

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

Iuri do Carmo Mendonça

**ESTUDO SOBRE A VIABILIDADE DE SUBSTITUIÇÃO DE MATERIAIS VIRGENS  
POR RECICLADOS EM CABIDES INJETADOS DE POLIPROPILENO E  
POLIESTIRENO**

São Carlos – SP

2023

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

Iuri do Carmo Mendonça

**ESTUDO SOBRE A VIABILIDADE DE SUBSTITUIÇÃO DE MATERIAIS VIRGENS  
POR RECICLADOS EM CABIDES INJETADOS DE POLIPROPILENO E  
POLIESTIRENO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como exigência parcial para a obtenção do grau  
de Bacharel em Engenharia Química na  
Universidade Federal de São Carlos.

Orientação: Prof. Dr. André Bernardo

São Carlos – SP

2023

## FOLHA DE ROSTO

Mendonça, Iuri do Carmo

Estudo sobre a viabilidade de substituição de materiais virgens por reciclados em cabides injetados de polipropileno e poliestireno / Iuri do Carmo Mendonça -- 2023.

50f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus São Carlos, São Carlos

Orientador (a): André Bernardo

Banca Examinadora: André Bernardo, Felipe Fernando Furlan, Gabriela Cantarelli Lopes

Bibliografia

1. Cabides de Polipropileno. 2. Cabides de Poliestireno.
3. Materiais Reciclados. I. Mendonça, Iuri do Carmo. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Ronildo Santos Prado - CRB/8 7325

FOLHA DE APROVAÇÃO

**Iuri do Carmo Mendonça**

**ESTUDO SOBRE A VIABILIDADE DE SUBSTITUIÇÃO DE MATERIAIS VIRGENS  
POR RECICLADOS EM CABIDES INJETADOS DE POLIPROPILENO E  
POLIESTIRENO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química na Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 14 de março de 2023.

Orientador

---

Dr. André Bernardo

UFSCar - DEQ

Examinador

---

Dr. Felipe Fernando Furlan

UFSCar - DEQ

Examinador(a)

---

Dr.<sup>a</sup> Gabriela Cantarelli Lopes

UFSCar - DEQ

## **DEDICATÓRIA**

Dedico a Deus, minha Esposa, meus Pais e a mim que, juntos tornamos possível a realização do curso

## **AGRADECIMENTO**

A Deus, por ter me dado o dom da vida, saúde e força de vontade para concluir o curso

À minha esposa Jaqueline, por todo o apoio e incentivo dado

Aos meus Pais e familiares, que sempre fizeram e fazem de tudo para que eu pudesse alcançar meus objetivos

Aos meus amigos de São Carlos, que me acompanharam e por diversas vezes foram minha família em São Carlos

Ao Professor André Bernardo, pela disponibilidade e auxílio prestado para a elaboração deste Trabalho

## RESUMO

MENDONÇA, Iuri do Carmo. **Estudo Sobre a Viabilidade de Substituição de Materiais Virgens por Reciclados em Cabides Injetados de Polipropileno e Poliestireno.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de São Carlos, campus São Carlos, São Carlos, 2023.

A economia mundial foi e ainda é sustentada por um modelo linear de produção, onde toda a cadeia produtiva segue uma lógica de extrair, transformar, produzir e descartar. Entretanto, esse modelo não será sustentável por muito tempo, por isso novos esforços estão sendo aplicados na economia circular, onde há a substituição do “descartar” da economia linear pelo “reciclar”. Um dos grandes desafios dessa nova economia é, sem dúvida, a reciclagem do plástico, em destaque para os termoplásticos polipropileno e poliestireno que são produzidos e consumidos em larga escala, devido ao seu baixo custo e grande utilidade. Alguns dos benefícios da reciclagem são: preservação dos recursos naturais, redução da poluição ambiental, além de redução no custo de produção de itens para os quais não seja essencial trabalhar com materiais virgens. Por isso, este trabalho buscou analisar a viabilidade da substituição de materiais virgens por reciclados em produtos injetados de polipropileno e poliestireno. Os materiais de polipropileno foram preparados e injetados nas seguintes proporções mássicas: 100%V, 50%V/ 50%R1, 100%R1, 75%R1/ 25%R2, 50%R1/ 50%R2, 25%R1/ 75%R2 e 100%R2, onde V representa o material virgem, R1 material reciclado pós-industrial e R2 material reciclado pós-consumo. Já os de poliestireno cristal foram preparados da seguinte forma: 100%V, 75%V/ 25R, 50%V/ 50%R, 25%V/ 75%R, 100%R, onde V representa o material virgem e R o material reciclado. Foi criado um sistema onde as amostras foram, então, submetidas a testes caseiros que simulavam um ensaio de flexão. As amostras injetadas foram comparadas entre si no aspecto visual, na medida do seu deslocamento em relação ao centro do produto injetado, no caso, Cabide e, também, na classificação das deformações apresentadas, elástica, plástica ou de ruptura. Nos ensaios de Polipropileno (PP), as amostras não tiveram muita variação no seu aspecto visual, diferentemente dos ensaios de Poliestireno (PS). Além disso, algumas misturas recicladas tanto de PP, quanto de PS se mostraram mais resistentes do que o material 100%V. Nas amostras de PP ocorreram os 3 tipos de deformação (plástica, elástica e ruptura), por outro lado, nos ensaios de PS a deformação plástica não foi observada, mas os cabides de PS reagiram de maneira similar aos testes de flexão, indiferentemente da composição de material reciclado na mistura. Por fim, foi possível concluir que para massas de até 1 kg (peças de roupas usuais), para os cabides de PP, a amostra que apresentou o melhor custo-benefício para substituir o PP 100%V foi a de 100%R2, com uma redução estimada de

55% em relação ao custo do material 100% virgem. Já para o PS, a substituição foi indicada somente se fosse criado um outro modelo de cabide, tendo uma redução de custo estimada de 47%.

**Palavras-chave:** Cabides de polipropileno. Cabides de poliestireno. Cabides reciclados. Reciclagem plásticos. Teste de flexão em cabides.

## RESUMO EM LÍNGUA ESTRANGEIRA

MENDONÇA, Iuri do Carmo. **Study About the Feasibility of Replacing Virgin Materials with Recycled Materials in Injected Polypropylene and Polystyrene Hangers.** 2023. Undergraduate thesis –Federal University of São Carlos, São Carlos campus. São Carlos, 2023.

The world economy was and still is supported by a linear model of production, where the entire production chain follows a logic of extracting, transforming, producing and discarding. However, this model will not be sustainable for a long time, so new efforts are being applied in the circular economy, where “discard” in the linear economy is replaced by “recycle”. One of the great challenges of this new economy is, without a doubt, the recycling of plastic, especially polypropylene and polystyrene thermoplastics, which are produced and consumed on a large scale, due to their low cost and great utility. Some of the benefits of recycling are: preservation of natural resources, reduction of environmental pollution, and reduction in the cost of producing items that does not need to work with virgin materials. Therefore, this work sought to analyze the feasibility of replacing virgin materials with recycled ones in injected polypropylene and polystyrene products. The polypropylene materials were prepared and injected in the following mass proportions: 100% V, 50% V/ 50%R1, 100%R1, 75%R1/ 25%R2, 50%R1/ 50%R2, 25%R1/ 75 %R2 and 100%R2, where V represents virgin material, R1 first recycling and R2 second recycling. Those made of crystal polystyrene were prepared as follows: 100% V, 75%V/ 25R, 50%V/ 50%R, 25% V/ 75%R, 100%R, where V represents the virgin material and R the recycled material. A system was created where the samples were then submitted to home tests that simulated a bending test. The injected samples were compared to each other in the visual aspect, in the measure of their displacement in relation to the center of the hanger and, also, in the classification of the presented deformations, elastic, plastic or rupture. In the PP tests, the samples did not have much variation in their visual appearance, unlike the PS tests. In addition, some recycled mixtures of both PP and PS proved to be more resistant than the 100% V material. In the PP samples, the 3 types of deformation occurred (plastic, elastic and rupture), on the other hand, in the PS tests, plastic deformation was not observed, but the PS hangers reacted similarly to the flexion tests, regardless of the composition of recycled material in the mix. Finally, it was possible to conclude that for weights of up to 1 kg (usual clothes), for PP hangers, the sample that presented the best cost-benefit to replace PP 100% V was 100%R2, with an estimated reduction of 55%. As for the PS, replacement was indicated only if another product was created, with an estimated cost reduction of 47%.

**Keyword:** Polypropylene hangers. Polystyrene hangers. Recycled hangers. Plastic recycling.  
Bending test on hangers.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas do Processo de Reciclagem.....	17
Figura 2 - Principais componentes de uma máquina injetora.....	19
Figura 3 - Curvas típicas para elastômeros, materiais flexíveis (plásticos) e rígidos (frágeis)	20
Figura 4 - Limite elástico/plástico/ruptura .....	21
Figura 5 - Matérias-primas utilizadas nos experimentos.....	24
Figura 6 - Máquina injetora com molde de cabide anexado.....	25
Figura 7 - Instrumentos utilizados para a medição.....	26
Figura 8 - Sistema - Balde + água + corda .....	27
Figura 9 - Ilustração do sistema para as medições .....	27
Figura 10 - Medição do deslocamento do centro do cabide causada pela massa aplicada.....	28
Figura 11 - Classificação de deformações nos Cabides .....	29
Figura 12 - Amostras dos Cabides de PP .....	30
Figura 13 - Deslocamento dos cabides de Polipropileno em função do peso .....	34
Figura 14 - Resultado geral dos deslocamentos dos Cabides de PP em função da massa .....	35
Figura 15 - Amostras dos Cabides de PS .....	36
Figura 16 - Deslocamento dos cabides de Poliestireno (PS) em função do peso.....	39
Figura 17 - Resultado geral dos deslocamentos dos Cabides de PS em função da massa .....	40
Figura 18 - Deslocamento dos diferentes materiais de PP e PS sob massa de 1 e 2 kg .....	41
Figura 19 - Comparação das deformações apresentadas nas amostras de PP e PS submetidas à uma massa suspensa de 2 kg .....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores por quilo da matéria-prima.....	22
Tabela 2 - Porcentagem mássica das amostras de matéria-prima para os ensaios de PP .....	23
Tabela 3 - Porcentagem mássica das amostras de matéria-prima para os ensaios de PS .....	23
Tabela 4 - Preço por quilo das amostras e percentual comparativo entre o preço do material virgem.....	31
Tabela 5 - Deslocamentos e médias do centro dos Cabides de PP 50%V/ 50%R1 sob efeito das massas, juntamente com seus respectivos tipos de deformações e desvios-padrão entre parênteses.....	31
Tabela 6 - Deslocamentos e médias do centro dos Cabides de PP 50%R1/ 50%R2 sob efeito das massas, juntamente com seus respectivos tipos de deformações e desvios-padrão entre parênteses.....	32
Tabela 7 - Resultado dos testes de Cabides de PP 100%V .....	32
Tabela 8 - Resultado dos testes de Cabides de PP 100%R1.....	32
Tabela 9 - Resultados dos testes de Cabides de PP 75%R1/ 25%R2 .....	33
Tabela 10 - Resultados dos testes de Cabides de PP 25%R1/ 75%R2 .....	33
Tabela 11 - Resultados dos testes de Cabides de PP 100%R2 .....	33
Tabela 12 -Resultado Geral dos deslocamentos dos experimentos com os Cabides de PP .....	34
Tabela 13 - Preço por quilo das amostras e percentual comparativo entre o preço do material virgem.....	37
Tabela 14 - Deslocamentos e médias do centro dos Cabides de PS 50%V/ 50%R sob efeito das massas, juntamente com seus respectivos tipos de deformações e desvios-padrão entre parênteses.....	37
Tabela 15 - Resultados dos testes de Cabides de PS 100%V .....	38
Tabela 16 - Resultados dos testes de Cabides de PS 75%V/ 25%R.....	38
Tabela 17 - Resultados dos testes de Cabides de PS 25%V/ 75%R.....	38
Tabela 18 - Resultados dos testes de Cabides de PS 100%R .....	38
Tabela 19 - Resultado Geral dos deslocamentos dos experimentos com os cabides de PS .....	39

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVO	14
2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	15
2.1 Polipropileno	15
2.2 Poliestireno	15
2.3 Reciclagem do Polietileno e do Poliestireno	16
2.4 Processo de injeção	18
2.5 Momento elástico, plástico e de ruptura	20
3 MATERIAIS E MÉTODOS	22
3.1 Contextualização	22
3.2 Obtenção e preparação da matéria-prima	22
3.3 Injeção dos materiais	25
3.4 Instrumentos utilizados	25
3.5 Metodologia	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 Resultados polipropileno	30
4.2 Resultados poliestireno	36
4.3 Escolha dos materiais de PP e PS	42
5 CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS	45

## 1 INTRODUÇÃO E OBJETIVO

É sabido que a forma como a economia mundial foi e ainda está sendo construída não será sustentada para as gerações futuras. Algumas projeções indicam a incompatibilidade de recursos naturais limitados disponíveis para os níveis de produção e de consumo exacerbado iminente. Tal forma de se produzir é denominada economia linear, onde toda a cadeia produtiva segue uma lógica de extrair, transformar, produzir e descartar. Em busca de novas formas para uma produção sustentável, começou-se a se discutir sobre uma possível economia circular, onde, entre diversos pilares, está o pilar da reciclagem, substituindo a última etapa da produção linear “descartar” por “reciclar”.

Alguns dos desafios para a economia circular é a indústria do plástico, devido ao seu alto consumo e seu descarte de maneira errada, tornando-se difícil a captação de tais materiais para sua reutilização.

A indústria do plástico está em constante desenvolvimento, estima-se que em 2010 a produção mundial de plásticos tenha chegado a 265 milhões de toneladas (OLIVEIRA, 2012). No Brasil, apenas 23,1% dos resíduos plásticos pós-consumo foram reciclados em 2020. Além da dificuldade em se capturar o material pós-consumo, existem os desafios industriais e de adesão de produtos reciclados pelo mercado consumidor.

Os plásticos podem ser classificados em dois grandes grupos: os termoplásticos e os termofixos, o primeiro grupo é moldável, pois amolecem quando aquecidos, já o segundo grupo não é facilmente moldável quando aquecidos. Segundo (OLIVEIRA, 2012) os termoplásticos são: acrílicos, celulósicos, etil vinil acetato (EVA), polietileno tereftálico (PET), poliamidas (nylons), polietileno (PE), poliestireno (PS), cloreto de polivinila (PVC), policarbonato e polipropileno (PP), desses PS e PP destacam-se por apresentarem um dos maiores volumes de produção e preços relativamente baixos.

Nesse contexto, o presente trabalho busca analisar e estudar o efeito causado pela substituição de termoplásticos (polipropileno na sua cor preta - PP e poliestireno cristal - PS) virgens pelos reciclados na formação de produtos inpojetados (cabides).

Assim, serão injetados 2 diferentes grupos de produtos, sendo eles: Cabides de PP e Cabides de PS, ambos contendo amostras de material virgem e misturas de material virgem com material reciclado. Após isso, além da análise visual feita sob as amostras injetadas, os produtos serão submetidos a testes caseiros que possam avaliar, principalmente, a resposta à deformação das amostras. Com isso espera-se responder alguns questionamentos, tais como:

- a) Existe alguma diferença visual do produto injetado final dos materiais virgens para as misturas com os reciclados?
- b) Os cabides oriundos das misturas de materiais reciclados possuem algum potencial de substituir os cabides gerados pelo material virgem?
- c) Predizer se a troca do material é viável e justificável, isto é, as diferenças, ou não, analisadas, são capazes de inviabilizar tal substituição?
- d) Caso seja possível tal substituição, quais seriam os benefícios?

## **2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

### **2.1 Polipropileno**

O Polipropileno é um polímero termoplástico que é obtido a partir da polimerização do gás propileno ou propeno. Trata-se de um material que pode ser moldado quando submetido a temperaturas elevadas, possuindo seu ponto de fusão por volta dos 130 graus celsius (MAIER, 1998). Com centenas de aplicações, o polipropileno é o segundo produto plástico mais produzido, perdendo apenas para o polietileno. Nesse sentido, seu mercado global em 2015 foi por volta de 60 milhões de toneladas.

As aplicações de tal material são variadas, como por exemplo: produção de embalagens flexíveis, produção de produtos de utilidades domésticas, brinquedos, tampas de refrigerantes, autopeças, copos plásticos, entre outros. Vale destacar que a grande maioria desses produtos são obtidos por meio do processo de injeção. Dentre suas características, destacam-se o seu elevado custo-benefício a nível de resistência química, moldagem, resistência ao impacto, atoxicidade, resistência à flexão e baixa absorção de umidade (MAISPOLIMEROS, 2019).

O polipropileno em sua versão virgem, possui um aspecto transparente. Para que se atinja a cor desejada é necessário pigmentar o material. Nesse sentido, alguns gramas de pigmentos já deixam o material virgem com a cor desejada. Os pigmentos não influenciam nas propriedades mecânicas do material, devido a sua baixa quantidade na mistura.

### **2.2 Poliestireno**

O poliestireno pode ser encontrado em variados tipos, destacando-se em poliestireno orientado (OPS), poliestireno de propósito geral (GPPS), poliestireno expansível (EPS),

poliestireno extrusado (XPS), poliestireno de alto impacto (HIPS) e ABS (esses dois últimos são copolímeros de estireno) (CELLA, 2017).

O poliestireno cristal, ou de propósito geral (GPPS) também é um polímero termoplástico. Ele é um homopolímero amorfo e incolor, e é comercializado em forma de grânulos transparentes (DE OLIVEIRA, 2006). Além disso, ele é uma das mais antigas resinas sintéticas, recebendo destaque por seu aspecto vítreo transparente. Nesse contexto, esse material se caracteriza por sua dureza, bem como, seu fácil processamento e baixo custo se comparado com os materiais de vidro.

Embora possua um comportamento vítreo, o PS cristal é um material de fácil processamento e moldagem. Ademais, os produtos oriundos da injeção termoplástica de poliestireno cristal, possuem excelentes qualidades óticas e mecânicas, no que diz respeito a transparência e flexibilidade do material (POLYBRASIL, 2021). Algumas de suas utilizações são: displays, placas sinalizadoras, luminárias, box para banheiro, produtos de utilidades domésticas que exigem um certo grau de transparência, entre outros. Neste trabalho, o material utilizado como matéria prima foi o poliestireno de propósito geral (GPPS).

### **2.3 Reciclagem do Polietileno e do Poliestireno**

O processo de reciclagem é definido quando um material já utilizado para seu propósito, descartado e separado do lixo é reprocessado, reintroduzido ao processo produtivo e transformado em um produto novo, que pode ser ou não semelhante das características do produto inicial (CALDERONI, 2003).

Dessa forma, é possível elencar alguns benefícios da reciclagem, tais como:

- Preservação de recursos naturais;
- Economia de energia;
- Favorecimento da economia circular;
- Redução da poluição ambiental;
- Geração de empregos diretos e indiretos;
- Redução no custo de produção de itens que não sejam essenciais se trabalhar com material virgem;

Segundo (DE OLIVEIRA, 2016) a reciclagem de polímeros pode possuir quatro classes distintas: reciclagem primária e secundária (reciclagens mecânicas), terciária e quaternária (reciclagens químicas). A primeira consiste na conversão de resíduos poliméricos industriais,

por exemplo, aparas e restos de peças, em produtos com características equivalentes aos produtos originais de material virgem (DE OLIVEIRA, 2016).

Já a segunda, é a conversão de produtos oriundos dos resíduos sólidos urbanos para o reprocessamento do material, por isso, é mais utilizado em produtos que tenham uma menor exigência em comparação ao padrão de polímeros virgens.

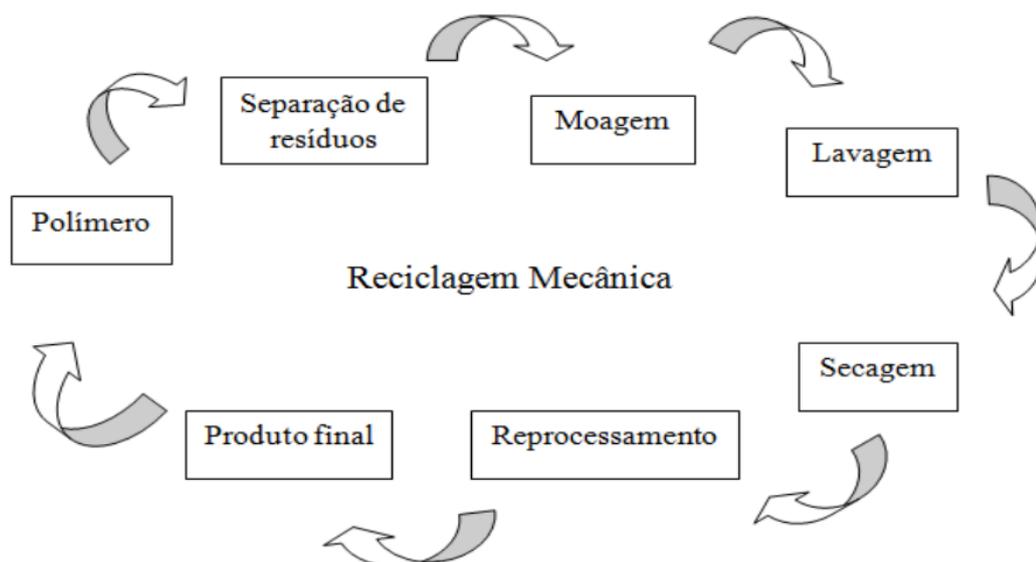
O terceiro e o quarto tipo de reciclagem são, respectivamente, atrelados a processos tecnológicos envolvendo produção de insumos químicos, combustíveis e recuperação energética a partir de resíduos poliméricos e de sua incineração, no último caso.

No processo de reciclagem mecânica o reprocessamento do material torna possível a utilização em diversas áreas, como por exemplo, extrusão, injeção, termoformagem, moldagem por compressão, entre outros (RODRIGUES, 2017). Para que o ciclo da reciclagem se torne possível algumas etapas são essenciais, são elas:

- 1) separação do resíduo polimérico;
- 2) Moagem;
- 3) Lavagem;
- 4) Secagem;
- 5) Reprocessamento;
- 6) Transformação no novo produto final.

A Figura 1 ilustra tal processo.

Figura 1 - Etapas do Processo de Reciclagem



Fonte: (RODRIGUES, 2017)

Nesse contexto, o presente trabalho abordou e utilizou polipropileno de primeira reciclagem, isto é, pós-industrial (PP R1) e de segunda, pós-consumo (PP R2), numa mistura com o material virgem. Da mesma forma, foi utilizado poliestireno virgem (PS V), e poliestireno de primeira reciclagem, ou seja, pós-industrial (PP R).

## **2.4 Processo de injeção**

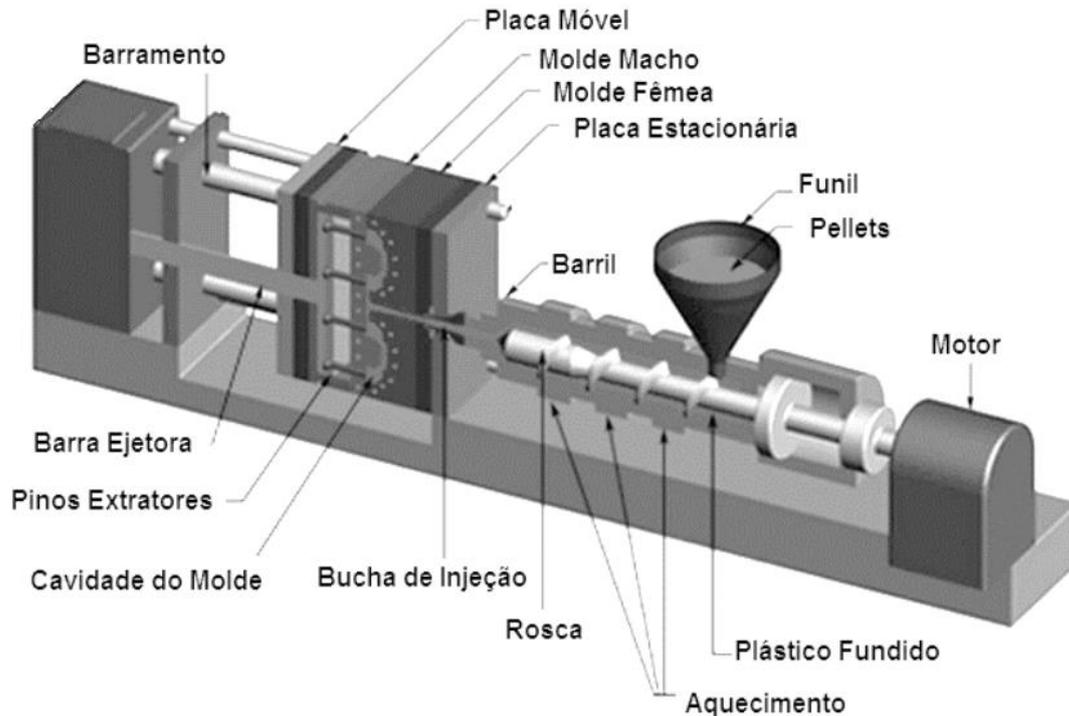
No campo de transformação e processamento de polímeros, a moldagem por injeção pode se destacar por sua versatilidade e agilidade na fabricação dos produtos. Nesse processo, a matéria-prima geralmente em forma de grânulos é depositada em um funil de alimentação da máquina injetora onde, posteriormente, é direcionada para dentro de um cilindro que contém um parafuso plastificador, ou rosca recíproca, que tem o objetivo de transportar, promovendo seu cisalhamento, plastificação e homogeneização, obtendo assim a fusão completa do material (PEREIRA, 2015).

O material, então, percorre o cilindro por meio do parafuso plastificador até a sua outra extremidade, onde encontra-se o bico de injeção. Dessa forma, conforme a rosca gira, o material plastificado vai sendo depositado à sua frente. Além disso, a rosca também move-se para trás para que o polímero que ela mesma fundiu e homogeneizou tenha espaço. Tendo completado a dosagem do material, o parafuso plastificador avança atuando como um pistão e injeta o material fundido dentro do molde fechado e vazio, ocupando, dessa forma, sua cavidade.

Após alguns instantes (geralmente segundos), o molde abre-se e libera a peça pronta e um novo ciclo recomeça. Nesse sentido, pode-se dizer que é um processo intermitente. A velocidade com que a peça será injetada, bem como a produtividade geral, dependerá da máquina, do molde e também da fluidez da matéria-prima.

A Figura 2 ilustra os principais componentes de uma máquina de injeção. Na parte superior existe um funil de alimentação que entrega o material sólido ao canhão revestido por mantas elétricas que o aquecem e transferem calor à massa fundida. Um canhão que comporta em seu interior uma rosca recíproca que transporta, funde, homogeneiza e injeta o material fundido dentro do molde. Para dar a forma ao produto, existe um molde que modela à massa fundida injetada a alta pressão e com velocidade controlada em seu interior, ele também é responsável pelo resfriamento e extração da peça moldada (MANRICH, 2005).

Figura 2 - Principais componentes de uma máquina injetora



Fonte: Adaptado (PEREIRA, 2015)

Em seu trabalho, (PEREIRA, 2015), apresentou alguns pontos de vantagens e desvantagens desse modelo de processamento de termoplásticos, como vantagens tem-se:

- Produção em alta escala;
- Possibilidade de grande automatização do processo;
- Dependendo do polimento do molde, as peças produzidas requerem pouco ou quase nenhum acabamento;
- Possibilidade de se modelar geometrias complexas;
- Processo eficiente com baixa perda de matéria-prima;
- Boa precisão dimensional;

Por outro lado, como desvantagens, pode-se ter:

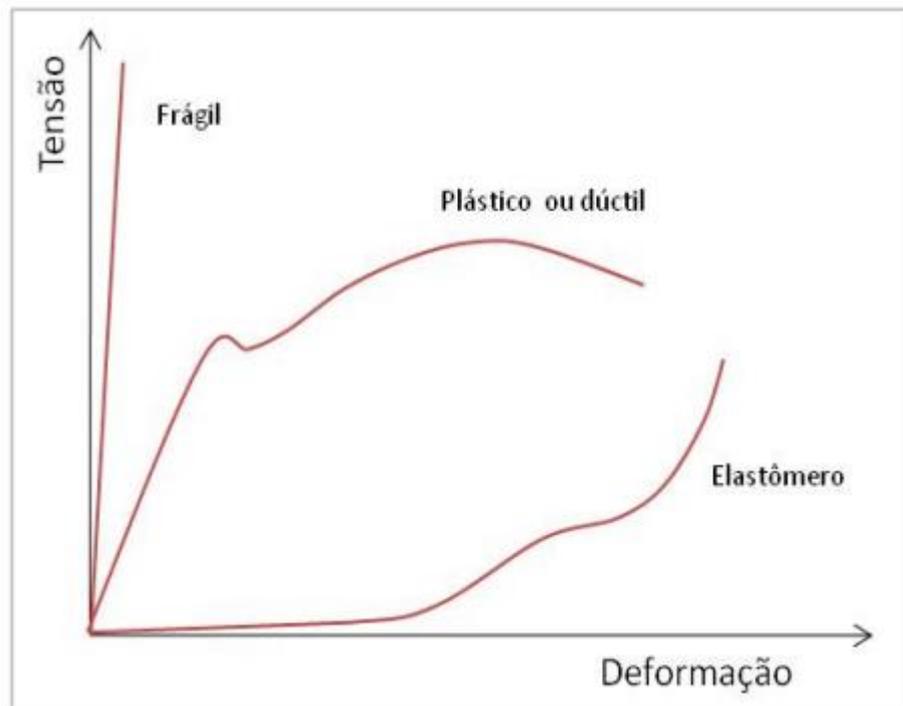
- Custo elevado do maquinário e periféricos;
- Por ser um processo de fácil replicação e alta competitividade, as margens de lucro são estreitas;
- Falta de conhecimento ao longo do processo pode interferir na qualidade do produto, bem como na queda da eficiência da produção;

## 2.5 Momento elástico, plástico e de ruptura

Para a caracterização mecânica dos polímeros existem diversos tipos de ensaios. Um dos principais testes é o ensaio de tração-deformação, baseado nas normas ASTM D638-10 e ISO 527. O ensaio consiste na aplicação de uma carga uniaxial crescente à amostra, e simultaneamente as variações em suas dimensões são medidas.

Após a submissão dos termoplásticos aos testes com base na norma, é possível construir uma curva de tensão-deformação como ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Curvas típicas para elastômeros, materiais flexíveis (plásticos) e rígidos (frágeis)

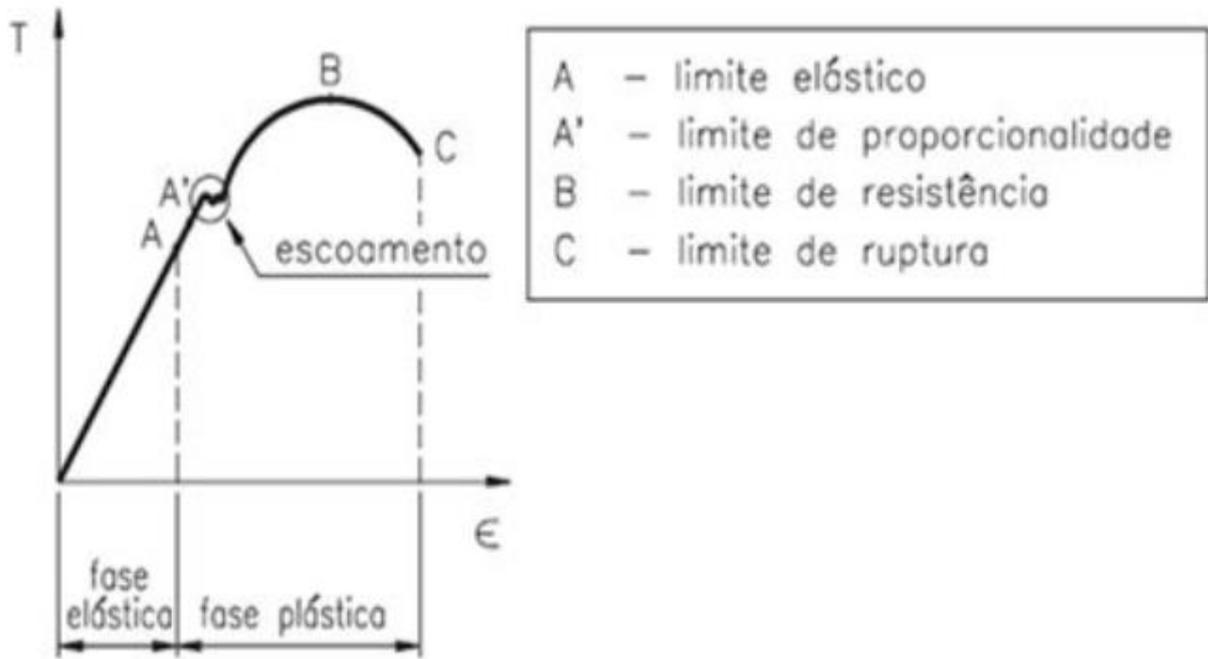


Fonte: CALLISTER, 2000

Os materiais em questão, polipropileno e poliestireno, apresentam um comportamento semelhante a um material visco-elástico, assemelhando-se a curvatura de “plástico ou dúctil” mostrado na figura 3.

O limite elástico: Se a força aplicada (tensão) não for suficiente para romper esse limite, o material volta a sua formação original. Tal ponto é ilustrado na Figura 4 pela letra “A”.

Figura 4 - Limite elástico/plástico/ruptura



Fonte: CALLISTER, 2000

**Módulo plástico:** nessa fase de tensão, o material atinge uma deformação diferente da original, e não volta mais para o seu formato padrão. Esse ponto é marcado como tensão de escoamento, isto é, marca-se o fim da fase elástica e o início da fase plástica (a partir do ponto “A” na Figura 4).

**Momento de ruptura:** Tal evento pode ocorrer de duas maneiras, ao continuar tensionando o material, será encontrado o limite de resistência demarcado pelo “B” na Figura 4. Esse é o ponto de tensão máxima suportada pelo material. Acima disso, ele rompe. Após o limite de resistência, é atingida a tensão de ruptura. Nesse sentido, o material sofre a ruptura, geralmente é menor do que a tensão do limite de resistência, isso porque com o passar do tempo, o tensionamento diminui a área de pressão no corpo de prova, fazendo com que se precise de uma tensão menor para se romper. O ponto em questão é representado pelo ponto “C” na Figura 4.

Empiricamente, é importante observar 3 momentos críticos do comportamento do corpo de prova. O módulo elástico, módulo plástico e o módulo de ruptura. Aqui nesse trabalho serão tratados como, respectivamente, deformação elástica, plástica e de ruptura.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Contextualização

O presente trabalho foi realizado em parceria com uma empresa especializada em injeção termoplástica, localizada no interior do estado de São Paulo, mais especificamente na cidade de Itu. A empresa aceitou realizar os testes de injeção das amostras, bem como fornecer todos os dados relacionados aos materiais, inclusive os preços pagos nas matérias-primas. Entretanto, a empresa solicitou que seu nome não fosse divulgado, foi então, portanto, chamada de empresa “X”.

#### 3.2 Obtenção e preparação da matéria-prima

Os materiais utilizados para a produção dos cabides feito de polipropileno virgem (PP V), HOMOPOLYMER 35H35, e Poliestireno virgem (PS V), POLIESTIRENO GPPS N 2560, foram obtidos de empresas especializadas na comercialização e na distribuição desses insumos, as quais, por questões de sigilo, não serão mencionadas neste trabalho. Ademais, o PP V foi pigmentado com uma pequena quantidade de pigmento preto para atingir a cor preta desejada nos cabides. Portanto, toda vez que foi referido PP, referiu-se ao polipropileno preto.

Já os materiais reciclados, polipropileno pós-industrial (PP R1) e poliestireno pós-industrial (PS R), foram obtidos por meio do processo de seleção e trituração/moagem de produtos de material virgem de industriais. Por outro lado, o polipropileno pós-consumo (PP R2) foi obtido de produtos já utilizados. Ambas também foram compradas de empresas especializadas na comercialização e distribuição de insumos reciclados. A Tabela 1 apresenta os valores pago no quilo de cada material, pela empresa “X”.

Tabela 1 - Valores por quilo da matéria-prima

Matéria-prima	Valor do quilo (R\$)
PP V	11,20
PP R1	6,00
PP R2	5,00
PS V	13,30
PS R	7,00

Fonte: Acervo pessoal

Para a produção das amostras de cabides foram utilizados material virgem e misturas de material virgem com reciclados, variando as percentagens mássicas das misturas de PP e PS. As nomeações de cada corpo de prova foram feitas com base na composição mássica presente na mistura, dentro de dois grupos, os de polipropileno (PP) e os de poliestireno (PS). Por exemplo, uma mistura de PP com 75% de PP virgem e 25% de PP reprocessado pós-industrial foi nomeado como 75%V/ 25%R1. No momento em que se pesou as misturas, fez-se uma mistura homogênea de forma mecânica com os pallets da matéria-prima, a mistura real aconteceu no momento em que os materiais foram injetados (por meio do processo de fusão, devido a elevada temperatura de processamento), onde para os materiais de PP foi utilizado uma massa total de 1,8 kg de corpo de prova e para os materiais de PS 2,0 kg totais de cada corpo de prova.

Assim, para os testes com os cabides de PP, as composições dos corpos de provas foram definidas em percentagem mássicas conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Percentagem mássica das amostras de matéria-prima para os ensaios de PP

Amostra PP	PP V (kg)	PP R1 (kg)	PP R2 (kg)
100%V	1,80	-	-
50%V/ 50%R1	0,90	0,90	-
100%R1	-	1,80	-
75%R1/ 50%R2	-	1,35	0,45
50%R1/ 50%R2	-	0,90	0,90
25%R1/ 75%R2	-	0,45	1,35
100%R2	-	-	1,80

Fonte: Acervo pessoal

Da mesma forma para os testes de PS, a Tabela 3 contém as percentagens mássicas que cada corpo de prova tinha.

Tabela 3 - Percentagem mássica das amostras de matéria-prima para os ensaios de PS

Amostra PS	PS V (kg)	PS R (kg)
100% V	2,00	-
75%V/ 25%R	1,50	0,50
50%V/ 50%R	1,00	1,00
25%V/ 75%R	0,50	1,50
100% R	-	2,00

Fonte: Acervo pessoal

A Figura 5 apresenta as matérias-primas utilizadas nos ensaios.

Figura 5 - Matérias-primas utilizadas nos experimentos



Fonte: Acervo pessoal

### 3.3 Injeção dos materiais

As peças das amostras foram obtidas pela injetora. A Figura 6 mostra esse equipamento, bem como o molde utilizado (já anexado à máquina em operação). Tal processo de injeção, já foi explicado na secção 2.5 deste trabalho.

Figura 6 - Máquina injetora com molde de cabide anexado



Fonte: Acervo pessoal

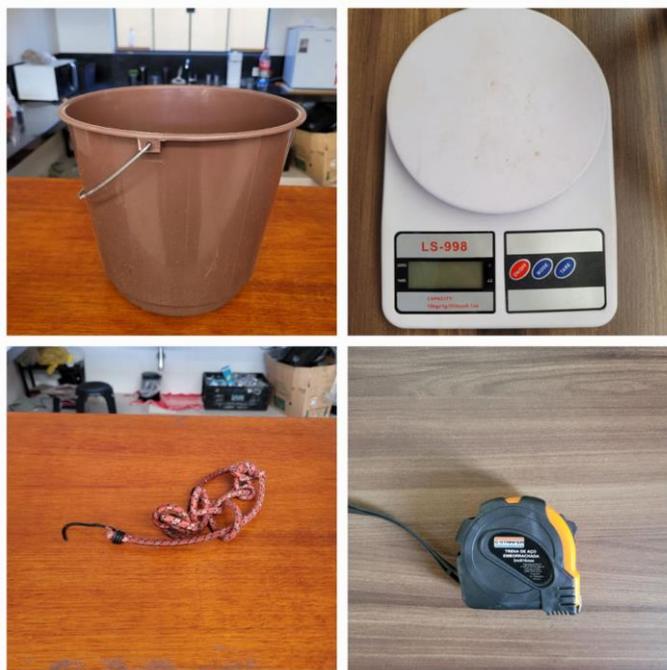
### 3.4 Instrumentos utilizados

Para a realização dos experimentos que simularam o teste de flexão nas amostras foram utilizados alguns equipamentos caseiros, tais como:

- Balança digital alimentício (Precisão de 3 casas decimais, exemplo: 0,001 kg);
- Balde de aproximadamente 10 litros;
- Corda de aproximadamente 1 metro com gancho;
- Trena de 5 metros
- Gancho (nesse caso, um parafuso grande) para prender os cabides;

A Figura 7 apresenta os equipamentos utilizados nos testes e mencionados acima.

Figura 7 - Instrumentos utilizados para a medição



Fonte: Acervo pessoal

### 3.5 Metodologia

Com o objetivo de avaliar principalmente a resistência mecânica dos corpos de prova de forma empírica, foram realizados testes caseiros de resistência dos materiais. Inicialmente, foi adicionada água ao sistema balde + corda até que a massa desejada fosse atingida, conforme ilustrado na Figura 8. Em seguida, duas amostras do mesmo corpo de prova foram colocadas sobre o parafuso preso à parede. Após, o sistema (balde + água + corda) foi pendurado no centro do primeiro cabide. Durante os testes, foi definido um tempo de espera de 1 minuto, isso porque foi observado que após esse tempo as amostras atingiram o estado estacionário no deslocamento frente à massa aplicada. Nesse sentido, foi utilizada a trena para medir o deslocamento do centro do primeiro cabide em relação ao centro do segundo cabide (que não teve força aplicada). A Figura 9 ilustra como o sistema foi montado.

Figura 8 - Sistema - Balde + água + corda



Fonte: Acervo pessoal

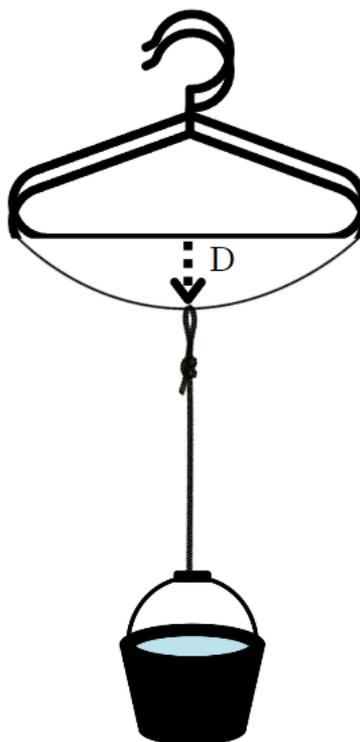
Figura 9 - Ilustração do sistema para as medições



Fonte: O autor

A Figura 10 ilustra como foram realizadas as medições dos corpos de prova, por meio dela é possível identificar a distância chamada neste trabalho de “deslocamento” (D) e também, perceber que o deslocamento foi medido em comparação a um cabide onde não havia força aplicada.

Figura 10 - Medição do deslocamento do centro do cabide causada pela massa aplicada



Fonte: O autor

Nesse contexto, para os testes de PP definiu-se um peso máximo de 4 kg, tendo 5 pontos de amostragem: 1 kg, 2 kg, 2,5 kg, 3 kg e, por fim, 4 kg. Para os testes de PS, por serem mais quebradiços e menos resistentes à flexão, definiu-se um peso máximo de 2 kg, tendo 4 pontos de amostragem: 0,5 kg, 1 kg, 1,5 kg e 2 kg. Os testes foram realizados de forma simples tendo apenas os pontos centrais com triplicata, no caso das amostras em polipropileno 50% V/ 50% R1 e 50% R1/ 50% R2, e o ponto de 50% V/ 50% R para as amostras de poliestireno.

Nesse sentido, suas médias e seus desvios-padrão foram calculados com base na Equação 1 e apresentados entre parênteses nas tabelas aos quais os dados desses testes foram inseridos.

Equação 1 – Fórmula utilizada no cálculo do desvio padrão dos pontos centrais

$$s = \sqrt{\frac{\sum (xi - x)^2}{n - 1}}$$

Onde S é o desvio padrão, xi o valor médio, x o valor da medição e n o número de medições realizadas (no presente trabalho o n vai ser sempre 3).

Após a realização dos testes, as amostras que não sofreram ruptura foram separadas e, depois de 48 horas, comparadas por sobreposição às amostras originais (que não tiveram forças aplicadas). Por observação, as amostras que voltaram ao seu estado natural tiveram sua classificação de deformação como elástica (E), em contrapartida, aquelas que não retornaram ao seu estado padrão, tiveram sua classificação de deformação definida como plástica (P). E, as que atingiram a ruptura nos testes, como deformação de ruptura (R). A Figura 11 apresenta o que foi descrito acima.

Figura 11 - Classificação de deformações nos Cabides



Fonte: O autor

Ainda, foram pesadas algumas peças de roupas com o objetivo de discutir e interpretar sua massa de acordo com os resultados obtidos nos ensaios gerais.

Como a região em que a força foi aplicada nos ensaios (base dos cabides) é uma área onde ocorre a maior utilização de calças, as roupas escolhidas para a pesagem foram justamente esses itens. Embora seja recomendado utilizar apenas uma peça de roupa por cabides, dificilmente é isso que ocorre no dia a dia do seu uso. Portanto, levando em consideração que usariam mais do que uma peça, foi medida a massa de duas calças mais usuais e de gramatura

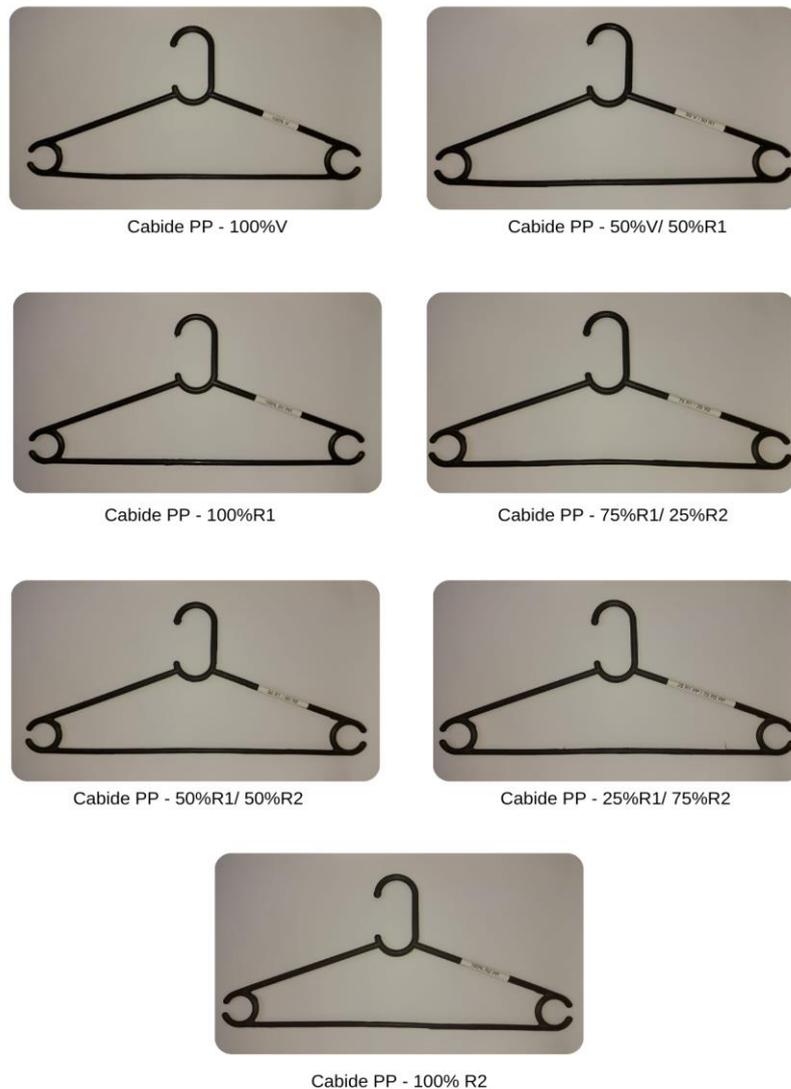
mais elevada (número 40). Ademais, a pesagem das roupas também serviu para embasar a escolha do melhor material para se produzir os cabides.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Resultados polipropileno

Os cabides de polipropileno foram obtidos por meio do processo de injeção. A Figura 12 contém, em fotos, os resultados das injeções para cada variação mássica dos cabides de PP.

Figura 12 - Amostras dos Cabides de PP



Fonte: O autor

Como observado, a injeção termoplástica para as amostras dos materiais de PP não apresentou variações consideráveis no aspecto visual. Isto é, ainda que o material 100% virgem possuísse uma característica de um preto mais intenso e brilhante e, ao longo da mistura com o material reciclado o aspecto brilhoso foi se perdendo de forma gradativa, o principal tom de cor manteve-se o mesmo.

Com os preços mostrados na Tabela 1 foi construída a Tabela 4, na qual utilizou das proporcionalidades mássicas para definir o preço de cada amostra (com base nos preços dos materiais puros). Também, foi calculado o quanto cada mistura é mais barata relação ao preço do material virgem, portanto, o mais caro.

Tabela 4 - Preço por quilo das amostras e percentual comparativo entre o preço do material virgem

Material	Preço por Quilo (R\$)	Redução do preço em relação ao material virgem (%)
100% V	11,20	-
50% V/ 50% R1	8,60	23%
100% R1	6,00	46%
75% R1/ 25% R2	5,75	49%
50% R1/ 50% R2	5,50	51%
25% R1/ 75% R2	5,25	53%
100% R2	5,00	55%

Fonte: Acervo pessoal

Os resultados das medições de deslocamento do material virgem com o material reciclado pós-industrial 50% V/50% R1 são apresentados na Tabela 5. Onde as deformações elásticas, plásticas e de ruptura foram substituídas pelas letras E, P e R, respectivamente.

Tabela 5 - Deslocamentos e médias do centro dos Cabides de PP 50% V/ 50% R1 sob efeito das massas, juntamente com seus respectivos tipos de deformações e desvios-padrão entre parênteses

Massa suspensa (kg)	Deslocamento (cm)			
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Média (desvio padrão)
1,00	5,30 – E	5,00 – E	4,70 – E	5,00 (0,300) – E
2,00	10,00 – E	9,10 – E	9,30 – E	9,47 (0,473) – E
2,50	11,70 – P	12,30 – P	12,50 – P	12,17 (0,416) – P
3,00	14,20 – P	14,70 – P	15,30 – P	14,73 (0,551) – P
4,00	18,60 – P	18,10 – P	18,50 – P	18,40 (0,265) – P

Fonte: Acervo pessoal

De semelhante forma, a Tabela 6 apresenta os resultados dos testes da mistura 50%R1/50%R2 e de suas médias.

Tabela 6 - Deslocamentos e médias do centro dos Cabides de PP 50%R1/ 50%R2 sob efeito das massas, juntamente com seus respectivos tipos de deformações e desvios-padrão entre parênteses

Massa suspensa (kg)	Deslocamento (cm)			
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Média (desvio padrão)
1,00	6,20 – E	5,70 – E	5,80 – E	5,90 (0,265) – E
2,00	13,40 – P	14,50 – P	13,60 – P	13,83 (0,586) – P
2,50	17,90 – P	17,00 – P	17,80 – P	17,57 (0,493) – P
3,00	19,60 – P	R	19,40 – P	19,50 (0,141) – P/R
4,00	R	R	R	R

Fonte: Acervo pessoal

Para os demais corpos de prova as medições foram feitas de maneira única, começando do material virgem (100%V) até o material 100% reciclado pós-consumo (100%R2). Os resultados dos experimentos 100%V, 100%R1, 75%R1/ 25%R2, 25%R1/ 75%R2 e 100%R2 são exibidos nas Tabelas 7, 8, 9, 10 e 11 respectivamente.

Tabela 7 - Resultado dos testes de Cabides de PP 100%V

Massa suspensa (kg)	Deslocamento (cm) - 1	Deformação
1,00	4,10	E
2,00	8,50	E
2,50	10,50	E
3,00	12,30	E
4,00	16,50	P

Fonte: Acervo pessoal

Tabela 8 - Resultado dos testes de Cabides de PP 100%R1

Massa suspensa (kg)	Deslocamento (cm)	Deformação
1,00	6,00	E
2,00	12,30	E
2,50	14,50	P
3,00	14,60	P
4,00	-	R

Fonte: Acervo pessoal

Tabela 9 - Resultados dos testes de Cabides de PP 75%R1/ 25%R2

Massa suspensa (kg)	Deslocamento (cm)	Deformação
1,00	6,00	E
2,00	15,00	P
2,50	17,10	P
3,00	19,80	P
4,00	-	R

Fonte: Acervo pessoal

Tabela 10 - Resultados dos testes de Cabides de PP 25%R1/ 75%R2

Massa suspensa (kg)	Deslocamento (cm)	Deformação
1,00	6,10	E
2,00	13,50	P
2,50	-	R
3,00	-	R
4,00	-	R

Fonte: Acervo pessoal

Tabela 11 - Resultados dos testes de Cabides de PP 100%R2

Massa suspensa (kg)	Deslocamento (cm)	Deformação
1,00	6,50	E
2,00	15,50	P
2,50	-	R
3,00	-	R
4,00	-	R

Fonte: Acervo pessoal

Os dados apresentados anteriormente encontram-se unificados na Tabela 12 a qual permitiu construir a Figura 133 e posteriormente para uma melhor visualização dos pontos a Figura 144 que para uma melhor visualização foi exibida em forma de barras.

Tabela 12 -Resultado Geral dos deslocamentos dos experimentos com os Cabides de PP

Massa suspensa (kg)	100% V (cm)	Xp 50% V/ 50% R1 (cm)	100% R1 (cm)	75% R1 / 25% R2 (cm)	Média 50% R1/ 50% R2 (cm)	25% R1 / 75% R2 (cm)	100 % R2 (cm)
1,00	4,10 – E	5,00 (0,300) – E	6,00 – E	6,00 – E	5,90 (0,265) – E	6,10 – E	6,50 – E
2,00	8,50 – E	9,47 (0,473) – E	12,30 – E	15,00 – P	13,83 (0,586) – P	13,50 – P	15,50 – P
2,50	10,50 – E	12,17 (0,416) – P	14,50 – P	17,10 – P	17,57 (0,493) – P	R	R
3,00	12,30 – E	14,73 (0,551) – P	14,60 – P	19,80 – P	19,50 (0,141) – P/R	R	R
4,00	16,50 – P	18,40 (0,265) – P	R	R	R	R	R

Fonte: Acervo pessoal

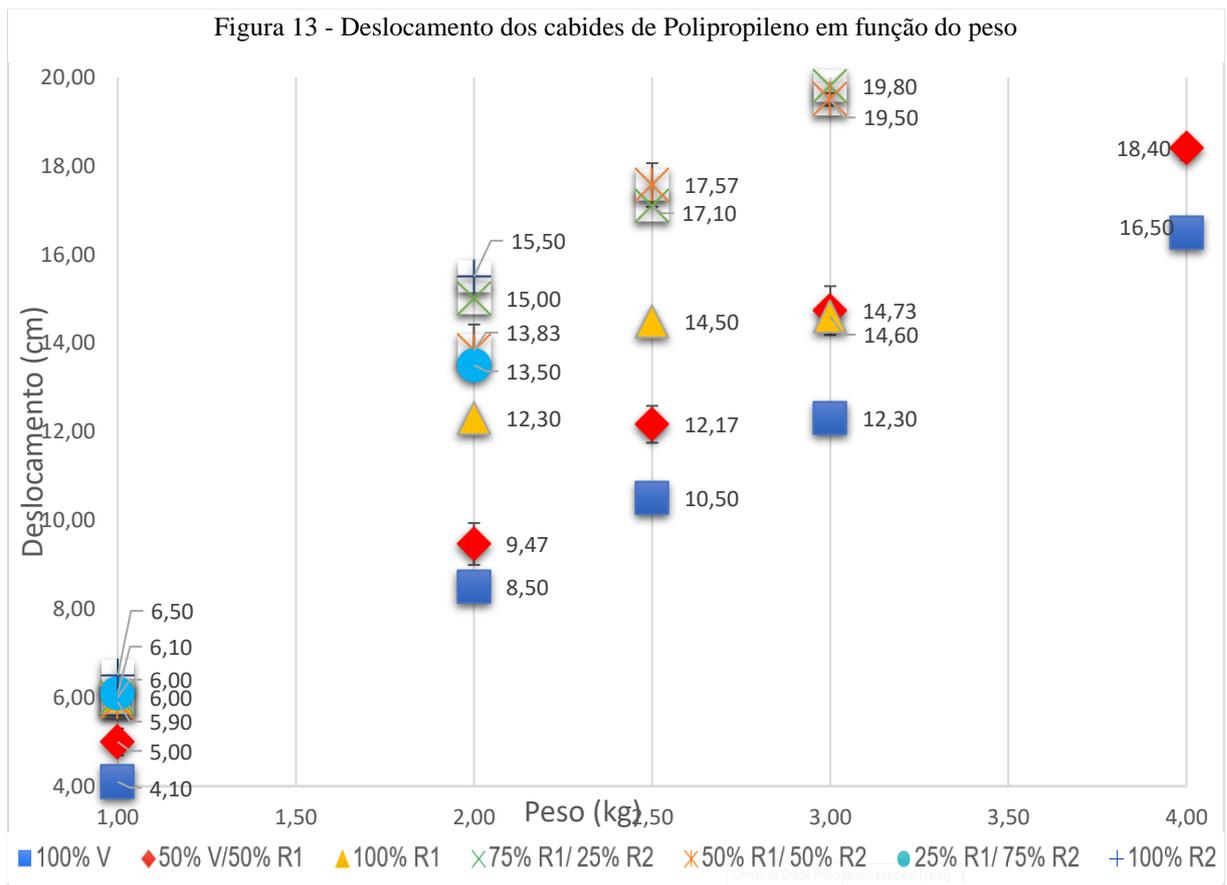
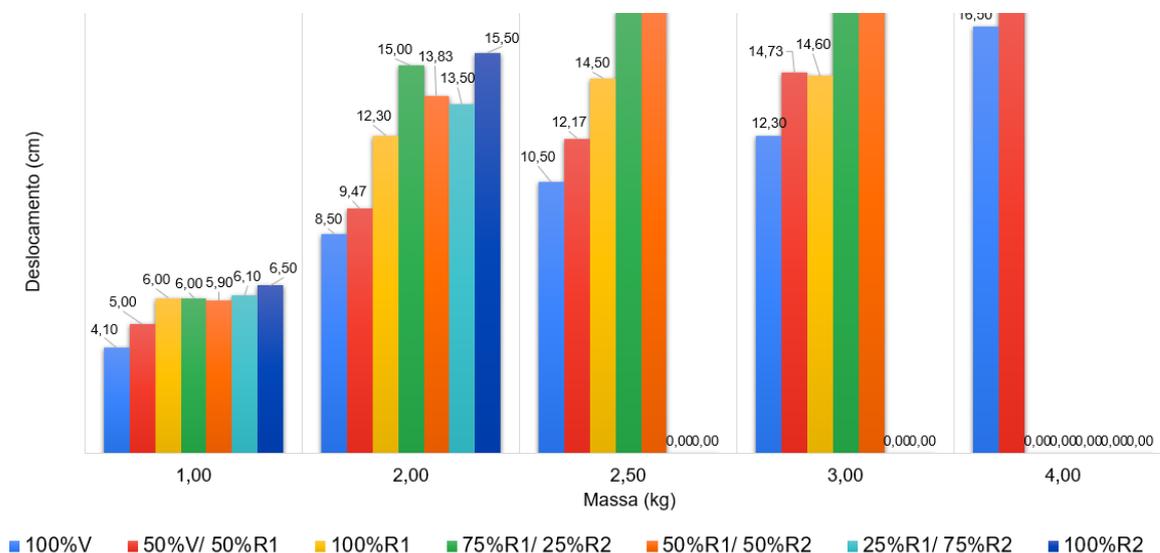


Figura 14 - Resultado geral dos deslocamentos dos Cabides de PP em função da massa



Fonte: Acervo pessoal

Com base nos resultados apresentados, os deslocamentos das amostras reagiram de maneira proporcional ao aumento da força aplicada. Isto é, à medida em que aumentou a tensão exercida sobre o centro do cabide (massa), mantendo as % mássica constantes, os deslocamentos seguiram o mesmo comportamento.

Além disso, também foi observado que ao passo que a porcentagem mássica do material reciclado foi aumentando nas misturas, os deslocamentos aumentavam, para uma mesma força aplicada. Entretanto, esse comportamento foi observado somente até as misturas de 75%R1/ 25%R2, pois na mistura 50%R1/ 50%R2 houve uma inversão do comportamento, isto é, aumentou-se a % de material reciclado, mas em algumas massas o deslocamento diminuiu, observado na Tabela 12 com a massa de 1 kg e 2 kg. Todavia, como apenas as amostras centrais foram realizadas em triplicatas com seus respectivos desvios, tal comportamento observado deve ser analisado apenas como uma possibilidade de tendência e não como um fato.

Nesse contexto, há indícios na literatura de que a mistura de misturas de material virgem com material reciclado, até certa % aumenta a rigidez do material, ao invés de diminuir (FERNANDES, 2007) o que talvez pudesse justificar a não linearidade dos dados. Entretanto, não foram encontradas fontes literárias que embasasse tal comportamento para misturas composta de polipropileno reciclado pós-industrial e polipropileno reciclado pós-consumo.

Nos ensaios de PP 50%R1/ 50%R2, durante as triplicatas, foi observado que a amostra exposta a 3 kg de massa, sofreu ruptura em um dos seus três testes, isso possivelmente ocorreu

pelo material se encontrar em uma região de instabilidade, no limite entre a deformação plástica e a ruptura.

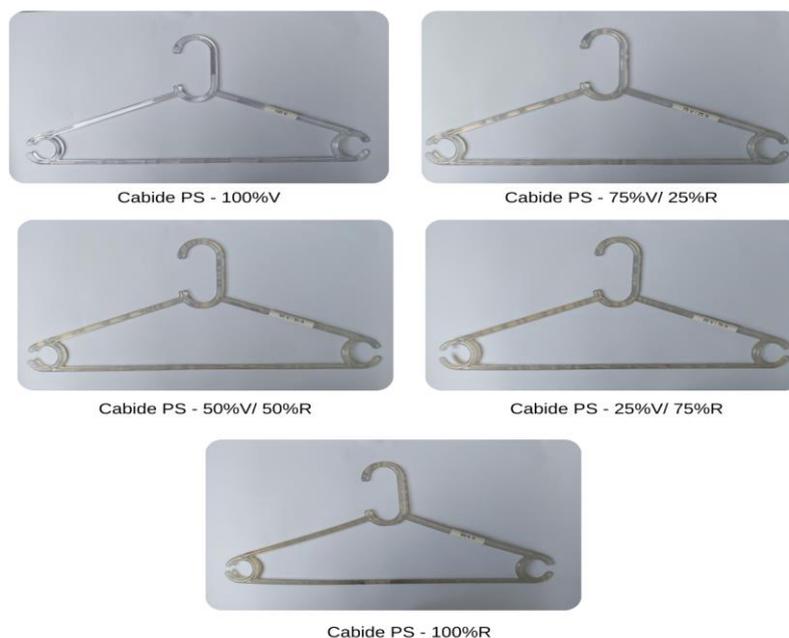
De acordo com a Tabela 12 foram observados os comportamentos das deformações dos corpos de prova. Nesse sentido, os materiais 100% V e 50% V/ 50%R1 não apresentaram pontos de ruptura, o primeiro apresentou predominância da deformação elástica, indicando uma maior resistência das propriedades do material. Para o polipropileno, ficou evidente que o aumento da massa, direciona o material a passar pelas três classificações de deformação. Em outras palavras, sempre houve uma deformação plástica antes que houvesse a ruptura do material.

Ainda, é interessante observar que o aumento da massa, seguido do aumento mássico do material mais reciclado no corpo de prova, de maneira geral, fez com que as deformações elásticas ficassem cada vez mais escassas, corroborando para o surgimento dos pontos de ruptura. Por exemplo, dos 7 diferentes tipos de amostra, todas apresentaram a deformação elástica para forças aplicadas de 1 kg de massa. Em contra partida, para forças aplicadas de 4 kg as duas primeiras amostras apresentaram a deformação plástica, e as 5 últimas a ruptura.

## 4.2 Resultados poliestireno

Os cabides de poliestireno cristal foram obtidos por meio do processo de injeção. A Figura 15 contém os resultados das injeções para cada variação mássica dos cabides de PS.

Figura 15 - Amostras dos Cabides de PS



Fonte: O autor

Observando o aspecto visual dos cabides de PS por meio da Figura 155, foi constatado que à medida em que a % de material reciclado aumenta na mistura, o material foi adquirindo um aspecto mais amarelado e opaco, perdendo sua transparência e translucidez contida na amostra de cabide 100% virgem. Sendo assim, as influências das matérias-primas recicladas alteraram significativamente as propriedades visuais dos cabides injetados de poliestireno.

Com os preços apresentados na Tabela 1 foi construída a Tabela 13 na qual utilizou das proporcionalidades mássicas para definir o preço de cada amostra (com base nos preços dos materiais puros). Também foi calculado o percentual que cada mistura é mais barata em relação ao preço do material virgem.

Tabela 13 - Preço por quilo das amostras e percentual comparativo entre o preço do material virgem

Material	Preço por Quilo (R\$)	Redução do preço em relação ao material virgem (%)
100% V	13,30	-
75% V/ 25% R	11,72	12%
50% V/ 50% R	10,15	24%
25% V/ 75% R	8,58	36%
100% R	7,00	47%

Fonte: Acervo pessoal

De semelhante forma aos cabides de polipropileno, os corpos de prova de poliestireno da mistura central (50% V/ 50% R) foram submetidos a experimentos em triplicatas, gerando a Tabela 14. Os respectivos desvios-padrão foram calculados com base na equação 1 apresentada anteriormente.

Tabela 14 - Deslocamentos e médias do centro dos Cabides de PS 50% V/ 50% R sob efeito das massas, juntamente com seus respectivos tipos de deformações e desvios-padrão entre parênteses

Massa suspensa (kg)	Deslocamento (cm)			
	1	2	3	Média (desvio padrão)
0,50	1,10 – E	1,20 – E	1,10 – E	1,13 (0,058) – E
1,00	1,80 – E	1,80 – E	1,90 – E	1,83 (0,058) – E
1,50	2,60 – E	2,50 – E	2,50 – E	2,53 (0,058) – E
2,00	3,20 - E	3,30 – E	R	3,25 (0,071) – E/R

Fonte: Acervo pessoal

Para os demais corpos de prova as medições foram feitas de maneira única, começando do material virgem (100%V) até o material 100% reciclado (100%R). Os resultados dos experimentos 100%V, 75%V/ 25%R, 25%V/ 75%R e 100%R são exibidos nas Tabelas 15, 16, 17 e 18 respectivamente.

Tabela 15 - Resultados dos testes de Cabides de PS 100%V

Massa suspensa (kg)	Deslocamento (cm)	Deformação
0,50	1,20	E
1,00	1,90	E
1,50	2,50	E
2,00	-	R

Fonte: Acervo pessoal

Tabela 16 - Resultados dos testes de Cabides de PS 75%V/ 25%R

Massa suspensa (kg)	Deslocamento (cm)	Deformação
0,50	1,00	E
1,00	2,00	E
1,50	2,50	E
2,00	3,00	E

Fonte: Acervo pessoal

Tabela 17 - Resultados dos testes de Cabides de PS 25%V/ 75%R

Massa suspensa (kg)	Deslocamento (cm)	Deformação
0,50	1,30	E
1,00	1,90	E
1,50	2,60	E
2,00	3,50	E

Fonte: Acervo pessoal

Tabela 18 - Resultados dos testes de Cabides de PS 100%R

Massa suspensa (kg)	Deslocamento (cm)	Deformação
0,50	1,30	E
1,00	2,30	E
1,50	2,60	E
2,00	-	R

Fonte: Acervo pessoal

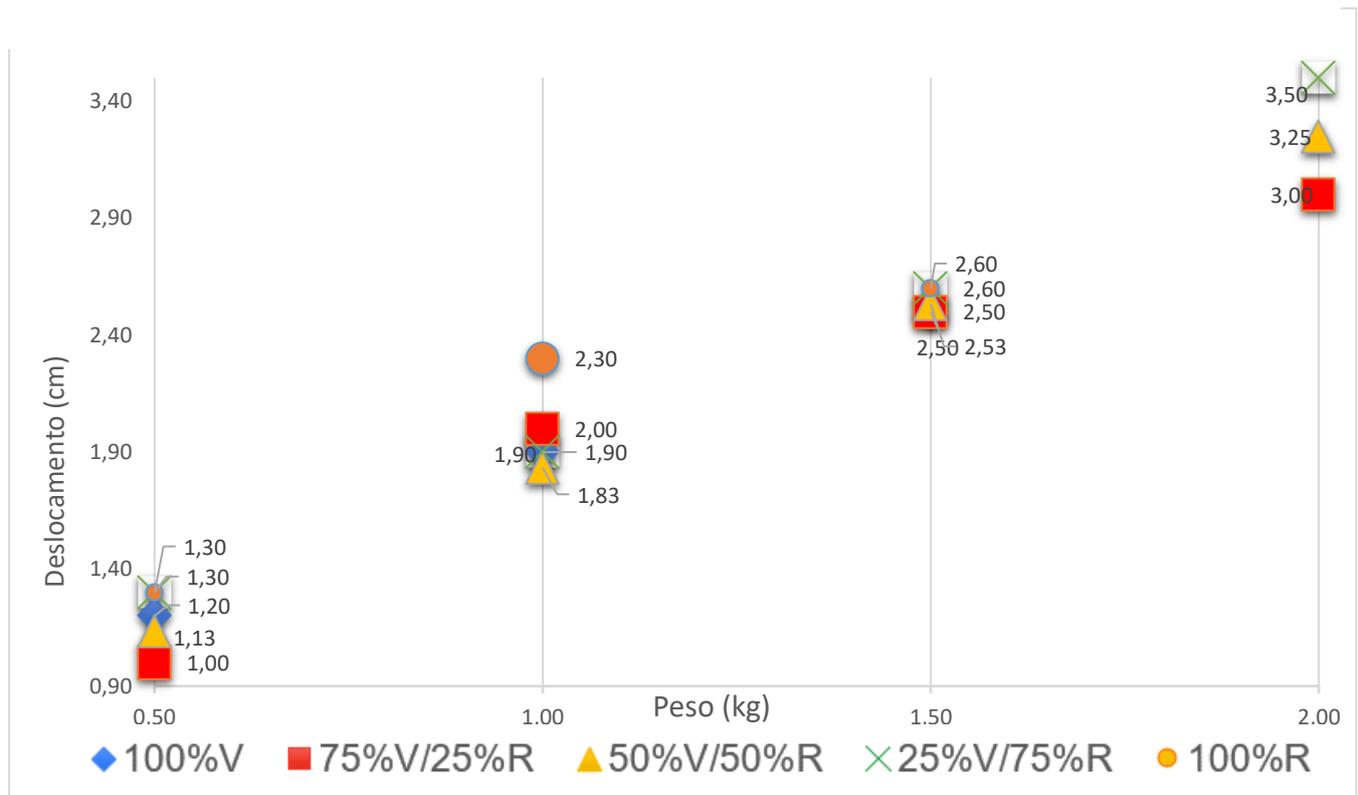
Assim como nos resultados dos cabides de polipropileno, os dados apresentados para o poliestireno encontram-se unificados na Tabela 19 a qual permitiu construir a Figura 166 e a Figura 177 que, para uma melhor visualização foi exibida em forma de barras.

Tabela 19 - Resultado Geral dos deslocamentos dos experimentos com os cabides de PS

Massa suspensa (kg)	100% V (cm)	75% V/ 25% R (cm)	Média 50% V/ 50% R (cm)	25% V/ 75% R (cm)	100% R (cm)
0,50	1,20 – E	1,00 – E	1,13 – E	1,30 – E	1,30 – E
1,00	1,90 – E	2,00 – E	1,83 – E	1,90 – E	2,30 – E
1,50	2,50 – E	2,50 – E	2,53 – E	2,60 – E	2,60 – E
2,00	R	3,00 – E	3,25 – E/R	3,50 – E	R

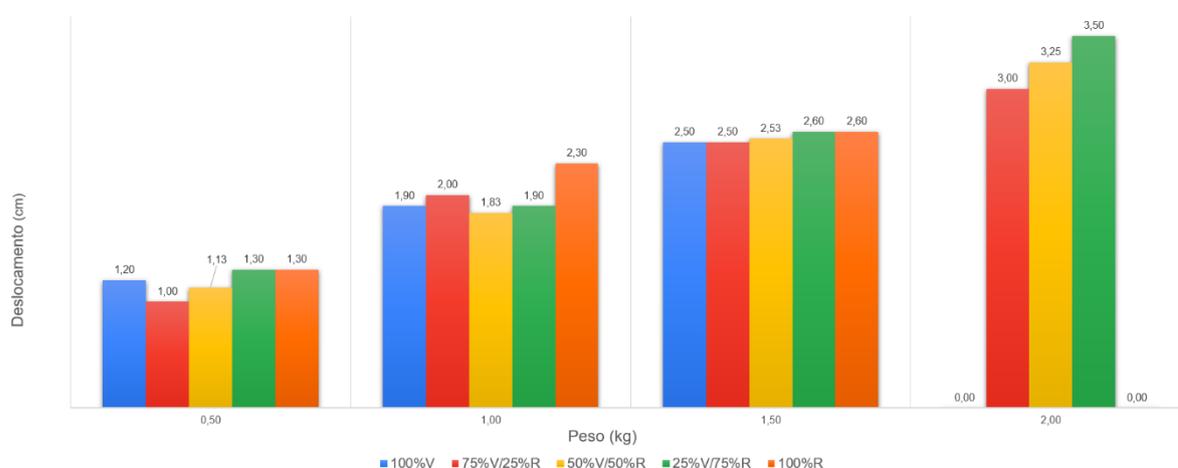
Fonte: Acervo pessoal

Figura 16 - Deslocamento dos cabides de Poliestireno (PS) em função do peso



Fonte: Acervo pessoal

Figura 17 - Resultado geral dos deslocamentos dos Cabides de PS em função da massa



Fonte: Acervo pessoal

Com base nos resultados apresentados na Tabela 19 foi observado que o deslocamento reagiu de forma proporcional ao aumento da massa aplicada. Entretanto, não se pode dizer o mesmo das variações mássicas na composição dos materiais. Somente a linha das massas de 1,50 kg e 2,00 kg apresentaram um valor crescente de deslocamento com o aumento da % de material reciclado na mistura. Porém, vale ressaltar que todo comportamento observado foi tratado como possibilidade, uma vez que a maioria dos testes foram realizados de maneira simples, não apresentando os seus respectivos desvios e erros.

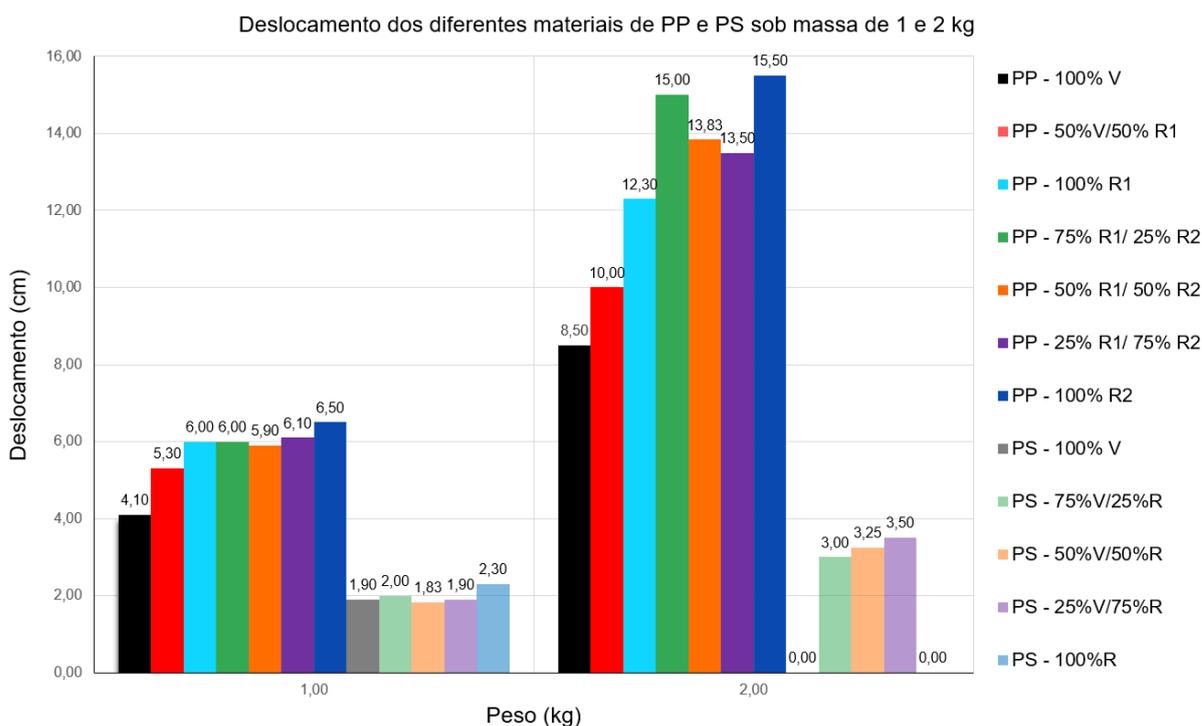
Por outro lado, para as linhas de 0,50, 1,00 e 2,00 kg alguns deslocamentos diminuiram com o aumento do material reciclado, como observado na troca de material 100%V pelo 75%V/25%R, onde houve uma redução de 0,2 centímetros. Nesse sentido, os materiais que apresentaram o menor deslocamento para as massas de 0,50, 100, 1,50 e 2,00 kg, foram, respectivamente, 50%V/50%R, 50%V/50%R (novamente), 100%V juntamente com 75%V/25%R e 75%V/25%R (novamente). Ainda, para a massa aplicada de 2,00 kg os únicos pontos onde a amostra se rompeu foram nos extremos (100%V e 100%R). Isso pode ser um indício de que o material virgem não necessariamente é o mais resistente, como o esperado, e que muito possivelmente o efeito da mistura de virgem com reciclado possa aumentar a resistência do material para o teste caseiro de flexão realizado neste trabalho. Entretanto, para as misturas de poliestireno virgem com poliestireno reciclado, não foram encontrados embasamentos teóricos que sustentassem tal argumento, especificamente.

Com o auxílio da Tabela 19, foi possível observar, que diferentemente dos cabides de polipropileno, os cabides de poliestireno cristal tiveram uma predominância para todas as

massas aplicadas e porcentagem mássicas da deformação elástica. Porém, foi interessante notar que para os testes realizados em triplicatas do material 50% V/ 50%R algumas amostras tiveram o resultado da deformação elástica, enquanto outras atingiram o ponto de se romper. Isso pode ter ocorrido pelo material, dada a tensão aplicada, estar em uma região tênue da ruptura.

Além disso, a ausência do comportamento plástico observado nas amostras pode reforçar a característica vítrea do material, ou seja, é sabido que, diferentemente do PP, o PS é um material mais rígido, menos resistente mecanicamente, mais frágil e quebradiço. Um exemplo disso, é que para uma massa suspensa de 2,00 kg, o material 100% virgem de PP teve um deslocamento de 8,50 cm e uma deformação elástica, enquanto o cabide 100% virgem de PS atingiu a ruptura, como mostrado na Figura 1818.

Figura 18 - Deslocamento dos diferentes materiais de PP e PS sob massa de 1 e 2 kg



Fonte: Acervo pessoal

Ademais, pela Figura 1818 também foi possível observar que para as massas de 1 e 2 kg o material de PP não apresentou nenhuma deformação de ruptura, enquanto os materiais de PS apresentaram duas. Nesse contexto, o material de PP teve uma resposta de deformação maior frente ao PS, isso é comprovado ao se ter uma variação de 2,40 cm de deslocamento máximo entre os materiais de PP ao serem submetidos a uma massa de 1 kg, frente a uma variação de deslocamento máximo de 0,47 cm para os materiais de PS. Quando submetidos a massa de 2

kg essa variação entre os materiais é ainda maior, sendo de 7,00 cm para o PP e 0,50 para o PS. É interessante notar que a variação do deslocamento do PP quase que triplicou em relação ao aumento de 1 kg de massa, enquanto a variação do deslocamento do PS permaneceu praticamente constante.

Ainda nesse sentido, quando ambos os materiais foram submetidos a uma massa de 2 kg, a amostra de PP 75%R1/25R2 apresentou uma deformação plástica, enquanto a amostra de PS 75%V/25R apresentou uma deformação elástica. Pela Figura 19 foi possível observar tal comparação de material quando comparados por sobreposição e, sendo assim, fica claro que os produtos de PS são mais rígidos, porém menos resistentes mecanicamente, portanto mais quebradiços e frágeis em comparação ao PP.

Figura 19 - Comparação das deformações apresentadas nas amostras de PP e PS submetidas à uma massa suspensa de 2 kg



Fonte: O autor

### 4.3 Escolha dos materiais de PP e PS

Com a balança digital foi medido a massa das duas calças jeans, que foi de 0,893 kg. Dessa forma, com base nos dados apresentados anteriormente, o cabide produzido pelo material 100% virgem de polipropileno excede as características de resistência mecânica necessárias para suportar o peso das calças. Portanto, a substituição por uma mistura de material reciclado torna-se uma possibilidade. Além disso, não houveram mudanças significativas nas propriedades visuais dos cabides, ao passo que o teor de material reciclado foi aumentando nas misturas. Dessa forma, visualmente, pode-se dizer que o produto permanece o mesmo. Do ponto de vista econômico, é vantajoso realizar a substituição do cabide produzido com material

virgem por aquele que apresentou um comportamento elástico logo acima da massa das calças e com a maior % mássica de material pós-consumo, nesse caso seria o material com 100%R2. Deste modo, segundo a Tabela 4, haveria uma redução de 55% de custo de matéria-prima em relação ao material virgem. Entretanto, seguindo os mesmos critérios, mas de um ponto de vista mais conservador e menos econômico, abrangendo os cabides que tiveram o comportamento elástico para uma massa suspensa de até 2,00 kg, poderia ser escolhido o cabide de material 100%R1, com uma redução de custo de 46%.

Já para os cabides injetados de poliestireno, as amostras reagiram com um comportamento similar ao efeito das massas aplicadas, isto é, não houve grandes diferenças nos deslocamentos e nem nas classificações de deformações (predominância elástica) em relação às massas, para a faixa de peso das calças jeans. Sendo assim, do ponto de vista econômica, é vantajoso realizar a substituição do material 100% virgem pelo material 100% reciclado, pois segundo a Tabela 13 há uma possível redução de custo de 47%

Entretanto, as características visuais do produto, principalmente translucidez e tom de cor foram alterados a partir da primeira mistura (75%V/ 25%R) perdendo, assim, a principal característica dos cabides de PS (acrílico cristal) que é a sua transparência. Portanto, não se pode dizer que seria o mesmo produto, uma vez que a mistura do PS Virgem com o PS Reciclado gera um produto não mais translúcido, mas leitoso, o que acabaria inviabilizando tal substituição. Por outro lado, tal novo aspecto poderia ser comercializado como uma característica proposital, com um nome que remetesse a isso, como “Cabide Perolado” ou “Cabide Reciclado”. Nesse sentido, tal substituição se validaria, porém, foge do escopo deste projeto a discussão acerca da adesão de tal produto no mercado.

## 5 CONCLUSÃO

Conclui-se, portanto, deste trabalho que:

- Os cabides injetados de polipropileno possuem uma capacidade maior de resistência e flexibilidade se comparados aos cabides de poliestireno;
- Algumas misturas tanto para o PP, quanto para o PS, deformaram menos que os materiais 100% virgens;
- O aumento da porcentagem mássica de material reciclado nos cabides de polipropileno não acarretou em significativas mudanças visuais;

- Os cabides de poliestireno reagiram com um comportamento similar aos efeitos das massas aplicadas, não havendo tanta distinção entre o material virgem e os materiais de misturas recicladas;
- O aumento da porcentagem mássica de material reciclado nos cabides de poliestireno cristal alterou de maneira considerável suas características visuais;
- Para massa cotidianas, é possível substituir os cabides feitos 100% de PP virgem, por cabides de PP 100%R1 ou 100%R2, tendo uma redução no custo de produção de 46% e 55%, respectivamente;
- Para massa cotidianas, a substituição do material 100% virgem de PS é indicada somente se for atrelada a uma mudança de produto, no caso, uma sugestão de nome seria “Cabide Perolado” ou “Cabide Reciclado”. Nesse caso, a redução no custo de produção poderia ser de 47%.

## REFERÊNCIAS

- OLIVEIRA, Maria Clara Brandt Ribeiro. **Gestão de Resíduos Plásticos pós-consumo: perspectivas para a reciclagem no Brasil**. 2012. Mestrado (Monografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, [S. l.], 03/2012.
- MAIER, Clive; CALAFUT, Theresa; **Polypropylene: The Definitive User's Guide and Databook**. 1. ed. NY: -, 1998. p. 1-432.
- MAISPOLIMEROS.COM.BR. **Polipropileno: o que é e o que você não pode deixar de saber**. Disponível em: <https://maispolimeros.com.br/2019/02/11/polipropileno-o-que-e/#:~:text=O%20polipropileno%20ou%20PP%20%C3%A9,%C3%A9%20classificado%20como%20um%20termopl%C3%A1stico..> Acesso em: 12 fev. 2023.
- CELLA, Rafael Ferraz. **AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA DE PROCESSOS DE RECICLAGEM DE ESPUMA SEMIRRÍGIDA DE POLIESTIRENO POR MEIO DA DISSOLUÇÃO**. 2017. Mestrada (Monografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2017.
- DE OLIVEIRA, Patrícia Francisco. **RECICLAGEM DE EMBALAGENS DE ALIMENTOS PRODUZIDAS A PARTIR DE POLIESTIRENO EXTRUSADO PÓS-CONSUMO**. 2006. Mestrado (Monografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2006.
- POLYBRASIL. **Propriedades e aplicações do PS Cristal**. Disponível em: <https://polybrasil.com.br/propriedades-caracteristicas-e-aplicacoes-unicas-do-ps-cristal/>. Acesso em: 13 fev. 2023.
- CALDERONI, Sabetai; **Os Bilhões Perdidos no Lixo: Os Bilhões Perdidos no Lixo**. 4. ed. [S.l.]: Humanitas Fflch/Usp, 2003. p. 1-348.
- DE OLIVEIRA, ANSELMO ANTONIO. **COMPORTAMENTO MECÂNICO E TÉRMICO DE MISTURAS DE POLIPROPILENO VIRGEM E REPROCESSADO POR MÚLTIPLAS EXTRUSÕES PONTA**. 2016. Tese (Mestrado) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2016.
- RODRIGUES, A. C. D. S. et al. **VIAS DE RECICLAGEM DOS POLÍMEROS POLIPROPILENO (PP) E POLIESTIRENO (PS): UM ESTUDO BIBLIOGRÁFICO**: Piauí, v. 18, n. 1, p. 1-16, dez./2005.
- UTRACKI, L. A.; **POLYMER BLENDS HANDBOOK**. Edição. DORDRECHT / BOSTON / LONDON: L. A. Utracki KLUWER, 2014. p. 1-476.

FERNANDES, Laércio L.; FREITAS, C. A. D; DEMARQUETTE, Nicole R.. **Estudo do Efeito do Tipo de Polipropileno na Fotodegradação da Blenda Polipropileno/Poliestireno de Alto Impacto**: São Paulo, Volume, Número, p. 1-8, dez./2005.

PEREIRA, EVELINE RAQUEL PEREIRA. **VIABILIDADE TÉCNICA DO REAPROVEITAMENTO E VALORIZAÇÃO DAS BORRAS DE PEAD PROVENIENTES DO PROCESSO DE INJEÇÃO DE TERMOPLÁSTICOS**. 2015. Tese (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

MANRICH, Silvio; **Processamento de Termoplásticos**: Rosca única . 1. ed. São Paulo: Artliber, 2005. p. 1-429.

Fernandes, B. L., & Domingues, A. J. (2007). **Caracterização mecânica de polipropileno reciclado para a indústria automotiva**. *Polímeros*, 17(2), 85–87. doi:10.1590/s0104-14282007000200005