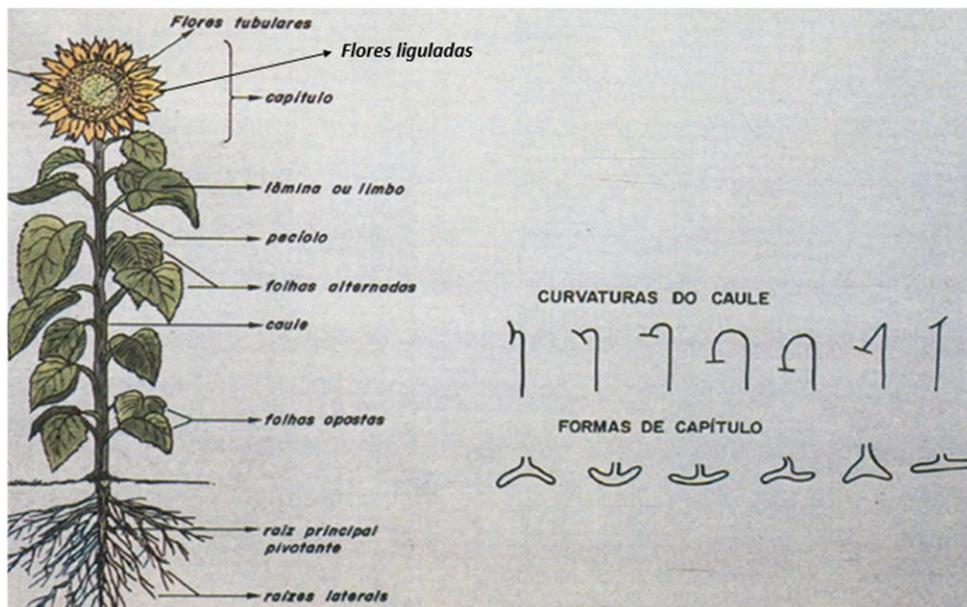
Conforme dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2014), o girassol é cultivado no mundo principalmente como fonte para produção de óleo comestível,

de proteínas para alimentação animal na forma de farelo e silagem, para alimentação de pássaros, no mercado de floricultura, para produção integrada de mel de excelente qualidade, uma vez que a flor de girassol é bastante atrativa para abelhas e também para produção de biodiesel.

O girassol é uma cultura que se desenvolve bem na maioria dos solos agricultáveis, podendo ser cultivado em praticamente todo o território nacional, contudo tem sido cultivado atualmente principalmente nos Estados de Mato Grosso, Minas Gerais, Goiás, Rio Grande do Sul, Mato Grosso do Sul, Rondônia, Paraná, Bahia e Ceará, especialmente na safrinha, em semeadura direta, normalmente após a cultura da soja (EMBRAPA, 2014).

Como pode ser observado na Figura 3, a planta de girassol tem como característica um sistema radicular, formado a partir de uma raiz principal, que pode chegar até quatro metros de profundidade, e inflorescência, conhecida como capítulo (CASTIGLIONE; CASTRO; SILVEIRA, 1997). É nas flores liguladas que são gerados os aquênios, que são os frutos da planta.

Figura 3 – Características básicas de uma planta de girassol



Fonte: Castiglione, Castro e Silveira (1997, p. 9).

O caule é cilíndrico e oco, preenchido por um tecido esponjoso, possui cor verde até o término da floração, tornando-se amarelo e pardacento no momento da colheita, sendo que ao

chegar no momento da reprodução, ele forma no seu ápice um alargamento chamado receptáculo, no qual se inserem as flores, formando o capítulo (ROSSI, 1998).

Leite, Brighenti e Castro (2005) afirmam que normalmente caules grossos e com entrenós curtos estão associados a plantas fortes e resistentes, capazes de sustentar a produção de capítulos com grande número de aquênios, reduzindo os riscos de quebra e, conseqüentemente, de perdas na colheita.

Ainda, na perspectiva de Rossi (1998) as folhas da planta são alternadas, trivernadas, longamente pecioladas, com lâmina oval, cordiforme e acuminadas, dentadas, afiadas, ásperas ao tato, com nervuras bem visíveis e cores que variam desde o verde-escuro até o verde-amarelado.

Quanto aos pecíolos, o autor salienta que são compridos e possuem um canal que facilita o transporte da água de chuva que cai sobre a parte das folhas até a raiz. Já a inflorescência, chamada de capítulo, segundo o autor, pode variar de 10 a 40 cm dependendo da variedade e das condições de desenvolvimento, e gira na tentativa de acompanhar o movimento do sol durante o dia. Durante o período de floração, o autor destaca que a planta executa dois movimentos, um de rotação espirada do caule e outro de ereção das folhas e do capítulo.

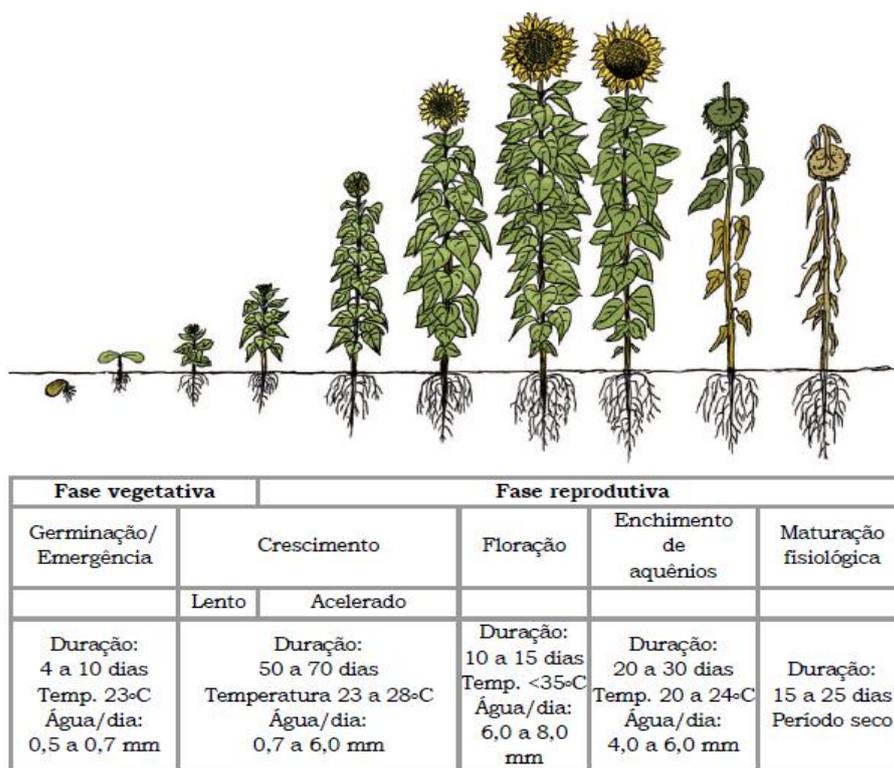
A Figura 4, demonstra que o desenvolvimento do girassol acontece em duas fases. Conforme Leite, Brighenti e Castro (2005), o período vegetativo inicia com a emergência das plântulas e termina com o início do aparecimento da inflorescência. Após a emergência, as fases são definidas em função do número de folhas. Posteriormente, a fase reprodutiva começa com o aparecimento da inflorescência (broto floral) e termina com a maturação da planta.

A colheita deve ser iniciada no período em que a umidade dos aquênios estiver entre 14% e 16%, quando as folhas estão totalmente secas e o caule e o capítulo apresentam coloração castanho escura a marrom. A colheita antecipada, com maior teor de umidade, compromete a qualidade do produto. Pela maior dificuldade de limpeza e aumento da quebra de grãos, que pode atingir 25% a 30%. Já a colheita atrasada, aumenta os riscos de perdas ocasionadas pelos pássaros, pelo acamamento e quebra de plantas, pelo desprendimento de grãos e por doenças eventuais (CASTRO et al., 1997).

Conforme Rossi (1998), a colhedora utilizada para o girassol é a mesma usada na colheita do trigo e da soja, mas também é possível a utilização da plataforma de milho, com algumas adaptações. Durante o processo de colheita, as colhedoras são projetadas para reunir apenas os capítulos do girassol e eliminar, tanto quanto possível, o talo, que geralmente permanece em pé no campo (INCE et al., 2005). Entretanto, os autores destacam, que mesmo

que estes resíduos ainda possam ser utilizados como combustível, alimento para o gado e material aditivo na indústria de papel e de madeira, grande parte dos talos são picados e misturados com o solo.

Figura 4 - Representação esquemática da duração das principais fases de desenvolvimento do girassol, com as respectivas durações e exigências térmicas e hídricas



Fonte: Vrânceanu (1977 apud LEITE, BRIGHENTI e CASTRO, 2005, p. 190).

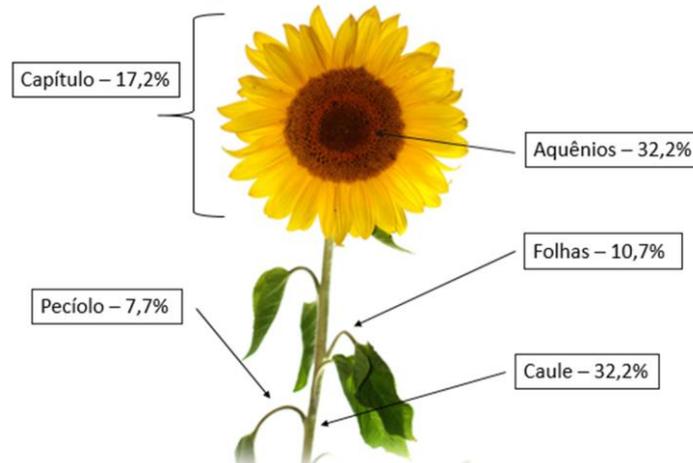
Segundo Marechal e Rigal (1999), excluindo a semente, são gerados em torno de 3 a 7 toneladas de matéria seca/ha da planta de girassol. Para os autores tal fato representa uma biomassa considerável que poderia encontrar aplicações na indústria. Na Figura 5 consta a quantidade de matéria seca gerada por uma planta de girassol.

Kaya et al. (2006) destacam que em muitos países esses resíduos são deixados no campo ou queimados, sendo que a queima em grande quantidade polui o meio ambiente, além do fato que os resíduos de girassol deixados, podem inibir o crescimento de diferentes espécies de plantas e a incorporação dos mesmos com o solo pode reduzir o rendimento de outras culturas.

Atualmente, sementes e óleo, extraídos do capítulo do girassol, são os principais produtos explorados pela indústria nessa cultura (MATHIAS et al., 2015). Os autores ressaltam a oportunidade da obtenção de subprodutos a partir destes resíduos, principalmente do talo, já

que uma das principais vantagens do girassol em relação a outros subprodutos agrícolas é o fato de que o mesmo pode ser produzido em todo o mundo e apresenta grande potencial de produção.

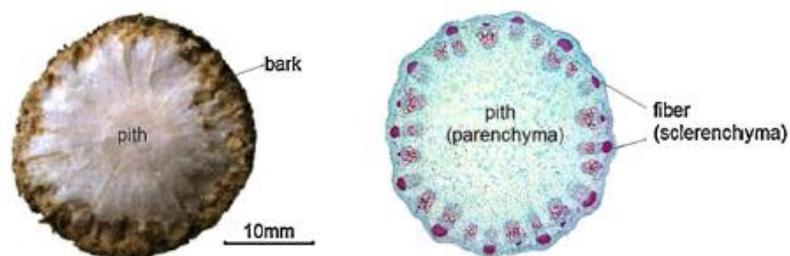
Figura 5 - Acúmulo de matéria seca nos diferentes órgãos da planta de girassol



Fonte: Adaptado de Leite, Brighenti e Castro (2005).

Em vista de tais aspectos, há algum tempo já vem sendo feitos estudos a fim de investigar as propriedades do talo de girassol e suas possíveis aplicações na indústria. Na pesquisa de Marechal e Rigal (1999), ao analisar o talo de girassol, os autores afirmam que o mesmo pode ser facilmente separado em duas partes: casca (*bark*) e a medula (*pith*), como pode ser observado na Figura 6, sendo que as fibras da casca são longas e na cor marrom. Já a estrutura fibrosa da medula é mais organizada num arranjo tipo “favo de mel”. Para eles, a composição das fibras do talo se assemelha a de outras plantas anuais, tais como milho e sorgo, caracterizados por um elevado conteúdo de celulose e hemicelulose.

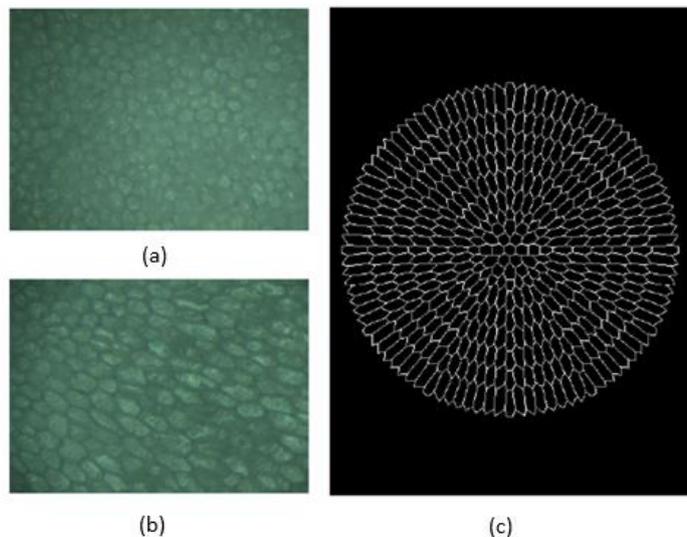
Figura 6 – Estrutura de um talo de girassol



Fonte: Sun et al. (2013, p. 52).

A Figura 7 ilustra a estrutura da medula do talo de girassol apresentada por Wen et al. (2010). Conforme os autores, a medula é dividida em um centro e uma periferia radial em que os orifícios centrais das células da secção transversal são semelhantes a hexágonos regulares (a/b), que variam em tamanho na direção centro-extremidade (c). A célula de medula de girassol é um parênquima e a parede celular apresenta espessura de cerca de 1,5 mm.

Figura 7 – Micrografias da seção transversal da estrutura do núcleo do talo de girassol



Fonte: Wen et al. (2010, p. 209).

Na maioria dos estudos recentes encontrados que avaliam as propriedades do talo, normalmente as análises são realizadas tanto na casca quanto na medula, a partir da divisão do mesmo em três zonas de amostragem, sendo a primeira localizada na parte inferior, a segunda no meio e a terceira na parte superior.

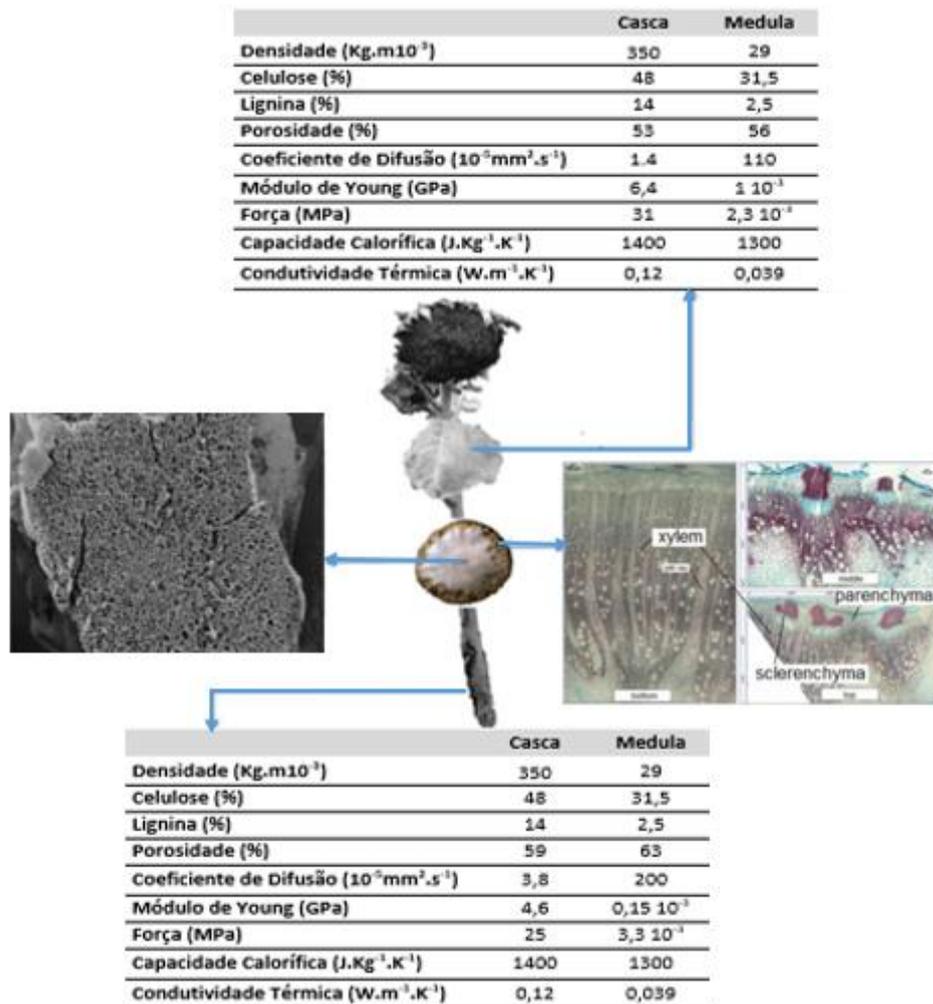
Sun et al. (2013) avaliaram as propriedades mecânicas do talo de girassol para diferentes teores de umidade e locais de amostra, onde a casca e medula apresentaram diferentes propriedades mecânicas e higroscópicas. Os resultados comprovam que o módulo de Young (elasticidade) da casca é muito maior do que o da medula, ao passo que o coeficiente de difusão de umidade da medula é muito maior do que o da casca.

Quanto aos teores de umidade, os autores descobriram que eles influenciam as propriedades mecânicas tanto da casca como da medula, uma vez que o módulo de Young e a resistência são os mais elevados para 33% de umidade relativa e menor para 75% de umidade relativa. Os autores ainda esclarecem que estas propriedades devem-se à composição celular e morfologia celular, pois a casca é composta por esclerênquima, parênquima e xilema e a medula

somente de parênquima, além do fato que as estruturas morfológicas e porosidade de ambos mudam ao longo do talo, o que causa alterações nas propriedades tanto mecânicas quanto higroscópicas: o módulo de Young e a força da casca e da medula, aumentam ao longo do talo (subindo), enquanto que o valor do coeficiente de difusão de umidade diminuem.

Conforme Mathias et al. (2015), a medula e a casca sofrem alterações de aparência ao longo do talo (Figura 8), onde as fibras de esclerênquima na casca aumentam no sentido para cima do tronco, enquanto a porosidade diminui de 59% na parte inferior para 53% na parte superior. Já a medula mostra vazios mais macroscópicos na parte inferior do talo (63%) do que na parte superior (56%).

Figura 8 - Principais propriedades físicas e químicas de talos de girassol



Fonte: Mathias et al. (2015, p. 8082).

Sob a perspectiva da análise bioquímica, os autores afirmam que a composição química

não variou ao longo do talo, apresentando uma composição média de 48% de celulose e 14% de lignina para a casca, e 31,5% celulose e lignina de 2,5% para a medula. Quanto às propriedades térmicas, os autores afirmam, que a medula apresenta uma condutividade térmica média menor do que da casca, sendo que tanto na medula quanto na casca, o valor de condutividade não evolui ao longo do talo, assim como, ambas apresentam valores de capacidade calorífica significativos. Além disso, o estudo também demonstrou que a condutividade térmica da medula e da casca podem dobrar por causa da água absorvida.

O estudo de Mathias et al. (2015), sugere a possibilidade de aplicação do talo de girassol como isolamento térmico, pois a medula revelou propriedades térmicas interessantes. Conforme dados da pesquisa, sua condutividade térmica é menor do que a da lã de vidro, que é um dos materiais mais utilizados para tal, e sua capacidade calorífica é mesma do cânhamo, o que faz do girassol, uma boa opção em relação a outras fibras naturais.

Ainda considerando a possibilidade de aproveitamento do talo de girassol, Bektas et al. (2005), investigaram a combinação do mesmo com partículas de álamo em diferentes proporções para a fabricação de painéis, para fins como a fabricação de móveis. Os resultados da pesquisa indicaram que é possível produzir aglomerados somente de talos de girassol triturados, usando ureia formaldeído como aglutinante, demonstrando que o talo pode ser utilizado como matéria-prima na fabricação de aglomerado de partículas, por si só ou em combinação com madeira de álamo.

Na concepção de Marechal e Rigal (1999), o fato da medula apresentar baixa densidade, indica que o talo pode ser utilizado para a fabricação de materiais leves, sem necessidade de aditivos ou processo de secagem do molde. Para os autores, materiais desenvolvidos a partir da medula têm uma densidade semelhante e resistência superior à do poliestireno expandido e apresenta parâmetros de flexão superiores.

Na Turquia, Binici et al. (2014) utilizaram resíduos provenientes da produção de girassol, algodão e da indústria têxtil, como talos de girassol e restolho, para a fabricação de um compósito para utilização como isolante térmico em edifícios, tendo como material ligante o epóxi. Os resultados da pesquisa demonstraram que o compósito apresentou desempenho satisfatório, caracterizando-se como um produto com grande potencial para ser comercializado no futuro.

Rosa et al. (2015), desenvolveram uma placa isolante para ser utilizada em coletores solares térmicos de baixa temperatura, tendo como base o talo de girassol, acompanhado de casca de arroz, tecido de juta e gesso como material aglomerante. Conforme dados do estudo, o compósito apresentou boa viabilidade técnica, comparado aos isolantes convencionais.

Assim, o talo de girassol é considerado uma matéria-prima promissora para diversas aplicações, tanto em termos de propriedades físicas quanto em valorização socioeconômica, fazendo-se necessário estudar em detalhes (como outros recursos naturais) a forma de organização do setor agrícola local para coletar e armazenar os talos, bem como os processos para a sua conversão em produtos de origem natural (MATHIAS et al., 2015).

## 2.4 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

Quando se pretende desenvolver novas soluções e novos produtos, é necessário ter conhecimento a respeito das propriedades, aplicações e usos específicos dos materiais que se tem disponível. Na visão de Askeland e Wright (2014), quando se projeta um material para determinada aplicação, é preciso levar em conta uma série de fatores como: o material deve alcançar as propriedades físicas e mecânicas desejadas; deve permitir o processamento ou a fabricação em um formato específico; ser econômico, além de não agredir o meio ambiente.

Para facilitar a escolha do material a ser utilizado para determinada aplicação, avaliam-se as propriedades dos materiais de acordo com as características da classe à qual pertencem. Os materiais sólidos foram agrupados em três categorias básicas: metais, cerâmicas e polímeros.

Conforme Callister Jr. e Rethwisch (2016), adicionalmente, existem os compósitos, que são combinações de dois ou mais materiais diferentes, e os materiais avançados, que são usados em aplicações de alta tecnologia, como os semicondutores, os biomateriais, os materiais inteligentes e os nanomateriais. A seguir são apresentadas as principais características das classes de materiais, segundo os autores acima citados.

- **Metais** - consistem normalmente em combinações de elementos metálicos. Eles possuem um grande número de elétrons não-localizados, que não estão ligados a qualquer átomo em particular, sendo que muitas de suas propriedades são atribuídas diretamente a esses elétrons. Os metais são bons condutores de eletricidade e calor, resistentes e deformáveis, possuindo por isso inúmeras aplicações;

- **Cerâmicas** - são compostos formados entre elementos metálicos e elementos não-metálicos, sendo na maioria das vezes compostas por óxidos, nitretos e carbetos. A grande variedade de materiais que se enquadra nessa classificação inclui as cerâmicas compostas por minerais argilosos, o cimento e o vidro. Esses materiais são isolantes à passagem de eletricidade e calor, e são mais resistentes a altas temperaturas e a ambientes severos do que os metais e os polímeros. Em relação ao seu comportamento mecânico, são duras, porém muito frágeis e quebradiças;

- **Polímeros** - incluem os materiais comuns de plástico e borracha. Muitos deles são compostos orgânicos que têm sua química baseada no carbono, no hidrogênio e em outros elementos não-metálicos. Alguns dos polímeros comuns e familiares são o polietileno (PE), o náilon, o cloreto de polivinila (PVC), o policarbonato (PC), o poliestireno (PS) e a borracha silicone. Além disso, eles possuem estruturas moleculares muito grandes. Esses materiais possuem baixas densidades e podem ser extremamente flexíveis;

- **Compósitos** - um compósito é projetado para exibir uma combinação das melhores características de cada um dos seus materiais componentes. Um exemplo é a fibra de vidro, onde fibras de vidro são incorporadas no interior de um material polimérico. Assim, a fibra de vidro adquire a resistência do vidro e a flexibilidade do polímero.

A respeito do material a ser desenvolvido no presente estudo, Askeland e Wright (2014) afirmam que normalmente desenvolve-se compósitos quando se pretende obter combinações incomuns, como de rigidez, resistência mecânica, densidade, desempenho em altas temperaturas, resistência à corrosão, dureza ou condutividade. Conchas, madeira, ossos e dentes são exemplos de compósitos que existem na natureza.

A maioria dos materiais compósitos é formado por duas fases: uma é denominada matriz, a qual é contínua e envolve a outra fase, chamada fase dispersa (CALLISTER JR.; RETHWISCH, 2016). Desse modo, os autores afirmam que as propriedades dos compósitos dependem das propriedades de suas fases constituintes, de sua quantidade relativa e da geometria da fase dispersa, que se refere ao tamanho, distribuição e a orientação das partículas presentes no compósito.

Para Newell (2010) os materiais compósitos podem se apresentar de três formas: particulados, reforçados por fibras e laminados. Os compósitos particulados, são formados por um grande número de partículas de granulometria grande, como a mistura de cimento e brita usada no concreto. As partículas tendem a aumentar algumas propriedades como a tenacidade ou a resistência à abrasão.

Ainda conforme o autor citado anteriormente, nos compósitos reforçados por fibras, o material da matriz envolve as fibras, as mantém alinhadas e transfere quaisquer cargas aplicadas para as fibras, que são mais resistentes e mais frágeis que a matriz. Nesse caso, a resistência máxima do compósito dependerá consideravelmente da resistência de ligação entre a fibra e a matriz (CALLISTER JR.; RETHWISCH, 2016).

As aplicações de compósitos reforçados por fibras abrangem desde compósitos de matriz metálica reforçada por fibras de carvão de silício usados em motores de caças de combate, até aplicações mais comuns e antigas, como o uso de casca de arroz no cimento

(NEWELL, 2010). Já os compósitos laminados, segundo o autor, são obtidos a partir da união de lâminas alternadas de materiais diferentes. Um exemplo é o compensado, que é formado por camadas de placas de madeira unidas por camadas de epóxi entre elas.

O comportamento mecânico de um material irá refletir a relação entre sua resposta ou deformação a uma carga ou força aplicada. As propriedades mecânicas mais importantes e comuns de se avaliar são rigidez, resistência, dureza, ductilidade e tenacidade, que são verificadas por meio de ensaios de laboratório, que buscam reproduzir as condições que o material será exposto (CALLISTER JR.; RETHWISCH, 2016).

Newell (2010) afirma que os ensaios mais significativos que podem ser realizados na maioria dos materiais incluem: ensaio de tração, de compressão, de flexão, de dureza, de fluência, de impacto, de fadiga e de envelhecimento. No entanto, para a escolha do ensaio deve-se atentar para duas características dos materiais que são determinantes: fragilidade e ductilidade. Os materiais dúcteis, segundo o autor, são aqueles que podem se deformar plasticamente sem se romper, ou seja, ele pode ser submetido a grandes deformações antes da ruptura, como os metais. Já os materiais frágeis, se rompem completamente no início da deformação, como é o caso das cerâmicas.

Nesse sentido, dentre todos os ensaios mecânicos usuais, para materiais caracterizados como frágeis, utiliza-se o ensaio de flexão em três pontos, onde provoca-se uma flexão no material, ao se aplicar uma força que causa uma tensão no ponto central e inferior da amostra, que se mantém apoiada em dois pontos (ASKELAND; WRIGHT, 2014). A partir desse ensaio é possível determinar o módulo de ruptura ou resistência à flexão do material, assim como, o módulo de elasticidade na flexão.

Em muitos dos estudos envolvendo o desenvolvimento de compósitos com fibras vegetais e resíduos agrícolas como: sabugo de milho, cortiça, bagaço de coco, fibras de bananeira e girassol; utilizou-se esse tipo de ensaio (BINICI et al., 2016; CASTRO et al., 2010; PANYAKAEW; FOTIOS, 2011; PAUL; KANNY; REDHI, 2015; EVON et al., 2014).

## 2.5 ISOLAMENTO TÉRMICO

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 mais calor ou menos calor que o necessário 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 às exigências de conforto térmico (FROTA; SCHIFFER, 2001).

As condições climáticas se alteram para locais distintos. A escolha dos materiais construtivos está relacionada às questões de resistência mecânica, de segurança e econômicas, 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 a crescente ênfase social dada às questões ambientais, a eliminação de resíduos, e ao esgotamento dos recursos não-renováveis (MATI-BOAUCHE et al., 2014).

Transferência de calor é o deslocamento de energia que ocorre quando quantidades de matéria que apresentam temperaturas diferentes são colocadas em contato térmico. A transferência sempre vai ocorrer do meio de maior temperatura para o meio de menor temperatura (VAN WYLEN; SONNTAG, 2013).

Deste modo, a função do isolamento térmico é criar uma barreira à transferência do calor. A aplicação de um material de baixa condutividade térmica diminui a propagação e a perda de calor para o meio. Os principais materiais isolantes usados no Brasil são: lã de vidro, lã de rocha e poliuretano (ROSA et al., 2015).

Além de apresentarem baixa condutividade, os isolantes normalmente são porosos, cuja elevada resistência térmica se baseia na baixa condutibilidade do ar contido em seus vazios. Assim, quanto menor a densidade do material e maior o número de poros, maior seu poder de isolamento (COSTA, 1974).

A condutividade térmica de um material ( $\lambda$ ) corresponde à propriedade física de um material, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de  $1 \text{ W/m}^2$ , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de  $1 \text{ K}$  (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 ele será (ABNT, 2005a).

Conforme Brandão et al. (2014), a condutividade também pode ser explicada através do movimento de elétrons (em metais) e pela vibração da rede cristalina das moléculas (em não metais), variando, portanto, com a temperatura e a composição do material. Conhecendo os valores de condutividade térmica, é possível realizar a comparação quantitativa entre a eficácia de diferentes materiais de isolamento térmico (AL-HOMOUD, 2005).

Frota e Schiffer (2001) afirmam que a condutividade de um material depende de alguns fatores como: densidade - a matéria é sempre muito mais condutora que o ar contido em seus

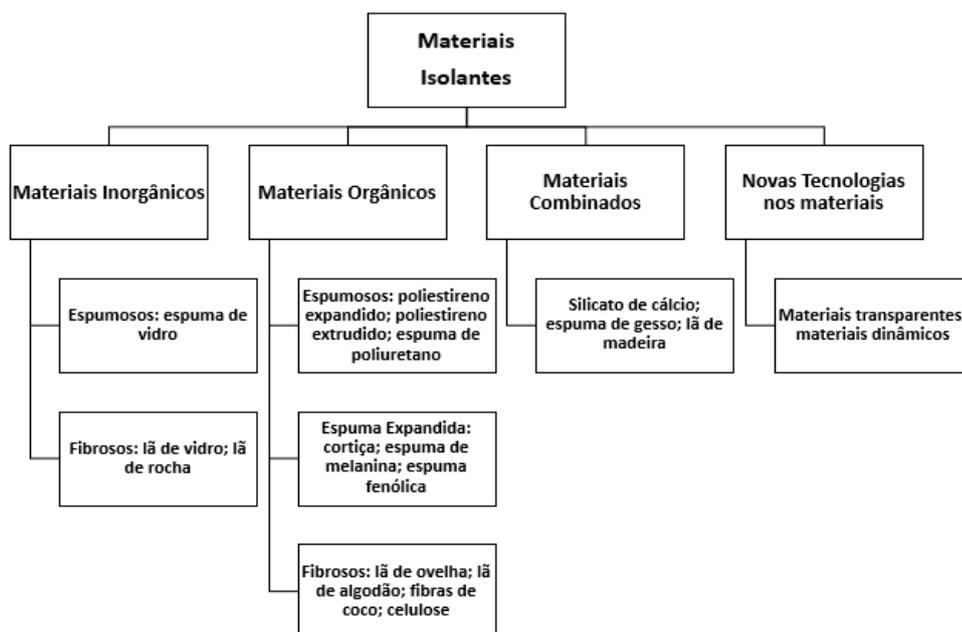
poros; natureza química - os materiais amorfos são geralmente menos condutores que os cristalinos e; umidade do material - a água é mais condutora que o ar.

A resistência térmica (R) de um material mede a sua capacidade de reduzir a troca de calor, sendo expressa em  $(m^2 \cdot K)/W$ . Assim, quanto maior for a resistência térmica do material, melhor é a sua capacidade de isolamento térmico. A resistência térmica de uma camada homogênea de material sólido é determinada por  $e/\lambda$  onde “e” corresponde a espessura da camada do material (ABNT, 2005a; VAN WYLEN; SONNTAG, 2013).

Conforme Ozel (2014) a transmissão de calor diminui com o aumento da espessura do isolamento. Os requisitos de desempenho térmico mínimos, são estabelecidos no Brasil através da norma ABNT NBR 15575-4: 2013 para sistemas de vedações verticais, que é baseada na norma ABNT NBR 15220: 2005, que define toda as diretrizes para o desempenho térmico de edificações.

Costa (1974) define as características de um bom isolante como sendo: apresentar baixa condutividade térmica, resistir à temperatura em que é aplicado, possuir boa resistência mecânica, não se deteriorar e resistir a pragas, não ser inflamável e não ser higroscópico. Em seus estudos, Papadopoulos (2005) realizou uma vasta revisão a respeito dos materiais isolantes disponíveis no mercado, conforme consta na Figura 9.

Figura 9 – Classificação dos materiais isolantes mais utilizados



Fonte: Papadopoulos (2005, p. 79).

Embora o estudo seja de 2005, e ao longo desse tempo tenham surgido novas tecnologias, a maioria dos materiais apresentados como lã de vidro, lã de rocha, poliestireno expandido, poliestireno extrudido e espuma de poliuretano, ainda são os mais utilizados (JELLE, 2011; ROSA et al., 2015). Os dois grupos a que se referem esses materiais, inorgânicos fibrosos e espumosos orgânicos, apresentam desempenho semelhante em termos de capacidade de isolamento (PAPADOPOULOS, 2005).

Quase todos esses materiais são prejudiciais ao meio ambiente. Por exemplo, na fabricação de lã de rocha e lã de vidro, além de exigir altas temperaturas obtidas pela queima de combustíveis fósseis, não dispõem de muitas opções de reaproveitamento no fim de sua vida útil (ROSA et al., 2015). Os autores ainda destacam que já existem novas alternativas que vem sendo pesquisadas para substituir esses materiais por outros que apresentem baixa degradação ambiental, como tecido de juta, linho, cânhamo, cascas de arroz, talos de algodão, entre outros, que são em muitos casos resíduos agrícolas, assim configurando-se como uma solução para diferentes problemas ambientais e industriais.

Al-Homoud (2005) destaca que é importante realizar uma avaliação inicial antes de decidir sobre o isolamento a ser utilizado, levando-se em consideração principalmente, a relação entre as características do isolante e sua aplicação. Na Figura 10, o autor apresenta um passo-a-passo para essa seleção.

Figura 10 – Processo de seleção de um isolamento



Fonte: Al-Homoud (2005, p. 361).

O autor também enumera os benefícios e as motivações para utilização de um sistema de isolamento térmico: benefícios econômicos, benefícios ambientais, satisfação do usuário, ambientes termicamente confortáveis, níveis de ruído reduzidos, integridade estrutural das construções; e redução no risco de incêndios.

### **2.5.1 Compósitos para isolamento térmico**

Ao longo dos últimos anos tem se intensificado atividades de pesquisa e desenvolvimento relacionadas ao aproveitamento de componentes naturais abundantes na natureza, como as fibras vegetais, e até resíduos de atividades agrícolas, para a produção de compósitos ou biocompósitos para diversas finalidades.

Segundo John e Thomas (2008), o termo biocompósito pode ser aplicado a um conjunto enorme de materiais provenientes total ou parcialmente de recursos de biomassa renovável; biofibras como sisal, coco e cânhamo já possuem diversas aplicações em várias indústrias, principalmente devido as suas propriedades, comparáveis às da fibra de vidro, altamente utilizadas pela indústria automotiva.

As fibras são filamentos contínuos ou discretos pedaços alongados, semelhantes a pedaços de fios, que se classificam em dois tipos: naturais e sintéticas. As fibras naturais podem ser de origem animal, vegetal ou mineral. As fibras vegetais são obtidas a partir de várias partes de plantas hortícolas e elas já vem prontas da natureza (AHMAD; CHOI; PARK, 2015). No entanto, ainda não há definições exatas de qual o tipo de processo de fabricação mais adequado para a produção destes compósitos, já que seus materiais e características são diferentes em comparação com os compósitos tradicionais (HO et al., 2012).

As fibras vegetais já se configuram como um abundante recurso renovável, de custo relativamente baixo em comparação com as fibras sintéticas, mas também existem algumas desvantagens, conforme apresentado no Quadro 1, o que faz com que seja necessária uma avaliação dos requisitos necessários para a aplicação que se pretende dar ao compósito desenvolvido. No caso da construção civil, as aplicações de compósitos naturais são normalmente restritas a interiores devido à sua vulnerabilidade a ataques ambientais (AZWA et al., 2013).

Quadro 1 – Vantagens e desvantagens das fibras naturais

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Baixa densidade, alta resistência e rigidez específica	Baixa durabilidade em relação aos compósitos de fibras sintéticas, mas podem ser consideravelmente melhoradas com alguns tratamentos
As fibras são um recurso renovável, cuja produção requer pouca energia, absorve CO <sub>2</sub> quando retorna oxigênio para o meio ambiente	Alta absorção de umidade, o que resulta em inchaço
Fibras podem ser produzidas a um custo menor do que a fibras sintéticas	Baixa força, em particular, resistência ao impacto, em comparação com compósitos de fibras sintéticas
Processos de fabricação de baixo risco	Maior variabilidade das propriedades
Baixa emissão de fumaças tóxicas quando submetidas ao calor e durante a incineração no fim da vida	Temperaturas de processamento mais baixas que limitam as opções de uso
Menos abrasivas para equipamentos de processamento em comparação com compósitos de fibras sintéticas	

Fonte: Pickering, Efendy e Le (2015, p. 32).

Um dos setores, que vem apostando na utilização de compósitos de fibras naturais há um bom tempo, é a construção civil. Isso se deve ao fato do grande salto da demanda por materiais de construção em virtude do aumento da população. Madurwar, Ralegaonkar e Mandavgane (2013) destacam que o uso de materiais de construção apropriados ainda não recebeu a devida atenção pela indústria. Os autores destacam ainda, que obter esses materiais a partir de fibras naturais de resíduos agrícolas como bagaço de cana, casca de coco, talo do algodão, entre outros, pode contribuir com a redução de custos e da poluição.

Pesquisas apontam ser possível usar a casca de arroz, sabugo de milho talos de girassol e uma série de outros materiais considerados resíduos, na formulação de compósitos para 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 serem materiais totalmente renováveis, regionais e de baixo impacto ambiental (KORJENIC et al., 2011; MENDES et al., 2010; PANYAKAEW; FOTIOS, 2011; ROSA et al., 2015).

Como já mencionado, a condutividade térmica é um dos principais requisitos para a escolha de um isolante térmico. Assim, no Quadro 2 observa-se, através de alguns exemplos de pesquisas já realizadas, como a mesma se apresentou em diferentes compósitos, produzidos a partir de resíduos agrícolas, dando ênfase ao potencial do talo de girassol para tal aplicação.

Quadro 2 – Compósitos isolantes com talo de girassol

Autor	Experimentos	Resultados
	Composição dos compósitos isolantes	Condutividade térmica ( $\lambda$ ) W/mK
Sun et al. (2015)	120g de casca e medula de talo de girassol e 200ml de biomatriz de quitosana. O tamanho das partículas de casca e medula variaram entre 3 e 5mm. A pressão de compactação de 32kPa foi aplicada antes da secagem.	0,06
Rosa et al. (2015)	50g de casca de arroz (4%), 500g de talo de girassol (inteiro) (40%), 110g de tecido de juta (8%), 400g d gesso (30%), e 240g de água (18 %), utilizada para dissolver o gesso.	0,104
Binici et al. (2014)	<b>Composição 1 (gesso como aglutinante):</b> 1500g de gesso, 180g de talos de girassol (moídas), 90g de resíduos têxteis e 1450g de água.	0,1642
	<b>Composição 2 (epóxi como aglutinante):</b> 30% de talo de girassol (casca), 20% de fibra de girassol (medula), 15% de epóxi e 7 bar de pressão.	0,0728
Evon et al. (2014)	258g de bolo de girassol (gerado durante a biorrefinaria da planta). A temperatura de moldagem foi de 140°C à uma pressão de 150 kgf/cm <sup>2</sup> .	0,088
Mati-Baouche et al. (2014a)	4,3% de quitosana/girassol, talos de girassol foram triturados com tamanho de partículas de 6,3mm e densidade de 150 kg/m <sup>3</sup>	0,056
Kocaman, Sisman e Gezer (2011)	<b>Composição 1 (Cimento como aglutinante):</b> IB3 - 1 porção de cimento para 9 de talo de girassol (triturado); IC3 - 1 porção de cimento para 4,5 de casca de arroz e 4,5 de talo de girassol (triturado).	IB3 - 0,062
		IC3 - 0,065
	<b>Composição 2 (Gesso como Aglutinante):</b> IIB2 - 1 porção de gesso para 6 de talo de girassol; IIB3 - 1 porção de gesso para 9 de talo de girassol (triturado); IIC2 - 1 porção de gesso para 3 de casca de arroz para 3 de talo de girassol (triturado); IIC3 - 1 porção de gesso para 4,5 de casca de arroz para 4,5 de talo de girassol (triturado).	IIB2 - 0,063
		IIB3 - 0,054
		IIC2 - 0,065
	IIC3 - 0,057	

Fonte: Adaptado de Adamy, Rosa e Rosa (2016).

Os valores de condutividade térmica apresentados pelos compósitos descritos no Quadro 2, demonstram que é possível apostar na fabricação de isolamento térmico a partir de fibras naturais, mas ainda são necessários estudos avançados, a fim de identificar quais as

melhores formulações dos compósitos e processos de produção, para que possam ser produzidos em escala industrial e atender aos requisitos para sua utilização.

Experimentos como de Koivula et al. (2005), também demonstraram que isolamentos fibrosos são suscetíveis a ataques de fungos. Conforme dados da pesquisa, é possível que haja um controle na propagação de micróbios em compósitos, mantendo-os principalmente, sob baixos níveis de umidade.

Tendo em vista as demandas que têm surgido nas condições de uso de isolantes térmicos, Jelle (2011) sugere que os novos materiais de isolamento a serem produzidos, terão que considerar outras propriedades além das térmicas, tais como: resistência mecânica; emissões de gases tóxicos; envelhecimento; durabilidade em relação as exposições climáticas; resistência a ciclos de congelamento/descongelamento; resistência à umidade e fogo; custos e impacto ambiental.

## 2.6 AGLOMERANTES

Normalmente para obtenção de um compósito natural, utiliza-se juntamente com o material fibroso, proveniente de plantas ou resíduos agrícolas, um componente de ligação, também chamado de adesivo ou aglomerante, que tem por função unir as partículas e dar sustentação ao compósito.

Conforme Askeland e Wright (2014) os adesivos são polímeros utilizados para unir diversos tipos de materiais como: os próprios polímeros, metais, cerâmicas, compósitos ou combinações desses materiais. Para escolher o adesivo mais apropriado, é necessário considerar alguns fatores: os materiais a serem unidos e suas porosidades; as propriedades adesivas que são necessárias (se a colagem deve ser temporária ou permanente); as temperaturas de exposição máxima e mínima; e as condições de processamento (CALLISTER JR.; RETHWISCH, 2016).

Os autores afirmam que o adesivo é aplicado na forma de um líquido de baixa viscosidade, em que a colagem acontece à medida que o mesmo passa por uma transição de líquido para sólido (ou cura), o que pode ser obtido por meio de um processo físico (por exemplo, cristalização, evaporação do solvente) ou de um processo químico (por exemplo, polimerização, vulcanização). As características de uma união bem-sucedida incluem a elevada resistência do material ao cisalhamento, ao arrancamento e à fratura.

No entanto, no caso da aplicação de adesivos para elaboração de materiais compósitos à base de fibras naturais, percebe-se uma dificuldade de se encontrar estudos onde o compósito

tenha sido elaborado com um aglomerante de origem natural. Callister Jr. e Rethwisch (2016) afirmam que embora existam adesivos naturais, como caseína e amido, para a maioria das aplicações são utilizados novos materiais, que foram desenvolvidos com base em polímeros sintéticos. Esses materiais incluem poliuretanas, polissiloxanos (silicones), epóxis, poli-imidas, acrílicos e materiais à base de borrachas.

No Quadro 3, são listados os principais aglomerantes usados na formulação de compósitos, em combinação com fibras vegetais e/ou resíduos. Mati-Baouche et al. (2015), afirmam que mesmo em estudos que visam o desenvolvimento de compósitos naturais para diversas aplicações, é possível observar o uso de ligantes produzidos a partir de polímeros à base de petróleo ou de recursos minerais, cujo impacto ambiental ainda é questionável.

Quadro 3 – Materiais utilizados como aglomerantes em compósitos com fibras vegetais

<b>Aglomerante</b>	<b>Fibra/Resíduo</b>	<b>Autor</b>
Cimento	Sabugo de milho	Binici, Askogan e Demirhan (2016)
	Tamareira	Benmansour et al. (2014)
	Talo de girassol e casca de arroz	Kocaman, Sisman e Gezer (2011)
Cola à base de amido	Bolo biorrefinaria de girassol	Evon et al. (2015)
Cola à base de gelatina	Bolo biorrefinaria de girassol	Evon et al. (2015)
Cola de Madeira	Sabugo de milho	Paiva et al. (2012)
	Bolo biorrefinaria de girassol	Evon et al. (2015)
Epóxi	Talo de girassol	Binici et al. (2014)
	Cortiça	Castro et al. (2010)
	Sabugo de milho	Binici, Askogan e Demirhan (2016)
Gesso	Talo de girassol e casca de arroz	Rosa et al. (2015)
	Talo de girassol e resíduos têxteis	Binici et al. (2014)
	Talo de girassol e casca de arroz	Kocaman, Sisman e Gezer (2011)
	Sabugo de milho	Binici, Askogan e Demirhan (2016)
Goma Guar	Talo de girassol	Mati-Baouche et al. (2015)
Quitosana	Talo de girassol	Mati-Baouche et al. (2014a); Sun et al. (2015)
Resina da seiva da banana	Banana	Paul, Kenny e Redhi (2015)
Resina poliuretana de óleo de mamona	Bambu	Marinho et al. (2013)
	Banana	Merlini, Soldi e Barra (2011)
	Madeira	Ferro et al. (2015); Silva et al. (2013)
	Juta	Albuquerque Neto, Carvalho e Araújo (2007)
	Coco	Fiorelli et al. (2012)
Resina fenólicas	Casca de milho e resíduos da fabricação de papel seda	Lertsutthiwong et al. (2008)
	Casca de coco e casca de durian	Khedari, Charoenvai e Hirunlabh (2003)

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

A questão ambiental que envolve o uso de adesivos e que tem estimulado novas pesquisas, é o fato de que muitos dos mais utilizados como: epóxi, fenol/formaldeído, poliuretano, acetato de polivinila (PVA), entre outros; dependem de recursos petroquímicos não renováveis para sua fabricação, que estão se esgotando. Assim como, existem aqueles aglomerantes que utilizam na sua composição produtos químicos tóxicos como formaldeídos e compostos orgânicos voláteis, que são prejudiciais à saúde e ao meio ambiente (MATI-BAOUCHE et al., 2014b).

Na maioria das pesquisas que envolvem a confecção de painéis de madeira são utilizadas resinas fenólicas como adesivo, porque as mesmas proporcionam mais força e resistência à água ao compósito (KHOSRAVI et al., 2010). Contudo, novos adesivos, provenientes de fontes naturais, já estão sendo aplicados, como é o caso da quitosana e da resina poliuretana de óleo de mamona (Quadro 3).

Conforme Sun et al. (2015) 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. Entretanto, sua produção ainda é pouco explorada por ter custo elevado.

Por outro lado, também já existem pesquisas que priorizam a fabricação de compósitos sem o uso do aglomerante, com técnicas de prensagem e estruturação das fibras (EVON et al., 2014; PANYAKAEW; FOTIOS, 2011; KORJENIC et al., 2011)

### **2.6.1 Resina poliuretana derivada do óleo de mamona**

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

Segundo Ogunniyi (2006), a mamona está presente em grandes quantidades em quase todos os países tropicais e subtropicais, devido a mesma crescer em condições que requerem altas temperaturas e baixos índices de umidade. Cangemi, Santos e Claro Neto (2010) afirmam que o clima brasileiro facilitou o desenvolvimento da planta no país, tornando-o o terceiro maior

produtor mundial da mesma, que pode ser encontrada em todos os estados, principalmente na Bahia, onde se concentra a maior parte da produção nacional.

Em virtude das inúmeras aplicações já descobertas para o óleo de mamona, também chamado de óleo de rícino, houve um aumento na procura desse material no mercado mundial, principalmente pelo fato de ser uma matéria-prima abundante e de fonte renovável (MOGHADAM et al., 2016).

Um dos usos do óleo de mamona que vem ganhando destaque nos últimos anos, até mesmo no Brasil, é o uso do mesmo para fabricação de poliuretano vegetal. Conforme Ramalho (2013), os poliuretanos (PU) são polímeros sintetizados a partir de poli-isocianatos e polióis e estão presentes em muitos objetos de uso cotidiano, como estofamentos, tecidos, revestimento para calçados, entre outros. Esses polióis, que são originados do petróleo, estão sendo substituídos por um poliál presente no óleo de mamona. Ainda conforme o autor, mesmo que o alto valor do óleo de mamona torne o valor do polímero de PU três vezes mais caro do que aquele feito com polióis tradicionais, 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 sustentável”.

Muitas pesquisas têm utilizado esse material como aglomerante em compósitos naturais. Fiorelli et al. (2012) comparam o desempenho do uso do poliuretano de óleo de rícino 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.

A pesquisa de Merlini, Soldi e Barra (2011) comprovou, que as fibras de banana podem ser usadas como um agente de reforço eficientes numa matriz de poliuretano derivado de óleo de mamona. Já Albuquerque Neto, Carvalho e Araújo (2007), avaliaram as propriedades mecânicas de um compósito, formado a partir de uma matriz do material reforçado com tecido tramado de juta, onde identificaram que a incorporação de fibra de juta à matriz poliuretana promoveu melhora significativa nas propriedades dos compósitos sob tração.

Marinho et al. (2013), avaliaram as propriedades físicas e térmicas de um compósito de PU de mamona com partículas de bambu. Observou-se no estudo, que a adição progressiva do poliuretano nos percentuais de 10, 15 e 20% apresentou melhorias nas propriedades físicas de densidade, teor de umidade e variação de volume, além de provocar sensíveis reduções no índice máximo de absorção em água. Esses desempenhos foram associados à elevada capacidade de adesão e as características hidrofóbicas do PU.

### 3 METODOLOGIA

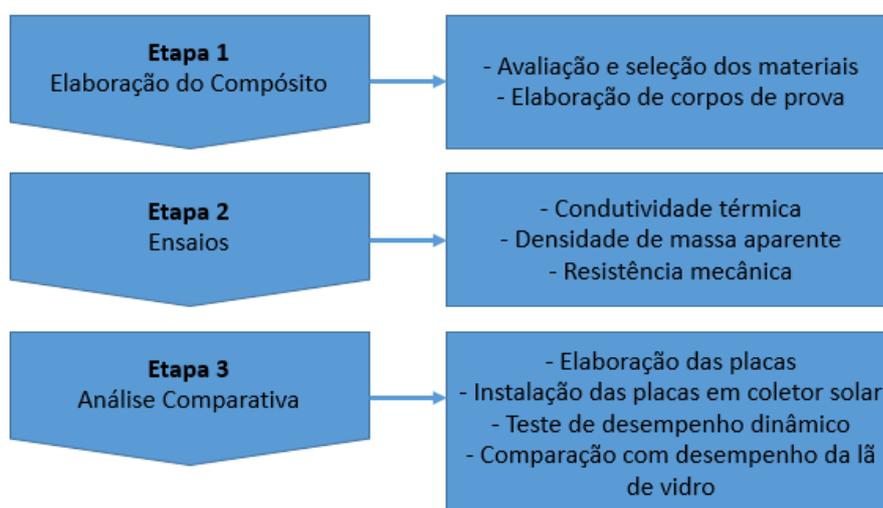
O presente capítulo aborda a descrição do planejamento experimental utilizado na condução da pesquisa, no intuito de elaborar e caracterizar um compósito à base de talos de girassol para uso como material alternativo de isolamento térmico.

#### 3.1 DELINEAMENTO DA 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. No que tange aos objetivos, apresenta caráter explicativo, tendo em vista o intuito de elucidar o potencial isolante de componentes naturais, como o talo de girassol, para uso como isolante térmico.

A abordagem é quantitativa e devido ao caráter investigativo do estudo, que pretende identificar por meio de testes a melhor composição para que se obtenha um isolante térmico com as propriedades necessárias, 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 experimentados, a fim de demonstrar as relações de causa e efeito entre as variáveis escolhidas para análise. Na Figura 11, consta as etapas que compreenderam o desenvolvimento da pesquisa.

Figura 11 – Etapas da pesquisa



### 3.2 ETAPA 1 - ELABORAÇÃO DO COMPÓSITO

O compósito foi elaborado utilizando talos de girassol e uma resina a base de poliuretano vegetal originado do óleo de mamona, como material aglutinante. Os talos de girassol foram obtidos em duas lavouras experimentais, uma da Sociedade Educacional Três de Maio/RS e outra da Universidade Federal de Santa Maria. Os mesmos foram armazenados em local seco e arejado, sob temperatura ambiente.

A avaliação preliminar dos talos de girassol considerou sua disponibilidade e integridade física. Não houve uma padronização dos talos de girassol quanto à variedade utilizada, já que o monitoramento desse fator exigiria dispor de uma maior quantidade de talos e determinadas condições de plantio e colheita, que normalmente é cultivada apenas uma vez ao ano. Também não existiu um tratamento cultural com a finalidade de obter talos mais volumosos e adequados à utilização como material isolante.

O material aglomerante utilizado foi doado pela empresa Imperveg®, localizada em Aguaí, São Paulo. No compósito desenvolvido, foi utilizada a resina AGT 1315, que, conforme dados da fabricante, pode ser aplicada como adesivo e/ou aglomerante para formação de compósitos com fibras vegetais. A ficha técnica da resina encontra-se no Anexo A.

A resina é isenta de solventes, não libera vapores tóxicos e é formulada pela mistura a frio de um pré-polímero (componente A) e um polioliol (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). O material tem consistência fluída, tempo de cura e manuseio de 24 horas e resiste a uma temperatura de até 210 °C.

Após a seleção e definição dos materiais a serem utilizados, iniciou-se o desenvolvimento dos corpos de prova, a fim de se determinar a composição mais adequada para o compósito. No intuito de obter um material homogêneo e resistente, que facilitasse sua confecção, aplicação e manuseio, optou-se por utilizar o talo de girassol triturado.

Inicialmente foram elaborados alguns corpos de prova para que fosse possível avaliar determinadas variáveis, como o comportamento do molde, a integridade do compósito e a agregação da resina à fibra. A partir das observações realizadas nessas amostras, foi possível determinar a quantidade ideal de resina a ser utilizada, para que o compósito ficasse com uma boa resistência mecânica, sem ter que utilizar grande quantidade de aglomerante, assim como definir o material mais apropriado para confecção do molde. Na Figura 12 é apresentado o processo de obtenção do compósito.

Figura 12 – Processo de fabricação do compósito de talos de girassol desenvolvido na pesquisa



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Inicialmente, os talos de girassol (A) foram triturados, sem haver separação da casca e medula, em um triturador forrageiro da marca Trapp, modelo TRF 70, resultando em partículas de tamanhos irregulares (B). Após, os mesmos foram misturados manualmente com a resina (C) e colocados no molde de madeira MDF (*Medium-Density Fiberboard*). O molde usado é desmontável para facilitar a desmoldagem (D). A formulação utilizada em massa foi de 20 g de girassol e 52,47 g de resina, sendo 20,99 g do componente A e 31,48 g do componente B. Para facilitar a desmoldagem das amostras, foi utilizado filme de PVC.

Para pesagem do material contou-se com o auxílio de uma balança de precisão digital, marca Scale, com capacidade de 0,1 a 500 g. Para que o aglomerado se acomodasse de maneira uniforme no molde, o mesmo foi submetido a uma pressão de 0,02 kgf/cm<sup>2</sup> em peso, durante 1 minuto. Para obtenção do compósito (E), o mesmo permaneceu no molde para secagem, em temperatura ambiente, durante 24 horas (tempo de cura da resina recomendado pelo fabricante).

### 3.3 ETAPA 2 – ENSAIOS

Como se pretendia obter um material substituto à lã de vidro, optou-se por realizar os

ensaios previstos na norma ABNT NBR 11361:2013, que estabelece os requisitos para fabricação de mantas termoisolantes à base de lã de vidro. A norma prevê outros requisitos além de condutividade térmica e densidade de massa aparente, no entanto eles não se aplicam ao isolante natural que se pretende desenvolver. Isso se deve às condições específicas de uso do compósito isolante, que será aplicado na parte interna de um coletor solar que opera numa faixa de temperatura de 70 °C a 90 °C, sem contato com o ambiente externo.

A fim de avaliar a resistência mecânica do material produzido, de modo a garantir sua integridade e facilidade de manuseio durante o uso, optou-se por realizar também o ensaio de flexão em três pontos, recomendado para materiais frágeis (NEWELL, 2010).

### 3.3.1 Ensaio de condutividade térmica

Para o ensaio de condutividade térmica foram produzidos nove corpos de prova de tamanho 100x100x20 mm. A fim de se identificar se existia relação entre o tamanho da partícula do talo de girassol e o valor de condutividade térmica do compósito, foram utilizados três tamanhos distintos de partículas para elaboração dos corpos de prova. As diferentes granulações foram obtidas por meio da utilização de três peneiras, de tamanhos 2, 3 e 5 mm, que são acessórias ao triturador utilizado. As misturas utilizadas para confecção dos corpos de prova foram feitas em triplicata, a fim de garantir a precisão dos resultados por meio da reprodutibilidade do método de fabricação de cada compósito. No Quadro 4, consta a representação do método de elaboração dos corpos de prova em triplicata.

Quadro 4 – Representação do método utilizado para confecção dos corpos de prova

<b>Classificação</b>	<b>Corpos de prova</b>		
Partícula A (5mm)	Corpo de prova 1	Corpo de prova 2	Corpo de prova 3
Partícula B (3mm)	Corpo de prova 1	Corpo de prova 2	Corpo de prova 3
Partícula C (2mm)	Corpo de prova 1	Corpo de prova 2	Corpo de prova 3

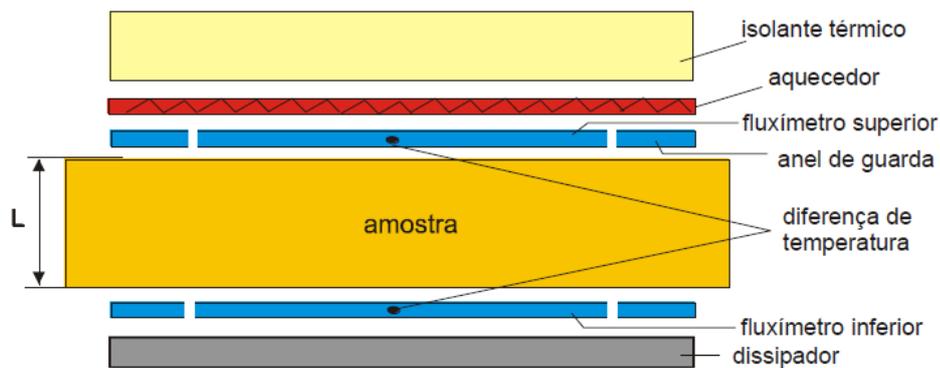
Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Para cada formulação, utilizando um dos três tamanhos de partículas avaliados, denominados (A, B e C), foram elaborados três corpos de prova, com as mesmas características e condições de fabricação, resultando em nove compósitos divididos em três subgrupos. Todas

as nove amostras foram elaboradas de acordo com o processo e formulação apresentados anteriormente, alterando somente o tamanho da partícula em cada um dos três subgrupos.

Foi medida a condutividade térmica de cada uma das amostras elaboradas. Os testes foram realizados pelo Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E), da Universidade Federal de Santa Catarina, em julho de 2016. A determinação da condutividade térmica foi feita utilizando o dispositivo ilustrado na Figura 13, conforme o método previsto na Norma Técnica ASTM C-518: “*Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus*”.

Figura 13 – Princípio do método de medição da resistência térmica usado na avaliação da condutividade térmica do compósito



Fonte: Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E) (2016).

A resistência térmica foi determinada a partir da Lei de Fourier:

$$R = \frac{T_1 - T_2}{\frac{q}{A}}$$

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 e “A” a área da amostra. Considerando que a amostra é homogênea, determinou-se a condutividade térmica do material ( $\lambda$ ) através da razão entre a espessura da amostra e a resistência térmica. A temperatura média do ensaio foi de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  e a incerteza estimada em 3%.

### 3.3.1.1 Análise Estatística

A fim de identificar se havia diferença significativa entre os valores de condutividade térmica obtidos com as diferentes formulações testadas, os resultados de condutividade térmica de cada um dos corpos de prova foram submetidos à análise de variância (ANOVA), suas médias ajustadas pelo método dos quadrados mínimos ordinários e comparadas pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

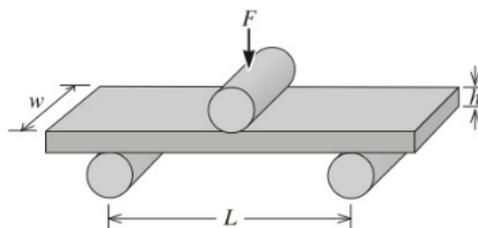
A partir do resultado dessa análise, foi escolhido um tamanho de partícula, que foi utilizado para confecção das demais amostras testadas nos ensaios de densidade de massa aparente, resistência mecânica e ensaio em uso para a análise comparativa.

### 3.3.2 Ensaio de resistência mecânica

Para determinação da resistência mecânica do compósito foi realizado o ensaio de flexão em três pontos, indicado para materiais frágeis como é o caso do talo de girassol. Para realização do ensaio foram confeccionadas três amostras de tamanho 160x40x30 mm, elaboradas com a composição escolhida mediante os resultados do teste de condutividade.

Conforme ilustra a Figura 14, o método consiste em aplicar uma força ( $F$ ) na superfície superior da amostra, colocando essa superfície sob compressão. Um par de apoios, separados a uma distância ( $L$ ), sustenta a parte inferior da amostra. À medida que a amostra começa a dobrar, sua parte de baixo é submetida a uma tensão de tração, cujo valor máximo ocorre no ponto médio entre os apoios inferiores.

Figura 14 – Representação do método de ensaio de flexão em três pontos usado na determinação da resistência mecânica das amostras



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

A resistência da amostra à flexão ou módulo de ruptura (MOR) é determinada pela

fórmula:

$$\sigma_{\text{flexão}} = \frac{3FL}{2wh^2}$$

A tensão de ruptura (F) foi determinada com o auxílio de um anel dinamométrico da marca Solotest, com capacidade para 675 kgf acoplado a uma máquina universal de ensaios também da marca Solotest, disponibilizados pelo Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da Universidade Federal de Santa Maria, observado na Figura 15.

Figura 15 – Equipamento utilizado para realização do ensaio de resistência à flexão das amostras



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

### 3.3.3 Ensaio de densidade de massa aparente

Este ensaio foi conduzido conforme método previsto na Norma ABNT NBR 11356: 1989, que é utilizada para determinação da densidade de massa aparente de isolantes térmicos à base de fibras minerais – painéis, mantas e feltros. Para determinação da densidade do compósito, foram utilizadas três amostras de tamanho 405x366x50 mm, elaboradas com a

composição escolhida mediante os resultados do teste de condutividade, seguindo as mesmas condições de fabricação descritas anteriormente.

A densidade das amostras foi medida com base no seu peso (em kg) e nas suas dimensões volumétricas (em m<sup>3</sup>) 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 Solotest, com capacidade para 10 kg, ambos disponibilizados pelo Laboratório de Materiais de Construção Civil da UFSM.

### 3.4 ETAPA 3 – ANÁLISE COMPARATIVA

Nesta etapa, buscou-se identificar o comportamento do compósito isolante desenvolvido em condições de uso. Para tanto, comparou-se o desempenho no aquecimento de água, de dois coletores solares térmicos iguais, expostos as mesmas condições de uso, um utilizando o isolante original de fábrica (lã de vidro) e no outro, o compósito isolante desenvolvido na forma de placas rígidas maiores, retangulares, aqui denominadas placas isolantes.

#### 3.4.1 Instalação das placas isolantes desenvolvidas no coletor solar

O ensaio foi realizado em março de 2017, na cidade de Santa Rosa/RS e os equipamentos utilizados foram disponibilizados por um professor pesquisador da Faculdade de Horizontina (FAHOR). Os coletores utilizados são da marca Bosch, possuem vidro impresso de transmitância 91% e superfície coletora de cromo-óxido de cromo sobre chapa de cobre. As dimensões do painel são de 1145x2070x90 mm; volume de líquido de 0,86 litros; estrutura tubular tipo harpa; com 9 tubos de coleta de calor; caixa em estrutura de fibra de vidro e chapa traseira em aço.

Para realização do teste foi necessário realizar adaptações no coletor solar a ser isolado termicamente com as placas obtidas a partir do compósito (Figura 16). A chapa de aço que forma a parte inferior do coletor foi serrada para a retirada da lã de vidro e inclusão de divisórias de madeira para encaixar e dar firmeza às placas a serem utilizadas como isolante térmico. A chapa de aço foi perfurada para colocação de parafusos que tiveram a finalidade de fixar as placas isolantes que são mais pesadas que a lã de vidro.

As divisórias foram alocadas em distâncias pré-definidas de forma que as placas elaboradas tivessem as mesmas dimensões, com exceção das placas para preenchimento das extremidades. Foram confeccionadas 14 placas isolantes, de tamanho 405x366x50 mm, para

ajustar-se perfeitamente ao tamanho das divisórias do coletor solar, sendo que duas foram recortadas com o auxílio de uma serra circular manual, para preenchimento das extremidades. A vedação final da placa foi realizada com silicone.

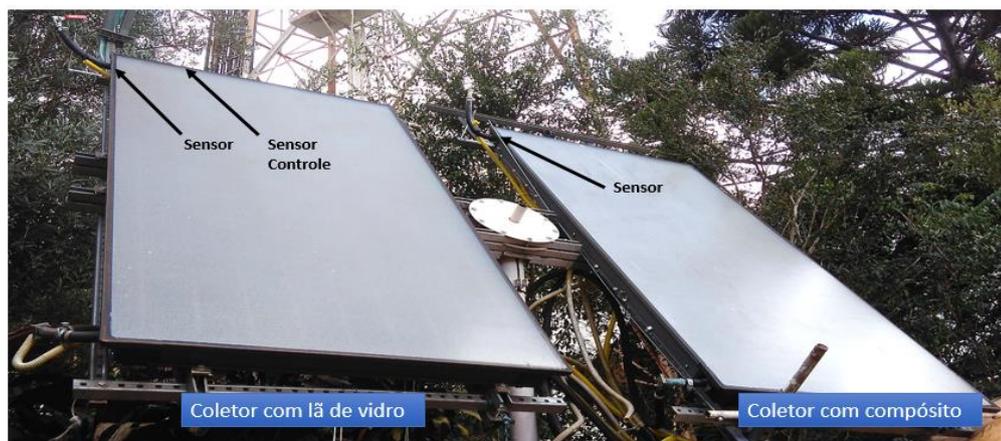
Figura 16 – Processo de instalação das placas isolantes no coletor solar



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Os coletores foram submetidos às mesmas condições ambientais e monitorados por sensores nas extremidades de saída de água quente. Os termômetros utilizados são da marca Full Gauge, modelo TIC-17RGTi com faixa de atuação de  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  até  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , resolução de  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , com mostrador digital. A localização dos sensores nos coletores é apresentada na Figura 17.

Figura 17 – Coletores solares usados na avaliação do desempenho em uso do compósito



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

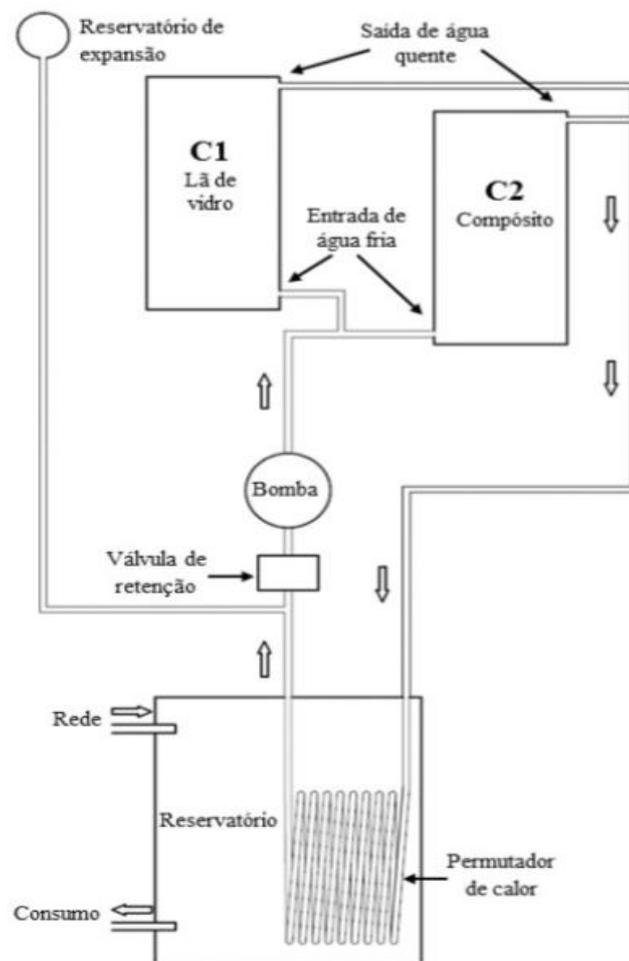
Foram utilizados dois sensores (Figura 17), colocados em poço na parte superior de cada

coletor junto à saída de água quente. O sensor controle, localizado no coletor original, também ficou em contato com a água quente, e tem como função acionar a bomba para saída da água quente e entrada de água fria. Ainda contou-se com um outro sensor destinado à leitura da temperatura ambiente. Os coletores através de um sistema de *tracking* seguiam o movimento do sol. Os dados foram registrados por filmagem para posterior análise das temperaturas instantâneas.

### 3.4.2 Ciclos de medição

Na Figura 18 é ilustrado o sistema de aquecimento utilizado para realização deste ensaio. No caso desse sistema, a transferência térmica do calor dos painéis solares para a água acontece por meio de transferência indireta.

Figura 18 – Sistema de aquecimento solar térmico utilizado para o ensaio



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Conforme Benito (2009), nos sistemas de transferência indireta utiliza-se um permutador de calor entre a água quente vinda dos painéis solares e a água para consumo contida no reservatório. Já no outro tipo de sistema, chamado de transferência direta, o líquido que percorre os coletores é a própria água destinada ao consumo, não sendo necessário o uso do permutador.

O ciclo de aquecimento inicia quando os coletores transformam a radiação solar em energia térmica mediante o aumento da temperatura da água que circula pelo seu interior. A água que circula dentro dos coletores não é utilizada para consumo, já que nela é misturado um fluido, o etilenoglicol, que evita que a água se solidifique ou superaqueça e protege o sistema hidráulico contra oxidações (Figura 18). A capacidade interna de cada placa é para aquecer 0,86 litros de água.

Quando a temperatura da água dentro do coletor original (C1) alcança 90 °C no sensor controle a bomba é acionada e transporta água fria para o coletor e a água quente retorna para o permutador de calor dentro do reservatório. O permutador de calor normalmente utilizado em pequenas instalações como a desse estudo, é uma serpentina de cobre, que têm por função transferir o calor da água aquecida nos coletores para a água de consumo dentro do reservatório, isolando assim a água com fluido da água para consumo. A histerese foi fixada em 19 °C, portanto a bomba é desligada quando a temperatura da água atinge 71 °C, iniciando um novo ciclo de aquecimento.

Considerou-se como medidas de análise, as temperaturas da água dos dois coletores por minuto, no intervalo de tempo entre o desligamento e acionamento da bomba, que representa o ciclo de aquecimento da água. Assim, o ciclo de aquecimento compreende o período em que a temperatura da água no sensor controle varia dos 71 aos 90 °C. Os dados foram coletados durante três dias consecutivos de sol no mês de março de 2017.

Devido ao fato do sensor controle ter que atravessar a parede superior do coletor e a tubulação de cobre, onde fica a água, houve um atraso da leitura da temperatura da água em relação ao outro sensor que está em contato direto com a água quente. Desta forma, as temperaturas medidas pelos outros sensores que estão em poço atingem os 90 °C mais depressa, podendo registrar temperaturas acima deste valor.

### **3.4.3 Análise dos dados**

Como os dados não seguem a curva normal, a comparação entre o desempenho dos dois painéis foi feita por meio da aplicação do teste não paramétrico de Mann-Whitney, utilizado

para avaliar a existência de diferença significativa entre os dados de duas amostras independentes ao nível de 5% de significância. A normalidade dos dados foi avaliada pelos testes de Lilliefors, Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk's. Os testes foram realizados com o auxílio do *software* Statistica versão 7.0. Gráficos foram elaborados a fim de ilustrar as temperaturas máximas e mínimas obtidas durante os dias de coleta, assim como o comportamento das temperaturas durante alguns ciclos de aquecimento.

## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos quanto à proposta de elaboração e caracterização de um compósito à base de talos de girassol para uso como material alternativo de isolamento térmico. A solução aqui apresentada foi elaborada com base nos princípios de produção mais limpa que visam a reutilização de resíduos do processo produtivo e a redução da geração de resíduos e emissões na fonte por meio de modificações no produto.

Quando se utiliza a estratégia da PML para buscar soluções alternativas para processos e produtos, que visem reduzir ou eliminar impactos ambientais e otimizar o uso de matérias-primas, água e energia, é preciso avaliar as soluções propostas do ponto de vista técnico, econômico e ambiental, a fim de identificar sua aplicabilidade industrial.

### 4.1 AVALIAÇÃO TÉCNICA

A avaliação técnica do compósito se deu através de testes de condutividade térmica, resistência mecânica, densidade de massa aparente e, análise comparativa do desempenho em uso do compósito desenvolvido com a lã de vidro no isolamento térmico de coletor solar.

#### 4.1.1 Propriedades térmicas

A partir dos ensaios de condutividade térmica realizados em nove amostras, confeccionadas com três diferentes tamanhos de partículas de girassol triturado, identificou-se por meio dos testes estatísticos, não haver diferença significativa a nível de significância de 5% entre os valores de condutividade para as diferentes formulações, o que indica que o tamanho da partícula não influenciou de maneira significativa na capacidade de conduzir energia térmica.

No Quadro 5 constam os valores obtidos para cada tipo de formulação usada. Embora, os mesmos tenham sido superiores aos de materiais mais empregados para isolamento como a lã de vidro, que conforme a ABNT (2005b) é de 0,045 W/mK, no Brasil não há norma específica que determine um valor máximo de condutividade para que o material seja considerado isolante térmico. Existem padrões que determinam valores de transmitância térmica aceitáveis para materiais de isolamentos serem usados em paredes, que dependem de valores baixos de condutividade.

Quadro 5 – Valores de condutividade térmica das amostras elaboradas em três tamanhos de partículas de talos de girassol

Amostras	Condutividade térmica (W/mK)			Condutividade média (W/mK)
Partícula A (5mm)	0,0894	0,0962	0,0928	0,0928
Partícula B (3mm)	0,0947	0,0942	0,0952	0,0947
Partícula C (2mm)	0,0968	0,1034	0,0902	0,0968

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Em um estudo recente, onde foi avaliado o desempenho de materiais alternativos para isolamento térmico, elaborados a partir de fibras e resíduos agrícolas, Asdrubali, D'Alessandro e Schiavoni (2015) classificaram como materiais de fraco desempenho térmico, aqueles que apresentam condutividade térmica superior a 0,08 W/mK e aqueles com valores abaixo de 0,05 W/mK como sendo os de melhor desempenho. Os demais foram considerados de desempenho intermediário.

A Figura 19 mostra o aspecto das amostras testadas. Conseqüentemente em virtude da diminuição da partícula, há uma diminuição de espessura mais acentuada nas amostras com a partícula C (malha de 2 mm). Ao se triturar o talo de girassol nas malhas das partículas B e C, o mesmo acabava por render menos, em termos de quantidade, que a partícula A. Além disso, pelo fato da parte interna do girassol ser muito leve, ao diminuir o tamanho da partícula havia perda do material no ambiente de processamento.

Figura 19 – Amostras elaboradas para determinação da condutividade térmica usando três tamanhos de partículas de talos de girassol



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Mati-Baouche et al. (2014a) comprovou que a utilização de tamanhos de partículas maiores em compósitos com talo de girassol, resultou em performances mecânicas e térmicas superiores. Diante de tais aspectos, optou-se pela partícula A, de tamanho maior, para confecção das placas. Assim, o valor da condutividade do compósito desenvolvido, tendo como base o valor médio obtido com a formulação contendo a partícula A, foi de 0,0928 W/mK.

Também é preciso considerar, que o desempenho térmico do material irá depender de onde o material isolante será usado e a que condições e temperaturas será exposto, pois como observado no trabalho de Rosa et al. (2015), mesmo que o compósito desenvolvido tenha apresentado um valor de condutividade de 0,103 W/mK, o mesmo comprovou apresentar desempenho próximo ao da lã de vidro para isolamento de coletor solar.

No Quadro 6, é apresentado uma comparação entre os valores de resistência térmica, obtidos com dados de espessura e condutividade térmica, das amostras confeccionadas, considerando o aumento da espessura do compósito para 5cm.

Quadro 6 – Resistência térmica das amostras elaboradas usando partículas de talos de girassol em tamanhos A, B e C

Amostras	Espessura amostras (cm)	Resistência térmica amostras (m <sup>2</sup> ·K)/W	Resistência térmica para 5 cm (m <sup>2</sup> ·K)/W
Partícula A	2,298	0,257	0,559
Partícula A	2,338	0,243	0,519
Partícula A	2,321	0,25	0,538
Partícula B	1,854	0,195	0,527
Partícula B	1,854	0,196	0,530
Partícula B	1,832	0,192	0,525
Partícula C	1,654	0,17	0,516
Partícula C	1,631	0,157	0,483
Partícula C	1,989	0,22	0,554

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Levando-se em consideração a resistência térmica do material, observa-se que é possível obter mais eficiência no isolamento à transmissão de calor quando aumenta-se a espessura do material utilizado.

Embora não exista diferença significativa entre os valores de condutividade para as diferentes formulações, nota-se um pequeno aumento no valor de condutividade à medida que há diminuição no tamanho da partícula. Tal fato já foi detectado nos estudos de Wei et al. (2015), onde foi elaborado um isolante térmico a base de palha de arroz usando prensagem a quente.

Pelo fato da medula do talo de girassol (parte interna) apresentar baixa densidade, leveza

e fragilidade, e a casca ser mais resistente, as partículas obtidas não possuem uma uniformidade. Ao triturar o material é possível obter maiores quantidades de medula ou casca, dependendo do tamanho e diâmetro do talo utilizado, já que há variedades da planta com caule mais fino e outras com caule mais grosso, fator esse que também é influenciado pelas condições de clima e solo. Assim, o compósito fica com um aspecto irregular, com cavidades aparentes, visíveis a olho nu (Figura 20). No entanto, em estudos anteriores como de Penec et al. (2013) demonstrou-se que os vazios, dentro de certos limites, não têm qualquer efeito real sobre as propriedades de isolamento térmico das misturas originais devido à transferência de calor por radiação, que também ocorre nestes materiais.

Figura 20 – Aparência do compósito desenvolvido



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

O valor de condutividade do compósito desenvolvido, embora superior aos isolantes convencionais é inferior a muitos materiais utilizados para construção de edificações como: tijolos e telhas de barro (0,7 a 1,5 W/mK), concreto (1,75 W/mK) e argamassa (1,15 W/mK) (ABNT, 2005b). Nos estudos envolvendo o uso do talo de girassol para isolamento térmico, os menores valores de condutividade térmica obtidos foram entre 0,06 e 0,054 W/mK (SUN et al., 2015; MATI-BAOUCHE et al., 2014a; KOCAMAN; SISMAN; GEZER, 2011).

#### **4.1.2 Propriedades mecânicas**

No Quadro 7 estão descritos os valores para a tensão de ruptura (carga recebida no momento da fratura) e do módulo de ruptura, que representa a resistência do material à flexão. Como o ensaio foi feito em triplicata, obteve-se variação nos resultados. Conforme Newell

(2010), toda vez que uma amostra diferente, mas supostamente igual, é testada por qualquer método para avaliar suas propriedades mecânicas, será obtido um resultado pelo menos ligeiramente diferente do obtido antes. Conforme o autor isso se deve a fatores como o modo e condições de preparação das amostras e a questão de que todos os tipos de ensaios estão sujeitos a erros aleatórios inerentes. Desta forma normalmente se usa como referência o valor médio dos resultados obtidos, que no caso para o compósito desenvolvido é de 5,87 MPa.

Quadro 7 – Resultados do ensaio de flexão em três pontos em triplicata

<b>Amostras</b>	<b>Tensão de ruptura (N)</b>	<b>Módulo de ruptura -MOR (MPa)</b>
Amostra 1	1.398,35	5,83
Amostra 2	1.549,31	6,46
Amostra 3	1.274,85	5,31

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Materiais comuns de isolamento como a lã de vidro, devido às suas características, não apresentam um valor mínimo de resistência mecânica na norma que trata sobre isolantes térmicos à base de fibras minerais (ABNT, 1989). Assim, foram feitas algumas comparações com os valores obtidos a partir do mesmo ensaio, em outros compósitos e outros materiais utilizados na construção civil.

A norma ABNT NBR 13281: 2005 que determina os requisitos para a fabricação de argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos, define os valores de resistência à tração na flexão, que podem variar de 1,0 a 4,5 MPa. Um compósito desenvolvido com sabugo de milho por Binici, Askogan e Demirhan (2016) apresentou resistência a flexão de 0,13 MPa.

Nos experimentos de Panyakaew e Fotios (2011), a resistência a flexão dos compósitos desenvolvidos com casca e bagaço de coco variaram respectivamente de 0,12 a 1,94 MPa e 0,43 a 4,16 MPa. Conforme os autores, o aumento do MOR ocorreu conforme o aumento da densidade das placas. Fiorelli et al. (2012) avaliaram o desempenho térmico e mecânico de um compósito de fibra de coco, utilizando a mesma resina usada como aglomerante nesta pesquisa. As avaliações demonstraram que as amostras produzidas com PU de mamona tem valor de MOR superior às desenvolvidas com ureia-formaldeído, como aglomerante. Os valores foram de 18 e 16,5 MPa.

As performances mecânicas dos compósitos elaborados na pesquisa são suficientes para garantir segurança no manuseio e transporte do material, tanto para realização dos ensaios, quanto para futura aplicação industrial do mesmo. Mesmo cortado ou fraturado o compósito

não se desintegra, conforme ilustra a Figura 21, configurando-se como um material homogêneo, de forte resistência mecânica.

Figura 21 – Momento do teste de flexão e seção transversal das três amostras após fratura no teste



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Em pesquisas que usaram o talo de girassol inteiro como a de Rosa et al. (2015), notou-se certa dificuldade no manuseio do material que não possuía aspecto homogêneo, e se desintegrava quando cortado. Segundo Jelle (2011), um dos requisitos importantes para os futuros materiais de isolamento térmico é que eles possam ser cortados para adaptação no local de seu uso, sem perder sua resistência térmica.

A Figura 22, mostra recortes feitos no material usando serra circular para alguns ajustes quando da sua montagem no coletor solar. Os testes realizados confirmaram que o bom desempenho mecânico se deve à quantidade de aglomerante usado e tamanho das partículas de talos de girassol. Estudos semelhantes também relacionam a resistência do compósito obtido com essas duas variáveis. Em experimentos utilizando palha de arroz, Wei et al. (2015) identificaram que a resistência a flexão dos compósitos aumentava proporcionalmente ao aumento do tamanho da partícula. Assim como, Mati-Baouche et al. (2014a) afirmam em seu

estudo que o aumento da proporção de quitosana em compósito à base de talos de girassol resultou em aumento da resistência mecânica.

Figura 22 – Vista em detalhes dos recortes na placa isolante para adaptação no coletor solar



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Panyakaew e Fotios (2011) afirmam que uma determinada condição de pressão é requerida para produzir placas de isolamento com boa resistência à flexão. Durante os ensaios realizados no compósito desenvolvido por Evon et al. (2014), os autores identificaram que o aumento da resistência à flexão, aumentou respectivamente com o aumento da temperatura de prensagem, pressão e tempo de moldagem. Como as amostras desenvolvidas também foram submetidas a pressão para obter uma melhor uniformidade na forma das mesmas, é possível que esse fator tenha contribuído para seu bom desempenho mecânico.

#### **4.1.3 Propriedades físicas**

A determinação das propriedades físicas do compósito desenvolvido foi feita com base na avaliação da sua densidade de massa aparente, já que a mesma tem relação com a principal medida de um material de isolamento – a condutividade térmica (FROTA; SCHIFFER, 2001). No Quadro 8 são apresentados os resultados obtidos. A densidade média do compósito foi de  $350,59 \text{ kg/m}^3$ .

Quadro 8 – Valores da densidade de massa aparente avaliadas em triplicata

<b>Amostras</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Amostra 1	2,630	0,0073	361,40
Amostra 2	2,561	0,0075	339,60
Amostra 3	2,599	0,0074	350,78

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Nota-se que há uma diferença muito pequena entre os valores de peso e volume entre as três amostras. Também não houve variação significativa no peso e nas dimensões das amostras em relação à quantidade de material usado. A resina forma apenas uma película que une os componentes.

No Quadro 9 são listados alguns materiais isolantes convencionais, alguns produzidos a partir de fibras vegetais e respectivos valores de condutividade térmica e densidade. À medida que a densidade aumenta, a condutividade dos materiais também aumenta. No compósito confeccionado a partir de talos de algodão, por exemplo, a condutividade variou de 0,059 W/mK para 0,082 W/mK conforme o aumento da densidade do compósito, que foi de 150 a 450 kg/m<sup>3</sup>. Segundo Benmasour et al. (2014) existe uma relação diretamente proporcional entre a densidade dos compósitos e a condutividade térmica. Conforme os autores, o aumento da quantidade de vazios de ar no interior do compósito leva a diminuir a sua densidade, elevando sua resistência térmica, resultando numa menor condutividade térmica.

Quadro 9 – Valores de condutividade e densidade de diversos materiais usados como isolamento térmico

<b>Classificação</b>	<b>Isolante</b>	<b>Condutividade (W/mK)</b>	<b>Densidade (kg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Isolantes convencionais</b>	Lã de rocha	0,045	20-200
	Lã de vidro	0,045	10-100
	Poliestireno expandido moldado	0,04	15-35
	Poliestireno extrudado	0,035	25-40
	Espuma rígida de poliuretano	0,03	30-40
<b>Isolantes de fibras vegetais (compósitos)</b>	Bagasso de cana-de-açúcar	0,046-0,055	70-350
	Folhas de abacaxi	0,035-0,042	178-232
	Talos de algodão	0,059-0,082	150-450
	Espiga de milho	0,101	171-334
	Casca de arroz	0,046-0,057	154-168

Fonte: Adaptado de ABNT (2005a) e Asdrubali, D'Alessandro e Schiavoni (2015).

Wei et al. (2015) afirmam que a condutividade térmica pode aumentar com o aumento da temperatura, umidade e densidade. Em trabalhos utilizando o talo de girassol para confecção de compósitos isolantes, como o de Evon et al. (2014), o melhor índice de condutividade, 0,088 W/mK, foi obtido com a placa de menor densidade ( $500 \text{ kg/m}^3$ ). Por outro lado, o compósito de talos de girassol com quitosana de Mati-Baouche et al. (2014a) obtiveram um melhor resultado de condutividade – 0,056 W/mK, com uma densidade de  $150 \text{ kg/m}^3$ .

Alguns estudos verificaram uma diminuição da condutividade com a redução da densidade, resultando, porém, em um compósito mais frágil, indicando que valores mais altos de densidade elevam as propriedades mecânicas do compósito (EVON et al., 2014; WEI et al., 2015; PANYAKAEW; FOTIOS, 2011).

Na norma de fabricação da lã de vidro no Brasil, ABNT NBR 11356:1989 não existe um valor estipulado como padrão para a densidade, podendo ela variar de 10 a  $100 \text{ kg/m}^3$  como previsto na norma ABNT NBR 15220: 2005. Desta forma, existem autores que consideram valores entre  $250$  a  $450 \text{ kg/m}^3$  ainda relativamente baixos (PANYAKAEW; FOTIOS, 2011). Inclusive os mesmos autores, desenvolveram um compósito isolante de bagaço de coco, sem uso de aglomerante, que apresentou valores de condutividade de 0,046 a 0,068 W/mK com densidades entre 250 e  $350 \text{ kg/m}^3$ .

#### **4.1.4 Desempenho do compósito em uso**

As placas para isolamento térmico confeccionadas com o compósito obtido na pesquisa, foram instaladas num coletor solar. Feita a regulagem do sistema de aquecimento, foram coletados dados de temperaturas instantâneas de 22 ciclos de aquecimento de água.

A duração dos ciclos e respectivas temperaturas de aquecimento dependem da incidência de raios solares na superfície dos coletores. Dependendo das condições climáticas e da localização do sistema de aquecimento solar é possível ter ciclos mais longos ou mais curtos, assim como temperaturas mais baixas ou mais altas. O sistema de aquecimento usado nos testes serve para testes e experimentos e está localizado em um local onde há incidência de sol entre 09 e 16:30 h.

Dos 22 ciclos foram coletados 152 valores de temperaturas da água dos dois coletores (item 3.4). O ciclo de medição é descrito no item 3.4.2. No momento do desligamento da bomba, inicia o aquecimento dos coletores, sendo as temperaturas coletadas a cada minuto até a bomba ser acionada novamente. Os dois coletores são identificados como C1 (coletor isolado com lã de vidro) e C2 (coletor isolado com as placas confeccionadas com o compósito).

Na Tabela 1 é apresentada a estatística descritiva de cada ciclo para os dois coletores (média, desvio-padrão e coeficiente de variação).

Tabela 1 – Análise estatística descritiva do conjunto de observações para os coletores C1 e C2

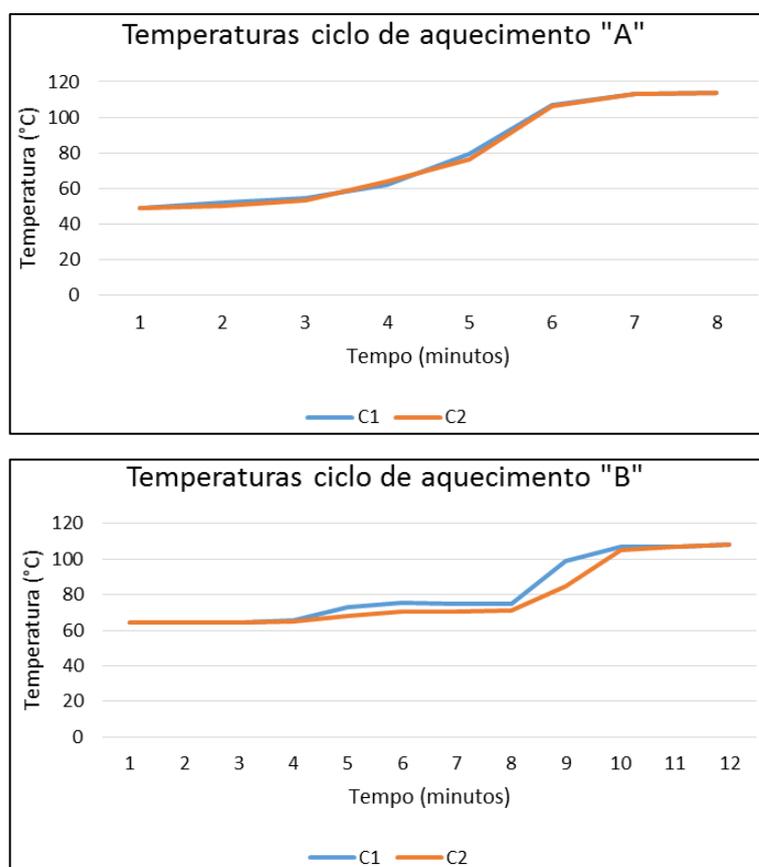
<b>Ciclos</b>	<b>Coletores</b>	<b>Média (°C)</b>	<b>Desvio-padrão (°C)</b>	<b>Coeficiente de Variação (%)</b>
1	C1	78,94	28,45	36,04
	C2	78,36	28,51	36,39
2	C1	78,48	28,37	36,15
	C2	75,04	26,88	35,82
3	C1	84,26	28,78	34,15
	C2	82,37	28,39	35,67
4	C1	82,57	27,98	33,89
	C2	77,44	27,36	35,33
5	C1	83,21	28,26	33,95
	C2	80,5	28,88	35,88
6	C1	86,13	28,03	32,54
	C2	82,98	28,15	33,92
7	C1	88,43	27,85	31,49
	C2	84,04	27,05	32,19
8	C1	88,91	27,25	30,65
	C2	85,17	27,32	32,08
9	C1	90,07	26,62	29,55
	C2	86,06	27,32	31,75
10	C1	88,02	26,14	29,7
	C2	84,13	26,75	31,79
11	C1	87,47	25,75	29,44
	C2	83,8	26,08	31,12
12	C1	88,5	24,63	27,82
	C2	84,52	25,32	29,96
13	C1	88,2	24,35	27,61
	C2	84,03	24,8	26,07
14	C1	88,23	24,23	27,46
	C2	84,68	24,58	29,02
15	C1	87,77	23,84	27,16
	C2	84,32	24,02	28,49
16	C1	91,33	23,36	25,58
	C2	88,47	24,23	27,38
17	C1	93,67	23,33	24,91
	C2	92,93	24,06	25,89
18	C1	91,13	23,61	25,91
	C2	90,43	23,93	26,46
19	C1	91,37	22,25	24,36
	C2	88,73	22,65	25,53
20	C1	90,95	22,52	24,76
	C2	90,33	22,77	25,21
21	C1	92,38	20,93	22,65
	C2	88,93	21,72	24,42
22	C1	81,42	18,23	22,39
	C2	78,6	17,21	22,66

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

A análise indica que o coletor C1 manteve a água a temperaturas um pouco mais elevadas (média geral dos valores: 86,96 °C) e o coletor C2, apresentou uma variação maior das temperaturas durante os ciclos (desvio-padrão geral dos valores: 24,06 °C).

A Figura 23 ilustra o comportamento das temperaturas avaliadas de dois ciclos de aquecimento, denominados A e B.

Figura 23 – Comportamento das temperaturas da água durante os ciclos de aquecimento A e B observado nos coletores C1 e C2

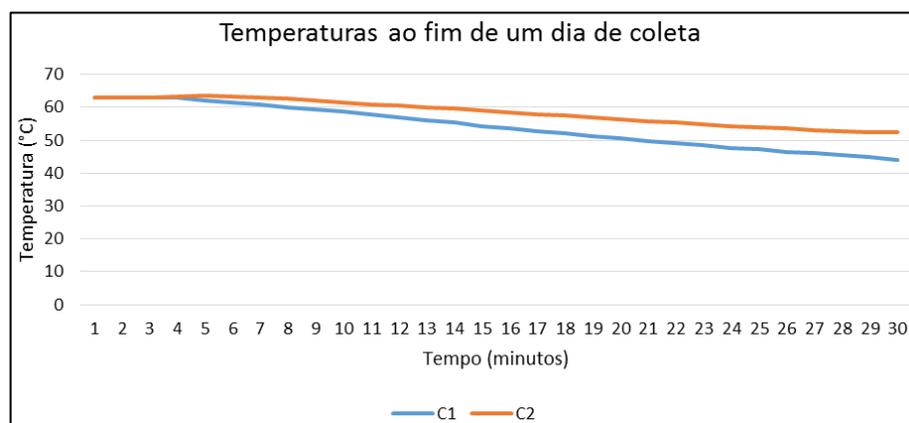


Fonte: Dados da pesquisa (2017).

O ciclo A foi coletado próximo às 13 horas e o ciclo B próximo às 17 horas. Mesmo sob essas condições e sabendo que o coletor C2 apresenta maior variação nas temperaturas durante os ciclos, C1 e C2 iniciam e terminam os ciclos com praticamente a mesma temperatura. Esse comportamento se repetiu em todos ciclos avaliados. Na representação do ciclo de aquecimento B (Figura 23), nota-se que há períodos em que o coletor com lã de vidro atinge temperaturas mais altas mais rápido que o coletor com o compósito, mas com o passar do tempo a temperatura se estabiliza.

Durante a coleta de dados, observou-se que ao final do dia, após vários ciclos de aquecimento, o coletor C2 manteve a temperatura da água mais elevada, conforme ilustra a Figura 24. Esses dados foram coletados após o último ciclo de aquecimento de um dia de coleta, ao final da tarde.

Figura 24 – Temperaturas da água ao fim de um dia de coleta observadas nos coletores C1 e C2



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Conforme a temperatura ambiente foi se estabilizando, não tendo mais incidência do sol na superfície dos coletores, o coletor C2 com o compósito manteve a água à temperaturas mais elevadas, situação que se repetiu durante todos os dias de coleta.

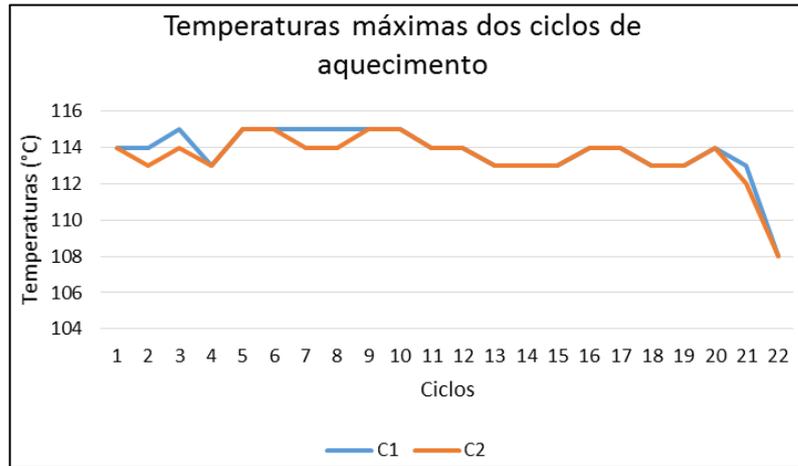
A ocorrência de tal fato pode ser explicada por uma propriedade chamada difusividade térmica. Conforme Bergman et al. (2014), a difusividade térmica representa a velocidade com que o calor se difunde por meio de um material. Sua determinação se dá através do cálculo da razão entre a condutividade térmica (condução de calor) e a capacidade térmica do material (armazenamento de calor). Em geral materiais isolantes apresentam menor valor de difusividade térmica, indicando que a maior parte do calor recebido é absorvido pelo material.

Como na pesquisa não foi determinado o calor específico do compósito desenvolvido, não foi possível realizar o cálculo da capacidade térmica e comparar os valores de difusividade de ambos os isolantes. Contudo, o comportamento das temperaturas em C1 e C2 ao final dos ciclos de aquecimento indica, que o compósito, com maior densidade e baixa condutividade, quando comparado à lã de vidro, apresenta menor difusividade térmica, retendo calor por mais tempo em seu interior.

As temperaturas máximas da água durante os ciclos de aquecimento se mantiveram as mesmas na maior parte dos ciclos, conforme mostra a Figura 25. Nos períodos onde o coletor

C1 apresentou temperaturas mais elevadas a diferença entre as temperaturas medidas no coletor C2 não passou de 1°C. A maior temperatura atingida durante os dias de coleta foi de 115 °C para ambos os coletores. As médias foram de 113,73 °C para C1 e 113,5 °C para C2.

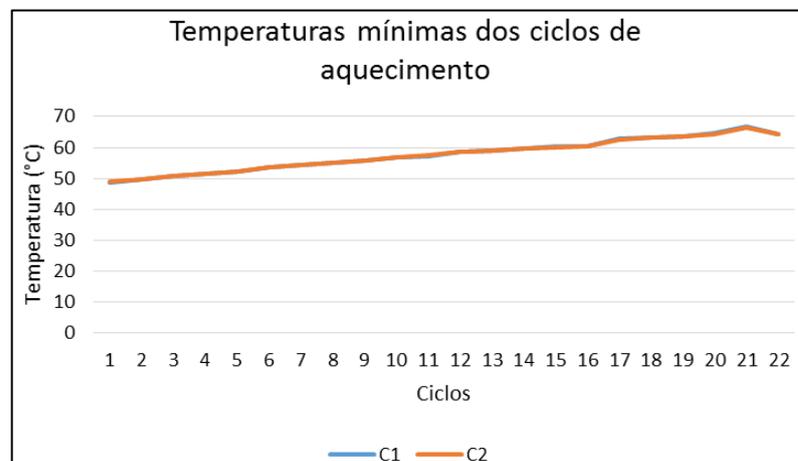
Figura 25 – Temperaturas máximas dos ciclos de aquecimento observadas nos coletores C1 e C2



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

As temperaturas mínimas (primeira medida do início de cada ciclo de aquecimento), apresentam valores semelhantes em todos os ciclos avaliados (Figura 26). A média nos dois coletores foi de 57,63 °C.

Figura 26 – Temperaturas mínimas dos ciclos de aquecimento observadas nos coletores C1 e C2



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Com base nas informações apresentadas, há indícios de que não houve diferença significativa entre o desempenho dos dois coletores. O resultado do teste de Mann-Whitney, indicou que estatisticamente, a um nível de 95% de confiança, não existe diferença significativa entre os valores de temperatura da água dos dois coletores durante os ciclos de aquecimento. O teste apresentou um *p-valor* de 0,33, que foi maior que o nível de significância do teste (0,05), o que indica que os valores de temperatura são aproximadamente iguais em C1 e C2.

Um estudo semelhante feito por Rosa et al. (2015), também usando um compósito com talos de girassol, casca de arroz, juta e gesso, como isolante térmico em coletores semelhantes aos usados na pesquisa, demonstrou que mesmo o compósito apresentando um valor superior de condutividade térmica, os resultados de desempenho no aquecimento de água foram estatisticamente iguais.

Mesmo apresentando um valor de condutividade mais elevado que a lã de vidro, em condições de uso para isolamento em coletor solar, o compósito apresentou desempenho semelhante ao isolante durante os ciclos de aquecimento de água. Contudo, a realização de mais avaliações, considerando a exposição dos coletores sobre diferentes condições de operação, clima, período e tempo de uso, forneceriam indicações mais concisas sobre o efetivo comportamento do compósito.

#### 4.2 AVALIAÇÃO ECONÔMICA

O compósito obtido na pesquisa tem como componente principal o talo de girassol. Existem incertezas em estimar seu custo, uma vez que se trata de um resíduo sem interesse comercial. Optou-se então por realizar uma estimativa do custo de fabricação do compósito isolante desenvolvido.

Pesquisas como a de Perlack e Turhollow (2003) definiram o custo da palha de milho, resíduo utilizado na produção de etanol, como sendo a soma do pagamento ao agricultor, do custo de transporte (lavoura até a indústria; lavoura até depósito; depósito até indústria), e do custo de armazenamento. Assim, para determinar o custo do talo de girassol é necessário avaliar custo de transporte e mão-de-obra do agricultor, que depende da distância a ser percorrida com o produto e da quantidade de talos necessária.

O custo de uma placa elaborada com o compósito está apresentado no Quadro 10. Considerou-se apenas o custo da matéria-prima empregada no processo, uma vez que sua produção foi artesanal. As quantidades estão apresentadas por unidade de medida padrão, como quilogramas (kg), metro (m) e kWh (quilowatt-hora). O talo de girassol e a resina foram obtidos

por meio de doação. Considerou-se como valor de custo do talo de girassol, um custo equivalente ao de resíduos de culturas de milho, trigo e aveia comercializados em uma cooperativa da região norte do Rio Grande do Sul. O custo da resina foi fornecido pela empresa fabricante, sem considerar o valor do frete.

Quadro 10 – Custo de fabricação de uma placa isolante elaborada com o compósito desenvolvido na pesquisa

<b>Material</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo unitário (R\$)</b>	<b>Total (R\$)</b>
Talo de girassol	0,741115 (kg)	0,65	0,48
Resina	1,9439 (kg)	36,95	71,83
Molde	1 unidade	3,21	3,21
Desmoldante	1,5 (m)	0,29	0,44
Energia	0,0695 (kWh)	0,77	0,054
<b>Custo total por placa</b>			<b>76,01</b>
<b>Custo total por (m<sup>2</sup>)</b>			<b>512,78</b>

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

O molde feito sob medida em MDF foi adquirido em uma empresa fabricante de móveis planejados da cidade de Santa Maria a um custo de R\$ 45,00. Como o mesmo molde pode ser utilizado para fazer inúmeras placas, atribui-se o custo de R\$ 3,21 levando-se em consideração que as 14 placas elaboradas durante a pesquisa foram feitas com o mesmo molde.

No caso do desmoldante levou-se em consideração o valor comercial do filme PVC. O custo da energia consumida para triturar os talos de girassol, foi determinado a partir das especificações técnicas do equipamento triturador (1,33 kWh) e o tempo gasto para triturar material para a confecção de uma placa (3 minutos). Para o valor do quilowatt-hora considerou-se o preço cobrado pela empresa distribuidora de energia no mês de março de 2017 na região central do estado do Rio Grande do Sul.

Os valores do Quadro 10, indicam o custo da placa confeccionada com o compósito no valor de R\$512,78/m<sup>2</sup>, muito acima do preço comercial da lâ de vidro - em torno de R\$8,60/m<sup>2</sup>. A resina usada como aglomerante representa 95% do custo total da placa. Apesar da avaliação econômica do produto não torná-lo atrativo economicamente, não deve-se descartar a possibilidade da realização de outros estudos para minimizar seus custos.

Quando se pretende modificar produtos e processos tornando-os mais limpos e utilizando recursos sustentáveis, é importante considerar que investimentos com pesquisa,

infraestrutura, entre outros, serão altos no início, mas com grande potencial de retorno à longo prazo.

Diante dessa perspectiva, já se observa alguns estudos, inclusive abordando o uso do talo de girassol, como o de Evon et al. (2014), onde destacam que sua utilização como reforço em materiais compósitos para isolamento, futuramente, envolveria a colheita do talo juntamente com as sementes, gerando assim uma fonte de renda adicional para os agricultores.

### 4.3 AVALIAÇÃO AMBIENTAL

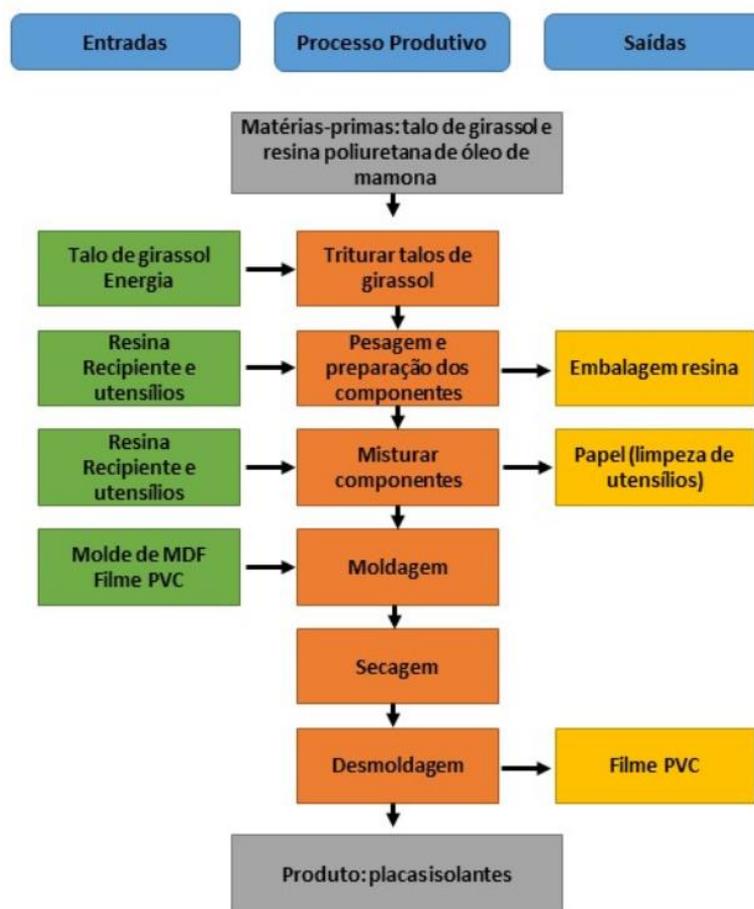
O desenvolvimento do compósito apresentado neste estudo, buscou uma solução alternativa para produtos usados em isolamento térmico, tendo como base a aplicação do nível 1 da metodologia da PML, que visa realizar modificações no produto, envolvendo alterações na forma e no material que o compõe. A Figura 27 mostra o fluxograma do processo produtivo do compósito e das placas para isolamento térmico, que utiliza apenas duas matérias-primas, sendo ambas de fonte natural e renovável.

O filme PVC foi usado por recomendação do fabricante da resina para facilitar a desmoldagem das placas, já que depois da cura adere fortemente à superfície de contato. O papel usado na limpeza dos utensílios teve a mesma finalidade.

No caso da lã de vidro, o processo de fabricação é bem distinto. Conforme dados da *European Insulation Manufacturers Association* (EURIMA) a lã de vidro utiliza como matérias-primas areia, calcário e carbonato de sódio, sendo o processo de fabricação composto por quatro etapas principais: forno, fiação, cura e corte. Na primeira etapa os componentes são fundidos num forno à temperaturas elevadas, entre 1.300 e 1.500 °C. Em seguida as gotas de fusão que saem do forno são transformadas em fibras em volantes de rotação rápida, onde pequenas quantidades de agentes ligantes são adicionadas às fibras. A cura ocorre num forno à cerca de 200 °C. Por fim, a lã é cortada para o tamanho e formato necessários (EURIMA).

A fabricação da lã de vidro demanda muita energia, além de emitir gases para o ambiente e gerar resíduos na etapa de corte (EURIMA). Contudo, as fabricantes já estão tentando minimizar tais impactos adotando práticas como a de incorporar as sobras da etapa de corte no processo produtivo e utilizar vidro reciclado como matéria-prima. Papadopoulos (2005), afirma que materiais fibrosos inorgânicos, como a lã de vidro, requerem ações para a limitar a emissão de poeiras, a utilização de ligantes e o consumo de energia.

Figura 27 – Fluxograma qualitativo do processo produtivo do compósito e das placas isolantes



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

A produção do compósito requer um baixo consumo de energia. No que tange aos impactos ambientais associados às matérias-primas usadas, ainda são necessários estudos mais aprofundados. Conforme Asdrubali, D'Alessandro e Schiavoni (2015), são poucos os estudos que avaliam os impactos ambientais desses novos tipos de materiais de isolamento de uma forma rigorosa, em virtude da falta de dados, já que a investigação sobre certos materiais ainda está no estágio inicial.

Mathias et al. (2015) realizaram uma ACV da planta de girassol e identificaram que o cultivo de girassol tem menor impacto ambiental, no que se refere à necessidade de água, fertilizantes e pesticidas, do que milho, por exemplo. Segundo os autores, o uso do talo de girassol, que é considerado um resíduo da cultura girassol, favorece a redução do impacto ambiental causado pelo uso de outros tipos de fibras naturais, que requerem uma área dedicada para seu cultivo.

A utilização da resina de poliuretano vegetal como elemento de ligação no compósito desenvolvido teve como intuito abandonar a dependência, observada em outros estudos, ao uso de adesivos à base de formaldeído ou materiais como gesso e cimento. Segundo Zhou et al. (2013) adesivos à base de formaldeído, tais como fenol-formaldeído e resinas de ureia-formaldeído, podem resultar em problemas ambientais e de saúde, devido à emissão de formaldeído.

Pode-se afirmar que a utilização da resina poliuretana à base de óleo de mamona aplicada em resíduos agrícolas com a finalidade de obter compósitos para isolamento térmico ainda é novidade, sendo necessários mais estudos a fim de verificar os impactos ambientais associados à sua produção. Contudo há estudos como o de Ramalho (2013) que consideram o poliuretano de óleo de mamona como um “polímero sustentável”.

Nesse sentido, cabe destacar que dentre as práticas propostas pelo *ecodesign*, que buscam evitar desperdícios e impactos ao meio ambiente antes mesmo do produto ser fabricado, fizeram-se presentes na pesquisa:

- Substituição de materiais e componentes poluentes e/ou tóxicos – os dois materiais utilizados para obtenção do compósito são de origem natural e renovável. A resina usada além de ser obtida a partir do óleo de mamona, é isenta de solvente, não liberando vapores tóxicos para o ambiente. Testou-se o comportamento do compósito sob efeito de aquecimento em estufa até 200 °C, e o mesmo não sofreu qualquer alteração;

- Projeto de produto focado na redução do consumo de recursos e geração de desperdícios durante a produção e distribuição – no processo de fabricação do compósito não há desperdício, nem sobra de material. As quantidades de talo e resina utilizadas na mistura foram definidas de forma a otimizar o uso de ambos os materiais. Houve necessidade do uso de energia elétrica em apenas uma etapa do processo.

Em comparação com a lã de vidro, o compósito desenvolvido, embora apresente propriedades térmicas inferiores, reuniu condições que o configuram como uma solução de PML para materiais de isolamento, tendo em vista a substituição das matérias-primas por materiais de fonte renovável e as alterações no modo de produção, que não geraram resíduos tóxicos, desperdício e principalmente, baixo consumo de energia.

Asdrubali, D’Alessandro e Schiavoni (2015) destacam que o desenvolvimento de isolantes de resíduos de culturas como girassol, arroz e cana-de-açúcar, mesmo não tendo um alto desempenho térmico, merecem incentivo devido à grande disponibilidade e ao baixo custo desses materiais. O uso desses materiais também pode futuramente, impulsionar o setor gerando uma renda extra aos agricultores, criando novos postos de trabalho.

## 5 CONCLUSÃO

Ao atingir o objetivo proposto por esta pesquisa, de elaborar e caracterizar um compósito à base de talos de girassol para uso como isolante térmico, criou-se uma solução de PML que buscou além da sua obtenção a partir de materiais naturais de fonte renováveis, agregar valor a um subproduto agrícola até então pouco explorado pela indústria e comunidade científica.

O compósito foi desenvolvido com talos de girassol triturado e resina poliuretana derivada do óleo de mamona como aglomerante. A combinação dos materiais demonstrou que o compósito possui características promissoras para uso como isolante térmico.

A análise de viabilidade técnica demonstrou que o compósito mesmo com um valor de condutividade térmica superior ao da lã de vidro, apresentou bom desempenho na função de isolamento térmico em coletor solar de um sistema de aquecimento de água para fins domésticos. Os ensaios em uso demonstraram uma capacidade de reter calor maior que a lã de vidro, mantendo a água à temperaturas mais elevadas por mais tempo.

A boa resistência mecânica do compósito também foi comprovada, configurando-se como um material homogêneo e resistente, podendo ser recortado e adaptado em diferentes locais, o que facilita o seu uso em aplicações estruturais. Pode-se associar a boa resistência mecânica à presença da casca do talo de girassol, e à quantidade de resina. A densidade da placa ficou bastante elevada em comparação à densidade da lã de vidro, em virtude de suas características, contribuindo para sua condutividade térmica, superior aos isolantes convencionais.

Quanto aos aspectos econômicos, embora sejam ainda necessários estudos mais aprofundados, a análise realizada demonstrou que o preço da resina contribuiu para a elevação de seu custo total.

A avaliação ambiental do compósito foi positiva, já que durante o processo de concepção do produto buscou-se sempre reduzir a geração de resíduos e o uso de diversos recursos. Em comparação com o processo de fabricação da lã de vidro, há uma redução drástica na quantidade de energia, resíduos gerados, emissões de gases e efluentes.

O compósito, mesmo estando em fase de desenvolvimento inicial, já demonstra condições promissoras de se tornar futuramente um isolante térmico natural comercializável e utilizado para diversas aplicações, como na construção civil. Juntos, o talo de girassol e a resina poliuretana vegetal formaram um material com performances mecânicas e térmicas suficientes para garantir condições seguras de manuseio, montagem, transporte e aplicação.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Para uma melhor caracterização do compósito outras propriedades também podem ser analisadas como: acústica, inflamabilidade, biodegradabilidade, durabilidade e higroscopia;
- Avaliar o desempenho do compósito no isolamento de sistemas de vedações verticais (paredes) em comparação com outros tipos de isolantes além da lã de vidro;
- Pesquisar métodos que permitam a redução da quantidade da resina usada como aglomerante;
- Realizar uma análise de ciclo de vida para o compósito elaborado;
- Elaborar uma metodologia para determinação do valor econômico do talo de girassol considerando sua exploração comercial.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1**: desempenho térmico de edificações: definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a, 7 p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15220-2**: 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, 2005b, 21 p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 11361**: mantas termoisolantes à base de lã de vidro. Rio de Janeiro, 2013, 8 p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 11356**: isolantes térmicos à base de fibras minerais: painéis, mantas, e feltros – determinação das dimensões e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 1989, 2 p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 13281**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — requisitos. Rio de Janeiro, 2005, 7 p.
- ADAMY, A. P. A.; ROSA, F. S.; ROSA, L. C. Desempenho térmico de compósitos à base de talos de girassol em componentes de edificações. **Espacios**, v. 37, n. 15, p. 18, 2016.
- AHMAD, F.; CHOI, H. S.; PARK, M. K. A review: natural fiber composites selection in view of mechanical, light weight, and economic properties. **Macromolecular Materials and Engineering**, v. 300, p. 10-24, 2015.
- AL-HOMOUD, M.S. Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. **Building and Environment**, v. 40, p. 353-366, 2005.
- ALVES, I. J. B. R.; FREITAS, L. S. Produto Verde: uma análise a partir *do ecodesign pilot* e da teia das estratégias do *ecodesign*. **Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade**, v. 5, n. 1, p. 79-105, 2015.
- ALVES, C.; FERRÃO, P. M. C.; SILVA, A. J.; REIS, L. G.; FREITAS, M.; RODRIGUES, L. B.; ALVES, D. E. Ecodesign of automotive components making use of natural jute fiber composites. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, p. 313-327, 2010.
- AMATO NETO, J. (Org.). **Sustentabilidade e Produção**: teoria e prática para uma gestão sustentável. São Paulo: Atlas, 2011. 245p.
- ALBUQUERQUE NETO, J. R.; CARVALHO, L. H.; ARAÚJO, E. M. Influência da adição de uma carga nanoparticulada no desempenho de compósitos poliuretano/fibra de juta. **Polímeros**, v. 17, n. 1, p. 10-15, 2007.
- ANDRADE, F. V.; PINHEIRO, R. B. Análise de decomposição da projeção de consumo de energia elétrica no Brasil para o setor residencial. **ENGEVISTA**, v. 16, n. 4, p. 340-355, 2014.
- ASDRUBALI, F.; D’ALESSANDRO, F.; SCHIAVONI, S. A review of unconventional

sustainable building insulation materials. **Sustainable Materials and Technologies**, v. 4, p. 1-17, 2015.

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

ASIN, N.; ENDADI, Z.; MOHAMMAD, M.; YARMO, M. A.; SOPIAN, K. Agricultural solid wastes for green desiccant applications: an overview of research achievements, opportunities and perspectives. **Journal of Cleaner Production**, v. 91, p. 26-35, 2015.

ASTM, AMERICAN SOCIETY FOT TESTING AND MATERIALS. C518-15: Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus. West Conshohocken, 2004.

AZWA, Z. N.; YOUSIF, B. F.; MANALO, A. C.; KARUNASENA, W. A review on the degradability of polymeric composites based on natural fibres. **Materials and Design**, v. 47, p. 424-442, 2013.

BEKTAS, I.; GULER, C.; KALAYCIOGLU, H.; MENGELOGLU, F.; NACAR, M. The manufacture of particleboards using sunflower stalks (*Helianthus Annuus L.*) and poplar wood (*Populus Alba L.*). **Journal of Composite Materials**, v. 39, n. 5, p. 467-473, 2005.

BENITO, T. P. **Práticas de energia solar térmica**. Porto: Publindústria, 2009. 123 p.

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.

BERGMAN, T. L. LAVINE, A. S.; INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014. 694p.

BEVITORI, A. B.; SILVA, I. L. A. Caracterização das propriedades térmicas de fibra de rami por técnicas fototérmicas. **Perspectivas Online**, v. 3, n. 5, p. 15-21, 2013.

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

BINICI, H.; AKSOGAN, O.; DEMIRHAN, C. Mechanical, thermal and acoustical characterizations of an insulation composite made of bio-based materials. **Sustainable Cities and Society**, v. 20, p.17–26, 2016.

BORCHARDT, M.; WENDT, M. H.; PEREIRA, G. M.; SELLITTO, M. A. Redesign of a component based on ecodesign practices: environmental impact and cost reduction achievements. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, p. 49-57, 2011.

BRAGA, J. *Ecodesign: estudo de caso de estratégias aplicadas a produtos nacionais*. **Revista Brasileira e Portuguesa de Gestão**, v. 13, n. 2, p. 28-40, 2014.

BRANDÃO, H. S.; PENCO, M. O.; LEITE, C. E. F.; RODRIGUES, G.; SANTANA, A. J.;

SANTOS, T. C. S.; BASTOS, M. F.; SANTOS, A. R.; MORAES JUNIOR, D. Um estudo para determinação da condutividade térmica de sólidos isolantes em condutímetro cilíndrico. **Unisanta Science and Technology**, v. 3, n. 1, p. 16-20, 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Ecodesign**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/component/k2/item/7654> . Acesso em: 07 out. 2015.

BUCCELLI, D. O.; NETO, P. L. O. C. Importância dos processos gerenciais nos resultados de produção mais limpa: um estudo na indústria do plástico. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 18, n. 2, p. 662-673, 2014.

CALLISTER JR. W. D.; RETHWISCH, D. V. **Ciência e engenharia dos materiais: uma introdução**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. 868 p.

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.

CASTIGLIONE, V. B. R.; CASTRO, C.; SILVEIRA, J. M. **Fases de desenvolvimento da planta de girassol**. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1997. 24p.

CASTRO, C.; CASTIGLIONE, V. B. R.; BALLA, A.; LEITE, R. M. V. B.; KARAM, D.; MELLO, H. C.; GUEDES, L. C. A.; FARIAS, J. B. R. **A cultura do girassol**. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1997. 36p.

CASTRO, O.; SILVA, J. M.; DEVEZAS, T.; SILVA, A.; GIL, L. Cork agglomerates as an ideal core material in lightweight structures. **Materials and Design**, v. 31, p. 425-432, 2010.

CB3E. CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Relatório ensaio de condutividade**. Florianópolis: UFSC, 2016.

CHOU, J. R. An ARIZ - based life cycle engineering model for eco-design. **Journal of Cleaner Production**, v. 66, p. 210-223, 2014.

COSTA, E. C. **Física aplicada à construção: conforto térmico**. 3. ed. São Paulo: Blücher, 1974. 260p.

DIAS, R. **Gestão ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade**. São Paulo: Atlas, 2011. 220p.

\_\_\_\_\_. **Eco-inovação: caminho para o crescimento sustentável**. São Paulo: Atlas, 2014. 208p.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Ata da XX Reunião Nacional de Pesquisa de Girassol**. Londrina: Embrapa Soja, 2014. Disponível em: <https://www.ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/100864/1/Doc-348.pdf> Acesso em: 15 ago. 2015.

EURIMA, EUROPEAN INSULATION MANUFACTURERS ASSOCIATION. **Production Process**. Disponível em: <http://www.eurima.org/about-mineral-wool/production-process.html> Acesso em: 25 mar. 2017.

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.

EVON, P.; VINET, J.; RIGAL, M.; LABONNE, L.; VANDENBOSSCHE, V.; RIGAL, L. New insulation fiberboards from sun ower cake with improved thermal and mechanical properties. **Journal of Agricultural Studies**, 2015, v. 3, n. 2, p. 194-211.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Agricultural outlook 2015**. Paris: OECD Publishing, 2015.

FAOSTAT. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS STATISTICS DIVISION. **Sunflower Crops**. 2014. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E> Acesso em: 10 nov. 2015.

FERRO, F. S.; ICIMOTO, F. H.; SOUZA, A. M.; ALMEIDA, D. H.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) com schizolobium amazonicum e resina poliuretana à base de óleo de mamona. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 106, p. 313-320, 2015.

FIGLIARELLI, 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**. 5. ed. São Paulo: Nobel, 2001. 243p.

GIANNETTI, B. F.; BONILLA, S. H.; ALMEIDA, C. M. V. B. Cleaner production practices in a medium size gold-plated jewelry company in Brazil: when little changes make the difference. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, p. 1106-1117, 2008.

GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. V. B. **Ecologia industrial: conceitos ferramentas e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2006. 109p.

HO, M-P.; WANG, H.; LEE, J-H.; HO, C-K.; LAU, K-T.; LENG, J.; HUI, D. Critical factors on manufacturing processes of natural fibre composites. **Composites: Part B**, v. 43, p. 3549-3562, 2012.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

INCE, A.; UGURLUAI, S.; GÜZEL, E.; ÖZCAN, M. T. Bending and shearing characteristics of sunflower stalk residue. **Biosystems Engineering**, v. 92, n. 2, p. 175-181, 2005.

IPEA. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Diagnóstico dos resíduos orgânicos do setor agrossilvopastoril e agroindústrias associadas**. Brasília: IPEA, 2012.

JABBOUR, A.B.L.S.; JABBOUR, C.J.C. **Gestão ambiental nas organizações: fundamentos e tendências**. São Paulo: Atlas, 2013. 112p.

JELLE, B. P. Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions – properties, requirements and possibilities. **Energy and Buildings**, v. 43, p. 2549-2563, 2011.

JOHN, M. J.; THOMAS, S. Biofibres and biocomposites. **Carbohydrate Polymers**, v. 71, p. 343-364, 2008.

KARLSSON, R.; LUTTROPP, C. Ecodesign: what's happening? An overview of the subject area of Ecodesign and of the papers in this special issue. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, p. 1291-1298, 2006.

KAYA, Y.; SENGÜL, M.; ÖGÜTÇÜ, H.; ALGUR, O. F. The possibility of useful usage of biodegradation products of sunflower plants. **Bioresource Technology**, v. 97, p. 599-604, 2006.

KHEDARI, J.; CHAROENVAI, S.; HIRUNLABH, J. New insulating particleboards from durian peel and coconut coir. **Building and Environment**, v. 38, p. 435-441, 2003.

KHOSRAVI, S.; KHABBAZ, F.; NORDQVIST, P.; JOHANSSON, M. Protein-based adhesives for particleboards. **Industrial Crops and Products**, v. 32, p. 275-283, 2010.

KOCAMAN, I.; SISMAN, C. B.; GEZER, E. Investigation the using possibilities of some mineral-bound organic composites as thermal insulation material in rural buildings. **Scientific Research and Essays**, v. 6, n. 7, p. 1673-1680, 2011.

KOIVULA, M.; KIMÄLÄINEN, H-R.; VIRTA, J.; HAKKARAINEN, H.; HUSSEIN, T.; KOMULAINEN, J.; KAPONEN, H.; HAUTALA, M.; HÄMERI, K.; KANERVA, P.; PEHKONEN, A.; SJÖBERG, A-M. Emissions from thermal insulations - part 2: evaluation of emissions from organic and inorganic insulations. **Building and Environment**, v. 40, p. 803-814, 2005.

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.

KUO, T. C.; SMITH, S.; SMITH, G. C.; HUANG, S. H. A predictive product attribute driven eco-design process using depth-first search. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 3201-3210, 2016.

LEITE, R. M. V. B. C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. (Ed.). **Girassol no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2005. 613 p.

LERTSUTTHIWONG, P.; KHUNTHON, S.; SIRALERTMUKUL, K.; NOOMUN, K.; CHANDRKRACHANG, S. New insulating particleboards prepared from mixture of solid wastes from tissue paper manufacturing and corn peel. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 4841-4845, 2008.

LUTTROP, C.; LAGERSTEDT, J. Ecodesign and the ten golden rules: generic advice for merging environmental aspects into product development. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, p. 1396-1408, 2006.

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.

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

MARINHO, N. P.; NASCIMENTO, E. M.; NISGOSKI, S.; MAGALHÃES, W. L. E.; C NETO, S.; AZEVEDO, E. C. 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.

MATHIAS, J-D.; ALZINA, A.; GRÉDIAC, M.; MICHAUD, P.; ROUX, P.; DE BAYNAST, H.; DELATTRE, C.; DUMOULIN, N.; FAURE, T.; LARREY-LASSALLE, P.; MATI-BAOUCHE, N.; PENNEC, F.; SUN, S.; TESSIER-DOYEN, N.; TOUSSAINT, E.; WEI, W. Upcycling sunflower stems as natural fibers for biocomposite applications. **BioResources**, v. 10, n. 4, p. 8076-8088, 2015.

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, 2014a.

MATI-BAOUCHE, N.; ELCHINGER, P-H.; DE BAYNAST, H.; PIERRE, G.; DELATTRE, C.; MICHAUD, F. Chitosan as an adhesive. **European Polymer Journal**, v. 60, p. 198-212, 2014b.

MATI-BAOUCHE, N.; DE BAYNAST, H.; SUN, S.; LEBERT, A.; PETIT, E.; MICHAUD, P. Polysaccharidic binders for the conception of an insulating agro-composite. **Composites Part A**, v. 78, p. 152-159, 2015.

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

MENDOZA, J-M. F.; CAPITANO, C.; PERI, G.; JOSA, A.; RIERADEVALL, J.; GABARRELL, X. Environmental management of granite slab production from an industrial ecology standpoint. **Journal of Cleaner Production**, v. 84, p. 619-628, 2014.

MERLINI, C.; SOLDI, V.; BARRA, G. M. O. Influence of fiber surface treatment and length

on physico-chemical properties of short random banana fiber-reinforced castor oil polyurethane composites. **Polymer Testing**, v. 30, p. 833–840, 2011.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Inventário Energético de Resíduos Rurais. **Nota Técnica DEA 15/14**. Rio de Janeiro, p. 1-51, out., 2014. Disponível em: <http://www.epe.gov.br> Acesso em: 20 de jan. 2016.

MIZSEY, P.; RACZ, L. Cleaner production alternatives: biomass utilisation options. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, p. 767-770, 2010.

MOGHADAM, P. N.; YARMOHAMADI, M.; HASANZADEH, R.; NURI, S. Preparation of polyurethane wood adhesives by polyols formulated with polyester polyols based on castor oil. **International Journal of Adhesion & Adhesives**, v. 68, p. 273–282, 2016.

NEWELL, J. **Fundamentos da moderna engenharia e ciências dos materiais**. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

OGUNNIYI, D. S. Castor oil: a vital industrial raw material. **Bioresource Technology**, v. 97, p. 1086–1091, 2006.

OZEL, M. Effect of insulation location on dynamic heat-transfer characteristics of building external walls and optimization of insulation thickness. **Energy and Buildings**, v. 72, p. 288–295, 2014.

PAIVA, A.; PEREIRA, S.; SÁ, A.; CRUZ, D.; VARUM, H.; PINTO, J. A contribution to the thermal insulation performance characterization of corn cob particleboards. **Energy and Buildings**, v. 45, p. 274–279, 2012.

PAPADOPOULOS, A. M. State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments. **Energy and Buildings**, v. 37, p. 77-86, 2005.

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.

PAUL, V.; KANNY, K.; REDHI, G. G. Mechanical, thermal and morphological properties of a bio-based composite derived from banana plant source. **Composites: Part A**, v. 68, p. 90–100, 2015.

PEDROSA, T. D.; FARIAS, C. A. S.; PEREIRA, R. A.; FARIAS, E. T. R. Monitoramento dos parâmetros físico-químicos na compostagem de resíduos agroindustriais. **Nativa**, v. 01, n. 01, p. 44-48, 2013.

PELIZER, H. L.; PONTIERI H. M.; MORAES O. I. Utilização de resíduos agroindustriais em processos biotecnológicos como perspectiva de redução do impacto ambiental. **Journal of Technology Management & Innovation**. v. 2, n. 1, p. 118-127, 2007.

PENEC, F.; ALZINA, A.; TESSIER-DOYEN, N.; NAÏT-ALI, B.; MATI-BAOUCHE, N.; DE BAYNAST, H.; SMITH, D. S. A combined finite-discrete element method for calculating the effective thermal conductivity of bio-aggregates based materials. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, n. 60, p. 274–283, 2013.

- PERLACK, R. D.; TURHOLLOW, A. F. Feedstock cost analysis of corn stover residues for further processing. **Energy**, v. 28, p. 1395-1403, 2003.
- PICKERING, K. L.; EFENDY, M. G. A.; LE, T. M. A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. **Composites: Part A** (in press), 2015.
- PIGOSSO, D. C. A.; ROZENFELD, H.; MCALOONE, T. C. Ecodesign maturity model: a management framework to support ecodesign implementation in to manufacturing companies. **Journal of Cleaner Production**, v. 59, p. 160-173, 2013.
- PIRES, A. M. M.; MATTIAZZO, M. E. **Avaliação da viabilidade do uso de resíduos na agricultura**. EMBRAPA, Jaguariúna, v. 1, p 1-9, 2008. Circular Técnica 19. Disponível em: [http://www.cnpma.embrapa.br/download/circular\\_19.pdf](http://www.cnpma.embrapa.br/download/circular_19.pdf) Acesso em: 14 nov. 2015.
- PLATCHECK, E. R.; SCHAEFFER, L.; KINDLEIN JR., W.; CÂNDIDO, L. H. A. Ecodesign: case of a mini compressor re-design. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, p. 1526-1535, 2008.
- PLOUFFE, S.; LANOIE, P.; BERNEMAN, C.; VERNIER, M. F. Economic benefits tied to ecodesign. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, p. 573-579, 2011.
- 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.
- REDDY, N.; YANG, Y. Biofibers from agricultural byproducts for industrial applications. **TRENDS in Biotechnology**, v. 23, n. 1, 2005.
- 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.
- ROSSI, R. O. **Girassol**. Curitiba: Tecnoagro, 1998. 333p.
- 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.
- SAVASTANO JUNIOR, H.; PIMENTEL, L. L. Viabilidade do aproveitamento de resíduos de fibras vegetais para fins de obtenção de material de construção. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.1, p.103-110, 2000.
- SCHWANKE, C. (Org.). **Ambiente: tecnologias**. Porto Alegre: Bookman, 2013. 257p.
- SEIFFERT, M. E. B. **Sistemas de gestão ambiental (SGA-ISSO 14001): melhoria contínua e produção mais limpa na prática e experiência de 24 empresas brasileiras**. São Paulo: Atlas, 2011. 156p.
- SENAI. SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. **Implementação de**

**programas de produção mais limpa.** Porto Alegre: Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI-RS/UNIDO/INEP, 2003.

SILVA, S. A. M.; CHRISTOFORO, A. L.; PANZERA, T. H.; ALMEIDA, D. H.; SEGANTINI, A. A. S.; LAHR, F. A. R. Painéis de partícula de madeira leucina e resina poliuretana derivada de óleo de mamona. **Ciência Rural**, v. 43, n. 8, p. 1399-1404, 2013.

SUN, S.; MATHIAS, J-D.; TOUSSAINT, E.; GRÉDIAC, M. Hygromechanical characterization of sunflower stems. **Industrial Crops and Products**, v. 46, p. 50-59, 2013.

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.

UNEP. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Converting waste agricultural biomass into a resource**, 2009. Disponível em: [http://www.unep.org/ietc/Portals/136/Publications/Waste%20Management/WasteAgriculturalBiomassEST\\_Compedium.pdf](http://www.unep.org/ietc/Portals/136/Publications/Waste%20Management/WasteAgriculturalBiomassEST_Compedium.pdf). Acesso em: 25 jan. 2016.

VAN WYLEN, G. J.; SONNTAG, R. E. **Fundamentos da termodinâmica.** São Paulo: Blücher, 2013. 730p.

VERHULST, E.; DOORSSELAER, K. V. Development of a hands-on toolkit to support integration of ecodesign in engineering programmes. **Journal of Cleaner Production**, v. 108, p. 772-783, 2015.

VIEIRA, C.; ALVES, J.; ROQUE, M. **Manual Prático de Ecodesign.** Associação Empresarial de Portugal, 2013.108p.

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.

WEN, J.; WANG, Q.; JIN, Q.; PAN, Z. Study on the structure, composition and performance of natural polymer. **Functional Materials Letters**, v. 3, n. 3, p. 207-212, 2010.

ŽARKOVIĆ, D. B.; RAJAKOVIĆ-OGNJANOVIĆ, V. N.; RAJAKOVIĆ, L. V. Conservation of resources in the pulp and paper industry derived from cleaner production approach. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, p. 1139-1145, 2011.

ZHOU, X. et al. Properties of formaldehyde-free environmentally friendly lignocellulosic composites made from poplar fibres and oxygen-plasma-treated enzymatic hydrolysis lignina. **Composites: Part B**, v. 53, p. 369-375, 2013.

## 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 poli-ol (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: fluída
- 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.