

UNIVERSIDADE SANTO AMARO
Curso de Engenharia de Produção

Beatriz da Silva Souza

**SUBSTITUIÇÃO DO POLIACETAL PARA POLIPROPILENO NA
ESTRUTURA DO PRENDEDOR DE ROUPAS**

São Paulo
2018

Beatriz da Silva Souza

**SUBSTITUIÇÃO DO POLIACETAL PARA POLIPROPILENO NA
ESTRUTURA DO PRENDEDOR DE ROUPAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia de
Produção da Universidade Santo Amaro –
UNISA, como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel em
engenharia de produção.

Orientador: Prof.: ME. Leandro Cardoso

São Paulo

2018

Beatriz da Silva Souza

**SUBSTITUIÇÃO DO POLIACETAL PARA POLIPROPILENO NA
ESTRUTURA DO PRENDEDOR DE ROUPAS**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de
Produção da Universidade Santo Amaro – UNISA, Como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.**

Orientador: Prof. ME. Leandro Cardoso

São Paulo,..... de de 2018.

Banca Examinadora

Professor(a):.....

Professor(a):

Professor(a):

Conceito Final

DEDICATÓRIA

“Dedico esse trabalho a Deus e aos meus amados pais Maria Cristina e Eliseu que não pouparam esforços para que esse sonho fosse realizado.”

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, pelo dom da vida e por ter me dado força durante toda esta caminhada.

Agradeço imensamente a minha família por todo apoio recebido, principalmente aos meus pais Eliseu e Cristina, pelo amor, carinho, dedicação, paciência e ajuda nas horas que mais precisei durante o curso, ao meu namorado Geovani pelo total apoio aos meus estudos, companheirismo.

Agradeço a todos os meus amigos: Ana, Ana Paula, João, Micael, Thiago, que sempre me apoiaram durante o curso e depositaram total confiança em mim.

Agradeço aos meus professores que sempre estiveram dispostos a ajudar e contribuir em um melhor aprendizado em especial meu professor e orientador.

Enfim, agradeço a todas as pessoas que fizeram parte dessa etapa decisiva em minha vida.

RESUMO

As melhorias e inovações em processos produtivos, tem se mostrado eficientes quando o assunto é redução de custo e tempo para maior competitividade. O objetivo da empresa, quando busca melhorias em seus processos, é obter características em seu produto que tragam resultados positivos diante da concorrência. Deste modo, este trabalho apresenta conceitos técnicos e aplicações de técnicas para a resolução de problemas no processo produtivo, opções de substituição de matéria - prima e redução de custos com manutenção nos equipamentos. Este trabalho foi desenvolvido em uma indústria de peças plásticas localizada em São Paulo. A empresa estava passando por problemas em seu processo produtivo, estava utilizando uma matéria – prima que danificava o seu equipamento na injeção do produto, pois a mesma no processo de injeção exala um gás tóxico com cheiro forte conhecido como formaldeído. Este gás, além de incomodar o operador, o deixa com ardência nas vistas e nas vias respiratórias. Já no equipamento, o material corroí as peças de sua máquina e moldes. Os resultados obtidos no estudo foram positivos, com eliminação de paradas antes do final do expediente para limpeza da agulha de injeção, redução a 0% na emissão ao gás tóxico formaldeído, redução no tempo de troca de peças da máquina, substituição por um polímero que pode ser reutilizado por infinitas vezes e melhoria no ambiente de trabalho.

Palavras chave: Plásticos; Injeção de plásticos; melhorias em processo produtivo.

ABSTRACT

Improvements and innovations in production processes have been considered very important when the subject is reducing costs and time in order to achieve better competitiveness. The goal of the company, when searching for improvements on its process, is to achieve positive results to the business if compared to its competitors. In that way, this document presents technical concepts and techniques to solve manufacturing problems, options of materials replacement and cost reductions of equipment maintenance. This document is about a plastic industry, located in São Paulo. They were experiencing problems during the manufacturing process, the company was using a material that was damaging the equipment and producing a toxic gas with a strong smell, known as formaldehyde. Besides disturbing the operator, this gas causes injuries to the operator's eyes and difficulties to breath. Talking about the equipment, the material damages the engine machine parts and molds. The results obtained in this case study were positive, eliminating breaks before the end of the work day to clean the injection needles, formaldehyde gas reduction to 0%, time reduction when exchanging machine's parts, replacement by a polymer that can be reused for infinite times and improvement on the work environment.

Keywords: Plastics; Injection of plastics; productive process improvements.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura química do POM.....	24
Figura 2 - Masterbatch	30
Figura 3 - Máquina injetora.....	32
Figura 4 – Área de injeção da injetora.....	33
Figura 5 - Ciclo de moldagem por injeção	35
Figura 6 - Ensaio de dobramento	39
Figura 7 - Dobramento livre.....	40
Figura 8 - Dobramento Semiguiado	40
Figura 9 - Corpo de prova sob compressão com deformação elástica	41
Figura 10 - Corpo de prova sob compressão com deformação plástica	41
Figura 11 - Deslocamento ou flecha de flexão em três pontos.....	42
Figura 12 - Deslocamento ou flecha de flexão em quatro pontos	43
Figura 13 - Deslocamento ou flecha de flexão no método engastado.....	43
Figura 14 - Prendedores de roupa do estudo.....	44
Figura 15 - Cilindro com rachaduras e vazamento de poliacetal na injeção	45
Figura 16 – Compra de Polipropileno Reciclado	46
Figura 17 - Molas com rebarbas “unhas”	48
Figura 18 - Molde com profundidade 6,7mm.....	49
Figura 19 - Prendedor demarcado para teste.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ficha técnica do polipropileno – Especificações do filamento.....	22
Tabela 2- Ficha técnica do polipropileno – Propriedades mecânicas.....	22
Tabela 3 - Ficha técnica do polipropileno – Propriedades térmicas	23
Tabela 4 - Ficha técnica do poliacetal – Propriedades mecânicas.....	25
Tabela 5 - Ficha técnica do poliacetal – Propriedades térmica	25
Tabela 6 - Ficha técnica do poliacetal – Propriedades elétrica	26
Tabela 7 – Ficha técnica do Masterbatch.....	29
Tabela 8 – Densidade dos polímeros.....	34
Tabela 9 – Resultados dos ensaios	48
Tabela 10 – Resultados dos prendedores em testes	52

LISTA DE SIGLAS

ABS	Acrilonitrila butadieno estireno
PA	Polyamide (nylon)
PBT	Polibutileno tereftalato
PC	Policarbonato
PE	Polietileno
PET	Polietileno tereftalato
PEEK	Polieteretercetona
POM	Poliacetal
PP	Polipropileno
PPA	Poliftalamida
PPS	Sulfeto de Polifenileno
PS	Poliestireno
PVC	Policloreto de polivinila

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1.OBJETIVOS.....	13
1.1.1. Objetivo Geral.....	13
1.1.2. Objetivos Específicos.....	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1.Polímeros.....	14
2.1.1. Polimerização	15
2.2.Plástico	15
2.3.Tipos de plásticos	16
2.3.1. Plásticos de massa ou Commodities	16
2.3.2. Plásticos de engenharia.....	16
2.3.3. Plásticos de Alto desempenho.....	17
2.4.Monômero.....	17
2.5.Termoplásticos e Termorrígidos	17
2.5.1. Termoplásticos	17
2.5.2. Termofixos ou Termorrígidos.....	18
2.6.Cristalinidade dos polímeros.....	19
2.6.1. Polímero Amorfo	19
2.6.2. Polímero Semicristalino	20
2.7.Polipropileno	20
2.8.Poliacetal	23
2.9.Aditivo para polímeros	27
2.9.1. Cargas	27
2.9.2. Plastificantes.....	27
2.9.3. Reforços	28
2.9.4. Estabilizadores	28
2.10. Pigmentos	28
2.10.1.Orgânico.....	29
2.10.2.Inorgânico.....	29
2.11. Masterbatch	29
2.12. Processo Produtivo do Plástico.....	30
2.12.1.Processos de moldagem	30
2.13. Injetora	31
2.13.1.Pressão de injeção	33

2.13.2.Velocidade de injeção	33
2.13.3.Capacidade de injeção	34
2.13.4.Moldagem por Injeção	34
2.14. Ensaio	36
2.14.1.Ensaio de tração	37
2.14.2.Ensaio de Dobramento.....	38
2.14.3.Ensaio de Compressão	40
2.14.4.Ensaio de Flexão.....	42
3. MÉTODOS.....	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	49
5. CONCLUSÃO	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

1. INTRODUÇÃO

Atualmente as empresas estão encarando um mercado muito competitivo, manter a qualidade com esse nível de mercado é um desafio. Hoje em dia não é mais o preço o motivo da escolha do consumidor e sim a qualidade que está sendo vista como um diferencial dos concorrentes.

Um mesmo produto pode ser produzido por diversas empresas, mas o que difere uma empresa das concorrentes são as melhorias da qualidade realizadas dentro do seu processo produtivo, como: os métodos utilizados, conceitos de qualidade adotados pela empresa, inovações no processo e produto. Quando manuseada corretamente as ferramentas de análises e melhorias de processos essas podem direcionar como agir para evitar desperdícios, agilizar o processo de busca da causa raiz e a resolução de falhas. Com essas atitudes a competitividade da empresa só tende a aumentar.

A perspectiva estratégica presume para as empresas crescimento e alcance de novos resultados, como fruto da capacidade de inovação e de adaptações das transformações contínuas. Uma inovação leva a outra, proporcionando aperfeiçoamentos e melhorias contínuas. (NONAKA; TAKEUCHI, 1997).

Durante a pesquisa, foi realizada a análise do processo de injeção de prendedores plásticos em uma indústria com sede em São Paulo e foram identificados alguns problemas em seu processo produtivo e melhorias que poderiam ser adquiridas em seu produto. O trabalho foi desenvolvido por etapas, onde primeiramente foi realizado um acompanhamento do processo produtivo, a fim de identificar gargalos em sua produção, a qual através dos estudos, que pudesse estar reduzindo a sua produtividade e aumentando os seus custos. Com isso foram identificados alguns problemas em seu processo produtivo e melhorias que poderiam ser adquiridas em seu produto.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo do trabalho é o estudo de possíveis substitutos da matéria – prima poliacetal (POM) utilizada na fabricação do produto, buscando redução de custos,

redução de troca de peças por desgaste, redução na emissão de gases tóxicos como o formaldeído, melhoria no ambiente de trabalho, redução de compras de matéria- prima.

1.1.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos estão listados nos tópicos a seguir, que buscam alcançar as soluções para o estudo proposto:

- ✓ Identificar de pontos negativos do poliacetal;
- ✓ Analisar de polímeros substitutos;
- ✓ Comparar de características dos polímeros;
- ✓ Realizar testes para análises;
- ✓ Comparar processos produtivos;
- ✓ Comparar eficiência do material proposto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Polímeros

“O termo polímeros vem das raízes gregas “poli”, que significa simplesmente “muitos meros”, onde mero é o bloco de montagem da molécula da cadeia longa ou da rede, ou seja, significa partes ou unidades.” (SHACKELFORD, 2008, p.293)

“Os polímeros são moléculas muito grandes constituídas pela repetição de pequenas e simples unidades químicas, denominadas por monômeros, ligadas covalentemente.” (ANDRADE, 1995).

O homem tem – se servido dos polímeros desde a Pré – história, embora só no século XIX é que os começou a sintetizar deliberadamente.

Os polímeros podem ser classificados como: naturais e sintéticos. Os naturais são aqueles que já existem normalmente na natureza. Alguns exemplos desses

polímeros são: a celulose, a borracha natural, o amido, as proteínas e os ácidos nucleicos. A maioria dos polímeros sintéticos são compostos orgânicos, produzidos pelo homem através da reação de polimerização de moléculas simples, como por exemplo: o Nylon, o Dacron, o PVC, o vidro acrílico, o polietileno, etc. Os polímeros sintéticos são obtidos pela união de monômeros à molécula em crescimento, um de cada vez. A sua produção é feita através de um processo de polimerização, de modo a formarem – se as longas cadeias de moléculas orgânicas. Com o polímero sintético é possível fabricar vários objetos, dentre eles: sacolas plásticas, para-choques de automóveis, canos para água, painéis antiaderentes, mantas, colas, tintas e chicletes. (CALLISTER, 2012).

2.1.1. Polimerização

Polimerização é uma reação química, onde as moléculas dos produtos podem aumentar de tamanho ao mesmo tempo em que forem fornecidos reagentes. Se os monômeros possuem funcionalidade adequadas pode então ocorrer à polimerização.

A síntese dessas grandes moléculas (polímeros) é denominada polimerização; essa síntese é simplesmente o processo pelo qual os monômeros são ligados uns aos outros para gerar longas cadeias compostas por unidades repetidas. (CALLISTER, 2012, p.408).

2.2. Plástico

São materiais moldáveis pela ação do calor e temperatura ou solventes. Há plásticos que tem como matéria – prima uma resina sintética proveniente, por sua vez, de outras substâncias que combinadas, lhe deram origem. Há outros tipos de plásticos que não procedem de resinas sintéticas, mas sim de substâncias naturais, como é o caso, por exemplo, do acetato de celulose (substância proveniente do linter de algodão ou da pasta da madeira) e da caseína (proteína encontrada no leite).

O maior número de materiais poliméricos diferentes se enquadra sob a classificação dos plásticos. Os plásticos são materiais que possuem alguma rigidez estrutural quando submetido a uma carga e são usados em aplicações de uso geral. (CALLISTER, 2012, p.399).

Principais matérias – primas para obtenção de resinas plásticas sintéticas:

- ✓ Petróleo;
- ✓ Hulha;
- ✓ Gás natural.

2.3. Tipos de plásticos

2.3.1. Plásticos de massa ou Comidities

São termoplásticos de uso geral que apresentam baixa resistência à temperatura e propriedades mecânicas limitadas, são normalmente empregados em aplicações como embalagens descartáveis. Representam o maior volume consumido e o menor custo. Exemplos: PE,PP e PS. (SENAI, 2006).

2.3.2. Plásticos de engenharia

São materiais termoplásticos direcionados para aplicações mais nobres como engrenagens que requerem produtos com maior resistência ao desgaste e alta temperatura, possuem propriedades químicas e físicas superiores às dos materiais classificados como comodities e preço varia de 2 a 10 vezes maior. Exemplos: PC, PBT, PA. (NEWELL, 2010).

“São polímeros com resistência e rigidez suficientes para serem sérios candidatos a aplicações estruturais, outrora denominadas por metais. Esses polímeros mantêm boa resistência e rigidez até 150 -175°C.” (SHACKELFORD, 2008, p.300).

2.3.3. Plásticos de Alto desempenho

São plásticos com resistência à temperatura e resistência química muito superiores à dos termoplásticos de engenharia. Estes materiais possuem custo relativamente alto e são usados em aplicações muito especiais. Exemplos: PEEK, PPS e PPA. (SENAI, 2006).

2.4. Monômero

Conhecido como a matéria – prima do polímero, os monômeros são pequenas moléculas que quando ocorre à ligação com outros monômeros surge o polímero.

“Monômero se refere à pequena molécula a partir da qual um polímero é sintetizado.” (CALLISTER, 2012, p.358).

2.5. Termoplásticos e Termorrígidos

Os polímeros podem ser divididos em duas categorias termoplásticos e termorrígidos, com base nas características dessas categorias é possível decidir qual tipo de polímero se adéqua as suas necessidades para o produto.

Os polímeros são classificados em função de suas habilidades de serem refundidos e novamente conformados. Os polímeros podem ser classificados em duas categorias principais: termoplásticos e termofixos. A decisão em relação a se usar termorrígidos ou termoplásticos para aplicações específica, dependem dos custos e dos impactos ambientais onde os termoplásticos são favorecidos, porque os materiais não seriam reciclados e poderiam custar mais caros. (NEWELL, 2010, p.129).

2.5.1. Termoplásticos

São polímeros que sob efeito de temperatura e pressão fundem e fluem podendo ser moldados, e quando resfriados, endurecem, adquirem a forma do molde. Aplicando-se temperatura e pressão novamente eles podem reiniciar um novo ciclo de fusão e endurecimento diversas vezes. (CALLISTER, 2012)

Uma degradação irreversível ocorre quando a temperatura de um polímero termoplástico fundido for aumentada excessivamente. Além disso, os termoplásticos são relativamente macios. A maioria dos polímeros lineares e aqueles que têm algumas estruturas ramificadas simultânea de calor e pressão. A plasticidade em altas temperaturas se deve à capacidade de as moléculas deslizarem umas sobre as outras. Deve-se observar que, assim como os metais, a ductilidade dos polímeros termoplásticos é reduzida pelo resfriamento. (SHACKELFORD, 2008).

A retirada dos produtos termoplásticos em molde precisa resfriar o produto no molde para evitar deformações. Os termoplásticos são materiais que se tornam menos rígidos quando aquecidos. Exemplos: polietileno, polipropileno, poliestireno, náilons, etc.

2.5.2. Termofixos ou Termorrígidos

Os polímeros termofixos na grande maioria são polímeros em rede. Os termofixos são o oposto dos termoplásticos. Os polímeros em rede apresentam ligações cruzadas covalentes entre as cadeias moleculares adjacentes. Durante o tratamento térmico, essas ligações prendem as cadeias umas às outras para resistir aos movimentos de vibração e de rotação da cadeia em temperaturas elevadas. Dessa forma, os materiais não amolecem quando são aquecidos. Esse tipo de plástico se torna mais rígido com o aquecimento, tornam-se permanentemente rígidos durante sua formação e não amolecem sob aquecimento. Após moldados não podem ser refundidos novamente. A reação de polimerização é realizada em um molde, de modo a que o termorrígido ganhe imediatamente sua forma final. Produtos termofixos podem ser removidos do molde na temperatura de fabricação (normalmente entre 200 a 300 °C). (MANO, 1985).

Apenas um aquecimento até uma temperatura excessiva causará o rompimento dessas ligações cruzadas e a degradação do polímero. Os polímeros termofixos são mais duros e mais resistentes que os termoplásticos, e possuem melhor estabilidade dimensional. A maioria dos polímeros com ligações cruzadas e em rede, os quais incluem as borrachas vulcanizadas, os epóxis, as resinas fenólicas e algumas resinas poliéster, são termofixos. (CHOI, 2015).

2.6. Cristalinidade dos polímeros

Os materiais plásticos podem ser classificados nas duas seguintes formas de estruturas das moléculas, amorfo ou semicristalino. Não existe nenhum polímero totalmente cristalino e a maioria são amorfos.

2.6.1. Polímero Amorfo

Segundo SENAI (2006), os materiais amorfos não apresentam forma geométrica definida, ou seja as cadeias poliméricas não tem ordem. Exemplos de amorfos: PVC, Acrílico, ABS, Policarbonato. Principais características:

✓ **O seu aquecimento ocorre progressivamente**

A agitação térmica das moléculas faz a quebra das ligações secundárias fazendo com que o aquecimento seja mais lento que os polímeros semicristalinos.

✓ **São transparentes**

A sua estrutura química permite que a luz a atravesse.

✓ **Baixa contração de moldagem**

Todos os termoplásticos são processados no estado amorfo, na solidificação o arranjo molecular aleatório produz uma baixa contração e uma contração mais controlada, tendo assim maior estabilidade dimensional.

✓ **Baixa resistência química**

A estrutura aleatória permite que os químicos penetrem em seu interior levando a quebra de ligações.

✓ **Baixa resistência à fadiga.**

A estrutura aleatória contribui para uma pior performance.

2.6.2. Polímero Semicristalino

Segundo Senai, Existem polímeros em que parte das cadeias poliméricas se organiza e a estes polímeros damos o nome de semicristalinos. As propriedades mudam muito de acordo com sua cristalinidade. Exemplo de polímero semicristalino: POM, PP, PET, Nylon. Principais características:

✓ **Rápido amolecimento**

A estrutura regular das moléculas resulta em uma quebra molecular simultânea das cadeias.

✓ **Opaco**

A diferença do índice de refração das duas fases amorfa e cristalina causa interferência e por isso o material é opaco e translúcido.

✓ **Alta contração**

Conforme o material solidifica passando do estado amorfo para o estado cristalino, as moléculas ordenam-se e ficam empacotadas. Isto leva uma alta contração.

✓ **Alta resistência química**

A estrutura cristalina e empacotada previne e resiste melhor quimicamente.

✓ **Boa resistência à fadiga**

A estrutura uniforme é responsável por uma boa performance à fadiga e fricção. O POM é um bom exemplo, pois é muito utilizado em articulações integrais.

2.7. Polipropileno

Segundo SENAI, o PP (homopolímero), como o PE, é um plástico linear de hidrocarbonetos, porém, é mais rígido, duro e possui um ponto mais alto de plastificação.

É um termoplástico que pode ser reciclado diversas vezes, tem um processamento fácil, possui baixa densidade, a cor natural desse material é um

branco marfim translúcido e é considerado relativamente barato comparado com outros polímeros.

Segundo SENAI, Na indústria automobilística e Eletro – Eletrônica, o PP normalmente é utilizado na forma de compostos especiais modificado com EPDM, Talco ou Fibra de Vidro. A vantagem do polipropileno é o seu efeito “dobradiça”, ou seja, é possível produzir peças com dobras no próprio material. Sua desvantagem é que quando as peças estão expostas ao sol, podem ficar manchadas e pode perder algumas de suas propriedades, para que isso não ocorra é necessário adicionar um aditivo antioxidante e um estabilizante ultravioleta para retardar a degradação.

O polipropileno pode ser processado pelas formas de injeção, sopro, extrusão de filmes, extrusão de filamentos, termoformagem.

Ficha técnica do Polipropileno (PP)

Nome químico: Homopolímero (PP);

Descrição: O PP (polipropileno) é duradouro. Possui elevada tenacidade, resistência excepcional à fadiga e baixo atrito. Também possui boa resistência química, térmica e elétrica. O PP é um dos plásticos mais amplamente utilizados no planeta. Desde componentes elétricos a dobradiças flexíveis, o PP é o material de eleição para a construção de protótipos e de produtos finais.

Características principais: Duradouro com elevada tenacidade e resistência à fadiga (o PP mantém a sua forma após torsão, curvatura e/ou flexão); baixo atrito e superfícies suaves; boa resistência ao calor (até 105 °C); semiflexível; resistência química a uma ampla gama de bases e ácidos, incluindo agentes de limpeza industriais; elevada resistência elétrica; resistência muito elevada à umidade; translúcido; baixa densidade, o que resulta em peças leves (elevada razão resistência/peso); excelente ligação entre camadas; adequada adesão à base e baixa deformação quando se usam folhas de adesão.

Aplicações: Protótipos funcionais, dobradiças flexíveis, equipamento de laboratório, moldagem, pastas de papelaria, embalagens, caixas de armazenamento, capas protetoras e abajures.

Não adequado: Para aplicações em contacto com alimentos e aplicações in vivo. Exposição prolongada aos UV e/ou umidade e aplicações em que a peça impressa está exposta a temperaturas superiores a 105 °C.

Tabela 1 – Ficha técnica do polipropileno – Especificações do filamento

Especificações do filamento		
Propriedades	Valor	Método
Diâmetro	2,85± 0,05 mm	-
Desvio max. De circularidade	-	-
Peso líquido do filamento	500g	-
Comprimento do filamento	~88m	-

Fonte: Empresa Plastireal

Tabela 2- Ficha técnica do polipropileno – Propriedades mecânicas

Propriedades mecânicas				
Propriedades	Moldagem por injeção		Impressão3D	
	Valor típico	Método de teste	Valor típico	Método de teste
Módulo de tração	390 MPa	ISO527	220 MPa	ISO527 (50mm/min.)
Resistência à tração no limite	14 MPa	ISO527	8,7 MPa	ISO 527 (50mm/min.)
Resistência à tração	Ausência de rutura dentro do intervalo de teste	ISO 527	Ausência de rutura dentro do intervalo de teste	ISO527 (50mm/min.)
Alongamento no limite	13%	ISO 527	>300%	ISO527 (50mm/min.)
Resistência a flexão	14 MPa	ISO178	13 MPa	ISO178
Módulo de flexão	350 MPa	ISO178	305 MPa	ISO178

Resistência ao impacto Izod, com entalhe (a 23°C)	-	-	27,1kJ/m ²	ISO180
Resistência impacto Charpy a(0°C)	10kJ/m ²	ISO179	-	-
Dureza	55(ShoreD)	ISO868	45(ShoreD)	Durómetro

Fonte: Empresa Plastireal

Tabela 3 - Ficha técnica do polipropileno – Propriedades térmicas

Propriedades térmicas		
Propriedades	Valor típico	Método do teste
Taxa de fluxo de massa fundida (MFR)	20g/ 10min	ISO 1133 (230°C, 2,16kg)
Deflexão térmica (HDT) a 0,455 Mpa	-	-
Deflexão térmica (HDT) a 1,82 Mpa	-	-
Temperatura de amolecimento Vicat a 5N	115°C	ISO 306
Transição vítrea	-	-
Coeficiente de expansão térmica	-	-
Temperatura de fusão	130°C	DSC
Retração térmica	-	-

Fonte: Empresa Plastireal

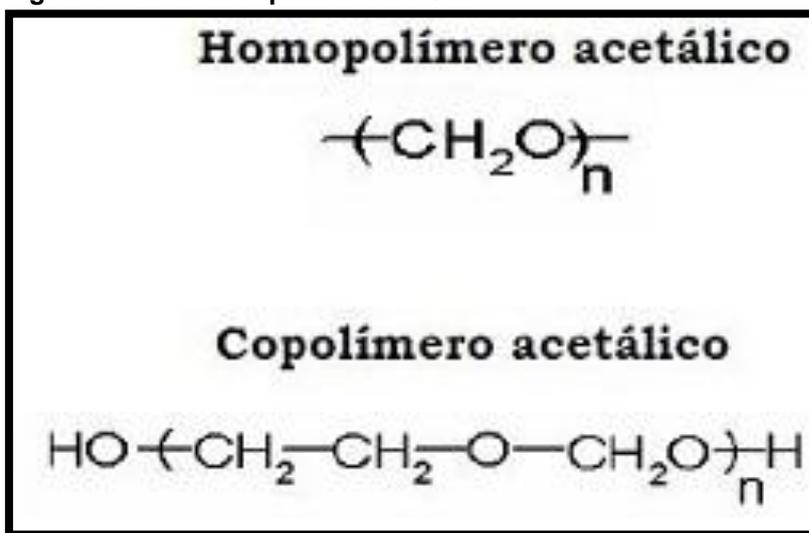
2.8. Poliacetal

O poliacetal devido a sua elevada rigidez, tenacidade, estabilidade dimensional, resiliência, resistência à fadiga e por ter suas propriedades numa larga faixa de temperatura, mesmo quando exposto a umidade e muitos solvente, são considerados como plástico de engenharia. É considerado um termoplástico e contém um gás chamado formaldeído que durante o processo de injeção o poliacetal

exala esse gás. São resistentes aos solventes orgânicos à temperatura de no máximo 70 °C. Acima dessa temperatura, alguns materiais fenólicos, tais como clorofenóis os atacam. (SENAI, 2006)

O poliacetal pode ser encontrado como copolímero ou homopolímero, os copolímeros possuem maior resistência aos álcalis inorgânicos fortes que os homopolímeros. As suas resinas acetálicas absorvem baixo teor de umidade.

Figura 1 - Estrutura química do POM



Fonte: Tudo sobre Plásticos

Ficha técnica Poliacetal (POM)

Nome químico: Polioximetileno (POM)

Descrição: O Poliacetal é um material muito resistente. É um plástico de engenharia com excepcional estabilidade dimensional e excelente resistência ao escoamento e à fadiga por vibrações, baixo coeficiente de atrito, elevada resistência à abrasão e agentes químicos.

Características principais: Baixa absorção de água, boa estabilidade dimensional, resistência à abrasão, resistência a fadiga, alta fluência, rigidez, facilmente usinável proporcionando ótimo acabamento.

Aplicações: Juntas, cilindros, peças de tubulações, rodas dentadas, roscas sem fim, engrenagens, vedações, entre outras ferramentas e peças.

Não adequado: Não adequado para contacto a longo prazo com altas concentrações de ácidos e cloro.

Tabela 4 - Ficha técnica do poliacetal – Propriedades mecânicas

Propriedades mecânicas		
Moldagem por injeção		
Propriedades	Valor típico (seco/úmido)	Norma de referência
Resistência a tração (escoamento)	70MPa	DIN EM ISO 527
Alongamento (ruptura)	25%	DIN EM ISO 527
Módulo de elasticidade (tração)	3000MPa	DIN EM ISO 527
Módulo de elasticidade (flexão)	2620MPa	DIN EM ISO 178
Dureza	170	DIN 153 456
Resistência à deformação após 1000h com carga elástica	40MPa	
Tensão de deformação para 1% de alongamento depois de 1000h	13MPa	
Coefficiente de fricção	0,34	

Fonte: Empresa Plastireal

Tabela 5 - Ficha técnica do poliacetal – Propriedades térmica

Propriedades térmica		
Moldagem por injeção		
Propriedades	Valor típico (seco/úmido)	Norma de referência
Temperatura de transição vítrea	(-60°C)	DIN 53 765
Temperatura de distorção por calor	124°C	ISO R 75 / DIN 53 461
Temperatura de distorção por calor	170°C	ISO R 75 / DIN 53 461
Máxima temperatura de serviço - curta duração	150°C	
Máxima temperatura de serviço - longa duração	110°C	
Coefficiente de condutividade térmica (23°C)	0,31 W/(K.m)	
Calor específico (23°C)	1,5 J/g.K 1/K	
Coefficiente de expansão térmica (23°C - 55°C)	10^{-5} 1/K	DIN 53 752

Fonte: Empresa Plastireal

Tabela 6 - Ficha técnica do poliacetal – Propriedades elétrica

Propriedades elétrica		
Moldagem por injeção		
Propriedades	Valor típico (seco/úmido)	Norma de referência
Constante Dielétrica	3,7	DIN 53 483/ IEC 250
Fator de perda dielétrica	0,005	DIN 53 483/ IEC 250
Volume específico de resistência	$>10^{14}\Omega\cdot\text{cm}$	DIN IEC 60093
Resistência superficial	$>10^{14}\Omega$	DIN IEC 60093
Rigidez dielétrica	$>50\text{ K V/mm}$	DIN 53, IEC 243, VDE 0303
Resistência às correntes de fuga	KA3c	DIN 53 481, VDE 0303

Fonte: Empresa Plastireal

Fatores observados no processamento

Um superaquecimento do material provoca a formação do gás formaldeído no interior do cilindro da injetora ou extrusora, prejudicando a moldagem.

- ✓ Embora seja menos higroscópico que as poliamidas, devem ser armazenadas em lugares secos.
- ✓ A viscosidade aparente dos poliacetais é menos dependente da temperatura e da tensão do cisalhamento.
- ✓ A alta contração verificada durante o resfriamento no molde, ocorre devido ao seu grau de cristalinidade relativamente alto.

As temperaturas do cilindro devem variar entre 180 e 230°C, preferentemente entre 180°C e 200°C. Jamais deve ultrapassar os 240°C, pois, acima dessa temperatura, ocorre a sua decomposição com liberação do gás formaldeído, que além de ter um odor penetrante é muito tóxico. Quando esta decomposição ocorre é necessário ventilar muito bem o local. (SENAI, 2006).

2.9. Aditivo para polímeros

Muitas vezes é necessário modificar as propriedades mecânicas, químicas e físicas a um nível muito maior do que é possível pela simples alteração dessa estrutura molecular fundamental. Os aditivos são introduzidos para melhorar ou modificar muitas dessas propriedades e, portanto, tornar um polímero mais útil. Os aditivos típicos incluem cargas, plastificantes, estabilizadores, corantes e retardantes de chama.

2.9.1. Cargas

As cargas são adicionadas com o objetivo de melhorar as propriedades do material e aumentar a sua resistência.

Na maioria das vezes, as cargas são adicionadas com o objetivo de melhorar os limites de resistência à tração e a compressão, resistência à abrasão, a tenacidade, as estabilidades dimensionais, térmicas e outras propriedades. Materiais empregados como cargas particuladas incluem pó de madeira, pó e areia de sílica, vidro, argila, talco, calcário e mesmo alguns polímeros sintéticos. (WILLIAM, 2006, p.410).

2.9.2. Plastificantes

Esse aditivo pode melhorar a elasticidade, ductilidade e a tenacidade dos polímeros. Sua presença também reduz na dureza e na rigidez. Os plastificantes são, em geral, líquidos com baixas pressões e baixas massas molares. Os plastificantes são usados comumente em polímeros que são intrinsecamente frágeis à temperatura ambiente, tais como o cloreto de polivinila e alguns copolímeros à base de acetato. Os plastificantes reduzem a temperatura de transição vítrea, de modo que em condições ambiente os polímeros podem ser empregados em aplicações que requerem certo grau de flexibilidade e ductilidade. Essas aplicações incluem lâminas finas ou filmes, tubos, capas de chuva e cortinas. (NEWELL, JAMES, 2010).

2.9.3. Reforços

É bastante utilizado nos polímeros de engenharia para aumentar sua resistência e rigidez, elevando, assim, sua competitividade como substitutos do metal. Os reforços costumam receber tratamentos superficiais para garantir eficiência máxima na melhoria das propriedades. A porcentagem ideal a ser utilizado desses aditivos é de 50% vol para produzir um material considerado como polímero. Para acréscimos acima de aproximadamente 50%vol, o material é chamado de compósito, exemplo de compósito é a fibra de vidro. (Senai, 2006).

2.9.4. Estabilizadores

“São aditivos que melhoram a resistência de um polímero a variáveis que podem causar quebra das ligações, tal como o calor e a luz.” (NEWELL, 2010, p.150).

Esse aditivo é utilizado para reduzir a degradação do polímero. Eles incluem um complexo conjunto de materiais, devido à grande variedade de mecanismos de degradação (oxidação, térmica e ultravioleta). Como exemplo, a borracha natural possui grupos fenólicos complexos, que retardam as reações de oxidação em temperatura ambiente. Porém, esses antioxidantes naturais não são eficazes em temperaturas elevadas. Assim, estabilizadores adicionais são acrescentados à borracha a ser aplicada como pneu.

2.10. Pigmentos

São mais encontrados em forma de pó e utilizados no processo de extrusão para a produção de material granulado inclusive na produção de masterbatch. Suas vantagens e desvantagens são:

- ✓ Desvantagens: deixa seus rastros dificultando a limpeza do equipamento e ambiente;
- ✓ Vantagens: é mais barato do que o máster.

Os pigmentos podem ser classificados como orgânico ou inorgânico.

2.10.1. Orgânico

São pigmentos que fornecem uma cor com alto brilho e se necessário uma boa transparência, oferecem um alto poder tintorial. Seu uso é recomendado para produtos que não serão expostos a altas temperaturas no processo produtivo, como: peças que entram em contato com alimentos ou com produtos farmacêuticos, por serem atóxicos.

2.10.2. Inorgânico

Esse tipo de pigmento oferece uma cor mais opaca e com menor poder tintorial, mas a sua resistência a luz e ao calor é maior do que os orgânicos. São compostos basicamente de óxidos, óxidos mistos, sulfetos de cádmio, carbonatos, cromatos e sais complexos e etc. Alguns podem apresentar certo nível de toxicidade. Os inorgânicos são mais utilizados do que os orgânicos por serem mais baratos e resistentes a altas temperaturas encontradas no processamento de plásticos.

2.11. Masterbatch

São adicionados aos materiais plásticos para conferir cor e melhorar o seu aspecto visual. Sua utilização na produção de prendedores, por exemplo, é adicionado apenas 3% na quantidade total de polipropileno virgem, com o objetivo de aplicar cor no mesmo.

Tabela 7 – Ficha técnica do Masterbatch

PROPRIEDADES	MÉTODO	VALOR
Resina Veículo	*	PET
Resistência Térmica	Injeção / Sopro	260°C
Solidez a Luz (escala 1 a 8)	*	8
Solidez a Migração (escala 1 a 5)	*	5
Tonalidade	Cabine de Luz	Conforme padrão de cor

Dispersão	Visual	Conforme
Homogeneização	Visual	Conforme
Aspecto físico	Visual	Pallets uniformes, isentos de contaminação.

Fonte: Empresa Suprecolor

Tabela 2: Preservação do Masterbatch

PRESERVAÇÃO DO PRODUTO	
Embalagem	Saco valvulado de 04 mm de espessura
Validade	24 meses a partir da data de fabricação

Fonte: Empresa Suprecolor

Figura 2 - Masterbatch



Fonte: A Autora (2018)

2.12. Processo Produtivo do Plástico

2.12.1. Processos de moldagem

Os processos de moldagem mais utilizados para a transformação dos materiais plásticos são:

- ✓ Moldagem por compressão e transferência;
- ✓ Moldagem por injeção;

- ✓ Extrusão;
- ✓ Extrusão e sopro;
- ✓ Extrusão de filmes;
- ✓ Termoformação a vácuo;
- ✓ Moldagem rotacional.

A moldagem por injeção e a moldagem por extrusão são processos predominantes para os termoplásticos. A moldagem por insuflação é uma terceira técnica importante. As moldagens por compressão e por transferência são processos predominantes para os termofixos.

2.13. Injetora

São máquinas universais seu objetivo abrange a produção descontinuada de peças, preferencialmente a partir de fundidos macromoleculares, apesar de a moldagem ocorrer sob pressão.

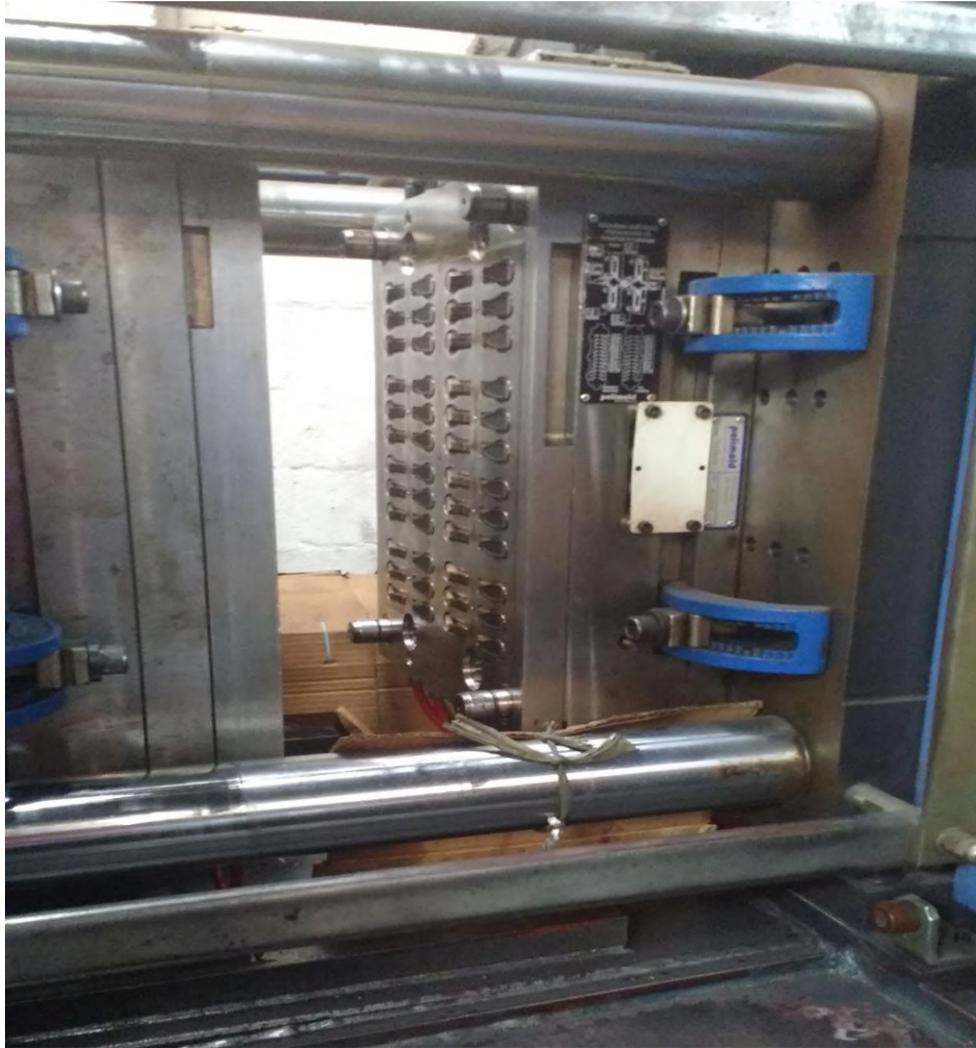
A máquina utilizada para realização do estudo foi Máquina YJK 2000 Injection plastic Machine Metalpack, conforme a imagem abaixo:

Figura 3 - Máquina injetora



Fonte: A autora (2018)

Figura 4 – Área de injeção da injetora



Fonte: A Autora (2018)

2.13.1. Pressão de injeção

Essa pressão é variável e deve atingir até 20.000 psi pelo menos (1400 kgf/cm²). Preferencialmente em dois estágios, onde precisa da pressão para encher o molde e no recalque para evitar o retorno do material ao cilindro, cada um controlado por tempo.

2.13.2. Velocidade de injeção

Deve ser variável e com vazão de pelo menos cerca de 150 cm³/s.

2.13.3. Capacidade de injeção

É a quantidade máxima de material que a máquina consegue injetar. Essa medida é feita em gramas de Poliestireno (PS) que uma máquina pode injetar de uma só vez. Sua capacidade de injeção pode variar de 2g à 20Kg.

Para calcular a capacidade de injeção por ciclo, em função do material em uso, é necessário:

- ✓ Verificar o volume máximo de injeção,
- ✓ Verificar a densidade do material no estado fundido, que se pretende utilizar,
- ✓ Densidade do material no estado fundido.

Tabela 8 – Densidade dos polímeros

Material amorfo	Densidade (g/cm³)	Material cristalino	Densidade (g/cm³)
ABS	0,88	POM	1,15
CA	1,02	PA	0,91
CAB	0,97	PE	0,71
PC	0,97	PP	0,73

Fonte: Apostila Senai

Usar a fórmula: $P = V \times K$

P = peso máximo em gramas

V = volume máximo injetável

K = densidade do material no estado fundido

2.13.4. Moldagem por Injeção

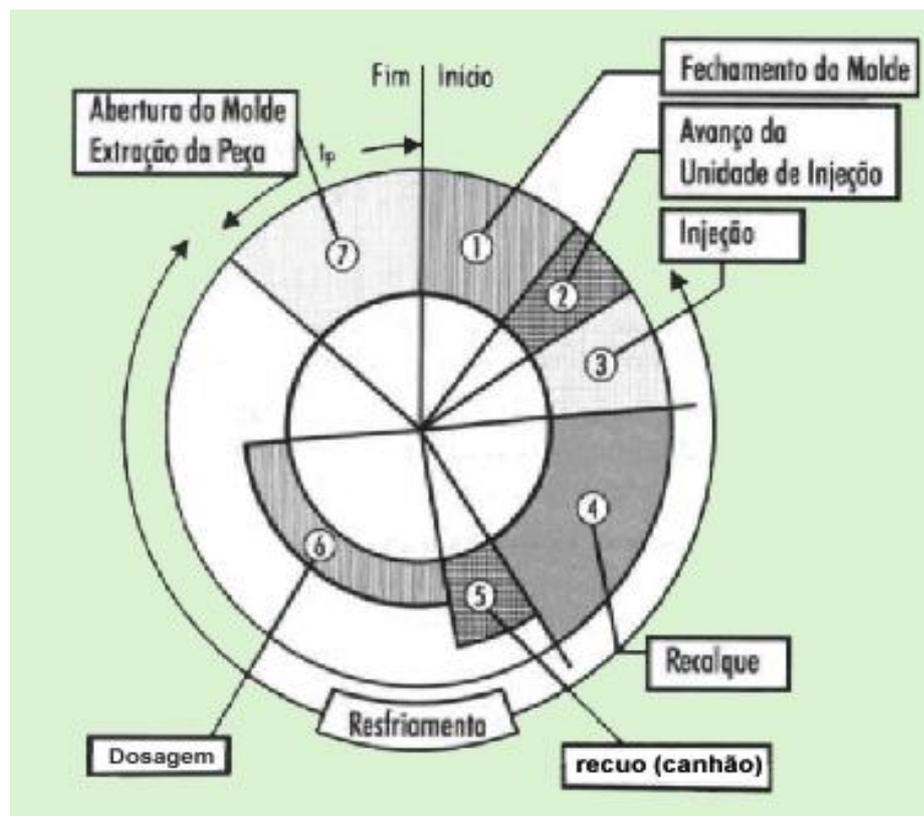
Na moldagem por injeção, um polímero em forma de granulado é aquecido, fundido e forçado sob pressão para dentro de um molde, por meio de um pistão; ainda dentro do molde, a peça moldada é resfriada abaixo da temperatura de

amolecimento do termoplástico; o molde é então aberto e a peça moldada é extraída.

O processo de moldagem é intermitente, ou seja, após cada peça ser extraída do molde, um novo ciclo já teve início. O processo é então caracterizado pelas etapas: alimentação, plastificação, enchimento do molde, resfriamento, abertura do molde e extração da peça.

A moldagem por injeção é o método mais usado para transformar termoplásticos em itens para uso final. Estima-se que 35% dos produtos plásticos para uso, sejam produzidos por este processo. É um processo simples, rápido, preciso e hoje em dia, razoavelmente econômico.

Figura 5 - Ciclo de moldagem por injeção



Fonte: Lindomar, 2012

- ✓ **Fechamento do molde,**
- ✓ **Avanço da unidade de injeção:** fazendo com que o bico de injeção encoste-se à bucha de injeção do molde.
- ✓ **Injeção do plástico:** o plástico que já está no estado fundido (plastificado), o material fundido não retorna pelos filetes da rosca de plastificação, por causa de um dispositivo mecânico que está acoplado à rosca de plastificação, que impede o contra-fluxo.
- ✓ **Pressão de recalque:** é o que mantém o plástico compactado no interior do molde, este ponto de transição entre pressão de injeção para pressão de recalque é chamado de Ponto de Comutação, e é muito importante para manter a qualidade da peça a ser produzida.
- ✓ **Recuo da unidade de injeção,**
- ✓ **Dosagem:** onde a rosca de plastificação irá girar, fazendo com que o material plástico, no estado sólido, seja introduzido no cilindro de injeção através de um funil, ao mesmo tempo também a rosca de plastificação se direcionará para o sentido oposto ao da injeção, ou seja, ela recuará. Com o recuo, a rosca de plastificação desloca entre seus filetes o material em direção a área compreendida entre a ponta da rosca e o bico de injeção, e pela ação do atrito, pressão e temperatura o material plástico que estava no estado sólido (granulado) funde-se (plastifica), preparando a máquina para o próximo ciclo.
- ✓ **Resfriamento:** o tempo de resfriamento está atrelado à temperatura de solidificação da peça e ocorre no final da injeção do plástico até a extração da peça.

2.14. Ensaios

Os ensaios mecânicos podem ser realizados em curta e longa duração. A importância do tempo de duração da solicitação está relacionada como intervalo de tempo que o polímero precisa para responder a ela.

Todo projeto de um componente mecânico, ou, mais amplamente, qualquer projeto de engenharia, requer, para sua viabilização, um vasto conhecimento das características, propriedades e comportamento dos materiais disponíveis. Os critérios de especificação ou escolha de materiais impõem, para a realização dos ensaios, métodos normalizados que objetivam levantar as propriedades mecânicas e seu comportamento sob determinadas condições de esforços. Essa normalização é fundamental para que se estabeleça uma linguagem comum entre fornecedores e usuários de materiais, já que é prática comum a realização de ensaios de recebimento dos materiais encomendados, a partir de uma amostragem estática representativa do volume recebido. (GARCIA, 2012, pág.1).

A avaliação das propriedades mecânicas pode ser feita de forma estática ou dinâmica. A caracterização do comportamento mecânico pode ser feita atingindo-se ou não a ruptura do material. Por exemplo: módulos elásticos, tensão e deformação no escoamento, tensão máxima, etc., são parâmetros caracterizados sem atingir a ruptura do polímero. Por outro lado, tensão e deformação na ruptura, resistência ao impacto, número de ciclos de vida sob a fadiga, são propriedades mecânicas determinadas no limite da resistência destrutiva do polímero. (GARCIA, 2012).

2.14.1. Ensaio de tração

Os ensaios são procedimentos padronizados acompanhados de testes, gráficos, cálculos e tabelas de acordo com as normas técnicas. Um ensaio mecânico se resume em submeter um objeto já fabricado ou que será processado a situações que simulam os esforços reais de uso ou até os seus limites de resistência.

Ensaio de tração consiste na aplicação de carga de tração uniaxial crescente em um corpo de prova específico até a ruptura. Mede-se a variação no comprimento (L) como função da carga aplicada (P), e após o tratamento adequado dos resultados obtém-se uma curva tensão versus a deformação do corpo de prova. (GARCIA, 2012, pág. 6).

Este processo é amplamente utilizado para caracterização de propriedades mecânicas de materiais metálicos e poliméricos, permite obter a curva

tensão/deformação revelando o comportamento do material durante as várias fases do ensaio. (GARCIA, 2012).

Os resultados obtidos permitem avaliar diversas propriedades mecânicas dos materiais, de onde se destacam as seguintes:

- ✓ Tensão máxima,
- ✓ Módulo de elasticidade,
- ✓ Percentagem de extensão total na máxima força,
- ✓ Percentagem de alongamento após fratura,
- ✓ Tensão de deformação,
- ✓ Percentagem de redução de área.

O equipamento utilizado para realizar estes ensaios possui uma capacidade de carga de 100kN. Diversas empresas utilizam esse modelo de ensaio para seus testes, empresas como:

Indústria de componentes e fornecedores de matérias-primas: Determinação de propriedades mecânicas dos materiais utilizados em processos onde são processados polímeros (extrusão, injeção). Determinação de causas de falha de componentes.

Indústria automóvel: Verificação do cumprimento de especificações de produtos acabados no que toca a resistência mecânica.

Indústria elétrica: Verificação de resistência mecânica de elementos de segurança isolantes utilizados em aplicações críticas.

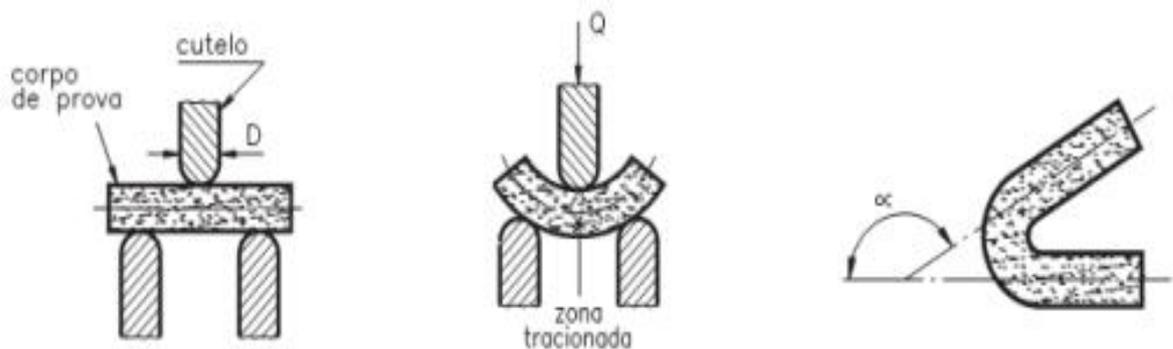
2.14.2. Ensaio de Dobramento

O ensaio de dobramento é utilizado para análise da conformação de segmentos retos de seção circular, quadrada, retangular, tubular ou outras em segmentos curvos. O dobramento é bastante utilizado na indústria de produção de calhas, tubos, tambores e de uma grande variedade de elementos conformados

plasticamente. Os testes realizados no corpo de prova fornece um valor qualitativo da ductilidade do material. (GARCIA, 2000).

Esse ensaio consiste em dobrar um corpo de prova de eixo retilíneo e seção circular, retangular ou quadrada, assentado em dois apoios afastados a uma distância especificada. Através do cutelo é aplicada uma força perpendicular ao eixo do corpo do prova, até que seja atingido um ângulo desejado, que é geralmente 90,120 ou 180°. Se na zona tracionada o material não apresentar trincas ou fissuras ele está aprovado. (GARCIA, 2012).

Figura 6 - Ensaio de dobramento

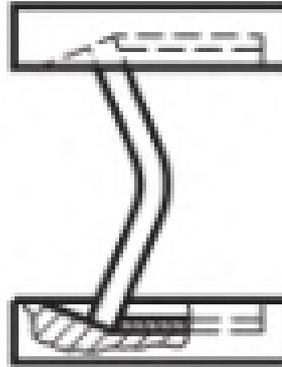


Fonte: GARCIA, 2012

Existem dois tipos de dobramento, sendo eles:

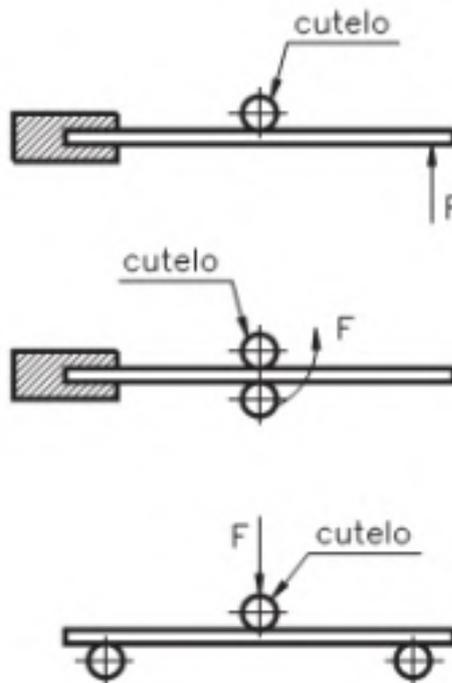
- ✓ **Dobramento livre:** as forças são aplicadas nas extremidades do material.
- ✓ **Dobramento semguiado:** é realizado em uma região especificada pelo cutelo.

Figura 7 - Dobramento livre



Fonte: GARCIA, 2012

Figura 8 - Dobramento Semiguiado



Fonte: GARCIA, 2012

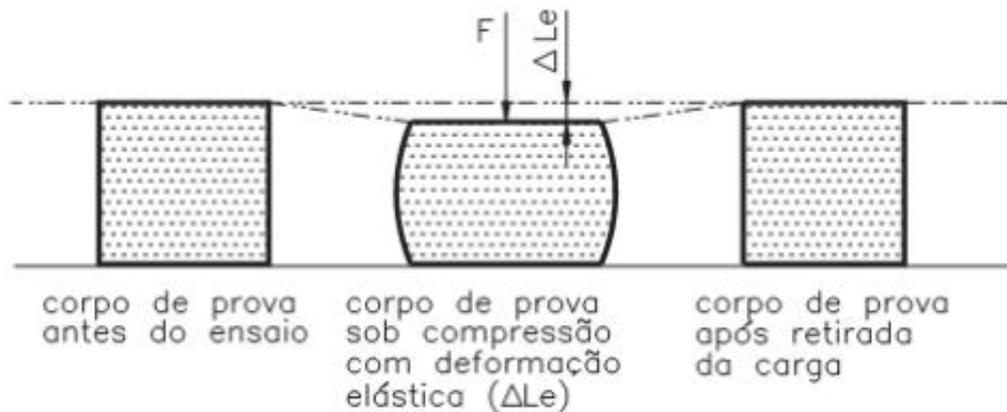
2.14.3. Ensaio de Compressão

É a aplicação de carga compressiva uniaxial em um corpo-de-prova. Nos ensaios de compressão, os corpos de prova são submetidos a uma força axial para dentro, distribuída de modo uniforme em toda seção transversal do corpo de prova. O ensaio de compressão é realizado de forma semelhante à de ensaio de tração,

exceto pelo fato de que força é compressiva e o corpo de prova se contrai ao longo da direção da tensão, porém o ensaio de tração sua execução é mais fácil. (GARCIA, 2000).

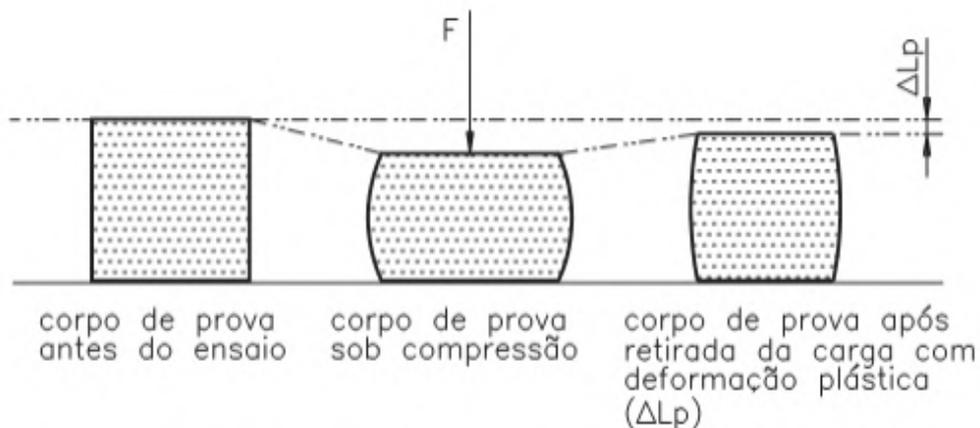
Os ensaios de compressão são usados principalmente quando se deseja conhecer o comportamento de um material submetido a deformações grandes e permanentes, como ocorre em aplicações de fabricação, ou quando o material é frágil sob tração. Este tipo de ensaio pode ser realizado em uma máquina universal, onde o corpo de prova é apoiado entre duas placas lisas e é submetido à compressão, sofrendo a deformação elástica e em seguida uma deformação plástica. (GARCIA, 2000).

Figura 9 - Corpo de prova sob compressão com deformação elástica



Fonte: GARCIA, 2000

Figura 10 - Corpo de prova sob compressão com deformação plástica



Fonte: GARCIA, 2000

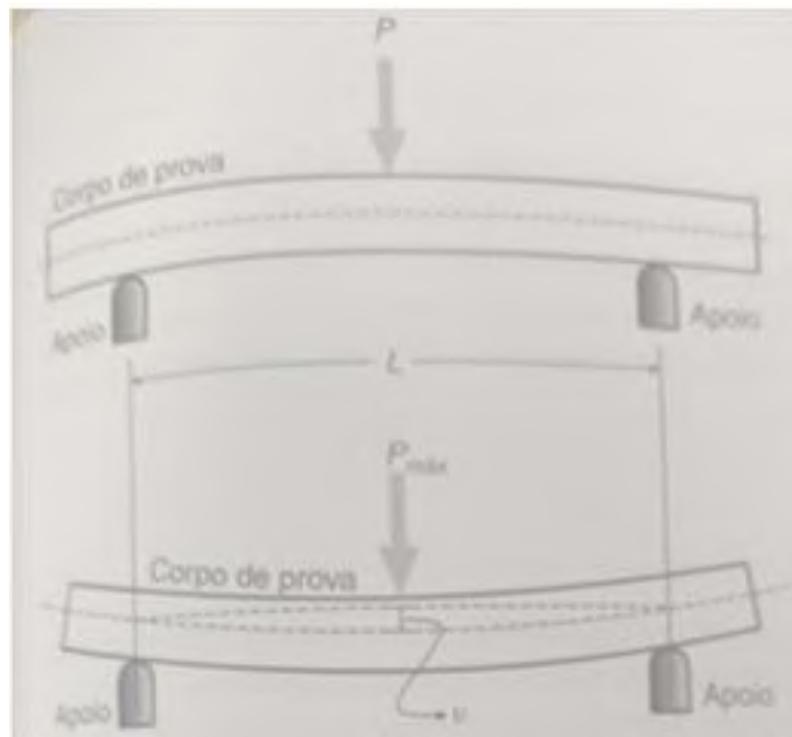
Alguns materiais não cristalinos, como o vidro e alguns polímeros, podem também apresentar elasticidade linear. Nos elastômeros, entretanto observa-se um comportamento elástico não linear.

2.14.4. Ensaio de Flexão

O ensaio de flexão corresponde à aplicação de uma carga P no centro de um corpo de prova, onde está apoiado em dois pontos. O valor inicial da carga é igual a zero e lentamente vai sofrendo um aumento crescente dessa carga até o momento de ruptura do corpo de prova. (GARCIA, 2012).

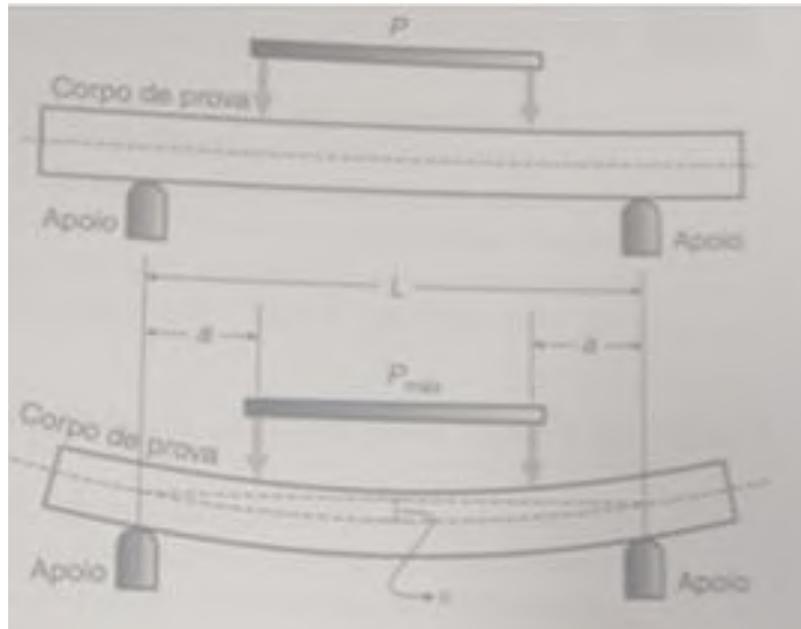
[...] Existem três tipos principais desse ensaio: o ensaio de flexão em três pontos, em que a barra a ser testada é apoiada nas extremidades e a carga é aplicada no centro do comprimento do corpo de prova; o ensaio de flexão em quatro pontos, em que a barra a ser testada é apoiada nas extremidades e a carga é aplicada em dois pontos na região central do comprimento, separados por uma distância padronizada; e o chamado método engastado, que consiste em engastar uma extremidade do corpo de prova e a aplicação da carga na outra extremidade. (GARCIA, 2012, pág. 171).

Figura 11 - Deslocamento ou flecha de flexão em três pontos



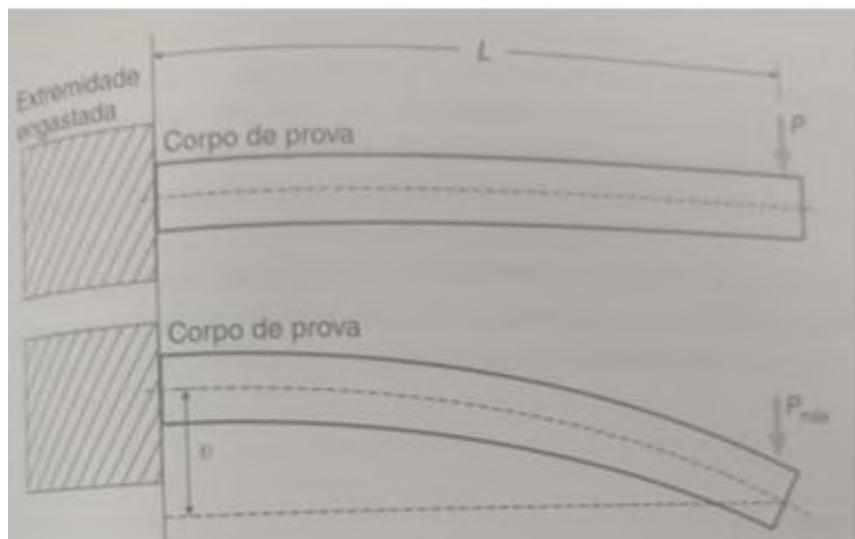
Fonte: GARCIA, 2012, pág. 173

Figura 12 - Deslocamento ou flecha de flexão em quatro pontos



Fonte: GARCIA, 2012, pág. 173

Figura 13 - Deslocamento ou flecha de flexão no método engastado



Fonte: GARCIA, 2012, pág. 173

“Os principais resultados do ensaio de flexão são: módulo de ruptura em flexão, módulo de elasticidade em flexão, módulo de resiliência em flexão e módulo de tenacidade em flexão.” (GARCIA, 2012, pág. 171).

3. MÉTODOS

Atualmente a empresa produz peças plásticas e o seu produto principal são os prendedores de roupas feitos de 100% plástico. O estudo de caso foi realizado especificamente no processo produtivo dos prendedores de roupas, onde a sua composição era feita de plástico poliacetal (POM) nas molas dos prendedores e plástico polipropileno (PP) no corpo do produto.

Figura 14 - Prendedores de roupa do estudo



Fonte: A Autora (2018)

No processo produtivo dos prendedores foram identificados alguns problemas, como: O poliacetal é um plástico que mesmo reciclado é encontrado no mercado com valor alto, pois é um polímero de engenharia, os maiores problemas que a empresa estava enfrentando era o custo alto com uma matéria- prima que não deve ser reciclada várias vezes. O poliacetal (POM) quando é superaquecido exala um gás tóxico chamado formaldeído, que para os funcionários causa um desconforto como ardência nas vistas e vias respiratórias, esse gás liberado dentro dos cilindros da injetora causa rachaduras no cilindro, onde ocorre vazamento do poliacetal durante a injeção. Com esse vazamento os operadores devem desligar a máquina 40 minutos antes do final do expediente para realizar a limpeza do equipamento,

tirando todas essas “sobras” de poliacetal que se encontra em outras partes da máquina.

Figura 15 - Cilindro com rachaduras e vazamento de poliacetal na injeção



Fonte: A Autora (2018)

O polipropileno se tornou um ótimo substituto, pois possui um custo acessível no mercado, possibilidade em reciclar infinitas vezes, facilidade em encontrar reciclado em diversas cores no mercado, é uma matéria-prima que não solta nenhuma gás tóxico depois de ser superaquecido e atende a necessidade de trabalhar com o efeito mola.

Figura 16 – Compra de Polipropileno Reciclado



Fonte: A Autora (2018)

O princípio de Pareto é demonstrado através de um gráfico de barras verticais (gráfico de Pareto) que dispõe a informação de forma a tornar evidente e visual a ordem de importância de problemas, causas e temas em geral. Considerando que, de modo geral, os recursos são limitados, eles devem ser aplicados onde os benefícios advindos da eliminação de problemas seja de maior impacto. Nesse sentido, o Diagrama de Pareto é uma ferramenta importante para a priorização das ações. (Carpinetti,2010, p.79).

Como o polipropileno não possui o gás formaldeído o mesmo não possui vazamento, então não será necessário paradas na máquina para limpeza, como podemos verificar no gráfico abaixo:

Gráfico 1: Comparativo de paradas de linha

Fonte: A Autora (2018)

Com os estragos que o gás formaldeído está causando nos moldes e nas peças a empresa é obrigada a realizar a troca das peças danificadas, aumentando assim os seus custos com manutenção corretiva. Com os moldes danificados os produtos finais ficam com rebarbas que são chamadas de “unhas”, no final de cada ciclo os operadores devem retirar as rebarbas de cada mola. Conforme as fotos abaixo, onde as molas foram injetadas com polipropileno.

Figura 17 - Molas com rebarbas “unhas”



Fonte: A Autora

Conforme as fundamentações teóricas, para análises de resistência foram utilizados os ensaios de tração e flexão para comparação dos resultados entre o PP (Polipropileno) e o POM (Poliacetato), conforme a tabela abaixo:

Tabela 9 – Resultados dos ensaios

Resultados dos ensaios		
Propriedades	PP	POM
Módulo de tração	370 MPa	2850 MPa
Resistência à tração no limite	14 MPa	80 MPa
Alongamento no limite	15%	28%
Resistência a flexão	17 MPa	65 MPa
Módulo de flexão	370 MPa	2620 Mpa

Fonte: A Autora (2018)

A proposta da pesquisa é realizar ensaios de tração e flexão com o intuito de avaliar os dois polímeros até o momento de sua ruptura, verificar se atende os

requisitos para função de mola em prendedores de roupas e realizar a comparação das resistências do poliacetal e polipropileno.

De acordo com os resultados dos ensaios foi possível notar a diferença nas propriedades entre os PP e o POM, pois o poliacetal é um polímero de engenharia, ou seja, suas propriedades são melhores do que de um polímero comum. O intuito do estudo é buscar um substituto para realizar a função de mola nos prendedores de roupa, o polipropileno mesmo sendo um polímero com características inferiores ao do poliacetal atende essa função de mola, porém com um tempo de vida útil menor do que o poliacetal, ou seja, o cliente antes adquiria um prendedor com custos altos e com tempo de vida útil longo, agora passa a adquirir um produto mais barato e com tempo de vida médio, mas que atende as necessidades de tempo dos consumidores.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi realizada a injeção do polipropileno para produção de molas, utilizando o molde com 5,7mm de profundidade e depois foi injetado novamente, porém com outro molde que possui 6,7mm de profundidade para aumentar a resistência das molas.

Figura 18 - Molde com profundidade 6,7mm



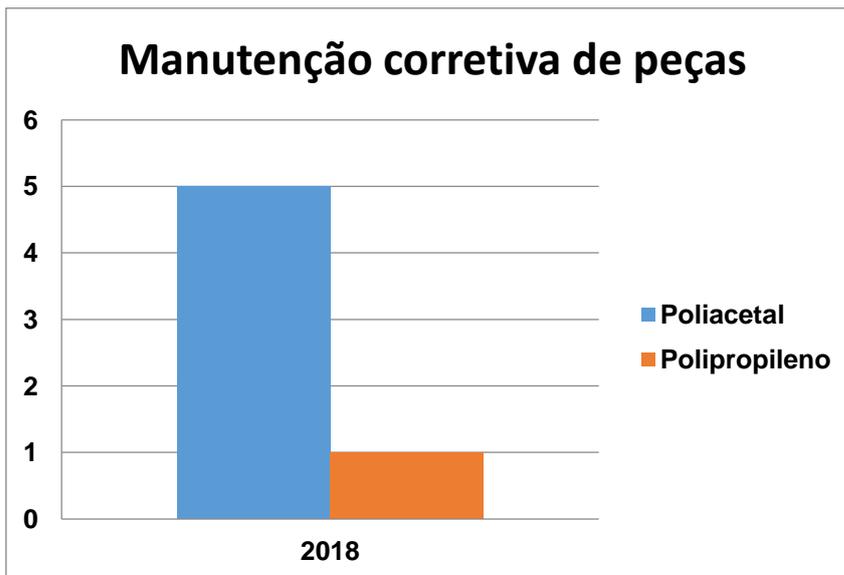
Fonte: A Autora (2018)

Com a utilização do molde com maior dimensão foi possível notar que a mola ficou um pouco mais firme comparada com as anteriores, podendo assim prorrogar o tempo de ruptura.

Para análise de resistência a luz UV, ficaram sob observação durante 2 meses a exposição de sol e chuva em um varal para analisar se haveria rachaduras e desgaste do material.

Foi realizado um comparativo do número de vezes com manutenção corretiva das peças da máquina de injeção e do molde, conforme o gráfico abaixo é possível notar que o número de manutenção é maior na máquina que é injetado apenas o material POM.

Gráfico 2: Comparação de manutenção corretiva



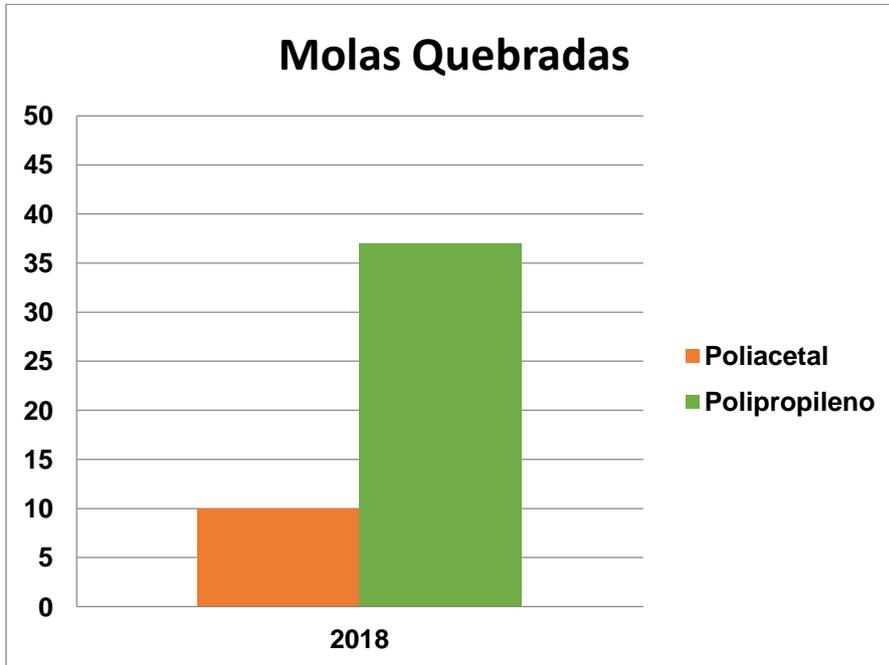
Fonte: A Autora (2018)

O tempo disponível da máquina aumentou, porque não foram mais necessárias as paradas para as limpezas de vazamento de polímeros nas rachaduras dos cilindros.

Foi realizado um teste com 100 unidades de cada material, cada prendedor foi pressionado por 30 vezes consecutivas com o objetivo de analisar o número de

molas que apresentaria rachaduras ou quebras. Com o gráfico abaixo é possível analisar a quantidade de peças danificadas durante o teste.

Gráfico 3: molas quebradas quando pressionadas



Fonte: A Autora (2018)

O polímero PP no teste de resistência realizado manualmente, onde cada prendedor foi pressionado por 30 vezes apresentou um número de rupturas maior do que as molas injetadas com poliacetal.

Após pressionar cada prendedor manualmente e executar os testes de flexão e tração, era necessário colocar os prendedores para uso com o objetivo de verificar se as novas molas se atenderiam as necessidades dos clientes, para isso foram deixadas 10 amostras de prendedores para uso doméstico por duas semanas, cada prendedor foi demarcado com números para melhor acompanhamento do estudo. Conforme a foto abaixo:

Figura 19 - Prendedor demarcado para teste



Fonte: O Autor

Esse teste foi realizado para verificar se as novas molas atenderiam os clientes, se após o uso perderia a sua pressão para segurar as roupas e se após o período de duas semanas as dimensões da mola sofreria alterações.

Após o período de utilização foram comparadas as dimensões das molas antes e depois, como o objetivo de verificar se houve alterações na pressão que os prendedores exercem sob as roupas e nas dimensões do raio da mola, conforme a tabela abaixo:

Tabela 10 – Resultados dos prendedores em testes

Número da amostra	Raio inicial	Raio Final
1	9,10mm	9,20 mm
2	8,40mm	9,00mm
3	8,65mm	8,90mm
4	9,05mm	9,25mm
5	8,55mm	9,23mm
6	8,30mm	8,67mm
7	8,50mm	8,89mm
8	8,60mm	8,79mm
9	8,10mm	9,00mm

10	8,20mm	8,66mm
----	--------	--------

Fonte: A Autora (2018)

As novas molas de polipropileno sofreram alterações em suas dimensões após o uso, porém sofreram deformações elásticas, ou seja, o cliente prendeu suas roupas no varal e após o uso ocorreu às deformações conforme a tabela acima, após um período de horas sem utilizar os mesmos prendedores suas molas retornaram as suas dimensões iniciais.

5. CONCLUSÃO

Após análises dos resultados dos testes, comparações no processo de injeção e de fichas técnicas de cada polímero, concluímos que o poliacetal (POM), tem sua vantagem de ser mais resistente do que o polipropileno (PP) quando submetido a pressão.

O PP é um ótimo substituto para o POM, pois atendeu todas as necessidades de engenharia para realizar a função de mola, onde todas essas necessidades foram analisadas através dos testes realizados na companhia e em testes domésticos, o PP tem como vantagem o custo benefício.

Notamos que após o uso dos prendedores ocorria a deformação da mola injetada com o polipropileno ocorre em um curto período de uso, porém é uma deformação elástica, ou seja, o prendedor é utilizado para prender alguma roupa no varal por um período após esse período foi identificada uma deformação na mola aumentando o seu raio, após um pequeno período de horas sem utilizar o mesmo prendedor notamos que a mola retornou a sua dimensão inicial. As molas injetadas com poliacetal também sofrem deformações, porém ocorre em um espaço de tempo maior.

O estudo de caso trouxe para a empresa resultados positivos, pois reduziu seus custos realizando apenas compras de matéria – prima reciclada de polipropileno reduzindo a zero os altos custos com manutenção corretiva na máquina e nos moldes, com a mola de polipropileno a companhia passa a ter 0% de refugos com matéria – prima. Para os operadores também houve uma melhoria, pois o PP não exala o gás formaldeído quando superaquecido que causava ardência nas vias respiratórias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PORTAL EDUCAÇÃO. Polímeros de adição. Disponível em: <<https://www.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/biologia/polimeros-de-adicao/36059>> Acesso em: 02 de Julho de 2018.

CALLISTER W.D. **Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução**: 7° ed. LTC Livros técnicos e científicos Editora Ltda, 2012.

CARPINETTI, L.C. Ribeiro - **Gestão da Qualidade Conceitos e Técnicas**: 1° ed. São Paulo: Atlas, 2010.

CHOI, Phillip; RUDIN, Alfred - **Ciência e engenharia de polímeros**: 3° ed. Editora Elsevier, 2015.

CIÊNCIA VIVA. Polímeros. Disponível em: <<http://www.cienciaviva.pt/projectos/pulsar/infopolimeros.asp>> - Acesso em: 03 de Julho de 2018.

KANTOVISCKI, ADRIANO. Materiais Poliméricos. Disponível em: <<http://www.damec.ct.utfpr.edu.br/automotiva/downloadsAutomot/d5matPolimMod1.pdf>> - Acesso em: 12 de Julho de 2018.

Donato, Mario – **O Mundo do Plástico** – Editora Goyana S.A., 1972.

ENGENHARIA DE ELITE. POLÍMEROS. Disponível em: <<https://engenhariadeelite.wordpress.com/polimeros/>> - Acesso em: 10 de Julho de 2018.

Escola SENAI Mario Amato – **Apostila de Preparador e Regulador de Máquina Injetora**: 2006

Escola SENAI Mario Amato – **Apostila de Processo de Transformação**: 2006

GARCIA A. - **“Ensaio dos materiais”**: LTC Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda.: 2000

GARCIA A.; Alvares Jaime; Alexandre Carlos - **“Ensaio dos materiais”**: 2 ed. LTC Livros técnicos e científicos Editora Ltda., 2012.

LABORATÓRIO DE I&DT. Ensaios. Disponível.
<<https://www.ipn.pt/laboratorio/LEDMAT/ensaios>> Acesso em: 17 de Julho de 2018.

MANO, E. B. **Introdução a polímeros**: Editora Edgard Blücher Ltda, 1985

MANO, E. B. **Polímeros como materiais de engenharia**: Editora Edgard Blücher Ltda, 1996

MANO, E. B. - **Polímeros como materiais de engenharia**: 2° ed. Editora Edgard Blücher Ltda, 1991

MICHAELI, W., GREIF H., KAUFMANN, H VOSSEBÜRGER, F-J.- **Tecnologia dos Plásticos**: Editora Edgard Blücher Ltda, 1995

FOGAÇA JENNIFER. O que são os polímeros. Disponível em:
<<https://manualdaquimica.uol.com.br/quimica-organica/o-que-sao-os-polimeros.htm>>
Acesso em: 02 de Julho de 2018.

MUNDO EDUCAÇÃO. Polímeros. Disponível em:
<<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/polimeros.htm>> Acesso em: 06 de Julho de 2018.

MUNDO EDUCAÇÃO. Polímero Natural. Disponível em:
<<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/polimero-natural.htm>> Acesso em: 06 de Julho de 2018.

NEWELL, James - **Fundamentos da Moderna Engenharia e Ciência dos Materiais**

SHACKELFORD, James F. **Ciência dos materiais**: 6° ed. 2008.

TUDO SOBRE PLÁSTICOS. Poliacetal (POM). Disponível em:
<<http://www.tudosobreplasticos.com/materiais/poliacetal.asp>> Acesso: 07 de Julho de 2018.

LIDOMAR. Processo de Injeção. Disponível em:
<<https://injecaodetermoplastico.blogspot.com/>> Acesso: 20 de Agosto de 2018.