



**CENTRO PAULA SOUZA**  
COMPETÊNCIA EM EDUCAÇÃO PÚBLICA PROFISSIONAL

Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SOROCABA**

**Curso de Tecnologia em Polímeros**

**Beatriz Martins Francisco**

**SIMULAÇÃO NO PROCESSO DE INJEÇÃO UTILIZANDO O  
SOFTWARE MOLDFLOW**

**SOROCABA  
2016**

Beatriz Martins Francisco

SIMULAÇÃO NO PROCESSO DE INJEÇÃO UTILIZANDO O  
SOFTWARE MOLDFLOW

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como exigência  
parcial para a obtenção do Diploma  
de Graduação em Tecnólogo em  
Polímeros, da Faculdade de  
Tecnologia de Sorocaba.

Orientador: Prof. Me. Francisco de Assis Toti

Sorocaba  
2016



**CENTRO PAULA SOUZA**  
COMPETÊNCIA EM EDUCAÇÃO PÚBLICA PROFISSIONAL

Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SOROCABA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para a obtenção do Diploma de Graduação em Tecnólogo em Polímeros, da Faculdade de Tecnologia de Sorocaba.

BANCA EXAMINADORA:

**Prof. Me. Francisco de Assis Toti**  
Faculdade de Tecnologia de Sorocaba

**Prof. Renato Mendes Germano**  
Faculdade de Tecnologia de Sorocaba

**Prof. Carlos Eduardo Corrêa**  
Faculdade de Tecnologia de Sorocaba

SOROCABA  
2016

Dedico este trabalho a todos que de alguma forma me ajudaram na  
realização e conclusão desta fase tão importante da minha vida.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, e a minha família que me apoiaram nos momentos de dificuldade neste período.

Aos novos amigos que fiz na faculdade, pela troca de experiências que tivemos.

Ao meu orientador da Fatec – Sorocaba, Profº Francisco de Assis Toti pela orientação e direcionamento para o melhor desenvolvimento deste trabalho.

“O que você tem todo mundo pode ter. Mas o que  
você é, ninguém pode ser.”

**Clarice Lispector.**

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a aplicabilidade da simulação nos parâmetros e defeitos, ocasionados do processo de injeção utilizando o *software MoldFlow*. Para isso, primeiramente foram injetados os polímeros termoplásticos Acrilonitrila-Butadieno-Estireno (ABS) e o Polipropileno (PP) no produto A, verificando e comparando as pesagens simulada (virtual) e injetada (real) em várias etapas. Em seguida, foi avaliado no produto B os defeitos de linha de emenda, acúmulo de gás e empenamento virtualmente e após a injeção do polímero termoplástico Polipropileno (PP) foi realizada a verificação. Resultados obtidos confirmaram para o produto A que os valores das pesagens simuladas ficaram próximas da injetadas e, para o produto B após inspeção visual, os defeitos apontados na simulação foram confirmados após a injeção. Sendo assim, para o presente estudo, a simulação no processo de injeção utilizando o *software MoldFlow* foi validada.

**Palavras - chave:** Simulação, Injeção, Preenchimento, Cavidade de Molde.

## **ABSTRACT**

The main purpose of this work is to evaluate the applicability of the simulation parameters and defects caused the injection process using *MoldFlow software*. To do this, It was first injected thermoplastic polymers *Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) and polypropylene (PP)* in the product, checking and comparing the simulated weighings (virtual) and injected (real) in several stages. Then, we evaluated the product B's weld line defects, gas accumulation and virtually warpage and after injection of the thermoplastic polymer Polypropylene (PP) verification was carried out. The results obtained confirmed for product A to the values of the simulated weight measurements were close to the injected and for the product B after visual inspection, the defects pointed out in the simulation were confirmed after the injection. For the present simulation study, the injection process using *Moldflow software*, has been approved.

Key - words: Simulation, Injection, Fill, Mold Cavity

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Esquematização de obtenção de plásticos a partir do petróleo.....	14
Figura 2- Esquematização da estrutura molecular do ABS.....	16
Figura 3- Esquematização da estrutura molecular do PP.....	17
Figura 4- Esquematização dos principais componentes da injetora.....	21
Figura 5- Componentes básicos de um molde de injeção.....	22
Figura 6 - Fluxograma do desenvolvimento de projeto de molde. ....	25
Figura 7 – Discretização de um domínio de modelo 3D.....	26
Figura 8 – Simulação de injeção completada do Produto A.....	29
Figura 9 – Simulação de injeção completada do Produto B.....	30
Figura 10 – Máquina injetora ENGEL.....	32
Figura 11 – Análise comparativa da pesagem dos polímeros PP e ABS.....	34
Figura 12 – Linha de emenda apresentada na simulação e confirmada após injeção do material do Produto B (Fonte: Acervo da autora).....	35
Figura 13 – Acumulo de gás apresentado na simulação e confirmada após injeção do material do Produto B (Fonte: Acervo da autora).....	36
Figura 14 – Empenamento apresentado na simulação e confirmado após injeção do material do Produto B (Fonte: Acervo da autora).....	37

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1- Temperaturas de fusão dos polímeros PP e ABS.....	19
Tabela 2- Propriedades dos materiais termoplásticos.....	28
Tabela 3- Valores obtidos de pesagem dos materiais PP e ABS.....	33

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

3D – Em Três Dimensões

ABS – Acrilonitrila Butadieno Estireno

PP – Polipropileno

AMI – Autodesk Moldflow Insignth

CAD – Computer Aided Design

CAM – Computer Aided Manufacturing

CAE – Computer Aided Engineering

DOE - Design of Experiments

MEF - Métodos de Elemento Finitos

## SUMÁRIO

Introdução.....	13
1- Obtenção do plástico.....	14
1.2- Polímero Acrilonitrila-Butadieno-Estireno (ABS).....	16
1.3 – Polímero Polipropileno (PP).....	17
2- Características físicas dos polímeros.....	18
3 – Processo de injeção de termoplásticos.....	19
3.1 – Componentes de máquina injetora.....	21
3.2 – Definição de molde de injeção.....	22
3.3 – Componentes básicos de um molde de injeção.....	22
4 – Simulação do processo de injeção.....	24
5- Materiais e métodos.....	28
5.1 – Materiais.....	28
5.2- Métodos.....	29
5.2.1 – Integração dos sistemas CAD/CAE.....	29
5.2.2 – Try-out dos moldes dos produtos A e B.....	30
5.2.3 – Injeção das amostras.....	31
6- Resultados e discussões.....	33
6.1– Análise comparativa de pesagem no produto A.....	33
6.2– Análise comparativa de defeitos no produto B.....	34
6.2.1– Linha de emenda.....	34
6.2.2- Acumulo de gás no produto B.....	35
6.2.3- Empenamento no produto B.....	36
7- Conclusões.....	38
8- Referências bibliográficas.....	39

## INTRODUÇÃO

Atualmente, sabe-se que a inovação tecnológica é fundamental para a nossa sociedade, mas para isso é necessário obter conhecimento, ter mercado e tecnologia. A cada instante as empresas desenvolvem tecnologias, que são acompanhadas e absorvidas pela sociedade, porém para que as empresas possam atuar nesse meio competitivo, é necessário que desenvolvam novos projetos num espaço de tempo cada vez menor, atendendo assim as demandas desse mundo globalizado.

Nesse contexto, muitas empresas estão investindo cada vez mais na integração dos sistemas CAD/CAE/CAM (computador auxiliando o projeto/computador auxiliando a engenharia/computador auxiliando a manufatura) que ajudam a diminuir o tempo e conseqüentemente o custo final do projeto de determinado produto, além da facilidade de alterar o projeto caso seja necessário. (Fonte: <http://sistemasdeengenharia.com.br/2012/02/voce-sabe-o-que-e-cad-cae-cam/>).

Através da integração dos sistemas CAD/CAE/CAM, pode-se obter resultados antes mesmo do produto existir com isto, prevendo e minimizando o número de erros e problemas em seu produto final.

Para TOTI et al. (2012), o sistema CAE permite simular numericamente o modelo, proporcionando que o produto seja avaliado antes de existir, reduzindo, por exemplo, custos com protótipos físicos, auxiliando assim na redução do tempo entre a concepção e a produção de um produto. Apresenta-se como alternativa econômica e com crescente utilização na indústria, capaz de a partir de um modelo, simular um fenômeno com precisão.

Na produção de produtos utilizando polímeros pelo processo de injeção, é crescente a utilização de um simulador de injeção durante o desenvolvimento do projeto, para verificação de possíveis falhas no processo, bem como, em todo o desenvolvimento do projeto. No entanto, é importante avaliar com cautela os resultados, pois há algumas diferenças no produto simulado com o injetado, ou seja, o virtual com o físico, que são influenciadas por variáveis.

## 1 - OBTENÇÃO DO PLÁSTICO

O plástico é obtido principalmente pelo petróleo, sendo constituído por uma mistura de compostos orgânicos, principalmente hidrocarbonetos. Através do processo de destilação fracionada do óleo cru, que ocorre nas refinarias, são obtidas várias frações: o gás liquefeito, a nafta, a gasolina, o querosene, o óleo diesel, as graxas parafínicas, os óleos lubrificantes, o piche. A fração da qual são obtidos os monômeros é a nafta, que submetida a um processo de craqueamento térmico (aquecimento na presença de catalisadores), dá origem a várias substâncias, entre elas, etileno, propileno, butadieno, buteno, isobutileno, denominados petroquímicos básicos. Estes, por sua vez, são transformados nos chamados petroquímicos finos, tais como polietileno, polipropileno, policloreto de vinila etc. Na etapa subsequente, os petroquímicos finos são modificados quimicamente ou transformados em produtos de consumo. A figura 1 abaixo mostra a esquematização do processo de obtenção de plásticos (Fonte: <http://www.ufal.edu.br/usinaciencia/multimidia/livros-digitaiscadernostematicos/Plasticoscaracteristicasusosproducaoeeimpactosambientais.pdf>).

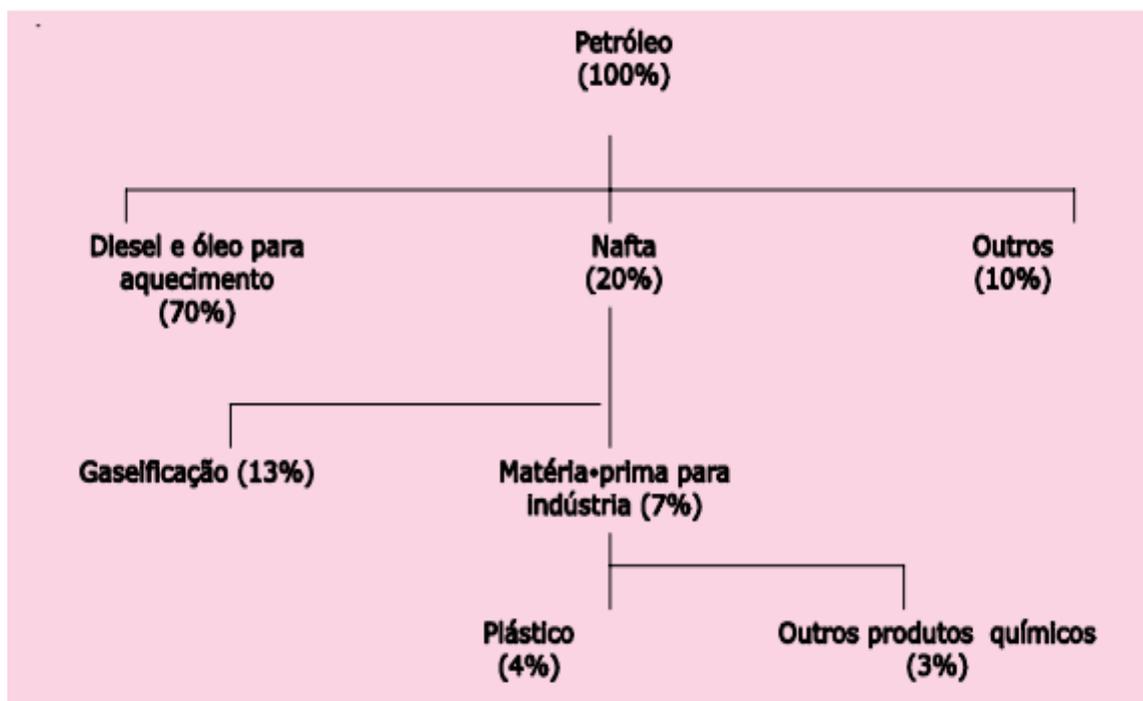


Figura 1- Esquematização de obtenção de plásticos a partir do petróleo.

Por definição clássica, os plásticos são polímeros formados pela união de grandes cadeias moleculares chamadas macromoléculas que por sua vez são formadas por moléculas menores chamadas de monômeros. Os polímeros são produzidos por um processo químico conhecido por polimerização, sendo a reação que une quimicamente as moléculas de monômero.

De acordo com COSTA (2013), os plásticos convencionais são provenientes do petróleo e possuem grupos de materiais identificados conforme suas características estruturais e mecânicas. Cada grupo possui uma numeração especificada pela ABNT, para facilitar a identificação do tipo de 16 polímeros utilizado para a fabricação e, assim, poder diferenciar o tipo de plástico visivelmente pelo produto e facilitar a separação do material.

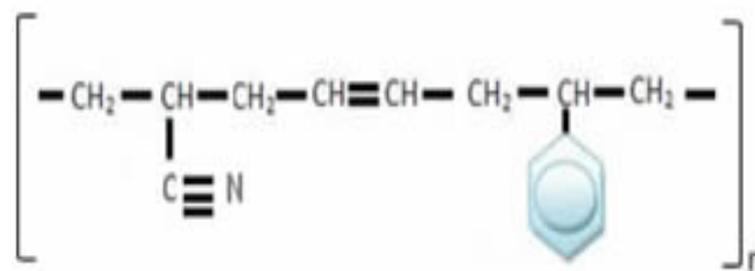
Os plásticos mais consumidos atualmente são o polietileno (PE), o polipropileno (PP), o poliestireno (PS), o policloreto de vinila (PVC) e o politereftalato de etileno (PET). Estes materiais são divididos em duas grandes categorias, os termoplásticos e os termofixos. Os termoplásticos são aqueles que podem ser moldados várias vezes por ação de temperatura e pressão, por isso são recicláveis, já os termofixos sofrem reações químicas em sua moldagem as quais impedem uma nova fusão, portanto não são recicláveis. (Fonte: <http://www.abiplast.org.br/site/os-plasticos>)

Com o avanço de pesquisas, da tecnologia e a conscientização sobre reciclagem e preservação do meio ambiente, o material plástico ganhou espaço no mercado industrial. Existem muitos produtos que antes utilizavam matérias primas, tais como: metais, madeiras, vidros, e que hoje foram substituídas pelo plástico. Ao longo do tempo, percebemos que o plástico vem sendo utilizado na fabricação de produtos simples, como baldes, garrafas, talher e até em produtos de engenharia, principalmente nos setores automobilístico e aeronáutico. Isso se deve, principalmente à suas características estruturais como elevada resistência mecânica e resistência química, maleabilidade, fácil processamento, baixo custo de produção e pouco peso, destacando por fim, a sua reciclagem.

## 1.2 - POLÍMERO ACRILONITRILA-BUTADIENO-ESTIRENO (ABS).

O Polímero ABS é um copolímero obtido a partir de reações de três monômeros diferentes, sendo eles acrilonitrila, butadieno e estireno. É um termoplástico, portanto fundem-se e solidificam várias vezes, desenvolvido para aplicações que necessitem de uma boa resistência ao impacto e um bom aspecto visual, como por exemplo, um aparelho celular: sua capa deve ser atraente ao consumidor e ao mesmo tempo resistir as quedas. É um dos plásticos mais indicados para a produção de carcaças de eletrodomésticos. (Fonte: <http://www.tudosobreplasticos.com/materiais/abs.asp#>). Destaca-se também por ser muito utilizado na fabricação de peças para o setor automobilístico, devido a sua boa resistência mecânica, dureza e alta resistência térmica.

Para Souza et. al. (2015), as propriedades mais importantes do ABS são a resistência e a dureza. Cada monômero fornece sua propriedade, possibilitando a produção de diferentes tipos de ABS. Assim, a concentração de cada monômero definirá sua aplicação, pois a acrilonitrila fornece resistência térmica e química, o estireno dá brilho, moldabilidade e rigidez e o butadieno fornece resistência ao impacto e alongamento. A figura 2 abaixo a esquematização da reação de obtenção do ABS, bem como, sua estrutura molecular formada. (Fonte: <https://www.google.com.br/search?q=imagens+estrutura+molecular>).



**ABS**

Figura 2- Esquematização da estrutura molecular do ABS.

### 1.3 - POLÍMERO POLIPROPILENO (PP).

O polipropileno é um termoplástico polimerizado a partir do gás propileno (ou propeno), de baixa densidade que oferece um bom equilíbrio de propriedades térmicas, químicas e elétricas, acompanhada da resistência moderada. (Fonte: <http://www.tudosobreplasticos.com/materiais/polipropileno.asp>). Apresenta boa resistência ao impacto, alta resistência a ruptura por fadiga e flexão, fácil coloração, elevada resistência química, baixo custo, entre outros. Entretanto, uma particularidade do PP é que se exposto ao sol por longos períodos, ele irá perder algumas propriedades, e também irá manchar, para retardar o efeito de sua degradação, pode-se utilizar alguns aditivos como por exemplo um antioxidante e um estabilizante ultravioleta. Devido a sua versatilidade, os polipropilenos são utilizados nas indústrias de eletrodomésticos, têxtil, automotiva e médicos hospitalares.

Para PETRY (2011), é crescente na indústria automobilística a substituição de peças metálicas por plásticas e, nesse contexto, o polipropileno se destaca pela alta resistência química e a solventes, boa estabilidade dimensional, flexibilidade, durabilidade, excelente balanço entre impacto e rigidez. A Braskem já conseguiu produzir PP em escala de laboratório, utilizando como matéria-prima a cana de açúcar, denominando de PP verde, entretanto os custos são considerados altos, e a melhor forma de produzi-lo ainda está sendo pesquisada. A figura 3 mostra a esquematização da estrutura molecular do PP (Fonte: <https://www.google.com.br/search?q=imagens+estrutura+molecular+do+pp&espv>).

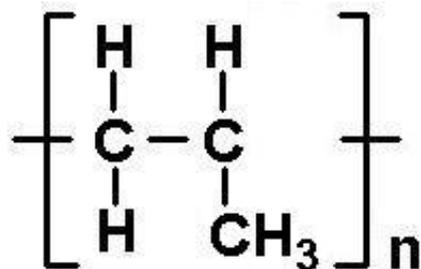


Figura 3- Esquematização da estrutura molecular do PP.

## 2 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS POLÍMEROS

A mobilidade de uma cadeia polimérica determina as características físicas do produto, seja este um plástico duro e frágil, borrachoso e tenaz ou um fluido viscoso, CANEVAROLO, S. (2007). A mobilidade é função da agitação dos átomos nas moléculas, sendo esta diretamente proporcional à temperatura. De um modo geral, para análise de injeção dos polímeros é importante avaliar as temperaturas de transição vítrea, fusão cristalina e cristalização para definição do processo. Resumidamente é importante descrever as temperaturas de transição, conforme segue abaixo:

- **Temperatura de transição vítrea ou  $T_g$** : é o valor médio da faixa de temperatura que, durante o aquecimento de um polímero, permite que as cadeias poliméricas da fase amorfa adquiram mobilidade, ou seja, adquiram possibilidade de mudança de conformação. Abaixo de  $T_g$  o polímero não tem energia suficiente para permitir o deslocamento de uma cadeia com relação a outra e, portanto, ele está no estado vítreo (duro, rígido e quebradiço). Acima de  $T_g$  o polímero adquire energia suficiente para mudanças conformacionais e apresenta o comportamento borrachoso. Algumas propriedades mudam com  $T_g$  e, portanto, podem ser utilizadas para sua determinação. São elas módulo de elasticidade, coeficiente de expansão, índice de refração, calor específico, etc.

- **Temperatura de fusão ou  $T_m$** : é o valor médio da faixa de temperatura em que, durante o aquecimento, desaparecem as regiões cristalinas, com a fusão dos cristalitos. Nesse ponto, a energia do sistema atinge o nível necessário para vencer as forças intermoleculares secundárias entre as cadeias da fase cristalina, destruindo a estrutura regular de empacotamento, mudando do estado borrachoso para o estado viscoso. Esta transição só ocorre na fase cristalina, portanto só tem sentido se aplicada para polímeros semicristalinos.

- **Temperatura de cristalização ou  $T_c$** : ocorre durante o resfriamento de um polímero semicristalino a partir do estado fundido, isto é, de uma temperatura acima de  $T_m$ . Com o resfriamento ele atingirá uma temperatura baixa o suficiente para que, em um dado ponto da massa polimérica fundida, um número grande de cadeias se organize espacialmente de forma regular, produzindo-se a cristalização da massa

fundida. A cristalização pode ocorrer de duas formas: isotérmica, quando a temperatura é rapidamente baixada até um dado valor ( $T_c$ ), estabilizada e mantida constante até que toda a cristalização ocorra. Ou de forma dinâmica, quando a temperatura é reduzida continuamente (normalmente a uma taxa constante) e a cristalização ocorre dentro de uma faixa de temperatura. A cristalização ocorre em temperaturas entre  $T_g$  e  $T_m$ .

Os polímeros PP e ABS do presente estudo são termoplásticos, onde o PP é semicristalino, ele apresenta uma estrutura molecular organizada e um ponto de fusão pré-estabelecido e reduzido. O ABS é amorfo apresentando estrutura molecular aleatória e não possuem um ponto de fusão muito preciso e amolecem a medida que a temperatura aumenta, SPIROL (2015). A tabela 1 abaixo mostra a temperatura de fusão do PP e ABS.

<b>Material</b>	<b><math>T_m</math> [°C]</b>
Polipropileno (PP) H 503 <sup>1</sup>	160
Acrlonitrila-Butadieno Estireno (ABS) Cycolac™ Resin DL100 <sup>2</sup>	190

**Tabela 1- Temperaturas de fusão dos polímeros PP e ABS**  
**Fonte: Braskem<sup>1</sup>. Cycolac<sup>2</sup>**

Outro ponto a se destacar, quando comparados os dois materiais é no processo de injeção. O polímero PP quando injetado, utiliza-se a cor desejada para sua pigmentação, já o ABS ganha pintura, se necessário, depois de injetado, no entanto, como o PP é moldado já na cor desejada, não corre o risco de danificar sua cor. Além de que o ABS tem vantagens como maior estabilidade dimensional, maior dureza, e maior resistência térmica.

### **3 – PROCESSO DE INJEÇÃO DE TERMOPLÁSTICOS**

O processo de injeção é um processo cíclico, onde o polímero é injetado no molde para dentro da cavidade, que contém um sistema de refrigeração, mantendo a temperatura baixa em relação ao polímero injetado. De acordo com MADUREIRA (2011), o processo de injeção é um dos processos mais versáteis e

modernos no campo da transformação e processamento dos polímeros. A injeção do termoplástico consiste em inserir o material no interior de um molde que trabalha com sistema de refrigeração em suas cavidades, mantendo-o relativamente frio em comparação ao material plástico a ser injetado, que é aquecido no canhão da injetora até alcançar seu estado de amolecimento (em temperatura acima de seu ponto de fusão) suficiente para ser processado.

Geralmente, os componentes injetados podem apresentar defeitos, dentre os quais, se destacam o empenamento, linha de emenda, acúmulo de gás. Para CARNEIRO et al. (2006), as peças plásticas injetadas possuem como característica inerente ao processo de fabricação a mudança da forma original após a extração do produto, fenômeno denominado empenamento.

A contração é uma característica de toda matéria prima que durante resfriamento pós-injeção, sofre uma deformação dimensional (volumétrica) no sentido de encolhimento. O material injetado com o resfriamento não conserva as dimensões da cavidade projetada e que foram 100% (totalmente) preenchida. (Fonte: [http://www.moldesinjecaoplasticos.com.br/contracao\\_na\\_moldagem.asp](http://www.moldesinjecaoplasticos.com.br/contracao_na_moldagem.asp)).

Durante o processo de injeção, o material no estado fundido, perde calor nas paredes do molde, isso faz com que ele passe do estado líquido para o estado sólido essa solidificação do material, tem uma perda de seu volume, onde o mesmo irá encolher. O encolhimento não uniforme sofrido pelo material termoplástico, somado às pressões que envolvem o preenchimento do molde e às altas viscosidades do material termoplástico fundido, geram tensões residuais. Estas tensões, aplicadas ao produto em contraposição à rigidez natural oferecida pela geometria da peça, causam deflexões após a extração, CARNEIRO op. Cit.

Outro ponto a controlar, são as linhas de emenda que são formadas pelo encontro de duas frentes de fluxo e podem deixar a região do produto em que se encontram, mais frágil. Aliado a isso, a falta de saídas de ar ou de gases provocam emendas ou junções fracas, mau-acabamento, marcas de fluxo, contração irregular e ainda peças incompletas. Esses problemas tornam-se mais críticos em peças de paredes finas quando se usa alta velocidade de injeção. (Fonte: <http://www.moldesinjecaoplasticos.com.br/saidas.asp>). Sendo assim, esses defeitos podem ser avaliados virtualmente através da simulação da injeção, auxiliando no projeto do molde e na melhoria do processo de injeção.

### 3.1 – COMPONENTES DE MÁQUINA INJETORA.

A máquina injetora é composta por vários componentes mecânicos e eletroeletrônicos, dentre os quais se destacam:

- Coluna-Guia para o movimento da placa móvel;
- O molde é composto pelo lado móvel e lado fixo, onde o fixo tem um anel de centragem para garantir o alinhamento do bico de injeção da máquina com a bucha de injeção do molde, já o lado móvel, obtém o sistema de extração.
- As resistências são responsáveis por aquecer o cilindro durante a plastificação.
- Bico de injeção permite a passagem do material em temperatura de fusão para a cavidade do molde.
- Canhão é responsável pela dosagem e injeção do material.
- Rosca é responsável por aquecer o material polimérico, através de seu cisalhamento e com o auxílio de resistências elétricas.
- Funil é onde fica armazenado o material polimérico na condição granulado ou em pó.

A figura 4 mostra a esquematização de numa máquina injetora (Fonte:<https://www.google.com.br/esquema+de+uma+injetora&img>).

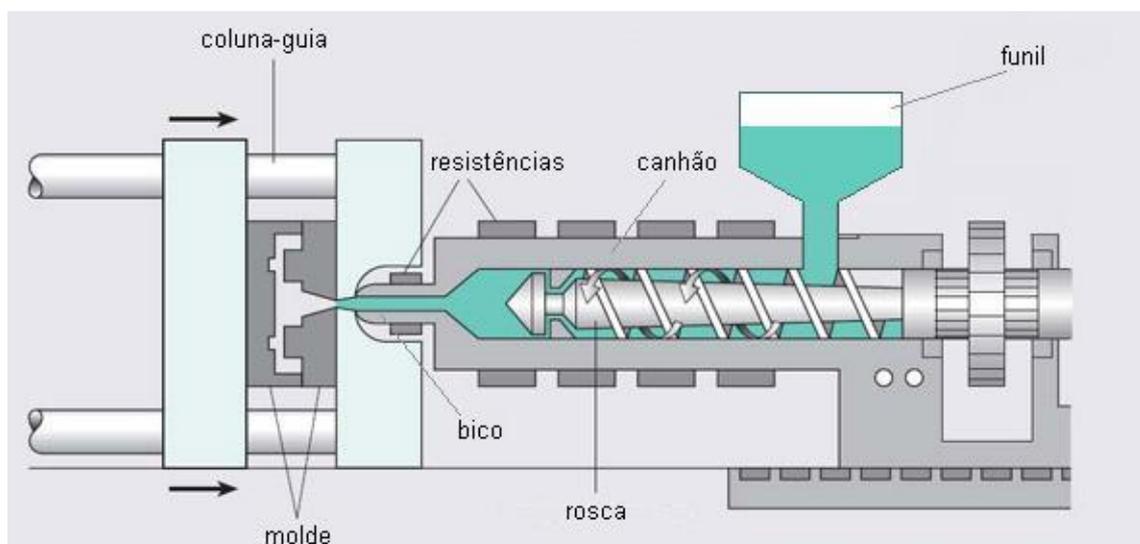


Figura 4- Esquematização dos principais componentes da injetora.

### 3.2 – DEFINIÇÃO DE MOLDE DE INJEÇÃO

Segundo Harada (2004), o molde de injeção é uma unidade completa com condições de produzir peças moldadas. Suas cavidades possuem as formas e as dimensões da peça desejada. O molde é adaptado ao final da máquina de injeção e recebe, em sua cavidade, o material plástico fundido, introduzido por meio de pressão.

### 3.3 – COMPONENTES BÁSICOS DE UM MOLDE DE INJEÇÃO

A figura 5 abaixo, mostra os componentes básicos de um molde de injeção. (CRUZ, Sérgio. Moldes de injeção – Termoplásticos: Termofixo – Zamak – Alumínio – Sopro. 2. Ed. Curitiba – PR: Hemus, 2002).

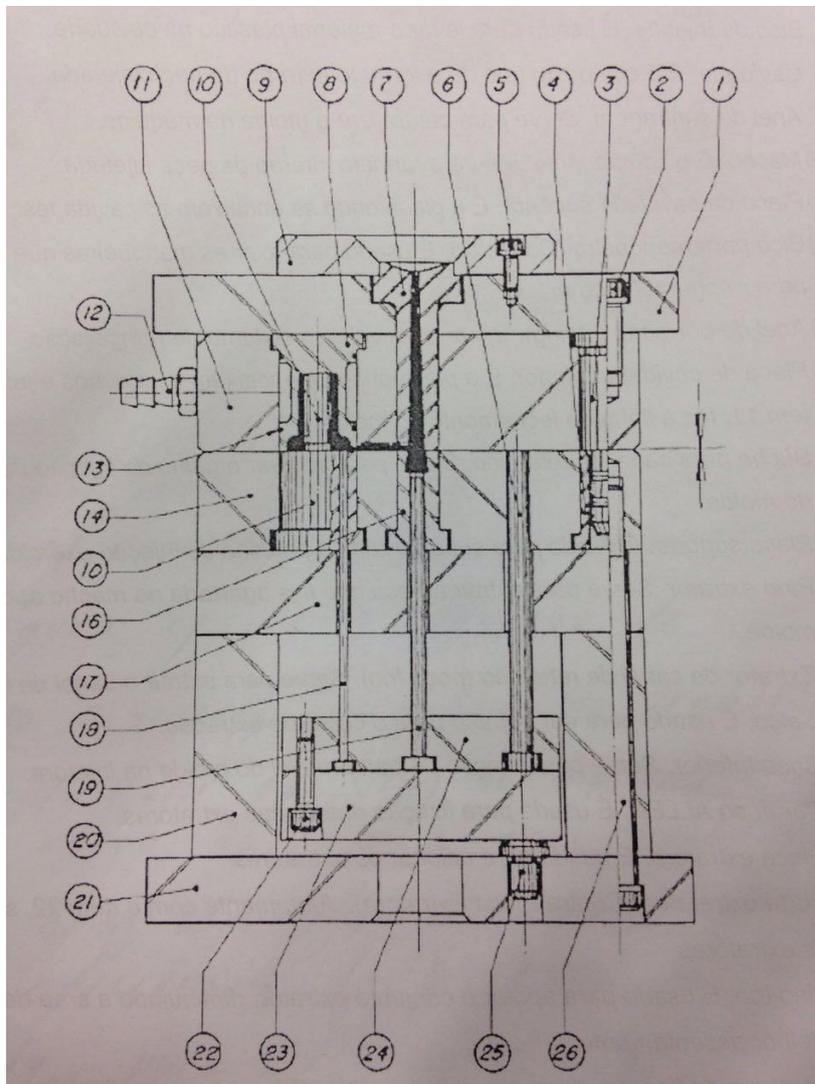


Figura 5- Componentes básicos de um molde de injeção.

1. Base superior. Serve para fixação da parte (Fixa do Molde) na Injetora.
2. Parafuso de fixação. É usado para fixação das placas do molde.
3. Coluna de guia. Serve para guiar e centralizar a parte fixa com a parte móvel do molde.
4. Bucha de guia. Juntamente com o Item 3 tem a mesma função.
5. Parafuso ALLEN. Serve para fixação do anel de centragem.
6. Pino de retomo. Serve para retomar a placa extratora quando o molde se fecha.
7. Bico de Injeção. É usado para levar o material plástico na cavidade.
8. Cavidade. É o composto que dá o formato externo da peça Injetada.
9. Anel de centragem. Serve para centralizar o molde na máquina.
10. Macho. É o componente que dá o formato Interno da peça Injetada.
11. Placa da cavidade superior. É a placa onde se encaixam as cavidades.
12. Bico para mangueira (conector). É usado para fixar as mangueiras que mandam água para refrigeração do molde.
13. Anel de borracha (O'ring). Serve para vedar o sistema de refrigeração.
14. Placa de cavidade Inferior. É a placa onde se encaixam os machos e juntamente com o tem 11, faz a linha de fechamento do molde.
16. Bucha para canal de retenção. Serve para segurar o galho da Injeção na parte móvel do molde.
17. Placa suporte. É usada para suportar toda a pressão de injeção exercida no molde.
18. Pino extrator. Serve para extrair a peça que fica agarrada no macho após a abertura do molde.
19. Extrator de canal de retenção (poço frio). Serve para extrair o canal de retenção.
20. Calço. É usado para dar espaço para o curso de extração.
21. Base Inferior. Serve para fixação da parte móvel do molde na Injetora.
22. Parafuso ALLEN. É usado para fixação das placas extradoras.
23. Placa extratora. É usada para acionar os extratores.
24. Porta extratores (contra placa extratora). Juntamente com o Item 22, serve para alojar os extratores.
25. Pino topo. É usado para apoiar o conjunto extrator, diminuindo a área de apoio, dando melhor assentamento.
26. Parafuso de fixação. Juntamente com o Item 2 tem a mesma função.

#### **4 – SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE INJEÇÃO.**

Os sistemas computacionais para simulação de processos de injeção, dentre outros, são constantemente aperfeiçoados, de maneira que permitem a obtenção de resultados precisos, reduzindo assim, significativamente os custos de desenvolvimento de produto e o tempo do seu lançamento. (Fonte: <http://www.moldesinjecaoplasticos.com.br/simulacaoinjecao.asp>). Através do software de simulação CAE Autodesk Moldflow®, por exemplo, podem-se obter resultados de injeção, antes mesmo de confeccionar um protótipo físico.

A simulação é realizada no sistema CAE (computador auxiliando a engenharia). Para isso, é necessário que o modelo 3D do produto a ser injetado seja construído no sistema CAD (computador auxiliando o projeto), em seguida ocorre a transferência de informações entre os sistemas. De acordo com MADUREIRA (op. cit.), em seguida é definido o tipo de molde para o desenvolvimento do produto, e antes do detalhamento final do projeto para a sua fabricação, inicia-se as simulações para se verificar a sua potencialidade de injeção, o melhor posicionamento do(s) canal(is) para a entrada de material injetado, bem como, os pontos de refrigeração.

Para KIAM et al. (2007), as simulações auxiliam na minimização de problemas, ou seja, minimiza os erros de projeto antes do início da fabricação do molde, o qual é considerado dispendioso, estudando o processo e a qualidade da peça a custos relativamente baixos.

De acordo com TOTI et al. (2014), a combinação do CAD com o processo de simulação (CAE) pode reduzir enormemente o custo de fabricação de um componente. Também com isso espera-se reduzir o tempo de set-up, que é o procedimento operacional até a produção do primeiro componente aceitável pelo controle de qualidade. A figura 6 mostra o fluxo do desenvolvimento do projeto de molde para injeção (MADUREIRA,2011).

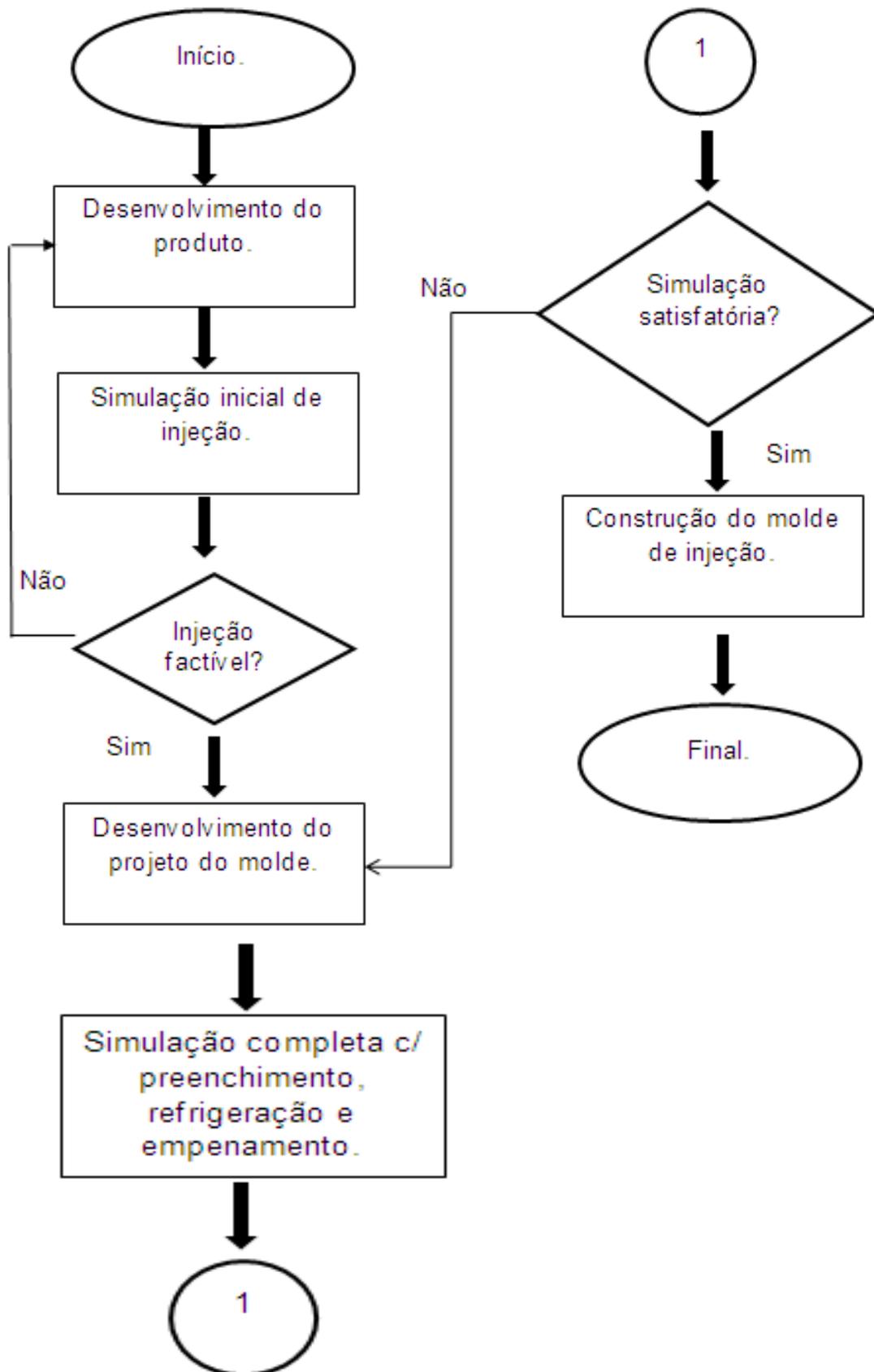


Figura 6 - Fluxograma do desenvolvimento de projeto de molde.

Conforme se pode visualizar, a simulação de injeção pode ser dividida em duas etapas, onde primeiramente iniciasse com o desenvolvimento do produto, em seguida é feita a primeira simulação, onde se leva em consideração especificações de forma, planicidade, circularidade, batimento, avalia causas de deformações, sugere soluções para o projeto, indica o melhor local para a entrada de material, necessidades de refrigeração, material de construção de posições especiais e deflexão. Em seguida é verificado se a injeção é possível, se não, volta ao desenvolvimento do produto, se sim, vai para o desenvolvimento do projeto do molde e em paralelo é feita a simulação completa onde é analisado as especificações do desenho de produto, é feito um DOE das cotas mais importantes para o funcional do produto e é dado a sugestão para os parâmetros iniciais no momento da injeção, conforme a simulação.

Verifica-se se foram satisfatórios os resultados, se sim, inicia-se a construção do molde de injeção. Antecedendo todo esse processo, na simulação, cria-se uma malha no produto, onde ela é formada por elementos finitos, que estão conectados através de nós, através da discretização (divisão do domínio contínuo em elementos finitos de formato simples). A figura 7 abaixo mostra a discretização de um domínio (elementos finitos triangulares), (TOTI, 2010).

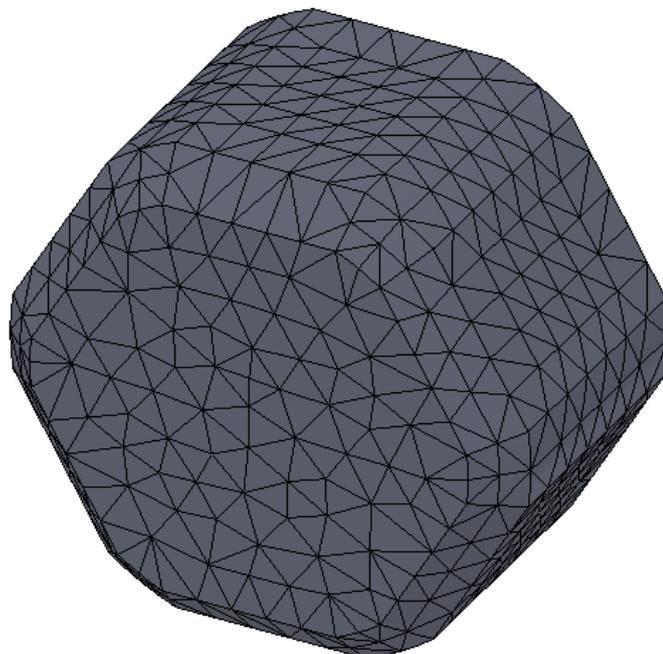


Figura 7 – Discretização de um domínio de modelo 3D.

Dependendo da aplicação, exportar um arquivo pode gerar implicações, pois apesar de permitir a manipulação do modelo em outras plataformas de softwares, algumas informações podem se perder no processo. Como exemplo, citamos a "árvore" do modelo, que é uma estrutura em forma de lista que contém o histórico de construção do modelo, de forma a permitir edições e/ou alterações na árvore. Depois de exportado um arquivo, alterações só poderão ser realizadas com novos comandos, ao invés de simples edição daqueles já existentes.

Existem vários softwares utilizados como ferramenta de análise de projeto baseado em um modelo numérico chamado de análise de elementos finitos. De acordo com a DASSAULT (2011), em termos matemáticos, FEA, também conhecida como Métodos de Elemento Finitos, é uma técnica numérica para solucionar problemas de campo descrito por conjunto de equações diferenciais parciais.

Para IZUKA (2006) o MEF é baseado no tratamento de sistemas discretos onde inúmeras equações são geradas a partir da condição de equilíbrio de cada elemento finito. O meio mais eficiente de armazenar, manipular e processar estas informações é por intermédio de matrizes. O princípio básico do tratamento de sistemas discretos através do MEF é dividido em três etapas: Pré-processamento, Solução (*Solver*) e Pós-Processamento. O processo de criação de um modelo matemático e sua discretização em um modelo de elementos finitos introduzem erros inevitáveis. A formulação do modelo matemático introduz erros de modelagem, também chamados erros de idealização. A discretização do modelo matemático introduz erros de discretização e a solução introduz erros numéricos, DASSAULT (op cit).

## 5 – MATERIAIS E MÉTODOS.

### 5.1 - MATERIAIS

Para o desenvolvimento desse estudo foram utilizados os seguintes materiais termoplásticos:

- PP – Polipropileno H 503, Braskem <sup>1</sup>;
- ABS – Cicolac™ Resin DL100, Sabic <sup>2</sup>;
- PP – Moplen EP301K (KMT6100), Basell Australia <sup>3</sup>;

Nota: os materiais <sup>1</sup> e <sup>2</sup> foram utilizados no produto A e o material <sup>3</sup> no produto B.

A tabela 2 abaixo apresenta as propriedades dos materiais citados anteriormente.

<b>Características</b>	<b>Unidade</b>	<b>PP</b>	<b>ABS</b>
Temperatura de processo	°C	190 à 270	250 à 280
Temperatura do molde	°C	20 à 40	40 à 80
Temperatura de transição vítrea (Tg)	°C	-15 à -25	110
Temperatura de extração	°C	111	95
Densidade do sólido	g/cm <sup>3</sup>	0.92964	1.0863
Densidade do fundido	g/cm <sup>3</sup>	0.74485	0.97075
Índice de fluidez	g/10 min	3,5	10

Tabela 2- Propriedades dos materiais termoplásticos.

## 5.2 – MÉTODOS

### 5.2.1 – INTEGRAÇÃO DOS SISTEMAS CAD/CAE

Para a construção dos modelos 3D dos produtos A e B, foi utilizado o software *Creo Parametric 2.0*®. O arquivo contendo as características geométricas (*features*), foi exportado para o software *Autodesk Moldflow Insight (AMI)*®, versão 2016, para análise e execução da simulação com os materiais selecionados. Optou-se nesse trabalho de simulação a utilização de dois modelos de características geométricas diferentes para apresentar uma abordagem maior dos parâmetros de injeção e seus respectivos defeitos que possam ser analisados antes da fabricação do produto.

É importante ressaltar que, o software *Moldflow*, opera na mesma plataforma que o *software Creo Parametric 2.0*, sendo assim, na exportação do arquivo de extensão PRT não apresenta perdas de informações das *features*. Em seguida, ocorre a discretização do modelo, ou seja, a geração da malha, onde por funções de aproximação o software define o tamanho, bem como, o número de elementos.

Após a escolha dos produtos e importação dos mesmos para o software de simulação, foram geradas suas malhas e corrigidas, para uma melhor qualidade na simulação final. Na etapa posterior é selecionada a as propriedades do material termoplástico, que estão inseridas como cartas no banco de dados do software. Por fim, é executada as simulações (*solver*) conforme mostram as figuras abaixo.

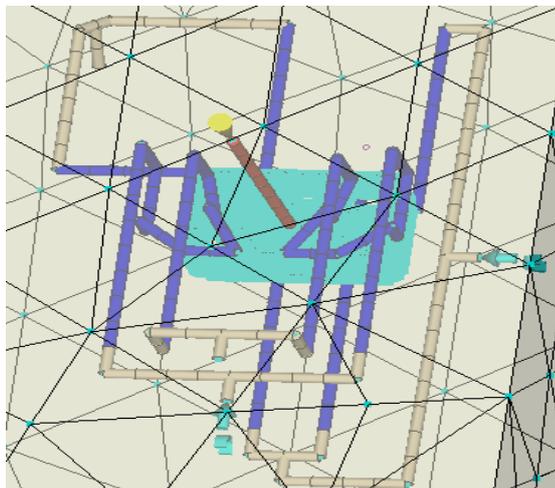


Figura 8 – Simulação de injeção completada do Produto A. (Fonte: Acervo da autora).

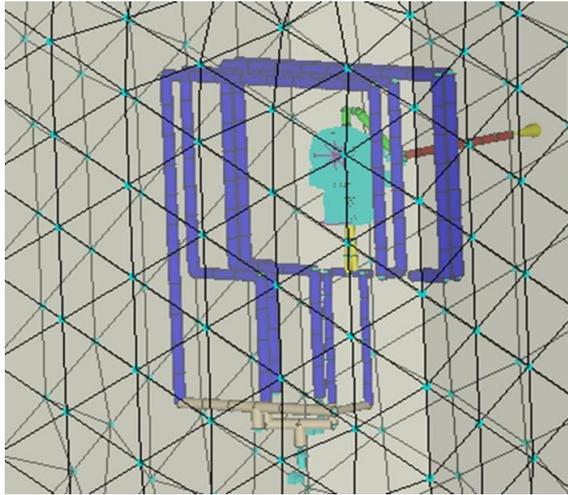


Figura 9 – Simulação de injeção completada do Produto B. (Fonte: Acervo da autora).

### 5.2.2 – TRY-OUT DOS MOLDES DOS PRODUTOS A e B

Após definição das propriedades dos materiais termoplásticos foram determinados os parâmetros de injeção para os materiais PP <sup>1</sup>, ABS <sup>2</sup> e PP <sup>3</sup>, que foram obtidas do *software MoldFlow*, conforme descritos abaixo:

- Try-out do produto A com material PP <sup>1</sup>.

- Volume da injetada (para cálculo da dosagem inicial): 27,64cm<sup>3</sup>.
- Tempo de injeção: 0,4
- Temperatura da massa: entre 190 à 270°C.
- Temperatura do fluido refrigerante: entre 20 à 40°C.
- Pressão de recalque: entre 60 e 80% da pressão de injeção observada em try-out.
- Tempo de recalque: acima de 9s.
- Tempo de resfriamento: acima de 9s.
- Ponto de comutação: acima de 97% da cavidade preenchida.
- Estabilização térmica do molde: aproximadamente 40 minutos.

- Try-out do produto A com material ABS <sup>2</sup>.

- Volume da injetada (para cálculo da dosagem inicial): 27,64cm<sup>3</sup>.
- Tempo de injeção: 0,6
- Temperatura da massa: entre 250 à 280°C.
- Temperatura do fluido refrigerante: entre 40 à 80°C.
- Pressão de recalque: entre 60 e 80% da pressão de injeção observada em try-out.
- Tempo de recalque: acima de 12s.
- Tempo de resfriamento: acima de 15s.
- Ponto de comutação: acima de 97% da cavidade preenchida.
- Estabilização térmica do molde: aproximadamente 40 minutos.

- Try-out do produto B com material PP <sup>3</sup>.

- Volume da injetada (para cálculo da dosagem inicial): 16,94cm<sup>3</sup>.
- Tempo de injeção: 0,3.
- Temperatura da massa: entre 200 à 240°C.
- Temperatura do fluido refrigerante: entre 20 à 40°C.
- Pressão de recalque: entre 60 e 80% da pressão de injeção observada em try-out.
- Tempo de recalque: acima de 5s.
- Tempo de resfriamento: acima de 9s.
- Ponto de comutação: acima de 97% da cavidade preenchida.
- Estabilização térmica do molde: aproximadamente 40 minutos.

### **5.2.3 - INJEÇÃO DAS AMOSTRAS**

As amostras dos produtos A e B foram produzidas pela máquina injetora Engel EV 200/60 TECH, com capacidade de fechamento de 60 toneladas, conforme mostra a figura 10. (Fonte: <http://www.01machinery.com/en/engel-victory-500120-tech-in-4550-en-012-02>).



Figura 10 – Máquina injetora ENGEL.

## 6 – RESULTADOS E DISCUSSÕES.

### 6.1 – ANÁLISE COMPARATIVA DE PESAGEM DO PRODUTO A.

A tabela 3 abaixo apresenta os valores obtidos das etapas de pesagem no processo de injeção e de simulação para o produto A, utilizando os materiais ABS e PP.

<b>Material PP</b>	<b>Peso (g)</b>	
<b>Verificações</b>	<b>Simulado</b>	<b>Injetado</b>
1	4,78	4,53
2	8,44	8,48
3	12,87	12,13
4	17,29	17,1
5	21,49	21,77
<b>Material ABS</b>	<b>Peso (g)</b>	
<b>Verificações</b>	<b>Simulado</b>	<b>Injetado</b>
1	5,34	5,39
2	10,73	11,78
3	14,99	14,78
4	21,69	21,49
5	26,17	26,08
6	28,06	27,54

Tabela 3- Valores obtidos de pesagem dos materiais PP e ABS.

O peso de uma peça plástica tem grande importância no momento da injeção de um produto, através do seu peso, é possível identificar o tempo de recalque necessário em uma peça, onde será verificado o máximo de material que estará entrando no produto ao estabilizar seu peso, isso significa que ela não está sendo recalcada mais, com isso pode-se dizer que a peça está compactada até seu limite.

Com a peça injetada e a simulação, é possível comparar se ambos estão com valores de pesagem próximos, mostrando assim a semelhança virtual e da peça injetada.

A figura 11 apresenta a comparação de pesagem real e simulada (virtual) nas verificações. Observa-se que tanto para o polímero PP como para o

ABS os resultados obtidos na simulação (virtual) são próximos do injetados (real), validando assim a simulação.

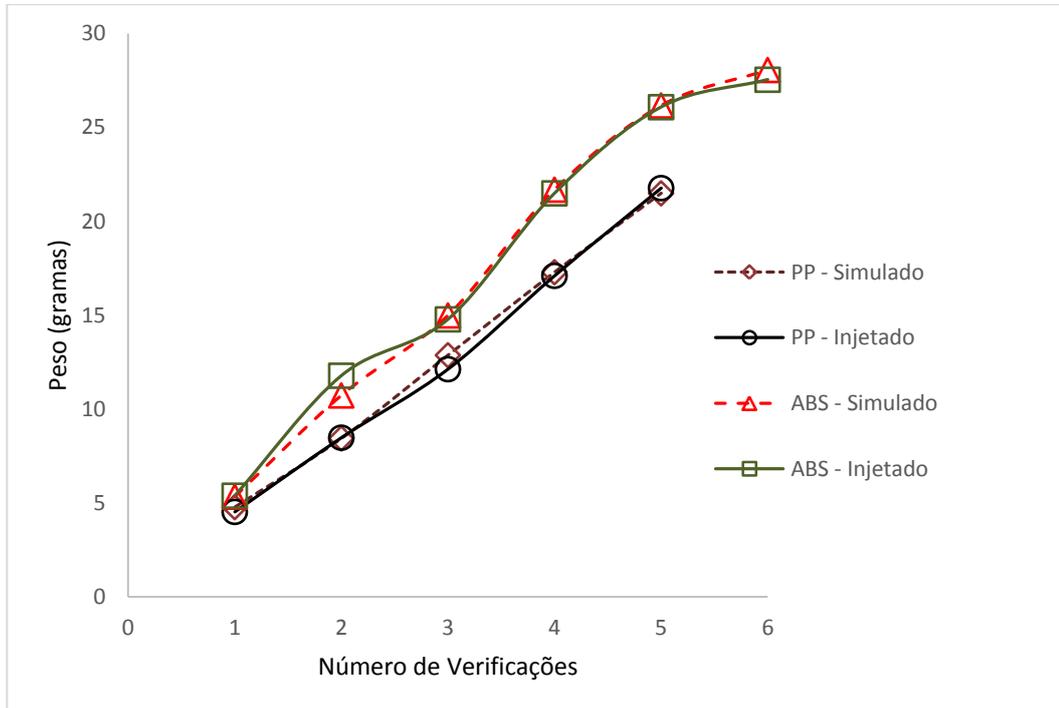


Figura 11 – Análise comparativa da pesagem dos polímeros PP e ABS.

## 6.2– ANÁLISE COMPARATIVA DE DEFEITOS DO PRODUTO B.

### 6.2.1– LINHA DE EMENDA

Linha de emenda é um defeito que produtos injetados apresentam, e muitas vezes, onde estão localizadas, são prejudiciais ao produto. A figura 12 abaixo mostra a simulação do produto B, apresentando a linha de emenda e após injeção do material o produto apresentando o mesmo defeito. Sendo assim, o resultado valida e indica que com a simulação poderia resolver esse defeito corrigindo o ponto de injeção ou executando o reprojeto do produto.

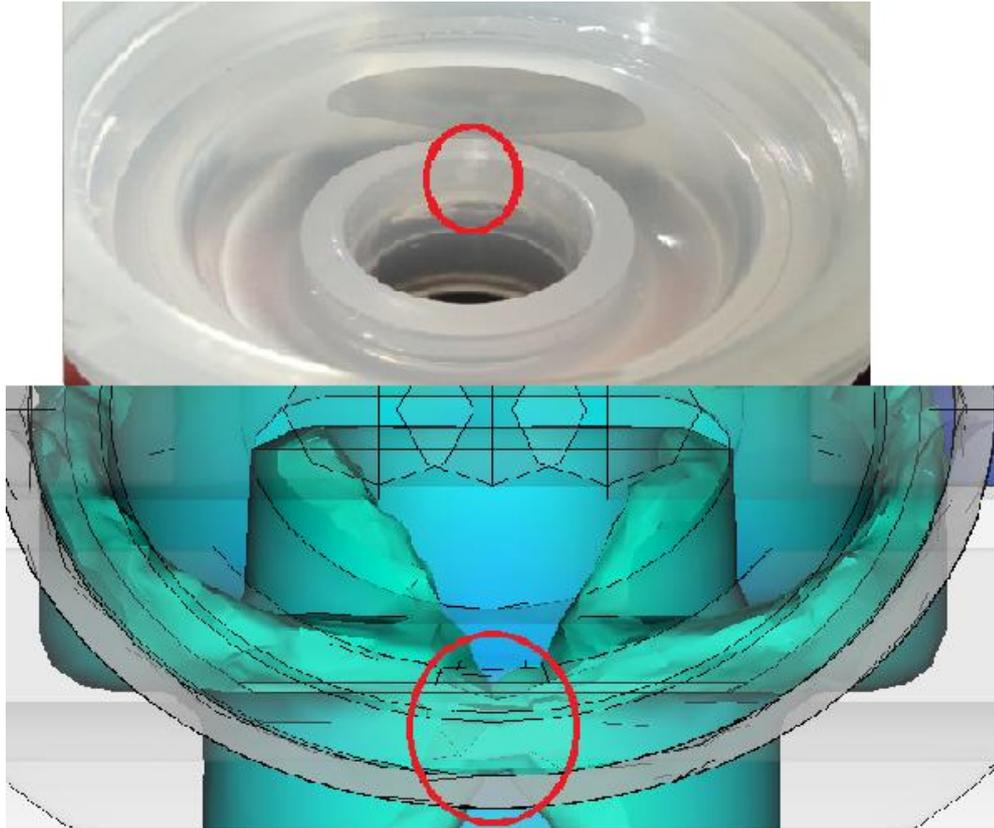


Figura 12 – Linha de emenda apresentada na simulação e confirmada após injeção do material do Produto B (Fonte: Acervo da autora).

### 6.2.2- ACUMULO DE GÁS NO PRODUTO B

A figura 13 mostra um defeito ocasionado pelo acúmulo de gás previsto na simulação e confirmado após a injeção do material antes do produto B. Isso ocorre pois nem sempre é possível ter uma saída de gás no local que aparece a prisão de gás. Para resolver esse defeito, é corrigido os parâmetros do processo e caso continue aparecendo é necessário fazer alteração no produto, fazendo com que o fluxo do material altere, e assim, levando o gás a outro local que não apresentará problema.

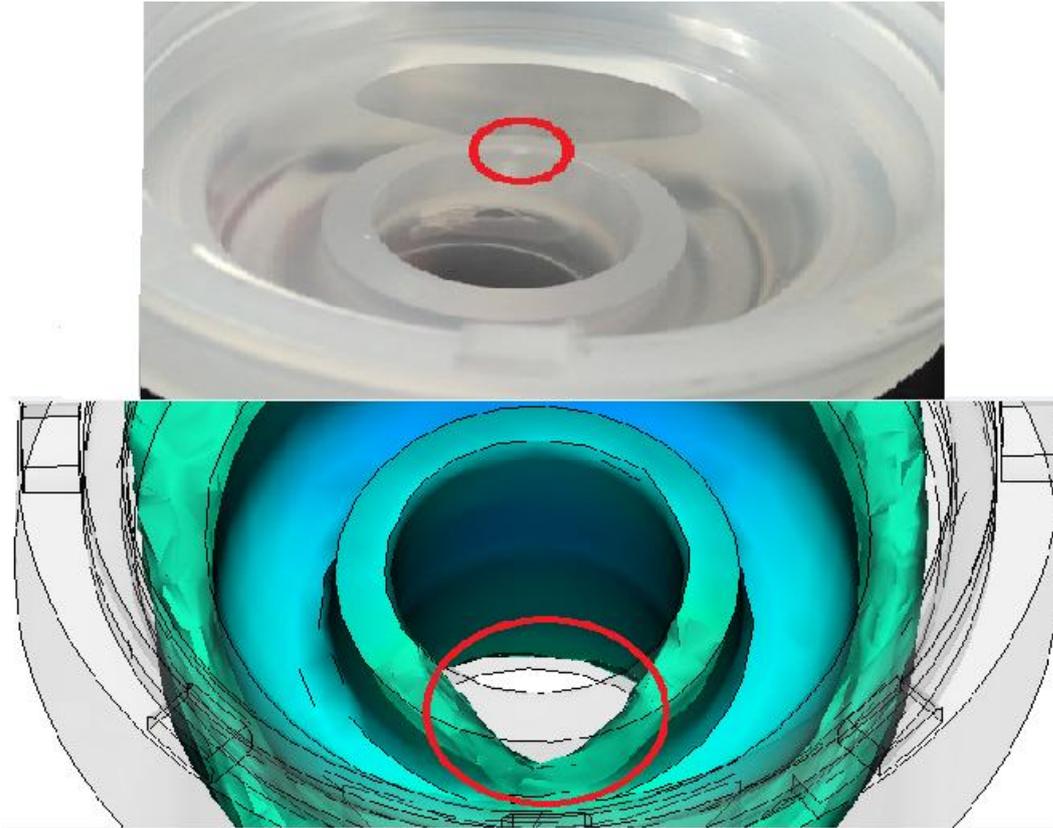


Figura 13 – Acumulo de gás apresentado na simulação e confirmada após injeção do material do Produto B (Fonte: Acervo da autora).

### 6.2.3- EMPENAMENTO NO PRODUTO B

A figura 14 mostra o defeito de empenamento previsto na simulação e confirmado após a injeção do material antes do produto B. Isso pode ser simulado porque o software tem os parâmetros de contração do material a ser injetado, nesse caso o polímero PP<sup>3</sup>. Para correção desse defeito é recomendado a avaliação e definição dos tempos de resfriamento para extração e de recalque, que é o tempo máximo de pressão na peça, Em seguida é utilizado o módulo de pressão e tempo para atingir a extração da peça. Após a realização das simulações é efetuada a medição das cotas pré-definidas, utilizando uma ancora, para prender a peça e não e deixa-la plana, para não ter referências diversas na medição.

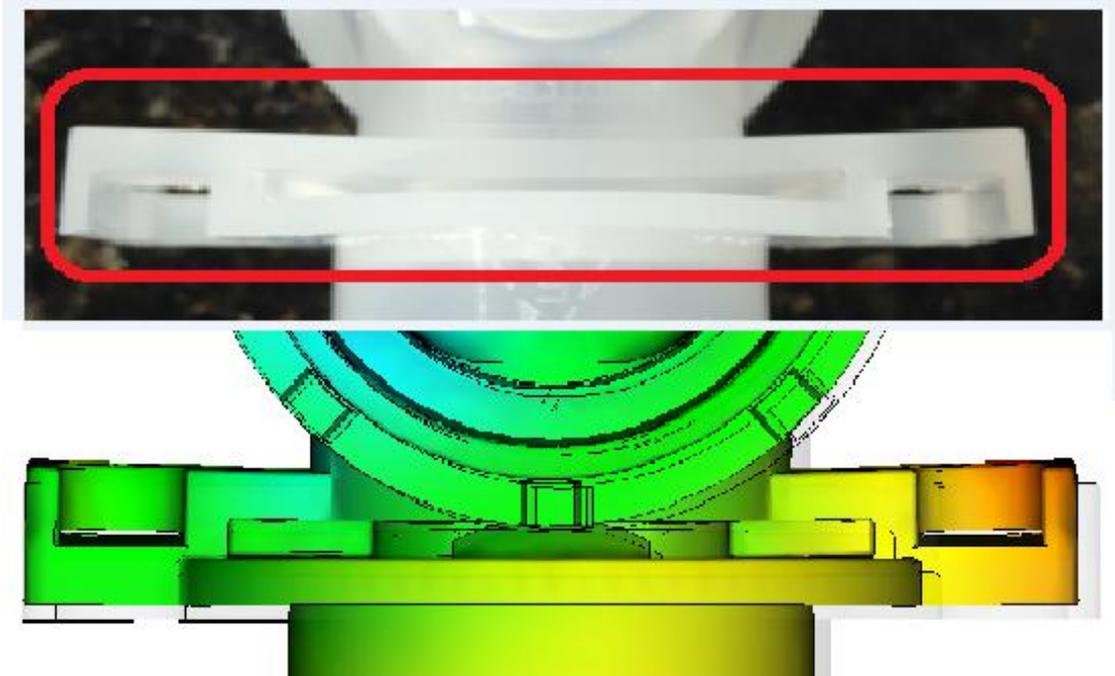


Figura 14 – Empenamento apresentado na simulação e confirmado após injeção do material do Produto B (Fonte: Acervo da autora).

## 7 – CONCLUSÕES.

Dos resultados obtidos da simulação e do processo de injeção dos polímeros termoplásticos do produto A, apresentaram-se próximos, validando assim a simulação.

Utilizou-se quatro critérios para analisar e comparar os produtos simulados e injetados, no entanto, existem outras formas de análise que poderiam ser aplicadas no presente trabalho.

O *Software Moldflow* fornece também informações dos parâmetros a serem utilizados no processo de injeção, bem como, após a simulação, indica os defeitos que podem ocorrer, conforme mostrado na simulação do produto B, auxiliando assim, no reprojeção do molde e/ou do produto.

## 8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

ABIPLAST. **Aplicações das principais resinas plásticas**. Sindiplast. São Paulo, FONTE: <http://www.abiplast.org.br/site/os-plasticos>. Acessado em 01/06/2016.

AUTODESK MOLDFLOW CORPORATION; **Autodesk Moldflow Plastics Insight 2012, on line help**. Wayland (EUA), 2011.

BRASKEM. **Propriedades Típicas do Polipropileno (PP) H 503**. Brasil, 2007.

CANEVAROLO, S. **Técnicas de Caracterização de Polímeros**. Brasil, Editora Artliber. 2007.

COSTA, A. C. P. **Análise da substituição de polímeros Convencionais por Polímeros Biodegradáveis - Estudo de Caso**. Trabalho de Curso, UNIVEM, 2013.

Dassault S.S.W.C. **“SolidWorks Simulation”**, Concord, Massachusetts 01742, EUA. 2011.

FONTE: (<http://sistemasdeengenharia.com.br/2012/02/voce-sabe-o-que-e-cad-cae-cam/>). Acessado em 29/04/2016.

FONTE:(<http://www.ufal.edu.br/usinaciencia/multimidia/livrosdigitaiscadernostematicos/Plasticoscaracteristicasusosproducaoeparticipacaoambientais.pdf>). Acessado em 29/04/2016.

RODA, Daniel Tietz. **Acrilonitrila – Butadieno – Estireno (ABS)**. Disponível em: (<http://www.tudosobreplasticos.com/materiais/abs.asp#>). Acessado em 21/04/2016.

CARNEIRO, Mário Sonsino. **A simulação de injeção no desenvolvimento e fabricação de peças e moldes para injeção de termoplásticos**. Disponível em: (<http://www.moldesinjecaoplasticos.com.br/simulacaoinjecao.asp>). Acessado em 21/04/2016.

FILHO, AVELINO ALVES; **Elementos Finitos – A Base da Tecnologia CAE**. 5ª edição. São Paulo: Érica, 2007. 292 p.

HARADA, JULIO; **Moldes para injeção de termoplásticos**. 1ª edição. São Paulo :

Artliber Editora, 2004, 308 p.

Izuka, E. K. **“Análise de Tensões em Peneiras Vibratórias através de Modelagem Numérica Utilizando o Método dos Elementos Finitos e Experimentalmente por Extensometria”**. Dissertação de Mestrado. Unicamp, Campinas. 2006.

KIAM, Thyago M.; Pereira, Nilson C. **“Estudo de caso de peça moldada pelo processo de injeção-compressão para termoplásticos utilizando análise computacional”**. USA, 2007.

MADUREIRA De PAULA, A. **Definição Dimensional de Cavidades Utilizando Software de Simulação de Injeção**. Trabalho de Graduação, Curso de Polímeros, Fatec Sorocaba, 2011.

PETRY, A. **Mercado Brasileiro de Polipropileno com Ênfase no setor Automobilístico**. Trabalho de Conclusão do Curso. Porto Alegre, UFRGS, 2011.

SAUDI BASIC INDUSTRIES. **Propriedades Típicas do Acrilonitrila-Butadieno Estireno (ABS)**; Resin DL100 Cyclocac, 2016.

SOUZA, M. V., BARBOSA, W. C., NASCIMENTO, N. R., KIMURA, S. P. R., NETO, J. C. M. **INFLUÊNCIA DE DIFERENTES ROTAÇÕES NO PROCESSO DE EXTRUSÃO DO ABS EM SUAS PROPRIEDADES MECÂNICAS**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC 015, Ceará – Fortaleza, 2015.

SPIROL INTERNATIONAL CORPORATION. **Visão Geral Sobre Materiais Plásticos**. Fevereiro de 2015.

TOTI, F. A.; VIEIRA NETTO, A ; FRANCO, S. M. . **Análise da Concentração de tensão na Alteração de Seção de Eixo Escalonado** Utilizando Sistema CAE. In: VII CONEM 2012, São Luís - Maranhão.

TOTI, F. A. ; Ribeiro, F. C. ; ROSA, L. C. ; LIMA, F. A. ; MORAES, S. ; Célio Oderigi DE Conti . **A simulação Criativa, Criando Valor e Tecnologia para Pequenas Empresas e Microempresas no Parque Tecnológico de Sorocaba**. In: XII Ciclo de Debates em Economia Industrial, Trabalho e Tecnologia, São Paulo. 2014.

(CRUZ, Sérgio. **Moldes de injeção – Termoplásticos: Termofixo – Zamak – Alumínio – Sopro**. 2. Ed. Curitiba – PR: Hemus, 2002).