**UNIVERSIDADE DE SOROCABA**

**PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO E ASSUNTOS ESTUDANTIS CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL**

**Henrique de Freitas**

**Kelvin José Meireles**

**Vinícius Ferreira Casagrande Ferraz**

# ECONOMIA CIRCULAR NA INDÚSTRIA DE PLÁSTICO

UTILIZAÇÃO DE FIBRA NATURAL EM TERMOPLÁSTICO

SOROCABA-SP

2022

**Henrique de Freitas**

**Kelvin José Meireles**

**Vinícius Ferreira Casagrande Ferraz**

# ECONOMIA CIRCULAR NA INDUSTRIA DE PLÁSTICO

UTILIZAÇÃO DE FIBRA NATURAL EM TERMOPLÁSTICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do Diploma de Graduação em Química Industrial, da Universidade de Sorocaba.

Orientadora: Dra. Ana Carolina de Oliveira Plens

**Sorocaba/SP**

**2022**

Dedicamos este trabalho, a professora Ana Carolina de Oliveira Plens, por todo apoio dado durante os anos do curso, incentivando e contribuindo para a nossa formação.

"Insanidade é continuar fazendo sempre a mesma coisa e esperar resultados diferentes."

Albert Einstein

# RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo inserir a farinha de madeira, que é uma fibra natural no polipropileno, que é um termoplástico, visando obter um compósito que venha a possuir boas propriedades mecânicas, térmicas, e a diminuição de resíduos. Utilizando da extrusora com a finalidade de ter alta homogeneidade da fibra natural (farinha de madeira) e polipropileno para se obter o compósito termoplástico. E por fim realizado os testes mecânicos e térmicos no polipropileno com farinha de madeira e no polipropileno puro para comparar as suas propriedades.



**Palavras-chave:** Polipropileno, fibra natural, farinha de madeira, compósito**.**

## ABSTRACT

The present work aims to insert wood flour, which is a natural fiber in polypropylene, which is a thermoplastic, aiming to obtain a composite that will have good mechanical, thermal properties, and the reduction of residues. Using the extruder in order to have high homogeneity of natural fiber (wood flour) and polypropylene to obtain thermoplastic composite. And finally, the mechanical and thermal tests were carried out on polypropylene with wood flour and pure polypropylene to compare its properties.



**Keywords:** Polypropylene, natural fiber, wood flour, composite.

# LISTA DE FIGURAS

**Figura 1 :** Esquema de economia circular 16
**Figura 2 :** Microestrutura de polímeros 18
**Figura 3 :** Ligações na estrutura do Termoplástico 19
**Figura 4 :** Estrutura molecular do Polipropileno (PP) 21
**Figura 5 :** Estrutura da Celulose 21
**Figura 6 :** Rosca helicoidal 23
**Figura 7 :** Dupla rosca paralela 23
**Figura 8 :** Ensaio de flexão 25
**Figura 9 :** Ensaio de tração 25
**Figura 10 :** Ensaio de Impacto 26
**Figura 11 :** Maquinário de ensaio de IF 27
**Figura 12 :** Mistura de PP com a farinha de madeira que vai na extrusora 29
**Figura 13 :** Extrusora co-rotante de laboratório 29
**Figura 14 :** Polipropilenos usados após a extrusão 30
**Figura 15 :** Ilustração das regiões indicadas na tabela 32
**Figura 16 :** Realização do ensaio de tração 33
**Figura 17 :** Realização do ensaio de flexão. 34
**Figura 18 :** Realização do ensaio de HDT vicat 36

# LISTA DE TABELAS

**Tabela 1:** Composições dos compósitos estudados. 31

**Tabela 2:** A velocidade de mistura, temperaturas nas zonas de aquecimento e o tempo de mistura 32

**Tabela 3:** Dimensões dos corpos de prova para os ensaios de Flexão, Resistência ao impacto, Densidade, VICAT e HDT. 33

**Tabela 4**: Deflexão padrão. 37

**Tabela 5:** Tabela com os resultados da granulometria da farinha de madeira 39

**Tabela 6:** Dimensões corpos de prova (tração) 40

**Tabela 7:** Resultados médios e desvios padrões dos ensaios (Tração) 40

**Tabela 8:** Dimensões dos corpos de prova (flexão) 42

**Tabela 9:** Resultados médios e desvios padrões dos ensaios de (Flexão) 43

**Tabela 10:** Dimensões do corpo de prova do ensaio HDT 45

**Tabela 11:** Resultados médios e desvios padrões dos ensaios térmicos 45

# LISTA DE GRÁFICOS

**Gráfico 1:** Composição 38
**Gráfico 2:** Curva granulométrica. 39
**Gráfico 3:** Ensaio de Tração 41
**Gráfico 4:** Alongamento 42
**Gráfico 5:** Ensaio Flexão 44
**Gráfico 6:** Módulo de elasticidade 44
**Gráfico 7:** Temperatura máxima de distorção 46
**Gráfico 8:** Vicat 46

# LISTA DE ABREVIATURAS

**CNI -** Confederação Nacional da Indústria.

**IBRE -** Instituto Brasileiro de Economia.

**FGV -** Fundação Getúlio Vargas.

**PVC -** Poli(cloreto de vinila)

**PP -** Polipropileno

**IF -** Índice de Fluidez

**HDT -** Heat Deflection Temperature

**VICAT -** Temperatura de Amolecimento

# SUMÁRIO


1. INTRODUÇÃO ..... 13
2. OBJETIVO ..... 14
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS ..... 14
2.2 JUSTIFICATIVA ..... 14
3. REFERENCIAL TEÓRICO ..... 15
3.1 ECONOMIA CIRCULAR ..... 16
3.2 POLÍMEROS ..... 17
3.2.2 POLÍMERO VERDE ..... 20
3.3 POLIPROPILENO (PP) ..... 20
3.4 FIBRAS NATURAIS ..... 21
3.5 COMPÓSITOS ..... 22
3.5.1 FIBRAS VEGETAIS COMO COMPÓSITOS ..... 22
3.6 EXTRUSORAS ..... 23
3.6.1 EXTRUSORA DE DUPLA ROSCA ..... 23
3.7 PROPRIEDADE MECÂNICA ..... 24
3.7.1 ENSAIO DE FLEXÃO ..... 25
3.7.2 ENSAIO DE TRAÇÃO ..... 25
3.7.3 ENSAIO DE CHARPY ..... 26
3.8 PROPRIEDADE TÉRMICA ..... 27
4. METODOLOGIA ..... 28
4.1 FORMULAÇÃO E PROCESSAMENTO ..... 28
4.1.1 EXTRUSÃO DOS COMPÓSITOS ..... 28
4.1.2 MOLDAGEM POR COMPRESSÃO: PLACA ..... 31
4.1.3 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA ..... 31
4.1.4 ENSAIOS DE TRAÇÃO ..... 32
4.1.5 ENSAIO DE FLEXÃO ..... 34
4.1.6 ENSAIOS DE TEMPERATURA DE AMOLECIMENTO (VICAT) E DE TEMPERATURA DE DEFLEXÃO TÉRMICA (HDT) ..... 36
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO ..... 38
5.1. ENSAIOS DE TRAÇÃO E FLEXÃO ..... 40
5.1.1. ENSAIO DE TRAÇÃO ..... 40
5.1.2. ENSAIO DE FLEXÃO ..... 43

**5.2 ENSAIOS TÉRMICOS ..... 45**
**6. CONCLUSÃO ..... 48**

## 1. INTRODUÇÃO

Visando menor impacto ambiental e maiores lucros a utilização de resíduos com geração de valor cresce constantemente impulsionada pela necessidade de destinação correta dos mesmos.

Resíduo sólido é material, substância, objeto ou bem descartado, resultante de atividades humanas em sociedade. Todo material sólido descartado após atividade humana deve ter uma destinação adequada como a reutilização, que é o aproveitamento sem que ocorram modificações em sua natureza, e a reciclagem, que é o aproveitamento alterando propriedades do material. (IBAMA, 2016).

O conceito de surgiu na Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento onde visa trazer uma boa relação entre o desenvolvimento econômico e a preservação ambiental (TORRESI, 2010).

A ideia de sustentabilidade é trazer o benefício para o agora, sem que acarrete algo que possa prejudicar o futuro. Porém essa sustentabilidade deve vir primeiramente de uma política de desenvolvimento de um país, ou seja, abordada como um dos principais elementos para o desenvolvimento de tecnologias e processos no país (GAMBARINI, 2022).

A Economia Circular é um modelo empresarial que permite repensar as práticas econômicas da sociedade atual se baseia no funcionamento da própria Natureza. Estabelecendo-se como um método de desenvolvimento sustentável baseado no princípio de “fechar o ciclo de vida” dos produtos.

A transição para esse método de gestão empresarial, que visa criar soluções sustentáveis para seus produtos, necessita de modelos híbridos que somem múltiplos aspectos tendo início com a gestão de recursos. Um exemplo atual relevante sobre a escassez e baixa reciclagem e/ou recuperação de recursos, seria a cadeia de valor das embalagens plásticas na economia de plásticos, que representa 26% do volume total. Este é um exemplo icônico de uma economia linear que utiliza 98% de matéria-prima finita enquanto recicla apenas 5% do valor do material de embalagem plástica (KAUR, 2018).

No Brasil existe uma política fiscal, que não gera incentivos para as indústrias reintroduzirem essas matérias-primas no seu ciclo. Em alguns casos, a tributação do reciclado é maior do que a equivalente em matéria-prima, tendo origem da dupla

tributação de mercadorias produzidas com itens reutilizados. O pioneiro foi estado do Ceará, que veio a reduzir o imposto sobre o ICMS de 17 para 7% para o setor de reciclagem (CNI, 2013; REBEHY *et a*l., 2019).

## 2. OBJETIVO

Introduzir fibras naturais em plásticos como matriz o polipropileno para a formação de um compósito, a fim de reduzir o consumo de matérias primas não renováveis e impactos ambientais.

### 2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Testar as propriedades mecânicas e térmicas do termoplástico com a inserção da fibra natural, comparado ao polipropileno virgem.

### 2.2 JUSTIFICATIVA

As ações humanas ao longo do seu desenvolvimento passaram cada vez mais a impactar o meio ambiente. Com o aparecimento de novos métodos de produção em massa e o crescente mercado consumista a intervenção humana se torna cada vez mais perceptível á medida que para acompanhar o consumo a cadeia produtiva se torna cada vez mais danosa ao meio ambiente (UniVASF, 2018).

Materiais poliméricos são parte essencial da sociedade moderna. A ampla possibilidade dos produtos que podem ser feitos utilizando polímeros os destacam em relação aos metais e cerâmicas, são produzidos por conta da facilidade de moldagem e baixo custo de produção, além de serem consumidos por conta do valor acessível do produto final. Esses materiais possuem ampla aplicação dependendo da matriz polimérica utilizada e a carga adicionada ao compósito, para desempenhar trabalhos específicos as matrizes são aditivadas com metais ou minerais específicos vindos de reservas naturais limitadas onde sua extração frequentemente ocasiona em impactos ambientais negativos (HOFMANN, M. *et al.*, 2018; LIMA, C. F. *et al.*, 2021).

Observando os impactos negativos desse consumo desenfreado pautas ambientais vêm sendo mais discutidas, visando alterar as produções para modelos mais sustentáveis, evitando perdas desnecessárias e fazendo produtos com materiais de reuso. (MIZOGUCHI, p.14, 2019).

A utilização de plásticos vem aumentando mais do que o consumo de outros materiais (metais e cerâmicas), por possuir diversas vantagens com relação aos outros materiais, porém, por grande parte dos produtos derivados de plásticos terem uma vida útil curta e baixas taxas de reciclagem eles se tornam um problema ambiental. (MIZOGUCHI, p.9, 2019; JAMBECK *et al.,* 2015).

Para os plásticos classificados como termoplásticos a reciclagem é mais simples, pois com calor pode-se moldá-los por mais de uma vez. Os métodos empregados para a reciclagem dos termoplásticos é a reciclagem mecânica que consiste em transformar o material em pequenos grânulos através da moagem, derretimento e corte em pequenos grãos. (BRAZ *et al.*, p.46, 2018).

## 3. REFERENCIAL TEÓRICO

Muitas indústrias de polímeros importam boa parte de suas matérias-primas para que possam chegar ao seu produto. Porém, essas matérias primas começaram a dar falta no mercado no meio do ano de 2021 por conta da ascensão da Covid-19. Os países começaram a ter um elevado número de casos e mortes por conta do vírus, acarretando uma queda de produção de matérias-primas, consequentemente uma elevação nos preços. Um exemplo disso é o ácido cresílico, que é utilizado como solvente nas indústrias que produzem esmaltes para fios condutores, onde houve uma diminuição na produção dessa matéria prima e uma grande procura por ela pois já se sabia que iria dar falta no mercado, ocasionando o aumento excessivo do preço. Em contrapartida, as fabricantes de esmaltes também diminuíram a produção e a quantidade de matéria prima comprada, porém não houve uma queda brusca no mercado de esmaltes, então a produção desse produto se manteve quase a mesma, mas com o estoque mais baixo. Isso ocasionou na falta de matérias primas como o ácido cresilico que pode ser substituído por fenol (MALAR, 2021).

> O levantamento da CNI apontou que a produção industrial brasileira se manteve estável em setembro de 2021, mas caiu em relação a agosto. O índice de difusão registrou 50 pontos, valor usado como divisor entre alta ou queda na produção (MALAR, J. P. 2021).

De acordo com um levantamento do Instituto Brasileiro de Economia (IBRE), vinculado à Fundação Getúlio Vargas (FGV), em abril de 2019, 4,4% das empresas

reclamavam da falta de matéria-prima. Já em abril de 2020, este número subiu para 10,3%. E em abril de 2021, alcançou 25,3% (LUCA, 2021).

Apenas no primeiro trimestre de 2021 houve um recuo de 4,5% em relação a produção de borracha e de material plástico, causando uma dificuldade no escoamento de produtos de diversas indústrias assim como na produção dos mesmos. Comparando março desse ano com o mesmo mês em 2021, os preços médios das importações de produtos químicos tiveram alta de 54,5% (de US$ 914/t para US$ 1.412/t) (GOMES, 2022).

## 3.1 ECONOMIA CIRCULAR

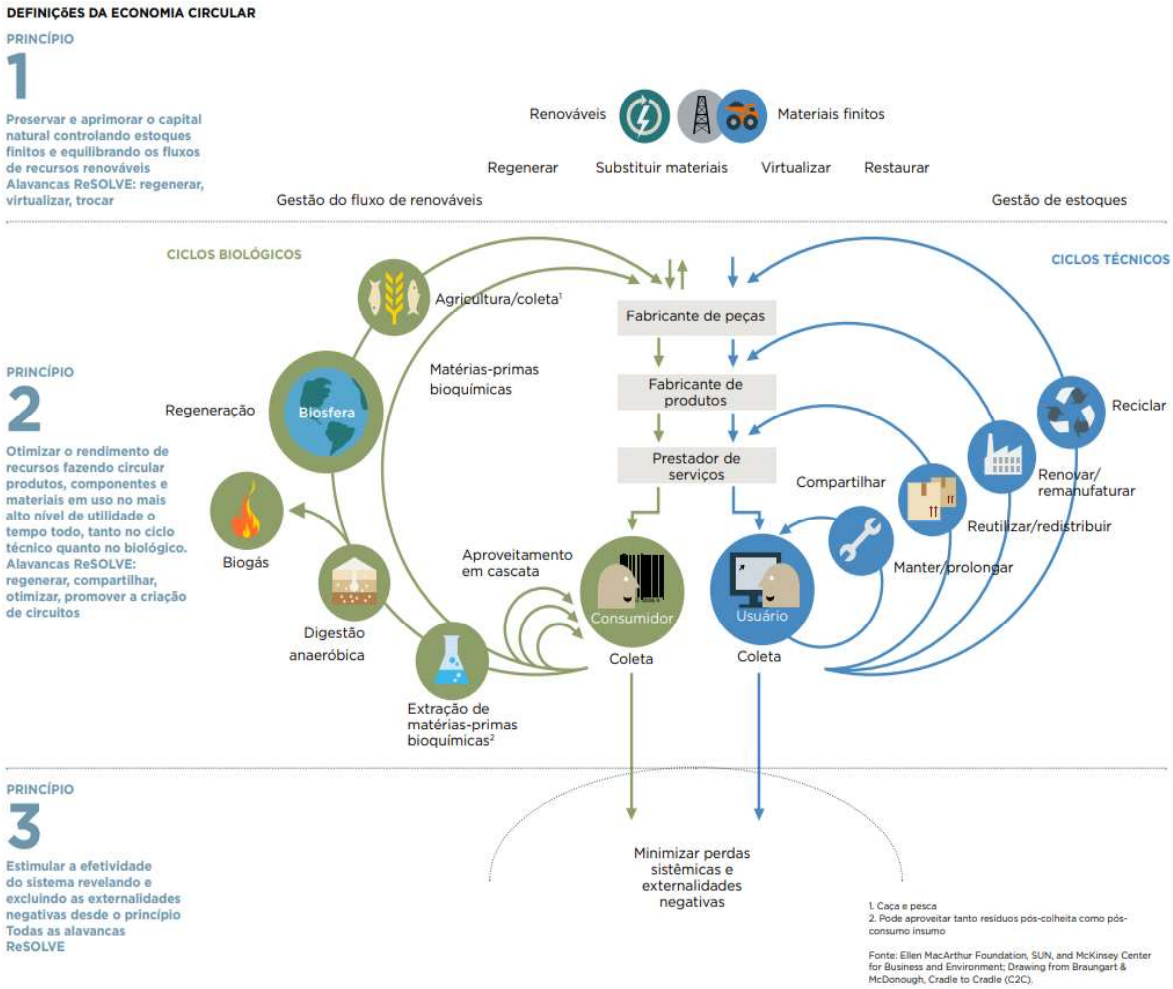
Com a revolução industrial e a produção em larga escala os impactos dos processos produtivos no ambiente se tornaram muito mais intensos devido aos avanços tecnológicos desse período. (FOSTER; SOUZA, 2016)

Essa pouca preocupação, o aumento populacional e por consequência o aumento do consumo gera impactos negativos no meio ambiente devido á exploração desenfreada dos recursos naturais e o descarte em demasia de rejeitos. (FOSTER; SOUZA, 2016)

A maioria desses rejeitos são destinados á aterros sanitários, prática que está cada vez mais inviável devido á falta de locais preparados para os receber, além de forte resistência da população na criação de novos próximos das zonas urbanas. (FOSTER; SOUZA, 2016)

Portanto encontrar alternativas para a utilização desses rejeitos é de extrema importância, a economia circular surge como alternativa, buscando reinserir rejeitos na cadeia de produção visando á redução da extração de recursos e diminuindo o impacto ambiental gerado. (FOSTER; SOUZA, 2016) Figura 1 apresenta um esquema de economia circular.

**Figura 1:** Esquema de economia circular




Fonte: CE100 Brasil, 2017

## 3.2 POLÍMEROS

Os polímeros são moléculas (macromoléculas) caracterizadas pela repetição de grupo de átomos (unidade constitucional ou mero) ligados covalentemente entre si, em quantidade suficiente para produzir um conjunto de propriedades que praticamente não varia com a adição ou remoção de uma ou poucas unidades constitucionais, com alta massa molar (RESENDE, 2018).

A humanidade está relacionada com o uso dos biopolímeros, como couro, lã, madeira e algodão [...] Inicialmente, procurava-se imitá-los em laboratórios, mas ao longo dos anos foi possível sintetizar polímeros artificiais sem derivação dos naturais (PROPEQ, 2021).

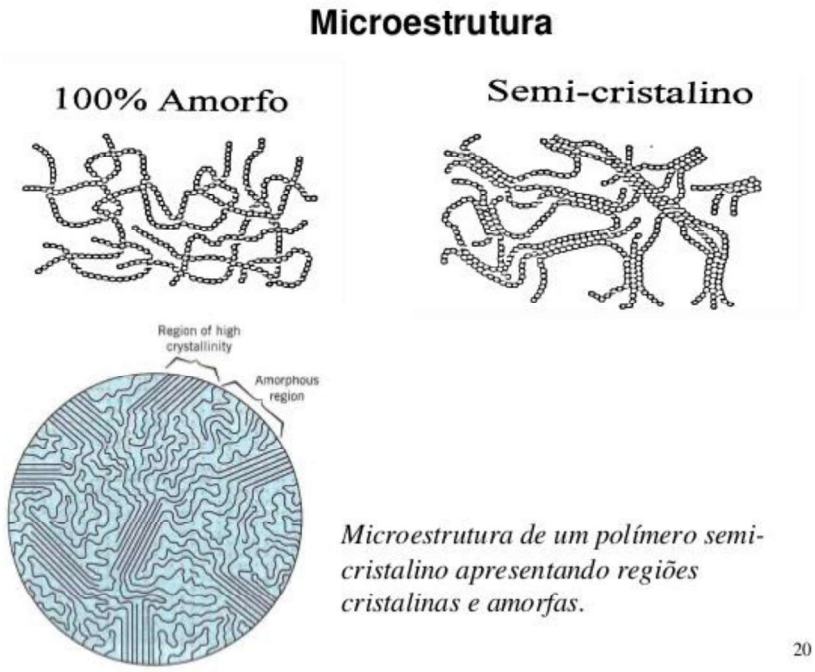
O processo formação das macromoléculas é denominado como polimerização e divide-se em processos de adição e condensação. No processo de adição o monômero e o polímero possuem as mesmas fórmulas empíricas. Em outras palavras, [...]. Um dos requisitos de um composto que se polimeriza por adição é a presença de

um radical livre, o tornando um mero que irá se ligar com outros por meio de ligação covalente (CATIRSE, 2020).

A polimerização por condensação, também denominados polímeros de eliminação, ocorre quando dois monômeros iguais ou diferentes perdem simultaneamente átomos ou grupos, resultando em valências livres em cada um, o que envolve a eliminação de moléculas pequenas como água, ácido clorídrico, metanol a reação (VIVEN, 2022).

Sua microestrutura é amorfa ou semi-cristalina. A principal diferença entre essas classes de termoplásticos é a disposição das cadeias moleculares e como elas, por sua vez, afetam o comportamento do polímero sob o calor (LIMA, 2018). A Figura 2 apresenta os dois tipos de microestrutura de polímeros.

**Figura 2:** Microestrutura de polímeros




Fonte nas referências - figura 2.

A temperatura tem grande influência na definição dos tipos de polímeros sintéticos, isso tem princípio com a estrutura molecular dos mesmos, as diferentes reações a elevação da temperatura se relacionam diretamente com o tipo de estrutura.

Sendo assim, é possível visualizar quatro tipos de geometria molecular, a linear, ramificada, com ligações cruzadas e a de rede. As reações de fusibilidade

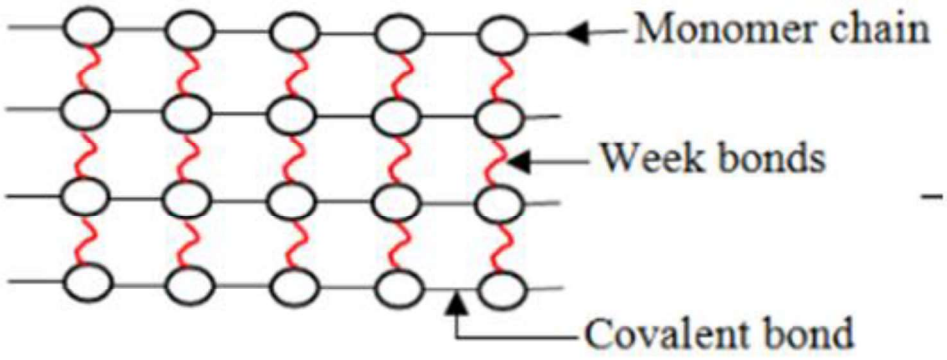
definem três tipos de polímero, o termorrígido ou termofixo, termoplástico e elastômero.

### 3.2.1 TERMOPLÁSTICOS

Os polímeros termoplásticos têm como característica o amolecimento de sua forma ao entrar em contato com a elevação de temperatura, isso permite que, após a produção da cadeia de meros em um formato definido, seja possível remoldar diversas vezes até o momento que ele perca seus aspectos deixando de ser viável a remoldarem (GONÇALVES, 2021).

Sua estrutura molecular é definida como plana ou ramificada, podendo apresentar baixa (<10.000 g/mol) ou elevada (>10.000 g/mol) massa molecular, essas duas formas de geometria permitem a tal maleabilidade com a temperatura, pois as cadeias poliméricas não estão diretamente interligadas umas com as outras por meio de ligação covalente, mas sim por uma ligação secundária do tipo de Van der Waals que aproxima uma cadeia dá outra (GONÇALVES, 2021). A figura 3 apresenta as ligações presentes na estrutura do termoplástico.

**Figura 3:** Ligações na estrutura do Termoplástico




Monomer chain – Cadeia de monômeros, Week bonds – ligações fracas, Covalent bond – Ligações covalente. Fonte nas referências - figura 3.

A elevação da temperatura é capaz de quebrar as forças de Van der Waals, permitindo a separação das cadeias e gerando a capacidade de moldar um mesmo polímero em diferentes formatos. Suas características o classificam como um dos polímeros com maior facilidade de descarte, já que o mesmo pode ser reciclado múltiplas vezes (GONÇALVES, 2021).

O segmento de resinas termoplásticas tem um peso elevado sobre o total dos produtos químicos de uso industrial, especialmente a partir de meados do ano

passado. As resinas termoplásticas possuem ampla utilização em diversas cadeias industriais, destacando-se embalagens, setor automobilístico, construção civil, descartáveis (destaca-se, neste momento, o uso hospitalar), entre outros (GONÇALVES, 2021).

> No ano de 2021 a expansão do consumo aparente nacional alavancou a produção local, que cresceu 6,1% nos primeiros seis meses do ano, assim como as importações, que saltaram 40,8%, a 1,08 milhão de toneladas. Com isso, as resinas importadas representaram 34% do mercado brasileiro, quatro pontos percentuais acima da participação vista um ano antes [...] a balança comercial registrou um déficit de 530,7 mil toneladas resinas no semestre, quase dez vezes maior do que o registrado no mesmo intervalo de 2020 (GOMES, 2021).

### 3.2.2 POLÍMERO VERDE

Há dois princípios fundamentais [...] que são: a Engenharia Verde e a Química Verde. Estes princípios têm por finalidade buscar uma maior sustentabilidade, da fase inicial até o fim do projeto (AGUIAR *et al.*, 2020).

A Química verde foi primeiramente definida como “a utilização e aplicação de princípios que reduzem e eliminam o uso e/ou geração de substâncias tóxicas e perigosas no desenvolvimento, produção e aplicação de produtos químicos” (ALARCON, 2022).

A busca por novos materiais resistentes e duráveis não é mais o foco de pesquisas para plásticos, tem-se por prioridade também polímeros que não sejam prejudiciais ao meio ambiente (SILVEIRA, 2018).

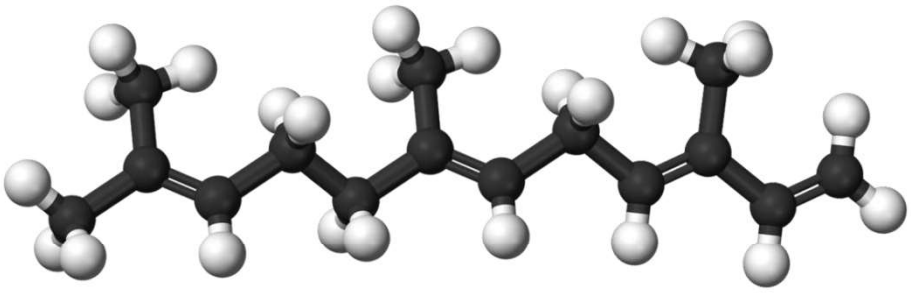
> Uma das principais características dos plásticos (polímeros) é a sua durabilidade. Em geral, eles podem durar muitos e muitos anos, chegando a mais de 200 anos até a completa degradação (SILVEIRA, 2018).

Com isso a modificação do processo de produção ou a inserção de compósitos biodegradáveis dão origem a um polímero verde. A adição desses compósitos, como fibras naturais, não transforma um polímero completamente em um bioplástico ou polímero biodegradável, porém os deixam menos agressivos a natureza. Suas propriedades são modificadas a fim de obter-se um produto que tenha resistência e ao mesmo tempo menos prejudicial ao meio ambiente (SILVEIRA, 2018).

## 3.3 POLIPROPILENO (PP)

Os polipropilenos são polímeros da classe dos termoplásticos com cadeias poliméricas lineares e são obtidos pela polimerização de propileno por meio de reação de adição. Devido suas ótimas propriedades mecânicas e seu baixo custo, o PP é muito utilizado no mercado dos polímeros com classe termoplástica. Porém o polipropileno sofre de uma pequena deficiência de compatibilidade com outros materiais pela sua característica apolar, muitas das vezes é realizado uma mistura com outros componentes para que essa característica perca força (ONO, 2019). A figura 4 apresenta a estrutura molecular do polipropileno.

**Figura 4:** Estrutura molecular do Polipropileno (PP)



Fonte nas referências - figura 4.

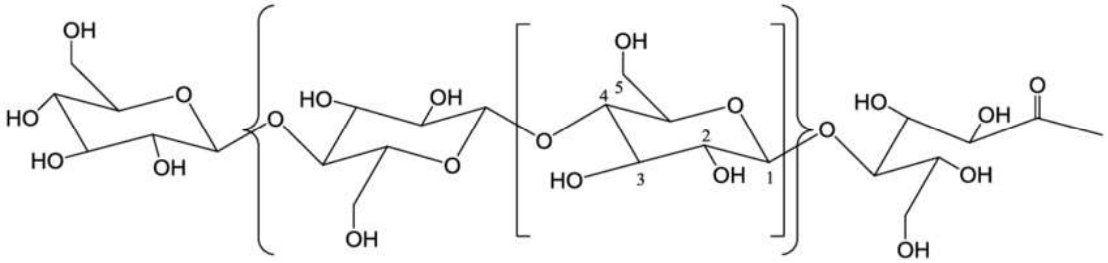
A modificação de PP com compostos polares, além de melhorar a compatibilidade em misturas com outros polímeros, aumenta a adesão entre o polímero e superfícies (ONO, 2019).

## 3.4 FIBRAS NATURAIS

As fibras naturais são as que podem ser extraídas da natureza, e que são classificadas baseadas na sua origem, podendo ser de origem vegetal, animal e mineral. As fibras do tipo vegetal são estruturas longas de secção transversal vazada e arredondadas, podendo ter origem de folhas, frutos e semente.

Quando se trata dos vegetais tem como substâncias principais a celulose, lignina, hemicelulose, pectina e minerais. “A celulose, um polissacarídeo linear de alta massa molar, é o principal constituinte estrutural e é responsável pela estabilidade e resistência mecânica das fibras” (CARMONA, 2015). A figura 5 apresenta a estrutura da celulose.

**Figura 5:** Estrutura da Celulose




Fonte nas referências - figura 5.

## 3.5 COMPÓSITOS

Se trata da combinação de dois ou mais materiais, gerando um terceiro material com novas características adquiridas na formação na escala macroscópica, mas materiais diferentes podem ser combinados no mundo micro como, por exemplo o bronze, o qual não apresenta diferença visível entre esses materiais.

Constituem uma classe de materiais heterogêneos, multifásicos, podendo ser ou não poliméricos, em que as propriedades do conjunto são superiores às de cada componente individual (GOMES, 2020).

A adição de compósitos, em matrizes poliméricas, por exemplo, é responsável por gerar novas propriedades mecânicas, como uma maior resistência a deformação, maior tenacidade e capacidade térmica, ou mesmo por meio de estudos de compósitos gerar materiais com aplicação específica.

### 3.5.1 FIBRAS VEGETAIS COMO COMPÓSITOS

Tendo em vista o conceito de economia circular, a União Europeia lançou variadas diretivas que têm como objetivo a redução dos resíduos poliméricos entre elas uma maior utilização dos polímeros biodegradáveis e compostáveis.

Minimizar os efeitos dos resíduos sintéticos de polipropileno [...], como para aplicar mais compósitos poliméricos com cargas naturais substituindo parte destes resíduos por material biodegradáveis (DZAZIO, 2022)

Como compósitos, as fibras vegetais têm vantagem em relação aos outros tipos de fibras, pela grande abundância de matéria e baixo custo, além de serem materiais biodegradáveis e renováveis.

Ao nível das propriedades mecânicas, as fibras naturais têm uma desvantagem em relação às fibras não naturais, nomeadamente a variabilidade das propriedades

mecânicas, que são dependentes da origem da fibra e do tipo de tratamento que levam para a sua obtenção (GONÇALVES, 2019).

## 3.6 EXTRUSORAS

Trata-se de um processo que força um material fundido a ter passagem por meio de um orifício, que é injetada em uma forma onde ele será resfriado, gerando uma produção padronizada e contínua.

O Parafuso de Arquimedes, ou bomba de parafuso, é uma tecnologia muito antiga para transporte de líquidos ou grãos de um ponto mais baixo a outro mais elevado. O aparato básico consiste de um grande parafuso inserido em um tubo justo (PERRONE, 2019). A figura 6 apresenta a uma rosca helicoidal.

**Figura 6:** Rosca helicoidal

Fonte nas referências - figura 6.

### 3.6.1 EXTRUSORA DE DUPLA ROSCA

É adequada para processamento de materiais mais sensíveis como PVC, *masterbatch*, blendas e compostos. Por ter mais de uma rosca sua capacidade de mistura e bombeamento do fundido é melhor. As roscas podem ser co-rotativas (giram no mesmo sentido) ou não (Mais Polímeros, 2019). A figura 7 apresenta a dupla rosca paralela.

**Figura 7:** Dupla rosca paralela

Fonte nas referências - figura 7.

Tem como principal vantagem a capacidade de autolimpeza das superfícies e como desvantagem a dificuldade de manutenção das roscas, além do elevado valor para tal. A proximidade entre os eixos causa limitação para a entrada de energia.

Apesar das extrusoras contrarrotativas apresentarem maior capacidade de deslocamento positivo, as extrusoras co-rotativas são mais comuns nas aplicações que incluem mistura de resinas com aditivos (corantes, cargas, retardantes de chama, reforços, estabilizantes) e na degasagem (remoção de voláteis) [...] As extrusoras contrarrotativas são usadas em aplicações mais específicas, para materiais que apresentam maior resistência ao fluxo e são suscetíveis à degradação térmica (NETTO, 2017).

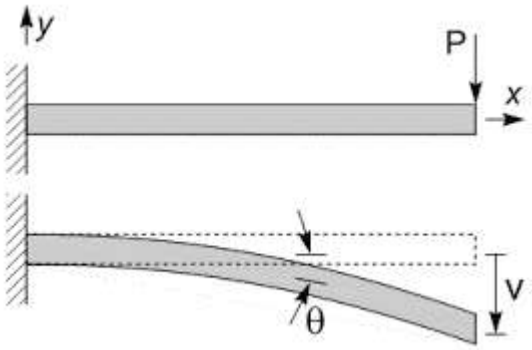
## 3.7 PROPRIEDADE MECÂNICA

As propriedades mecânicas dos materiais polímericos dependem de um grande número de fatores, como massa molar, cristalinidade, orientação, etc. [...] O material resiste à deformação até que a carga aplicada seja superior ao limite de resistência do material, que entra em colapso e se rompe (RABELLO, 2021, p. 174).

### 3.7.1 ENSAIO DE FLEXÃO

A deformação de flexão é testada normalmente com corpo de prova colocado sobre dois apoios, e um pistão aplica força de forma perpendicular. A figura 8 apresenta o ensaio de flexão.

**Figura 8:** Ensaio de flexão



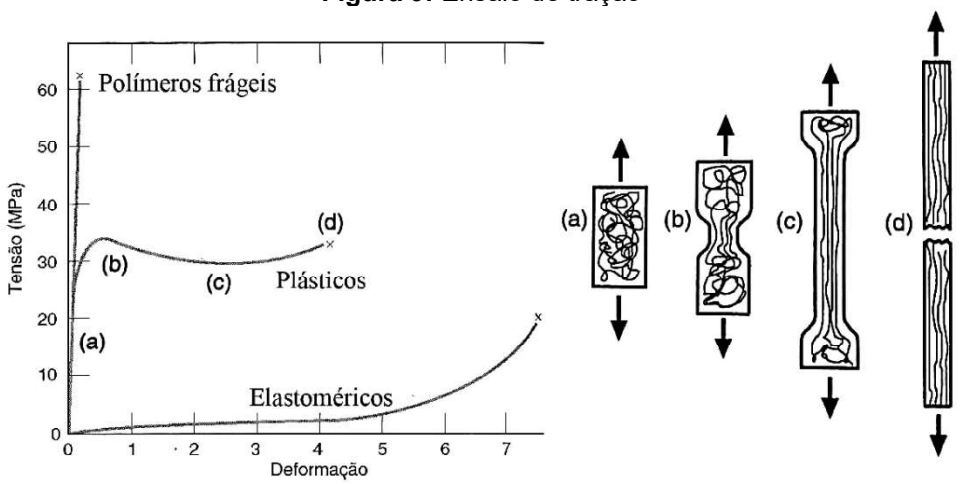

Fonte nas referências - figura 8.

A deformação de flexão, se trata de uma deformação elástica que é percebida nas superfícies de um corpo alongado, logo após sofrer uma tensão que advém de uma força de forma perpendicular ao corpo analisado (AZEVEDO, 2022).

### 3.7.2 ENSAIO DE TRAÇÃO

O ensaio de tração é mais um ensaio mecânico programado para alongar o corpo de prova a uma taxa constante, medindo continuamente e simultaneamente a carga instantânea aplicada e os alongamentos resultantes (HIPOLITO, 2018). A figura 9 apresenta o ensaio de tração.

**Figura 9:** Ensaio de tração



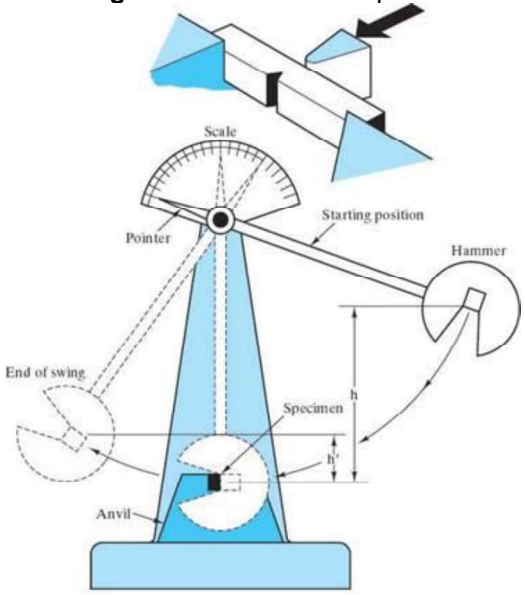
Fonte nas referências - figura 9.

O visa determinar as aplicações do material e tem como principal resultado a capacidade máxima de deformação até o momento do rompimento dessa amostra. A deformação plástica é definida, em geral, como “uma mudança PERMANENTE na forma ou tamanho de um corpo, sem a ocorrência de fraturas, e produzida por um esforço mantido além do limite de elasticidade do material, e pela migração de deslocamentos (em escala de estrutura cristalina (MINERALIZE, 2021).

### 3.7.3 ENSAIO DE CHARPY

O charpy se trata de uma das formas de realizar um ensaio de impacto, onde a força e aplicada por meio de um pêndulo. A resistência demonstrada no ensaio de impacto é utilizada na decisão das aplicações do material, é obtida analisando o percurso desenvolvido após o choque, que varia de acordo com as propriedades mecânicas do material, ou seja, quanto maior a resistência do material, menor será a altura do pêndulo após o choque (MACHADO *et al*, 2018). A figura 10 apresenta o ensaio de impacto.

**Figura 10:** Ensaio de Impacto




Fonte nas referências - figura 10.

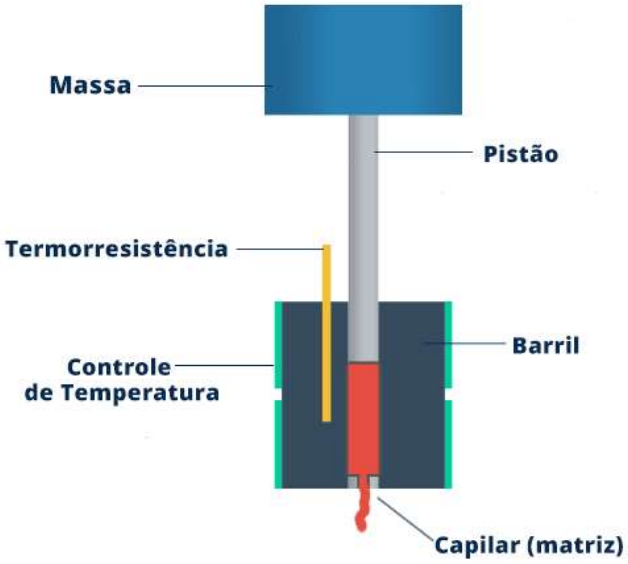
O ensaio de impacto tem como principal objetivo determinar a quantidade de energia que o material testado absorve, verificando se este possui uma transição dúctil-frágil (LIMA *et al.,* 2019, p. 8).

## 3.8 PROPRIEDADE TÉRMICA

IF (Índice de Fluidez) é um método de ensaio particularmente utilizado para indicar a uniformidade da taxa de fluxo do polímero em um processo, sendo por isso um indicativo de outras propriedades, tais como o peso molecular e a viscosidade, oferecendo, portanto, uma noção do nível de processabilidade do material (SILVA, 2020). A figura 11 apresenta o maquinário para o ensaio de índice de fluidez.

> De início, o procedimento foi elaborado por W. G. Oakes na Inglaterra com intenção de estabelecer um índice de processabilidade para fins de controle de qualidade de fácil obtenção. Nos dias de hoje esse método continua sendo aplicado em ampla variedade de termoplásticos com o mesmo propósito (SANTOS, 2019, p. 26).

**Figura 11:** Maquinário de ensaio de IF




Fonte nas referências - figura 11.

No ensaio de Índice de Fluidez, um polímero fundido é forçado a passar por uma matriz capilar, sendo determinada a massa de material extrudado em função do tempo (g/10min). Dessa forma é possível obter as informações da propriedade de fluidez, que por si é muito útil e bastante utilizada em controle de qualidade de polímeros (SARGIANI, p. 13, 2020).

O Índice de fluidez é inversamente proporcional à viscosidade do material, ou seja, quanto maior os resultados de fluidez, mais o polímero flui durante o processamento. [...] Materiais com maior fluidez são usados em moldagem por injeção

e materiais com menor fluidez são usados em moldagem por sopro ou processo de extrusão (SOUZA *et al*, 2019).

Algumas propriedades alternativas que foram adotadas pelas indústrias são a HDT (*Heat deflection temperature*), e a temperatura de amolecimento Vicat.

O ensaio de HDT determina a temperatura necessária para defletir um material quando uma tensão a flexão é imposta. No ensaio aplica-se um esforço de flexão em três pontos distintos do polímero sob aquecimento constante. O resultado obtido é a temperatura de flexão térmica, temperatura na qual ocorre um decréscimo nas propriedades mecânicas do polímero (SARGIANI, p. 15, 2020).

O ensaio Vicat e utilizado no controle de qualidade, no desenvolvimento e identificação de particularidades de diversos materiais poliméricos. "Neste ensaio um indentador de ponta plana com carga pré-definida deve penetrar a superfície da amostra até uma profundidade padronizada. Como especificado por normas. O ensaio permite a definição da temperatura de trabalho máxima" (AFINKO, 2018).

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 FORMULAÇÃO E PROCESSAMENTO

Os materiais testados são todos à base de polipropileno e os compósitos tinham em sua formulação um percentual em massa de PP virgem e farinha de madeira (celulose), por fim foi utilizado o PP recuperado.

#### 4.1.1 EXTRUSÃO DOS COMPÓSITOS

Foram extrusados 500 gramas de cada composição citada na Tabela 1 no formato de fita com largura de 5 cm em uma extrusora co-rotante da marca Extrusão Brasil, com L/D de 40 e diâmetro de 22 mm, os materiais foram pesados com seu percentual em massa dos materiais em sua composição e adicionados no dosador para que fossem processados.

**Tabela 1:** Composições dos compósitos estudados.

| Amostras | PP virgem | Celulose | PP Reciclado (PP) |
|---|---|---|---|
| A | 100% | 0% | 0% |
| B | 0% | 0% | 100% |

| | | | |
|---|---|---|---|
| C | 85% | 15% | 0% |
| D | 70% | 30% | 0% |

Fonte: Autoral do grupo.

A figura 12 apresenta uma mistura de farinha de madeira com PP .

.

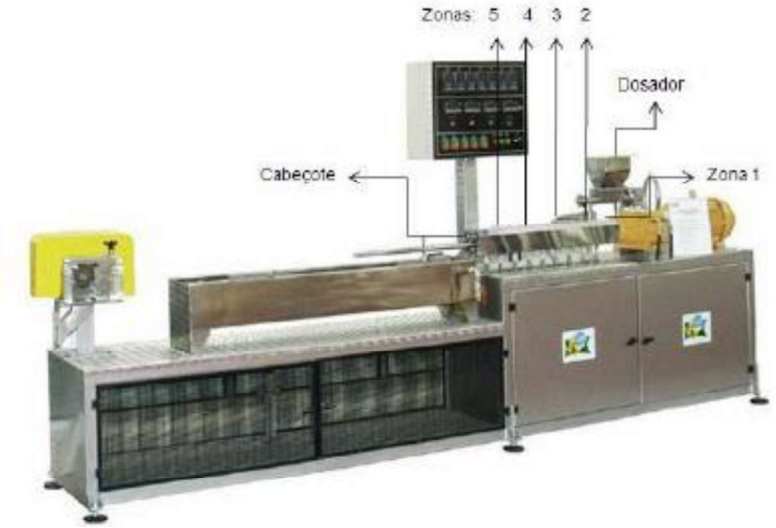
**Figura 12:** Mistura de PP com a farinha de madeira que vai na extrusora

Fonte: Autoral do grupo.

As proporções de material puro foram adicionadas como uma forma de comparação com os resultados dos compósitos. Na porcentagem de 30% de celulose acrescentada, se segue o conceito de polímero verde, onde se define que polímeros com 30% de parte biodegradável e considerado como verde e por fim em 15% de compósito é uma última comparação.

A figura 13 apresenta uma extrusora co-rotante de laboratório.

**Figura 13:** Extrusora co-rotante de laboratório




Fonte: Extrusão Brasil, 2012.

A velocidade de mistura, temperaturas nas zonas de aquecimento e o tempo de mistura podem ser consultados na tabela 2.

**Tabela 2:** A velocidade de mistura, temperaturas nas zonas de aquecimento e o tempo de mistura

| **Material** | **Velocidade (RPM)** | **Tempo de mistura (min)** | **Temperatura °C** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Z1 | Z2 | Z3 | Z4 | Z5 | Z6 |
| A | 95 | 25 | 40 | 90 | 160 | 170 | 185 | 190 |
| B | 99 | 25 | 40 | 90 | 160 | 180 | 190 | 190 |
| C | 60 | 30 | 40 | 90 | 160 | 170 | 180 | 190 |
| D | 30 | 40 | 40 | 90 | 160 | 170 | 180 | 190 |

Fonte: Autoral do grupo.

A figura 14 apresenta os materiais pós-extrusão

**Figura 14:** Polipropilenos usados após a extrusão

Fonte: Autoral do grupo.

A fluidez é um fator determinante nesta etapa, quanto menor a fluidez maior o tempo de mistura e menor a velocidade da rosca, controlar esses fatores evitam que o produto seja degradado. O tempo das misturas varia bastante de acordo com as matérias primas e o próprio desempenho da extrusora. A velocidade foi ajustada conforme o andamento do processo até encontrar a velocidade ideal para cada mistura.

### 4.1.2 MOLDAGEM POR COMPRESSÃO: PLACA

Após processados na extrusora os materiais foram levados a estufa onde ficaram expostos por 15 minutos a uma temperatura de 230° C, ademais o polímero amolecido foi prensado a uma pressão de 150 $KgF.cm^{-2}$ em um molde (20 x 20 cm) com espessura de 3 mm. As placas obtidas foram resfriadas em temperatura ambiente.

### 4.1.3 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Foram utilizados os equipamentos circular New Hermes e Fresa Ceast na preparação dos corpos de prova: a serra utilizada para cortar todos os corpos de prova nas dimensões especificadas pela norma e a fresa utilizada para usinar os corpos de prova seguindo as dimensões da matriz para o ensaio de tração.

Os corpos de prova foram cortados no formato indicado na norma de cada ensaio, e estão representados na tabela 3.

**Tabela 3:** Dimensões dos corpos de prova para os ensaios de Flexão, Resistência ao impacto, Densidade, VICAT e HDT.

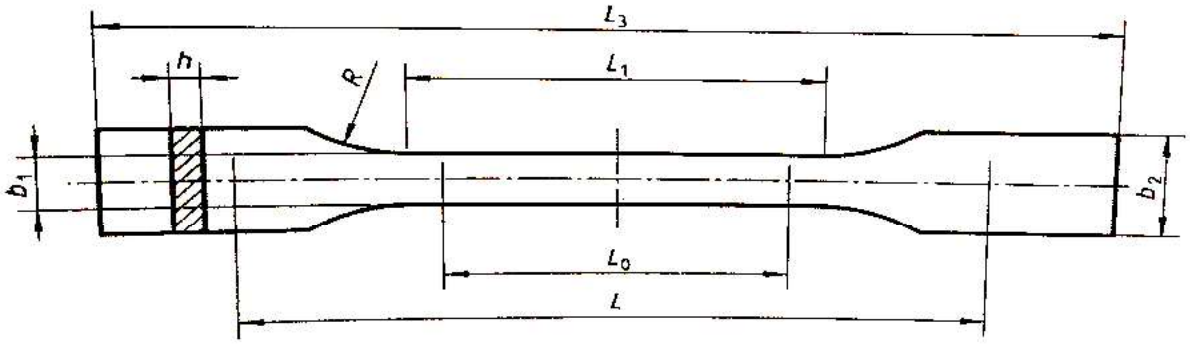
| Tipo de Ensaio | Norma | Dimensões do Corpo de prova |
|---|---|---|
| Flexão | ISO 178 | Largura: 25 mm<br>Comprimento: 75 mm |
| Temperatura de amolecimento - VICAT | ISO 306 | Largura: 25 mm<br>Comprimento: 25 mm |

| | | |
|---|---|---|
| Temperatura de deflexão – HDT | ISO 75 | Largura: 12,50 mm<br>Comprimento: 125 mm |
| Tração | ISO 527 | $L_3$: ≥ 150 mm $b_1$: 10 ± 0,2 mm<br>$L_1$: 60 mm ± 0,5 h: 2 a 10 mm<br>R: ≥ 60 mm $L_0$: 50 ± 0,5 mm<br>$b_2$: 20 ± 0,2 mm L: 115 ± 0,1 mm |

Fonte: Autoral do grupo.

A figura 15 apresenta as regiões indicadas na tabela as ilustrando no corpo de prova.

**Figura 15:** Ilustração das regiões indicadas na tabela




Fonte: PRESTES, et al., 2017.

### 4.1.4 ENSAIOS DE TRAÇÃO

Este ensaio foi baseado na norma ISO 527-1 (*Plastics – Determination of tensile properties)*, se trata de um ensaio destrutivo que consiste na aplicação de uma carga em uma única direção crescente à amostra, enquanto o deslocamento do corpo de prova provocado por essa carga é medido. É um dos ensaios mais utilizados, pois seus resultados expõem de modo geral o comportamento mecânico do material (RABELLO, p.173, 2021). As normas especificam as condições em que o ensaio deve ser realizado, estas que são: dimensões do corpo de prova, tempo de ensaio, velocidade de tração, entre outros requisitos que variam de acordo com o tipo de material (PRESTES *et al.*, 2017).

O corpo de prova já nas dimensões estabelecidas é tensionado por uma carga crescente em uma única direção até seu ponto de fratura.

As propriedades são calculadas na literatura através das fórmulas que estão a seguir:

I. Equação da tensão aplicada

$$\sigma = \frac{F}{Ao}$$

Onde:

F – Força em Newton (N).

$A_0$ – Área do comprimento útil do corpo de tração (mm²).

σ – Tensão ($N.mm^{-2}$).

II. Equação da deformação

$$\varepsilon = \frac{Lf - Lo}{Lo}$$

Onde:

$L_f$ – Comprimento final do comprimento útil após ensaio (mm).

$L_0$ – Comprimento inicial do comprimento útil antes do ensaio (mm).

ε – Deformação.

III. Equação do módulo de elasticidade (E)

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Equipamentos mais sofisticados já realizam os cálculos e geram os gráficos em um relatório gerado ao fim dos ensaios. Os ensaios de tração foram realizados na máquina universal de ensaios EMIC modelo DL 500 BF com célula de carga de 50 kgf velocidade de 5 mm/min, o alongamento foi medido com um transdutor embutido na célula de carga.

A figura 16 apresenta a realização do teste de tração.

**Figura 16:** Realização do ensaio de tração

Fonte: Autoral do grupo.

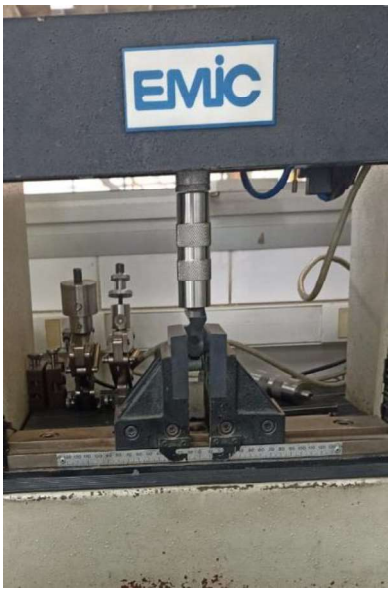
### 4.1.5 ENSAIO DE FLEXÃO

Assim como a tração, a flexão trata-se de um ensaio destrutivo, a ISO 178 padroniza este ensaio com relação às dimensões do corpo de prova e as demais condições de ensaio. Este ensaio foi realizado com três apoios e visa determinar a tensão; deslocamento; a relação entre tensão e deformação, e a verificação dos conceitos de elasticidade (PRESTES *et al*., 2017).

O corpo de prova é coloca sob os apoios fixos da máquina e é submetido a uma tensão constante aplicada pelo cutelo. Neste caso, a máquina foi programada para parar assim que o limite elástico do corpo de prova fosse atingido.

A figura 17 apresenta a realização do teste de flexão.

**Figura 17:** Realização do ensaio de flexão.




Fonte: Autoral do grupo.

De modo análogo ao ensaio de tração, a literatura (CANEVAROLO, 2010) também nos fornece equações para o cálculo das propriedades mecânicas, estas que podem ser consultadas a seguir.

IV. Equação da tensão.

$$\sigma f = \frac{3PL}{2bd2}$$

Onde:

$\sigma_f$ – Tensão.

P – Carga em Newtons (N).

L – Distância entre os apoios (mm).

*b* – Largura do corpo de prova (mm).

*d* – Espessura do corpo de prova (mm).

V. Equação da deformação.

$$\varepsilon f = \frac{6Dd}{L^2}$$

Onde:

$\varepsilon_f$ – Deformação.

L – Distância entre os apoios (mm).

*d* – Espessura do corpo de prova (mm).

VI. Equação de modulo de elasticidade.

$$Ef = \frac{L3m}{4bd}$$

Onde:

$E_f$ – Módulo de elasticidade.

L – Distância entre os apoios (mm).

*b* – Largura do corpo de prova (mm).

*d* – Espessura do corpo de prova (mm).

m – Inclinação da tangente da curva.

### 4.1.6 ENSAIOS DE TEMPERATURA DE AMOLECIMENTO (VICAT) E DE TEMPERATURA DE DEFLEXÃO TÉRMICA (HDT)

Os ensaios foram realizados baseados nas normas ISO 306 e ISO 75 (partes 1, 2 e 3). Foi utilizado no ensaio Vicat uma força de 50N e razão de aquecimento de 50°C/hora, seguindo as especificações da norma. No ensaio de temperatura de deflexão térmica foi utilizado aquecimento de 120°C/hora e a tensão aplicada foi de 1,8 Mpa, a força aplicada no corpo de prova foi determinada de acordo com a largura e espessura de cada amostra (PRESTES *et al.*, 2017).

A figura 18 apresenta a realização dos ensaios térmicos

**Figura 18:** Realização do ensaio de HDT vicat

Fonte: Autoral do grupo.

A equação utilizada para o cálculo da força aplicada assim como a tabela de deflexão padrão para o ensaio HDT está abaixo;

VII. Equação para o cálculo da força que deve ser aplicada no corpo de prova

$$F = \frac{2Kbh^2}{3L}$$

Onde:
F – Força aplicada ao corpo de prova (Newtons).
K – Constante = 1,8 Mpa.
b – Espessura do corpo de prova (mm).
h – Largura do corpo de prova (mm).
L – Distância entre os apoios (100 mm).

Dividindo-se o valor de força aplicada pelo valor da aceleração da gravidade (9,8 m/s²) obtém o valor da massa em Kg e multiplicando-se por 1000 temos a massa a ser aplicada em gramas, não se deve considerar a massa da haste. A tabela 4 apresenta a deflexão padrão.

**Tabela 4**: Deflexão padrão.

| LARGURA mm | Deflexão padrão mm |
|---|---|
| 9,8 - 9,9 | 0,33 |
| 10,0 - 10,3 | 0,32 |
| 10,4 - 10,6 | 0,31 |
| 10,7 - 10,9 | 0,30 |
| 11,0 - 11,4 | 0,29 |
| 11,5 - 11,9 | 0,28 |
| 12,0 - 12,3 | 0,27 |
| 12,4 - 12,7 | 0,26 |
| 12,8 - 13,2 | 0,25 |
| 13,3 - 13,7 | 0,24 |
| 13,8 - 14,1 | 0,23 |

| | |
|---|---|
| **14,2 - 14,6** | **0,22** |
| **14,7 - 15,0** | **0,21** |

Fonte: Autoral do grupo.

De acordo com (PRESTES *et al.*, 2017), o corpo de prova tem formato retangular, onde o comprimento deve ser maior que a largura, a largura maior que a espessura, e a espessura deve estar no intervalo de 3 mm a 13 mm.

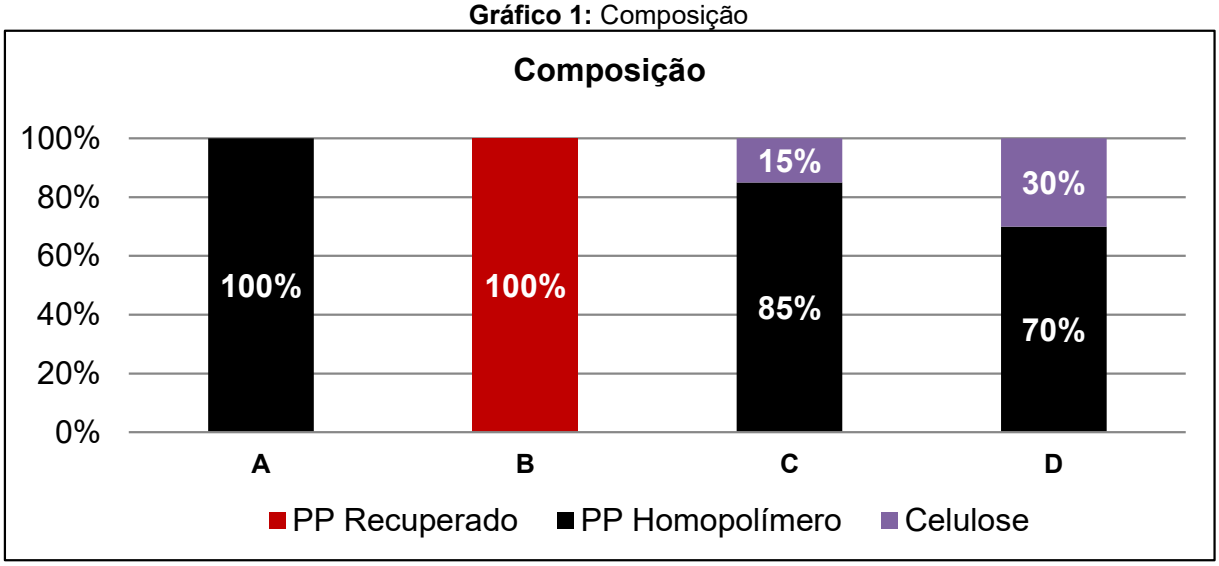
> O corpo de prova padrão tem dimensão de 4 mm de espessura por 10 mm de largura e 80 mm de comprimento. O corpo de prova é submetido ao aquecimento à uma razão constante de 2°C/min, e a temperatura de deflexão térmica é obtida quando o material atinge uma certa deformação padrão que. A carga necessária para que se atinja a tensão pré-determinada para o ensaio. A distância entre os apoios para o corpo de prova padrão é de 64 mm (PRESTES et al, 2017).

As dimensões dos corpos de prova utilizados para o ensaio Vicat foram de um quadrado com lados medindo 2,54 mm, já as dimensões para o ensaio HDT são de 12,7 mm de comprimento e 1,27 mm de largura. A espessura para ambos os ensaios varia de acordo com a região da placa de onde a amostra foi retirada, mcom valor médio de 3 mm.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os gráficos e tabelas foram montados com os resultados para facilitar a visualização. O gráfico 1 apresenta a composição para facilitar a visualização dos resultados.

**Gráfico 1:** Composição




Fonte: Autoria dos integrantes do grupo.

A formulação está inclusa, pois a composição química e a estrutura do material testado afeta diretamente as propriedades avaliadas no trabalho (comportamento mecânico). O comportamento mecânico foi escolhido pelo grupo, pois com ele é possível obter valores para realizar comparações e indicar se a aplicação é ou não viável. A tabela 5 a seguir apresenta os resultados do ensaio de granulometria:

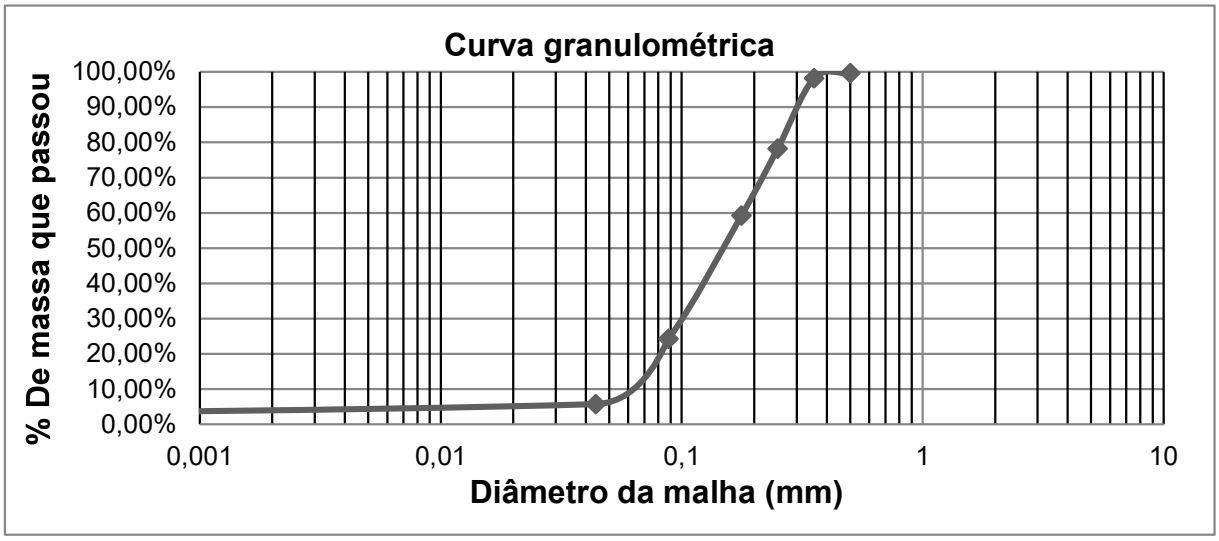
**Tabela 5:** Tabela com os resultados da granulometria da farinha de madeira

| **Peneira (Mesh)** | **Peso sem amostra** | **Peso com amostra** | **Massa retida na peneira** | **Porcentagem retida na peneira** |
|---|---|---|---|---|
| 35 | 327,93 | 328 | 0,07 | 0,35 |
| 45 | 383,53 | 383,82 | 0,29 | 1,45 |
| 60 | 384,72 | 388,73 | 4,01 | 20,02 |
| 80 | 308,34 | 312,13 | 3,79 | 18,92 |
| 170 | 366,78 | 373,78 | 7,00 | 34,95 |
| 325 | 358,22 | 361,94 | 3,72 | 18,57 |
| Fundo | 388,17 | 389,32 | 1,15 | 5,74 |
| Porcentagem Total = 100% | | | Massa total retida: 20,03 g | |

Fonte: Autoria dos integrantes do grupo.

Na tabela 5 é possível observar que o diâmetro mínimo do agregado é de 45 mesh (0,354mm) e o diâmetro máximo provavelmente estará em 400 Mesh (0,037mm). O gráfico 2 apresenta a curva granulométrica.

**Gráfico 2:** Curva granulométrica.




Fonte: Autoria dos integrantes do grupo.

A maior parte da amostra no ensaio de granulometria se concentrou na peneira com diâmetro 170 Mesh (0,088 mm).

O tamanho das fibras também é relevante, portanto se fez relevante determinar o comprimento médio das fibras, pois em compósitos reforçados com fibras as propriedades mecânicas e térmicas são influenciadas pela concentração e tamanho das fibras. De acordo com (POLETTO *et al*., [s.d.]) se a fibra utilizada for menor que o comprimento crítico a fibra não se fixará na matriz, além de no estudo citado fibras longas tiveram desempenho superior.

Conforme (LIMA *et al.*, 2021), além do comprimento das fibras a interface ou afinidade entre fibra e matriz termoplástica também influenciam na resistência mecânica do compósito, pois faz com que a transferência de esforços da matriz para as fibras seja mais efetiva. A tabela 4 apresenta os resultados da granulometria da farinha de madeira.

## 5.1. ENSAIOS DE TRAÇÃO E FLEXÃO

### 5.1.1. ENSAIO DE TRAÇÃO

A tabela 6 apresenta as dimensões obtidas com um micrômetro dos corpos de prova do ensaio de tração.

**Tabela 6:** Dimensões corpos de prova (tração)

| Material | Largura média | Espessura média | σ (Largura – Espessura) |
|---|---|---|---|
| A | 8,79 | 4,01 | 0,17 – 0,03 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| B | 11,17 | 2,91 | 0,18 – 0,21 |
| C | 9,20 | 2,62 | 0,12 – 0,05 |
| D | 9,16 | 2,49 | 0,07 – 0,18 |

Fonte: Autoria dos integrantes do grupo.

As dimensões variam de acordo com a região da placa de onde você retira o corpo de prova, a espessura diminui nas extremidades, isso gera variações nos resultados. A tabela 7 apresenta as médias dos resultados obtidos, assim como seus respectivos desvios-padrão.

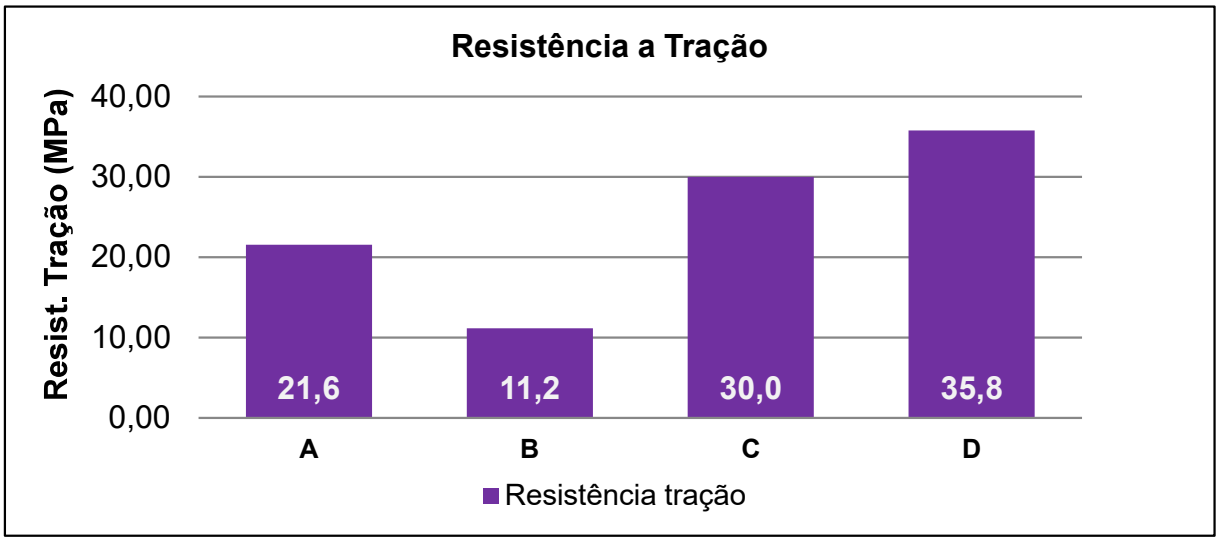
**Tabela 7:** Resultados médios e desvios padrões dos ensaios (Tração)

| Amostras | Resistência á tração Média | σ (Resistência Tração) | Média do alongamento | σ (Alongamento) |
|---|---|---|---|---|
| A | 21,57 | 1,44 | 1056,90 | 138,25 |
| B | 11,17 | 0,82 | 812,15 | 62,20 |
| C | 30,00 | 2,07 | 15,41 | 3,26 |
| D | 35,77 | 1,17 | 16,22 | 0,58 |

Fonte: Autoria dos integrantes do grupo.

Comparando os resultados de A e B é possível observar que o material B teve uma queda de 48,22% na resistência a tração e uma diminuição do alongamento médio de 23,16% em relação ao material A. Cotejando os materiais B e C, vemos um aumento de 19,23% na resistência a tração do material D em relação ao material C, de modo análogo, há um aumento no alongamento de 5,26 % do material C. Comparando o polímero virgem (A) com o compósito com 30% de fibra natural (D) constata-se um aumento de 65,83% na resistência a tração, esse aumento de resistência causou uma queda na ductilidade, sendo esta de 98,47%. O gráfico 3 a seguir apresenta as médias das resistências a tração dos materiais testados.

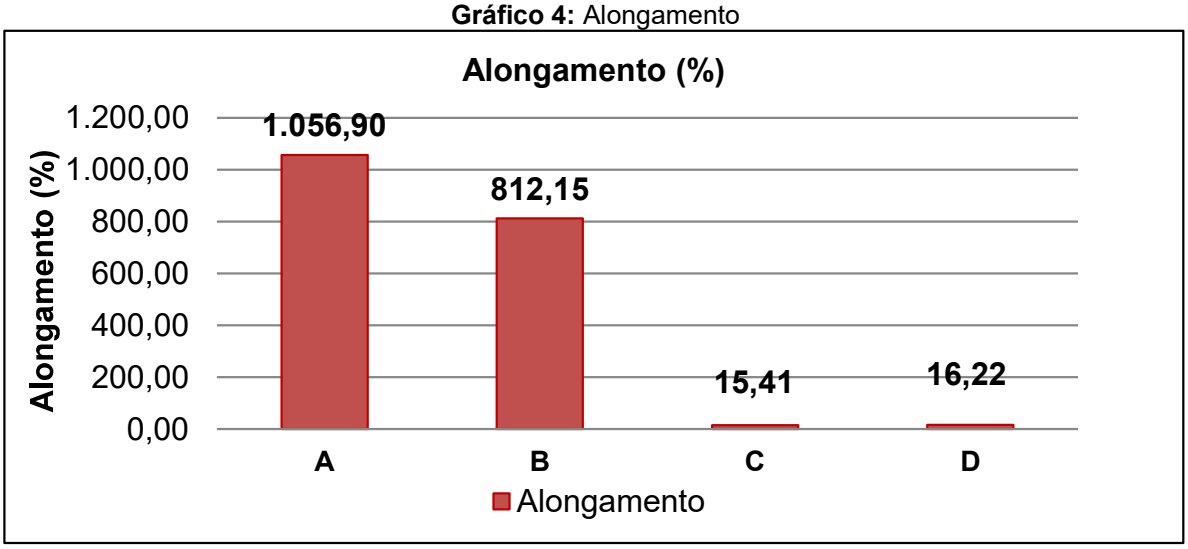
**Gráfico 3:** Ensaio de Tração




Fonte: Autoria dos integrantes do grupo.

Como discutido anteriormente o gráfico facilita a visualização dos aumentos ou diminuições das resistências a tração, apenas visualizando é possível observar que os compósitos possuem maior resistência a tração em relação aos polímeros puros. O gráfico 4 apresenta as médias dos alongamentos que os corpos de prova sofreram no ensaio de tração.

**Gráfico 4:** Alongamento




Fonte: Autoria dos integrantes do grupo.

Os materiais com fibra natural (compósitos) apresentaram menor ductilidade se comparados com os polímeros A e B (PP virgem e recuperado).

O comportamento dos materiais no ensaio de tração mostra que os compósitos reforçados se comportam como materiais rígidos, a superfície onde houve a fratura foi irregular em todos os corpos de prova que continham farinha de madeira em sua

composição e não houve um alongamento significativo, mostrando que as estruturas presentes são formadas por regiões de alta densidade de ligações secundárias e a boa interação fibra matriz, com o aumento da proporção de fibra no material de 15% (material C) para 30% (material D) resultou em um ganho em resistência a tração, acompanhado de um decréscimo no alongamento, isso ocorreu provavelmente devido ao maio teor de fibras presentes no material, já que as fibras restringem a mobilidade molecular da matriz termoplástica.

Já os polímeros virgem e recuperado demostraram boa ductilidade, demonstrando boa organização molecular, o polímero virgem como esperado apresentou desempenho superior em relação ao recuperado, porém por se tratar de um material reciclado houve a diminuição das propriedades mecânicas devido a fatores de processo e impurezas.

### 5.1.2. ENSAIO DE FLEXÃO

A tabela 6 apresenta as dimensões obtidas com um micrômetro dos corpos de prova do ensaio de flexão, assim como o desvio padrão de cada dimensão medida.

**Tabela 8:** Dimensões dos corpos de prova (flexão)

| Material | Largura média (mm) | Espessura média (mm) | σ (Largura – Espessura) |
|---|---|---|---|
| A | 26,00 | 3,21 | 0,38 – 0,14 |
| B | 25,81 | 3,63 | 0,5 – 0,28 |
| C | 26,16 | 2,83 | 0,46 – 0,19 |
| D | 26,19 | 2,79 | 0,21 – 0,14 |

Fonte: Autoria dos integrantes do grupo.

As dimensões variam de acordo com a região da placa de onde você retira o corpo de prova, o corte e a usinagem também geram variações na largura, a espessura diminui nas extremidades, isso gera variações nos resultados. A tabela 8 apresenta os resultados médios e seus respectivos desvios-padrão.

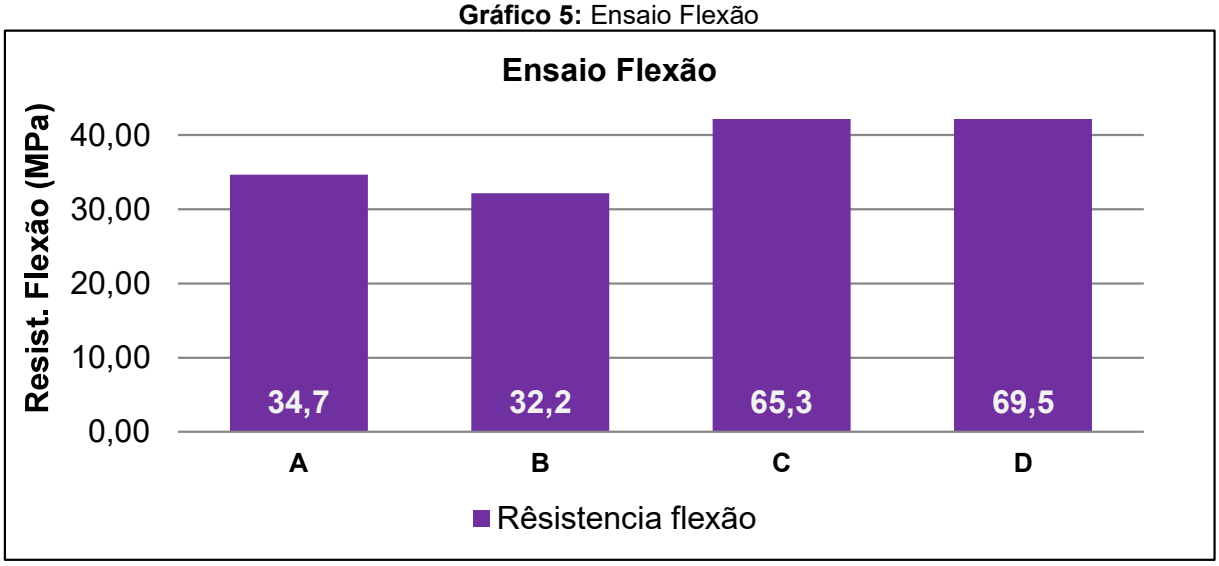
**Tabela 9:** Resultados médios e desvios padrões dos ensaios de (Flexão)

| Material | Média da Resistência á Flexão | σ (Res. Flexão) | Média do Módulo de Elasticidade | σ (Mód. Elasticidade) |
|---|---|---|---|---|
| A | 34,67 | 1,24 | 1807,86 | 138,25 |
| B | 32,15 | 1,79 | 1205,83 | 181,31 |
| C | 65,33 | 5,95 | 2419,60 | 198,40 |
| D | 69,47 | 2,76 | 2832,55 | 153,89 |

Fonte: Autoria dos integrantes dos grupos.

Analisando os resultados é possível observar uma queda na resistência á flexão no material B de 7,27% em comparação com o A. O módulo de elasticidade entre esses mesmos materiais também teve uma diminuição de 33,30%. Efetuando a mesma comparação entre os compósitos observa-se um aumento de 6,34% e 17,19% na resistência a flexão e módulo de elasticidade respectivamente. Comparando o polímero virgem (A) com o compósito (D) a variação percentual da resistência á flexão e módulo de elasticidade respectivamente foram de 100,37% e 56,68%. O gráfico 5 apresenta as resistências á flexão médias obtidas nos ensaios.

**Gráfico 5:** Ensaio Flexão

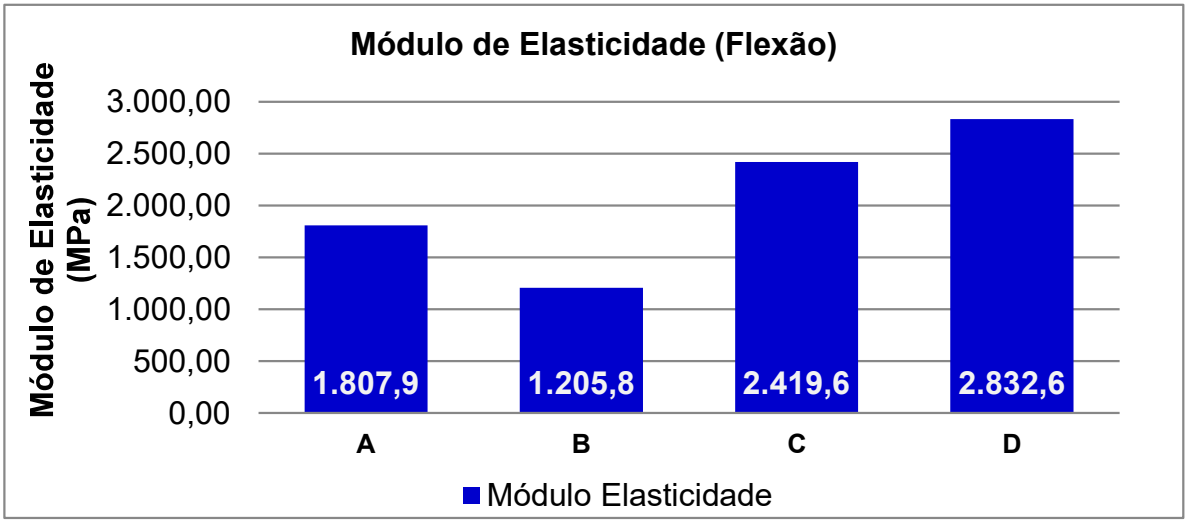



Fonte: Autoria dos integrantes dos grupos.

Observando as resistências se constata que há uma pequena queda na resistência a flexão do polipropileno recuperado (B) em comparação com o PP virgem (A), entre os compósitos se observa um aumento na resistência a flexão no material com maior percentual de fibra natural (D) em relação aos demais. O gráfico 6

apresenta as médias dos resultados do módulo de elasticidade obtidos no ensaio de flexão.

**Gráfico 6:** Módulo de elasticidade




Fonte: Autoria dos integrantes dos grupos.

Como observado nos resultados os compósitos (C e D) comportamento de material frágil (rígido), o restante (A e B) teve um módulo de elasticidade inferior, indicando que possivelmente são materiais com uma maior mobilidade molecular, ou seja, com maior ductilidade, o PP recuperado em comparação ao material virgem demonstrou uma queda em suas propriedades mecânicas. As fibras incorporadas na matriz poliméricas foram o que provavelmente aumentaram o módulo de elasticidade dos compósitos devido á transferência de carga da matriz para a fibra.

## 5.2 ENSAIOS TÉRMICOS

A tabela 10 a seguir apresenta as dimensões dos corpos de prova do ensaio de HDT.

**Tabela 10:** Dimensões do corpo de prova do ensaio HDT

| Material | Largura média (mm) | Espessura média (mm) | σ (Largura – Espessura) |
|---|---|---|---|
| A | 13,11 | 2,44 | 0,24 – 0,07 |
| B | 12,43 | 3,68 | 0,54 – 0,03 |
| C | 12,53 | 2,55 | 0,37 – 0,20 |
| D | 12,78 | 2,58 | 0,12 – 0,06 |

Fonte: Autoria dos integrantes dos grupos.

As dimensões para esse ensaio são importantes, pois a massa utilizada para aplicação da carga constante é individualmente determinada pelas dimensões de cada corpo de prova. A tabela 11 apresenta os resultados médios e seus respectivos desvios padrão dos ensaios térmicos realizados.

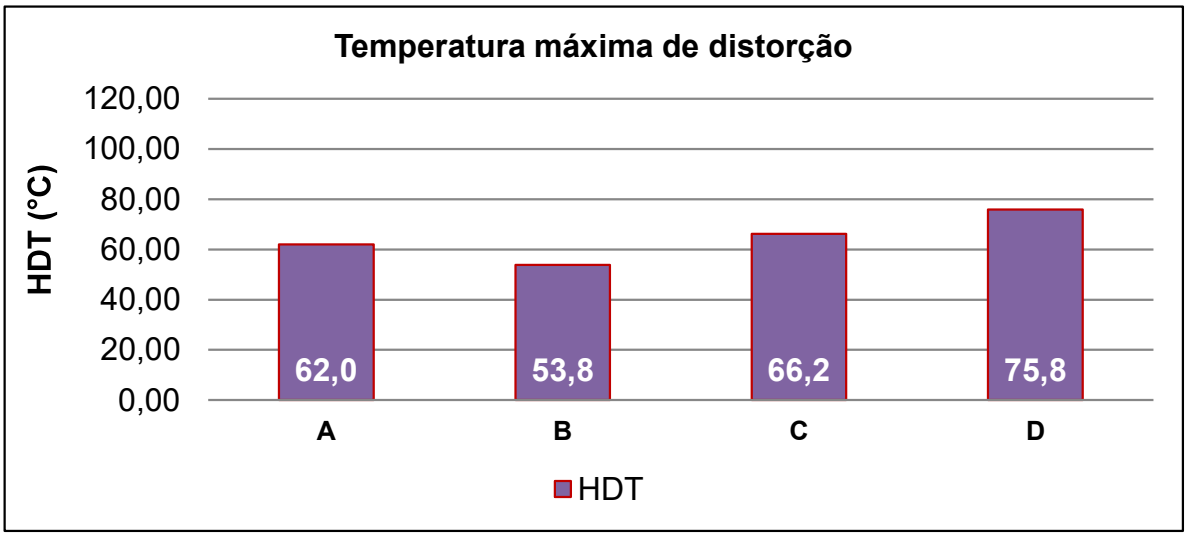
**Tabela 11:** Resultados médios e desvios padrões dos ensaios térmicos

| Amostras | Média do ensaio Vicat | σ (Vicat) | Média do HDT | σ (HDT) |
|---|---|---|---|---|
| A | 61,63 | 2,25 | 62,00 | 3,50 |
| B | 56,83 | 1,51 | 53,80 | 1,85 |
| C | 107,80 | 1,65 | 66,23 | 3,67 |
| D | 110,60 | 6,56 | 75,83 | 3,92 |

Fonte: Autoria dos integrantes dos grupos.

Avaliando as médias dos resultados dos ensaios térmicos podemos observar que houve uma queda da resistência térmica quando comparado os valores obtidos do material A com o material B, essa queda foi de 8,52% no ensaio Vicat e de 13,23% para o ensaio HDT. Com os materiais C e D o comportamento foi de aumento, mais especificamente houve aumento de 2,6% no ensaio Vicat e 14,5% no ensaio de HDT. Entre o polímero virgem e o compósito de maior percentual de fibra natural os aumentos percentuais foram de 79,46% e 22,31% para os ensaios de Vicat e HDT respectivamente. O gráfico 7 apresenta as médias das temperaturas máximas de distorção obtidas no ensaio de HDT.

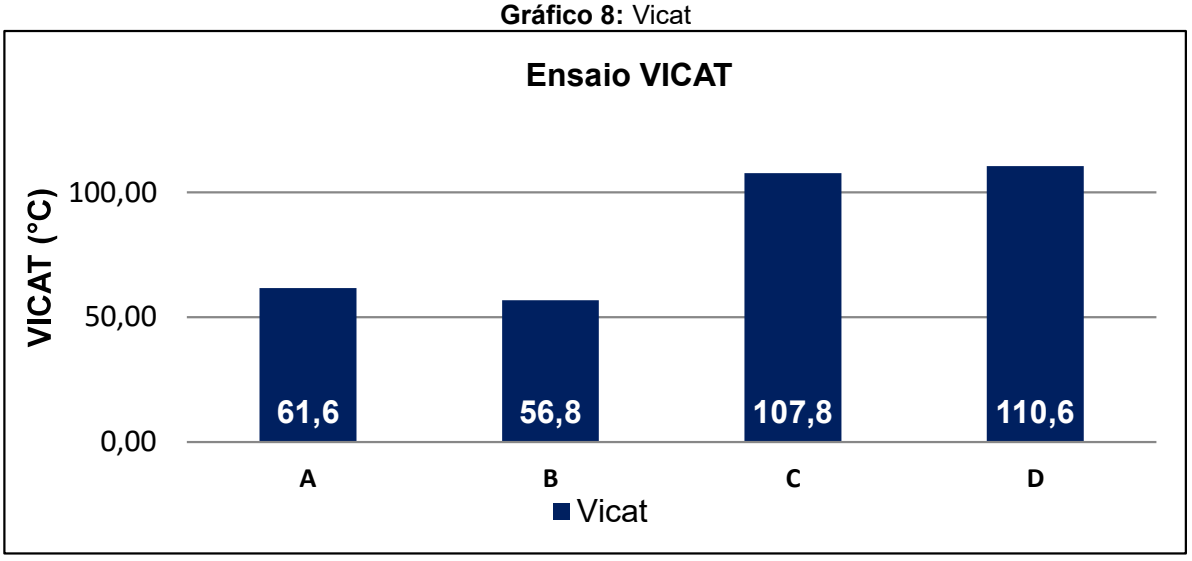
**Gráfico 7:** Temperatura máxima de distorção




Fonte: Autoria dos integrantes do grupo.

O desempenho dos polímeros foram inferiores ao dos compósitos neste ensaio, comparando o desempenho entre o PP virgem com o recuperado podemos observar uma diminuição da temperatura máxima de distorção no PP recuperado, já os compósitos o aumento do percentual de fibra na formulação causou um aumento na resistência térmica do material. O gráfico 8 apresenta os valores obtidos na análise *Vicat*

**Gráfico 8:** Vicat




Fonte: Autoria dos integrantes do grupo.

No ensaio Vicat os compósitos (materiais C e D) apresentaram desempenhos significativamente superior aos termoplásticos sem carga, isso provavelmente ocorreu devido ao fato da temperatura de deflexão térmica em geral, aumentar de acordo com a incorporação das fibras, devido a adição da fibra ocasionar um aumento da rigidez

do material impedindo que as cadeias poliméricas se movimentem, que por consequência causa aumento da temperatura de deflexão térmica. O aumento da rigidez está relacionado com o aumento do módulo elástico, portanto as cargas geralmente aumentam a temperatura de deflexão térmica.

Neste ensaio (HDT) os materiais foram submetidos a cargas constantes e uma variação de temperatura para determinar a temperatura de amolecimento e a temperatura de distorção de cada composto, o material com menor resistência térmica foi o PP recuperado, os compostos reforçados com fibra e o PP virgem tiveram um desempenho semelhante no ensaio HDT.

## 6. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que os compósitos, ou seja, a inserção da farinha de madeira confere melhorias em propriedades mecânicas e térmicas em comparação ao polipropileno puro. Quando testado mecanicamente, pode-se concluir que o compósito possui uma boa resistência e rigidez, porém acaba perdendo mobilidade entre as cadeias devido a presença da fibra natural. O comportamento térmico do compósito também se mostra supe

rior como observado nos resultados obtidos, o polipropileno ensaiado apresentou boa ductilidade por conta da liberdade que suas cadeias possuem, portanto apresentou menor resistência a temperaturas mais altas.

A adição da farinha de madeira a uma matriz termoplástica, não inibe totalmente a agressão ao meio ambiente, porém o torna menos prejudicial. Com isso diminui o consumo de matéria prima por meio da reciclagem, gerando um ciclo onde o resíduo descartado retorna para a cadeia de produção gerando uma maior economia, podendo agregar a um polímero e diminuindo a quantidade de matéria prima que seria necessária no processo produtivo.

O uso da farinha de madeira e do polipropileno recuperado são exemplos de economia circular, onde se da funcionalidade para materiais que seriam descartados. O que geraria resíduos e custo para descarte, volta a fazer parte do processo e há o surgimento de um produto que possa ser funcional.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, G. de O. et al. Aplicação da química verde na indústria química como desenvolvimento sustentável com ênfase na produção do plástico verde. Revista de Engenharias da Faculdade Salesiana, n. 12, p. 42, 2020.

ALARCON, R. T. Modificação estrutural de triacilgliceróis visando a obtenção de monômeros e polímeros seguindo os princípios da química verde: rotas sintéticas mais eficientes com menor gasto energético. Repositório Institucional UNESP, 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/234843>. Acesso em: 3 out. 2022.

AZEVEDO, Willy. Ensaio de Flexão. Precisão engenharia, 2022. Disponível em: <https://precisaoeng.com/blogprecisao/ensaio-de-flexao/>. Acesso em: 27 set. 2022.

BRAZ, J. A. et al. GERENCIAMENTO DA RECICLAGEM NA PRODUÇÃO INTERNA DAS INDÚSTRIAS PLÁSTICAS. REGRASP - Revista para Graduandos / IFSP-Câmpus São Paulo, v. 3, n. 1, p. 45–50, 1 fev. 2018.

CARMONA, Vitor Brait. Desenvolvimento de blendas de tps, pcl e pla e seus nanocompósitos com nanowhiskers de celulose de gravatá. Library, 2015. Disponível em: <https://1library.org/document/zlg641oy-universidade-ciencias-tecnologia-programa-graduacao-ciencia-engenharia-materiais.html>. Acesso em 20 set. 2022.

CARVALHO, F. A. M. Estudo de Materiais de Matriz Polimérica Reforçados Com Cargas Recicláveis. IC-Online, 2020. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.8/5138>. Acesso em: 20 set. 2022.

CATIRSE, A.B.C E B. MANUAL DE MATERIAIS DENTÁRIOS. E-Diciplinas USP, 2020. Disponível em:<https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5671955/mod_resource/content/1/Manual_2020.pdf#page=34>. Acesso em: 30 set. 2022

Conheça as diferenças entre polímeros naturais e sintéticos. Propeq, 3 nov. 2021. Disponível em: <https://propeq.com/polimeros-naturais-sinteticos/>. Acesso em: 01 out. 2022.

CORDEIRO, Edna Maria Silva. Biocompósitos poliméricos obtidos a partir da fração lignocelulósica e amilácea do caroço de manga (mangifera indica), Tommy atkins. 1Library, 2013. Disponível em: <https://1library.org/document/8ydx1klz-biocompositos-polimericos-obtidos-fracao-lignocelulosica-amilacea-caroco-mangifera.html>. Acesso em: 26 set. 2022.

Disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/Temperatura-de-transicao-vitrea-para-polimeros-amorfos-e-cristalinos_fig3_305777208>. Acesso em: 17 set. 2022.

DZAZIO, A. A. L.; SCUDLAREK, G. H. U.; SOWEK, A. B. Caracterização de compósitos de polipropileno com casca de soja / Caracterization of polypropylene composites with soybean hull. Brazilian Journal of Development, *[S. l.]*, v. 8, n. 4, p. 31890–31903, 2022. DOI: 10.34117/bjdv8n4-598. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/47221>. Acesso em: 18 set. 2022.

Entenda como funciona uma extrusora de plástico. Mais polímeros, 2019. Disponível em: <https://maispolimeros.com.br/2019/08/12/extrusora-de-plastico/>. Acesso em: 26 set. 2022.

FAJARDO CABRERA DE LIMA, L. DEL P.; CHAMORRO RODRÍGUEZ, C. D.; MINA HERNANDEZ, J. H. Use of Organic Acids in Bamboo Fiber-Reinforced Polypropylene Composites: Mechanical Properties and Interfacial Morphology. Polymers, v. 13, n. 12, p. 2007, 19 jun. 2021.

FOSTER, A.; SOUZA, S. Economia circular e resíduos sólidos: Uma revisão sistemática sobre a eficiência ambiental e econômica. [s.l: S.n.]. Disponível em: <https://engemausp.submissao.com.br/18/anais/arquivos/115.pdf>. Acesso em:01 de dez. de 2022.

GAMBARINI, Adriano. Sustentabilidade. WWF. 15 de jun. 2022. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/participe/porque_participar/sustentabilidade/>. Acesso em: 06 de Jun. de 2022.

GOMES, Saulo Salles. Processos de materiais compósitos de matriz polimérica para aplicações em aeronaves. Repositório Institucional do Conhecimento-RIC-CPS, 2020. Disponível em:<http://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/6243>. Acesso em 20 set. 2022.

GOMES, W. Indústria química registra déficit recorde no 1º trimestre, diz Abiquim. CNN Brasil, 2021. Disponível em: <https://valor.globo.com/empresas/noticia/2021/08/19/demanda-nacional-de-resinas-termoplasticas-sobe-248percent-no-1o-semestre.ghtml)>. Acesso em: 03 set. 2022.

GONÇALVES, E. Termofixos e Termoplásticos. Disponível em: <http://www.ccdm.ufscar.br/2021/08/12/termofixos-e-termoplasticos/>. Acesso em: 4 set. 2022.

GONÇALVES, J. A. F.. Estudo da viabilidade de produção de materiais compósitos de matriz polimérica reforçada com fibras naturais. UDG – Universidad de Girona, 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10316/88066>. Acesso em: 21 set. 2022.

HDT e Vicat: Temperaturas que determinam o uso do produto!. Afinko , 17 jul. 2018. Disponível em: <https://afinkopolimeros.com.br/hdt-e-vicat-temperaturas/>. Acesso em: 1 out. 2022.

HIPOLITO, J. T. B. Obtenção e caracterização de compósito polímero-SiC. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/15106>. Acesso em: 26 set. 2022

HOFMANN, M. et al. Critical raw materials: A perspective from the materials science community. Sustainable Materials and Technologies, v. 17, p. e00074, set. 2018.

KAUR, G. "Recent trends in green and sustainable chemistry & waste valorisation: rethinking plastics in a circular economy." Current opinion in green and sustainable chemistry 9. Hong Kong:  2018.

LIMA, Caio Felipe Lima. MOMM,Gustavo Henrique. MATOS, Vinicius de Alves. CAMPREGHER,Vinicius Petters.Relatório de ensaio de impacto realizado com polímero PLA. Fundação Universidade Regional de Blumenau Centro de Ciências Tecnológicas, 2018.Disponível em: <https://www.academia.edu/download/56941308/Relatorio_Ensaio_de_Impacto_-_Caio__Momm__Nego__Neco.pdf>. Acesso em: 27 set. 2022.

LIMA, Francisco. Termoplásticos: tipos e exemplos, 29 nov. 2018. Disponível em: <https://plastbrinq.com.br/termoplasticos/#:~:text=Amorfos%20devem%20ser%20processados%20100°C%20acima%20da%20suas,fluida%20na%20temperatura%20em%20que%20os%20cristais%20fundem.>. Acesso em: 12 out 2022.

LUCA, A. Indústrias alertam para a maior falta de insumos para a produção em 20 anos. CNN Brasil, 2021. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/industrias-alertam-para-a-maior-falta-de-insumos-para-a-producao-em-20-anos/>. Acesso em: 10 set. 2022.

MACHADO, A. M. de S. MÁQUINA DE ENSAIO MECÂNICO CHARPY. Mepec, 2019. Disponível em: <https://publicacoes.ifc.edu.br/index.php/MEPEC/article/view/419>. Acesso em 3 out. 2022.

MALAR, J. P. Falta de matéria-prima é maior preocupação das indústrias, aponta CNI. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/falta-de-materia-prima-e-maior-preocupacao-das-industrias-aponta-cni/>. Acesso em: 4 set. 2022.

MALAR, J. P. Falta de matéria-prima é maior preocupação das indústrias, aponta CNI. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/falta-de-materia-prima-e-maior-preocupacao-das-industrias-aponta-cni/>. Acesso em: 4 set. 2022.

MIZOGUCHI, I. H. Os desafios do plástico e os cenários para o futuro. Repositório Digital UFGRS LUME, Porto Alegre, p. 9. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/198027>. Acesso em 29 de Jun. 2022.

NETTO, J. M. J. Projeto de uma miniextrusora dupla-rosca corrotativa vertical para aplicação em Manufatura Aditiva. Digital library USP2, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.18.2019.tde-03072019-110019>. Acesso em: 3 out. 2022.

ONO, Rodrigo. Obtenção e caracterização de compósitos de copolímero aleatório de polipropileno e carga de amido de mandioca. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

PASCHOALINOTO, Nelson. Estudo comparativo de corpos de prova poliméricos (ABS), fabricados por extrusão, injeção e DDM baseado em ensaios de tração. ACADEMIA, 2018. Disponível em: <Estudo_comparativo_de_corpos_de_prova_polimericos_ABS_fabricados_por-with-cover-page-v2.pdf (d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net)>. Acesso em: 27 set. 2022.

PERRONE, Gabriel Cury Modelo de parafuso de Arquimedes. In: Thesaurus de Acervos Científicos em Língua Portuguesa. AMLEF, 2019. Disponível em: <http://thesaurusonline.museus.ul.pt/ficha.aspx?t=o&id=1132>. Acesso em: 26 set. 2022.

POLETTO, M. et al. Influência do comprimento das fibras nas propriedades mecânicas e térmicas de compósitos de poliestireno e fibras de sisal. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbpol/2009/PDF/688.pdf>. Acesso em: 14 out. 2022.

Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS. Ibama. 06 de Dez. 2016. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/residuos/controle-de-residuos/politica-nacional-de-residuos-solidos-pnrs>. Acesso em: 23 de Jun. 2022.

Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) - Lei nº 12.305/2010. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/residuos/controle-de-residuos/politica-nacional-de-residuos-solidos-pnrs>. Acesso em: 18 de Jun. 2022.

RABELLO, Marcelo Silveira. ESTRUTURA E PROPRIEDADES DE POLÍMEROS. Campina Grande. PB, 2021. *E-book.*

REBEHY, P. C. P. W. et al. Reverse logistics systems in Brazil: Comparative study and interest of multistakeholders. Journal of environmental management, v. 250. Brazil: Universidade de São Paulo, 2019.
Saiba a importância de ser um consumidor consciente. Disponível em: <https://portais.univasf.edu.br/sustentabilidade/noticias-sustentaveis/saiba-a-importancia-de-ser-um-consumidor-consciente>. Acesso em: 29 jun. 2022.

SANTOS, Ana Carolina. ESTUDO E AVALIAÇÃO DA RECICLAGEM DE POLÍMEROS. Repositório Institucional da Universidade Federal do Rio Grande do Norte ,2019. Disponível em :<https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/40387/1/Estudoeavaliação_Santos_2019.pdf>. Acesso em: 28 set. 2022.

SARGIANI**,** André Braga**.** Reciclagem de garrafas plásticas de polietileno de alta densidade: processamento e caracterização do material reciclado, e comparação com as propriedades do material virgem. Mackeinze**,** 2020. Disponível em: <https://dspace.mackenzie.br/handle/10899/29331>. Acesso em: 2 out. 2022.

SILVA, A. J. de J. Análise comparativa da curva de viscosidade e do índice de fluidez de dois grades de polipropileno utilizando reometria capilar. Revista Sítio Novo, 2020. Disponível em:

<https://sitionovo.ifto.edu.br/index.php/sitionovo/article/view/573>. Acesso em: 3 out. 2022.

SILVEIRA, G. Degradação: Entenda agora como ocorre o processo que deixa os plásticos amarelados!!! Afinko, 26 jul. 2018. Disponível em: <https://afinkopolimeros.com.br/degradacao-dos-plasticos/>. Acesso em: 2 out. 2022.

SILVEIRA, G. DSC (Differential Scanning Calorimetry): O que é e para o que ela serve?Afinko, 11 jun. 2018. Disponível em: <https://afinkopolimeros.com.br/dsc-o-que-e-e-para-que-serve/>. Acesso em: 10 set. 2022.

SILVEIRA, G. Temperatura de Transição Vítrea (Tg): Entenda o que é!Afinko, 3 jul. 2018. Disponível em: <https://afinkopolimeros.com.br/temperatura-de-transicao-vitrea-tg/>. Acesso em: 12 set. 2022.

SOUZA, C. D. M. CARO, N. C. R. Estudo do potencial de incorporação de fibra de bambu em termoplásticos para aplicação em calçados. Mackeinze, 2019. Disponível em: <https://dspace.mackenzie.br/handle/10899/29469>. Acesso em: 2 out. 2022.

Sustentabilidade. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/participe/porque_participar/sustentabilidade/>. Acesso em: 06 de Jun. 2022.

Tipos de deformação: Rúptil, dúctil e plástica. Mineralize, 30 nov. 2021. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/tipos-de-deformação-rúptil-dúctil-e-plástica-mineralize>. Acesso em: 27 set. 2022.

TORRESI, S. I.; PARDINI, Vera L.; FERREIRA, Vitor F. O que é sustentabilidade?. Química nova, v. 33, n. 1, p. 1-1, 2010.

Y7RIK. Propileno: Estrutura Química, Propriedades e UsosMaestrovirtuale.com, 8 dez. 2019. Disponível em: <https://maestrovirtuale.com/propileno-estrutura-quimica-propriedades-e-usos/>. Acesso em: 17 set. 2022

## REFERÊNCIAS DE FIGURAS

FIGURA 2. Disponível em:<https://th.bing.com/th/id/R.46bf1e03c5bb285c0526d741fef95e7e?rik=c0mdRdduezFQlA&riu=http%3a%2f%2fimage.slidesharecdn.com%2fpolmeros-160913104516%2f95%2fpolmeros-20638.jpg%3fcb%3d1473763612&ehk=YjroUl%2btETnUX4uMlai2R26jgFjmKR2eaVS%2fSgEzhCE%3d&risl=&pid=ImgRaw&r=0>.

FIGURA 3. Disponível em:<https://www.mechanicalbooster.com/wp-content/uploads/2019/01/thermoplastic-moleculer-structure.png>.

FIGURA 4. Disponível em:<https://i.pinimg.com/originals/f4/f7/c3/f4f7c37ffca7f5078001aab5e7eea9fd.png>.

FIGURA 5. Disponível em:<www.researchgate.net/profile/Nelio-Machado-2/publication/320430846/figure/fig3/AS:550421342822402@1508242082423/Figura-3-Estrutura-molecular-da-celulose.png>.

FIGURA 6. Disponível em:<https://www.calderol.com.br/imagens/informacoes/rosca-helicoidal-01.jpg>.

FIGURA 7. Disponível em:<https://www.dhenryandsons.com/images/products/945-378-000%2072C%20x%20367%20SST%20SCREW%20WEB%20IMAGE.jpg>.

FIGURA 8. Disponível em:<https://precisaoeng.com/wp-content/uploads/2020/11/images.png>.

FIGURA 9. Disponível em:<https://i0.wp.com/biopdi.com.br/wp-content/uploads/2019/01/ensaio-tracao-polimeros.png>.

FIGURA 10. Disponível em:<https://www.summaryplanet.com/engineering/Failure-Analysis-and-Prevention_clip_image002.jpg>.

FIGURA 11. Disponível em:<https://afinkopolimeros.com.br/wp-content/uploads/2020/01/Esquema-MFI.png>.