



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

NATÁLIA ALVES LAURIANO

**ESTUDO COMPARATIVO DE DIFERENTES CARGAS
ADICIONADAS AO POLIPROPILENO PARA APLICAÇÃO NA
INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA**

João Pessoa

2023

NATÁLIA ALVES LAURIANO

**ESTUDO COMPARATIVO DE DIFERENTES CARGAS ADICIONADAS AO
POLIPROPILENO PARA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação de Engenharia Química do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Profa. Dra. Josilene de Assis Cavalcante.

João Pessoa

2023

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

L384e LAURIANO, NATÁLIA ALVES.

Estudo comparativo de diferentes cargas adicionadas ao polipropileno para aplicação na indústria automobilística / NATÁLIA ALVES LAURIANO. - João Pessoa, 2023.

37 f. : il.

Orientação: JOSILENE DE ASSIS CAVALCANTE.
TCC (Graduação) - UFPB/TECNOLOGIA.

1. polímeros, peças automotivas, talco, fibra de vidro. I. CAVALCANTE, JOSILENE DE ASSIS. II. Título.

UFPB/CT/BSCT

CDU 66.01(043.2)

NATÁLIA ALVES LAURIANO

**ESTUDO COMPARATIVO DE DIFERENTES CARGAS ADICIONADAS AO
POLIPROPILENO PARA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA**

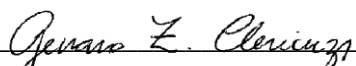
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação de Engenharia
Química do Centro de Tecnologia da
Universidade Federal da Paraíba em
cumprimento aos requisitos para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia
Química.

Aprovado em 27 de outubro de 2023

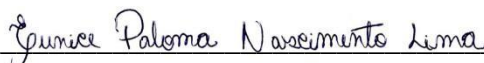
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Josilehe de Assis Cavalcante
Orientadora



Prof. Dr. Genaro Zenaide Cléricuzi
Examinador



Ma. Eunice Paloma Nascimento Lima
Examinadora

João Pessoa
2023

AGRADECIMENTOS

A Deus, por guiar minha vida e me dar forças para conquistar vitórias tão importantes.

Aos meus pais, Manoel e Risoneide por todo suporte, dedicação e amor para que eu chegasse a este momento. Sem eles nada seria possível.

Às minhas irmãs, Renata e Mayara pelo apoio e incentivo, que durante o caminho difícil me deram um grande aconchego, Marina e Otto, as luzes da minha vida.

Ao meu companheiro de vida, Renato por todo o carinho e compreensão durante os dias de luta.

À toda minha família por toda paciência e entendimento das minhas ausências.

À minha querida amiga, Tainá por todos os cafés durante a graduação, que nos fez chegar ao fim da graduação.

Aos professores de Engenharia Química, especialmente Profa. Dra. Josilene Cavalcante, por aceitar me orientar nesta reta final.

À empresa MinasPol, em especial a Andreza Silva, que possibilitou a realização da pesquisa disponibilizando o laboratório.

RESUMO

O mercado automobilístico, em busca de soluções mais leves e eficientes, tem aumentado o uso de polímeros na produção de peças. O polipropileno, devido ao seu custo-benefício e variedade de aplicações, é uma escolha promissora. A adição de cargas de reforço, como fibra de vidro e talco, pode melhorar significativamente as propriedades térmicas e mecânicas desses materiais. Este trabalho teve como objetivo realizar uma análise comparativa das propriedades reológicas, mecânicas e térmicas dos compósitos de polipropileno reforçados com fibras de vidro e talco. Onde foi observado como cada carga afetou as propriedades das peças injetadas. Os resultados mostraram que o material reforçado com fibra de vidro exibe maior resistência à tração, módulo elástico e temperatura de amolecimento, enquanto os compósitos reforçados com talco apresentam maior alongamento, resistência ao impacto e fluidez. Essas descobertas têm implicações importantes para a aplicação de polipropileno reforçado na indústria automobilística, otimizando o desempenho e a eficiência dos materiais.

Palavras-chave: polímeros, peças automotivas, polipropileno, talco, fibra de vidro.

ABSTRACT

The automotive market, in search of lighter and more efficient solutions, has increased the use of polymers in the production of parts. Polypropylene, due to its cost-benefit and variety of applications, is a promising choice. The addition of reinforcing fillers such as fiberglass and talc can significantly improve the thermal and mechanical properties of these materials. This work aimed to carry out a comparative analysis of the rheological, mechanical and thermal properties of polypropylene compounds reinforced with glass fibers and talc. Where it was observed how each load affected the properties of the injected parts. The results demonstrated that the glass fiber reinforced material has higher tensile strength, elastic modulus and softening temperature, while talc reinforced compounds have higher elongation, impact resistance and fluidity. These findings have important implications for the application of reinforced polypropylene in the automotive industry, optimizing material performance and efficiency.

Keywords: polymers, automotive parts, polypropylene, talc, fiberglass.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	10
2.1 OBJETIVO GERAL	10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
3. REVISÃO DE LITERATURA	11
3.1 POLÍMEROS	11
3.2 INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA	13
3.3 POLIPROPILENO	14
3.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS	17
3.5 PROPRIEDADES TÉRMICAS	18
4. MATERIAIS E MÉTODOS	21
4.1 ÍNDICE DE FLUIDEZ	21
4.2 ENSAIO MECÂNICO DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO	22
4.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO IMPACTO	24
4.4 ENSAIO TÉRMICO VICAT	27
4.5 ENSAIO TÉRMICO HDT	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5.1 ÍNDICE DE FLUIDEZ	29
5.2 ENSAIO MECÂNICO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	30
5.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO IMPACTO	33
5.4 ENSAIOS TÉRMICOS HDT E VICAT	33
6. CONCLUSÕES	35
REFERÊNCIAS	36

1. INTRODUÇÃO

A indústria automotiva está passando por mudanças significativas, impulsionada por uma crescente demanda por peças plásticas inovadoras. Estudos de mercado indicam que o mercado de plásticos automobilísticos até 2026 valerá até US\$ 68,9 bilhões, um salto notável em relação a 2018 com US\$ 48,7 milhões. Esse crescimento ressalta a importância do uso de materiais poliméricos no setor automotivo (Knauf Industries, 2022).

O crescimento expressivo pode ser justificado pelo fato de que os materiais poliméricos apresentam alto índice de confiabilidade e muitas vantagens em relação aos materiais mais tradicionais que estão substituindo, como o aço, alumínio, madeira, ferro. Os materiais poliméricos, além de permitirem maior flexibilidade de design e custo-benefício na sua fabricação, possuem baixa densidade e quando são utilizadas na indústria automobilística, reduzem o peso e conseqüentemente reduzem o desgaste dos carros (Hemais, 2003).

No âmbito automobilístico, os termoplásticos reforçados com fibras de vidro ou talco destacam-se, devido ao custo acessível e a ampla variedade de aplicações. A incorporação dessas cargas de reforço impulsiona aprimoramentos notáveis nas propriedades de resistência ao impacto, tração e, simultaneamente, na redução do coeficiente de dilatação térmica (Wiebeek E Harada, 2005).

Atualmente, o material polimérico mais utilizado na indústria automotiva é o polipropileno (PP), produzindo componentes internos e externos. Tornando-se, em 2020, o plástico mais procurado do mercado automobilístico. As vantagens que justificam essa quantidade de aplicações são: redução do peso, redução de custos, aumento da resistência a corrosão, veículos mais silenciosos, entre outras. Por este motivo o material escolhido para o estudo foi o polipropileno, que possui grande importância para o setor automotivo, um dos maiores responsáveis pelo uso do PP na injeção de peças (Hemais, 2003; Knauf Industries, 2022).

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar análise comparativa das propriedades reológicas, mecânicas e térmicas dos compósitos de polipropileno reforçado com cargas de fibra de vidro e talco.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conduzir ensaios comparativos com o polipropileno reforçado com 20% de fibra de vidro e 20% de talco;
- Avaliar as características das propriedades térmicas;
- Analisar as propriedades reológicas e mecânicas desses compósitos para avaliar seu comportamento.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 POLÍMEROS

A palavra polímero tem origem grega, sendo *poli* (muitos) e *meros* (iguais). E por definição os polímeros são compostos químicos de peso molecular alto, devido a associação de muitas (dezenas de milhares) unidades de repetição (meros). Esses materiais possuem como matéria prima de produção os monômeros, isto é molécula com uma (mono) unidade de repetição. Essa unidade repetitiva pode ser formada por meros iguais, gerando os homopolímeros e por dois ou mais meros diferentes, gerando os copolímeros (Canevarolo, 2002).

Os polímeros também podem ser divididos de acordo a fonte da matéria-prima que produzirá os monômeros. Podem ser de produtos naturais, que se encontram na natureza como macromoléculas, que após modificações se prestam à produção de polímeros comerciais, como a celulose e a borracha natural. Podem vir do carvão natural submetido a uma destilação seca, como o coque, etileno e metano. Ou pode ter origem do petróleo, fonte mais importante, por meio da destilação fracionada, como o propileno e o buteno (Canevarolo, 2002).

Há outras formas de classificar os polímeros, como a relacionada ao seu processamento. Podendo ser divididos em três classes, sendo, termoplásticos, termofixos e elastômeros (Paoli, 2008)

Os termoplásticos podem ser facilmente moldáveis. São constituídos por macromoléculas com ligações relativamente fracas, que ao serem aquecidas se quebram permitindo a flexibilidade e que atinjam um estado líquido viscoso e solúveis em solventes orgânicos comuns. Apresentam também uma importante característica de retornar ao estado sólido quando resfriados. Essa mudança de temperatura pode ser realizada repetidas vezes. (Canevarolo, 2002)

Os termofixos ou termorrígido são os polímeros que são moldados na forma de pré-polímero, durante sua fabricação, e depois são submetidos a um processo de “cura”, quando assumem a sua forma definitiva sem poderem ser moldados novamente por aquecimento (Paoli, 2008).

Os elastômeros, gomas ou borrachas, são materiais com alta elasticidade, podendo sofrer grandes deformações sem se romperem. De um modo geral, os elastômeros necessitam passar por um processo químico de reticulação (vulcanização no

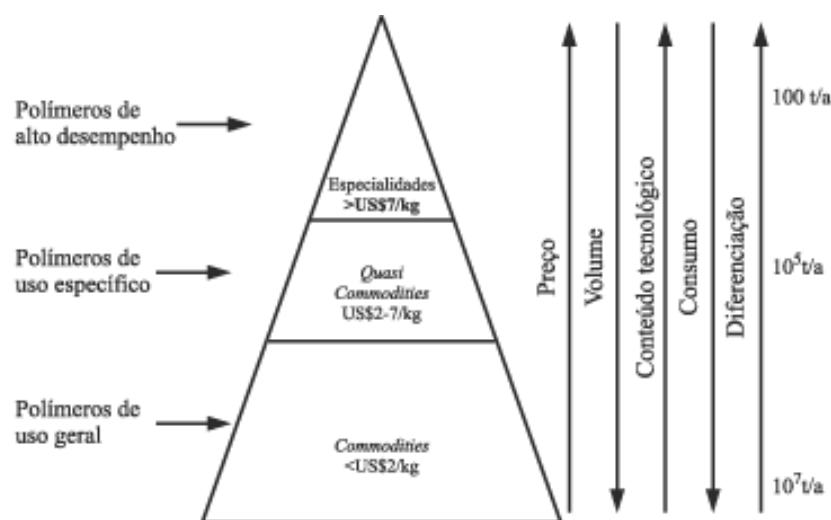
caso de a reação ser feita com enxofre) para serem usados. No entanto, também existem elastômeros que são moldados pelos mesmos processos usados para os termoplásticos, são os chamados “elastômeros termoplásticos” (Paoli, 2008)

Hemais (2003) descreve a classificação dos polímeros no mercado, que ocorre pela escala de produção, grau de diferenciação, nível de consumo e valor agregado. De forma geral, podem ser separados em três grupos:

- Polímeros tipo *commodities*, produzidos em larga escala, são utilizados em finalidades gerais, consumidos em grandes quantidades e com um baixo valor agregado.
- Polímeros *quase-commodities*, produzidos em larga escala, porém menos que os *commodities*, apresenta certa diferenciação de acordo com sua aplicação.
- Polímeros de especialidades, são produzidos em pequena escala, apresentam um alto desempenho com propriedades bem definidas e incomuns, direcionados a produtos específicos.

Essas separações podem ser mais bem observadas na Figura 3.1, onde Hemais (2003) representa esses polímeros e como as características deles afetam o seu mercado.

Figura 3.1 - Classificação dos polímeros



Fonte: Hemais (2003)

Para a formação dos polímeros, é necessário que os compostos químicos estejam suscetíveis a formarem macromoléculas, os monômeros. A reação de formação

dos polímeros é conhecida como polimerização, que é capaz de continuar indefinidamente, se for mantido as condições certas (Mano e Mendes, 1999).

Outra importante propriedade dos polímeros é o grau de cristalinidade. Os polímeros formam sólidos com uma fase cristalina e outra amorfa, a relação estequiométrica entre elas é chamada de grau de cristalinidade, expresso em porcentagem. Este grau de cristalinidade pode ser controlado pela taxa de resfriamento durante o processamento ou utilizando aditivos como a carga. E afeta as propriedades finais do polímero (Paoli, 2008).

3.2 INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA

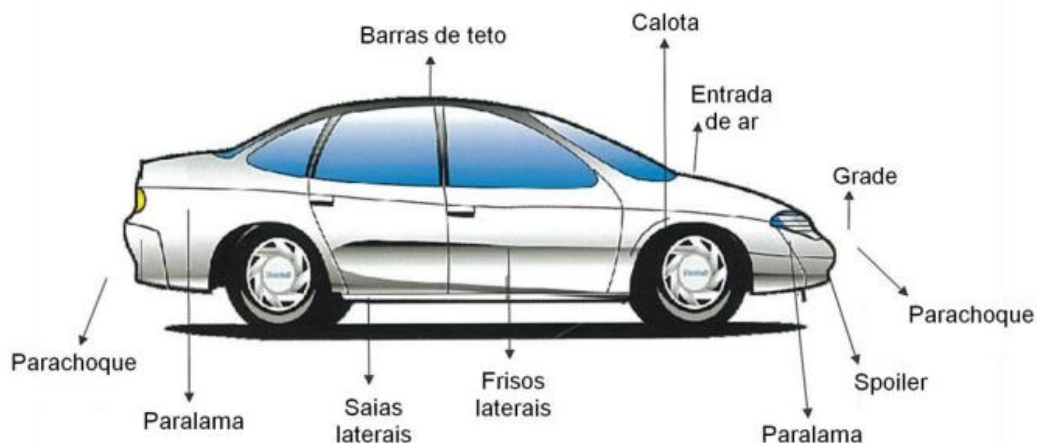
A indústria automobilística vem se reinventando e se tornando cada vez mais sustentável. As peças de metal estão sendo substituídas por materiais mais leves, que possam ser reciclados ou reutilizados no fim do ciclo de uso, como é o caso dos plásticos, que pesam até 50% menos em comparação aos itens tradicionais (Diário De Pernambuco, 2019).

As vantagens do uso de plásticos nos automóveis, vão além da redução do peso permitem formatos mais complexos e designs mais modernos, com redução no tempo de produção e custos. Possuem uma maior resistência a corrosão, bem como uma melhor processabilidade e aumento na segurança. Uma das desvantagens é a baixa resistência ao impacto, que pode ser superada com a produção especializadas para a exigência de uso (Hemais, 2003)

O polipropileno (PP) pode ser utilizado no interior, exterior e dentro do capô dos veículos. Entre as aplicações no interior dos carros, estão os painéis de instrumentos, painéis das portas, revestimentos e consoles. No exterior dos veículos pode ser utilizado em para-choques, grades, entre outros. Sendo também utilizado nas baterias, reservatórios de água e proteções embaixo do carro contra impacto de pedras (Petry, 2011).

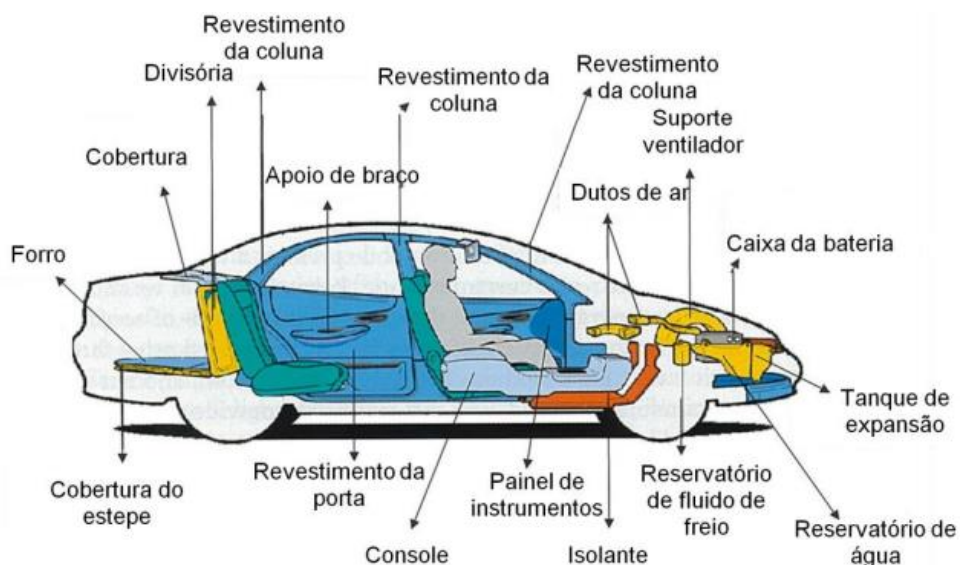
As possibilidades de aplicações do polipropileno (PP) nos automóveis, tanto na parte externa do automóvel como na interna, estão representadas nas Figuras 3.2 e 3.3, respectivamente.

Figura 3.2 – Aplicação de PP em partes externas do automóvel



Fonte: Petry (2011)

Figura 3.3 - aplicação de PP em partes internas do automóvel



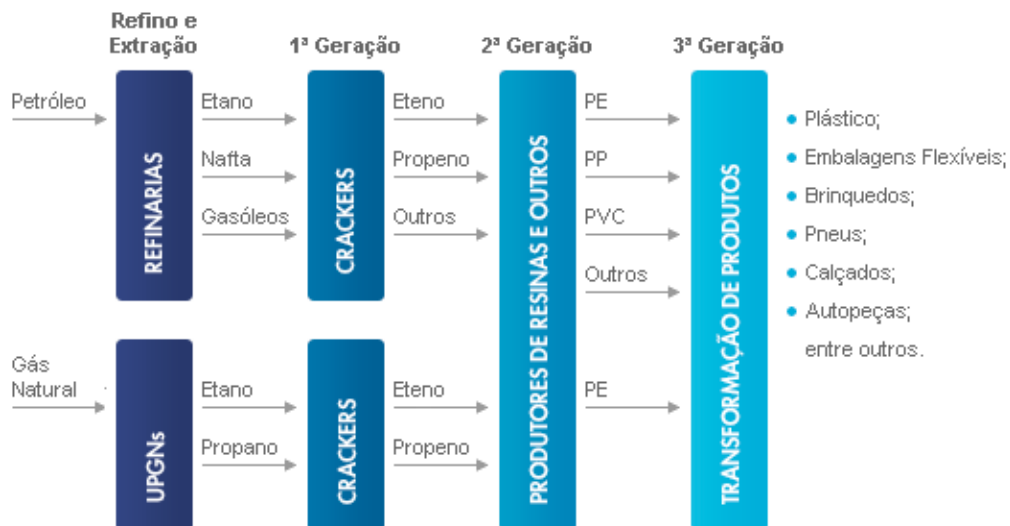
Fonte: Petry (2011)

3.3 POLIPROPILENO

O polipropileno (PP), desde sua introdução se tornou uma das mais importantes resinas termoplásticas tornando-se uma das mais consumidas no país. Isso é justificado pelo fato de o polipropileno ser um material versátil, reciclável e fácil de incinerar. Devido as suas características estruturais e propriedades mecânicas, vem sendo utilizado na produção de embalagens, componentes para montagem de automóveis e eletrodomésticos por exemplo (Oliveira, 2016).

O polipropileno é um polímero obtido através do propileno (propeno), subproduto gasoso da refinação do petróleo. Na Figura 3.4 é mostrado o esquema da refinação do petróleo e a obtenção do propeno (Carvalho, 2008).

Figura 3.4 – Esquema de refino do petróleo

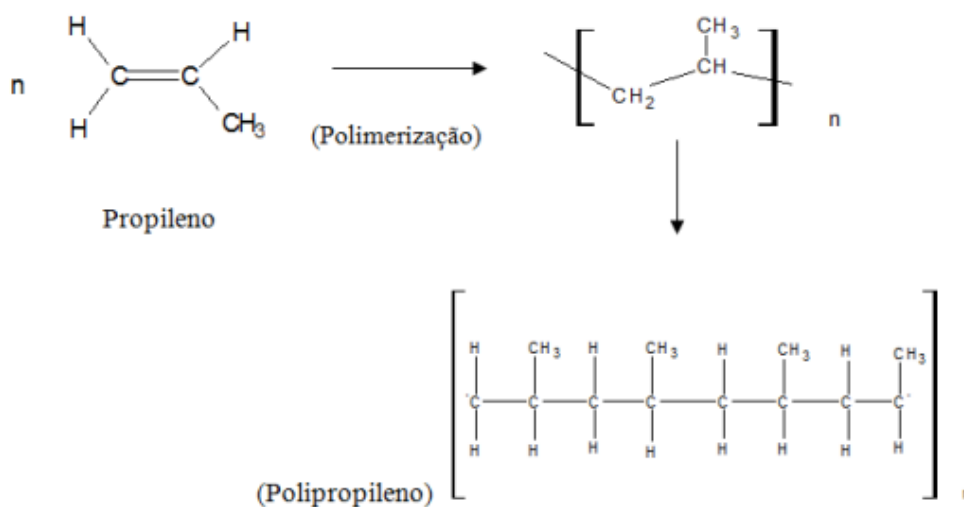


Fonte: Carvalho (2008)

No refino ocorre a separação dos diferentes componentes do petróleo por ação do calor, uma destilação fracionada. A destilação separa em diferentes intervalos de temperatura, as misturas de compostos de tamanho e composição similar. Das frações obtidas, a nafta, mistura de hidrocarbonetos, tem sido a mais utilizada para a fabricação de plásticos. (Carvalho, 2008)

O polipropileno é um termoplástico produzido por meio da polimerização, aquelas em que produtos simples, os monômeros, reagem entre si, combinando suas moléculas e formando macromoléculas, caracterizadas pela repetição de uma unidade básica. O monômero para produção de polipropileno é o propeno, um hidrocarboneto insaturado de fórmula C_3H_6 , ou seja, que contém uma dupla reação carbono – carbono reativa (Petry, 2011). Na Figura 3.5 se tem a representação dessa polimerização.

Figura 3.5 – Reação de polimerização do PP

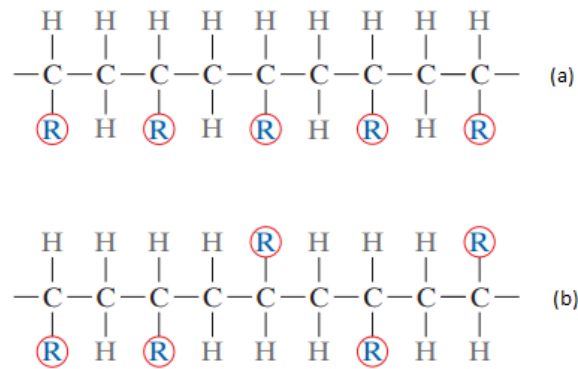


Fonte: Rodrigues et al. (2017)

Há inúmeras formas de conectar os monômeros, mas as duas formas mais comuns para o polipropileno comercial são: isotático (i-PP) e o atático (a-PP). O Polipropileno isotático, é um sólido semicristalino com boas propriedades físicas, mecânicas e térmicas. Por outro lado, sua forma atática é um material macio e viscoso utilizado em adesivos e selantes. É produzido em volumes muito menores como um subproduto da produção de polipropileno semicristalino. Possui propriedades mecânicas e térmicas inferiores à sua forma isotática (Karian, 2003). A estrutura dessas duas formas está representada na Figura 3.6.

No polipropileno isotático os grupos metil estão ordenados do mesmo lado da cadeia (Figura 3.6(a)), no atático a posição do grupo metil é de forma aleatória (Figura 3.6 (b)). Industrialmente o PP isotático é o mais utilizado devido sua estrutura regular, que o torna um termoplástico semicristalino, isso significa que ele possui uma maior resistência mecânica, alta rigidez e temperatura de distorção térmica (HDT) elevada (Carvalho, 2008).

Figura 3.6 – Representação (a) PP isotático (b) PP atático



Fonte: Callister e Rethwisch. (2016)

Segundo Petry (2011) polipropileno pode ser visto como um conjunto de três tipos: homopolímero; copolímero heterofásico e copolímero estatístico ou randômico. Cada um deles possui aplicações específicas, de acordo com suas características descritas abaixo:

- O homopolímero é mais rígido e cristalino, sendo aplicado tipicamente na forma de fibras ou em peças sujeitas a altas temperaturas;
- O copolímero randômico obtido pela adição do eteno ao propeno. É um pouco mais resistente ao impacto que o homopolímero e apresenta melhores propriedades ópticas;
- O copolímero heterofásico é fabricado em duas etapas de polimerização e com uma proporção de eteno maior que na produção do copolímero randômico. Uma parte se torna emborrachada, melhorando a absorção da energia no impacto.

3.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS

As propriedades mecânicas são parâmetros ou características do material que determinam sua resposta diante de esforços mecânicos sofridos. A natureza da resposta é correlacionada ao tempo, temperatura e ao nível de sollicitação mecânica aplicada, além de depender indiretamente da estrutura do material, do peso molecular, das condições de ensaio, do modo como a amostra foi preparada e as interações interfaciais alcançadas (Cruz, 2006).

3.5 PROPRIEDADES TÉRMICAS

As propriedades térmicas dos materiais são muito importantes quando se deseja avaliar o potencial térmico para fins específicos. De acordo com Callister Jr. e Rethwisch (2016), a propriedade térmica é a resposta de um material à aplicação de calor.

3.6 CARGAS

Os polímeros puros apresentam propriedades que muitas vezes não atendem às especificações técnicas que as peças finais fabricadas a partir deles devem possuir. Por isso, propriedades dos polímeros tais como resistência à tração, resistência química a ataques ácidos e básicos, resistência à deformação ao calor, entre outras, são aprimoradas através da adição de cargas minerais, tratadas superficialmente ou não, em quantidades adequadas. As cargas são mais baratas e substituem uma parte do volume do polímero, que é mais caro, fazendo com que o custo do produto final seja menor (Callister Jr e Rethwisch, 2016; Lima, 2007).

Cada tipo de carga mineral tem propriedades diferentes e são influenciadas pelo tamanho da partícula, forma, dureza, composição química e estrutura cristalina. Além disso a escolha da carga leva em consideração as condições de extração e disponibilidade no Brasil. (Lima, 2007).

3.6.1 Talco

O talco é um mineral que tem sua célula unitária constituída por três camadas sobrepostas, onde duas camadas, ou folhas, de siloxana (Si_2O_5)⁻² são intercaladas com uma folha de brucita [$\text{Mg}_3(\text{H})_6$] unidas através de ligações covalentes, onde alguns átomos de oxigênio da folha de siloxana substituem hidroxilas da folha da brucita. Essas camadas juntas constituem uma lamela que se unem às outras lamelas semelhantes por ligações de van der Waal. Essas ligações fracas propiciam o fácil desmembramento destas lamelas. (Lima, 2007).

Em um material polimérico reforçado com talco, as lamelas do talco tendem a se orientar no sentido do fluxo durante a moldagem, isso aumenta a rigidez e a temperatura de deflexão térmica (HDT) do material. Conforme o tamanho da partícula do talco diminui, a resistência a tração tende a aumentar suavemente (Karian, 2003).

A estabilidade térmica conferida com o reforço do talco é muito importante para a indústria automobilística, pois os veículos podem chegar a $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ em pontos extremos do planeta, assim como a $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ em seu interior, quando parado ao sol em regiões muito quentes. Esta propriedade impede o encolhimento e dilatação das peças, que poderia afetar tanto a funcionalidade quanto a aparência (Schutt, 2014).

3.6.2 Fibra De Vidro

Os vidros são substâncias que se solidificam no estado amorfo. São obtidos da fusão de óxidos ou seus derivados, principalmente a sílica (SiO_2), com outros ingredientes, com temperaturas aproximadas de $260\text{ }^{\circ}\text{C}$, de acordo com a composição. Utiliza-se fibras curtas e descontínuas, distribuídas aleatoriamente (Wiebeek e Harada, 2005).

O baixo custo não é o único motivo do seu sucesso, os materiais reforçados com fibras de vidro possuem baixo coeficiente de dilatação térmica, boa resistência ao impacto e uma alta resistência a tração (Wiebeek e Harada, 2005).

Por dificuldades de processamento, comumente não se utiliza uma quantidade superior a 40%, onde a fibra de vidro tende a aflorar a extremidade da peça, comprometendo a aparência do produto e devido ao cisalhamento destes moldes e componentes da máquina, gerando um custo maior de manutenção. Outro ponto é que a fibra em excesso pode estilhaçar e criar pontas num eventual acidente ou teste de impacto, restringindo o seu uso a peças que não tenham contato com usuários (Schutt, 2014).

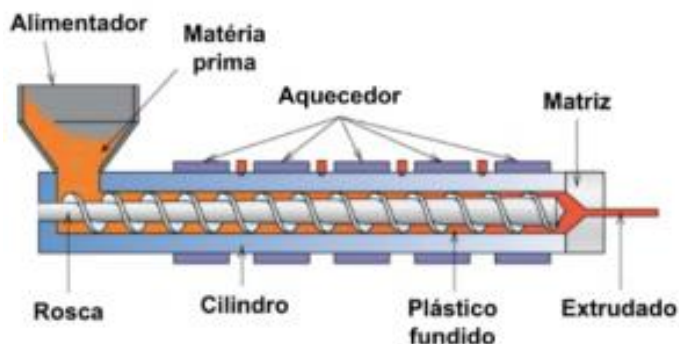
3.7 EXTRUSÃO

O processo de extrusão consiste na obtenção de produtos por meio da passagem do material fundido através de uma matriz, formando depois sua solidificação. O processo é realizado a partir da fusão e homogeneização do material com pressão, vazão e temperaturas controladas (Bretas, 2005).

O polímero na forma de pellets (grãos) é alimentado através do funil para a carcaça que está aquecida, onde o material é fundido e bombardeado para dentro da matriz por meio da rosca. Esse equipamento é denominado extrusora, e é mais que uma bomba, pois proporciona energia térmica para fundir o polímero e é responsável pela mistura e homogeneização (Bretas, 2005).

Na Figura 3.7 pode ser observado um esquema para extrusão de polímeros, polipropileno puro e reforçado, entre outros.

Figura 3.7 – Esquema de uma extrusora



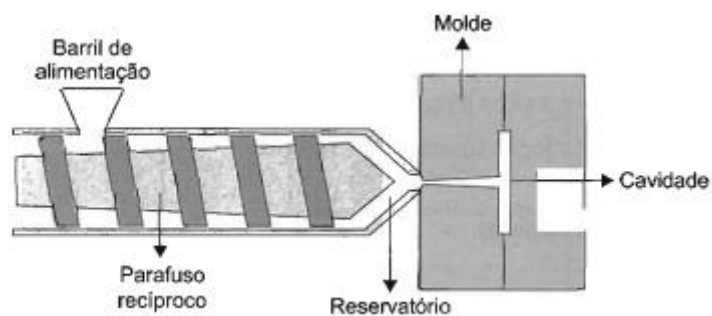
Fonte: Byengenharia, 2019

3.8 INJEÇÃO

Para transformar termoplásticos em artigos para uso final, ou em corpos de prova, a moldagem por injeção é o método mais utilizado. É um processo, simples e rápido e razoavelmente econômico (Giroto, 2016).

A injeção de polímeros (Figura 3.8) consiste num processo de moldagem, que envolve o enchimento rápido sob pressão de uma cavidade de um molde com o polímero, seguido da solidificação, formando o produto. Esse processo torna possível a fabricação de uma imensa variedade de produtos, com formas e tamanhos diferentes (Bretas, 2005).

Figura 3.8- Esquema de uma máquina injetora



Fonte: Bretas (2005)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho o polipropileno (PP natural) homopolímero utilizado foi obtido por meio de um processo de extrusão, onde as cargas foram adicionadas. A amostra A possui uma composição de PP com 20% de talco e a amostra B possui uma composição de PP com 20% de fibra de vidro. A Extrusão foi realizada com temperatura na faixa de 200°C a 225°C ao longo da rosca.

Para analisar a propriedade reológica, os pellets das amostras previamente processados na extrusora, foram utilizados para obtenção do índice de fluidez. Já para as propriedades mecânicas e térmicas foram produzidos corpos de prova de cada amostra a partir dos pellets extrusados, utilizando uma máquina injetora. A temperatura nas zonas de aquecimento da injetora variam na faixa de 180 °C a 260 °C.

4.1 ÍNDICE DE FLUIDEZ

A medida do Índice de Fluidez (IF) ou em inglês *Melt Flow Index* (MFI) foi criado para controle de qualidade da produção de materiais poliméricos, principalmente termoplásticos, com a intenção de determinar um índice de processabilidade fácil de ser obtido (Canevarolo, 2003).

O procedimento para determinar o MFI diz respeito à medida da taxa de fluxo de um polímero através de um orifício de dimensões especificadas, com controle de carga, temperatura e posição do pistão do equipamento. Esse ensaio é bastante sensível a detalhes dos procedimentos, por isso necessita de maior atenção (Canevarolo, 2003).

Segundo Costa (2015) o índice de fluidez é uma avaliação da massa molecular do polímero e é um valor inversamente proporcional à viscosidade da massa, em outras palavras, quanto maior a fluidez, mais o polímero flui nas condições de teste (processamento). Conhecer o índice de fluidez é vital para antecipar condições e controlar o seu processamento.

A *American Society for Testing and Materials* (ASTM) é uma organização de normas internacionais, e fornece uma definição formal do índice de fluidez (MFI) em sua norma ASTM D1238: O índice de fluidez é a taxa de fluxo (em gramas por 10 minutos) de material fundido através de um orifício calibrado de um plastômetro de extrusão, sob condições de temperatura e pressão especificadas (ASTM, 2014).

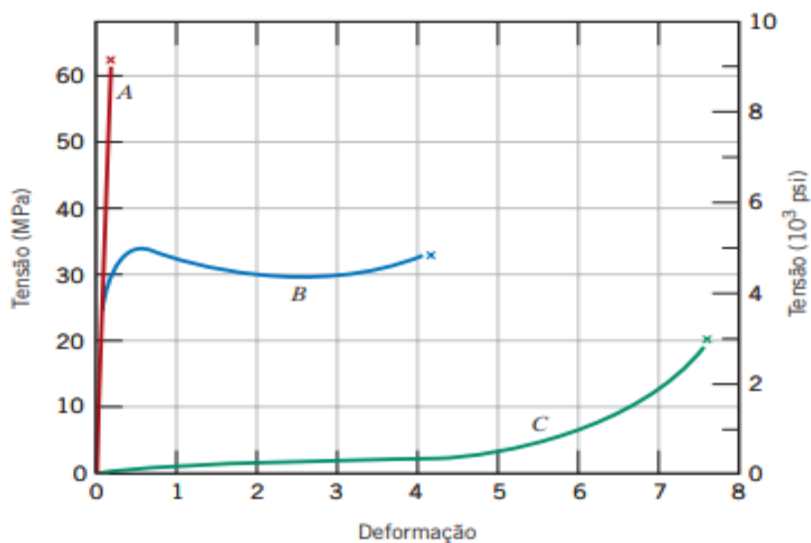
Para medir o índice de fluidez das amostras, o equipamento utilizado foi o plastômetro de extrusão. O procedimento foi realizado de acordo com norma ASTM D-1238. E foi efetuada extrusando-se o polímero pelo barril de extrusão, onde em sua extremidade há uma matriz de dimensões específicas. A operação ocorre sob pressão imposta, decorrente da aplicação de uma carga constante de 2,16 kg no topo da coluna do fundido. Para determinar o índice de fluidez foi realizada a medição da massa do material que sai da matriz durante 10 segundos, após 5 minutos de aquecimento, com a temperatura de 230°C. A unidade de medida é expressa em gramas de material/10 minutos (g/10 min).

4.2 ENSAIO MECÂNICO DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO

O ensaio de tração é o mais importante para os polímeros. Os principais parâmetros medidos através dos ensaios de tração são a resistência a tração, alongamento e módulo de elasticidade. A resistência a tração é avaliada por unidade de área no momento da ruptura, o alongamento representa o aumento percentual do comprimento da peça no momento da ruptura e o módulo de elasticidade é medido pela razão entre a tensão e a deformação, dentro do limite elástico, onde a deformação é totalmente reversível e proporcional à tensão (Canevarolo, 2003).

Os ensaios de tração avaliam as propriedades mecânicas através da análise do gráfico gerado nesse ensaio, o diagrama de tensão deformação, representado na Figura 4.1.

Figura 4.1 – Comportamento tensão X deformação dos materiais poliméricos



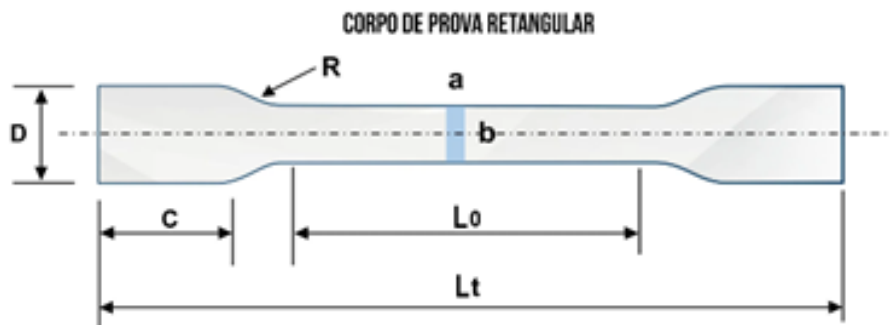
Fonte: Callister Jr. e Rethwisch (2016)

Segundo Callister Jr. e Rethwisch (2016), os materiais poliméricos são encontrados em três tipos de comportamento tensão-deformação diferentes, conforme apresentado na Figura 3.4. A curva A demonstra o comportamento de um polímero frágil, mostrando que este sofre fratura enquanto se deforma elasticamente. A curva B representa o comportamento de um material plástico, e é semelhante aos dos materiais metálicos, onde a deformação inicial é elástica, seguida por escoamento e por uma região de deformação plástica. E por fim, a deformação apresentada pela curva C é totalmente elástica, acontece em polímeros elastômeros que apresentam essa elasticidade típica da borracha.

Os ensaios de tração foram realizados com cinco corpos de prova de cada material, de acordo com a norma ASTM D638, determinando as propriedades mecânicas dos materiais: resistência à tração e alongamento até a ruptura. Os ensaios foram feitos no equipamento JINGMI, modelo WDT – W, que controla os testes de forma computadorizada. A velocidade do teste foi de 5mm/min, em temperatura ambiente (23°C).

Os corpos de prova utilizados no ensaio, estão em concordância com a norma D638, são padronizados na forma de gravata e foi representado na Figura 4.2.

Figura 4.2- especificações das medidas do corpo de prova para ensaio de tração



Fonte: Biopi (2022)

Neste ensaio, os corpos de prova foram fixados em dispositivos chamados de garras, que são acopladas à travessa fixa e móvel da Máquina Universal de ensaios (Figura 4.3), onde é aplicado uma força de tração axial, promovendo a deformação do material que tende a alongar até a fratura.

A taxa de deformação de tração é controlada pelo mecanismo de direcionamento, enquanto a tensão de tração sustentada pela amostra é registrada pela célula de carga, ambos acoplados a travessa fixa.

Figura 4.3 – Máquina universal de ensaio: modelo de coluna dupla



Biopi (2022)

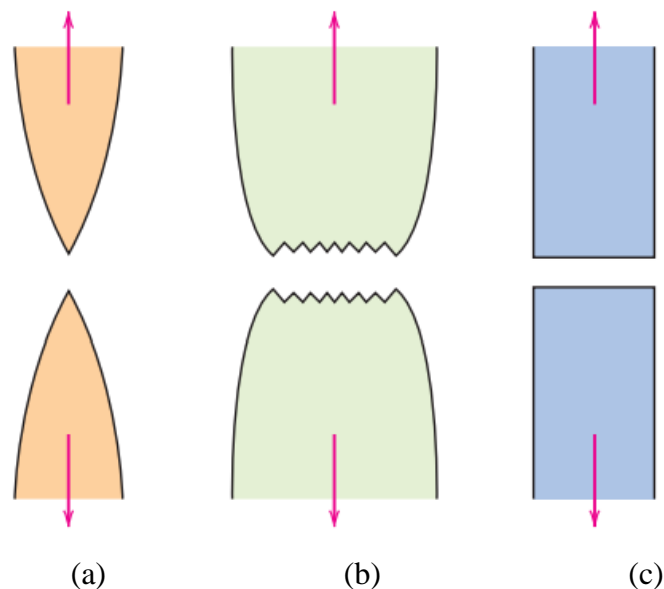
Quando o corpo de prova é submetido a um ensaio de tração, a máquina de ensaio fornece um gráfico que mostra as relações entre a força aplicada e as deformações ocorridas durante o ensaio, a curva tensão-deformação. As curvas foram obtidas por meio do programa *Tensile Function*.

4.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO IMPACTO

São realizados testes para medir a capacidade do material de resistir ao impacto, pois alguns materiais falham sob impacto com rachaduras ou entalhes. O ensaio de impacto mede a quantidade de energia absorvida por uma amostra do material, quando submetida a uma ação de esforço de impacto por um pêndulo. Estes ensaios determinam as propriedades de fratura do material, sendo resultados qualitativos. Os polímeros exibem fratura dúctil onde há deformação plástica, o material se deforma formando uma espécie de pescoço até um único ponto, antes da fratura. Fratura frágil, sem nenhuma deformação plástica, e a rápida propagação de uma trinca. E os materiais ainda podem se

comportar de forma moderadamente dúctil, onde sofre um estrangulamento parcial. Essas deformações podem ser observadas na Figura 4.4.

Figura 4.4 – Deformação dos materiais (a) dúctil (b) moderadamente dúctil (c) frágil.



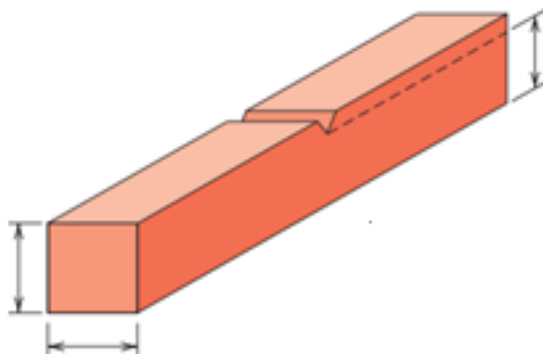
Fonte: Callister Jr. e Rethwisch (2016)

As duas características mais desejadas são uma elevada resistência ao impacto em temperatura ambiente e que a temperatura de transição dúctil-frágil seja mais baixa que a temperatura ambiente (Callister Jr e Rethwisch, 2016).

Os resultados do comportamento sob impacto desses materiais poliméricos são de grande importância para a indústria, visto que pode ser fator decisivo na seleção do material devido as aplicações práticas, como por exemplo, o choque mecânico em quedas e batidas (Canevarolo, 2002).

O ensaio de resistência ao impacto foi realizado em temperatura ambiente (23°C) com o corpo de prova entalhado, representado na Figura 4.5. Esse entalhe de 45°, atua como concentrador de tensão, minimizando deformação plástica e orientando a fratura para a parte do corpo de prova atrás do entalhe.

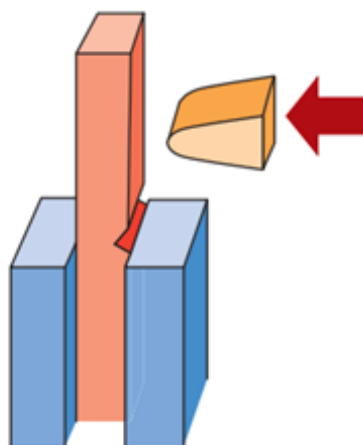
Figura 4.5 – Corpo de prova para IZOD



Fonte: Callister Jr. e Rethwisch (2016)

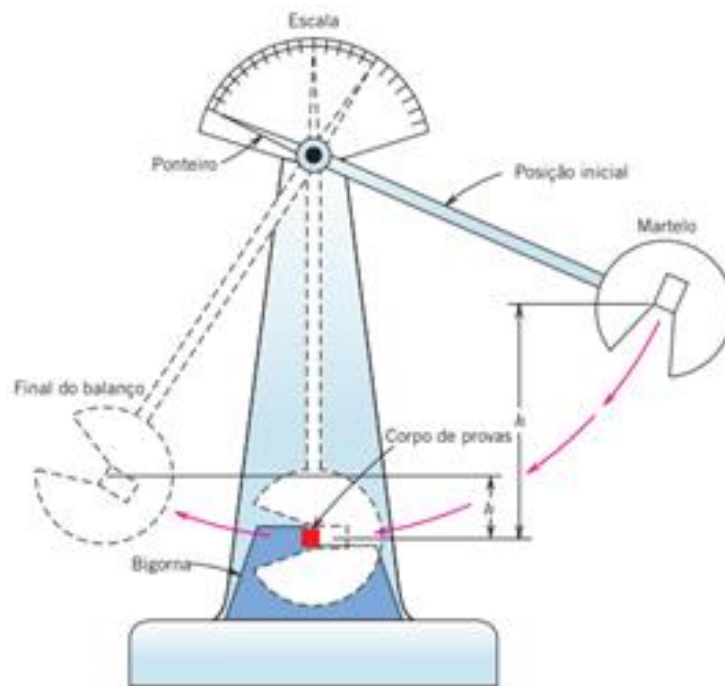
O ensaio, do tipo IZOD, foi realizado de acordo com a norma ASTM D256. A amostra é mantida verticalmente, como mostra a Figura 4.6, e é quebrada por uma única oscilação do pêndulo com a linha de contato inicial a uma distância fixa da amostra e da linha central do entalhe. Como podem ver representado na Figura 4.7. Com a velocidade do pêndulo estipulada em 3,5m/s, a perda de energia durante a quebra da amostra, nos diz qual a energia necessária para a fratura da amostra.

Figura 4.6 – encaixe do corpo de prova



Fonte: Callister Jr. e Rethwisch (2016)

Figura 4.7 – Esquema do ensaio IZOD



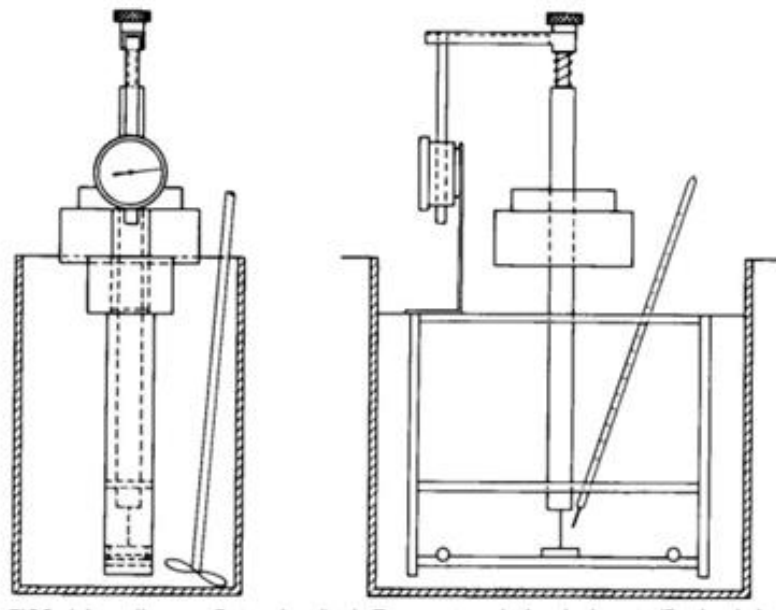
Fonte: Callister Jr. e Rethwisch (2016)

4.4 ENSAIO TÉRMICO VICAT

A temperatura na qual uma agulha de secção transversal penetra uma profundidade definida um corpo de prova, sob carga específica e utilizando uma velocidade de aquecimento selecionada, definindo assim o ponto Vicat ou ponto de amolecimento (Dornelles Filho, 2006).

O equipamento utilizado para este ensaio possui um sistema de aquecimento composto por um banho aquecido, que contém o meio de transferência de calor e sistema de agitação, além de possuir dispositivo de medição de temperatura e aquecedor com controle automático. No final da haste há uma agulha, que encosta no corpo de prova sob uma carga. Seguindo a norma ASTM D-1525 (Figura 4.8). O ensaio foi realizado com as seguintes condições: velocidade de $50^{\circ}\text{C}/\text{h}$ e temperatura máxima: 300°C .

Figura 4.8 – Esquema para determinação da temperatura de amolecimento VICAT



Fonte: ASTM D 1525 – 2014

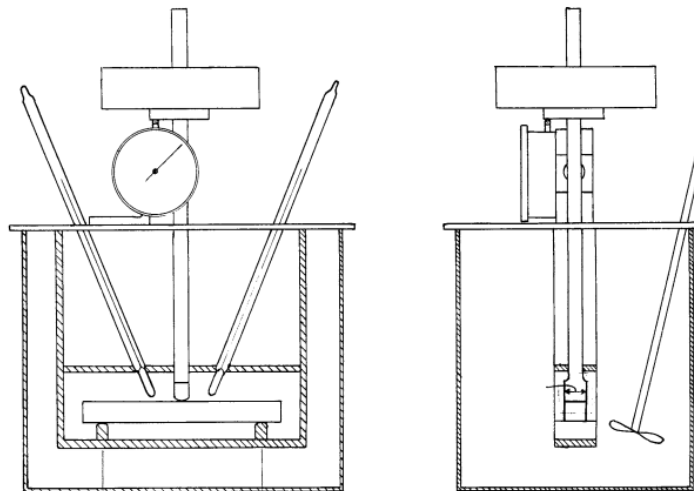
4.5 ENSAIO TÉRMICO HDT

Uma característica interessante dos plásticos modernos é a obtenção de polímeros resistentes a altas temperaturas. A temperatura de deflexão ou distorção, HDT (*HEAT DISTORTION TEMPERATURE*), representa a temperatura máxima que um material submetido a um determinado esforço permanece sem se deformar. Altos resultados de HDT são uma boa característica para aplicações na indústria automotiva por exemplo, podendo substituir peças metálicas visando diminuir o peso das peças utilizadas (Paolli, 2008).

A temperatura na qual uma deflexão ocorre, sob efeito de uma carga definida. Não há intenção de se estabelecer os limites de temperaturas suportadas pelo material para aplicações específicas, mas fornecer uma ideia de resistência térmica sob cargas mecânicas, particularmente na seleção de plásticos (Dornelles Filho, 2006).

O equipamento utilizado neste ensaio possui um sistema de aquecimento composto por um banho aquecido, que contém o meio de transferência de calor e sistema de agitação, além de possuir dispositivo de medição de temperatura e aquecedor com controle automático. No final da haste há um peso encostado sobre o corpo de prova, que está apoiado em uma base, que aplicará a carga até a deflexão do material. Seguindo a norma ASTM D-1525 (Figura 4.9). O ensaio foi realizado com as seguintes condições: velocidade de 50°C/h e temperatura máxima: 150°C.

Figura 4.9 – Esquema para determinação da temperatura de deflexão HDT



Fonte: ASTM D 648 - 2007

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ÍNDICE DE FLUIDEZ

Na Tabela 5.1 estão os índices de fluidez das amostras A e B. É notável que o PP com a adição de talco apresenta uma maior fluidez, conforme indicado pelo índice de fluidez médio de 19,33 g/10min comparado a 7,49 g/10min do PP com fibra de vidro. Essa observação pode ser atribuída à influência das cargas de reforço no comportamento do polipropileno. No caso do PP com fibra de vidro, as cadeias moleculares parecem ser mais afetadas, resultando em uma menor fluidez.

Em termos de processamento um maior valor de fluidez, como observado no material reforçado com talco, pode ser uma vantagem, visto que o aumento da capacidade de fluxo pode-se traduzir em uma maior facilidade de processamento do material. Isso pode sugerir que o PP com talco pode ser mais adequado para peças automotivas de maiores dimensões. (Irineu, 2022).

Tabela 5.1 – Resultados do índice de fluidez do PP com 20% de fibra de vidro e do PP com 20% de talco

MATERIAL	MFI (g/10min)	MÉDIA MFI (g/10min)	Desvio Padrão
PP 20% Fibra de Vidro	7,43	7,49	0,06
	7,55		
	7,48		
PP 20% Talco	19,32	19,33	0,03
	19,37		
	19,31		

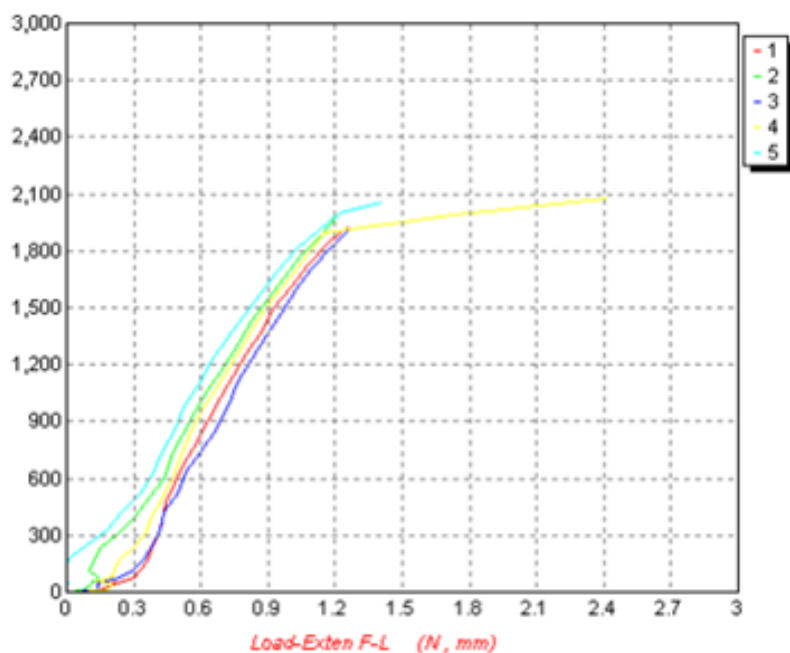
Um comparativo para esses resultados, pode ser o polipropileno da Braskem, bastante utilizado no mercado, que de acordo com a folha de dados da Braskem (2018) o Polipropileno (PP H 103) indicado para injeção por moldagem e aplicações em compósitos, apresenta 40g/10min de índice de fluidez. Com isso, podemos observar que o Talco reduz a fluidez em 51,7%

5.2 ENSAIO MECÂNICO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

Os ensaios de tração para as amostras obtiveram curvas de tensão-deformação diferentes entre si, conforme pode ser observado na Figura 5.1, que representa a amostra de PP com fibra de vidro e a Figura 5.2, curva da amostra de PP com talco.

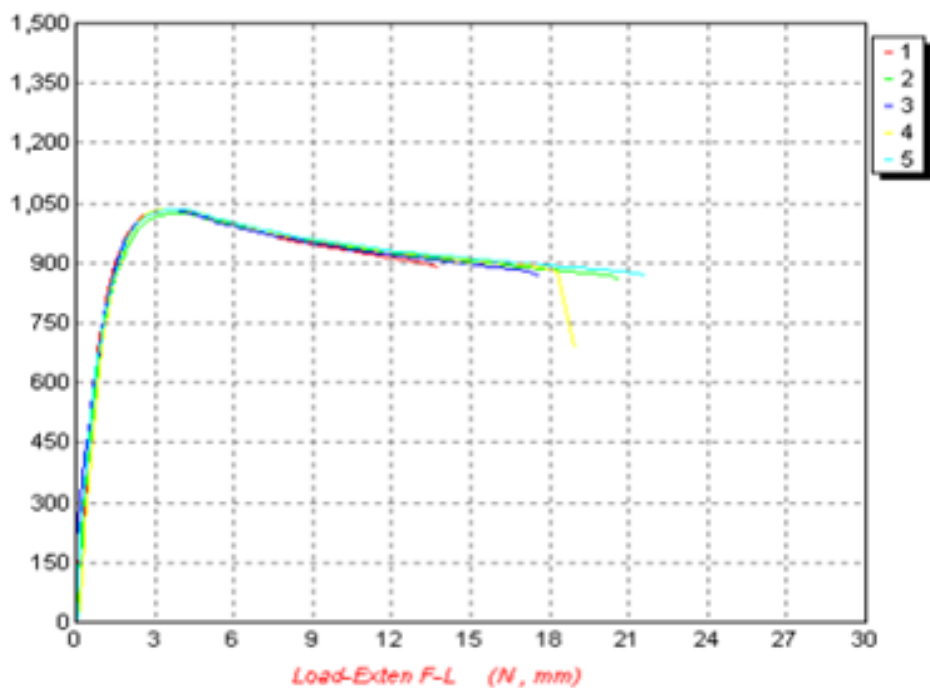
As curvas de tensão deformação dos dois materiais apresentam comportamento característico de um termoplástico homopolímero. Inicialmente há uma deformação elástica, seguida por um escoamento e por uma região de deformação plástica.

Figura 5.1 – Curva tensão- deformação do PP 20% fibra de vidro



Fonte: Programa *Tensile Function*, 2023

Figura 5.2- Curva tensão-deformação do PP 20% talco



Fonte: Programa *Tensile Function*, 2023

A curva de tensão-deformação do PP com fibra de vidro apresentou uma menor deformação plástica, por ser mais rígido, essa informação pode ser também observada ao se analisar o módulo de elasticidade, quanto maior, menor será a deformação elástica.

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à tração dos cinco corpos de prova de cada amostra de material, estão expressos na Tabela 5.2.

Tabela 5.2- Resultados de resistência à tração, módulo elástico e alongamento do PP 20% fibra de vidro e PP 20% talco

Material	Resistência a tração (mpa)	Módulo elástico (mpa)	Alongamento (%)
PP 20% fibra de vidro	48,33	1891,75	5,04
	49,57	951,37	4,83
	48,06	1469,45	5,07
	51,94	1452,14	9,68
	51,41	912,66	5,64
Média	49,86	1335,47	6,05
Desvio padrão	1,76	408,44	2,05
PP 20% talco	25,85	504,05	55,13
	25,60	515,21	82,76
	25,81	438,20	70,61
	25,87	565,15	75,58
	25,87	524,87	86,50
Média	25,80	509,50	74,12
Desvio padrão	0,11	46,04	12,28

A amostra de PP carregado com de fibra de vidro apresentou resultados de resistência à tração mais elevados relacionados ao PP carregado com de talco, isto pode ser atribuído a adição de fibras a matriz do PP, que acarreta o aumento da rigidez e a resistência a tração. No entanto, essa melhoria ocasiona uma notável redução na sua capacidade do material de se deformar, o que leva a um aumento perceptível de sua fragilidade (Miguel, 2010).

O menor valor de alongamento observado no PP com fibra de vidro pode ser explicado pelo fato de que a adição de cargas rígidas tem o efeito de diminuir a cristalinidade das cadeias poliméricas. Em consequência disto a deformação antes da ruptura é significativamente inferior em comparação ao PP carregado com uma carga menos rígida. Além disso, o módulo elástico, que fornece uma medida da rigidez de um material sólido, confirma a maior rigidez do PP com fibra de vidro em comparação com o talco, conforme apresentado na Tabela 5.2 (Dalpiaz, 2006).

5.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO IMPACTO

Os resultados do ensaio de resistência ao impacto estão detalhados na Tabela 5.3. É evidente que o PP com de talco exige uma energia maior para quebrar os corpos de prova em comparação ao PP com de fibra de vidro. Esse achado indica que há uma correlação inversa entre a resistência ao impacto e a resistência à tração.

A relação inversa entre essas duas propriedades sugere que, à medida que a resistência à tração aumenta, a resistência ao impacto tende a diminuir. Isso pode ser explicado pelo fato de que materiais com maior resistência à tração geralmente são mais rígidos e menos capazes de absorver energia em situações de impacto.

Tabela 5.3 – Resultados obtidos no ensaio IZOD com entalhe do PP 20% fibra de vidro e PP 20% talco

Material	Resistência ao impacto (kJ/m ²)	Média da resistência ao impacto (kJ/m ²)	Desvio Padrão
PP 20% fibra de vidro	1,72	1,67	0,038
	1,63		
	1,65		
	1,65		
	1,70		
PP 20% talco	2,31	2,30	0,046
	2,30		
	2,23		
	2,35		
	2,33		

5.4 ENSAIOS TÉRMICOS HDT E VICAT

Os ensaios térmicos de HDT e Vicat compartilham o propósito comum de determinar a temperatura de amolecimento do polímero. Os resultados desses testes estão registrados na tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Resultados dos ensaios Vicat e HDT

Material	Vicat	HDT
PP 20% fibra	150,63	117,15
de vidro	149,20	115,02
Média	149,91	116,09
Desvio padrão	1,01	1,51
PP 20% talco	97,09	89,98
	98,83	90,79
Média	97,96	90,38
Desvio padrão	1,23	0,57

A fibra de vidro melhora em 38,5% a temperatura de deflexão (HDT) em comparação ao PP puro, que segundo a Norma ASTM D 648 é de 83,8°C. Já o talco apresenta uma melhoria de 7,85%.

A temperatura de amolecimento do PP puro de acordo com a Norma ASTM D 1525 é de 92,5°C. Comparando esse valor, com os testes realizados, o Material reforçado com fibra de vidro melhorou em 62,1% a temperatura de amolecimento, enquanto o reforçado com talco teve uma melhora de apenas 5,9%.

Estes resultados enfatizam a capacidade do PP com fibra de vidro de suportar temperaturas mais altas sem amolecer, o que pode ser vantajoso em aplicações de peças automotivas que precisam resistir a temperaturas mais elevadas.

6. CONCLUSÕES

- A adição de talco resultou em maior fluidez, tornando esses compósitos adequados para peças automobilísticas de maior porte. Entretanto, essa melhoria na fluidez foi acompanhada por uma redução na resistência ao impacto, o que pode ser crítico em certas aplicações.
- Por outro lado, a incorporação de fibra de vidro tendeu a aumentar a resistência à tração e a rigidez, tornando-os uma escolha apropriada para aplicações que enfatizam essas propriedades. No entanto, a resistência ao impacto e a capacidade de deformação desses compósitos são reduzidas, o que requer consideração em cenários onde a resistência ao impacto é crucial.
- A análise das temperaturas de amolecimento, por meio dos testes de HDT e Vicat, destacou a importância da estabilidade térmica. Os compósitos de polipropileno com fibra de vidro mostraram capacidade superior de resistir a temperaturas mais elevadas, o que é vantajoso em aplicações sujeitas a condições térmicas extremas.
- Essas descobertas têm o potencial de orientar a seleção de materiais na indústria automobilística, permitindo o desenvolvimento de peças que atendam aos rigorosos padrões de desempenho e durabilidade estabelecidos por essa indústria em constante evolução.

REFERÊNCIAS

ASTM. American Society for Testing and Materials. ASTM D-1238: Standard Test Method for Melt Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer, 2014.

ASTM. American Society for Testing and Materials. ASTM D-1525: Standard Test Method for Vicat Softening Temperature of plastics. 2014.

ASTM. American Society for Testing and Materials. ASTM D-638: Standard Test Method for Tensile Properties of plastics. 2014.

ASTM. American Society for Testing and Materials. ASTM D-648: Standard Test Method for Deflection Temperature of Plastics Under Flexural Load in the Edgewise Position, 2007.

BIOPDI. **Ensaio de tração**. Disponível em: <https://biopdi.com.br/artigos/ensaio-de-tracao/>. Acesso em: 01 de outubro de 2023.

BRASKEM. **Folha de dados Polipropileno H 103**. 2018.

BRETAS, R. E. S.; D'ÁVILA, M. A. **Reologia de polímeros fundidos**. São Paulo: EdUFSCar – Editora da Universidade Federal de São Carlos, 2005.

BY ENGENHARIA. **O que é extrusão de plástico** Disponível em: < <https://byengenharia.com.br/o-que-e-extrusao-de-plastico/>>. Acesso em: 01 de outubro de 2023.

CALLISTER JR, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**, 9ª Edição, Rio de Janeiro: LTC Rio, 2016.

CAMARGO, A. S. **Compósitos de Polipropileno reforçado com farinha de madeira para aplicações em produtos moldados por injeção**. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos materiais), Universidade São Francisco, Cidade, 2006.

CANEVAROLO JR, S. V. **Ciência dos Polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 1ª edição. São Paulo: ArtliberEditora, 2002.

CARVALHO, L. B. **Produção de polipropileno bi-orientado (BOPP): tecnologia e aplicações**. 44 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2008.

COSTA, D. 2015. **“Tudo que você precisa saber sobre Índice de Fluidez de Resinas Plásticas”**. Disponível em: <<https://digitrol.com.br/tudo-voce-precisa-saber-sobre-indice-de-fluidez-de-resinas-plasticas/>> Acesso em 05 de setembro de 2023.

CRUZ, M. C. A. **Correlações entre propriedades dinâmico-mecânicas e durabilidade sob fadiga mecânica em compósitos de polipropileno**. 247 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

DALPIAZ, G. **Estudo do efeito de cargas minerais em compósitos poliméricos particulados em matriz de polipropileno**. 236 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Metalurgia Extrativa) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

DIÁRIO DE PERNAMBUCO. **Plásticos nos automóveis: Veículos mais leves e sustentáveis**. Disponível em:< <https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/opiniaio/2019/11/plasticos-nos-automoveis-veiculos-mais-leves-e-sustentaveis.html>>. Acesso em 15 de setembro de 2023.

DORNELLES FILHO, A. M. L. **Critérios na seleção de plásticos de engenharia para aplicações em veículos populares no Brasil**. 190 p. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia Automotiva) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

GIROTO, A. **Compósitos de polipropileno reforçados com partículas de quartzo – efeito de agentes compatibilizantes nas propriedades mecânicas**. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

HEMAIS, C. **Polímeros e a indústria automobilística**. *Polímero: Ciência e Tecnologia*, Rio de Janeiro, vol. 13, n°2, p. 10-114, 2003.

IRINEU, C. P. **Influência de Carga mineral talco na degradação térmica e nas propriedades dos compósitos de polipropileno para a aplicação na indústria automotiva**. 68 f. Dissertação (Mestrado em ciências). Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, Lorena, 2022.

KARIAN, H.G. **Handbook of polypropylene and polypropylene composites**. 2ª edição. New York, USA: Marcel Dekker, 2003. 576p.

KNAUF INDUSTRIES. **Quais perspectivas para o mercado do plástico no segmento automotivo?** Disponível em:<<https://knaufautomotive.com/pt-br/quais-sao-as-perspectivas-para-o-mercado-do-plastico/>>. Acesso em 28 de setembro de 2023.

LIMA, A. B. T. **Aplicações de Cargas Mineraias em Polímeros**. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MANO, E. B.; MENDES, L. C. **Introdução a polímeros**. 2º edição revista e ampliada. São Paulo: Editora Blucher, 1999.

MIGUEL, J. J. **Estudo Comparativo das Propriedades Térmicas e Mecânicas do Polipropileno Reforçado com Óxido de Zinco, Carbonato de Cálcio e Talco**. Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, Salvador, 2010.

OLIVEIRA, A. A. **Comportamento mecânico e térmico de misturas de polipropileno virgem e reprocesso de múltiplas extrusões**. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais), Universidade Estadual de Ponta, Ponta Grossa, 2016.

PAOLI, M. A. **Degradação e Estabilização de Polímeros**. 2ª edição: São Paulo: ChemKeys, 2008.

PETRY, A. **Mercado brasileiro de polipropileno com ênfase no setor automobilístico**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Química), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

RODRIGUES, A. C. S.; MOREIRA, J.F.M, SOUZA FILHO, L.B.; NUNES, V.D.B. **Vias de reciclagem dos polímeros polipropileno (PP) e poliestireno (PS): um estudo bibliográfico**. *Revista Iberoamericana Polímeros y Materiales Polímeros*. 18, n. 3, 2017.

SCHUTT, B E. P. **Novas aplicações de peças plásticas em substituição às metálicas na indústria automotiva**. 49 f. Dissertação (Especialização em Engenharia Automotiva). Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2014.

WIEBEEK, H.; HARADA, J. **Plásticos de Engenharia: Tecnologia e Aplicações**. Edição, Cidade: Artliber, 2005.