

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

COMPORTAMENTO TÉRMICO DE COMPÓSITO POLIMÉRICO  
REFORÇADO COM RESÍDUO DE PIAÇAVA

ISABELLE MACIEL LIMA

MANAUS

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**ISABELLE MACIEL LIMA**

**Comportamento Térmico de Compósito Polimérico Reforçado  
com Resíduo de Piaçava**

Dissertação apresentada ao Programa de pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração em Materiais e Componentes de Construção.

**Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Virginia Mansanares Giacon**

MANAUS

2019

### Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

L732c Lima, Isabelle Maciel  
Comportamento Térmico de Compósito Polimérico Reforçado  
com Resíduo de Piaçava / Isabelle Maciel Lima. 2019  
78 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Virginia Mansanares Giacon  
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade  
Federal do Amazonas.

1. compósitos. 2. resíduos industriais. 3. piaçava. 4. poliméricos.  
5. fibra de piaçava. I. Giacon, Virginia Mansanares II. Universidade  
Federal do Amazonas III. Título

**ISABELLE MACIEL LIMA**

**Comportamento Térmico de Compósito Polimérico Reforçado  
com Resíduo de Piaçava**

Dissertação apresentada ao Programa de pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração em Materiais e Componentes de Construção.

Manaus, .....de.....de.....

**BANCA EXAMINADORA**

---

Dr.<sup>a</sup> Virginia Mansanares Giacon  
Universidade Federal do Amazonas

---

Dr. João de Almeida Melo Filho  
Universidade Federal do Amazonas

---

Dr. Rannier Marques Mendonça  
Universidade Federal do Amazonas

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho aos meus pais Gilberto Queiroz Lima e Adilsimar Saraiva Maciel Lima e a minha irmã Julianne Maciel Lima.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pela vida, iluminação e inspiração para a realização deste trabalho.

A minha família, meus pais e minha irmã, por todo apoio, suporte e ensinamentos que me proporcionaram e dedicaram por toda a minha vida.

Aos meus amigos Antônia Miguelina, Louisie Marie Lima, José Alcides Lima e Eugênio Borges pelo apoio e ajuda na realização deste trabalho.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia civil da Faculdade de tecnologia da UFAM, pelo apoio ao ensino e aprendizagem nesta trajetória.

À Professora Virginia Giacon pela orientação deste trabalho, pela paciência e pelo compartilhamento de conhecimentos.

À FAPEAM, pela concessão da bolsa de mestrado que permitiu o aporte financeiro para o desenvolvimento desta pesquisa.

E a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização do mesmo.

## RESUMO

O uso de resíduos industriais como matéria-prima no desenvolvimento de novos materiais na engenharia é uma solução para a retirada do resíduo sólido gerado, além de minimizar o uso de recursos naturais, provenientes de fontes não renováveis. No processo de fabricação de vassouras de fibras naturais, há um desperdício de ordem de cerca de 40% das fibras que são utilizadas no processo. Essas fibras remanescentes ou vão para o lixo ou são queimadas, sendo que as mesmas poderiam ser reaproveitadas para um novo uso, tendo em vista que durante o processo de fabricação da vassoura, elas não passam por nenhum tipo de modificação química. Desta forma, o resíduo de piaçava apresenta-se como uma alternativa de fonte de matéria-prima para a produção de compósitos poliméricos, visando, desse modo, uma solução para o rejeito da fábrica e o desenvolvimento de um novo produto com maior valor agregado. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho é avaliar a viabilidade técnica da utilização do resíduo de Piaçava Amazônica (*Leopoldinia piassaba*) oriundo da fabricação de vassouras na produção de painéis poliméricos com possibilidades de uso na indústria da construção civil. A presente pesquisa seguiu as especificações da norma NBR 15316-2:2019 por meio da realização dos ensaios de determinação do teor de umidade, densidade, inchamento e resistência à flexão estática. Para avaliar as propriedades térmicas do painel, foram realizados testes preliminares utilizando a técnica de termografia a laser por infravermelho na superfície do material, além de análises pontuais com termômetro a laser. O painel compósito atendeu aos requisitos normativos em relação as propriedades físicas, porém suas respostas à caracterização mecânica não atenderam às normas brasileiras. Nos ensaios de condutividade o material apresentou comportamento similar ao material MDF, porém conclui-se que o painel não pode ser utilizado como material isolante. De acordo com os resultados, foi possível concluir que o resíduo apresenta potencial para ser aplicado em painéis a serem especificados em atividades construtivas, porém devem ser realizados mais estudos acerca das propriedades mecânicas.

Palavras-chave: compósitos poliméricos, resíduos industriais, fibra de piaçava.

## ABSTRACT

The use of industrial waste as a raw material in the development of new materials in engineering is a solution for the removal of the solid waste generated, in addition to minimizing the use of natural resources from non-renewable sources. In the process of manufacturing natural fiber brooms, there is a waste of about 40% of the fibers that are used in the process. These fibers remain or go to waste or are burned, and they could be reused for a new use, given that during the process of manufacturing the broom, they do not undergo any kind of chemical modification. In this way, the residue of piaçava is presented as an alternative source of raw material for the production of polymeric composites, aiming, therefore, a solution for the tailings of the factory and the development of a new product with greater added value. In this sense, the objective of the present work is to evaluate the technical feasibility of the use of the residue of Piaçava Amazônica (*Leopoldinia piassaba*) from the manufacture of brooms in the production of polymer panels with possibilities of use in the civil construction industry. The present research followed the specifications of the norm NBR 15316-2: 2019 by means of the tests of determination of the moisture content, density, swelling and resistance to the static bending. To evaluate the thermal properties of the panel, preliminary tests were carried out using infrared laser thermography technique on the surface of the material, as well as punctual analyzes with a laser thermometer. The composite panel met the normative requirements regarding the physical properties, but its responses to the mechanical characterization did not meet Brazilian standards. In the conductivity tests the material presented similar behavior to the MDF material, however it is concluded that the panel can not be used as an insulating material. According to the results, it was possible to conclude that the residue presents potential to be applied in panels to be specified in constructive activities, but more studies on the mechanical properties should be carried out.

Key words: polymer composites, industrial waste, piassaba fiber.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Hierarquia do sistema de gerenciamento de resíduos. Fonte: Adaptado de Nagalli (2016). .....	20
Figura 2. Classificação dos Resíduos Sólidos quanto a sua periculosidade. Fonte: adaptado de Costa (2011). .....	21
Figura 3. Classificação dos resíduos sólidos quanto a sua origem. Fonte: adaptado de Costa (2011). .....	22
Figura 4. Fluxograma produtivo do trabalho. Fonte: Própria, 2019. ....	33
Figura 5. a) Poliól; b) Pré-polímero. Fonte: Autora. ....	34
Figura 6. a) Paquímetro analógico; b) micrômetro digital. ....	45
Figura 7. a) medição da espessura inicial; b) imersão dos corpos-de-prova em água destilada; c) medição da espessura final. Fonte: Autora. ....	46
Figura 8. Pontos de medição no corpo de prova. ....	46
Figura 9. a) Corpos de prova com as dimensões de 250 x 50 mm; b) Corpo de prova posicionado sobre os dois apoios da máquina universal; c) Corpo de prova após ensaio de flexão de três pontos. Fonte: Autora. ....	47
Figura 10. a) Aparato do equipamento; b) Amostra durante o ensaio. Fonte: Autora. ....	49
Figura 11. Imagens eletrônicas do esquema do ensaio termográfico: a) vista lateral; b) vista superior em perspectiva; c) vista superior. Fonte: Autora. ....	50
Figura 12. Faixa de estudo termográfico. Fonte: Autora. ....	50
Figura 13. a) Termômetro digital infravermelho com mira laser; b) Desenho esquemático da localização dos pontos de medição nos materiais. Fonte: Autora. ....	51
Figura 14. a) Microscopia óptica do compósito; b) Microscopia óptica do MDF comercial. Fonte: Autora. ....	55
Figura 15. Valores médios de condutividade térmica para as amostras de MDF e painel compósito. ....	56
Figura 16. Respostas da temperatura superficial do compósito e do MDF e da temperatura do ar. ....	58
Figura 17. Variação de temperatura para o compósito e para o MDF Comercial durante os dias de ensaio. ....	60

Figura 18.Valores médios de temperatura superficial das faixas do compósito e temperatura do ar. ....	61
Figura 19.Diferença das temperaturas superficiais superiores e inferiores do compósito e do MDF. ....	62

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Quantidade produzida de fibra de piaçava por município do Amazonas. ....	25
Tabela 2. Classificação painéis de partículas de madeira.....	27
Tabela 3. Condutividade térmica (k) de alguns materiais de construção. ....	30
Tabela 4. Valores médios das propriedades físico-mecânicas do compósito e da NBR 15316-2019. ....	52
Tabela 5.Comparação entre os valores médios de MOR, MOE e resina – experimental e literatura.....	55
Tabela 6. Resultados do ensaio de condutividade térmica. ....	56
Tabela 7. Condutividade térmica (k) de alguns materiais isolantes, conforme a ABNT NBR 15220-2:2005.....	57
Tabela 8.Resultados da análise ANOVA para os valores de temperatura superficial.....	59

## LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SIMBOLOS

- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ANSI** - American National Standards Institute
- ASTM** -American Society for Testing and Materials
- B** - Largura
- B1/ B2** – Dimensões do corpo de prova
- D** - Distância entre os apoios do aparelho
- d** – Deflexão correspondente a carga
- E** – Espessura do corpo de prova
- E1** – Espessura do corpo de prova após o período de imersão
- E0** – Espessura do corpo de prova antes o período de imersão
- HDF** – High Density Fiberboard
- i** – Inchamento em espessura do corpo de prova
- IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IFAM** - Instituto Federal do Amazonas
- LabMat** - Laboratório de Materiais
- LaMAC** -Laboratório de Materiais da Amazônia e Compósitos
- LEM** - Laboratório de Ensaio de Materiais
- MDF** - Medium Density Fiberboard
- mm** - milímetro
- MOE** - Módulo de Elasticidade
- MOR** - Módulo de Ruptura
- MPa** – Mega Pascal
- MTPS** – Método de fonte de plano transitório modificado
- MS** – Massa seca
- MU** – Massa úmida
- NBR** - Norma Brasileira de Regulamentação
- N/mm<sup>2</sup>** - Newton por milímetro quadrado
- OSB** - Oriented Strand Board
- P** – Carga de ruptura
- P1** – Carga no limite proporcional

**PU** – Poliuretano

**PVC** - Policloreto de Polivinila

**SEBRAE** -Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

**U** – Teor de umidade

**UFAM** - Universidade Federal do Amazonas

**W/mK** – Watt por metro Kelvin

**Kg/ m<sup>3</sup>** - Kilo por metro cúbico

**%** - Percentual

## SUMÁRIO

1.1	JUSTIFICATIVA .....	16
1.2	OBJETIVOS .....	17
1.2.1	Objetivo Geral .....	17
1.2.2	Objetivos Específicos .....	17
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	18
<b>2.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>19</b>
2.1	RESÍDUOS SÓLIDOS .....	19
2.1.1	Classificação .....	20
2.1.2	Uso de Resíduos na Produção de Compósitos para a Construção Civil.....	22
2.1.3	Resíduo da Fabricação de Vassouras de Piaçava .....	23
2.2	PAINÉIS COMPÓSITOS POLIMÉRICOS LIGNOCELULÓSICOS.....	25
2.3	PAINÉIS DE FIBRAS .....	27
2.4	PROPRIEDADES TÉRMICAS EM PAINÉIS COMPÓSITOS.....	29
<b>3.</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>33</b>
3.1	DESCRIÇÃO DA PESQUISA .....	33
3.2	MATERIAIS.....	34
3.3	METODOLOGIA .....	35
3.3.1	Processamento das Fibras de Piaçava.....	35
3.3.2	Tratamento Químico das Fibras .....	35
3.3.3	Produção dos Compósitos .....	38
3.3.4	Caracterização Físico-Mecânica e Térmica do Compósito e MDF Comercial ..	43
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>52</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA E TÉRMICA DO COMPÓSITO E MDF COMERCIAL .....	52
4.1.1	Condutividade Térmica .....	56
4.2	TERMOGRAFIA POR INFRAVERMELHO (INFRARED – IR).....	58
4.3	DIFERENÇA DE TEMPERATURA SUPERFICIAL SUPERIOR E INFERIOR...	61
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>64</b>
	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>65</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>66</b>
	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>

## INTRODUÇÃO

O objetivo principal de muitas pesquisas têm sido a utilização de matérias primas oriundas de fontes renováveis, em função da capacidade de substituição de materiais convencionais. Tal fato, além de ser caracterizado como uma prática econômica, também pode ser visto como uma disposição a diminuir o uso de materiais de difícil decomposição no meio ambiente (BORSOI, SCIENZA, *et al.*, 2011).

A conscientização ambiental, em conjunto com o uso de matérias primas provenientes de fontes renováveis, fez com que o homem passasse a usar recursos naturais de maneira mais racional, bem como ter iniciativas voltadas à criação de componentes construtivos eficientes, ecológicos e duráveis, o que o conduziu a novos estudos sobre materiais alternativos (CORREIA, 2009).

Outra forma de utilizar os recursos naturais de maneira racional é a prática da reciclagem de resíduos pela indústria da construção civil, que destaca-se como uma prática importante para a sustentabilidade por reduzir os custos ou pelo impacto que o setor gera no meio ambiente (ÂNGULO, ZORDAN e JOHN, 2001), além de apresentar uma enorme capacidade de incluir tais resíduos nos materiais construtivos (ROCHA e CHERIAF, 2003).

A utilização de resíduos industriais para a produção de novos materiais na engenharia é um tipo de reciclagem pós-consumo, que é de bastante relevância, visto que além de apresentar uma solução para a retirada do resíduo sólido gerado, ainda pode diminuir a utilização de novos recursos naturais (CIANCIARDI, 2014).

Um exemplo de resíduo industrial a ser utilizado no desenvolvimento de novos materiais é o resíduo gerado no processo de fabricação da vassoura de piaçava. Tal resíduo é oriundo da fase de aparo e penteação da vassoura semipronta, onde estima-se que o percentual de desperdício desse material, que é composto somente pela fibra da piaçava, seja de ordem de 20 % em relação a massa total (AQUINO, D'ALMEIDA e MONTEIRO, 2000), tendo em vista que em Manaus -AM, constatou-se que este desperdício é cerca de 40% em massa total e ocorre nas mesmas etapas, visto que o processo de fabricação é o mesmo.

A matéria-prima para a produção de tais vassouras é a fibra da piaçava e tal fibra é oriunda de três espécies diferentes de palmeira: *Attalea funifera* Martius, *Leopoldinia piassaba* Wallace e *Aphandra natalia* Barfod. No Amazonas, a espécie encontrada dessa palmeira é a *Leopoldinia piassaba* Wallace (JOSA, 2008), sendo produzida principalmente nos municípios

de Barcelos, Novo Airão, Santa Isabel do Rio Negro, São Gabriel da Cachoeira e Parintins. Dentre esses municípios produtores de fibras de piaçava, Barcelos é o maior produtor nos últimos cinco anos, tendo em vista que sua produção é acima de 1.000 toneladas de fibras por ano (IBGE, 2017).

Assim, a conscientização ambiental, que implica na reciclagem pós-consumo por meio do uso de resíduos de fibras naturais como fonte de matéria prima para a produção de novos produtos. O valor econômico fez surgir o desenvolvimento de compósitos poliméricos reforçados por fibras vegetais, tais como painéis. Haja vista que muitos desses compósitos apresentam propriedades mecânicas e térmicas relevantes (BADER, 1983).

Neste contexto, o resíduo do processo de fabricação da vassoura de piaçava apresenta-se como uma alternativa para a produção desses tipos de produto. Já que este resíduo não sofre nenhuma modificação química durante esse processo.

Desta forma, como o uso de painéis tem se tornado cada vez mais freqüente em todas as tipologias arquitetônicas, fazem-se necessárias pesquisas que respondam às demandas econômicas, funcionais e ambientais, promovendo a aplicação adequada do material à função que irá desempenhar (CARVALHO, 2012).

Do mesmo modo que painéis divisores de ambientes ou divisórias, além da compartimentalização dos ambientes devem proporcionar conforto ambiental e segurança, na forma de isolamento térmico, acústico e proteção contra o fogo. O isolamento térmico e acústico é de grande importância para o segmento da construção civil, tendo em vista que atualmente está inserido no mercado de edificações sustentáveis, onde os principais aspectos são a economia de energia e a eficiência energética, sendo um item fundamental em relação à qualidade de vida dos usuários (AMORIM, 2014).

Com isso, buscou-se desenvolver painéis utilizando resíduos da fabricação de vassouras de piaçava como reforço e matriz polimérica à base de óleo da mamona com potencial aplicação em revestimentos, forros e paredes divisórias nas mais diversas tipologias arquitetônicas a serem realizadas em projetos de interiores.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A presente pesquisa apresenta como a aplicação do resíduo da fabricação de vassouras de piaçava em painéis compósitos poliméricos como alternativa de uso na indústria da construção civil.

O compósito polimérico estudado é um material composto por resina poliuretana à base de óleo de mamona e resíduo da fabricação de vassouras de piaçava, que resulta em um material parcialmente sustentável, devido ao uso da resina, que é constituída por pré-polímero e pelo póliol extraído do óleo da mamona, que é a matéria prima de origem natural; e do resíduo do processo de fabricação de vassouras de piaçava, que também é de origem natural e não sofre modificações químicas na indústria de vassouras.

Apresentar possibilidades de uso na indústria da construção civil é uma forma de valorizar e estimular o desenvolvimento tecnológico da produção dos painéis compósitos, criando, desta forma, referências de relevância com o intuito de estimular interesse pela especificação desse material, além de colaborar para a redução da quantidade de resíduos descartados de maneira incorreta.

Neste contexto, também destacam-se as propriedades térmicas do material, tendo em vista que há uma preocupação relacionada com o conforto térmico proporcionado no interior das construções e que também são de suma importância para a determinação do uso de materiais em edificações (RIBAS, 2013).

Com isso, buscou-se produzir um compósito polimérico que apresente bons resultados relacionados às propriedades térmicas, considerando o potencial de seus componentes.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar o comportamento térmico de compósitos poliméricos reforçados com resíduos oriundas da fabricação de vassouras como possibilidades de uso na indústria da construção civil.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Produzir o compósito polimérico com o resíduo da fabricação de vassouras de piaçava e resina poliuretana à base de óleo da mamona.

Caracterizar e avaliar o teor de umidade, a densidade, o inchamento durante 24 h, a resistência à flexão estática, o módulo de elasticidade e a condutividade térmica do painel compósito conforme os requisitos normativos, comparando tais propriedades com o MDF (painel de fibras de média densidade).

Comparar as propriedades térmicas dos compósitos de resíduo da fabricação de vassouras de piaçava com o MDF (painel de fibras de média densidade) comercial.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O conteúdo do trabalho estrutura-se em cinco capítulos e referências bibliográficas.

O primeiro capítulo apresenta uma introdução, justificativa e objetivos da pesquisa, visando contextualizar a importância e o potencial uso de resíduos industriais, onde destaca-se o resíduo proveniente da produção de vassouras de piaçava, para a produção de painéis de fibras com possibilidades de uso na indústria da construção civil.

O segundo capítulo aborda uma revisão bibliográfica, onde são expostos os conceitos e definições de resíduos, onde são destacados trabalhos com a utilização de resíduos industriais na produção de compósitos para aplicação na construção civil. Também são abordados painéis compósitos lignocelulósicos, painéis de fibras e propriedades térmicas em painéis compósitos.

O terceiro capítulo expõe a metodologia aplicada à pesquisa, descrevendo os materiais e os métodos utilizados para a obtenção e tratamento dos resíduos industriais oriundos da fabricação de vassouras de piaçava, assim como também os métodos adotados para a caracterização física, mecânica e térmica dos compósitos produzidos nesta pesquisa.

No quarto capítulo são apresentadas as discussões sobre os resultados obtidos por meio dos ensaios realizados utilizando os painéis compósitos.

O quinto capítulo refere-se à conclusão e em seguida são apresentadas as referências e os anexos produzidos para a realização deste trabalho.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

De acordo com a Resolução CONAMA (2002), o resíduo sólido é o material remanescente proveniente de um processo produtivo. Além disso, como bem nos assegura a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004), o resíduo sólido é o produto ou o material no estado sólido e semi-sólido, resultado de práticas de natureza industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição, cuja sua constituição não permite seu escoamento livre. Desta forma, faz-se necessária a gestão desse resíduo.

Para Gonçalves-Dias, Ghani e Cipriano (2015), a gestão de resíduos sólidos é um grupo de técnicas que tem por objetivo reduzir a produção de resíduos e eliminá-los ao máximo. Sendo assim, a gestão de resíduos também procura privilegiar primeiramente os procedimentos que apontam para a não geração de resíduos na origem, desta forma, refere-se a um aglomerado de atividades adotadas antes do material ou substância tornar-se resíduo.

A prevenção, isto é, a não geração de resíduos, é uma definição que tem por intuito colaborar para o gerenciamento dos resíduos remanescentes e para a proteção dos recursos naturais a médio e longo prazo concomitantemente, tendo em vista que o foco principal é a precipitação de impactos ambientais negativos afim de evitá-los no futuro (GONÇALVES-DIAS, GHANI e CIPRIANO, 2015).

Neste sentido, a adição de tais materiais como reforço em compósito, que podem ser reaproveitáveis e que são considerados como resíduos inutilizáveis ao lixo, minimiza três efeitos ambientais consideráveis: de aproveitamento abusivo de recursos naturais, de coleta cíclica sem os cuidados necessários e de alojamentos maiores para o armazenamento de tal material remanescente (ROSA, FRACETO e MOSCHINI-CARLOS, 2012).

Neste trabalho, propõe-se o gerenciamento do resíduo no topo da hierarquia de geração, como visto na Figura 1.

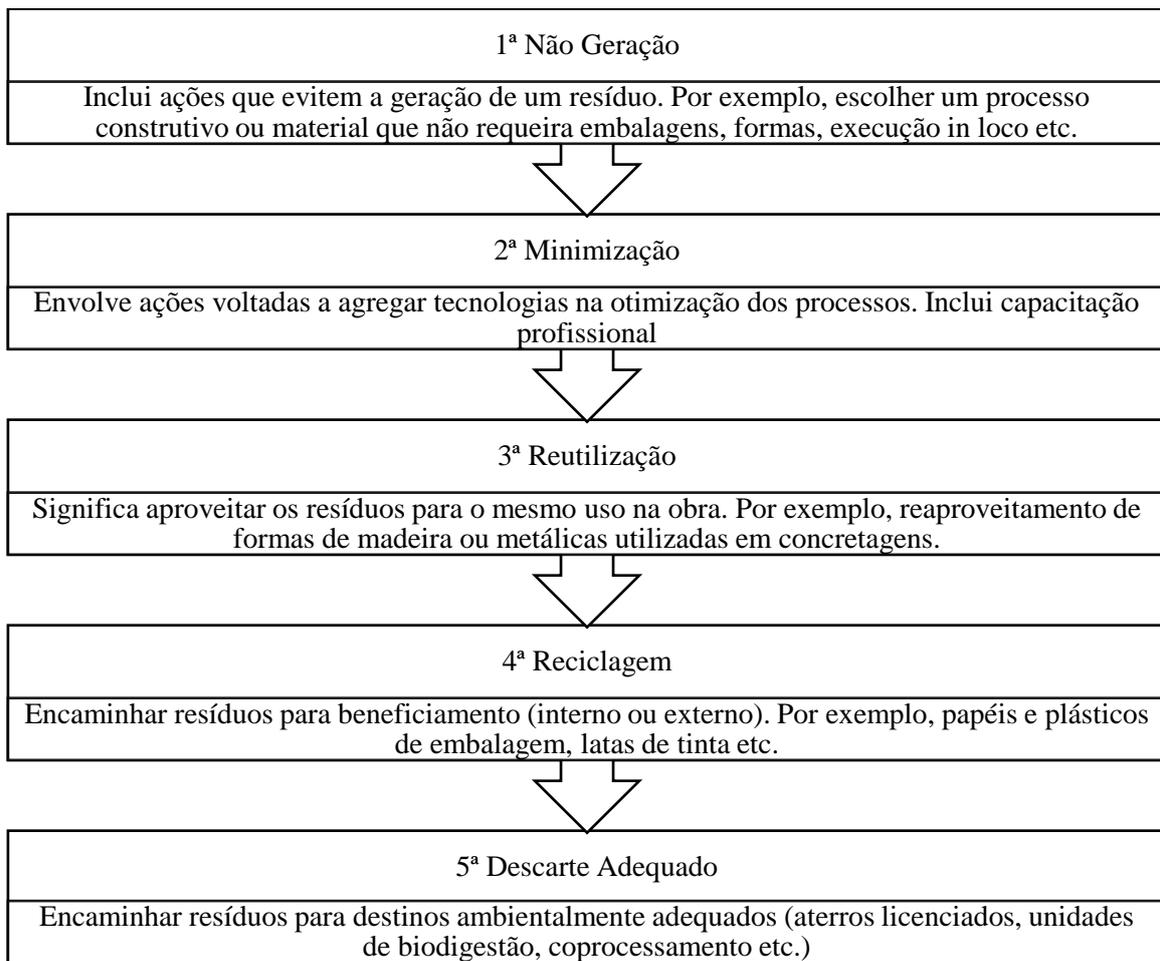


Figura 1. Hierarquia do sistema de gerenciamento de resíduos. Fonte: Adaptado de Nagalli (2016).

### 2.1.1 Classificação

Os resíduos sólidos são classificados no Brasil conforme as orientações concebidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que categoriza tais resíduos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública. Essa classificação representa um papel relevante para identificar o tipo de tratamento que tais materiais devem receber, tendo em vista que é por meio desta especificação que é possível obter o conhecimento das propriedades físicas, químicas e biológicas (MOURA e VIRIATO, 2008; SANTOS, 2015).

Sobre o processo classificatório determinado pela ABNT NBR 10.004: 2004, este compreende o reconhecimento do procedimento ou método que deu origem ao resíduo, bem como seus componentes e características.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004), os resíduos são categorizados em:

- a) Resíduos classe I – Perigosos;
- b) Resíduos classe II – Não perigosos;
  - a. Resíduos classe II A – Não inertes.
  - b. Resíduos classe II B – Inertes.

Resíduos de classe I (perigosos) são todos os materiais remanescentes provindos de atividades industrial e do tratamento de seus efluentes líquidos e gasosos que apresentam risco real e iminente à saúde humana, ao meio ambiente e ao patrimônio público e privado (ARAUJO, 2014).

Os resíduos de classe II são os resíduos não perigosos e podem ser não inertes e inertes. Os não inertes são aqueles que quando em contato dinâmico ou estático com água destilada ou deionizada, conservam seus componentes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água. Já os inertes são os resíduos que não são compatíveis com as classificações anteriores e podem apresentar características de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água (ARARUNA JÚNIOR e BURLINI, 2014).

A Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos (LPNRS), regulamentada pelo Decreto 7.404 de 23/12/2010, também titulada como Lei 12.305/2010 divulga uma classificação de resíduos sólidos complementar a da ABNT NBR 10.004:2004, que classifica os resíduos quanto à periculosidade e quanto à origem, como é demonstrado nas Figuras 2 e 3 a seguir (COSTA, 2011).

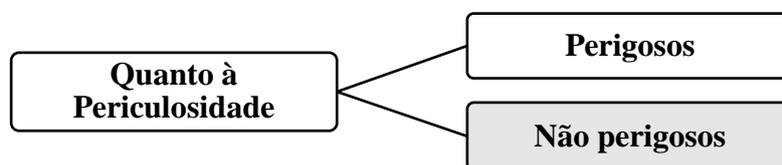


Figura 2. Classificação dos Resíduos Sólidos quanto a sua periculosidade. Fonte: adaptado de Costa (2011).

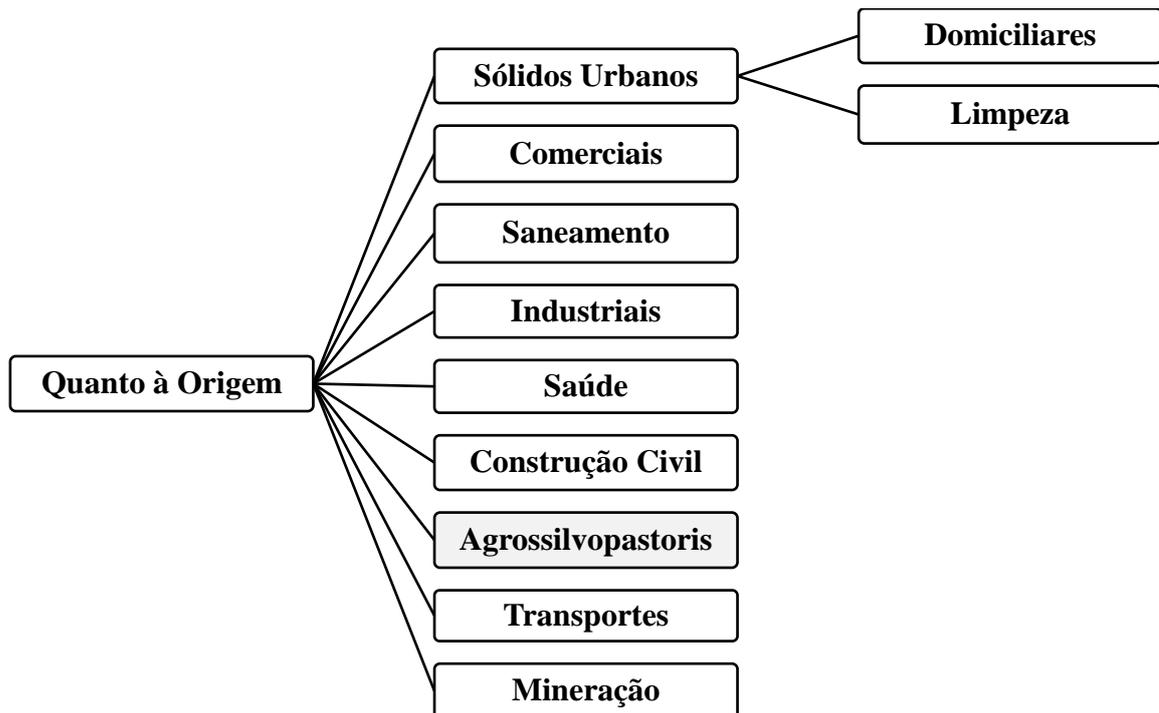


Figura 3. Classificação dos resíduos sólidos quanto a sua origem. Fonte: adaptado de Costa (2011).

Como bem nos assegura Nagalli (2016), é importante a nitidez durante a utilização de um sistema classificatório de resíduos sólidos, tendo em vista que alguns parâmetros adotados possam propiciar confusões e prejudicar a tomada de decisões. Logo, é de suma importância averiguar em que contexto e função tais sistemas classificatórios foram desenvolvidos.

Em relação ao resíduo da fabricação de vassouras de piaçava, que é o objeto deste trabalho, este pode ser classificado como resíduo inerte, não perigoso e agrossilvopastoril.

### 2.1.2 Uso de Resíduos na Produção de Compósitos para a Construção Civil

A reciclagem pós-consumo faz parte do gerenciamento de resíduos e aplica matérias-primas provenientes de produtos remanescentes de alguma atividade econômica (CIANCIARDI, 2014).

Tais produtos são potenciais fontes de matéria-prima, que são coletadas, reprocessadas e dão origem a um novo produto que podem ser aplicados à construção civil, à produção de componentes automobilísticos, entre outros (FREIRE e BERALDO, 2003).

Um exemplo do uso de resíduos na produção de compósitos a serem aplicados em construções estruturais, e que podem substituir materiais convencionais existentes para a

produção de paletes, são painéis compósitos de plástico-madeira produzidos a partir de resíduos de plástico automotivo e casca de macadâmia.

Tais painéis apresentam como principais vantagens sua facilidade para serem moldados em qualquer forma e design, além de apresentarem bons resultados de módulo de compressão e um maior desempenho térmico e de rigidez ao serem comparados com os painéis 100% plásticos (CHOLAKE, RAJARAO, *et al.*, 2017).

Barbosa (2016) estudou painéis compósitos reforçados com resíduos provenientes do caroço do açaí e matriz polimérica à base de óleo da mamona e Lima (2012) também estudou painéis compósitos utilizando como matriz a resina poliuretana à base de óleo da mamona, porém o reforço de seu objeto de estudo foram resíduos provenientes do beneficiamento de toras de madeira.

Oliveira (2015) estudou a viabilidade do uso do farelo do sabugo de milho para obtenção de compósito de matriz polimérica à base de resina do tipo teraftálica (escura) que mostrou-se viável para fabricação de peças e estruturas aplicáveis a sistemas onde baixos esforços mecânicos são solicitados, tais como embalagens, recipientes, estantes e prateleiras.

Painéis compósitos foram confeccionados utilizando como reforço a casca de arroz e como matriz o polipropileno em grânulos e epolene (material aglutinante) e estudados com o objetivo de serem utilizados na construção civil, e em especial na arquitetura de interiores. Este painel apresentou resultados físicos e mecânicos aceitáveis e concluiu-se que este pode contribuir para a geração de produtos sustentáveis a serem aplicados na indústria da construção civil (ALONGE, CHAMMA e ROCHA, 2014).

Logo, diante da associação de necessidades de redução das emissões de gás carbônico e utilização de resíduos de qualquer natureza no ramo das atividades da construção civil, vem sendo desenvolvidas pesquisas de novos materiais com matérias primas de fontes renováveis, menor custo, e igual ou superior características físico-mecânicas (PROGRAMA CIDADES SUSTENTÁVEIS, 2012; LAHR *et al.*, 2015).

### **2.1.3 Resíduo da Fabricação de Vassouras de Piaçava**

Dentre os resíduos utilizados, pode-se destacar o resíduo industrial da fabricação de vassouras de piaçava, que é um resíduo que não passa por nenhuma modificação em sua composição, o que facilita sua reciclagem pós-consumo.

Rebello (2016) utilizou para produzir painéis de partículas fibras de Piaçava Amazônia (*Leopoldinia piassaba*) tratadas e não tratadas, porém a fibra utilizada no processo não era proveniente do processo de fabricação de vassoura. Neste trabalho, faz-se importante conhecer o método da fabricação de vassouras, pois o objeto da pesquisa é semelhante ao de Rebello (2016), porém o material utilizado para a produção dos painéis foi o resíduo deste processo e não a fibra como é encontrada comercialmente.

O processo de fabricação das mesmas é constituído pelas seguintes etapas (CHAMOUN, 2010):

- Recebimento e seleção das matérias-primas, que incluem a limpeza, o desembaraçamento, o corte e a separação da piaçava em molhos;
- Fixação dos molhos de piaçava com barbante;
- Preparação da base da vassoura;
- Prensagem, que é a etapa em que a piaçava é colocada dentro da base, prensada e pregada;
- Aparo e penteação, que é a operação de cortar e pentear as cerdas da vassoura semipronta;
- Colocação de cabos;
- Enfeixamento e estocagem.

O resíduo gerado pelo processo de fabricação da vassoura de piaçava é durante a fase de aparo e penteação da vassoura semipronta, onde estima-se que o percentual de desperdício desse material, que é composto somente pela fibra da piaçava, seja de ordem de 20% (AQUINO, D'ALMEIDA e MONTEIRO, 2000). Na Fábrica Amazon Limpa Fábrica de Vassouras, na cidade de Manaus-AM, constatou-se que este desperdício é cerca de 40% e ocorre nas mesmas etapas, visto que o processo de fabricação é o mesmo.

A matéria-prima para a produção de vassouras é a fibra da piaçava e tal fibra é oriunda de três espécies diferentes de palmeira: *Attalea funifera* Martius, *Leopoldinia piassaba* Wallace e *Aphandra natalia* Barfod. No Amazonas, a espécie encontrada dessa palmeira é a *Leopoldinia piassaba* Wallace (JOSA, 2008), sendo produzida principalmente nos municípios de Barcelos, Novo Airão, Santa Isabel do Rio Negro, São Gabriel da Cachoeira e Parintins. Dentre esses municípios produtores de fibras de piaçava, Barcelos é o maior produtor nos últimos cinco anos, tendo em vista que sua produção é acima de 1.000 toneladas de fibras por ano (IBGE, 2017).

Na Tabela 1 abaixo é possível verificar a quantidade produzida de fibras de piaçava em toneladas por município produtor do estado do Amazonas nos anos 2012 a 2017, conforme dados do IBGE (2019).

**Tabela 1.** Quantidade produzida de fibra de piaçava por município do Amazonas.

MUNICÍPIO	QUANTIDADE PRODUZIDA (tonelada)					
	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<b>Barcelos</b>	1.050	1.150	1.150	1.656	2.500	1.453
<b>Parintins</b>	*	*	*	*	*	1
<b>Santa Isabel do Rio Negro</b>	850	890	900	107	54	400
<b>São Gabriel da Cachoeira</b>	300	100	115	*	100	*

\* = sem dados registrados

**Fonte:** Dados do IBGE, 2019.

## 2.2 PAINÉIS COMPÓSITOS POLIMÉRICOS LIGNOCELULÓSICOS

Materiais compósitos são materiais desenvolvidos pela associação de dois ou mais materiais distintos com o intuito de obter-se uma melhor combinação das propriedades dos materiais envolvidos. Estes, ainda são compostos por duas fases, sendo estas a fase matriz e a fase dispersa, também chamada de reforço (CALLISTER e RETHWISCH, 2012).

Os compósitos são categorizados ou pelo tipo de matriz ou pelo tipo de reforço que o compõem. Quando classificados segundo o tipo de matriz, podem ser poliméricos, cerâmicos ou metálicos. Já quando classificados conforme o tipo de reforço, estes podem ser reforçados com fibras ou com partículas.

Neste trabalho, o compósito estudado é classificado conforme seu componente matricial como compósito polimérico e segundo seu componente de reforço como compósito de fibras distribuídas de forma aleatória.

Compósitos de matriz polimérica distribuem-se em termoplásticos e termorrígidos. Ambos são formados por plásticos e são facilmente confeccionados por injeção ou por termo formação, além de serem recicláveis

Sobre os compósitos termorrígidos, estes são compostos por polímeros onde suas moléculas criam estruturas tridimensionais muito rígidas, porém apresentam uma maior facilidade de penetração do reforço, tendo em vista que apresentam viscosidade bem inferiores às dos termoplásticos (MOURA, MORAIS e MAGALHÃES, 2010).

Na fabricação de compósitos poliméricos as matrizes mais usadas são as termorrígidas, visto que apresentam boas propriedades mecânicas e propiciam um bom umedecimento do reforço, além de apresentarem consideráveis propriedades termomecânicas e possuem um custo relativamente baixo (COSTA, 2017).

Para a fabricação de painéis de madeira é necessário o uso de resinas para unificar as partículas de madeira e as resinas mais utilizadas são as sintéticas Fenolformaldeído (resinas PF), Ureia-formaldeído (UF), Melamina-formaldeído (MF) e Diisocianato de difenilmetano (MDI). Porém, tais resinas sintéticas causam problemas de saúde aos trabalhadores e estão associadas à emissão de formaldeído tóxico durante o tempo de vida do painel. Nesse sentido, procura-se utilizar produtos biodegradáveis e não poluentes que são provenientes de matéria-prima renovável (SILVA, 2015).

Desta forma, há no mercado uma resina proveniente de fonte renovável que é a base de óleo da mamona. Essa resina é composta por dois componentes: o poliól, oriundo da planta *Ricinus communis*, e o pré-polímero, procedente do petróleo, que quando associados geram uma reação de polimerização, formando assim o poliuretano. A dureza do poliuretano é estabelecida pela porcentagem de poliól utilizada na mistura (DIAS, 2005).

A resina à base de óleo da mamona apresenta como vantagem ser de origem natural e ser uma matéria-prima renovável, tendo em vista ser um material parcialmente biodegradável e não poluente (ERENO, 2003)

A literatura mostra uma variedade de matérias-primas que podem ser utilizadas na fabricação de painéis compósitos poliméricos lignocelulósicos, como por exemplo, o uso de fibras de bambu, extraídas do Bambu das espécies *Guadua Angustifolia* Kunth, e poliuretano vegetal derivado da planta higerilla. Os resultados desse estudo mostraram a viabilidade do uso desses painéis para fins não estruturais (SÁNCHEZ, MORALES e CAICEDO, 2017).

Compósitos de polipropileno com 10, 20 e 30 % em volume de fibra de coco verde tiveram seus módulos de flexão avaliados e conclui-se que o compósito com teor de fibra de coco verde de 30% forneceu o melhor desempenho quanto à flexão (ISHIZAKI, VISCONTE, *et al.*, 2006).

Compósitos de fibras de celulose do bagaço de cana de açúcar com matriz em polietileno de alta densidade foram produzidos nas proporções de 5, 10, 20, 30 e 40 % de fibra em relação ao volume total do compósito e foram ensaiados à flexão. O compósito que obteve melhor resultado de módulo de ruptura foi com compósito com 30 % de fibra em sua composição, apresentando um valor de 23,1 MPa para esta propriedade. Já para o módulo de elasticidade, o

compósito que apresentou melhor desempenho foi o com 40 % de fibra em sua composição, mostrando um valor de 1304,1 MPa para esta propriedade (MULINARI, 2009).

## 2.3 PAINÉIS DE FIBRAS

A ABNT NBR 15.316:2015 define os painéis de média densidade como uma chapa de fibras de madeira com umidade menor que 20 % e na linha de formação e densidade maior que 450 kg/m<sup>3</sup>. No entanto, a mesma norma classifica os painéis de fibras de acordo com a sua densidade. A Tabela 2 resume a classificação dos painéis quanto a sua densidade segundo as normas NBR 14810-1, ASTM D1554 e NBR 15316-2.

Tabela 2. Classificação painéis de partículas de madeira.

NORMA	DENSIDADE (kg/m <sup>3</sup> )	CLASSIFICAÇÃO
NBR 14810-1 (ABNT, 2013a)	550 – 750	Partículas de média densidade
ASTM D1554 (2016)	160 – 500	Fibra celulósica
	500 – 1000	Fibra de média densidade
	500 – 800	Compensado de média densidade
	>800	Compensado de alta densidade
	<640	Compensado de baixa densidade
	640 – 800	Partículas de média densidade
	>800	Partículas de alta densidade
NBR 15316-2 (ABNT, 2015)	450 – 550	<i>Ultralight</i>
	551 – 650	<i>Light</i>
	651 – 800	Fibra de média densidade
	>800	Fibra de alta densidade

Cascas de amendoim e fibra de coco verde foram empregados para a confecção de painéis de baixa densidade utilizando como adesivo a resina poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona. O compósito apresentou propriedades físico-mecânicas (densidade, inchamento, absorção, módulo de ruptura e módulo de elasticidade, adesão interna) compatíveis com o uso proposto ao material. Em relação ao desempenho térmico, o painel estudado apresentou potencial para a aplicação em forro (CRAVO, 2013).

Resíduos de fibras oriundos da indústria agrossilvopastoril podem ser utilizados para confeccionar painéis de fibras. Um exemplo do uso de resíduos agrossilvopastoris em painéis

de fibras é a produção de tal painel de baixa densidade utilizando partículas de bambu como reforço em painéis multicamadas de bagaço de cana-de-açúcar aglutinados com resina poliuretana à base de óleo de mamona. Tais painéis foram submetidos aos ensaios de verificação de espessura, densidade e resistência à tração perpendicular, inchamento e absorção 2 horas, arrancamento de parafuso e ensaios de flexão estática para obtenção e MOR E MOR. Apresentaram desempenhos tecnológicos satisfatórios, o que é fundamental para redução do custo de produto e minimização do consumo de recursos fibrosos (BELINI, SAVASTANO JÚNIOR, *et al.*, 2014).

Painéis foram confeccionados com bambu da espécie *Dendrocalamus Giganteus*, casca de arroz e adesivo poliuretano a base de óleo de mamona com o objetivo de aplicação na indústria da construção civil e moveleira. Os painéis foram submetidos aos ensaios de espessura 24 horas, absorção de água 24 horas, umidade, densidade, resistência a flexão, tração perpendicular e arrancamento de parafusos. Sobre os resultados obtidos, estes indicaram que o material ensaiado apresentou bom potencial para a fabricação de painel com aplicabilidade em condições secas conforme a norma, apesar do painel estudado apresentar densidade de 850 kg/m<sup>3</sup> e ser considerado painel de alta densidade (ARCHANGELO, 2016).

Madeira de eucalipto em mistura com resíduos provenientes da atividade agrícola (carpelo de noz macadâmia, pergaminho de café e caule de mamoeiro) usando como aglutinantes os adesivos ureia formaldeído e tanino ureia formaldeído foram matéria-prima para a produção de painéis. As propriedades físicas analisadas foram a de densidade aparente, absorção de água e inchamento em espessura; as propriedades mecânicas verificados foram resistência à flexão estática, arrancamento de parafusos, tração perpendicular e dureza Janka. Os resultados obtidos por meio dos ensaios realizados mostraram que o painel foi classificado como painel de média densidade e que atenderam às especificações de desempenho para absorção de água e inchamento em espessura. Sobre as propriedades mecânicas, os resultados atenderam aos padrões de qualidade normativos com exceção da propriedade de flexão estática. Portanto, tal pesquisa indicou o potencial de utilização dos resíduos lignocelulósicos caule de mamoeiro, carpelo de mamoeiro, arpelo de noz macadâmia e pergaminho de café como matéria-prima para a confecção de painéis, desde que não submetidos a tensões de flexão (MARTINS, 2016).

Painéis foram produzidos com pena de galinha e resina ureia-formaldeído visando verificar as propriedades e possibilidades de aplicação deste produto na construção civil. Por meio dos ensaios realizados constatou-se o potencial desde resíduo para a produção de painéis

para o uso como material isolante térmico em componentes para a construção civil (MINUTTI, 2018).

## 2.4 PROPRIEDADES TÉRMICAS EM PAINÉIS COMPÓSITOS

Mudanças climáticas têm sido alvo de estudos de pesquisadores nos últimos anos. Mesmo que ainda exista uma incerteza em relação aos fatores que influenciam tais alterações, acredita-se que tenham ligação com os fenômenos climáticos (efeito estufa, ilhas de calor, etc), que são consequências da forma como o homem ocupou o planeta (ALVES, 2014).

Bitan (1988) afirma que, a intervenção das condições climáticas nas atividades do homem e sobre o seu abrigo pode ser averiguada no decorrer do tempo, visto que as construções do passado eram mais bem adaptadas ao clima do que as construções atuais e que o homem sempre buscou adaptar o ambiente natural em busca de seu conforto.

Com o desenvolvimento da sociedade, as construções passaram a possuir aspectos semelhantes em todo o mundo devido a certas correntes de arquitetura, porém nem todas as características adotadas nesses novos modelos de arquitetura se adaptam em todas às condições de clima (GOULART, 1993).

Contudo, nos últimos anos, uma preocupação com a adaptação de edificações no espaço geográfico em que estão inseridas vem aumentando, tendo em vista que o homem passou a atender-se para as questões climáticas e para o desempenho energético e térmico que suas construções desempenham.

Em busca de melhorar o desempenho de suas edificações e melhorar, conseqüentemente, seu conforto ambiental, o homem passou a desenvolver pesquisas e novos materiais para serem aplicados com esse objetivo.

Neste contexto, faz-se necessário conhecer o conceito de conforto térmico, que pode ser definido, de acordo com Lamberts *et al.* (2005), como “o estado mental que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda”.

A respeito do conforto térmico, pode-se ressaltar como suas principais variáveis: a temperatura, a umidade, a velocidade do ar, a radiação solar incidente e as variantes do local, tais como vegetação, condições climáticas, entre outros (FROTA, 2001).

Em vista disso, faz-se necessário o estudo das propriedades térmicas, das quais as mais importantes são três: a condutividade térmica, a difusividade térmica e o calor específico, tendo

em vista que tais propriedades são observadas quando o calor é adicionado ou removido do material em estudo.

De acordo com a NBR 15220 – 1 (ABNT, 2005), a condutividade térmica é uma propriedade a qual verifica-se um fluxo de calor constante quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme.

Condutividade térmica pode ser definida também como uma propriedade que indica a taxa em que a energia é transferida por meio do processo de difusão, ou seja, uma taxa de transferência e calor através da espessura do material pela unidade de área e amplitude térmica. A condutividade está submetida à estrutura física, atômica, molecular e as estruturas interligadas à disposição da matéria (INCROPERA, 2008; KAPUNO; RATHORE, 2011).

A condutividade térmica é uma propriedade de extrema importância para determinar termicamente se um material é um bom ou um mal isolante, visto que é uma propriedade que quantifica o fluxo de calor sobre o material estudado em função de seu gradiente de temperatura, sendo um parâmetro essencial para o estudo de transferência de calor (BORGES, 2009).

A condutividade está relacionada diretamente com a densidade aparente do material, ou seja, quanto menor a densidade do material, menor é a sua condutividade térmica, o que torna o material um isolante (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014).

A difusividade térmica mede a capacidade do material de conduzir energia em relação à sua capacidade de armazenar a mesma energia. A difusividade é diretamente proporcional à condutividade térmica, assim materiais com alto índices de difusividade também devem apresentar altos valores de condutividade térmica (INCROPERA, 2008).

O calor específico pode ser definido como capacidade térmica por unidade de massa, ou seja, é uma grandeza que mede a dificuldade da substância variar sua energia (GALVÃO, 2014).

Na Tabela 3 estão relacionados os dados de densidade e condutividade térmica dos principais materiais selecionado a partir da tabela apresentada na norma ABNT NBR 15220-2:2005.

Tabela 3. Condutividade térmica (k) de alguns materiais de construção.

<b>Material</b>	<b>Densidade (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Condutividade Térmica (W/mk)</b>
<b>Argamassa comum</b>	1800 – 2100	1,150
<b>Tijolos e telhas de barro</b>	1000 – 1300	0,700
<b>Placas de fibrocimento</b>	1800 – 2200	0,950

<b>Concreto normal</b>	2200 – 2400	1,750
<b>Placa de gesso; gesso acartonado</b>	750 – 1000	0,350
<b>Lã de rocha</b>	20 – 200	0,045
<b>Lã de vidro</b>	10 – 100	0,045
<b>Poliestireno expandido moldado</b>	15 -35	0,040
<b>Aglomerado de fibras de madeira (denso)</b>	850 – 1000	0,200
<b>Aglomerado de fibras de madeira (leve)</b>	200 – 500	0,058
<b>Compensado</b>	450 – 550	0,150
<b>Aço, ferro fundido</b>	7800	55,000
<b>Alumínio</b>	2700	230,000
<b>Granito</b>	2300 – 2900	3,000
<b>Mármore</b>	>2600	2,900
<b>Poliestileno</b>	900 – 1700	0,400
<b>Vidro</b>	2500	1,000

Fonte: ABNT NBR 15220-2:2005.

Como o foco desse trabalho consiste em avaliar as propriedades térmicas do painel reforçado com resíduo da fibra de piaçava aglutinado com resina poliuretana a base de óleo da mamona comparando-o com o MDF, serão relatados alguns trabalhos que foram extraídos da literatura, com a finalidade de subsidiar informações necessárias para avaliar tais propriedades desses painéis.

Compósitos foram produzidos com argamassa de gesso e fibra vegetal de buriti-ivan e obtiveram uma condutividade térmica de 0,255 W/mk, que demonstrou que as características da fibra de buriti-ivan conduzem a resultados satisfatórios para uso como carga nas argamassas de gesso, tendo em vista que aumentam o ganho em 27,14% em isolamento térmico, podendo ser especificadas para o uso em forma de placas isolantes térmicas para paredes, forros e pisos (LIMA, 2005).

Compósitos foram preparados usando acetato de celulose plastificado com plastificante ftalato de dioctila (DOP) e citrato de trietila (TEC) e fibras de curaua tratadas e não tratadas. A composição do compósito foi mantido em 30% para o teor de plastificante e 10% para a fibra. Tais compósitos foram ensaiados termicamente e os resultados mostram que a introdução das fibras de curaua tratadas ou não no acetato de celulose plastificado acarreta em diminuição da condutividade térmica em toda a faixa de temperatura, visto que a fibra pode atuar como

barreira para a transferência de energia. Conclui-se que os compósitos estudados são materiais densos e apresentam valores de condutividade térmica similares que materiais porosos tradicionalmente usados como isolante térmicos, tais como espumas de poliuretanas e de poliestirenos (GUTIÉRREZ, ROSA, *et al.*, 2012).

Compósitos particulados de baixa densidade com casca de amendoim, fibra de coco verde e resina poliuretana à base de óleo de mamona para a aplicação como forro de galpões avícolas foram avaliados por meio de ensaios térmicos: condutividade térmica e fator de ganho de calor solar. O compósito apresentou o valor de 0,2971 W/mk para a condutividade térmica e foi possível determinar pelo fator de ganho de calor solar que ocorreu uma redução significativa da transferência de radiação solar para o interior do aviário, comprovando o potencial deste material para aplicação como forro (CRAVO, 2013).

Placas rígidas de baixa densidade foram fabricadas utilizando o talo de girassol triturado e resina poliuretana derivada do óleo da mamona para uso como material alternativo de isolamento térmico. Os testes mostraram que o material tem potencial para uso como isolante térmico e apresentaram como resultados 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>. o resultado da condutividade térmica demonstrou que o compósito obteve desempenho semelhante ao de lã de vidro (ADAMY, 2017).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 DESCRIÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa foi dividida em duas fases: a primeira etapa refere-se à preparação do resíduo e produção do painel e a segunda etapa refere-se a caracterização físico-mecânica e térmica do painel compósito.

Para melhor compreensão do trabalho, na Figura 4, está apresentado o fluxograma adotado para a execução do presente trabalho.

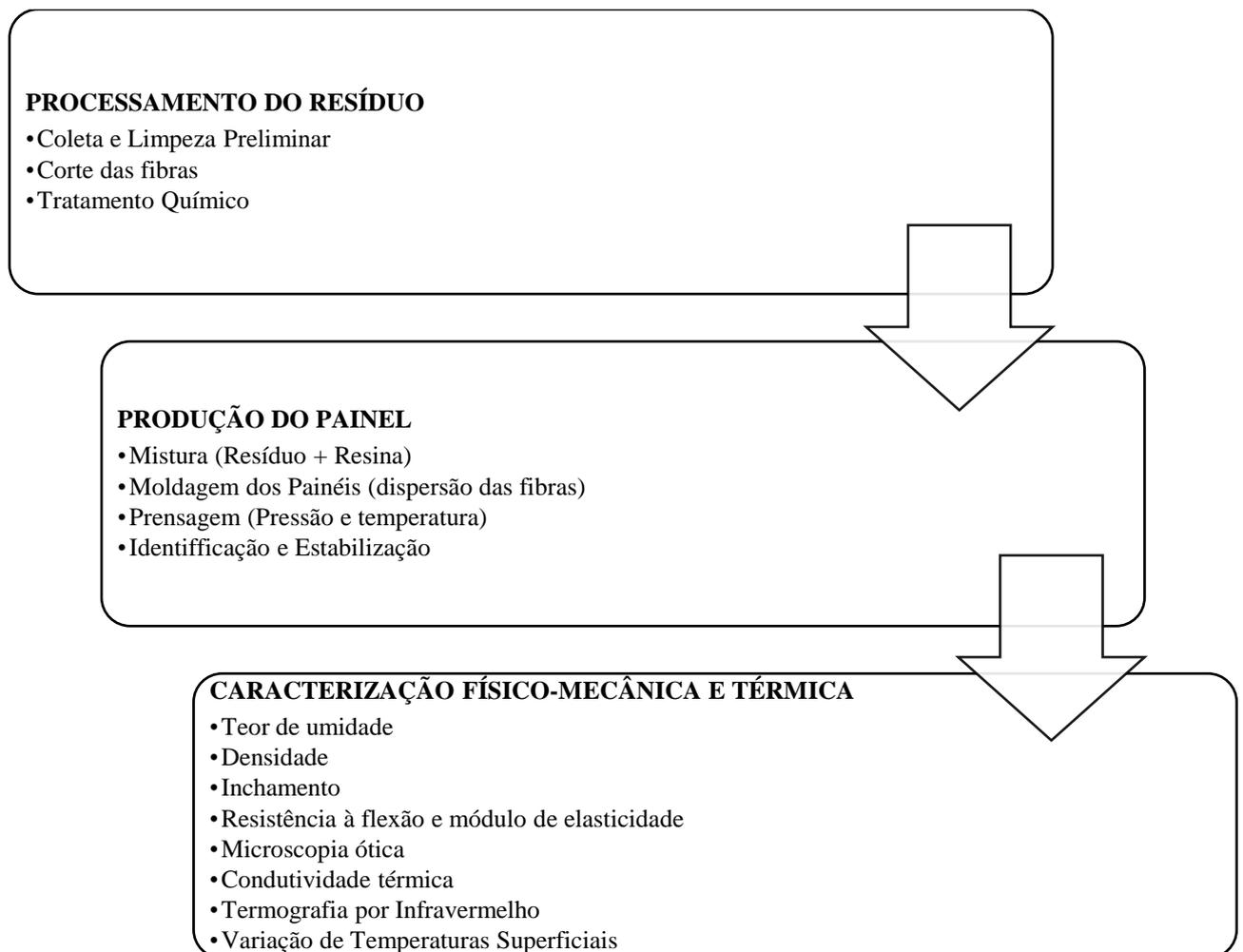


Figura 4. Fluxograma produtivo do trabalho. Fonte: Própria, 2019.

### 3.2 MATERIAIS

Os resíduos gerados pela fabricação de vassouras de piaçava foram obtidos na empresa Amazon Limpa – Fábrica de Vassouras, localizada na cidade de Manaus. A resina poliuretana bicomponente de óleo de mamona, composta poliól e de pré-polímero, foi obtida através de doação da empresa Plural Química de São Carlos/SP. Essa resina é constituída de dois componentes: LECOPOL F 0911 – componente poliól (derivado vegetal), e LECOPOL E 0921 – isocianato (isocianato aromático), como mostrado na Figura 5.

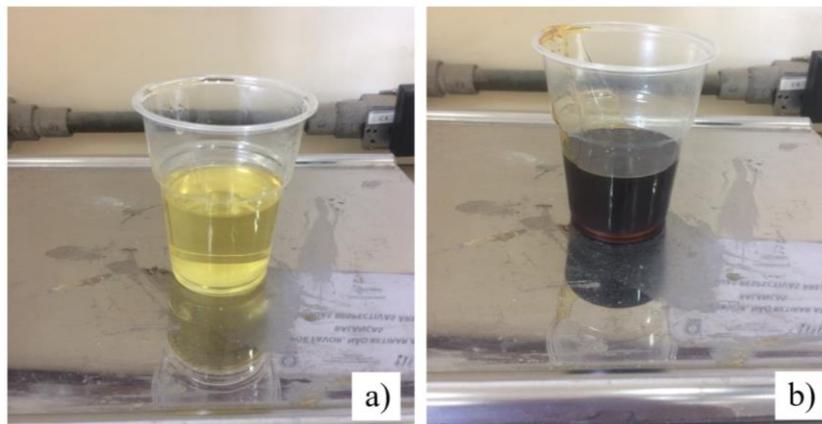


Figura 5. a) Poliól; b) Pré-polímero. Fonte: Autora.

Para o tratamento das fibras, utilizou-se o hidróxido de sódio a 97 %.

Para a produção dos painéis compostos os principais materiais foram:

- Molde de ferro;
- Molde de madeira;
- Poliól;
- Pré-polímero;
- Papel antiaderente;
- Resíduo de piaçava;
- Copos descartáveis para pesagem da resina;
- Luva de látex;
- Luva de raspa;
- Máscara descartável.

### 3.3 METODOLOGIA

Neste trabalho seguiu-se a metodologia adotada por Rebelo (2016) para a produção de painel, que obteve melhores resultados com a produção do painel composto por 15 % de resina e fibras de piaçava tratadas com 10 % NaOH nas fibras, por apresentar-se promissor ao atender alguns requisitos da norma NBR 14810-2:2013.

#### 3.3.1 Processamento das Fibras de Piaçava

Após a coleta, as fibras foram lavadas em água corrente. Em seguida, foram expostas ao ar livre por um período de 72 horas, para a retirada natural da água em excesso e, conseqüentemente, redução do teor de umidade dos resíduos.

Posteriormente à secagem, as fibras foram armazenadas em recipiente fechado no laboratório com temperatura ambiente de aproximadamente 25°C, até a execução das outras etapas, incluindo o corte das fibras, tratamento e moldagem das placas.

#### 3.3.2 Tratamento Químico das Fibras

O tratamento químico adotado foi o tratamento alcalino com hidróxido de sódio (NaOH) em concentração de 10 % com o intuito de melhorar a adesão interfacial e as propriedades mecânicas do resíduo, o que influenciará nas propriedades mecânicas dos compósitos. Este tratamento foi adotado de acordo com a metodologia e resultados de Rebelo (2016).

Desta forma, os resíduos, já limpos, foram cortados em tamanho de aproximadamente 1 cm e separados em quantidades suficientes para a produção dos painéis, conforme demonstrado na Figura 6.



Figura 6. Resíduo limpo e cortado. Fonte: Autora.

Então, os resíduos foram imersos em solução alcalina durante 1 hora, conforme Figura 7.



Figura 7. Resíduo imerso em solução alcalina. Fonte: Autora.

Após esse período, os resíduos foram lavados em água corrente proveniente do reservatório da instituição (UFAM) abundantemente, até a obtenção de potencial hidrogeniônico  $\text{pH} = 7$  (neutro), cujo processo é demonstrado na Figura 8.



Figura 8. Aferição de potencial hidrogeniônico do resíduo após lavagem em água corrente. Fonte: Autora.

Depois dessa etapa, os resíduos foram secos em temperatura ambiente de 25 °C por 72 h com o objetivo de retirar a água em excesso do material, assim como reduzir o teor de umidade do resíduo e conseqüentemente do compósito a ser produzido com este resíduo (Figura 9).



Figura 9. Secagem dos resíduos tratados em temperatura ambiente. Fonte: Autora.

Para avaliar a umidade residual do resíduo de, utilizou-se o analisador halogêneo de umidade, modelo OHAUS (Figura 10). Foi coletada uma amostra do resíduo que apresentou 6,00 % de umidade, tal umidade encontra-se no intervalo de 3 a 6 %, indicando que está dentro da faixa ideal para a produção de compósitos, de acordo com Silva *et al* (2008).



Figura 10. Avaliação da umidade residual do resíduo no analisador halogêneo de umidade. Fonte: Autora.

### 3.3.3 Produção dos Compósitos

Após o tratamento químico do resíduo, seguiu-se com o processo de produção dos painéis de média densidade, realizado no laboratório de Ensaio de Materiais – LEM, na Universidade Federal do Amazonas. Foram adotados como referência para a produção de painéis e procedimentos de preparação e acondicionamento de corpos de prova a norma de Painéis de Fibras de Média Densidade, NBR 15316-2:2019 e métodos da dissertação de Rebelo (2016).

Com o intuito de produzir quatro painéis no formato 280 x 280 mm, utilizou-se o quantitativo de 477,22 gramas de resíduo limpo e cortado, com densidades nominais de 0,7 g/cm<sup>3</sup> e tratamento alcalino com concentração de 10 % NaOH e 15 % de resina para cada painel.

Para a produção do painel com dimensão de 400 x 400 mm, utilizou-se 973,91 gramas de resíduo nas mesmas condições que o resíduo utilizado no formato 280 x 280 mm, conforme descrito no item 3.3 deste trabalho.

Posteriormente à produção, os painéis foram classificados e acondicionados em temperatura ambiente por um período de 48 horas, tendo em vista a cura da resina e a estabilização do compósito. Em seguida, os corpos de prova foram preparados conforme especificações da norma para realização dos ensaios.

### 3.3.3.1 Aplicação da resina

A massa do resíduo foi determinada por balança de precisão BCW 6/15/30, marca WELMY, e separada em um recipiente (Figura 11).



Figura 11. Resíduo pesado por balança industrial. Fonte: Autora.

Em seguida, aplicou-se a concentração de 15% referente ao adesivo. Os componentes do adesivo foram pesados e a mistura foi realizada primeiramente pela adição de póliol, homogeneizando manualmente o material, e intercalando-se com a dosagem de pré-polímero. Esse processo da mistura durou cerca de 22 minutos (Figura 12), visando garantir a molhabilidade adequada do resíduo pela resina.



Figura 12. Processo de mistura manual do adesivo e do resíduo. Fonte: Autora.

### 3.3.3.2 Formação de Colchão e Pré-prensagem

Os resíduos foram distribuídos em fôrma de madeira com dimensões de 400 x 400 mm para a placa no formato de 400 x 400 mm e, em fôrma de madeira com dimensões de 280 x 280 mm para as placas no formato de 280 x 280 mm. As fôrmas foram posicionadas sobre bandejas metálicas e com o intuito de controlar a dispersão dos resíduos durante o processo de prensagem, utilizou-se um molde metálico entre as bandejas metálicas e a fôrma de madeira. Desta forma, o material foi conformado uniformemente e pré-prensado manualmente, conforme demonstra o processo na Figura 13.



Figura 13. a) material distribuído na fôrma de madeira; b) material sendo pré-pensado manualmente; c) material disposto sobre bandeja metálica e molde metálico, após retirada de fôrma de madeira. Fonte: Autora.

### 3.3.3.3 Prensagem

A prensagem foi realizada por meio da Prensa a quente, PHH 100T, da Hidral-Mac, localizada no LEM/UFAM, através do método de compressão a quente. Este processo ocorreu na temperatura de  $100 \pm 5$  °C, pressão de 10 MPa, e duração de 10 min. Na Figura 14 é possível observar o equipamento e o posicionamento do material para a execução da técnica.

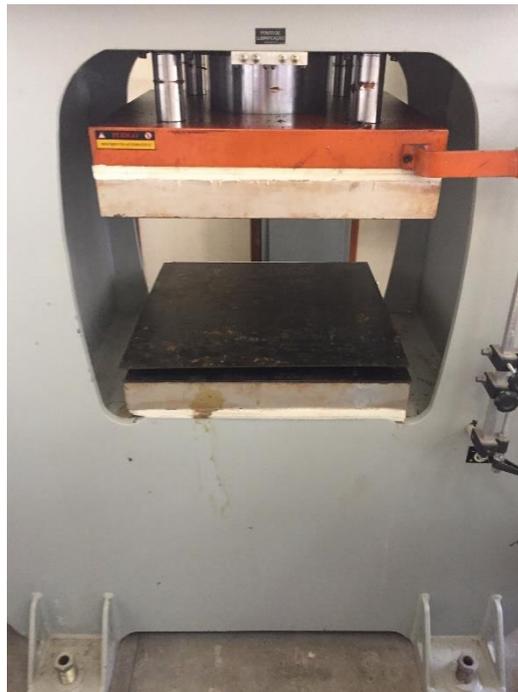


Figura 14. Material posicionado na prensa hidráulica para a execução da técnica. Fonte: Autora.

### 3.3.3.4 Cura do Compósito

Nesta etapa, os painéis foram identificados, armazenados e acondicionados em local arejado com temperatura de aproximadamente  $25 \pm 2$  °C para estabilização por 48 horas, conforme Figura 15.



Figura 15. Painel compósito após desforma. Fonte: Autora.

### 3.3.3.5 Preparação das Amostras

Após a cura dos painéis, estes foram esquadrejados segundo a norma adotada (NBR 15316-2:2019), cortados e identificados, conforme demonstrado nas Figuras 16a e Figuras 16b.

A Figura 16a mostra corpos-de-prova com dimensões de 50 x 50 mm a serem utilizados para os ensaios físicos de teor de umidade, densidade e inchamento e para o ensaio térmico de condutividade. Enquanto a Figura 16b mostra corpos-de-prova com dimensões de 250 x 50 mm a serem utilizados para o ensaio mecânico de flexão.

Também foram preparados corpos-de-prova de MDF cru comercial de 9 mm com as mesmas dimensões para ensaios de referência.

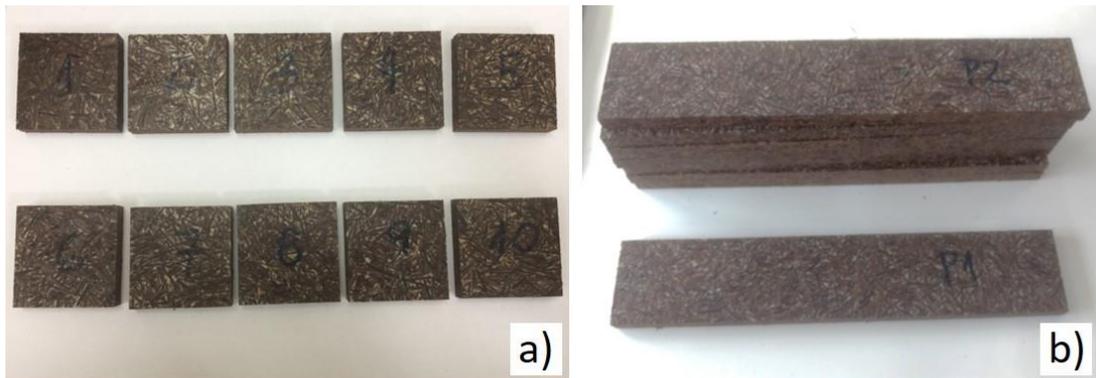


Figura 16. a) Corpos-de-prova 50 x 50 mm para ensaios de teor de umidade, densidade, inchamento e condutividade; b) Corpos-de-prova 250 x 50 mm para ensaios de flexão estática. Fonte: Autora.

### 3.3.4 Caracterização Físico-Mecânica e Térmica do Compósito e MDF Comercial

As caracterizações físicas dos painéis foram realizadas segundo as especificações da norma NBR 15316-2:2019, para painéis de média densidade. O objetivo foi avaliar o material quanto aos requisitos estabelecidos pela norma para painéis não estruturais para uso em condições úmidas.

#### 3.3.4.1 Determinação do Teor de Umidade

O ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais Amazônicos e Compósitos – LAMAC, da Universidade Federal do Amazonas/ UFAM, onde foram utilizados 10 corpos de prova medindo 50 x 50 mm, devidamente identificados. A massa úmida de cada corpo de prova foi registrada por meio de balança analítica AUY221, SHIMADZU, com precisão de 0,1 g e em seguida planilhadas. Em seguida, os corpos de prova foram colocados em estufa em uma temperatura de  $103 \pm 2$  °C em um intervalo de 8 h. Após retirar os corpos de prova da estufa, estes foram esfriados em dessecador e depois de terem esfriado, determinou-se a massa seca dos mesmos individualmente por meio de balança analítica SHIMADZU, com precisão de 0,1 g. O teor de umidade foi obtido pela equação (1):

$$U = \frac{MU-MS}{MS} \times 100 \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

U = teor de umidade do corpo de prova, expresso em porcentagem (%);

MU = massa úmida do corpo de prova, expressa em gramas (g);

MS = massa seca do corpo de prova, expressa em gramas (g).

### 3.3.4.2 Determinação da Densidade

O ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais Amazônicos e Compósitos – LAMAC, da Universidade Federal do Amazonas/ UFAM, onde foram utilizados 10 corpos de prova com dimensões 50 x 50 mm, com espessura de aproximadamente 10 mm, devidamente identificados. A massa individual de cada corpo de prova foi registrada através de balança analítica AUY221, SHIMADZU, com precisão de 0,01 g e em seguida planilhadas. Da mesma maneira, efetuou-se a medição das dimensões das amostras (largura e comprimento) com paquímetro analógico de 6” marca ZAAS (Figura 18a), e das espessuras por micrômetro digital Mitutoyo (Figura 18b) com precisão de 0,01 mm. Os resultados foram expressos pela utilização da equação (2):

$$D = \frac{M}{V} \times 10^6 \quad \text{Equação (2)}$$

Sendo:

$$V = b_1 \times b_2 \times e \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

D = densidade do corpo de prova, expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m<sup>3</sup>);

M = massa do corpo de prova, expressa em gramas (g);

V = volume do corpo de prova, expresso em milímetros cúbicos (mm<sup>3</sup>);

b<sub>1</sub> e b<sub>2</sub> = as dimensões do corpo de prova, expressas em milímetros (mm);

e = espessura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm).

Na continuação determinou-se a densidade média (D<sub>média</sub>) expressa em kg/m<sup>3</sup> objetivando determinar a variação percentual da densidade (D%) de cada um dos corpos de prova em relação à densidade média, de acordo com a equação (2).

$$D\% = \frac{(D - D_{\text{média}})}{D_{\text{média}}} \times 100 \quad \text{Equação (4)}$$



Figura 6. a) Paquímetro analógico; b) micrômetro digital.

### 3.3.4.3 Determinação do Inchamento durante 24 h

O ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais Amazônicos e Compósitos – LAMAC, da Universidade Federal do Amazonas/ UFAM, onde foram utilizados 10 corpos de prova com dimensões 50 x 50 mm, devidamente identificados. A espessura inicial foi medida, no ponto de interseção das diagonais de cada amostra, utilizando-se um micrômetro digital Mitutoyo com precisão de 0,01 mm.

Na continuação, os corpos de prova foram imersos em um recipiente com água destilada a uma temperatura de 20 °C, ficando submersos a um nível de água de 25 mm acima da superfície superior das amostras. Após 24 horas, os corpos de prova foram retirados da imersão e o excesso de água foi removido com papel absorvente. Em seguida, foi efetuada novamente a medição da espessura do corpo de prova em seu centro, conforme processo demonstrado na Figura 19. O resultado é expresso pela equação (5):

$$i = \frac{E_1 - E_0}{E_0} \times 100 \quad \text{Equação (5)}$$

Onde:

$i$  = inchamento em espessura do corpo de prova, expresso em porcentagem (%);

$E_1$  = espessura do corpo de prova após o período de imersão considerado, expressa em milímetros (mm);

$E_0$  = espessura do corpo de prova antes da imersão, expressa em milímetros (mm).



Figura 7. a) medição da espessura inicial; b) imersão dos corpos-de-prova em água destilada; c) medição da espessura final. Fonte: Autora.

#### 3.3.4.4 Determinação da Resistência à Flexão Estática e Módulo de Elasticidade

O ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais Amazônicos e Compósitos – LAMAC, da Universidade Federal do Amazonas/ UFAM, onde foram utilizados 10 corpos de prova com dimensões 250 mm x 50 mm, devidamente identificados. A espessura dos corpos de prova foi medida utilizando-se um micrômetro com resolução mínima de 0,1 mm e a largura (B) foi obtida por meio da medição com um paquímetro, conforme Figura 20.

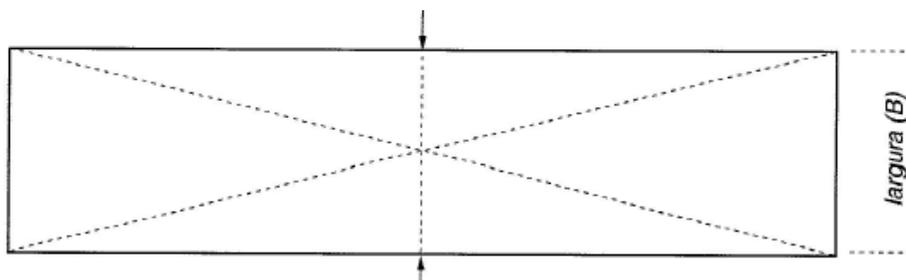


Figura 8. Pontos de medição no corpo de prova.

Após medições dos corpos de prova, estes foram colocados sobre os dois apoios da máquina AME – 5 kN – Oswaldo Filizola e, então, zerou-se o indicador de carga da máquina e acionou-se a mesma com velocidade constante, conforme processo demonstrado na Figura 21 (a), (b) e (c). A carga no limite proporcional (P1) registrada, assim como o valor da força de ruptura foram anotados para a determinação da resistência à flexão estática e do módulo de elasticidade, posteriormente.

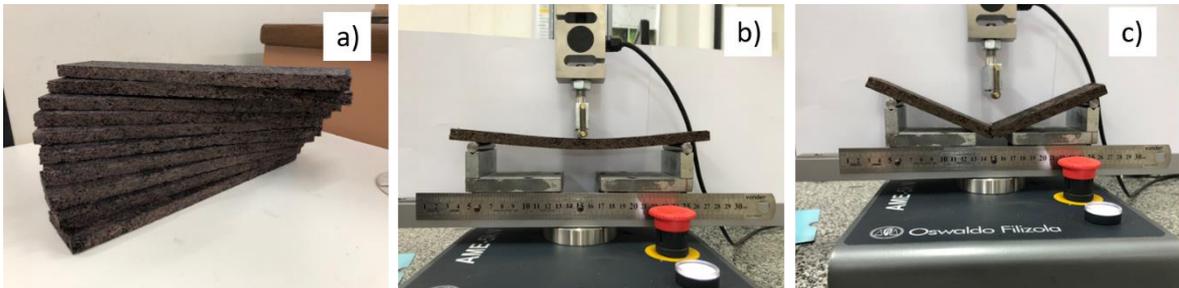


Figura 9. a) Corpos de prova com as dimensões de 250 x 50 mm; b) Corpo de prova posicionado sobre os dois apoios da máquina universal; c) Corpo de prova após ensaio de flexão de três pontos. Fonte: Autora.

A determinação da resistência à flexão estática foi calculada pela equação (8):

$$\text{MOR} = \frac{1,5 \times (P \times D)}{B \times (E)^2} \quad \text{Equação (8)}$$

Onde:

MOR = módulo de resistência à flexão estática, expresso em newtons por milímetro quadrado (N/mm<sup>2</sup>);

P = carga de ruptura lida no indicador de cargas, expressa em newtons (N);

D = distância entre apoios do aparelho, expressa em milímetros (mm);

B = largura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

E = espessura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm).

O resultado do módulo de elasticidade foi calculado pela equação (9):

$$\text{MOE} = \frac{P_1 \times D^3}{d \times 4 \times B \times E^3} \quad \text{Equação (9)}$$

Onde:

MOE = módulo de elasticidade, expresso em newtons por milímetro quadrado (N/mm<sup>2</sup>);

P = carga no limite proporcional lida no indicador de cargas, expressa em newtons (N);

D = distância entre os apoios do aparelho, expressa em milímetros (mm);

B = largura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

E = espessura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

$d$  = deflexão correspondente a carga (mm).

#### 3.3.4.5 Microscopia Óptica

Para verificar a superfície de ambos os materiais (compósito e MDF comercial) afim de visualizar os vazios das amostras foi adotado o ensaio de microscopia óptica, onde emprega-se luz visível, que incide sobre a amostra e é refletida até o observador.

O ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais Amazônicos e Compósitos – LAMAC, da Universidade Federal do Amazonas/ UFAM, onde foram utilizados 1 corpo de prova com dimensões 50 mm x 50 mm de ambos materiais e papel milimetrado para referência de escala.

O papel milimetrado foi devidamente fixado nas amostras e posicionado no microscópio EZ4, da Leica.

#### 3.3.4.6 Condutividade Térmica do Compósito

Para determinar a condutividade térmica foi adotado o método de fonte de plano transitório modificado (MTPS) com o uso do analisador de condutividade térmica C-Therm TCi. Este equipamento emprega um sensor de refletância de calor unilateral que aplica uma fonte de calor à amostra durante o tempo de 1 a 3 segundos, medindo, desta forma, a condutividade térmica e a efusividade da amostra diretamente (AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS, 2016).

O ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais – LABMAT, da Universidade Federal do Amazonas/ UFAM, e foram necessários cinco corpos de prova com as dimensões de 50 x 50 mm cada e espessura de 10 mm. Neste ensaio foram utilizados cinco corpos-de-prova do compósito e cinco corpos-de-prova do MDF. Foram realizadas 30 leituras de valores de condutividade para cada corpo-de-prova, nas dimensões de 50 x 50 mm e 10 mm de espessura.

Em relação ao preparo das amostras, realizou-se o lixamento das faces do material utilizando folhas de lixas de 80, 120, 400 e 600 mesh, com o intuito de obter-se uma superfície de contato liso e homogênea. Após esse procedimento, aplicou-se uma resina acrílica incolor nas amostras com o objetivo de impedir a absorção de água no material, tendo em vista que

ambos materiais (compósito e MDF) apresentam em sua composição material lignocelulósico, mostrando, desta forma, a possibilidade de absorção de água.

Na Figura 22 (a) e (b) é demonstrado o aparato do equipamento e a amostra durante o ensaio.

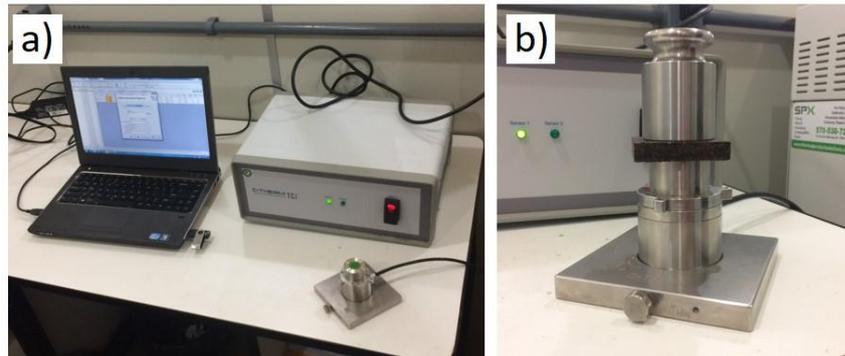


Figura 10. a) Aparato do equipamento; b) Amostra durante o ensaio. Fonte: Autora.

### 3.3.4.7 Termografia por Infravermelho (Infrared – IR)

O ensaio de termografia por infravermelho foi realizado na Universidade Federal do Amazonas – UFAM, em Manaus/AM, com o objetivo de obter o mapeamento térmico das temperaturas superficiais do compósito reforçado com o resíduo de piaçava e do MDF para posterior comparação entre os dois materiais.

Ambos os materiais analisados possuíam dimensões de 360 x 360 mm e foram dispostos num suporte de madeira apoiado em duas mesas, permitindo, desta forma, que as superfícies dos materiais em análise ficassem expostas.

Considerando a influência da cor da superfície do material NBR 15220-2 (ABNT, 2005), as superfícies de ambos os materiais foram pintadas com tinta spray, da marca Suvinil, na cor preto fosco.

O ensaio foi realizado entre os dias 12 de outubro e 26 de novembro de 2018 e foram realizadas 5 tomadas fotográficas em intervalos de 1 hora entre os registros durante 5 momentos do dia, das 10 horas e 30 minutos até às 14 horas e 30 minutos.

As fotos foram tiradas com a máquina T650 (Flir) e posteriormente tratadas com o auxílio do software Flir Tools+ 6.4, versão 6.4.18039.1003, conforme Figura 23.

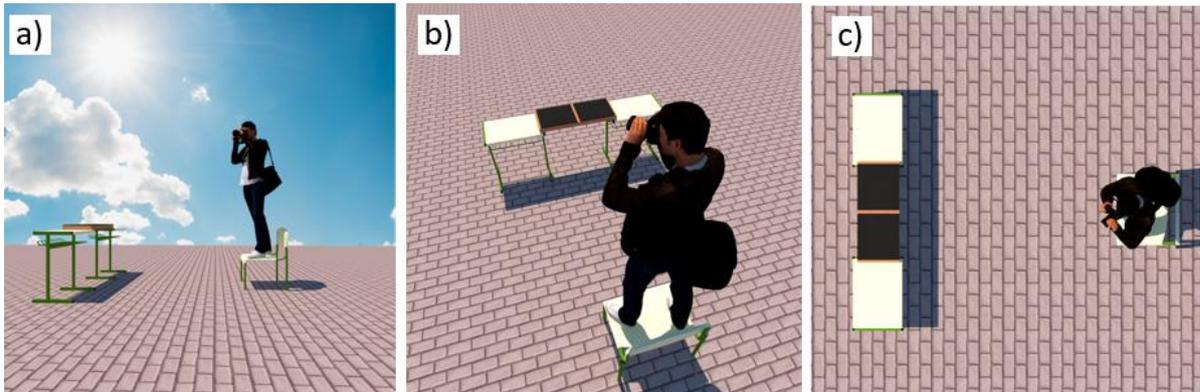


Figura 11. Imagens eletrônicas do esquema do ensaio termográfico: a) vista lateral; b) vista superior em perspectiva; c) vista superior. Fonte: Autora.

Tais fotos foram analisadas por faixas de incidência de calor: F1, F2 e F3 (bordas e centro do material) para o compósito; e F4, F5 e F6 (bordas e centro do material) para o PVC. Os dados gerados foram organizados em planilha Excel, analisando-se respostas térmicas de temperatura superficial mínima, média e máxima, assim como a amplitude térmica, conforme Figura 24.

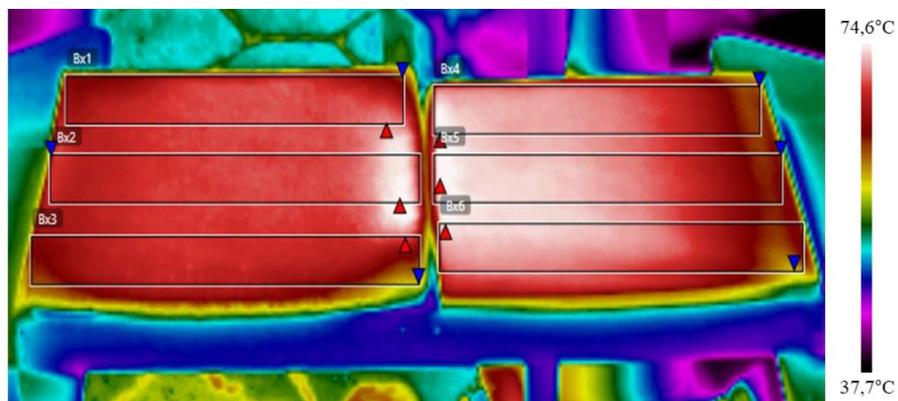


Figura 12. Faixa de estudo termográfico. Fonte: Autora.

### 3.3.4.8 Variação das Temperaturas Superficiais

O ensaio de variação das temperaturas superficiais foi realizado na Universidade Federal do Amazonas – UFAM, em Manaus/AM, com o objetivo de obter o mapeamento térmico das temperaturas superficiais superior e inferior do compósito reforçado com o resíduo de piaçava e do MDF para posterior comparação entre os dois materiais.

Ambos os materiais analisados possuíam dimensões de 360 x 360 mm, 10 mm de espessura e foram dispostos num suporte de madeira apoiado em duas mesas, permitindo, desta forma, que as superfícies dos materiais em análise ficassem expostas.

Para a medição das temperaturas superficiais superiores e inferiores dos materiais foi utilizado o termômetro digital infravermelho com mira laser, da Kilttherm, com faixa de medição de -50 °C a 380 °C (Figura 26a). A medição foi realizada em cinco pontos de cada material, sendo os pontos P1 e P2 na faixa superior dos materiais, o ponto P3 na faixa central e os pontos P4 e P5 na faixa inferior dos materiais (Figura 26b).

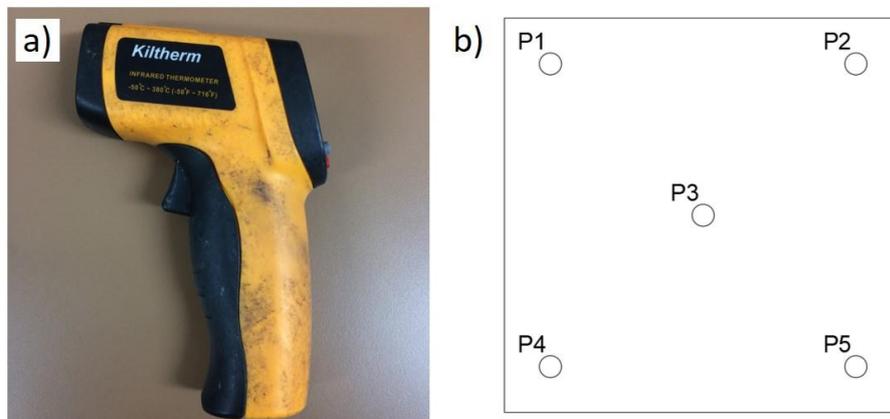


Figura 13. a) Termômetro digital infravermelho com mira laser; b) Desenho esquemático da locação dos pontos de medição nos materiais. Fonte: Autora.

O ensaio foi realizado entre os dias 12 de outubro e 26 de novembro de 2018 e foram realizadas 5 medições em intervalos de 1 hora entre os registros durante 5 momentos do dia, das 10 horas e 30 minutos até às 14 horas e 30 minutos.

Os dados gerados foram organizados em planilha Excel, analisando-se respostas térmicas de temperatura superficial mínima, média e máxima, assim como a amplitude térmica.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA E TÉRMICA DO COMPÓSITO E MDF COMERCIAL

Na Tabela 4 são apresentados os valores médios obtidos para as propriedades físico-mecânicas teor de umidade, densidade e inchamento 24h, assim como o desvio padrão e o coeficiente de variação (CV) do painel compósito em estudo.

Tabela 4. Valores médios das propriedades físico-mecânicas do compósito e da NBR 15316-2019.

<b>Propriedades físico-mecânicas do compósito e MDF comercial</b>			
	<b>Teor de umidade (%)</b>	<b>Densidade (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Inchamento 24h (%)</b>
<b>Média Compósito</b>	10,11	606,48	7,31
<b>Desvio padrão Compósito</b>	0,48	39,24	1,12
<b>CV (%) Compósito</b>	4,79	6,47	15,31
<b>Média MDF Comercial</b>	7,72	731,68	11,21
<b>Desvio padrão MDF Comercial</b>	0,23	7,39	2,04
<b>CV (%) MDF Comercial</b>	2,96	1,01	18,18
<b>NBR 15316-2019</b>	4 - 11	630	até 16
<b>NBR 14810-2 - 2013</b>	5 - 13	571 - 750	até 17

A média do teor de umidade do painel compósito de fibra de piaçava foi de 10,11%. A NBR 15316-2 (2019) determina teores de umidade dentro do intervalo de 4 % a 11 % para painéis de fibras. Além disso, a NBR 14810-2 (ABNT, 2013) estabelece que o valor do teor de umidade para painéis particulados deve-se encontrar no intervalo de 5 a 13 %. Desta forma, o painel compósito estudado apresenta um teor de umidade dentro dos intervalos estabelecidos pelas normas.

O valor médio encontrado do teor de umidade do painel compósito apresentado neste trabalho apresenta-se satisfatório quando comparado a norma, porém quando comparado aos estudos de Betolini (2011) e Dias (2008), este apresenta maior umidade.

Bertolini (2011) produziu painéis empregando resíduos de *Pinus sp* tratado com preservante CCB e resina poliuretana à base de mamona, alcançando valores médios de 7,48 %.

Já Dias (2008) fabricou painéis reforçados com partículas de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* *Pinus elliotii* var. *elliotii* com 10 % de adesivo à base de mamona, sem adição de parafina e prensagem a 90 °C, encontrando valores médios de 8,39% para o teor de umidade.

No entanto, cabe ressaltar que o teor de umidade dos painéis é de difícil comparação, pois a umidade do reforço de origem lignocelulósico advém de diversos fatores, tais como espécie da madeira, tensões mecânicas, radiação, umidade relativa, entre outros (GALVÃO, 1975).

A densidade média do painel foi 0,61 g/cm<sup>3</sup> (606,48 kg/m<sup>3</sup>), então, considerando a definição da NBR 15316-2 (ABNT, 2019), o painel compósito produzido pode ser classificado painel *light* não estrutural.

Além disso, a NBR 14810-2 (ABNT, 2013) classifica o painel como painel de média densidade, pois apresenta valor de densidade entre 551 a 750 kg/m<sup>3</sup>, por ter apresentado densidade dentro do intervalo determinado pela norma.

Em termos de inchamento, todos os corpos de prova ensaiados atenderam ao requisito com uma média de 7,31 %, evidenciando o atendimento da NBR 15316-2 (ABNT, 2019), que especifica o valor de 16 % como requisito máximo, e das normas NBR 14810 – 2 (ABNT, 2013) e ANSI/A 208.1 (2016), que recomendam 17 % e 8 %, respectivamente.

Rebello (2016) obteve 8,43 % como resultado de inchamento após 24 horas, isto é, um resultado semelhante ao encontrado nesta pesquisa, o que ressalta as boas condições de adesão e de resistência das fibras quando submetidas à imersão em água (FIORELLI, LAHAR, *et al.*, 2011).

Macedo et al. (2015) obtiveram 7,01 % como resultado de inchamento após 24 horas de placas produzidas com 12 % de resina e madeira *Eucalyptus sp*. Contudo, tais painéis possuíam uma camada superficial impermeabilizante.

Painéis com partículas de resíduo do ouriço da castanha-do-Brasil e teores de resina de mamona de 20 %, 25 % e 30 % foram fabricados e também atingiram valores inferiores ao estipulado pela norma, alternando de 3,18 % a 6,57 % (NOGUEIRA, LARH e GIACON, 2018).

Cravo (2015) produziu dois tipos de painéis de baixa densidade adicionando adesivo poliuretano à base de óleo da mamona, com proporção de 15 % do peso seco do reforço a resina

bi componente à base do óleo da mamona, sendo o primeiro com casca de amendoim e o segundo com 50% casca de amendoim e 50 % fibra de coco. Tais painéis apresentaram valores médios de 18,92 % e 18,1 % para inchamento 24h, respectivamente. Tais valores encontrados foram bem superiores ao estipulado pela norma. O autor atribuiu tal resultado ao fato do inchamento depender da ineficiência do volume e distribuição da resina, compatibilidade da resina com o reforço usado, umidade insuficiente, etc.

Painéis de partículas à base de bagaço de cana-de-açúcar e resina bicomponente à base de óleo de mamona foram produzidos e apresentaram valor médio para o inchamento 24 h de 25,07 %, também superior ao valor preconizado pela norma (FIORELLI, LAHAR, *et al.*, 2011).

Diante do exposto, observou-se que o compósito estudado apresentou valores inferiores de inchamento em relação a painéis produzidos utilizando resíduos lignocelulósicos encontrados na literatura, visto que há uma tendência de menor absorção de água quando menor a quantidade de resíduo lignocelulósico usado, uma vez que este material apresenta alta absorção de água.

A Tabela 5 apresenta os valores de MOR, MOE e resina poliuretana à base de óleo de mamona do painel experimental, valores preconizados pelas normas NBR 15316-2 (ABNT, 2019) e NBR 14810-2 (ABNT, 2013) e valores de trabalhos experimentais de painéis de fibras e particulados de média densidade à base de resíduos lignocelulósicos.

O valor médio experimental (MOR) do painel em estudo ficou acima do limite inferior preconizado pela ABNT 14810-2:2013 e abaixo do estipulado pela ABNT 15316-2:2019. Porém, em comparação com outros painéis derivados de resíduos lignocelósicos, o painel experimental apresentou resultado superior ao painel produzido com partículas de madeira Paricá, porém inferior ao painel fabricado com coco (25 %) + Pinus (75 %) (FIORELLI *et al.*, 2015; FERRO, ICIMOTO, *et al.*, 2015), conforme visto na Tabela 6.

Com relação ao MOE, o painel experimental apresentou valor abaixo do estipulado pelas normas ABNT 14810-2:2013 e ABNT 15316-2:2019. Tal fato pode ser explicado devido a alta massa específica da fibra de piaçava, igual a 1,12 g/cm<sup>3</sup> (SOUZA, 2012), em relação ao valor encontrado na literatura para produção de painéis de até 0,55 g/cm<sup>3</sup> (MALONEY, 1993).

De acordo com Maloney (1993) e Kelly (1977) painéis com reforços lignocelulósicos de massa específica menores, asseguram uma área de contato efetiva entre as partículas, pois necessitam de uma maior quantidade de partículas para se obter um painel de mesma densidade nominal, o que resulta em um aumento expressivo de suas propriedades mecânicas (BRITO, 1984).

Moslemi (1974) acrescenta ainda que painéis produzidos com matérias primas lignocelulósicas de baixa massa específica apresentam aumento nas propriedades mecânicas, tais como: resistência à flexão, resistência a tração, adesão interna e módulo de elasticidade.

Enquanto, painéis confeccionados com matérias primas lignocelulósicas mais densas necessitam alterar outros parâmetros do processo, como por exemplo o teor de resina, devido a baixa razão de compactação que produzem durante a prensagem, o que prejudica as propriedades do painel (MENDES, 2001).

Outro fator importante está relacionado ao processo de cura do compósito, onde notou-se a existência de poros no compósito por meio de microscopia óptica (Figura 14) que indicaram a formação de bolhas, provavelmente relacionadas à liberação de gás carbônico durante a cura do painel (VILLAR, 2004) e desprendimento de vapor de água (MARINHO et al., 2013), bem como, bolhas incorporadas na resina durante a mistura pela falta de adsorção e molhamento (ZANGIACOMI, 2002).

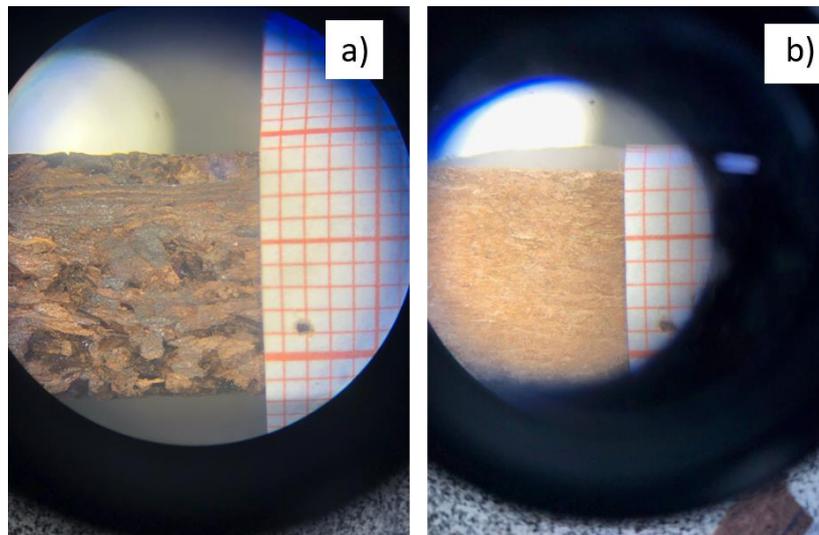


Figura 14. a) Microscopia óptica do compósito; b) Microscopia óptica do MDF comercial. Fonte: Autora.

Tabela 5. Comparação entre os valores médios de MOR, MOE e resina – experimental e literatura.

Painel Compósito	Resina (%)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	Referência
<b>Experimental</b>	15	17,15 ± 2,71	1583,04 ± 218,70	Presente pesquisa
<b>NBR 15316-2</b>	-	20	1700	NBR 15316-2 (ABNT, 2019)
<b>NBR 14810-2</b>	-	15	2050	NBR 14810-2 (ABNT, 2013)

<b>Coco (25%) + Pinus (75%)</b>	10	25,85	2274	(FIORELLI et al., 2015)
<b>Partículas de madeira Paricá</b>	8	9	1277,5	(FERRO, ICIMOTO, <i>et al.</i> , 2015)

#### 4.1.1 Condutividade Térmica

Os valores médios de condutividade térmica obtidos para as amostras de MDF e do painel compósito foram de  $0,246 \text{ W/mk} \pm 0,01$  e  $0,362 \text{ W/mk} \pm 0,04$ , respectivamente, conforme apresentados na Figura 28.

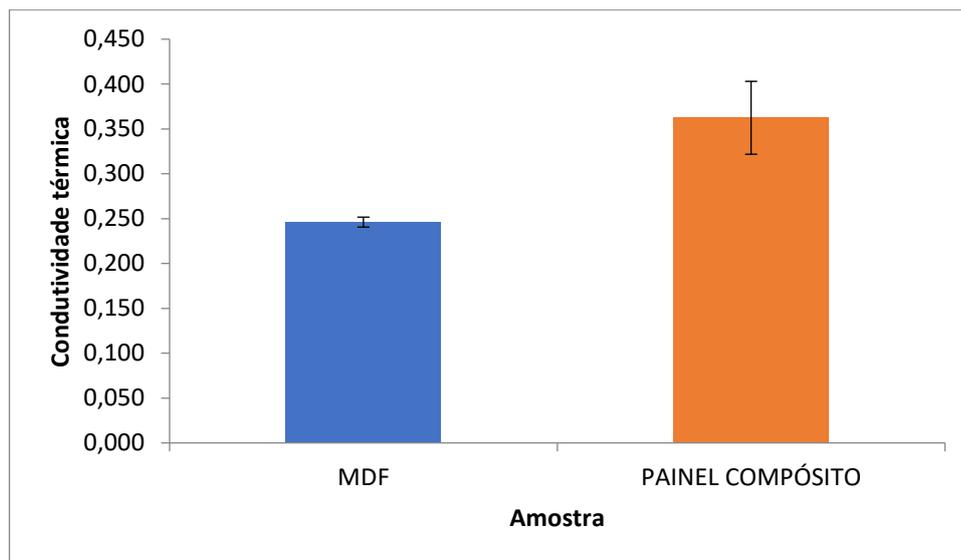


Figura 15. Valores médios de condutividade térmica para as amostras de MDF e painel compósito.

Além dos valores médios de condutividade, também foram obtidos os valores de efusividade e difusividade para o MDF e para o painel compósito, de acordo com a Tabela 6.

Tabela 6. Resultados do ensaio de condutividade térmica.

	<b>Condutividade (W/mk)</b>	<b>Efusividade (<math>W s^{1/2}/m^2 K</math>)</b>	<b>Difusividade (<math>m^2/s</math>) (<math>10^{-7}</math>)</b>
<b>MDF Comercial</b>	$0,246 \pm 0,01$	$575,892 \pm 7,72$	$1,83 \pm 0,034$
<b>Painel Compósito</b>	$0,362 \pm 0,04$	$726,519 \pm 49,70$	$2,47 \pm 0,210$

Comparando os resultados obtidos dos dois materiais, nota-se que a condutividade do painel compósito apresentou maior valor que a do MDF, assim como a efusividade e a difusividade do MDF também foram maiores que a do painel compósito, indicando que o objeto em estudo é menos isolante em comparação ao MDF, tendo em vista que um baixo valor de condutividade térmica indica um material mau condutor ou um isolante (ÇENGEL, 2014).

O valor de condutividade térmica do painel compósito superior ao valor de condutividade do MDF pode ser devido a densidade do painel, tendo em vista que quanto menor a densidade do material, menor é o valor de sua condutividade térmica, devido ao maior número de poros que são responsáveis pela elevada resistência térmica do material (COSTA, 1974).

Na Tabela 7 estão relacionados os dados de densidade e condutividade térmica dos principais materiais isolantes usados no Brasil a partir da tabela apresentada na norma ABNT NBR 15220-2:2005 e complementada com os dados ensaiados para o painel compósito em estudo.

Tabela 7. Condutividade térmica (k) de alguns materiais isolantes, conforme a ABNT NBR 15220-2:2005.

	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Condutividade térmica (W/mk)
<b>Lã de rocha</b>	20 - 200	0,045
<b>Lã de vidro</b>	10 - 100	0,045
<b>Poliestireno expandido moldado</b>	15 - 35	0,040
<b>Painel compósito</b>	606,48	0,362
<b>MDF Comercial</b>	685	0,246

Ao comparar o valor da condutividade térmica do painel compósito em estudo com os valores das condutividades térmicas dos materiais isolantes preconizados pela norma, observa-se que o valor encontrado é superior ao dos outros materiais, o que indica que o painel não pode ser aplicado como material isolante.

Corroborando com a NBR 15220-2 (ABNT, 2005), o painel em estudo apresentou condutividade térmica superior a 0,25 W/mK, comprovando não ser um material isolante, pois tais materiais apresentam valores para esta propriedade inferiores a 0,25 W/mK (WANG, 1988).

Oliveira produziu painéis com fibra de coco e PU, variando as proporções de fibra e resina. Os resultados de condutividade indicaram que quanto menor a proporção de resina em relação à massa de fibra, menor a condutividade térmica. Isso está de acordo com o fato de que a resina PU é um material com características isolantes (OLIVEIRA, XAVIER, *et al.*, 2015).

Painéis aglomerados de partículas foram produzidos com densidade de  $0,50 \text{ g/cm}^3$  e 25 %, 50 % e 75 % de fibra de sisal substituíram as partículas de maravalha de *Pinus spp*, com a proporção do adesivo bi componente a base de óleo da mamona de 12 % da massa total seca das partículas. Todos os painéis apresentaram valores médios para a condutividade térmica inferiores a  $0,25 \text{ W/mK}$ , logo foram classificados como materiais isolantes (CABRAL, FIORELLI, *et al.*, 2017).

Por outro lado, Incropera *et al* (2007) reforçam a correlação linear da condutividade térmica com a densidade do painel, de forma que, quanto maior a densidade aparente do material, maior essa sua condutividade térmica. Entretanto, o painel estudado apresentou maior condutividade comparado ao mdf comercial, embora tenha uma menor densidade aparente, o que pode estar relacionado às especificidades da resina utilizada.

## 4.2 TERMOGRAFIA POR INFRAVERMELHO (INFRARED – IR)

Nota-se que as temperaturas encontradas de ambos materiais foram bem próximas. O gráfico contendo todos esses resultados está apresentado na Figura 16 abaixo.

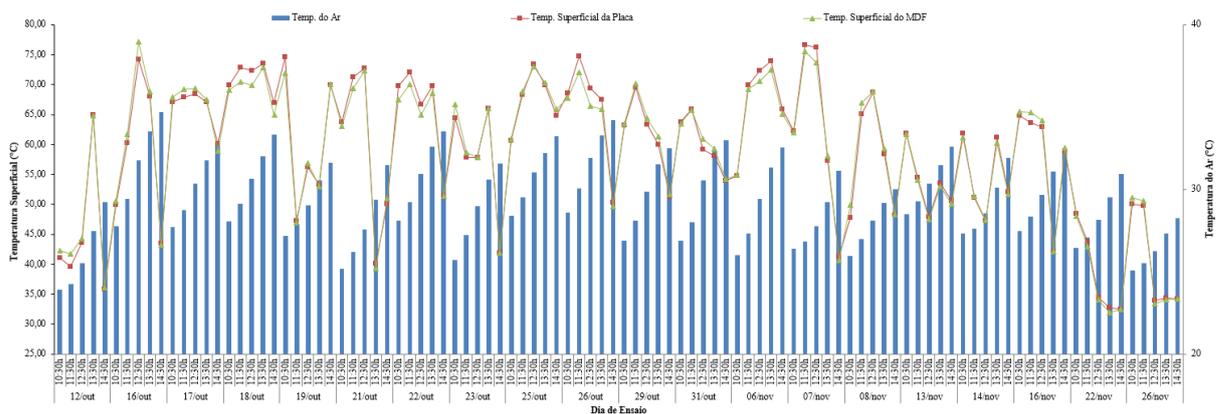


Figura 16. Respostas da temperatura superficial do compósito e do MDF e da temperatura do ar.

Observa-se que o pico de temperatura máxima superficial para o painel compósito foi de  $76,64 \text{ }^\circ\text{C}$  no dia 07 de Novembro, às 11 horas e 30 minutos, cuja temperatura do ar era de

26,85 °C, já para o MDF, o mesmo pico foi de 77,14 °C e ocorreu no dia 16 de Outubro, às 12 horas e 30 minutos, cuja temperatura do ar era de 31,78 °C.

Em relação às mínimas temperaturas superficiais apresentadas, para o painel compósito este registro foi de 32,49 °C no dia 22 de Novembro, no horário de 14 horas e 30 minutos e temperatura do ar de 30,95 °C. Para o MDF, foi registrada a mínima temperatura superficial de 31,93 °C, também para o mesmo dia, porém para o horário de 13 horas e 30 minutos e temperatura do ar de 29,50 °C.

Constatou-se ainda, conforme Figura 16, que as máximas temperaturas superficiais tanto para o compósito quanto para o MDF foram registradas nos horários de menor umidade relativa do ar e conseqüentemente nos horários de maiores temperaturas, tendo em vista que a umidade relativa do ar é inversamente proporcional à temperatura (BARNABÉ, PANDORFI, *et al.*, 2014).

De acordo com os resultados obtidos da ANOVA (Tabela 8) em relação às temperaturas superficiais do compósito e do MDF, verificou-se que não houve variação significativa entre as temperaturas superficiais de ambos os materiais, bem como a interação entre os fatores estudados apresentou Valor-P superior a 0,05, inferindo uma possível semelhança dos materiais analisados em termos de suas temperaturas superficiais. Sendo que, apenas o horário foi um fator significativo para as condições estudadas.

Tabela 8. Resultados da análise ANOVA para os valores de temperatura superficial.

Fatores	GL	SQ	MQ	F	Valor-P	F crítico
Material	1	11,99	11,99	0,09	0,76	3,89
Horário	4	3167,35	791,84	6,15	<b>0,00</b>	2,42
Interações	4	20,63	5,16	0,04	0,99	2,42
Erro aleatório	190	24475,40	128,82			
Total	199	27675,37				

São apresentadas na Figura 17 as variações de temperaturas superficiais registradas nos ensaios realizados com a placa de piaçava e o MDF, que foram obtidas considerando a diferença

de valores de temperatura superficial máximo e mínimo para cada horário dos dias de ensaio.

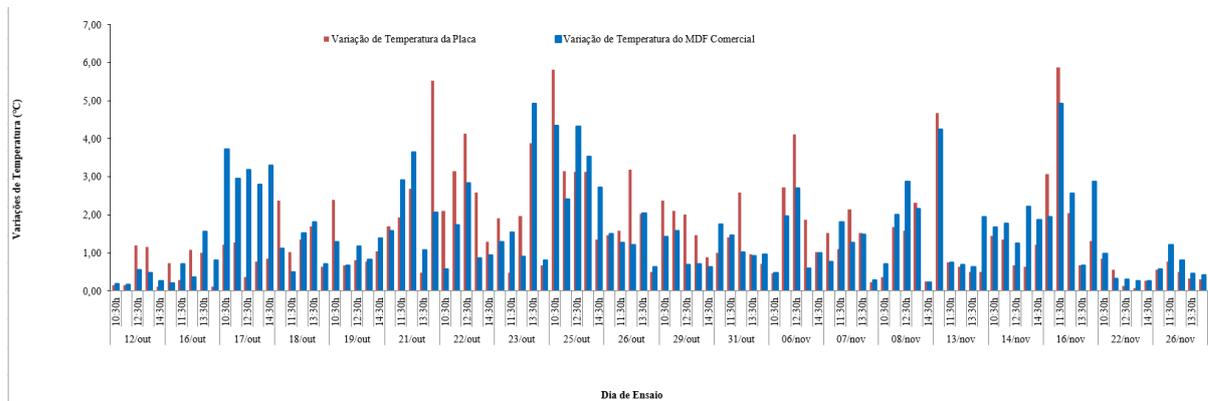


Figura 17. Variação de temperatura para o compósito e para o MDF Comercial durante os dias de ensaio.

A maior variação de temperatura referente ao painel compósito foi de 5,88 °C (com temperatura máxima superficial de 66,00 °C e mínima de 60,12 °C), no dia 16 de novembro às 11 horas e 30 minutos. Já para o MDF, a maior variação de temperatura registrada foi de 4,92 °C (com temperatura máxima superficial de 66,98 °C e mínima de 62,06 °C), para o mesmo dia e horário. O fato dessas maiores variações de temperatura terem ocorrido no mesmo horário, de 11 horas e 30 minutos, pode estar relacionado aos horários de maior incidência solar direta sobre o material.

A respeito das temperaturas de superfície apresentadas pelo compósito, os resultados encontrados foram superiores aos de Rebelo (2016), que encontrou uma média de 48,8 °C para o mesmo compósito, enquanto neste trabalho foi encontrado o valor de temperatura média de 58,65 °C. Além da incidência solar direta sobre a superfície do material e das interferências da dinâmica de nebulosidade no momento dos registros fotográficos, outro fator que pode ter influenciado estas respostas térmicas pode estar associado a cor da superfície do material estudado (NBR 15220-2:2005), visto que neste trabalho o compósito teve sua superfície pintada na cor preta, inferindo uma maior capacidade do material de absorver radiação solar (UEMOTO, SATO e JOHN, 2010).

Verifica-se que os valores médios de temperatura superficial das faixas do painel compósito estudado, faixa superior (F1 – P), faixa central (F2 – P) e faixa inferior (F3 – P) não apresentaram grandes variações de temperatura, tendo em vista que apresentaram como temperatura máxima o valor de 77,34 °C referente à faixa central no dia 07 de novembro às 11 horas e 30 minutos, e como temperatura mínima o valor de 32,34 °C referente à faixa inferior no dia 22 de novembro às 14 horas e 30 minutos, o que pode estar associado aos horários de

maior e menor incidência de radiação solar sobre a superfície do material. O gráfico contendo todos esses resultados está apresentado na Figura 18 a seguir.

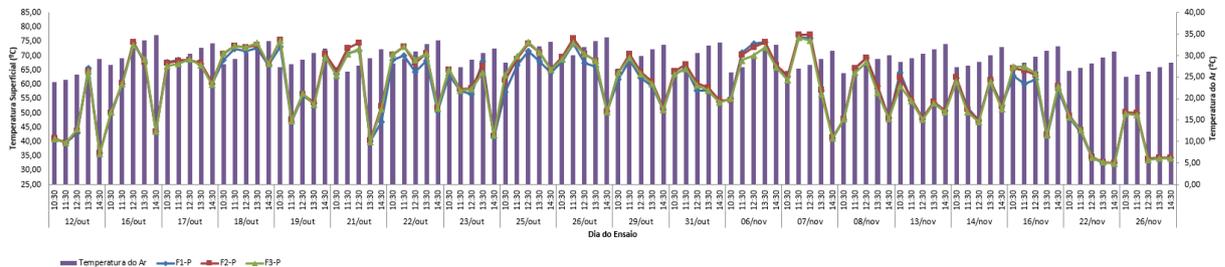


Figura 18. Valores médios de temperatura superficial das faixas do compósito e temperatura do ar.

Tal fato provavelmente pode ser atribuído a homogeneidade do material alcançada pela mistura das fibras e resina processadas durante a confecção do compósito, que está associada com a distribuição de calor uniforme no painel (BARBOSA, 2016).

Os resultados da análise ANOVA (Tabela 9) mostraram que as temperaturas superficiais das faixas analisadas do compósito e a interação entre os fatores estudados não apresentaram variação significativa, corroborando para a similaridade das três faixas de temperaturas em relação às suas temperaturas superficiais. De forma que, somente o horário no momento dos registros fotográficos apresentou-se significativo para as condições estudadas.

Tabela 9. Resultados da análise ANOVA para os valores das faixas de temperatura superficial.

Fatores	GL	SQ	MQ	F	Valor-P	F crítico
Material	2	40,48	20,24	0,15	0,86	3,03
Horário	4	4594,82	1148,70	8,78	<b>0,00</b>	2,40
Interações	8	4,42	0,55	0,00	1,00	1,97
Erro aleatório	285	37305,90	130,90			
Total	299	41945,60				

#### 4.3 DIFERENÇA DE TEMPERATURA SUPERFICIAL SUPERIOR E INFERIOR

Simultaneamente à análise da temperatura superficial por termografia, foi realizada à medição da temperatura superficial superior e inferior por termômetro digital infravermelho com mira laser.

Na Figura 19 são apresentados os registros das médias as amplitudes térmicas do compósito e do MDF durante sua exposição solar nos dias em que o ensaio foi realizado.

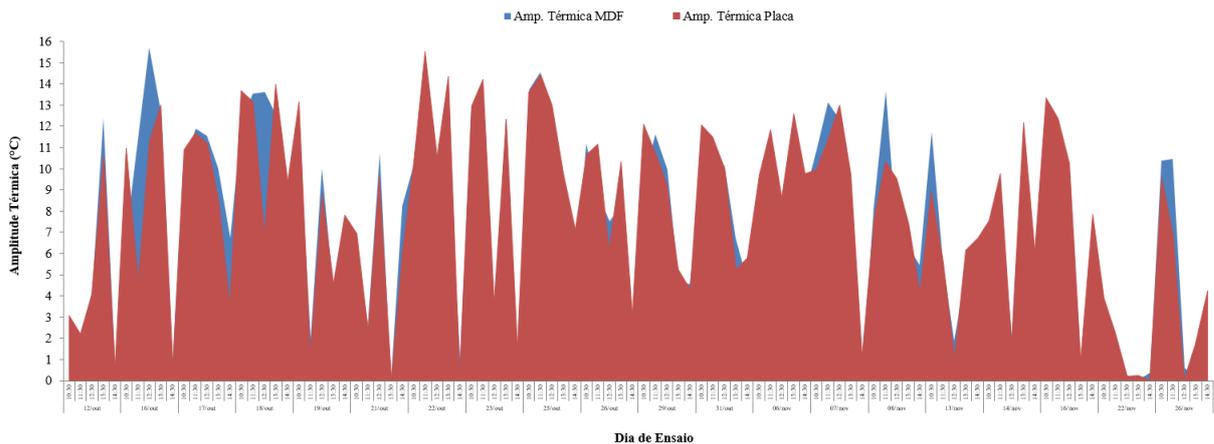


Figura 19. Diferença das temperaturas superficiais superiores e inferiores do compósito e do MDF.

Observou-se que a média das amplitudes térmicas do MDF e do compósito ensaiado foram similares para quase todos os dias de ensaio, o que indica uma possível semelhança entre ambos materiais. Sendo que a máxima amplitude térmica apresentada pelo compósito foi de 15,52 °C (com temperatura superficial superior igual a 73,6 °C e inferior igual a 58,1 °C), no dia 22 de Outubro às 11 horas e 30 minutos e temperatura ambiente de 29,25 °C e para o MDF foi de 15,72 °C (com temperatura superficial superior igual a 80,0 °C e inferior igual a 64,3 °C), no dia 16 de Outubro às 12 horas e 30 minutos e temperatura ambiente de 31,78 °C.

Nota-se que os maiores valores de amplitude térmica de ambos os materiais foram obtidos em horários próximos, isto é, no intervalo de 11 horas e 30 minutos e 12 horas e 30 minutos, visto que este é o horário de maior incidência de radiação solar.

A análise estatística ANOVA (Tabela 10) mostrou que para a variável Material não houve diferença significativa, bem como a interação entre as condições estudadas, cujo valor-P apresentou-se acima de 0,05, comprovando que não existe variação entre as amplitudes térmicas do compósito e do MDF, ratificando a semelhança de ambos os materiais, embora o fator horário tenha sido significativo para a análise realizada.

Tabela 10. Resultados da análise ANOVA para os valores de amplitude térmica.

<b>Fatores</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>Valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>Material</b>	1	5,57	5,57	0,36	0,55	3,89
<b>Horário</b>	4	767,09	191,77	12,23	<b>0,00</b>	2,42
<b>Interações</b>	4	10,53	2,63	0,17	0,95	2,42
<b>Erro aleatório</b>	190	2978,57	15,68			
<b>Total</b>	199	3761,76				

## 5. CONCLUSÕES

Os painéis compósitos poliméricos reforçados com resíduos da fabricação da vassoura de piaçava atenderam aos requisitos normativos de propriedades físicas impostos pela norma NBR 15316 e NBR14810.

A respeito das propriedades mecânicas do painel estudado, este atendeu ao requisito de módulo de ruptura da NBR 14810, entretanto, não atendeu aos requisitos mínimos normatizados para o módulo de elasticidade.

Em relação ao ensaio de condutividade realizado, o compósito apresentou maior resultado das propriedades térmicas (condutividade, efusividade, difusividade) em comparação com o MDF, sugerindo ser menos isolante ao ser comparado ao MDF comercial.

No ensaio de termografia foram determinados valores similares de temperaturas superficiais para ambos os materiais, sugerindo aceitar a hipótese de que ambos os materiais são semelhantes em relação a suas temperaturas superficiais. Em relação as suas amplitudes térmicas mínimas e máximas, estas também permaneceram similares, sugerindo uma maior estabilidade desses materiais.

Também se determinaram os valores médios de temperatura superficial das faixas do compósito e verificou-se que as três faixas não apresentaram grandes variações de temperaturas, devido à distribuição uniforme de calor no painel.

A variação de temperaturas obtida nas superfícies superior e inferior dos materiais, após exposição à radiação solar, reforçaram para uma semelhança de ambos os materiais.

Portanto, o material apresenta potencial para especificação em atividades construtivas, porém devem ser realizados mais estudos e ensaios acerca das propriedades mecânicas, tentando melhorá-las para que o material possa ser aplicado na construção civil.

## **SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Visando consolidar e complementar o conhecimento científico apresentado no presente trabalho tem-se como propostas para trabalhos futuros:

- Estudar a possibilidade de melhorar o processo de fabricação do painel compósito, visando melhorar as propriedades físico-mecânicas.
- Realizar novos ensaios mecânicos estipulados pela norma.
- Estudar a viabilidade técnico-financeira do compósito.
- Avaliar o desempenho acústico das placas em protótipos simulando uma edificação visando comparar os resultados obtidos com os valores mínimos exigidos pela norma de desempenho.

## REFERÊNCIAS

ADAMY, A. P. D. **Compósito à base de talos de girassol: uma solução de produção mais limpa para isolamento térmico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2017.

ALLEN, E.; IANO, J. **Fundamentos da Engenharia de Edificações: materiais e métodos**. 5ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

ALONGE, F. A.; CHAMMA, P. V. C.; ROCHA, R. R. D. Produtos ecoeficientes na arquitetura: a produção de painéis feitos a partir do compósito de plástico e casca de arroz. **Fórum Am**, São Paulo, v. 10, p. 33-27, 2014. ISSN ISSN 1980-0827.

AMERICAN SOCIETY OR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D7984-16: Standard Test Method for Measurement of Thermal Effusivity of Fabrics Using a Modified Transient Plane Source (MTPS) Instrument**. ASTM International. West Conshohocken, p. PA. 2016.

ÂNGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil**. PCC - Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo. 2001.

ANSI/ A208.1. **Particleboard**. American National Standard. Gaithersburg. 2016.

AQUINO, R. C. M. P.; D'ALMEIDA, J. R. M.; MONTEIRO, S. N. Desenvolvimento de compósitos de matriz polimérica e piaçava. **Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 14. Anais**, São Pedro, SP, 2000.

ARARUNA JÚNIOR, J. T.; BURLINI, P. **Gerenciamento de resíduos da indústria de petróleo e gás: os desafios da exploração marítima no Brasil**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Elsevier: PUC-Rio, 2014.

ARAÚJO, G. M. **Normas Regulamentadoras Comentadas**. 11<sup>a</sup>. ed. Rio de Janeiro: Gerenciamento Verde Editora, v. 2, 2014.

ARCHANGELO, A. **Painéis de bambu com casca de arroz e adesivo de mamona**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista. Bauru. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DESIGN DE INTERIORES. <http://www.abd.org.br/novo/f01/docs/faq/FAQ-Duvidas-Tecnicas.pdf>. Acesso em: julho 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13532: Elaboração de projetos de edificações - Arquitetura**. Rio de Janeiro, p. 8. 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14.810-1: Chapas de madeira aglomerada - Parte 1: Terminologia**. Rio de Janeiro. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004: Resíduos Sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro. 2004.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15316: Painéis de fibras de média densidade. Parte 2: requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE CHAPAS PARA DRYWALL. **Manual de projeto de sistemas drywall - paredes, forros e revestimentos**. São Paulo: Câmara Brasileira do Livro, 2006.

AYDIN, E. Novel coal bottom ash waste composites for sustainable construction. **Construction and Building Materials v.124**, 2016.

BARBOSA, A. D. M. **Compósitos poliméricos com resíduo de açaí para a mitigação de efeitos térmicos como estratégias eco-alternativas em habitações na Amazônia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas. Manaus. 2016.

BARNABÉ, J. M. et al. Temperatura superficial de materiais utilizados para cobertura individual de bezerreiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, p. 545-550, 2014.

BASEGIO, T. E. A. Environmental and technical aspects of the utilization of tannery sludge as a raw material for clay products. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 22, p. 2251-2259, 2002.

BECKER, A. C. et al. Metodologia para elaboração de projetos com o uso da EV e QFD: aplicação ao empreendimento CETEC-UPF. **Estudos Tecnológicos**, v. 4, p. 231-250, set/dez. 2008.

BELINI, U. L. et al. Painel multicamada com reforço de partículas de bambu. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 103, p. 421-427, setembro 2014.

BERTOLINI, M. D. S. **Emprego de resíduos de Pinus sp tratado com preservante CCB na produção de chapas de partículas homogêneas utilizando resina poliuretana à base de mamona**. Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação Interunidades: Ciência e Engenharia de Materiais e Área de Concentração em Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais) - Insti. São Carlos. 2011.

BORGES, J. C. D. S. **Compósito de poliuretano de mamona e vermiculita para isolamento térmico**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Natal. 2009.

BORSOI, C. et al. Obtenção e caracterização de compósitos utilizando poliestireno como matriz e resíduos de fibras de algodão da indústria têxtil como reforço. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 21, 2011.

BRITO, E. O. **Viabilidade de utilização de espécies de Pinus para a produção de chapas de composição estruturais "waferboards"**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 102. 1984.

BROKER, G.; STONE, S. **Basic Interior Architecture: Form + Structure**. Lousanne: Ava, 2007.

CABRAL, M. R. et al. Painéis de partículas com maravalha de Pinus spp. e fibra de sisal. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 45, n. 114, p. 353-362, junho 2017.

CALLISTER, W. D. J.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 8ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

ÇENGEL, Y. A. **Heat and mass transfer: fundamentals & applications**. 5ª. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2014.

CHAMOUN, R. **Ideias de Negócios: Como montar uma fábrica de vassouras**. Sebrae. Brasília. 2010.

CHING, F. D. K.; BINGGELI, C. **Arquitetura de Interiores Ilustrada**. 2ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

CHOLAKE, S. T. et al. Composite panels obtained from automotive waste plastics and agricultural macadamia shell waste. **Journal of Cleaner Production** v. 151, 10 May 2017. 163-171.

CIANCIARDI, G. **A Casa Ecológica**. Vinhedo: Editora Horizonte, 2014.

COELI, R. Desenvolvimento de Compósitos de Matriz Polimérica e Piaçava. **Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**, São Pedro, SP, 2000.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002**. Brasília. 2002.

CORREIA, C. M. P. **Conforto termo-acústico de uma habitação de baixo custo**. Tese (Doutorado) - Doutorado em ciência e engenharia de materiais - escola de engenharia de são carlos - programa de pós-graduação interunidades em ciencias e engenharia dos materiais - universidade de são paulo. São Carlos, p. 93. 2009.

COSTA, E. C. **Física aplicada à construção: conforto térmico**. 3<sup>a</sup>. ed. são paulo: Blücher, 1974.

COSTA, L. C. F. **Obtenção e estudo de um compósito de matriz de poliéster e carga de resíduos de mármore**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 2017.

COSTA, S. L. D. **Gestão integrada de resíduos sólidos urbanos: aspectos jurídicos e ambientais**. Aracaju: EVOCATI, 2011.

CRAVO, J. C. M. **Compósito particulado de baixa densidade com casca de amendoim, fibra de coco verde e resina poliuretana à base de óleo de mamona para aplicação como forro de galpões avícolas**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos - Universidade de São Paulo. Pirassununga. 2013.

CRAVO, J. C. M. et al. Painel aglomerado de resíduos agroindustriais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 721-730, jul-set 2015.

CRUZ, M. P. **Aplicação de resíduo industrial para isolamento térmico: uma proposta para utilização do poliuretano de mamona com agregado de resíduo plástico termofixo**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Natal. 2009.

CUNHA, É. C. **placas recicladas de embalagens longa vida: caracterização, design e propostas projetuais**. Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo e Área de concentração em Tecnologia do Ambiente Construído) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos. 2011.

DIAS, F. M. **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada**. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 151. 2005.

DIAS, F. M. **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira aglomerada**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2008. 73-92 p.

ERENO, D. **Prótese de mamonas**. Pesquisa-Fapesp. São Paulo. 2003.

FERRO, F. S. et al. Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) com *Schizolobium amazonicum* e resina poliuretana à base de óleo de mamona. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, p. 313-320, junho 2015.

FIGUEIRA, A. C. B. **Gerenciamento de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: SESES, 2016.

FIGUEIRA, J. et al. Painéis de partículas à base de bagaço de cana e resina de mamona - produção e propriedades. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. v.33, p. 401-406, 2011.

FREIRE, W. J.; BERVALDO, A. L. **Tecnologias e materiais alternativos de construção**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2003.

GALVÃO, A. C. P. **Obtenção e caracterização de um compósito de poliuretano de mamona e pó de vidro para aplicações em isolantes térmicos**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 2014.

GARCIA, D. D. S. **Arquitetura Performativa: a utilização de DProfiler para elaboração da forma arquitetônica**. Dissertação (mestrado) - Universidade de Brasília. Brasília. 2014.

GIBBS, J. **Interior Design**. London: Laurence King, 2005.

GONÇALVES-DIAS, S. L. F.; GHANI, Y. A.; CIPRIANO, T. A. R. P. Discussões em torno da prevenção e da política nacional de resíduos sólidos, Junho 2015. 34-49.

GUARNIERI, P. **Logística Reversa: em busca do equilíbrio econômico e ambiental**. Recife: Ed. Clube dos Autores, 2011.

GUBERT, M. L. **Design de Interiores: a padronagem como elemento compositivo no ambiente contemporâneo**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Programa de Pós-Graduação em Design. Porto Alegre. 2011.

GUTIÉRREZ, M. C. et al. Biocompósitos de acetato de celulose e fibras curtas de curauá tratadas com CO<sub>2</sub> supercrítico. **Polímeros**, v. 22, n. 3, p. 295-302, 2012.

IBGE. **Produção da Extração Vegetal e Silvicultura 2016**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

INCROPERA, F. P. E. A. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 2ª. ed. São Paulo: IBRACON, v. 2, 2010.

ISHIZAKI, M. H. et al. Caracterização mecânica e morfológica de compósitos de polipropileno e fibras de coco verde: influência do teor de fibra e das condições de mistura. **Polímeros: ciência e tecnologia**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 3, p. 182-186, 2006.

IWATA, N.; ROCHA, A. B.; SALEIRO FILHO, M. Interiores exteriorizados/ exteriores interiorizados. **Projetar 2003 - I Seminário Nacional sobre Ensino e Pesquisa em Projeto de Arquitetura - PPGAU-UFRN**, Natal, Outubro 2003.

JOSA, I. O. **Piaçabeiros e piaçaba no médio rio Negro (Amazonas-Brasil), socioeconomia da atividade extrativista e ecologia da Leopoldinia piassaba Wallace**. Dissertação (mestrado) - INPA/UFAM. Manaus. 2008.

KAPUNO, R. R. A.; RATHORE, M. M. **Engineering heat transfer**. 2. ed. Massachusetts: Jones & Bartlett Learning, 2011.

KARLEN, M. **Planejamento de espaços internos**. Porto Alegre: Bookman, 2009.

KELLY, M. W. **A critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboards**. U.S. For. Prod. Lab. General Technical Report FPL-10. [S.l.], p. 66. 1977.

KNEIB, E. C. (Ed.). **Projeto e Cidade: ensaios acadêmicos**. Góias: Funape, 2013.

KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology**. Springer-Verlag, New York, 1975.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiencia energética na arquitetura**. 3. ed. São Paulo: PW Editores, 2014.

LEÃO, R. M. **A Floresta e o Homem**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2000.

LIMA, J. P. **Modelagem e teste de condutividade térmica em placa de gesso e fibra vegetal**. Dissertação (Mestrado Profissional - Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2005.

LIMA, M. D. F. **Utilização de resíduos da espécie *Dipteryx polyphylla* (Cumarurana), *Duptyeryx odorata* (Cumaru) e *Brosimum parinarioides* (Amapá) na produção de painéis de madeira aglomerada com resina poliuretana à base de óleo da mamona**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas. Manaus. 2012.

LOPES, E. M. L. **Desempenho térmico da espuma poliuretana a base de óleo de mamona utilizada em componentes de edificação (subcoberturas): estudo em Ilha Solteira, Sp.** Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Arquitetura e Construção, Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2009.

MACIÁ, A. et al. Mechanical properties of boards made in biocomposites reinforced with wood and *Posidonia oceanica* fibers. **Composites Part B: Engineering** v **104**, p. 1-8, November 2016.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing.** 2ª. ed. São Francisco: Miller Freeman, 1993.

MANZI, S.; MAZZOTTI, C.; BIGNOZZI, M. C. Self-compacting concrete with recycled concrete aggregate: Study of the long-term properties. **Construction and Building Materials** v.**157**, 2017.

MARINHO, N. P.; NASCIMENTO, E. M. 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, J. F. A. **Análise do desempenho térmico de placas à base de óxido de magnésio aplicadas no sistema Light Steel Frame.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas. 2018.

MARTINS, R. S. F. **Caracterização de painéis aglomerados produzidos com madeira de eucalipto e resíduos lignocelulósicos agroindustriais.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo. Jerônimo Monteiro. 2016.

MENDES, L. M. **Pinus spp na produção de painéis de partículas orientadas (OSB).** Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 156. 2001.

MENEZES, R. R.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, p. 303-313, 2002.

MINILLO, L. Q. **Aproveitamento de resíduo das indústrias de celulose e sucroalcooleira para produção de painéis aglomerados**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. Ilha Solteira. 2017.

MINUTTI, F. A. A. **Uso de pena de galinha na produção de painéis para construção civil**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação. Bauru. 2018.

MOSLEMI, A. A. Particleboard. **Southern Illinois University Press**, London, 1974.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. London: Southern Illinois University Press, 1974.

MOURA, A. D.; VIRIATO, A. **Gestão Hospitalar: da organização ao serviço de apoio diagnóstico e terapêutico**. Barueri, SP: Manole, 2008.

MOURA, M. F. S. F. D.; MORAIS, A. B. D.; MAGALHÃES, A. G. D. **Materiais compósitos - materiais, fabrico e comportamento mecânico**. 2<sup>a</sup>. ed. Porto: Publindústria, 2010.

MULINARI, D. R. **Comportamento térmico mecânico e morfológico dos compósitos de polietileno de alta densidade reforçados com fibras de celulose do bagaço de cana açúcar**. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá. Guaratinguetá. 2009.

MUNARI, B. **Das coisas nascem coisas**. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2008.

NAGALLI, A. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

NEVES, L. P. **Adoção do partido na arquitetura**. 3<sup>a</sup>. ed. Salvador: EDUFBA, 2011.

NOGUEIRA, I. M. S.; LARH, F. A. R.; GIACON, V. Desenvolvimento e caracterização de painéis de partículas aglomeradas utilizando o resíduo do ouriço da Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*) e resina poliuretana derivada do óleo da mamona. **Revista Matéria**, v. 23, n. 1, 2018.

NUVOLARI, A.; CORAUCCI FILHO, B. Utilização de lodos de esgoto sanitário em tijolos cerâmicos maciços: aspectos tecnológicos e ambientais. **In: Fórum das universidades públicas paulistas - ciência e tecnologia em resíduos**, São Pedro, 18-20 maio 2003. 729-743.

OLIVEIRA, G. R. D. **Método de design de interiores no Brasil: uma contribuição dos princípios da ergonomia do ambiente construído**. Tese (doutorado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Artes e Design. Rio de Janeiro. 2016.

OLIVEIRA, H. D. et al. All natural cork composites with suberin-based polyester and lignocellulosic residue. **Industrial Crops & Products**, v. 109, p. 843-849, 2017.

OLIVEIRA, M. C. R. D. **Compósito de poliuretano de mamona e resíduo industrial para isolamento térmica e absorção sonora**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Natal. 2010.

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

OLIVEIRA, W. L. D. et al. **Determinação do coeficiente de condutividade térmica de compósitos constituídos a partir da fibra de coco**. VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Porto Alegre/RS. 2015.

PEREZ, R. L. **Sistematização da avaliação do desempenho do processo do projeto de produto**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 181. 2003.

REBELO, V. S. M. **Efeitos da Mercerização em Fibras de Piaçava Amazônica (Leopoldinia piassaba) para Produção de Painéis de Partículas de Média Densidade**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas. Manaus. 2016.

ROCHA, J. C.; CHERIAF, M. **Utilização de Resíduos na Construção Habitacional**. Porto Alegre: [s.n.], v. 4, 2003. 73-93 p.

ROSA, A. H.; FRACETO, L. F.; MOSCHINI-CARLOS, V. **Meio Ambiente e Sustentabilidade**. Porto Alegre: Bookman, 2012.

SÁNCHEZ, M. L.; MORALES, L. Y.; CAICEDO, J. D. Physical and mechanical properties of agglomerated panels made from bamboo fiber and vegetable resin. **Construction and Building Material**, v. 156, p. 330-339, 2017.

SANTOS, L. D. D. **Relação de Consumo Sustentável: a geração de resíduos sólidos sob a ótica da proteção jurídica do consumidor**. São Paulo: Letras Jurídicas, 2015.

SILVA, A. L. M.; LOGSDON, N. B.; ABREU, J. G. Análise da viabilidade de resíduo de jequitibá-vermelho (*Cariniana legalis*) (Mart.) Kuntze., na produção de painéis homogêneos de madeira aglomerada. **EBRAMEM - XI ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA**, Londrina, 2008. 15p.

SILVA, D. A. L. E. A. Life cycle assessment of wood-based composites: state-of-art and opportunities for reducing enviromental impacts. In: LAHR, F. A. R.; SAVASTANO JUNIOR, H.; FIORELLI, J. **Non-conventional vuilding materials based on agro-industrial wastes**. Bauru: Tiliform, 2015. p. 143-178.

SOUZA, A. M. D. **Produção e avaliação do desempenho de compósitos à base de madeira a partir de insumos alternativos.** Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo. São Paulo. 2016.

SOUZA, R. D. **Ambiente virtual de aprendizagem em design de interiores.** Dissertação (Mestrado em Design) - Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo. 2011.

SOUZA, T. F. D. **Avaliação da resistência de compósitos de argamassas leves de eva reforçadas com fibras de piaçava.** Dissertação (Mestrado em Ciência, Inovação e Modelagem em Materiais) - Universidade Estadual de Santa Cruz. Ilhéus. 2012.

TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2010.

TRICHEZ, C. T. S. **A ideia no processo criativo: uma aplicação no projeto de interiores.** Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Florianópolis. 2012.

UEMOTO, K. L.; SATO, N. M. N.; JOHN, V. M. Estimating thermal performance of cool colored paints. **Energy and Buildings**, v. 42, p. 17-22, 2010.

WANG, S. H. Construction Materials Science. **Construction Industry Publisher**, Beijing, 1988.

ZIANGIACOMI, M. H. **Desenvolvimento e análise de compósitos reforçados com fibras de panox e fibras de aramida utilizados em materiais de fricção em freios automotivos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas - SP. 2002.