



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

JEFERSON HENRIQUE VERISSIMO LEITE

# **Viabilidade técnica de produção de compósito de resíduos de madeira e casca de amendoim**

Itapeva - SP

2023

JEFERSON HENRIQUE VERISSIMO LEITE

## **Viabilidade técnica de produção de compósito de resíduos de madeira e casca de amendoim**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Instituto de Ciências e Engenharia - Itapeva, como requisito para a conclusão do curso de Engenharia Industrial Madeireira

Orientador: Elen Aparecida Martines Morales

Itapeva - SP

2023

L533v      Leite, Jeferson Henrique Verissimo  
Viabilidade técnica de produção de compósito de resíduos  
de madeira e casca de amendoim / Jeferson Henrique  
Verissimo Leite. -- Itapeva, 2023  
54 f. : il., tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia  
Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),  
Instituto de Ciências e Engenharia, Itapeva  
Orientadora: Elen Aparecida Martines Morales

1. Painéis de Madeira. 2. Caracterização físico-mecânica. 3.  
Pinus. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do  
Instituto de Ciências e Engenharia, Itapeva. Dados fornecidos pelo autor(a).

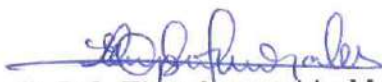
Essa ficha não pode ser modificada.

**JEFERSON HENRIQUE VERISSIMO LEITE**

**VIABILIDADE TÉCNICA DE PRODUÇÃO DE COMPÓSITO  
DE RESÍDUOS DE MADEIRA E CASCA DE AMENDOIM**

Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Industrial - Madeira, da Universidade Estadual Paulista - UNESP - Câmpus de Itapeva.

**BANCA EXAMINADORA**



Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Elen Aparecida Martines Morales  
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Câmpus de Itapeva.



2º Examinador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maristela Gava  
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Câmpus de Itapeva.



3º Examinador: Prof. Dr. Bruno Santos Ferreira  
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Câmpus de Itapeva.

Itapeva, 21/11/2023.

# Resumo

Ao longo dos anos, o número de resíduos gerados pela população vem aumentando gradualmente, especialmente no setor agroindustrial e alimentício. Por isso, é necessário buscar soluções para reduzir o descarte desses materiais ou encontrar novos usos para eles. Um exemplo de resíduo comumente descartado é a casca do amendoim, que pode ser reaproveitada de várias formas. Com isso em mente, este trabalho teve como objetivo fabricar um compósito utilizando resíduo de madeira de pinus(maravalha) e casca de amendoim, a fim de avaliar o comportamento do compósito no que diz respeito a propriedades físico-mecânicas, indicando possíveis utilizações para o material resultante. Foram realizados nesse trabalho os ensaios de teor de umidade, densidade, absorção de água e inchamento em espessura após 24 horas e flexão estática, tomando como referencial normativo a norma técnica ABNT NBR 14810-2. Foram analisados compósitos contendo somente pinus(maravalha) e com uma porcentagem de 60% de pinus e 40% de casca de amendoim para se poder realizar uma comparação entre os respectivos valores obtidos nos testes. A partir da realização dos ensaios descritos foi possível observar um bom comportamento do compósito contendo casca de amendoim no que diz respeito a propriedades físicas, principalmente no inchamento em espessura, ao mesmo tempo que apresentou valores considerados insatisfatórios para os testes de flexão estática. Possivelmente houve indícios de uma realização incorreta durante a produção dos compósitos, algo que comprometeu os resultados. De uma maneira geral, foi possível observar que tal painel acaba por ser mais indicado para utilizações na qual não tem uma exigência de altas cargas, além de demonstrar uma boa utilização em ambientes úmidos.

**Palavras-chave:** Painéis de madeira. Caracterização físico-mecânica. Pinus.

# Abstract

Over the years, the amount of waste generated by the population has been gradually increasing, especially in the agro-industrial and food sectors. Therefore, it is necessary to seek solutions to reduce the disposal of these materials or find new uses for them. An example of a commonly discarded waste is peanut shells, which can be repurposed in various ways. With this in mind, the objective of this study was to manufacture a composite using pine wood waste (shavings) and peanut shells to evaluate the behavior of the composite in terms of physical-mechanical properties, indicating possible uses for the resulting material. In this study, tests were conducted for moisture content, density, water absorption, thickness swelling after 24 hours, and static bending, with the technical standard ABNT NBR 14810-2 as a reference. Composites containing only pine wood (shavings) and with a percentage of 60% pine wood and 40% peanut shells were analyzed to compare the respective values obtained in the tests. From the described tests, it was possible to observe a good performance of the composite containing peanut shells in terms of physical properties, especially in thickness swelling, while presenting values considered unsatisfactory for static bending tests. There were possibly indications of incorrect execution during the production of the composites, which compromised the results. In general, it was observed that such a panel is more suitable for uses with lower load requirements and demonstrates good performance in humid environments.

**Keywords:** Wood panel. physical-mechanical characterization. Pine.

# Lista de ilustrações

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Etapas plantio do amendoim. . . . .                                                    | 13 |
| Figura 2 – exportações amendoim . . . . .                                                         | 14 |
| Figura 3 – Etapas de processamento do Amendoim . . . . .                                          | 15 |
| Figura 4 – Fases de um compósito . . . . .                                                        | 16 |
| Figura 5 – Materiais compósitos conforme orientação das fibras . . . . .                          | 17 |
| Figura 6 – Tipos de compósitos . . . . .                                                          | 18 |
| Figura 7 – Tipos de Fibras Naturais . . . . .                                                     | 20 |
| Figura 8 – Propriedades dos Compósitos . . . . .                                                  | 22 |
| Figura 9 – Falhas de compósitos usando fibras . . . . .                                           | 23 |
| Figura 10 – Processos de fabricação de compósitos . . . . .                                       | 24 |
| Figura 11 – Materiais coletados . . . . .                                                         | 28 |
| Figura 12 – Preparação do Adesivo . . . . .                                                       | 28 |
| Figura 13 – Etapas Fabricação dos Painéis . . . . .                                               | 29 |
| Figura 14 – Painéis após fabricação . . . . .                                                     | 29 |
| Figura 15 – Corpos de Prova usados nos ensaios . . . . .                                          | 30 |
| Figura 16 – Ensaio de Absorção de Água após 24 horas. . . . .                                     | 32 |
| Figura 17 – Ensaio Flexão Estática . . . . .                                                      | 34 |
| Figura 18 – Comparativo teor de umidade entre tipos de painéis . . . . .                          | 37 |
| Figura 19 – Comparativos da densidade entre tipos de painéis . . . . .                            | 38 |
| Figura 20 – Comparativos entre inchamento em espessura após 24h nos tipos<br>de painéis . . . . . | 40 |
| Figura 21 – Comparativos absorção 24h entre tipos de painéis . . . . .                            | 41 |
| Figura 22 – Comparativos entre o MOE nos tipos de painéis . . . . .                               | 43 |
| Figura 23 – Comparativos entre o MOR (MPa) nos tipos de painéis . . . . .                         | 44 |

# Lista de tabelas

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Valores referente ao teor de umidade . . . . .                      | 36 |
| Tabela 2 – Valores referente a densidade . . . . .                             | 38 |
| Tabela 3 – Valores referente a inchamento em espessura . . . . .               | 39 |
| Tabela 4 – Valores referente a absorção após 24h . . . . .                     | 41 |
| Tabela 5 – Valores referente de MOE e MOR obtidos no ensaio de flexão estática | 42 |



# Sumário

|            |                                                                 |           |
|------------|-----------------------------------------------------------------|-----------|
|            | <b>Introdução</b>                                               | <b>9</b>  |
| <b>1</b>   | <b>OBJETIVOS</b>                                                | <b>10</b> |
| <b>2</b>   | <b>REVISÃO DE LITERATURA</b>                                    | <b>11</b> |
| <b>2.1</b> | <b>Resíduos Gerados no setor Agroindustrial</b>                 | <b>11</b> |
| <b>2.2</b> | <b>Cultura do Amendoim</b>                                      | <b>12</b> |
| 2.2.1      | Casca do Amendoim                                               | 14        |
| <b>2.3</b> | <b>Compósitos</b>                                               | <b>15</b> |
| 2.3.1      | Classificação compósitos                                        | 17        |
| <b>2.4</b> | <b>Compósitos de resíduos agroindustriais</b>                   | <b>18</b> |
| <b>2.5</b> | <b>Fibras Naturais</b>                                          | <b>19</b> |
| <b>2.6</b> | <b>Pinus</b>                                                    | <b>20</b> |
| <b>2.7</b> | <b>Propriedades dos Compósitos</b>                              | <b>21</b> |
| <b>2.8</b> | <b>Produção de Compósitos</b>                                   | <b>23</b> |
| <b>2.9</b> | <b>Adesivo a base de óleo de mamona</b>                         | <b>24</b> |
| <b>3</b>   | <b>MATERIAIS E MÉTODO</b>                                       | <b>27</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Coleta de materiais utilizados</b>                           | <b>27</b> |
| <b>3.2</b> | <b>Ensaio físico-mecânicos</b>                                  | <b>29</b> |
| 3.2.1      | Teor de Umidade                                                 | 30        |
| 3.2.2      | Densidade                                                       | 31        |
| 3.2.3      | Absorção de Água após 24 horas                                  | 32        |
| 3.2.4      | Flexão Estática                                                 | 33        |
| <b>4</b>   | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>                                   | <b>36</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Teor de Umidade</b>                                          | <b>36</b> |
| <b>4.2</b> | <b>Densidade</b>                                                | <b>38</b> |
| <b>4.3</b> | <b>Inchamento em espessura e Absorção de água após 24 horas</b> | <b>39</b> |
| <b>4.4</b> | <b>Resistência à flexão estática</b>                            | <b>42</b> |
| <b>5</b>   | <b>CONCLUSÃO</b>                                                | <b>46</b> |
|            | <b>REFERÊNCIAS</b>                                              | <b>48</b> |

# Introdução

Um dos principais setores que movimentam a economia brasileira é o setor agroindustrial, tendo grande participação no PIB(Produto Interno Bruto) do Brasil, no ano de 2021, contribuiu com 28% do total. A produção agroindustrial tem apresentado crescimento, muito elevado quando comparado aos níveis mundiais, com perspectivas de que o Brasil possa vir a se tornar o maior exportador de grãos do mundo num futuro próximo (ALVES, 2022).

Arelado a essa alta produção, surgem problemas referentes a alta geração de resíduos, os quais apresentam na maioria dos casos um aproveitamento baixo, levando muita das vezes a um descarte. Os resíduos agroindustriais são gerados em várias etapas do processamento, sendo gerado uma maior quantidade quando na indústria, surgindo, portanto, necessidades de se obter um melhor aproveitamento desses resíduos, a fim de se diminuir o desperdício na indústria, e desenvolver materiais mais sustentáveis (CEREGATTI, 2022).

Esses resíduos em questão apresentam características que os tornam interessantes de serem utilizados para fins de fabricação de novos materiais. É o caso da casca de amendoim, que concentra a sua produção principalmente no estado de São Paulo. A casca de amendoim representa 30% do amendoim, material esse que basicamente tem poucas utilizações, geralmente sendo descartado. As principais utilizações das cascas são para queima e alimento para gado, mas surgem várias pesquisas com o intuito de proporcionar mais destinos para esse resíduo, obtendo muitas vezes soluções que proporcionam a redução dos resíduos ao mesmo tempo que consegue movimentar a economia a partir da fabricação de novos materiais (BARBIRATO *et al.*, 2014).

Os materiais compósitos surgem como alternativa, tendo em vista que esses resíduos apresentam propriedades físicas e mecânicas muito interessantes de serem empregadas, junto a uma facilidade de se obtê-los. Já a algum tempo vem sendo estudada a fabricação de compósitos, obtendo, muita das vezes, materiais que possuem propriedades consideradas satisfatórias, às vezes até superiores aos materiais habituais.

# 1 Objetivos

Este trabalho teve como objetivo principal realizar a fabricação de um compósito a base de resíduos de pinus (maravalhas), numa proporção de 60% de pinus e 40% de casca de amendoim, a fim de verificar se o material obtido apresenta características que o tornam competitivo comparado aos materiais convencionais. Foi verificado a influência da casca de amendoim nas propriedades físicas e mecânicas em comparação ao compósito 100% madeira, realizando os ensaios absorção de água e inchamento em espessura, densidade, teor de umidade e flexão estática, além da posterior comparação com materiais usuais.

## 2 Revisão de Literatura

### 2.1 Resíduos Gerados no setor Agroindustrial

Os resíduos provenientes do processamento agroindustrial podem ser classificados como resíduos sólidos, os quais têm apresentado um crescente aumento nos últimos anos. Juntamente com a alta geração, esses resíduos são frequentemente descartados de maneira inapropriada, o que dificulta seu aproveitamento. No entanto, é possível gerar vários produtos de valor agregado a partir deles, o que traz benefícios às empresas, como, por exemplo, os de créditos de carbono. É fundamental que as empresas adotem práticas mais sustentáveis para a destinação adequada desses resíduos, contribuindo para a preservação do meio ambiente e fazendo a economia circular (BURKOT; AHRENS, 2015).

Os resíduos gerados pela atividade agrícola podem ter impactos negativos e positivos no meio ambiente. De forma positiva, esses resíduos podem proteger o solo da deterioração, fornecer nutrientes e reduzir os custos provenientes da utilização de produtos químicos. No entanto, de forma negativa, eles podem alterar o bioma ao redor do plantio, já que muitos desses resíduos apresentam lenta decomposição. É importante tratar esses resíduos de forma adequada, para que seja possível uma preservação do meio ambiente, não degradando o local de plantio. Assim, é possível minimizar os impactos negativos e potencializar os impactos positivos desses resíduos na agricultura (CORDEIRO *et al.*, 2020).

Segundo Guimarães (2017), os resíduos agroindustriais são difíceis de serem reaproveitados devido às suas composições diversas. Em geral, apresentam cerca de 35% a 50% de celulose, 20% a 35% de hemiceluloses e 10% de lignina. Além disso, a presença de extrativos é um componente que dificulta na colagem do painel e, conseqüentemente, a sua utilização na produção de painéis. Porém, é importante buscar alternativas para o aproveitamento desses resíduos, para que seja possível reduzir o impacto ambiental gerado pelo descarte incorreto deles. O desenvolvimento de tecnologias e processos que possam utilizar esses resíduos de forma eficiente acabam auxiliando de maneira direta, o meio ambiente e a indústria.

Tem-se intensificado nos tempos mais recentes, iniciativas que buscam destacar a participação de produtos sustentáveis, a fim de não gerar impactos no meio ambiente. Surgem várias pesquisas que, de uma maneira geral, apresentam resultados considerados satisfatórios. Em alguns casos, surgem produtos com qualidade superior aos convencionais. Isso é possível, tendo em vista que, para a geração desses produtos,

até o descarte, é gerado muito resíduo que pode ser aproveitado (SOUZA *et al.*, 2022).

Os resíduos agrícolas geralmente são utilizados para fins energéticos, seja em consumo industrial ou doméstico. Em alguns casos, também é possível utilizar esses resíduos na produção de alimentos, devido aos altos valores nutritivos, muitas vezes encontrados neles. Empregando técnicas adequadas, esses resíduos podem ser convertidos em materiais comerciais ou até mesmo em matéria-prima utilizada para processos secundários (ARANHA, 2011).

De acordo com Caetano (2021), as principais técnicas de aproveitar esses resíduos são bio digestão anaeróbica, queima, compostagem e fabricação de painéis. Segundo Caraschi, Leão e Chamma (2009) a utilização de resíduos agroindustriais na fabricação de painéis pode auxiliar no atendimento da demanda, além de diminuir os impactos ambientais dos resíduos, agregando valor ao produto final. Em seus estudos os autores verificaram que a utilização de casca de arroz e de amendoim resultou em melhorias nas propriedades dos painéis, exceto quando submetidos a ambientes de alto teor de umidade, devido a absorção.

Segundo Depieri (2019), a casca do amendoim como resíduo tem como utilizações principais a queima, fabricação de placas aglomeradas e fabricação de furfural, sendo a utilização mais frequente a queima, finalidade esta para qua se busca o desenvolvimento de pesquisas para reduzir a utilização para esse fim. A utilização como o intuito de se fabricar painéis surge como alternativa, visto que os produtos gerados apresentam propriedades físicas e mecânicas consideradas satisfatórias, além de poder ser aplicados em movelaria, revestimentos ou até mesmo forros, locais esses que não tem a presença de umidade constante.

## 2.2 Cultura do Amendoim

O amendoim (Figura 1), uma oleaginosa da família Leguminosa, é conhecido pela sua espécie *Arachis hypogaea*. Segundo Freitas (2022) em 2022 o Brasil teve uma produção de aproximadamente 746,7 mil toneladas. São Paulo é o principal estado produtor, com pouco mais de 80% da produção nacional, cultivando principalmente o amendoim do tipo Runner, uma variedade altamente produtiva e resistente a pragas. Aproximadamente 80% da produção é destinada à exportação, especialmente para o mercado europeu, enquanto o restante é comercializado no mercado interno (NASSER, 2016) .

O mercado brasileiro de amendoim é dividido em duas vertentes principais: o uso em confeitaria e o consumo *in natura*. Nesses mercados, podemos observar a predominância de variedades como Valência, destinado principalmente ao consumo *in natura*, com sementes médias e coloração vermelha. Outra variedade é a do tipo

Runner, que possui porte rasteiro, e a do tipo Spanish, utilizado sobretudo na indústria de confeitaria, caracterizado por suas sementes grandes e coloração bege. Dentre eles, Valência e Runner são as variedades mais comercializadas, enquanto o tipo Spanish tem pouca relevância econômica (COSTA, 2023).

Figura 1 – Etapas plantio do amendoim.



(a) planta de amendoim (b) Amendoim após colheita (c) Amendoim descascado.

Fonte: Autor

O Brasil tem uma história de longa data na produção e exportação de amendoim, com destaque para a década de 70, em que o país se consolidou como um forte produtor desse grão. No entanto, a partir desse período, a produção de amendoim enfrentou momentos de instabilidade, em grande parte devido ao crescente interesse na produção de soja. Esse cenário foi agravado pela falta de fiscalização e normas eficazes para controlar a contaminação dos grãos durante o processamento, especialmente em relação à aflatoxina. Como resultado, na década de 80, o Brasil acabou aumentando a importação de amendoim para suprir a demanda interna (SOUZA, 2023).

Em 2020, o Brasil registrou uma exportação de amendoim que arrecadou um total de US\$ 427 milhões, com uma tendência de aumento nos valores nos últimos anos. O estado de São Paulo, apresentou uma grande participação nessas exportações, que por sua vez, contribuiu sozinho com um montante impressionante de 97% das exportações. Entre os destaques nesses números estão os municípios de Tupã, Jaboticabal e Borborema, que representam metade do total de exportações do país (SOUZA, 2023). A Figura 2 retrata os valores referentes a exportação e importação do Estado de São paulo, na qual é possível observar uma tendência de aumento das exportações de amendoim, principalmente a partir do ano de 2003.

Segundo Dalpian (2020), o plantio de amendoim no Brasil é considerado estável em termos de área cultivada, visto que está diretamente relacionado à cultura de renovação de canaviais. Ou seja, quanto mais áreas de renovação de canaviais, maior é o plantio de amendoim. A cultura de amendoim é rica em nitrogênio, o que enriquece o solo com nutrientes, melhorando o cultivo da cana-de-açúcar. Além disso, o amendoim

é bastante resistente a ataques de pragas, o que auxilia na diminuição delas nas áreas de plantio. Essa sinergia entre as culturas de amendoim e cana-de-açúcar tem sido um fator importante na estabilidade da área plantada de amendoim no país.

Figura 2 – exportações amendoim



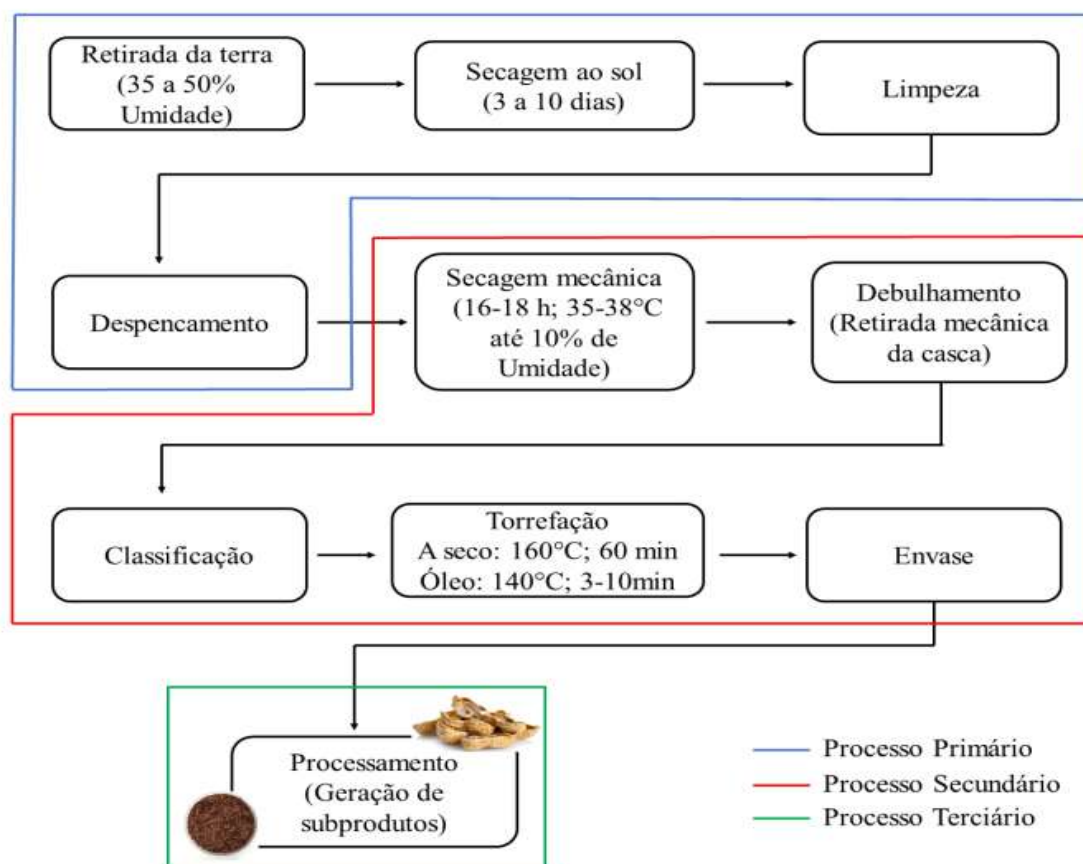
Fonte: Souza (2023)

## 2.2.1 Casca do Amendoim

Segundo Sorita (2021), o amendoim passa por três etapas de processamento: inicialmente é realizada a colheita utilizando inversão mecânica, quando apresentam umidade de 35% a 50%, sendo passados por uma posterior secagem ao ar livre e limpeza. A segunda etapa diz respeito ao amendoim já em instalações de armazenagem, que passam por processos mais eficientes de secagem, com objetivo de chegar ao valor de 10%. É esperada a maturação completa dos frutos conforme classificação pré-estabelecida e são realizados os procedimentos desejados. A última etapa diz respeito ao processamento do amendoim a fim de se obter o produto desejado, passando por diversos processos, tais como moagem, resfriamento ou até mesmo prensagem. Nessas três etapas sempre ocorre a geração de resíduos, como a casca e a pele do amendoim. A figura 3 exemplifica as etapas de processamento do amendoim.

Segundo Chamma (2004), a casca do amendoim é obtida durante o beneficiamento realizado normalmente na indústria, tendo o objetivo de se separar a semente da casca. A casca oferece uma resistência quanto à deterioração, propiciando uma durabilidade elevada do amendoim, quando comparado à semente separada da casca, que fica sujeita principalmente à ocorrência de danos mecânicos.

Figura 3 – Etapas de processamento do Amendoim



Fonte: Sorita (2021)

De acordo com SILVA (2020), a casca de amendoim normalmente é utilizada como combustível para queima, por se tratar de um material fibroso. Os principais usos desse resíduo são como combustível ou em camas de frango e alimentos para gado. Representa um resíduo que é encontrado de maneira acessível, gerando oportunidades para que se gere novos subprodutos.

Segundo Freitas (2022), embora se tenha uma utilização da casca de amendoim para fins energéticos e em rações animais, existe uma grande quantidade de resíduos que não se tem destinação, indicando a importância de pesquisas para que se tenha um melhor aproveitamento.

## 2.3 Compósitos

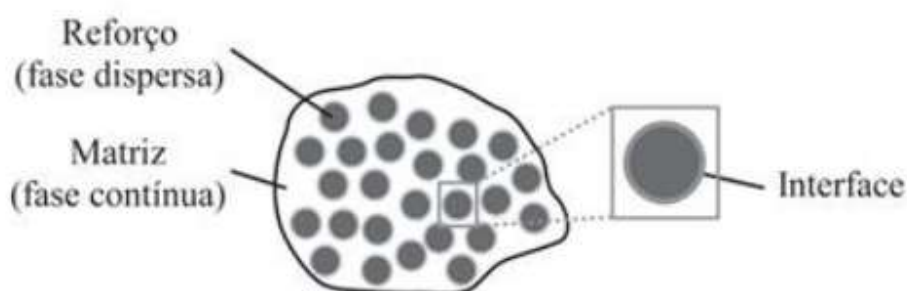
Segundo Silva (2022), compósitos são materiais obtidos pela combinação de diferentes elementos, com o objetivo de obter propriedades únicas e melhorar o desempenho do material final. Essa mistura ocorre em escala macroscópica, sendo que cada



componente pode ser escolhido para contribuir com uma característica específica. Para a engenharia, os compósitos são produtos altamente interessantes de serem analisados, já que representam a criação de novos materiais com características superiores às dos materiais originais.

Compósitos, apresentam duas fases: a fase de reforço, que é mais rígida e resistente, e a fase da matriz, que é menos resistente. Em alguns casos, pode surgir uma terceira fase intermediária, resultado de reações químicas ou do processo de combinação dos materiais. A escolha dos materiais e a proporção de cada componente são fatores essenciais para a obtenção das propriedades desejadas, e o uso de compósitos pode trazer diversos benefícios em setores como a construção civil, aeroespacial, automotivo e outros (SILVA, 2022). A Figura 4 exemplifica as fases de um compósito:

Figura 4 – Fases de um compósito



Fonte: Silva (2022)

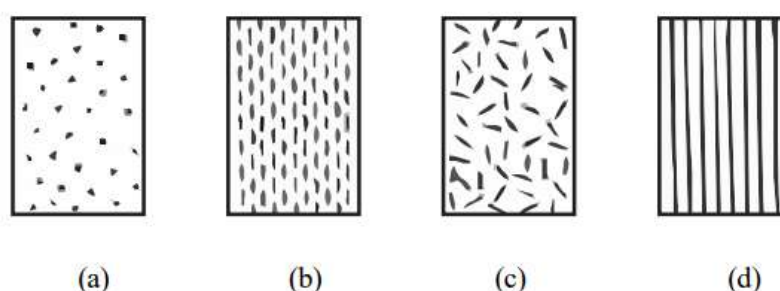
Segundo Razera (2006), a fim de que haja a impregnação efetiva da matriz com o reforço, é necessário que ocorram interações entre esses componentes. Tais interações podem se dar de diversas formas, podendo ocorrer mais de um tipo simultaneamente, como as interações eletrostáticas e por meio de reação química. A configuração do sistema, em termos da presença de contaminantes e agentes de ativação, exerce grande influência sobre a forma como essas interações se desenvolvem e, por consequência, na efetividade da impregnação.

Segundo Moreira (2009), os compósitos são amplamente reconhecidos por suas excelentes propriedades, como alta resistência e rigidez, tornando-os altamente atrativos em diversas áreas, especialmente para reduzir problemas de fadiga. Esses materiais também apresentam excelente resistência à corrosão e são capazes de suportar temperaturas extremas, permitindo maior durabilidade e vida útil dos materiais. Atualmente, os compósitos mais utilizados na indústria são os chamados concretos poliméricos, muito usados na área da construção civil.

Segundo Cavalcanti (2022), existem certos fatores que auxiliam nas proprieda-

des mecânicas dos materiais compósitos: estrutura das fases, como é a geometria da fase dispersa, os níveis de adesão, além da proporção utilizada dos componentes. Na figura 5 são representadas as estruturas das fases conforme a orientação.

Figura 5 – Materiais compósitos conforme orientação das fibras



(a) Particulado aleatoriamente, (b) fibras descontínuas unidirecionais, (c) fibras descontínuas aleatoriamente alinhadas, (d) fibras contínuas alinhadas.

Fonte: Silva (2022)

### 2.3.1 Classificação compósitos

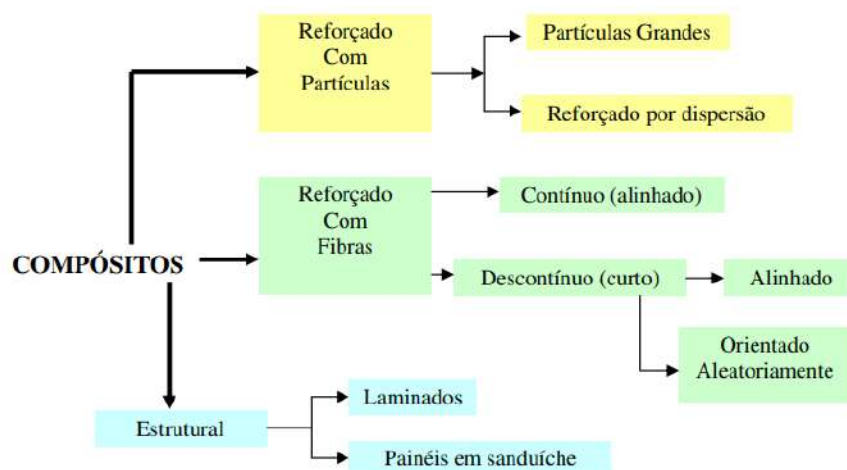
A interface entre a matriz e o componente estrutural é crucial para o desempenho dos compósitos, uma vez que é nesse local que ocorre a transferência de forças e tensões. A qualidade dessa interface exerce um papel fundamental nas propriedades físicas e mecânicas do material compósito. A promoção da adesão necessária entre a fibra e a matriz é alcançada por meio do desenvolvimento de interações nessa região. A fim de melhorar a adesão, são comumente utilizados métodos físicos e químicos que visam aprimorar a interação entre os componentes (SANTOS, 2009).

Segundo Silva (2022), os compósitos são classificados em três grupos principais: Particulados, Fibrosos e Estruturais. No entanto, a classificação pode variar, dependendo da natureza dos materiais utilizados na fabricação do compósito, que podem ser de origem natural, como madeira, ossos e músculos, ou de materiais sintéticos, como plásticos e concreto. A Figura 6 ilustra os diferentes tipos de compósitos e suas respectivas classificações.

Segundo Tirloni (2019), a produção de compósitos a base de fibras tem como objetivo alcançar uma resistência ou rigidez superiores em relação ao peso, otimizando as propriedades mecânicas do material. As fibras atuam como um reforço reciclável, oferecendo vantagens em termos de custo, quando comparado à matriz. O uso de fibras em compósitos tem a vantagem de proporcionar um maior desempenho mecânico do material, tornando-o mais resistente, rígido e durável. Além disso, o fato de serem

na maioria das vezes um material reciclável é uma característica importante, já que permite uma maior sustentabilidade e preservação do meio ambiente.

Figura 6 – Tipos de compósitos



Fonte: Moreira (2009)

Quando se fala de materiais utilizados como matriz, os polímeros são os principais candidatos, pois são materiais que oferecem diversas combinações, e possibilitam uma melhor obtenção das propriedades desejadas, sendo que o polietileno de alta densidade é um exemplo destacável. Devido à ampla gama de possibilidades de combinações, os compósitos são utilizados em diversos setores, incluindo a construção civil, aeroespacial e lazer, entre outros. Além disso, os compósitos são uma alternativa atraente para soluções que buscam reduzir o descarte e o desperdício (TIRLONI, 2019).

## 2.4 Compósitos de resíduos agroindustriais

Segundo Gonçalves (2010), a utilização de fibras como reforço na fabricação do compósito acarreta um aumento da sua resistência mecânica. Materiais como fibra de coco apresentam propriedades semelhantes às da fibra de vidro, devido à sua composição ser baixa em celulose e alta em lignina. Materiais fabricados a partir da fibra de coco costumam ser utilizados em compósitos que tenham contato direto com altas temperaturas.

Segundo Rosário *et al.* (2011), um dos resíduos que apresentam características interessantes para ser utilizado como reforço, é a fibra do sisal. Pesquisas apontam que esse material gera um compósito, que, de maneira geral, apresenta elevado trabalho

de ruptura, devido às fibras serem muito resistentes, além de gerar materiais rígidos e resistentes, apesar de apresentarem problemas relativos à adesão.

Gatani *et al.* (2013) em seu estudo referente a viabilidade de produção de painéis particulados de amendoim, verificaram que o principal problema de tais materiais é referente a sua degradação e absorção de umidade, que necessitam de um tratamento inicial, se tratando de usos estruturais, tal painel não atende aos requisitos da norma, e que poderiam ser indicados para usos em que sejam submetidos a poucas cargas bem como em ambientes protegidos da chuva.

De uma maneira geral, é possível perceber que a substituição dos materiais convencionais por resíduos agrícolas não somente é algo benéfico ao meio ambiente, como também proporciona melhorias nas propriedades físicas e mecânicas. Além disso são materiais de custo inferior, devendo-se ter mais pesquisas em relação à degradação e absorção de água.

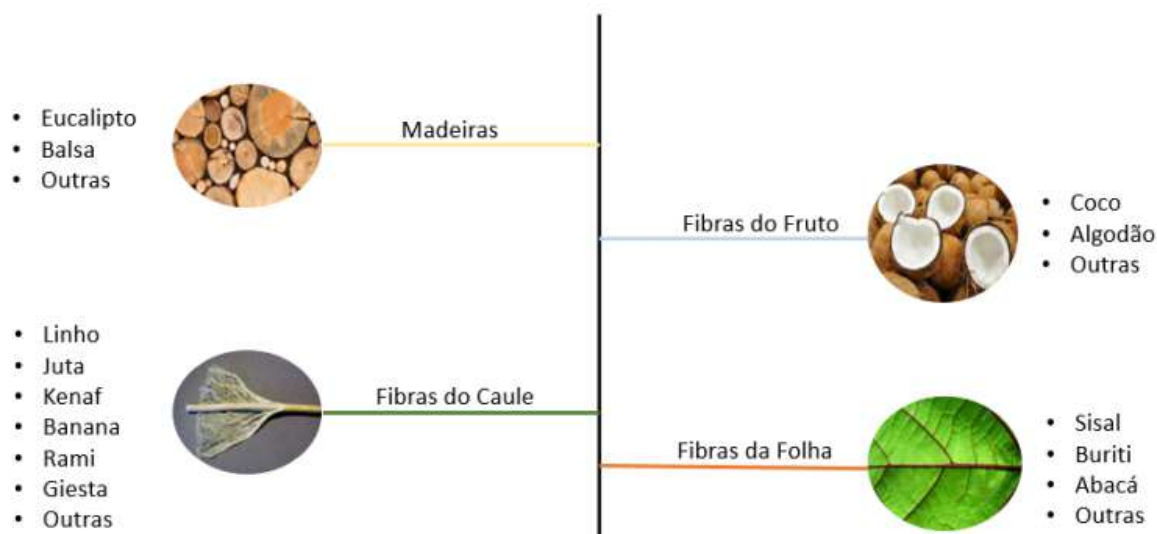
## 2.5 Fibras Naturais

Fibras naturais apresentam em sua composição química de maneira mais acentuada: celulose, lignina e hemiceluloses. As propriedades presentes nessas fibras dependem de alguns fatores tais como: teor de celulose, grau de polimerização e o ângulo formado pelas microfibrilas. De uma maneira geral, fibras que contenham um alto teor de celulose, atrelado a um grau de polimerização alto e baixo ângulo de microfibrilas, geralmente apresentam uma alta resistência a tração e à rigidez (AMADO; REIS, 2019).

Segundo Rodrigues (2008), podemos classificar as fibras naturais em função da sua obtenção, podem ser oriundas de madeiras, do caules de plantas, das folhas, ou até mesmo de frutos. As obtidas a partir do caule e de folhas são as chamadas fibras duras, comumente utilizadas em compósitos do tipo polimérico. A Figura 7 exemplifica essas classificações.

Existe uma grande gama de fibras que apresentam diferentes propriedades mecânicas e térmicas, que proporcionam a fabricação de compósitos de alto desempenho. As fibras naturais são utilizadas como reforço na produção de compósitos, sendo que as fibras com melhores propriedades são encontradas na haste das plantas, e auxiliam para que a planta tenha "força", por isso são distribuídas ao longo do tronco, sendo elas chamadas de fibras longas. As fibras oriundas de frutos são geralmente leves, bem como as fibras de origem agrícola, como as palhas, trigo, milho, aveia e arroz (SILVA, 2017).

Figura 7 – Tipos de Fibras Naturais



Fonte: Silva (2017)

Em geral, a utilização de fibras naturais tem pontos positivos e negativos. Os pontos positivos são: baixo custo de obtenção, baixo peso específico, renováveis e apresentam propriedades de isolamento satisfatórias. Por outro lado, essas fibras têm propriedades mecânicas diferentes e são muito sensíveis às mudanças ambientais, além de apresentarem degradação durante a etapa de fabricação dos compósitos, comprometendo os produtos finais. As fibras vegetais mais utilizadas como reforço são o sisal, a madeira, o bagaço da cana e o bambu. (RODRIGUES, 2008).

A biodegradabilidade e a facilidade de extração de fibras naturais aumentaram o interesse na produção de materiais compósitos a partir de fibras naturais, tornando o uso dessas fibras preferível às fibras sintéticas. Esses compósitos apresentam baixa massa específica em relação aos altos valores de resistência e rigidez, propriedades que os tornam interessantes para uso em diversos setores da indústria, sequestrando carbono da atmosfera e reduzindo a produção de carbono na sua fabricação. A produção desses compósitos é realizada em duas etapas: a primeira ocorre uma impregnação da fibra junto à matriz, sendo o compósito moldado na segunda etapa (LEITE, 2022).

## 2.6 Pinus

De modo geral, pode-se dizer que o plantio em escala comercial da madeira do gênero *Pinus* teve seu início datado na década de 1960, ocorrendo principalmente na região sudeste e sul do Brasil. As espécies *Pinus taeda* e *Pinus elliotti* foram as principais espécies plantadas, sendo as mais frequentemente encontradas comercialmente. As

espécies de pinus atendem principalmente aos comércios de serrarias, laminação, painéis e a indústria de papel e celulose (VIVIAN *et al.*, 2022).

A madeira de Pinus, de um modo geral, apresenta uma significância comercial muito alta para o Brasil. Segundo Oliveira *et al.* (2023), em 2021 o país possuía cerca de 1,93 milhões de hectares plantados. A maior quantidade de Pinus plantada se concentra nas regiões Sul e Sudeste, com 27,78% e 41,53%, respectivamente. Apesar de apresentar números significativos, esse setor ainda passa por desafios, como falta de investimento para obter tecnologias melhores, falta de infraestrutura adequada, além de uma logística de transporte muita das vezes complexas (HERRADON, 2023) .

Seibel (2019) mencionam que a transformação da madeira é um processo que gera resíduos em todas as etapas de processamento. Aproximadamente 40% a 60% da madeira que é utilizada no processo consegue ser aproveitada de fato. Os principais resíduos gerados são serragem, lenha, maravalha, casca e pó. Esses resíduos são materiais interessante de serem utilizados como matéria-prima na fabricação de compósitos, uma vez que possuem baixa densidade, possibilitam a obtenção de materiais com tamanhos variados e apresentam uma estrutura porosa, que resulta numa propriedade de adesão muito boa com vários tipos de resinas.

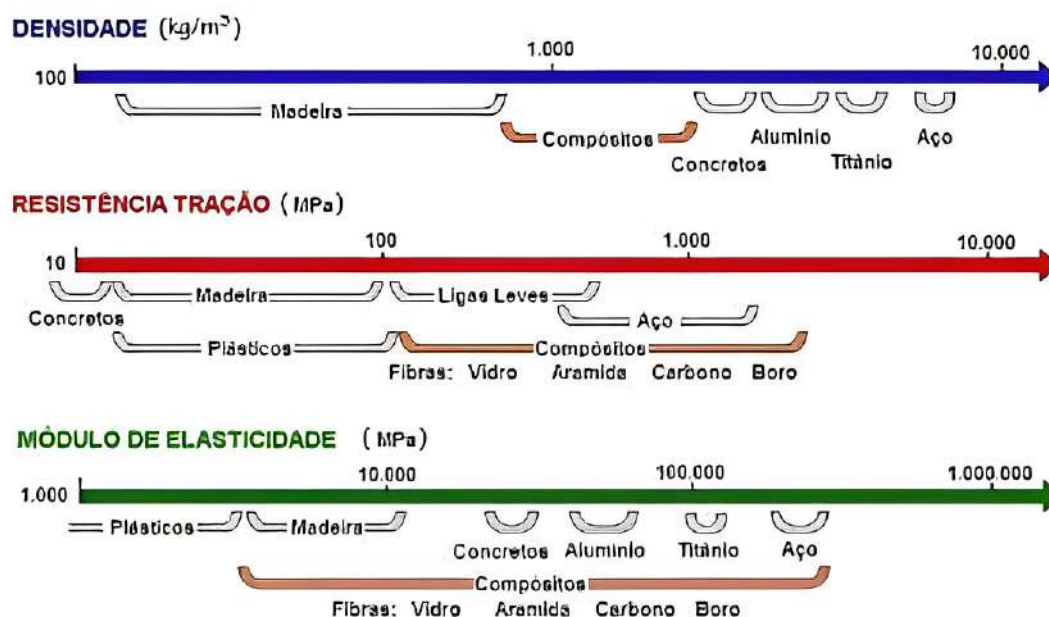
A utilização de madeira, seja pinus ou outra madeira, na composição de compósitos é uma prática empregada principalmente na indústria automotiva (revestimento de lateral de porta, carpete, teto) e na fabricação de painéis MDF (*Medium Density Fiberboard*), materiais muito utilizados na indústria moveleira e civil. A fabricação desses compósitos geralmente é realizada por meio da incorporação da matriz com a fibra, sendo o produto final moldado através de uma injetora (MELO, 2015).

Silva (2019) define a maravalha como uma partícula fina oriunda a partir do processo de aplanamento e desengrosso, etapas essas que a lâmina retira material no sentido da grã, tornando a madeira plana. As maravalhas na sua formação tendem a se enrolar e não apresentam dimensões exatas, para a sua utilização na fabricação de painéis geralmente são aplicados processos para que se possa ter uma maior homogeneização das partículas, como peneiramento.

## 2.7 Propriedades dos Compósitos

De acordo com (SANTOS, 2017), juntamente com as características de possuir uma baixa massa específica e apresentar propriedades mecânicas satisfatórias, o material compósito, de modo geral, apresenta vantagens sobre certos materiais frequentemente utilizados na indústria, como é mostrado na Figura 8. Nela, é possível observar intervalos de resistência à tração entre 100 e 200 MPa, bem como um módulo de elasticidade variando de 6 a 300 GPa.

Figura 8 – Propriedades dos Compósitos



Fonte: Santos (2017)

Segundo Margem (2013), quando um compósito resulta em um material com propriedades inferiores aos materiais empregados em sua fabricação, denomina-se incompatibilidade. Por outro lado, quando as propriedades resultam em um material com propriedades superiores, chama-se sinergismo. Essas duas situações acabam interferindo nos mecanismos de falha dos materiais compósitos, que incluem a ruptura das fibras, o arrancamento das fibras, o trincamento da matriz, a descolagem das fibras e a ponte de fibras. A figura 9 ilustra esses defeitos.

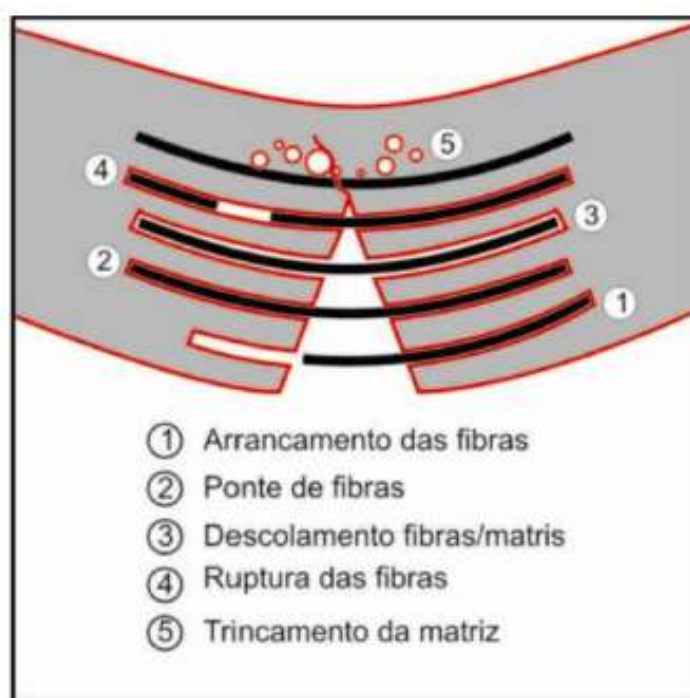
Giacomini (2003) relata que, ao abordar compósitos que utilizam fibras naturais em sua composição, um dos principais problemas enfrentados é a absorção de umidade. Essa absorção é influenciada por fatores como a fração volumétrica das fibras, a orientação das fibras, a temperatura de exposição e a umidade do ambiente em que o compósito está exposto. Estudos concluem que quanto maior o teor de fibras utilizado, maior é a capacidade de absorção de umidade do compósito, devido ao aumento da difusibilidade quando mais fibras estão presentes.

Sampaio (2019) menciona que as propriedades dos compósitos são dependentes de fatores como a adesão fibra/matriz, orientação da fibra e % de fibras utilizadas. As fibras naturais tendem a gerar produtos porosos e que apresentam fácil variação dimensional, principalmente por serem hidrofílicas. A utilização de fibras que contêm celulose, geralmente faz com que as fibras agreguem, gerando assim uma matriz desuniforme. Outro fator que influencia é a ligação entre fibra e matriz, algo essencial



para que seja possível obter boas propriedades mecânicas, tendo em vista que a tensão ocorre na interface do compósito, necessitando assim uma boa ligação para suportar as cargas.

Figura 9 – Falhas de compósitos usando fibras



Fonte: Margem (2013)

## 2.8 Produção de Compósitos

De acordo com Paula (2022) os processos de fabricação de compósitos podem ser divididos em processo de molde aberto e molde fechado. O processo de molde aberto fabrica o compósito usando somente um molde, fator esse, que faz com que somente uma das faces seja lisa e uniforme, diferente do que ocorre no de molde fechado, que utiliza dois moldes, deixando assim, ambas as superfícies lisas e uniformes. Entre os processos de fabricação do tipo molde aberto, podemos destacar: laminação por projeção e manual, infusão e enrolamento de filamento. Quando se trata do processo de molde fechado temos: moldagem de prensagem e por transferência de matriz.

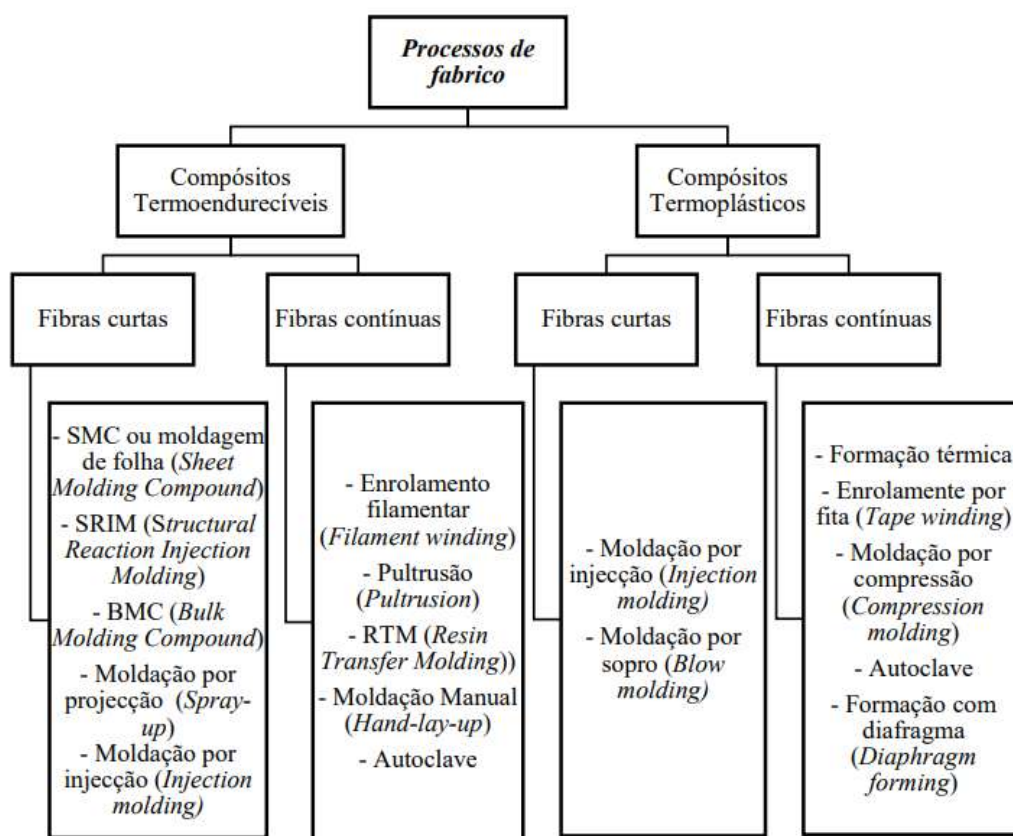
Martinez (2011) menciona que quando falamos de processo produtivo, ainda existe uma produção limitada, o que acaba ocasionando num processo lento de desenvolvimento de desempenho. Existe também um alto custo atrelado à fabricação dos compósitos, que acaba limitando a produção de grandes volumes de materiais.



Dentre os processos produtivos que se destacam em nível estrutural, temos o autoclave, pultrusão, moldagem e laminação manual.

Tomar (2018) em seu estudo menciona que a fabricação de compósitos atualmente são tanto manuais, quanto manuais/automáticos. O processo escolhido depende do tipo de matriz e tipo de reforço que será utilizado no processo, A Figura 10 mostra os processos de fabrico. De uma maneira geral, os compósitos durante a fabricação passam por 4 etapas, sendo elas: impregnação, empilhamento, consolidação, e solidificação.

Figura 10 – Processos de fabricação de compósitos



Fonte: Tomar (2018)

## 2.9 Adesivo a base de óleo de mamona

Segundo Wilczak (2014) os adesivos mais utilizados no processo de fabricação de painéis são resinas que tem como base o fenol-formaldeído e a ureia-formaldeído, que durante o processamento liberam substâncias nocivas, devido à liberação do formaldeído. Em Junho de 2004 a Agência nacional de Câncer classificou o formaldeído como

substância comprovadamente cancerígena ao homem, indicando assim a utilização de resinas que liberem menos formaldeído.

Sartori (2015) menciona que uma das possíveis alternativas seriam a utilização de resinas que sejam de origem naturais, das quais podem ser destacados: amido, taninos, mamona e os de origem animal. Com o avanço no interesse de se utilizar cada vez mais materiais menos poluentes, desenvolveu-se a resina poliuretana que é obtida a partir do óleo de mamona, material esses que apresenta características que o tornam interessantes de ser aplicados, em alguns casos sendo superiores às resinas usuais.

A mamona (*Ricinus communis*), mundialmente conhecida como "Castor Oil", e em alguns locais no Brasil como "Caturra", é uma planta pertencente a família das Euroforbiáceas, muito encontrada em regiões tropicais do Brasil. A partir da extração do seu óleo, torna-se possível a sintetização de polióis e pré-polímeros e, a sua mistura, origina o poliuretano, sendo que a porcentagem de poliálcool determina se terá maior ou menor dureza (NASSER, 2019)

A resina poliuretana à base de mamona apresenta em sua composição o óleo de mamona e metileno difenildisocianato (MDI), sendo que as substâncias derivadas do petróleo correspondem a 25% da composição, os demais 75% são derivados do óleo da mamona, que apresentam uma baixa taxa de toxidez. Essa resina, de acordo com estudos, apresenta uma menor afinidade com água quando comparada à resina ureia-formaldeído, para qual se espera que os painéis resultantes apresentem menores valores de absorção de água. Além do adesivo conseguir preencher melhor as lacunas entre partículas, o que faz com que se tenha uma melhora nas propriedades físicas e mecânicas do painel (GILIO, 2020)

Nogueira, Lahr e Giacon (2018) em seu estudo a respeito da caracterização de painéis particulados, utilizando ouriço de castanha-do-Brasil com a utilização de resina poliuretana a base de óleo de mamona, verificaram que, de um modo geral, os painéis apresentaram valores satisfatórios referentes a absorção de água e inchamento em espessura, podendo verificar que o aumento da porcentagem de resina acarreta em uma diminuição dos respectivos valores de inchamento e absorção de água, que de um modo geral apresentam valores de acordo com o indicado pela norma NBR 14810-2 (2018).

Shirosaki *et al.* (2019), estudando o efeito da utilização da resina poliuretana a base de óleo de mamona em painéis de partículas de média densidade, conseguiram valores referentes ao módulo de elasticidade quando submetido a flexão estática cerca de 17% superiores ao indicado na NBR 14810-2 (2018). Quando referente à madeira de Pinus, tal valor chegou a 70%, concluindo, assim, a efetividade da utilização da resina a base de mamona em relação às propriedades mecânicas.

Buzo *et al.* (2019) num estudo comparativo do efeito da utilização de ureia-formaldeído e resina à base de mamona na fabricação de painéis aglomerados, utilizando bagaço de cana de açúcar, notou que, na condição de 10% dos adesivos, os painéis fabricados com mamona e uréia-formaldeído apresentaram valores referente às propriedades físicas de acordo com a norma NBR 14810-2 (2018). Quando analisadas as propriedades mecânicas, pôde-se verificar também que o valor do MOR, obtido à partir da flexão estática nos painéis de uréia-formaldeído, estão de acordo com a referência normativa, enquanto que os fabricados com adesivo à base de óleo de mamona tiveram valores 2,3 maiores.

## 3 Materiais e Método

Nessa seção serão descritas as etapas realizadas durante a elaboração do compósito pinus com casca de amendoim, bem como a descrição dos ensaios físicos e mecânicos realizados durante o processo em questão. As etapas realizadas foram as seguintes:

- Coleta de materiais utilizados e produção dos compósitos.
- Realização dos ensaios físicos e mecânicos.

### 3.1 Coleta de materiais utilizados

A etapa inicial para a produção do material compósito foi a definição dos materiais a serem utilizados, tendo sido escolhidos a maravalha de madeira de *Pinus* spp., a casca de amendoim, e como adesivo, a resina poliuretana à base de mamona. Esse estudo foi baseado no trabalho de Barbirato *et al.* (2014), que realizou um estudo fabricando painéis híbridos de casca de amendoim acrescido da madeira de Itaúba.

Ficou definida a fabricação de 2 painéis de maravalha de *Pinus* acrescido de casca de amendoim, numa proporção de 60% de maravalha de *Pinus* e 40% de casca de amendoim, proporção essa que no trabalho de Barbirato *et al.* (2014), obteve um dos melhores resultados. Foi produzido um painel controle com 100% de maravalha de *Pinus*, para que fosse possível a análise comparativa entre os painéis obtidos.

Os resíduos de *Pinus* foram obtidos a partir do processamento final de madeira realizados em outros trabalhos feitos na UNESP/ Itapeva. A casca de amendoim foi obtida a partir da colheita de amendoim ocorrida na região de Itapeva e posterior descascamento. A figura 11 mostra os materiais obtidos.

Figura 11 – Materiais coletados



Fonte: Autor

Na sequência, os materiais foram moídos, peneirados, e secos até o teor de umidade de 0%, obtendo-se partículas com o diâmetro de 4 mm. Após os processos iniciais, foi realizada a mistura dos materiais com o adesivo. Para a fabricação de cada painel foi utilizada uma quantidade total sem adesivo de 1,7 Kg, adicionando-se uma proporção de 15% de adesivo à base de mamona à mistura. O adesivo é constituído de dois componentes, intitulados componentes A e B. Utilizou-se, para a mistura do adesivo a proporção de 1 g de componente A para cada 1,5 g do componente B. A mistura dos materiais junto do adesivo foi feita em um período de 10 minutos. A figura 12 mostra as etapas para preparação do adesivo:

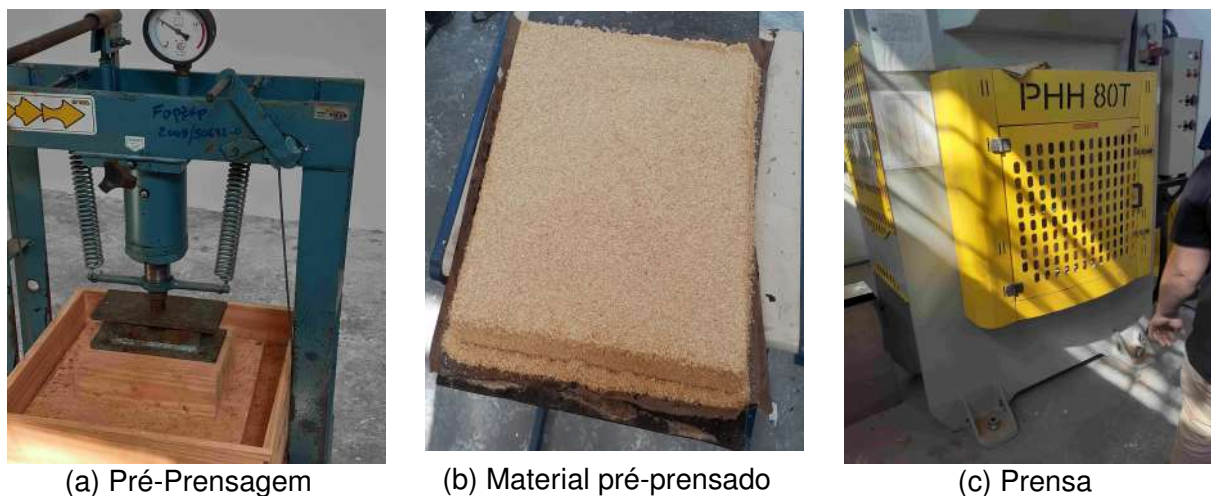
Figura 12 – Preparação do Adesivo



Fonte: Autor

Após a a mistura, transferiu-se o material para a caixa formadora de painéis, com dimensões de 45 x 45 cm, submetendo-o a uma pré-prensagem à temperatura ambiente, com uma pressão constante de 5 toneladas, em um espaço de tempo de 5 minutos. Após a pré-prensagem, o material compactado foi colocado na prensa termo-hidráulica, por 10 minutos. Utilizou-se nesse experimento uma temperatura de 100°C, além de uma pressão de 220 bar, com 3 ciclos de 30 segundos, a fim de se retirar o vapor recorrente do processo. A figura 13 mostra essas etapas.

Figura 13 – Etapas Fabricação dos Painéis



Fonte: Autor

Tendo feito todos os procedimentos de fabricação foi realizada a etapa de acondicionamento dos painéis, por um período de 72 horas, para finalizar o encolamento. A figura 14 mostra os painéis após fabricação.

Figura 14 – Painéis após fabricação



Fonte: Autor

A partir da realização das etapas descritas anteriormente, procedeu-se a realização dos testes físico- mecânicos, bem como a devida análise dos resultados.

## 3.2 Ensaios físico-mecânicos

Para o estudo das propriedades físico- mecânicas foram tomados como base os procedimentos determinados pela NBR 14810-2 (2018). Foram realizados os seguintes ensaios: Absorção de água e inchamento após 24 horas, Densidade, Teor de Umidade e Flexão Estática, realizando o comparativo entre os painéis 100% maravalha de Pinus



e os painéis constituídos de 60% de maravalha de Pinus e 40% casca de amendoim. A figura 15 mostra os corpos de prova utilizados nos ensaios físicos, com dimensões 50 x 50 mm. Os corpos de prova referentes ao painel 100% Pinus receberam a nomenclatura CP acrescida de um número de 1 a 10, e os corpos de prova oriundos do painel contendo amendoim a letra A acrescida de um número de 1 a 10.

Figura 15 – Corpos de Prova usados nos ensaios



(a) Corpos de Prova painel 100% maravalha de Pinus



(b) Corpos de Prova painel contendo casca de amendoim

Fonte: Autor

### 3.2.1 Teor de Umidade

O ensaio para determinação do teor de umidade teve como objetivo se determinar a proporção de água, em relação à massa seca presente do painel. Foram produzidos 10 corpos de prova com medidas de 50 x 50 mm.

Inicialmente determinaram-se as massa dos corpos de prova utilizando uma balança analítica com precisão de 0,001 g, obtendo-se a massa úmida. Posteriormente os corpos de prova foram submetidos à secagem em estufa, numa temperatura de  $103 \pm 2$  °C até massa constante, considerada quando entre duas pesagens consecutivas em um intervalo mínimo de 6 horas, a variação de massa for menor ou igual a 0,1%.

Tendo concluído os procedimentos experimentais, bem como as medidas de massa seca e massa úmida, se determinou o teor de umidade dos corpos de prova com base na equação 1:

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

onde :

- U: teor de umidade, medido em %;
- MU: massa úmida do corpo de prova, medido em gramas (g);
- MS: massa seca do corpo de prova, medido em gramas (g).

O valor referente ao teor de umidade foi então estabelecido como sendo a média aritmética dos 10 corpos de prova, para cada painel.

### 3.2.2 Densidade

Para a determinação da densidade, foram utilizados 10 corpos de prova com medidas de 50 x 50 mm, previamente estabilizados quanto umidade em uma câmara climática nas condições de  $65 \pm 5\%$  de umidade relativa e  $20 \pm 3$  °C referente a temperatura.

Inicialmente determinou-se o valor da massa utilizando uma balança analítica com precisão mínima de 0,001 g. Posteriormente foram tomadas as respectivas medidas referentes ao comprimento ( $b_1$ ), altura ( $b_2$ ) e a espessura ( $e$ ) utilizando-se um paquímetro com precisão de 0,1 mm.

Com esses dados, foi possível se determinar o valor referente à densidade dos corpos de prova, em kg/m<sup>3</sup> utilizando a equação 2:

$$D = \frac{M}{V} \times 1000000 \quad (2)$$

Sendo:

$$V = b_1 \times b_2 \times e$$

onde:

- D: Densidade do corpo de prova, expressa em 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>);



- $b_1$  e  $b_2$ : dimensões do corpo de prova, expressas em milímetros (mm);
- $e$ : espessura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm).

Para se determinar a densidade média foi realizada a média aritmética dos valores obtidos para cada corpo de prova.

Logo em seguida foi então determinada a variação percentual da densidade (D%) utilizando a equação 3, para cada um dos corpos de prova com relação a média obtida e registrado o módulo máximo de variação.

$$D\% = \frac{D - DMédia}{DMédia} \times 100 \quad (3)$$

### 3.2.3 Absorção de Água após 24 horas

O ensaio de absorção de água teve o intuito de verificar, além da quantidade de água absorvida, o inchamento em espessura do corpo de prova, após a imersão em um recipiente contendo água, durante 24 horas. Para a realização desse ensaio foram usinados 10 corpos de prova com medidas de 50 x 50 mm de cada tipo de painel. Inicialmente foi realizada a estabilização de umidade por meio em câmara climática, a fim de se obter a umidade de equilíbrio, seguindo das medidas iniciais de espessura e da massa seca. Em seguida os corpos de prova foram imersos em um recipiente com água, durante 24 horas, quando foram, então tomadas as medidas de espessura e massa do corpo de prova. A figura 16 demonstra o ensaio em questão.

Figura 16 – Ensaio de Absorção de Água após 24 horas.



(a) Corpos de prova imersos em água    (b) Corpos de prova após 24 horas

Fonte: Autor

A expressão dos resultados referente ao inchamento em espessura é fornecida pela equação 4:

$$I = \frac{E1 - E0}{E0} \times 100 \quad (4)$$

onde:

- I: inchamento em espessura do corpo de prova, sendo medido em porcentagem (%);
- E1: espessura do corpo de prova medida após a sua imersão, expressa em milímetros (mm);
- E0: espessura do corpo de prova medida antes da sua imersão, expressa em milímetros (mm).

O valor referente ao inchamento em espessura por 24 horas se dá pela média aritmética do inchamento de cada um dos 10 corpos de prova.

Para a determinação da quantidade de água absorvida pelos corpos de prova utilizou-se a equação 5:

$$Ab = \frac{M2 - M1}{M1} \times 100 \quad (5)$$

onde:

- Ab: quantidade absorvida de água, expressa em porcentagem (%);
- M2: massa do corpo de prova após sua imersão, medida em milímetros (mm);
- M1: massa do corpo de prova antes da sua imersão, medida em milímetros (mm).

### 3.2.4 Flexão Estática

Para esse ensaio foram obtidos de cada painel 10 corpos de prova medindo 270 x 50 mm, a fim de se atender o requisito de que cada corpo de prova deve ter como medida (20 x E +50)mm x 50 mm, e assumindo que a espessura média foi de 11 mm. Inicialmente os corpos de prova foram submetidos a uma estabilização de umidade em câmara climática com (65 ± 5) % de umidade relativa, estando em uma temperatura de (20 ± 3) °C. A Figura 17 mostra o ensaio em questão.

Figura 17 – Ensaio Flexão Estática



Fonte: Autor

A realização dos testes visou a obtenção dos respectivos módulos de elasticidade (MOE) e resistência à flexão estática (MOR).

Para se calcular o Módulo de Elasticidade (MOE), utilizou-se a equação 6:

$$MOE = \frac{P1 \times D^3}{d \times 4 \times B \times E^3} \quad (6)$$

onde:

- MOE: módulo de elasticidade, medido em newtons por milímetros quadrados (N/mm<sup>2</sup>);
- P1: carga no limite proporcional, lida no indicador, expresso em newtons (N);
- D: distância entre apoios do aparelho, expressa em milímetros (mm);
- d: deflexão, medida em milímetros (mm), correspondente a carga P1;
- B: largura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);
- E: espessura do corpo de prova, medida em milímetros (mm).

Para calcular o valor referente a resistência á flexão estática (MOR), utilizou-se a equação 7:

$$MOR = \frac{1,5 \times (P \times D)}{B \times (E)^2} \quad (7)$$

onde:

- MOR: módulo de resistência à flexão estática, expresso em newtons por milímetros quadrados (N/mm<sup>2</sup>)
- P: carga de ruptura lida no indicador, medida em newtons (N)
- D: distância entre apoios do aparelho, medida 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 ensaio se deu pela média aritmética dos resultados obtidos para cada corpo de prova, sendo expressos em N/mm<sup>2</sup>, tendo precisão de 1 N/mm<sup>2</sup> para o MOR e de 10 N/mm<sup>2</sup> para o MOE.

## 4 Resultados e Discussão

### 4.1 Teor de Umidade

Para o ensaio de determinação do teor de umidade, foi possível observar que os resultados obtidos para ambos os tipos de painéis se enquadram nos requisitos estabelecidos pela NBR 14810-2 (2018), que determina um intervalo de 5% a 13% como requisito para painéis particulados. A tabela 1 mostra os valores obtidos nos ensaios:

Tabela 1 – Valores referente ao teor de umidade

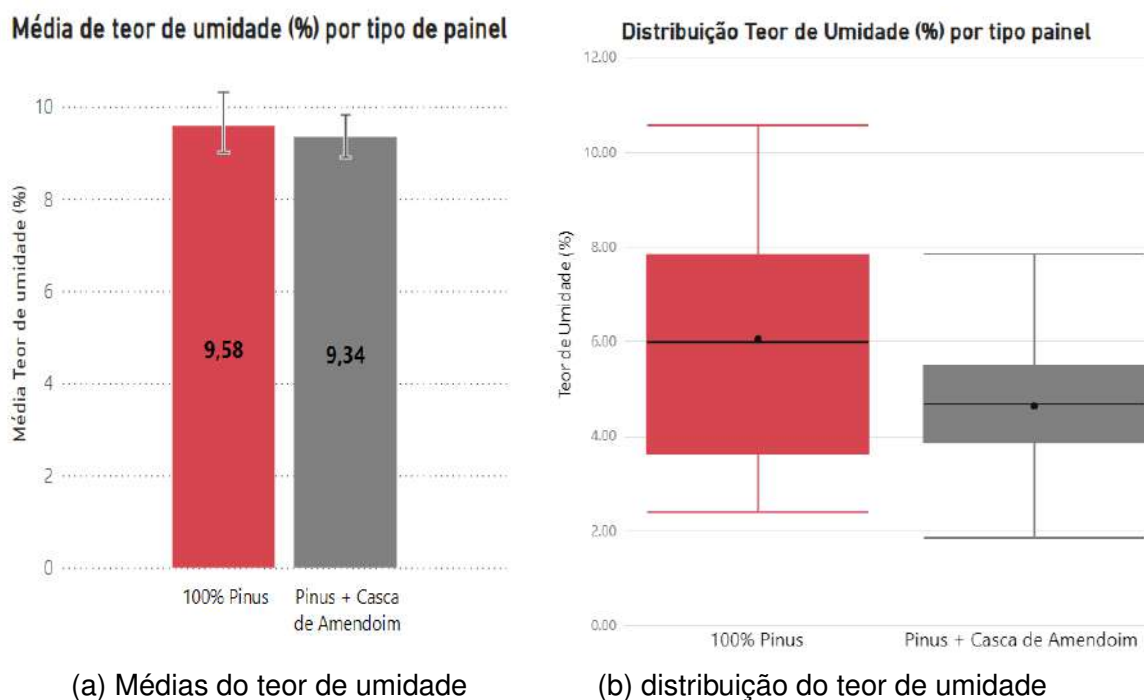
| Tipo de painel                 | Média Massa úmida (g) | Média Massa seca (g) | Média Teor de umidade (%) | Desvio padrão |
|--------------------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|---------------|
| 100% Maravalha de Pinus        | 23,36                 | 21,31                | 9,58                      | 0,46          |
| Mar. Pinus + Casca de Amendoim | 21,25                 | 19,44                | 9,34                      | 0,29          |

Fonte: Autor

Observando os valores obtidos, nota-se uma certa semelhança em relação ao teor de umidade. Para o painel com 100% de maravalha de pinus foi obtido um valor de teor de umidade médio de 9,58%, enquanto que com o painel contendo casca de amendoim se obteve um valor de 9,34%, sendo valores muito próximos, não sendo possível confirmar com clareza que de fato existe uma alteração no valor referente a média do teor de umidade. A figura 18 mostra os valores bem como a distribuição dos mesmos.

Nota-se a semelhança nos dois tratamentos quando comparado os valores referentes à mediana, mas ao mesmo tempo percebe-se que os valores referentes ao painel com 100% maravalhas de Pinus são valores que oscilam bastante quando comparados ao painel contendo casca de amendoim.

Figura 18 – Comparativo teor de umidade entre tipos de painéis



Fonte: Autor

A fim de se determinar se tais valores apresentados podem ser confiáveis num nível de 95% de confiança, foi realizado inicialmente um teste a fim de se determinar se as médias diferem estatisticamente. Após verificar pelo teste de Shapiro-Wilk que ambas as distribuições seguem uma distribuição normal, foi realizado o t teste, no qual se determinou como hipótese nula que não existe diferença entre as médias, com uma hipótese alternativa de que a média do painel 100% de maravalha de Pinus é maior comparado ao painel com porcentagem de amendoim. Obteve-se um valor de p-value de 0,092804, indicando que de fato não se pode rejeitar a hipótese nula que as médias não diferem entre si, portanto, conclui-se que as duas médias desse ensaio são iguais.

## 4.2 Densidade

A seguir são apresentados os valores obtidos para o ensaio de densidade segundo as recomendações da NBR 14810-2 (2018). De acordo com a tabela 2 o painel 100% de maravalha de Pinus apresentou um valor médio de densidade de 710,4 Kg/m<sup>3</sup>, enquanto que o painel contendo casca de amendoim apresentou 648 Kg/m<sup>3</sup>. É possível perceber juntamente que nesse ensaio os valores obtidos pelos corpos de prova contendo casca de amendoim oscilaram bastante, enquanto que os valores do painel 100% de maravalha de Pinus são valores com menos variação (Figura 19b).

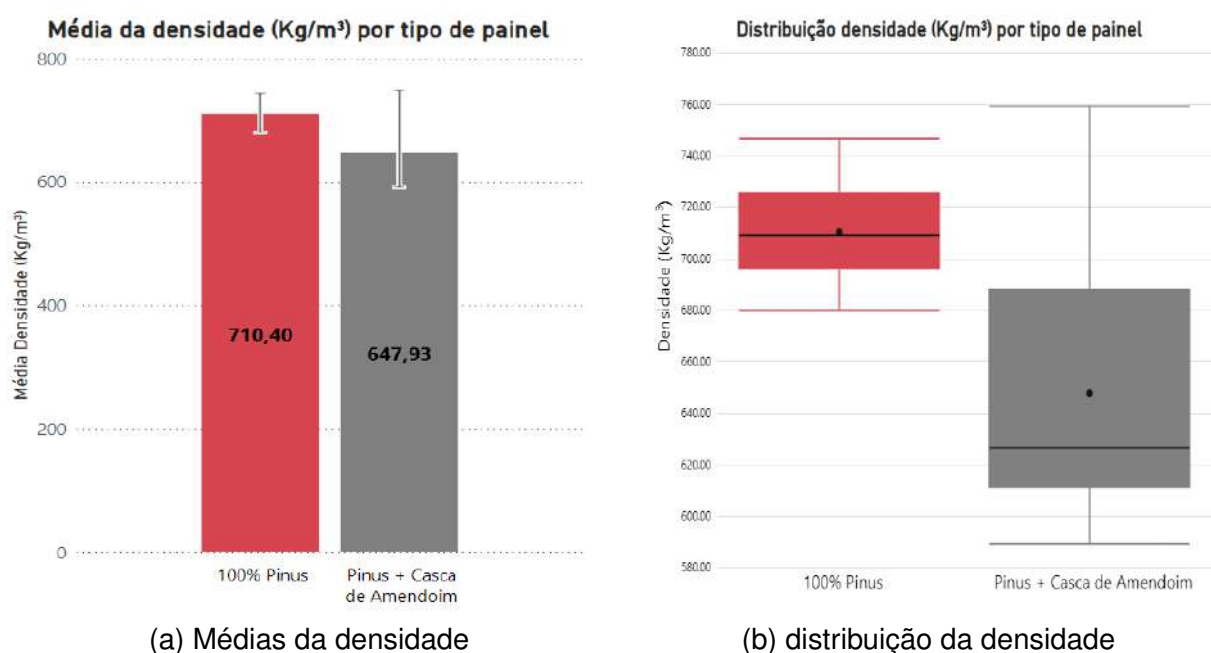
Tabela 2 – Valores referente a densidade

| Tipo de painel                         | Média Densidade (Kg/m <sup>3</sup> ) | Desvio padrão |
|----------------------------------------|--------------------------------------|---------------|
| 100% Maravalha de Pinus                | 710,40                               | 22,68         |
| Maravalha de Pinus + Casca de Amendoim | 647,93                               | 56,70         |

Fonte: Autor

Um dos requisitos da NBR 14810-2 (2018) referente à densidade é que o desvio em relação à média seja de  $\pm 7\%$ . Analisando os dois tratamentos percebe-se que o máximo valor do painel de maravalha de Pinus é de 13,4%, enquanto que contém casca de amendoim de 15,7%. Ambos os painéis não atendem a esse requisito normativo. A figura 19 mostra o comportamento dos valores obtidos.

Figura 19 – Comparativos da densidade entre tipos de painéis



Fonte: Autor

A fim de se determinar se os valores apresentados são representativos em um nível de confiança de 95%, foi realizado um teste de diferença de médias. Inicialmente foi constatado pelo teste de Shapiro- Wilk que ambas distribuições seguem a normalidade, foi então realizado o teste t, partindo da premissa como hipótese nula que ambas as médias não diferem entre si e como hipótese alternativa que o painel 100% pinus é mais denso que o contendo casca de amendoim, foi possível chegar em valor de p-value de 0,002295. Pode-se rejeitar a hipótese nula, e assumir que, de fato, o painel 100% de maravalha de Pinus é mais denso, algo que observando os dados é um resultado já esperado, apenas confirmado pelo teste estatístico em questão.

Brito *et al.* (2022) em seu estudo analisando as propriedades físico-mecânicas utilizando madeira de *Pinus Oocarpa* e variando a porcentagem de casca de amendoim e utilizando adesivo uréia-formaldeído, obtiveram um valor de densidade de 700 Kg/cm<sup>3</sup>, valor esse semelhante ao encontrado no trabalho.

### 4.3 Inchamento em espessura e Absorção de água após 24 horas

Os valores obtidos durante o ensaio de absorção de água e inchamento em espessura são apresentados pela tabela 3:

Tabela 3 – Valores referente a inchamento em espessura

| Tipo de painel                 | Média E1 (mm) | Média E2 (mm) | Média Inchamento (%) | Desvio padrão |
|--------------------------------|---------------|---------------|----------------------|---------------|
| 100% Maravalha de Pinus        | 12            | 18,65         | 55,47                | 2,45          |
| Mar. Pinus + Casca de Amendoim | 12            | 14,68         | 22,33                | 3,37          |

Fonte: Autor

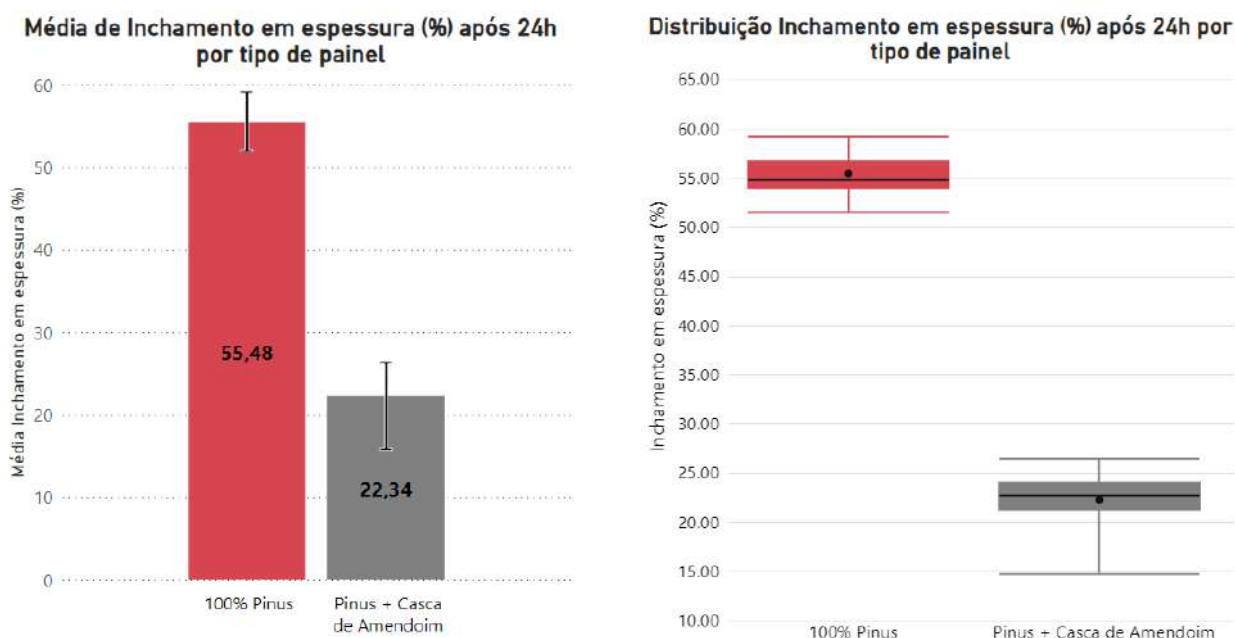
A Figura 20 demonstra o comparativo entre os valores médios de inchamento obtidos, bem como, a distribuição dos valores apresentados pelos corpos de prova.

Um dos requisitos que a NBR 14810-2 (2018) exige quando se trata de inchamento em espessura é de que ocorra no máximo, um inchamento de 22%. Observando os resultados obtidos, percebe-se que tais valores são excedentes a esse requisito, principalmente quando analisado o painel somente com maravalha de Pinus, podendo levar a indícios de erro durante a fabricação do mesmo. Observando o painel contendo casca de amendoim, percebe-se que o valor obtido foi muito próximo do requisito do documento normativo. Um dos possíveis motivos que pode ter levado ao painel contendo 100% de maravalha de Pinus apresentar valores elevados, pode ser que, durante



a realização da produção do painel não tenha ocorrido uma boa homogeneização das partículas junto do adesivo, tendo em vista que foi um trabalho manual.

Figura 20 – Comparativos entre inchamento em espessura após 24h nos tipos de painéis



(a) Comparação do inchamento médio

(b) distribuição do inchamento

Fonte: Autor

A fim de se realizar o teste estatístico para que fosse possível verificar se de fato as médias diferem ou não, inicialmente foi realizada a verificação da distribuição dos valores, a fim de se determinar se segue a distribuição normal. Verificando que ambas distribuições seguem a normal, então foi utilizado o teste paramétrico, o t-test.

Assumiu-se inicialmente a hipótese nula de que as médias não diferem entre si, e uma hipótese alternativa de que a média do painel 100% de maravalhas de Pinus é maior. Aplicando-se o teste chegou-se num valor de p-value de 8,94 e-16, valor muito abaixo de 0,05, portanto se rejeita a hipótese nula e assume-se que de fato o painel 100% de maravalhas de Pinus teve mais inchamento em espessura quando comparado ao painel contendo casca de amendoim.

Brito *et al.* (2022) em seu estudo analisaram as propriedades físico-mecânicas de um painel produzido com madeira de *Pinus Oocarpa* e variando a porcentagem de casca de amendoim e utilizando adesivo uréia-formaldeído, obtiveram como valor médio de inchamento uma porcentagem de 26,63%. Comparando com o valor obtido neste trabalho, percebe-se a obtenção de um valor próximo, mas ao mesmo tempo com propriedades melhores.

Referente ao ensaio de absorção de água obteve-se os seguintes resultados apresentados na tabela 4:

Tabela 4 – Valores referente a absorção após 24h

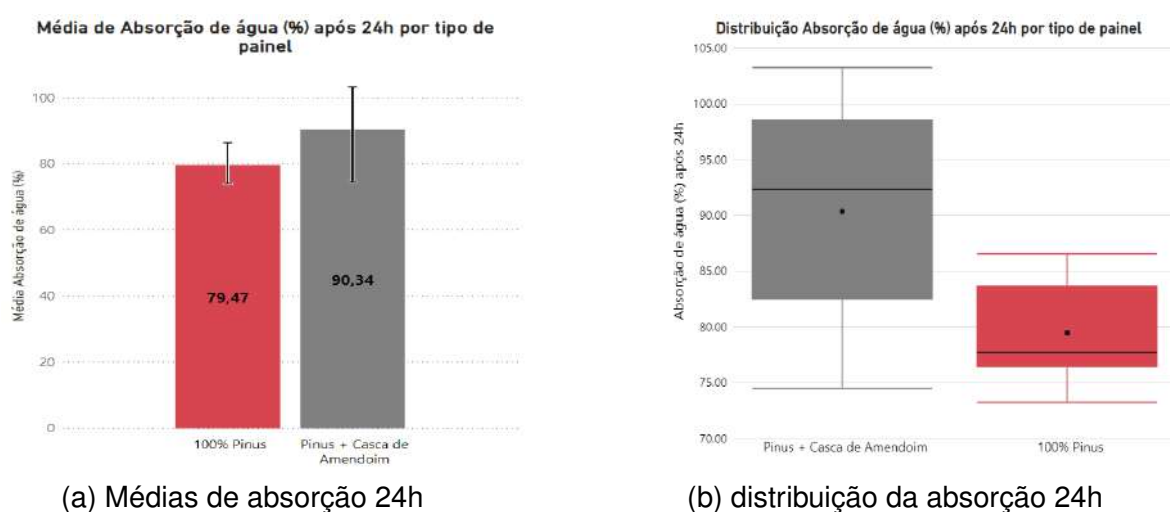
| Tipo de painel                 | Média Absorção (%) | Desvio padrão |
|--------------------------------|--------------------|---------------|
| 100% Maravalha de Pinus        | 79,47              | 4,56          |
| Mar. Pinus + Casca de Amendoim | 90,34              | 10,90         |

Fonte: Autor

Observando os valores obtidos referente à quantidade de água absorvida, nota-se que, para este estudo, o painel contendo casca de amendoim absorveu uma maior quantidade de água após 24 horas. Ao mesmo tempo, apresentou bastante variação quando comparado ao painel 100% maravalhas de Pinus, necessitando de um estudo estatístico a fim de se comprovar esse comportamento.

É interessante observar que o painel contendo casca de amendoim absorveu maior quantidade de água mas ao mesmo tempo quando analisado o estudo de inchamento em espessura ele apresentou valores menores quando comparado ao de 100% de maravalha de Pinus, possivelmente devido a estrutura apresentar uma maior quantidade de espaços vazios, quando comparado ao painel 100% maravalhas de Pinus. Observando os requisitos normativos da NBR 14810-2 (2018), percebe-se que a mesma não apresenta indicação de valores de absorção de água, somente quando analisado para inchamento em espessura. A Figura 21 mostra como os valores estão distribuídos:

Figura 21 – Comparativos absorção 24h entre tipos de painéis



Fonte: Autor

A fim de se confirmar se esses valores são significativos e que de fato seguem essa distribuição, foi realizado um teste estatístico. Inicialmente ficou constatado pelo teste de Shapiro-Wilk que ambas as distribuições seguem a normalidade. Aplicando o teste t para se verificar as diferenças entre as médias, partindo da hipótese nula que as duas médias são iguais e, como hipótese alternativa de que o painel contendo amendoim absorve mais água, chegou-se em um valor de p-value de 0,00467, valor esse abaixo de 0,05, podendo-se, portanto, negar a hipótese nula que as médias são iguais e aceitar a hipótese alternativa de que de fato o painel contendo casca de amendoim apresentou um maior valor de absorção de água.

Akgül e Tozluoğlu (2008) em seu estudo utilizando casca de amendoim junto da madeira de pinus com a finalidade de se fabricar painéis particulados, e verificar o efeito da variação da porcentagem nas propriedades físico- mecânicas dos painéis, obtiveram, para o ensaio de absorção de água, quando analisada a porcentagem de 40% de casca de amendoim, um valor de 68,7%, demonstrando ser um valor de absorção melhor quando comparado ao obtido nesse estudo.

Brito *et al.* (2022) durante um estudo analisando as propriedades físico-mecânicas, utilizando a madeira de *Pinus oocarpa* e variando a porcentagem de casca de amendoim utilizando adesivo uréia-formaldeído, obtiveram um valor referente a absorção de água após 24 horas de 83,7% quando se trata do painel contendo casca de amendoim e de 72% no painel contendo 100% de pinus, comparando os valores com os obtidos nesse trabalho, nota-se que são valores próximos.

## 4.4 Resistência à flexão estática

A seguir são apresentados os valores de MOR E MOE obtidos no ensaio de flexão estática. A NBR 14810-2 (2018) apresenta como requisitos os valores mínimos de 1600 MPa para o módulo de elasticidade e 11 MPa quando se trata de flexão estática. A tabela 5 apresenta os valores:

Tabela 5 – Valores referente de MOE e MOR obtidos no ensaio de flexão estática

| Tipo de painel                 | Média MOE (MPa) | Desvio padrão | Média MOR (MPa) | Desvio Padrão |
|--------------------------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|
| 100% Maravalha de Pinus        | 427             | 261,70        | 1,30            | 0,93          |
| Mar. Pinus + Casca de Amendoim | 732             | 346,50        | 4,60            | 2,47          |

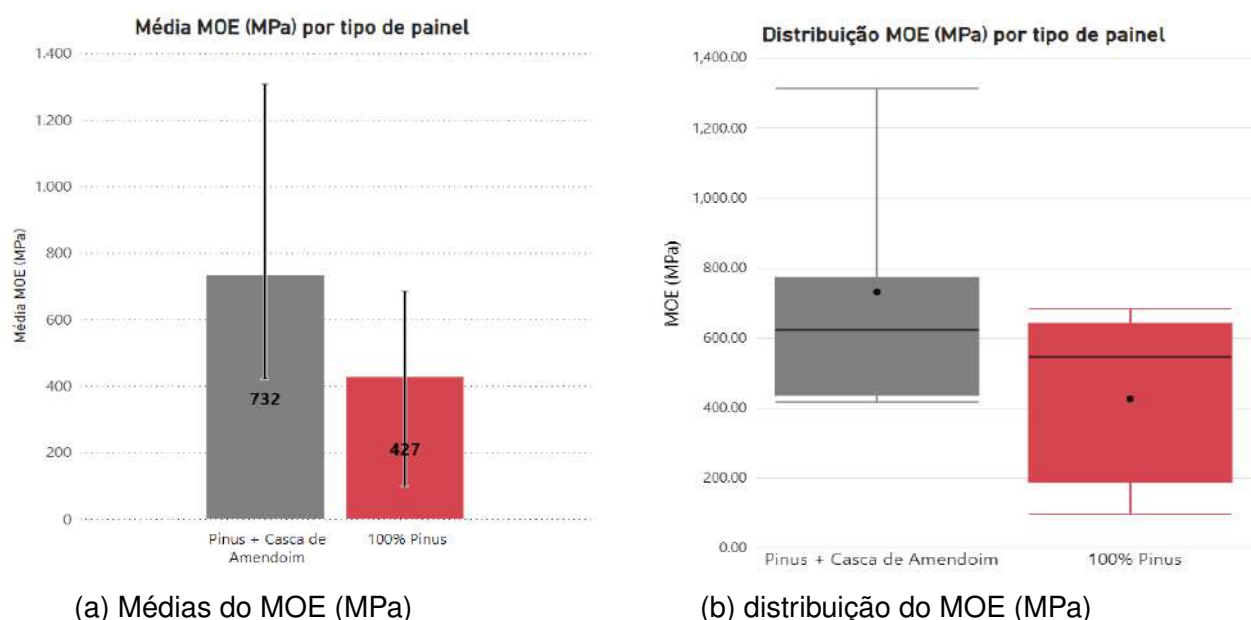
Fonte: Autor

Observando os valores apresentados percebe-se que eles são muito discrepantes considerando os valores mínimos indicados pela NBR 14810-2 (2018), passando a ter indícios de que aconteceram erros durante a fabricação dos painéis. Algo que pode

ter influenciado nos resultados é a absorção de água na fase de acondicionamento pré-ensaio, pois os corpos de prova inicialmente durante o corte apresentaram valores em torno de 11 a 12 mm de espessura, e após a fase de acondicionamento apresentaram valores próximos de 13 a 14 mm, dando a entender que os painéis fabricados de fato apresentam uma certa absorção de água considerável, e nesse caso a umidade poder vir a ter interferido nos ensaios de flexão estática.

Provavelmente, a utilização de maravalhas de Pinus pode ter influenciado negativamente nos resultados, visto que a espessura das maravalhas é menor do que das partículas de madeira que costumemente se utilizam para fabricar painéis a base de madeira. A figura 22 mostra os valores obtidos bem como a distribuição dos mesmos.

Figura 22 – Comparativos entre o MOE nos tipos de painéis



Fonte: Autor

Realizando um teste estatístico a fim de se verificar se de fato os valores obtidos são representativos em um nível de 95% de significância, foi realizado o t test a fim de se realizar a comparação entre as médias. Verificando inicialmente que ambas distribuições seguiram a distribuição Normal, e partindo da hipótese nula que as médias são iguais e como hipótese alternativa que a média dos painel contendo casca de amendoim é maior que a com somente maravalhas de pinus, chegou-se num valor de p-value de 0,08485, maior do que 0.05. Portanto, analisando esses dados, é possível ter argumento suficiente para se aceitar a hipótese nula as duas médias são equivalentes estatisticamente.

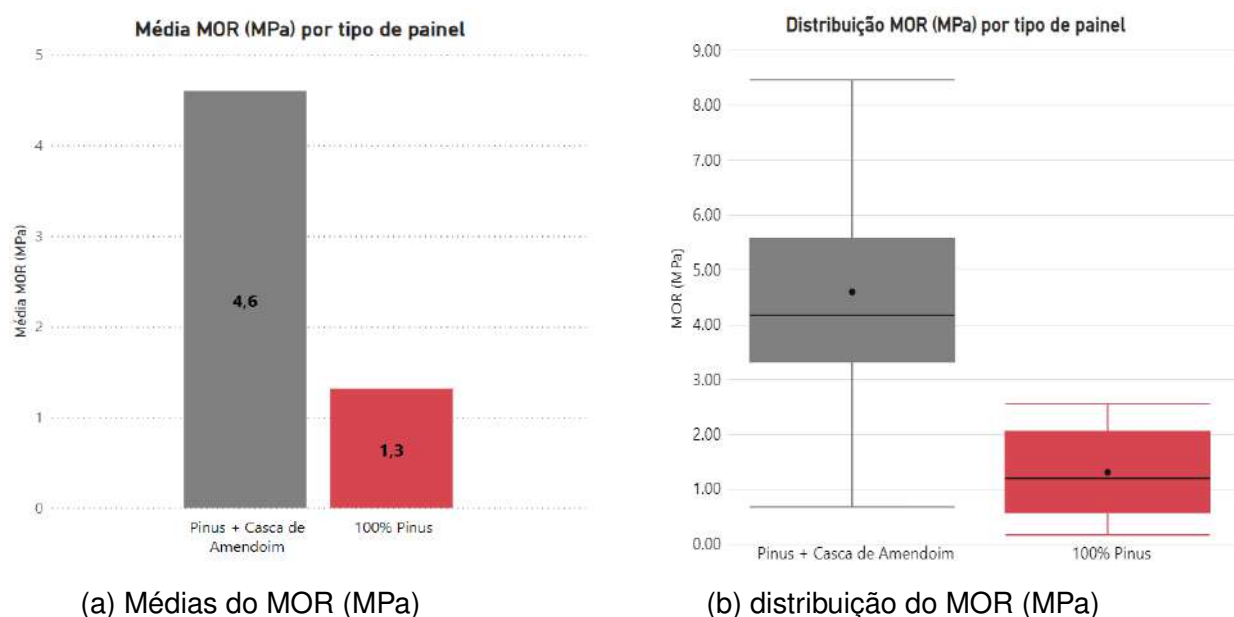
Brito *et al.* (2022) analisando as propriedades físico- mecânicas, utilizando a madeira de *Pinus Oocarpa* e variando a porcentagem de casca de amendoim utilizando o adesivo uréia-formaldeído, obtiveram um MOE médio referente ao painel de 100%

pinus de 1430,1 MPa, e referente ao contendo casca de amendoim, uma média de 971,22 MPa, valores esses diferentes dos obtidos no presente trabalho.

Silva *et al.* (2021), realizando um estudo em painéis utilizando resíduos de pinus para serem utilizados na construção civil, com 15% de resina poliuretana, obteve um valor médio de MOE de 1369 MPa, demonstrando que de fato o trabalho apresentou valores abaixo dos encontrados na literatura.

Analizando a resistência à flexão estática (MOR), é notável que o painel contendo amendoim apresentou valores superiores quando comparado ao painel contendo somente maravalhas de Pinus, embora ambos não sejam valores aceitáveis pelo documento normativo. Observa-se na Figura 23 a grande variação referente ao painel contendo casca de amendoim, evidenciando grande variabilidade de valores ao redor do painel, enquanto que com o de somente maravalha de Pinus, são valores mais centralizados.

Figura 23 – Comparativos entre o MOR (MPa) nos tipos de painéis



Fonte: Autor

Foi feito um teste de hipótese com nível de significância de 95%, no qual verificou-se que ambas as distribuições se enquadram na distribuição normal, podendo então nesse caso utilizar o t test, partindo da hipótese nula de que ambas as médias são iguais e como hipótese alternativa de que de fato o painel contendo casca de amendoim contém valores referentes a MOR superiores. Realizando os testes chegou-se num valor de p-value de 0,001133, apresentando portanto, indícios de que se pode rejeitar a hipótese nula de que ambas as distribuições são iguais e pode-se assumir que, de fato, a média de MOR do painel contendo casca de amendoim é superior.

Akgül e Tozluoğlu (2008) durante o seu estudo de fabricação de painéis utilizando casca de amendoim e pinus, para se verificar o efeito da variação da porcentagem de casca de amendoim nas propriedades do painel, obtiveram, para a porcentagem de 40% de casca de amendoim, um valor de 18,94 MPa, podendo notar a discrepância quando comparado ao obtido nesse trabalho, de 4,60 MPa.

Guler, Copur e Tascioglu (2008) num estudo analisando o efeito da variação da casca de amendoim sobre um painel particulado utilizando lascas de pinho negro europeu, obtiveram um valor médio referente ao MOR de 11,32 MPa, notando que tal valor também é discrepante quando comparado ao valor obtido neste trabalho.

Brito *et al.* (2022) durante um estudo analisando as propriedades físico-mecânicas, utilizando a madeira de *Pinus oocarpa* e variando a porcentagem de casca de amendoim, utilizando adesivo uréia-formaldeído, obtiveram um valor de MOR de 6,71 MPa quando analisado o painel contendo pinus e casca de amendoim, e um valor de 9,44 MPa referente ao painel contendo somente pinus, valores esses discrepantes dos obtidos neste trabalho.

## 5 Conclusão

A partir da realização do trabalho e posterior análise dos resultados obtidos foi possível chegar às seguintes conclusões:

- O Compósito contendo casca de amendoim apresentou propriedades interessantes quanto às suas propriedades físicas, principalmente quando analisado o inchamento em espessura. que atendeu ao valor indicado pelo documento normativo considerado.
- Sob as condições adotadas do trabalho o painel contendo casca de amendoim apresentou valores referentes a MOR e MOE muito baixos, indicando possíveis utilizações somente em ambientes nos quais não serão submetidos a cargas de força consideradas altas, e que provavelmente esse resultado se deu pela utilização de maravalhas no lugar de partículas de Pinus
- Analisando os valores referente a densidade, nota-se que o painel contendo casca de amendoim é menos denso quando comparado ao de de somente maravalhas de Pinus.
- De um modo geral a utilização da casca de amendoim juntamente com maravalhas de pinus, a fim de se obter um compósito que apresente características que sejam aplicáveis à indústria se mostrou promissora, necessitando de mais estudos.

Como sugestão para possíveis trabalhos futuros que abordem o mesmo tema, tem-se:

- Realização de outros ensaios a fim de se determinar melhor as propriedades desse tipo de painel, tais como degradação, conforto termo-acústico, de adesão interna, e de arrancamento de parafusos, podendo-se assim, determinar possíveis aplicações para esse painel.
- Realizar um estudo no qual ocorra a variação da proporção de casca de amendoim de maneira gradual, por exemplo partindo de 10% até uma determinada porcentagem, podendo assim verificar o real efeito da adição de casca de amendoim.
- Alterar variáveis do processo, como pressão, temperatura, porcentagem de adesivo, granulometria das partículas, a fim de se verificar se tal resultado obtido nesse trabalho é recorrente somente dessas condições.

- Realização a produção dos compósitos utilizando partículas de Pinus no lugar de maravalhas, para que seja possível obter um melhor entendimento das propriedades físico-mecânicas dos compósitos.



## Referências

AKGÜL, Mehmet; TOZLUOĞLU, Ayhan. Utilizing peanut husk (*arachis hypogaea* L.) in the manufacture of medium-density fiberboards. **Bioresource Technology**, [S.l.], v. 99, n. 13, p. 5590–5594, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852407008942?via%3Dihub>. Acesso em: 25 set. 2023. Citado 2 vezes nas páginas 42 e 45.

ALVES, Ana Gabriela Tomé. **Investigação de hemicelulose catiônica-sintetizada a partir do resíduo agroindustrial casca de amendoim-como coagulante natural no tratamento de efluente industrial de laticínio**. 2022. 82 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) — Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/36126>. Acesso em: 01 set. 2023. Citado na página 9.

AMADO, João Lucas Martins; REIS, Maria Eugenia de Paula dos. **Análise do comportamento mecânico de compósito reforçado com fibra de piaçava**. 2019. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) — Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2019. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/16071>. Acesso em: 22 fev. 2023. Citado na página 19.

ARANHA, Caroline Pereira Moura. **Caracterização dos óleos extraídos de sementes de laranjas (*Citrus sinensis*) como aproveitamento de resíduos agroindustriais**. 2011. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) — Universidade Estadual Paulista (Unesp), São José do Rio Preto, 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/88370>. Acesso em: 25 out. 2023. Citado na página 12.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-2**: Painéis de partículas de média densidade parte 2: Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. 83 p. Citado 8 vezes nas páginas 25, 26, 29, 36, 38, 39, 41 e 42.

BARBIRATO, Guilherme *et al.* Paineis aglomerados híbridos de casca de amendoim reforçados com partículas de madeira itaúba. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 685–697, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/6652>. Acesso em: 02 març. 2023. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 27.

BRITO, Flávia Maria Silva *et al.* Technological properties of medium density particleboards produced with peanut (*arachis hypogaea*) and pinus oocarpa hulls. **Floresta e Ambiente**, [S.L.], v. 29, n. 2, p. 1–8, 2022. Disponível em: <https://www.floram.org/journal/floram/article/doi/10.1590/2179-8087-FLORAM-2021-0101>. Acesso em: 17 jun. 2023. Citado 5 vezes nas páginas 39, 40, 42, 43 e 45.

BURKOT, Claudio Roberto; AHRENS, Rudy de Barros. Avaliação de aproveitamento dos resíduos agrícolas para a produção de briquetes ecológicos. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa-Paraná, v. 9, n. 2, p. 1860–1874, 2015. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbta/article/view/1732>. Acesso em: 09 abr. 2023. Citado na página 11.

BUZO, Ana Laura Soler Cunha *et al.* Painéis de pínus e bagaço de cana empregando-se dois adesivos para uso na construção civil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 19, n. 4, p. 183–193, 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/213097>. Acesso em: 06 set. 2023. Citado na página 26.

CAETANO, Juliana Argente. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos produzidos a partir da reciclagem dos resíduos de café para uso na construção civil**. 2021. 139 f. Tese (Doutorado em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento) — Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.18.2021.tde-03092021-165011>. Acesso em: 13 ago. 2023. Citado na página 12.

CARASCHI, José C; LEÃO, Alcides L; CHAMMA, Paula VC. Avaliação de painéis produzidos a partir de resíduos sólidos para aplicação na arquitetura. **Polímeros**, São Carlos, v. 19, n. 1, p. 47–53, 2009. Disponível em: <https://www.revistapolimeros.org.br/journal/polimeros/article/doi/10.1590/S0104-14282009000100012>. Acesso em: 24 ago.2023. Citado na página 12.

CAVALCANTI, Washington Moreira. **Produção e caracterização de painéis compósitos constituídos de resíduos lignocelulósicos e misturas de resinas epóxi sintética e de óleo vegetal residual epoxidado**. 2022. 172 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) — Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/52457>. Acesso em: 09 set. 2023. Citado na página 16.

CEREGATTI, Geovanna. **Valorização de resíduos agroindustriais na forma de produtos com alto valor nutricional**. 2022. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Alimentos) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/245784>. Acesso em: 02 set. 2023. Citado na página 9.

CHAMMA, Paula Valéria Coiado. **Produção de painéis a partir de resíduos sólidos para uso como elemento arquitetônico**. 2004. 138 f. Tese (Doutorado em Agronomia) — Universidade Estadual Paulista (Unesp), Botucatu, 2004. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/101771>. Acesso em: 03 abr. 2023. Citado na página 14.

CORDEIRO, Noéle Khristinne *et al.* Gestão de resíduos agrícolas como forma de redução dos impactos ambientais. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 14, n. 2, p. 23–34, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.18316/rca.v14i2.5593>. Acesso em: 17 ago.2023. Citado na página 11.

COSTA, Kívia Caroline da. **Demanda hídrica do amendoim cultivado no Agreste alagoano**. 2023. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) — Universidade Federal de Alagoas, Campus Arapiraca, Arapiraca, 2023. Disponível em: <https://ud10.arapiraca.ufal.br/repositorio/publicacoes/4609>. Acesso em: 07 set. 2023. Citado na página 13.

DALPIAN, Aline Schneiders Martins. **Redução e novos usos do resíduo sólido mineral e vegetal do amendoim: um estudo de caso com propostas de melhorias**. 2020. 134 f. Dissertação (Mestrado em Administração) — Universidade Estadual Paulista (Unesp), Jaboticabal, 2020. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/193522>. Acesso em: 20 out. 2023. Citado na página 13.

DEPIERI, Heitor Augusto. **Gestão das inovações tecnológicas na agroindústria do amendoim do estado de São Paulo**. 2019. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) — Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/11453>. Acesso em: 18 jul. 2023. Citado na página 12.

FREITAS, Raissa Aguiar de. **Adsorção dos fármacos paracetamol e propranolol utilizando casca de amendoim como adsorvente**. 2022. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) — Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/47856>. Acesso em: 01 out. 2023. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 15.

GATANI, Mariana Pilar *et al.* Viabilidade técnica de produção e propriedades de painéis de partículas de casca de amendoim. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 1286–1293, 2013. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002416962>. Acesso em: 07 mai. 2023. Citado na página 19.

GIACOMINI, Nestor Pedro. **Compósitos reforçados com fibras naturais para a indústria automobilística**. 2003. 168 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais) — Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.88.2017.tde-11072017-165013>. Acesso em: 23 mai. 2023. Citado na página 22.

GILIO, Caroline Graminha. **Avaliação de painéis de partículas homogêneas empregando-se madeira de hevea brasiliensis e tectona grandis, aglutinadas com adesivo poliuretano derivado de óleo de mamona**. 2020. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Estadual Paulista (Unesp), Ilha Solteira, 2020. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/192279>. Acesso em: 25 mai. 2023. Citado na página 25.

GONÇALVES, Jorge Antônio Vieira. **Compósitos à base de resina epóxi reforçados com fibra de coco**. 2010. 51 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais) — Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2010. Disponível em: <https://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/3485>. Acesso em: 27 jun. 2023. Citado na página 18.

GUIMARÃES, Íngrid Luz. **Aproveitamento de resíduo de soja para produção de painéis MDP (Medium Density Particleboard)**. 2017. 40 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal) — Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2017. Disponível em: <http://bdtd.ufj.edu.br:8080/handle/tede/7520>. Acesso em: 11 abr. 2023. Citado na página 11.

GULER, Cengiz; COPUR, Yalcin; TASCIOGLU, Cihat. The manufacture of particleboards using mixture of peanut hull (*arachis hypoqaea* L.) and european black pine (*pinus nigra arnold*) wood chips. **Bioresource Technology**, [S.L.], v. 99, n. 8, p. 2893–2897, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.06.013>. Acesso em: 27 out. 2023. Citado na página 45.

HERRADON, Marjorie Perosso. **Resíduos de movelaria com polietileno tereftalato para produção de painéis aglomerados aglutinados com poliuretano derivado de mamona**. 2023. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Estadual Paulista (Unesp), Ilha Solteira, 2023. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/244814>. Acesso em: 09 mai. 2023. Citado na página 21.

LEITE, Olívia Lopes. **Determinação das propriedades mecânicas de compósitos de matriz epóxi reforçados com fibras de caranã**. 2022. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Materiais) — Universidade Federal do Pará, Ananindeua, 2022. Disponível em: <https://bdm.ufpa.br/jspui/handle/prefix/4820>. Acesso em: 21 mai. 2023. Citado na página 20.

MARGEM, Jean Igor. **Estudo das características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de malva**. 2013. 139 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) — Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2013. Disponível em: [https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id\\_trabalho=104629](https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=104629). Acesso em: 21 mar. 2023. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 23.

MARTINEZ, Caetano Belda. **Estudo da influência do ciclo de cura nas propriedades mecânicas de compósitos fabricados pelo processo de infusão de resina**. 2011. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) — Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.18.2011.tde-10072011-130721>. Acesso em: 07 ago. 2023. Citado na página 23.

MELO, Jessyka Meierjurgem. **Caracterização de compósito produzido com diferentes frações de pó de madeira e polietileno de alta densidade**. 2015. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) — Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2015. Disponível em: <http://dspace.mackenzie.br/handle/10899/24191>. Acesso em: 19 jul. 2023. Citado na página 21.

MOREIRA, Anabela Mendes. **Materiais compósitos**. Portugal: Instituto Politénico de Tomar, 2009. Disponível em: [http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/2932\\_Compositos\\_MC1.pdf](http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/2932_Compositos_MC1.pdf). Acesso em: 03 mar. 2023. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 18.

NASSER, Sílvia Marana. **Painéis de partículas de bambu e casca de amendoim com adesivo à base de mamona**. 2016. 188 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) — Universidade Estadual Paulista (Unesp), Bauru, 2016. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/146708>. Acesso em: 24 jul. 2023. Citado na página 12.

NASSER, Sílvia Marana. **Painéis com partículas de madeira da espécie teca e casca de amendoim com adesivo à base de mamona**. 2019. 240 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) — Universidade Estadual Paulista (Unesp), Bauru, 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/183621>. Acesso em: 24 ago. 2023. Citado na página 25.

NOGUEIRA, Izaura Maria dos Santos; LAHR, Francisco Antônio Rocco; GIACON, Virginia Mansanares. 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**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 1, p. 1–11, 2018. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/rm/article/view/19490>. Acesso em: 11 set. 2023. Citado na página 25.

OLIVEIRA, Rafael Grazeke de *et al.* Modelagem geoestatística do volume comercial e sortimentos em povoamentos de pinus taeda l. **Advances in Forestry Science**, Cuiabá,



v. 10, n. 2, p. 2031–2041, 2023. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/afor/article/view/13499>. Acesso em: 16 ago.2023. Citado na página 21.

PAULA, Edgley Alves de Oliveira. **Uso da bucha vegetal (*Luffa cylindrica*) como reforço em compósitos com resina de poliéster**. 2022. 2022, 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) — Universidade Federal Rural do Semi-Árido-Centro de Ciências Exatas e Naturais-CCEN, Mossoró, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/8817>. Acesso em: 16 ago. 2023. Citado na página 23.

RAZERA, Ilce Aiko Tanaka. **Fibras lignocelulósicas como agente de reforço de compósitos de matriz fenólica e lignofenólica**. 2006. 189 f. Tese (Doutorado em Ciências (Físico-Química)) — Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.75.2006.tde-25102007-105313>. Acesso em: 01 jun. 2023. Citado na página 16.

RODRIGUES, Jean da Silva. **Comportamento mecânico de material compósito de matriz poliéster reforçado por sistema híbrido fibras naturais e resíduos da indústria madeireira**. 2008. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) — Universidade Federal do Pará, Belém, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/5091>. Acesso em: 07 out. 2023. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.

ROSÁRIO, Francisco *et al.* Resíduos de sisal como reforço em compósitos de polipropileno virgem e reciclado. **Polímeros**, São Carlos, v. 21, p. 90–97, 2011. Disponível em: <https://revistapolimeros.org.br/doi/10.1590/S0104-14282011005000021>. Acesso em: 18 abr.2023. Citado na página 18.

SAMPAIO, Michel Serra. **Obtenção e caracterização de compósitos de polietileno com fibras naturais**. 2019. 76 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11422/12555>. Acesso em: 21 out. 2023. Citado na página 22.

SANTOS, Adriana Pereira dos. **Estudo do comportamento mecânico do composto de matriz polimérica reforçado com serragem**. 2009. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Curso de Engenharia de Materiais) — Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Marabá, Faculdade de Engenharia de Materiais, Marabá, 2009. Disponível em: <http://repositorio.unifesspa.edu.br/handle/123456789/305>. Acesso em: 26 mai. 2023. Citado na página 17.

SANTOS, Breno Bessa. **Estudo da influência do tipo de processo de fabricação de laminados de compósito nas propriedades mecânicas**. 2017. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Metalúrgica) — Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/29257>. Acesso em: 15 out. 2023. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.

SARTORI, Diogo de Lucca. **Painel modular de chapas de partículas de bagaço de cana para fechamento lateral de instalação para bovinos**. 2015. 87 f. Tese (Doutorado em Ciências) — Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.74.2016.tde-03022016-103404>. Acesso em: 06 out. 2023. Citado na página 25.

SEIBEL, Rodrigo Konzen. **Desenvolvimento de compósito de serragem de eucalíptos e pó de borracha utilizando matriz de poliuretano à base de mamona**. 2019. 97 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Engenharia de Materiais) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Feliz, 2019. Disponível em: <https://dspace.ifrs.edu.br/xmlui/handle/123456789/238>. Acesso em: 02 set. 2023. Citado na página 21.

SHIROSAKI, Rodrigo Kiyoshi *et al.* Caracterização de painéis de partículas de média densidade feitos com resina poliuretana monocomponente à base de mamona. **Ambiente Construído**, [S.L.], v. 19, p. 37–43, 2019. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/71875>. Acesso em: 10 mai.2023. Citado na página 25.

SILVA, Aretusa Campêlo. **Caracterização e análise da viabilidade da produção de compósitos à base de resina poliéster e diferentes particulados**. 2022. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) — Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/50581>. Acesso em: 01 mai. 2023. Citado 3 vezes nas páginas 15, 16 e 17.

SILVA, Diogo Nuno Sousa Diogo da. **Estudo e Caracterização Mecânica de Compósitos de Matriz Polimérica Reforçado com Fibras de Eucalipto**. 2017. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) — Universidade do Porto, Porto, 2017. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10216/107024>. Acesso em: 11 jul. 2023. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.

SILVA, Isabela Magalhães O da. **Estudo de resíduos agroindustriais para utilização como substituto de um modificador de rede vítrea**. 2020. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Materiais) — Faculdade de Tecnologia de São Paulo, São Paulo, 2020. Disponível em: <https://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/4974>. Acesso em: 20 abr. 2023. Citado na página 15.

SILVA, Vitor Uemura *et al.* Circular vs. linear economy of building materials: A case study for particleboards made of recycled wood and biopolymer vs. conventional particleboards. **Construction and Building Materials**, [S.L.], v. 285, p. 122906–122922, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122906>. Acesso em: 12 out.2023. Citado na página 44.

SILVA, Vitor Uemura da. **Viabilidade técnica do reaproveitamento da maravalha de forma integral na produção de painéis de partículas**. 2019. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) — Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.18.2019.tde-08082019-125915>. Acesso em: 03 set. 2023. Citado na página 21.

SORITA, Guilherme Dallarmi. **Biorrefino do subproduto do processamento do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) para a recuperação de compostos de alto valor agregado**. 2021. 188 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/227199>. Acesso em: 14 set. 2023. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 15.

SOUZA, Daniel Ramos de *et al.* Utilização de resíduos agrícolas e florestais em biocompósitos à base de cimento portland para fabricação de painéis de concreto para construção de uma praça. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, Teófilo Otoni, MG, v. 3, n. 1, p. 1–12, 2022. Disponível em: <https://revista.unipacto.com.br/index.php/multidisciplinar/article/view/931>. Acesso em: 13 jul.2023. Citado na página 12.

SOUZA, Marcelo Augusto Rodrigues de. **Estudo sobre o impacto da pandemia de Covid-19 na produção e exportação de amendoim no Brasil**. 2023. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Relações Internacionais) — Universidade Estadual Paulista (Unesp), Marília, 2023. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/242705>. Acesso em: 13 mar. 2023. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 14.

TIRLONI, Georgio Enrico. **Caracterização e desenvolvimento de um compósito de polietileno verde reforçado com resíduo têxtil**. 2019. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) — Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/21045>. Acesso em: 18 abr. 2023. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 18.

TOMAR, Sara de Melo. **Comportamento mecânico de materiais compósitos de origem natural**. 2018. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) — Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.21/9679>. Acesso em: 27 out. 2023. Citado na página 24.

VIVIAN, Magnos Alan *et al.* Avaliação do potencial da madeira de pinus greggii para produção de polpa celulósica. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 21, n. 1, p. 56–65, 2022. Disponível em: <https://www.revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/20687>. Acesso em: 16 ago.2023. Citado na página 21.

WILCZAK, Luana. **Avaliação do comportamento mecânico do adesivo poliuretano derivado de óleo de mamona utilizado na produção de painéis compensados**. 2014. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção Civil) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/8421>. Acesso em: 21 set. 2023. Citado na página 24.