

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA MECÂNICA
HUGO DANIEL NEVES DE SOUSA

N. CLASS.....
CUTTER.....
ANO/EDIÇÃO.....

**MELHORIA EM PROJETOS DE MATRIZES, PARA EXTRUSÃO DE PERFIS
TERMOPLÁSTICOS (POLIPROPILENO E TERMOPLÁSTICO ELASTÔMERO)
UTILIZADOS COMO VEDAÇÃO AUTOMOTIVA COM O AUXÍLIO DA ANÁLISE
COMPUTACIONAL**

Varginha

2013

FEPESMIG

HUGO DANIEL NEVES DE SOUSA

**MELHORIA EM PROJETOS DE MATRIZES, PARA EXTRUSÃO DE PERFIS
TERMOPLÁSTICOS (POLIPROPILENO E TERMOPLÁSTICO ELASTÔMERO)
UTILIZADOS COMO VEDAÇÃO AUTOMOTIVA COM O AUXÍLIO DA ANÁLISE
COMPUTACIONAL**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Mecânica
do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG
como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel,
sob orientação do Prof. Me. Luiz Carlos Vieira Guedes.

Varginha

2013

HUGO DANIEL NEVES DE SOUSA

**MELHORIA EM PROJETOS DE MATRIZES, PARA EXTRUSÃO DE PERFIS
TERMOPLÁSTICOS (POLIPROPILENO E TERMOPLÁSTICO ELASTÔMERO)
UTILIZADOS COMO VEDAÇÃO AUTOMOTIVA COM O AUXÍLIO DA ANÁLISE
COMPUTACIONAL**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia
Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas –
UNIS/MG como pré-requisito para obtenção do grau de
bacharel, pela Banca Examinadora composta pelos
membros:

Aprovado em: / /

Prof. Me. Luiz Carlos Vieira Guedes

Prof.

Prof.

OBS.:

Dedico este trabalho a minha família, por serem os responsáveis diretos por meu êxito em mais esta etapa de minha vida e a todos os amigos que me apoiaram para o cumprimento deste desafio que esta sendo conquistado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a todos que me ajudaram a elaborar este trabalho, principalmente a minha família, aos amigos, companheiros de sala, de trabalho, a Cooper Standard e aos professores pelos conhecimentos transmitidos.

“Com organização e tempo, acha-se o segredo de fazer tudo e bem feito”.

Pitágoras

Grupo Educacional UNIS

RESUMO

Com o objetivo de apresentar os resultados obtidos através da utilização do software CAE (Engenharia Assistida por Computador), este trabalho trata do processo de extrusão de perfis termoplásticos para vedações automobilísticas, bem como os materiais necessários para seu beneficiamento. Descreverá as propriedades de suas matérias primas e as características do processo de fabricação e dos componentes que os constituem. Dará ênfase à elaboração e melhoria de projetos dos ferramentais responsáveis por dar o formato da peça extrudada através da dinâmica dos fluidos computacional (CFD), com a utilização desse software para simulação do fluxo nas matrizes de extrusão, com a intenção de reduzir o refugo gerado no processo produtivo, tanto na fase desenvolvimento, bem como na fase de produção.

Palavras-chave: Extrusão. Termoplásticos. Simulação.

ABSTRACT

In order to present the results obtained by using the CAE software (Computer Aided Engineering), this work deals with the process of extrusion of thermoplastics for automotive seals, as well as the materials required for its processing. Describe the properties of its raw materials and the characteristics of the manufacturing process and the components that comprise them. Will emphasize the development and improvement of tooling projects responsible for giving the shape of the piece extruded through computational fluid dynamics (CFD), with the use of this software for simulation of flow in extrusion dies, with the intention to reduce the waste generated in the production process, both during development and in the production phase.

Keywords: Extrusion. Thermoplastics. Simulation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Guarnição parabrisas	12
Figura 02 – Linha de extrusão de termoplásticos	15
Figura 03 – Extrusora	16
Figura 04 – Zonas da extrusora	17
Figura 05 – Vista explodida de uma matriz para extrusão de termoplásticos	19
Figura 06 – Matriz e perfil extrudado	20
Figura 07 – Vista em corte, conjunto matriz e cabeçote	20
Figura 08 – Preparação para simulação do fluxo de uma matriz de extrusão	22
Figura 09 – Projeto em 3D, de uma matriz de extrusão	24
Figura 10 – Componentes de uma matriz de extrusão	25
Figura 11 – Linhas de fluxo no interior da matriz	25
Figura 12 – Simulações realizadas no projeto de uma ferramenta	26
Figura 13 – Matriz de extrusão	27
Figura 14 – Extrusão de um termoplástico	27
Figura 15 – Primeiro teste com a matriz, sem simulação do fluxo	28
Figura 16 – Segundo teste realizado na produção, após simulação de fluxo	28
Figura 17 – Vista frontal da matriz após segundo teste	29
Figura 18 – Resultados no computador da simulação	29
Figura 19 – Irregularidade no primeiro teste em produção	30
Figura 20 – Análise da causa da ondulação	30
Figura 21 – Modificações e comparações para melhoria fluxo	30
Figura 22 – Componente de uma ferramenta de produção com desgaste	31
Figura 23 – Área fragilizada no projeto da ferramenta	31
Figura 24 – Modificações no projeto após simulação	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 Vedações automotivas	12
2.2 Polímeros	12
2.2.1 Polipropileno – PP	14
2.2.2 Elastômeros termoplásticos – TPE	14
2.3 Processamentos de polímeros	14
2.3.1 Processos de transformação de termoplásticos	15
2.3.2 Extrusão	15
2.3.2.1 A extrusora	16
2.3.2.1.1 Sistema Motriz	17
2.3.2.1.2 Canhão ou cilindro	18
2.3.2.1.3 Rosca	18
2.4 A matriz	18
2.5 Engenharia Auxiliada por Computador (CAE)	21
2.5.1 Fluidodinâmica computacional	21
3 MÉTODOS	23
3.1 Desenvolvimento da ferramenta	23
3.2 Simulação do fluxo em uma matriz de extrusão	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5 CONCLUSÃO	34
REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

A utilização de perfis plásticos para vedações vem sendo bastante difundida no meio automobilístico, utilizados em substituição de perfis de borrachas, uma vez que o plástico pode facilmente ser reciclado, impactando diretamente na sustentabilidade ambiental, portanto em nossa qualidade de vida.

Este trabalho aborda um estudo sobre o desenvolvimento de ferramentas utilizadas no processo produtivo de extrusão de plásticos, para obtenção de perfis para vedações de automóveis e o processo de transformação, necessário para sua obtenção.

Neste estudo serão citadas algumas características do processo de extrusão de materiais poliméricos, e o comportamento da matéria prima em seu processamento, de tal forma a nos permitir interpretar os resultados obtidos com programas de simulação de fluxo, para desenvolvimento das matrizes de extrusão, com a finalidade de obter maior robustez da ferramenta e um ganho em sua vida útil, impactando em sua qualidade, além de reduzir os custos necessários para o desenvolvimento do ferramental.

Mostrará o quanto pode ser importante para a empresa acreditar e apostar no setor de desenvolvimento, afinal o bom funcionamento dos ferramentais, garante uma melhor produtividade e conseqüentemente qualidade dentro do processo produtivo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Vedações automotivas

Podemos definir as vedações automotivas que serão descritas neste trabalho, como o próprio nome já diz, os componentes responsáveis por garantir e manter a vedação no interior dos automóveis, garantindo que não haja a infiltração de poeira e água (COOPER, 2007).

Outra função associada a essas peças é o de amortecimento entre as partes móveis do veículo, preservando e impedindo o contato direto entre elas. Também são utilizadas para minimizar ruídos do automóvel (COOPER, 2007).

Figura 1 - Guarnição parabrisas.



Fonte: O autor, 2013.

Entre esses componentes podemos citar: guarnições de porta (montadas entre a carroceria do carro e as portas), pestanas (montada entre a parte inferior do vidro e a carroceria), canaletas (peça por onde os vidros deslizam montadas entre a carroceria e as partes laterais e superiores das portas), guarnição capô (responsável pela vedação do capô e diminuição de ruídos), entre outros (COOPER, 2007).

2.2 Polímeros

Segundo Silva (2013), em seu artigo ela descreve informações referentes ao livro de Callister (2002), que afirma que os polímeros compreendem os materiais comuns de plástico e

borracha. Muitos deles são compostos orgânicos que têm sua química baseada no carbono, no hidrogênio e outros elementos não metálicos.

Além disso, possuem estruturas moleculares muito grandes. Estes materiais possuem tipicamente baixas densidades e podem ser extremamente flexíveis (CALLISTER, 2002).

Os polímeros são de importância vital nas sociedades atuais, de utilização massiva e através de inúmeras variações, adaptam-se as mais diversas indústrias modernas, desde a base ao topo da pirâmide tecnológica, sendo versáteis e confiáveis nas aplicações mais distintas (CORDEBELLO, 2002).

Segundo Frozza (2013), podemos amolecer os termoplásticos através de temperatura, permitindo que seja deformado quando aplicamos pressão. Para retornar a sua rigidez, temos que resfriar tais polímeros.

É viável produzir com esses materiais em escala produtiva devido as suas características e seu comportamento, e os meios utilizados podem ser a moldagem por injeção, bem como a extrusão (FROZZA, 2013).

Uma das principais características dos polímeros citados, é que podemos reciclá-los através das perdas do processo, pois quando expostos a temperatura e pressão podem ser retrabalhados novamente (FROZZA, 2013).

Mais uma vantagem atribuída aos plásticos é que são leves, gerando economia no transporte dos produtos (PLASTIVIDA, 2013).

Quando expostos a temperatura, sua constituição permite que sejam retrabalhados (FROZZA, 2013).

Cada polímero tem funções específicas, ou seja, é mais indicado para uma ou mais aplicações dependendo de suas propriedades físicas (CALLISTER, 2002).

2.2.1 Polipropileno – PP

Os polímeros termoplásticos, como o Polipropileno (PP), são os mais suscetíveis à recuperação e a reciclagem uma vez que podem ser transformados novamente com seu aquecimento (CALLISTER, 2002).

O polipropileno (PP) é um polímero termoplástico de estrutura semicristalina do grupo das poliolefinas, a alta cristalinidade do PP, entre 60 e 70%, lhe confere elevada resistência mecânica, rigidez e dureza, que se mantém a temperatura relativamente elevada (STRAPASSON, 2004).

Comercialmente chamado de Polipropileno (PP), este material possui um índice de fluidez médio, indicado para moldagem por injeção e extrusão de fibras e é um produto atóxico, com excelente processabilidade e com boa estabilidade (CALLISTER, 2002).

Possui baixo custo e elevada resistência química e a solventes, de moldagem relativamente fácil, com resistência à fratura por flexão e fadiga também possui resistência ao impacto acima de 15 °C (CALLISTER, 2002).

Possui também estabilidade térmica, maior sensibilidade à luz UV e agentes de oxidação, sofrendo degradação com maior facilidade e quimicamente inerte (CALLISTER, 2002).

Exemplos de onde são utilizados como brinquedos, copos plásticos, autopeças (para-choques, pedais, carcaças de baterias), interior de estofados, lanternas, ventoinhas e ventiladores, peças para máquinas de lavar, material aquático (pranchas de bodyboard), malas de bagagem (CALLISTER, 2002).

2.2.2 Elastômeros termoplásticos – TPE

Os elastômeros termoplásticos são materiais que conjugam as propriedades das borrachas com a facilidade de transformação dos plásticos (FCC, 2013).

Com o desenvolvimento desta classe de materiais, tornou-se possível substituir boa parte das borrachas convencionais em aplicações tradicionais, bem como, devido a sua versatilidade, encontrar novas aplicações antes inacessíveis aos termoplásticos (FCC, 2013).

Um elastômero termoplástico é uma mistura de polímeros que, acima da sua temperatura de fusão, exibe um caráter termoplástico, o que lhes permite serem moldados e transformados (CTB, 2013).

Dentro de uma definida gama de temperaturas e, sem que tenha ocorrido qualquer processo de reticulação durante a fabricação, possuem um comportamento elastomérico. Este processo é reversível e os produtos podem ser reprocessados e de novo moldados (CTB, 2013).

2.3 Processamentos de polímeros

Uma grande variedade de técnicas de processamento é empregada na obtenção de artefatos poliméricos. O método usado de conformação para um determinado polímero

depende de vários fatores, tais como: se o polímero é termoplástico ou termofixo; geometria e tamanho da peça (ARNO, 1988).

O processamento de polímeros termoplásticos ocorre normalmente em temperaturas elevadas (200°C até 500°C) e com frequência com a aplicação de pressão (ARNO, 1988).

2.3.1 Processos de transformação de termoplásticos

Todos os processos de produção das empresas de plásticos consistem em fundir, através de aquecimento, a matéria-prima ou resinas termoplásticas obtendo uma conformação desejada. A industrialização de termoplásticos é realizada, em grande parte, através dos processos de extrusão, injeção e sopro (BRIDGE, 1997).

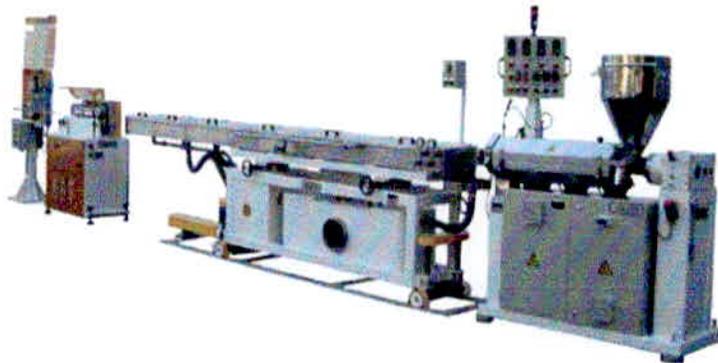
2.3.2 Extrusão

O processo de extrusão é uma forma de moldagem muito antiga, cujo início não se tem muitos registros. Sabe-se que o processo de extrusão foi utilizado em escala industrial, desde o início do século XIX, na fabricação de tubos de chumbo (BARRA, 2013).

A palavra “extrusão” tem raiz e vai buscar significado nos vocábulos latino, em que “ex” significa força e “tudere” significa empurrar (BARRA, 2013).

Podemos descrever a extrusão como um processo que tem como princípio combinar calor e trabalho mecânico, para modificar matérias primas, através da conformação em matrizes.

Figura 2 - Linha de extrusão de termoplásticos.



Fonte: Miotto, 2013.

De grande difusão e aplicação no processamento de polímeros, o processo de extrusão é característico pela produção de material semimanufaturado como barras, tubos, perfis, placas e filmes, entre outros (DUPONT HYTREL, 2013).

2.3.2.1 A extrusora

A função de uma extrusora é produzir um termoplástico fundido com velocidade e temperatura constantes. Para monitorar o desempenho da extrusora é importante determinar a pressão e a temperatura do fundido, bem como proporcionar os métodos adequados de controle (DUPONT HYTREL, 2013).

Figura 3 - Extrusora



Fonte: Plastimax, 2013.

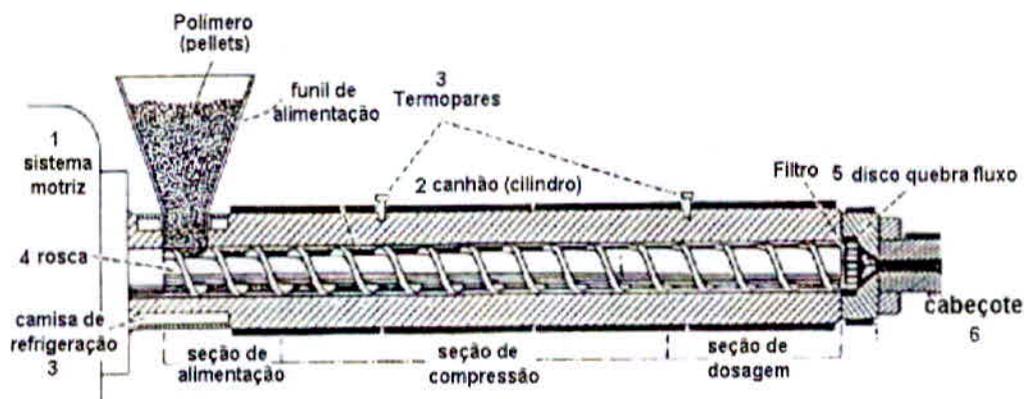
Segundo Broliato (2009), a extrusora é construída de um cilindro em cujo interior gira uma rosca sem-fim. No caso do polipropileno, na maioria das vezes a extrusão é descendente, ou seja, consiste em alimentar o funil da extrusora com o material moído ou granulado, o qual através da gravidade cairá sobre a rosca.

Conforme Broliato (2009), o movimento da rosca promove o transporte do material termoplástico que cai do funil de alimentação, preenchendo o espaço dos sulcos entre os filetes, levando até a extremidade do cilindro.

Para diminuir o tracionamento, que o transportará no cilindro ou canhão há resistências elétricas, responsáveis pelo seu aquecimento. Parte do calor também é provida pelo atrito do próprio material com as paredes do cilindro (BROLIATO, 2009).

Nessa fase, o material passa por três zonas: alimentação, compressão e dosagem (RODA, 2012).

Figura 4 – Zonas da Extrusora.



Fonte: BARRA, 2013.

Na zona de alimentação, a rosca possui sulcos profundos, pois a intenção é apenas aquecer o material próximo ao seu ponto de fusão e transportá-lo a próxima zona (RODA, 2012).

Na zona de compressão, existe uma diminuição progressiva dos sulcos da rosca, comprimindo o material contra as paredes do cilindro promovendo sua plastificação (RODA, 2012).

Na zona de dosagem, os sulcos da rosca são continuamente rasos, fazendo com que exista uma mistura eficiente do material e a manutenção da vazão através da pressão gerada (RODA, 2012).

Ao final do cilindro o material é forçado contra telas de aço, e o conjunto de telas é usado para: remover quaisquer impurezas ou material não fundido do fluxo de resina fundida e também para assegurar suficiente contrapressão na extremidade da rosca (RODA, 2012).

2.3.2.1.1 Sistema Motriz

A movimentação da rosca é feita por intermédio de um redutor, o qual é acionado pelo motor. A velocidade do motor deve ser controlada para regular a variação da velocidade da rosca. Esse controle é feito através de dois aparelhos: o tacômetro e o amperímetro (BARRA, 2013).

2.3.2.1.2 Canhão ou cilindro

O cilindro é a parte da máquina em cujo interior é alojada a rosca. O cilindro proporciona uma das superfícies necessárias para friccionar o polímero. É constituído de aços especiais, possuindo elevada resistência à abrasão e à estabilidade térmica (BARRA, 2013).

2.3.2.1.3 Rosca

A rosca é a parte principal de uma extrusora, tendo a função de: Fazer que o material polimérico avance para a matriz; Misturar convenientemente o material polimérico; Ter comprimento suficiente para fundir (amolecer) e reduzir a viscosidade do material (BARRA, 2013).

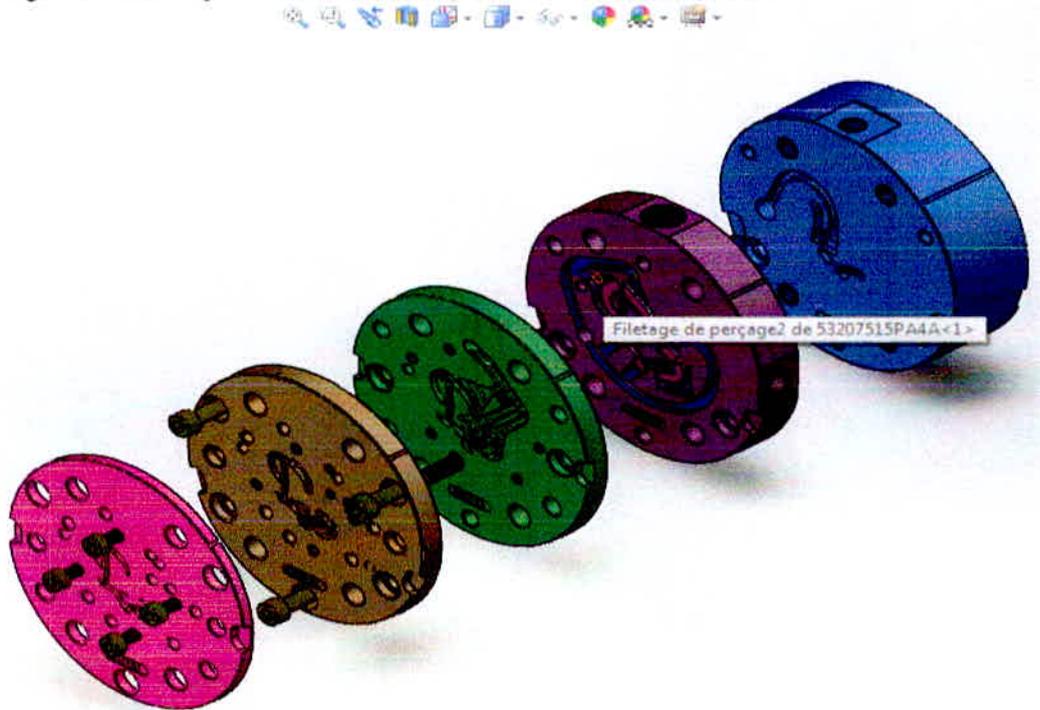
A geometria da rosca muda para cada polímero. Esta diferença de geometria ocorre, porque os termoplásticos diferem entre si, tanto nas propriedades térmicas, quanto nas propriedades reológicas (curvas de fluxo e viscosidade) e propriedades mecânicas (dureza, resistência à compressão, etc.) (BARRA, 2013).

Desta maneira, conclui-se que é quase impossível ter-se uma mesma rosca capaz de trabalhar satisfatoriamente para qualquer tipo de material.

2.4 A matriz

As matrizes para extrusão de materiais plásticos são ferramentas dotadas de canais e cavidades, por onde a matéria prima processada pela extrusora escoar, e dá a geometria do perfil.

Figura 5 - Vista explodida de uma matriz para extrusão de termoplásticos.



Fonte: O autor, 2013.

É a ferramenta responsável pelo formato do produto extrudado. As dimensões da matriz podem variar de acordo com o projeto do cabeçote, que faz a ligação entre a ferramenta e a extrusora.

Cada empresa possui um conhecimento e tecnologias diferentes por isso como dito anteriormente os padrões das ferramentas irão variar.

Durante o deslocamento da matéria prima na extrusora, o material é progressivamente aquecido, cisalhado, comprimido passando pelo cabeçote até extremidade de uma matriz.

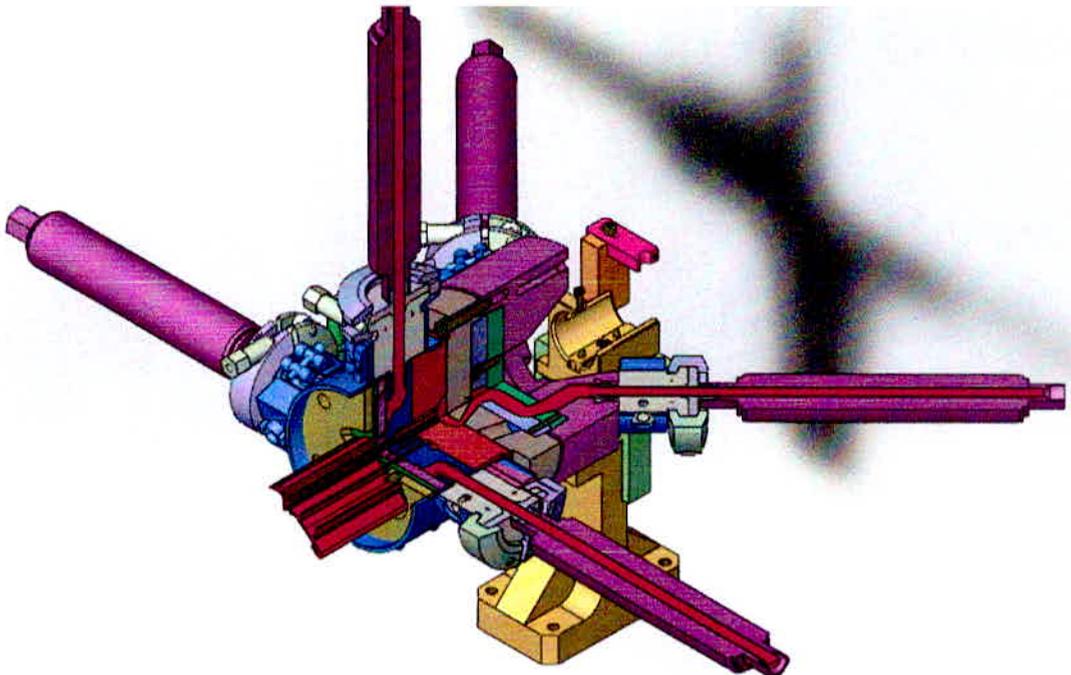
Figura 6 - Matriz e perfil extrudado.



Fonte: O autor, 2013.

A ferramenta é acoplada na extremidade do cabeçote e que possui o controlador de temperatura, garantindo a temperatura do fluido no interior do ferramental. Variações de temperatura na extrusora, especialmente na parte frontal e na matriz, influenciam na qualidade do material extrudado, pois a sua viscosidade depende e varia conforme a temperatura e pressão.

Figura 7 - Vista em corte, matéria prima escoando entre o conjunto matriz e cabeçote.



Fonte: O autor, 2013.

Durante a produção, a variação da pressão também indica variações na vazão e na viscosidade do fundido, pois como já dito a viscosidade do material na fase de compressão, pode variar como a temperatura de trabalho e a pressão.

2.5 Engenharia Auxiliada por Computador (CAE)

Engenharia Assistida por Computador (CAE), também conhecida como Engenharia de Simulação, é uma realidade e fator de grande diferencial competitivo de mercado (T-SYSTEMS DO BRASIL LTDA, 2013).

A ferramenta CAE é uma grande aliada para os engenheiros, arquitetos, projetistas e designers, pois ela possibilita a simulação em condições reais do produto, prevendo algum comportamento indesejado. Essas simulações podem ser: estáticas, dinâmicas, acústicas, térmicas, de fluídos e de impactos (RENDER MULTIMÍDIA, 2013).

Podemos dizer que softwares CAE são ferramentas muito uteis na Engenharia, pois auxiliam o desenvolvimento de novos projetos, através de cálculos e modelos virtuais do projeto, onde podemos aplicar no modelo computacional as condições que teríamos em uma peça física, podendo prever e antecipar algum comportamento indesejado.

Com a antecipação de situações críticas de desenvolvimento, através das simulações, a tomada de decisão é favorecida, o que possibilita redução do tempo e custo de desenvolvimento de produtos, convergindo-se rapidamente para a solução final (T-SYSTEMS DO BRASIL LTDA, 2013).

Geralmente, as ferramentas CAE estão sustentadas dentro do software CAD, como por exemplo, a ferramenta SimulationXpress localizada dentro do SolidWorks (RENDER MULTIMÍDIA, 2013).

O CAE possui diversas vantagens em sua utilização, como: redução de custos, aumento da produtividade, maior eficiência e desempenho do projeto, eliminação de protótipos físicos, entre outras (RENDER MULTIMÍDIA, 2013).

Entre suas vantagens, destacasse a semelhança entre o protótipo virtual e a peça física, permitindo uma interpretação coerente e de maneira mais simplificada dos resultados obtidos na simulação.

Contudo o uso de testes reais através protótipos físicos, ainda são uma necessidade, pois mais próximo que sejam os resultados da simulação, estes possuem uma margem pequena de variação, que podem interferir no produto final.

2.5.1 Fluidodinâmica computacional (CFD - Computacional Fluid Dynamics)

O software Autodesk® Simulation CFD (anteriormente conhecido como CFdesign®) fornece um conjunto abrangente e flexível de ferramentas para simulação de fluxo de fluidos e simulação térmica, oferecendo aos engenheiros ferramentas para realizar a transferência de calor, fluido e análises de fluxo (Copyright 2013 Autodesk, 2013).

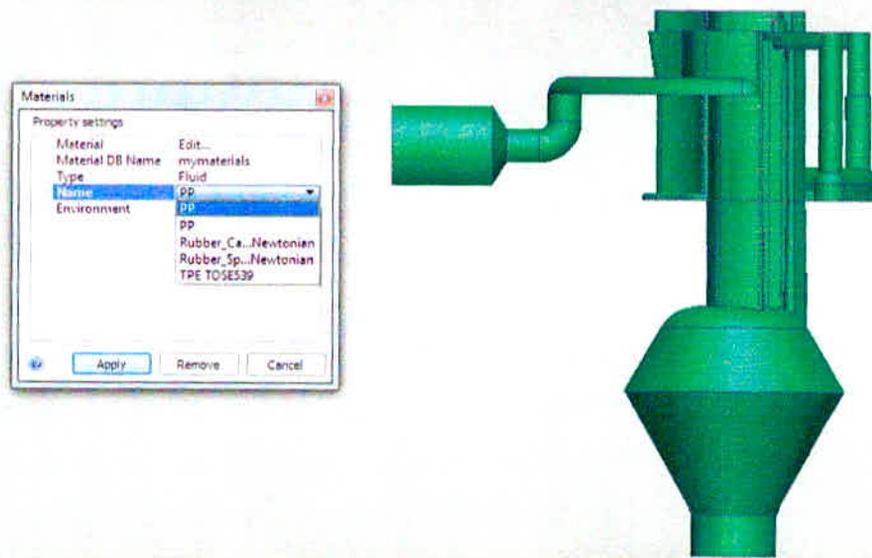
Ele abrange uma ampla gama de fluidos com cenários de transferência de calor, para realizar simulações em 3D confiáveis de fluxos turbulentos e incompressíveis em alta velocidade, juntamente com a condução e transferência de calor por convecção (Copyright 2013 Autodesk, 2013).

Autodesk Simulation CFD oferece recursos de análises rápidas precisas e inovadoras no desenvolvimento de produtos, onde a tomada de decisão é fundamental (Copyright 2013 Autodesk, 2013).

O software fornece dados precisos, o que permite desempenho em uma variedade de projetos, permitindo uma maior inovação de produto e melhor desempenho do produto (Copyright 2013 Autodesk, 2013).

Simulação CFD estende Prototipagem em diversas áreas, com as mais diversas aplicações na indústria (Copyright 2013 Autodesk, 2013).

Figura 8 - Preparação para simulação do fluxo de uma matriz de extrusão.



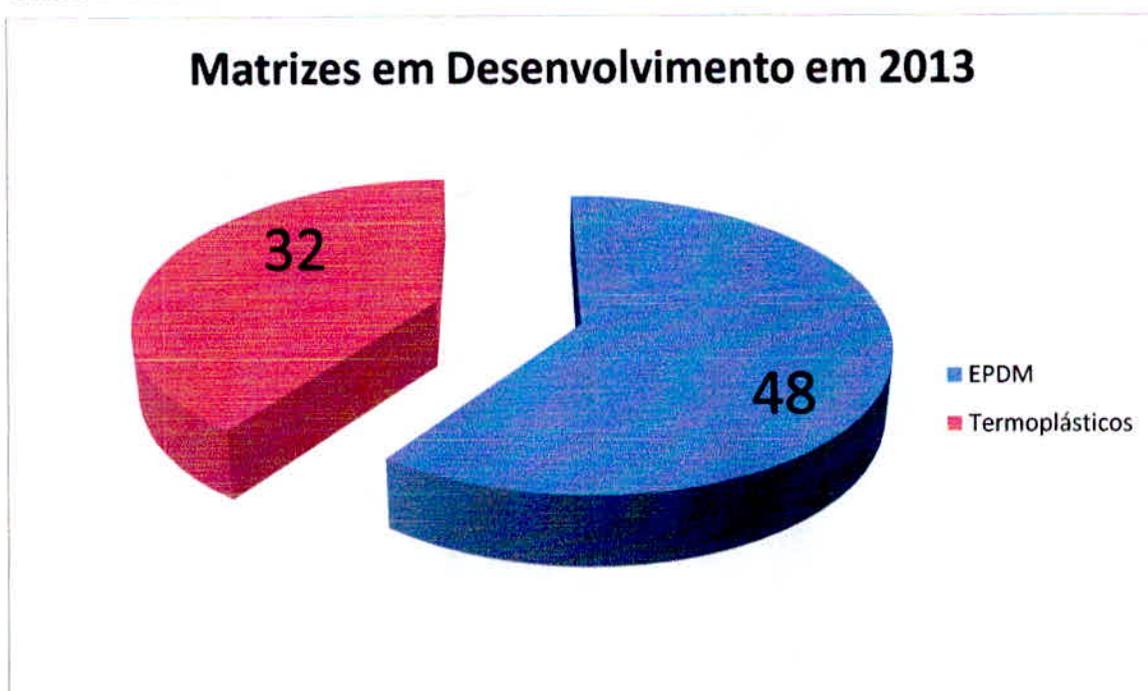
Fonte: - O autor, 2013.

3 MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na *Cooper Standard*, que é uma empresa multinacional que atua no desenvolvimento e transformação de polímeros em perfis para vedação (guarnições de porta, porta mala, canaletas, pestanas, caixa de ar, etc.).

Hoje a empresa possui em torno de 350 ferramentas em produção e estão sendo desenvolvidas aproximadamente 80 novas ferramentas, 40% são para extrusão de termoplásticos e 60% para extrusão de borracha EPDM (Etileno Propileno Dieno Monômero).

Gráfico 1 - Matrizes em Desenvolvimento em 2013.



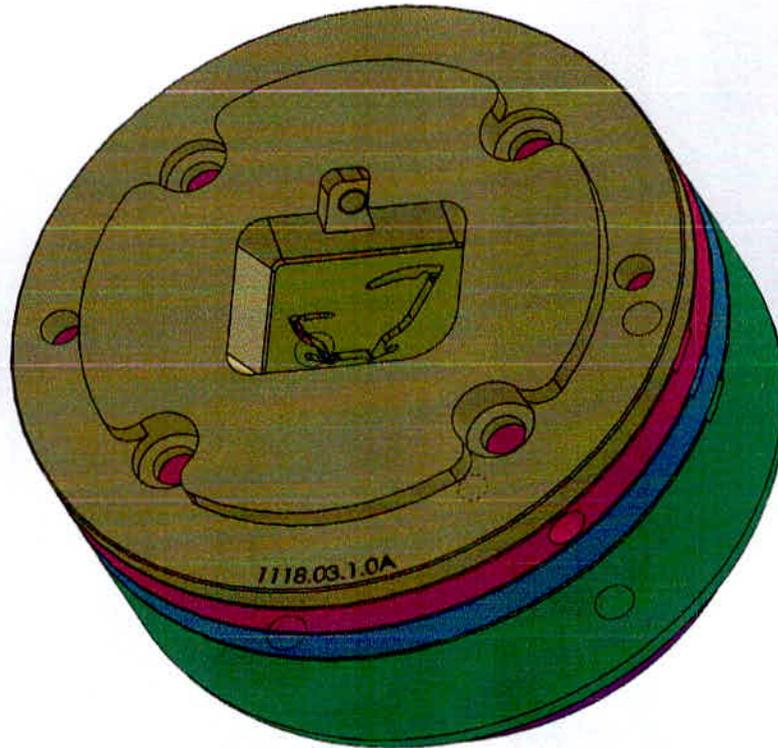
Fonte: o autor

3.1 Desenvolvimento da ferramenta

O projeto da ferramenta se iniciou, a partir da entrega do desenho matemático do cliente, ao setor responsável pela elaboração e construção do ferramental.

Neste desenho estão contidas além da geometria final da peça, informações que o produto deverá possuir, quando montadas na carroceria do automóvel, e também qual material o produto deverá ser constituída, (tipos plásticos ou borrachas).

Figura 9 - Projeto em 3D, de uma matriz de extrusão.



Fonte: - O autor, 2013.

Uma vez definida quais as características e propriedades o perfil extrudado deverá possuir, o projetista responsável pela ferramenta dará início a elaboração do projeto.

O modelamento da matriz de extrusão é feito da através de softwares de desenho em 3D, o programa utilizado é o *Solid Works* e segue o padrão de ferramentas da empresa, com cotas e dimensões já pré-definidas.

Figura 10 - Componentes de uma matriz de extrusão.



Fonte: O autor, 2013.

3.2 Simulação do fluxo em uma matriz de extrusão

Realizado o modelamento da ferramenta, antes que a mesma seja construída, é realizada a simulação do fluxo da matriz, com a intenção de prever algum comportamento indesejado.

Figura 11 - Linhas de fluxo no interior da matriz.

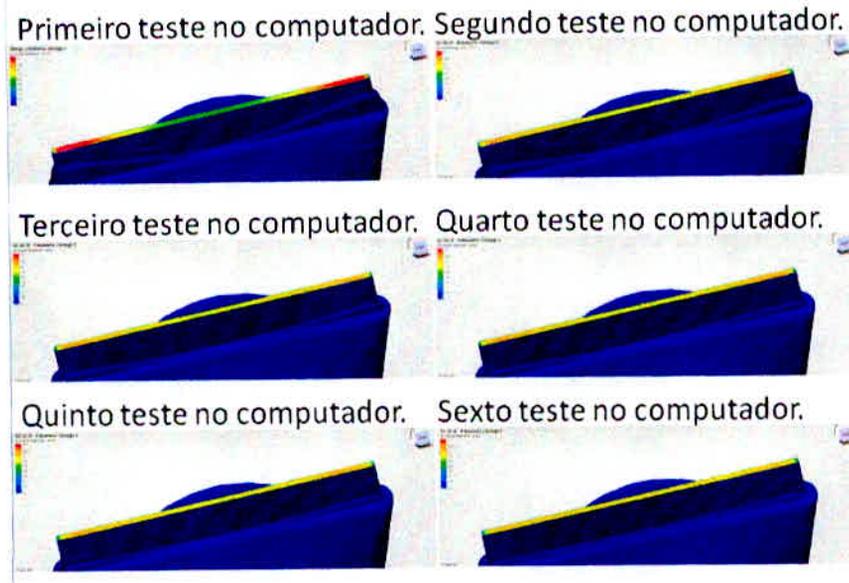


Fonte: O autor, 2013.

A análise numérica computacional é baseada no Método dos Volumes Finitos, através da simulação do fluido percorrendo a matriz, podemos verificar os pontos de maiores velocidades, e de onde eles provêm.

A correta interpretação dos resultados nos possibilita verificar quais pontos devem ser corrigidos na ferramenta. Visualizados os resultados, o projetista irá definir se há necessidade de melhorias no projeto.

Figura 12 - Simulações realizadas no projeto de uma ferramenta.



Fonte: - O autor, 2013.

A escala nas laterais esquerdas das imagens 11 e 12 acima, indicadas por números e representadas por cores, facilita a visualização e interpretação dos resultados, partindo da coloração em azul (velocidade mais baixa), até o vermelho (velocidade mais alta).

O objetivo nesta etapa de simulação e equilibrador o fluxo e a velocidade da matéria prima na cavidade de saída da matriz. Quanto mais uniforme conseguirmos deixar a tonalidade do fluxo na saída, melhores serão os resultados obtidos na produção.

Figura 13 - Matriz de extrusão.



Fonte: O autor, 2013.

Uma vez definida a geometria da ferramenta, é dado início seu processo de construção e posteriormente a ferramenta será testada no processo produtivo.

Figura 14 - Extrusão de um termoplástico.



Fonte: O autor, 2013.

Todas as etapas no projeto da matriz são para garantir o mínimo de perdas no processo, quanto menor o tempo de testes em linha para enquadrar a ferramenta no desenho, melhor para empresa, pois ela estará deixando de gerar perdas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente realizamos o teste com uma ferramenta para extrusão de uma pestana interna de Polipropileno, sem que tenha sido realizada a simulação de fluxo.

Figura 15 - Primeiro teste com a matriz, sem simulação do fluxo.



Fonte: O autor, 2013.

Após resultados não serem satisfatórios, o projeto da matriz foi revisado e foram realizados testes no computador, com a utilização do *software Autodesk Simulation CFD (CFDesign)*, para que o fluxo no interior da ferramenta fosse balanceado.

Figura 16 - Segundo teste realizado na produção, após simulação de fluxo.



Fonte: O autor, 2013.

Houve uma melhora significativa na geometria da peça produzida. Depois de realizarmos mais dois testes, foi iniciada a produção com a nova ferramenta.

Figura 17- Vista frontal da matriz após segundo teste.

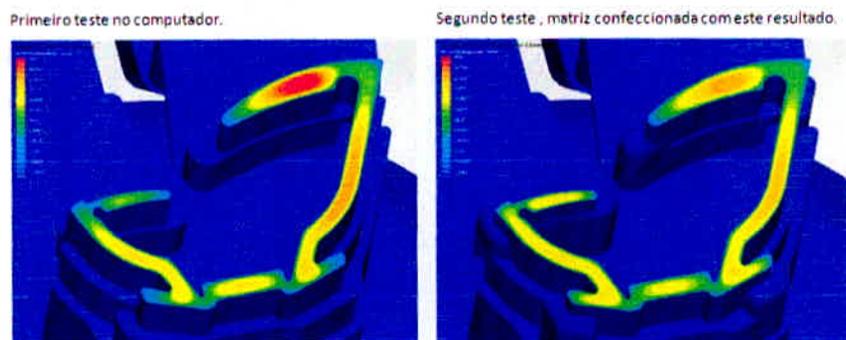


Fonte: O autor, 2013.

A média de *trials* normalmente utilizada pela empresa gira em torno de 15 testes. Contando todos os que foram realizados em produção para esta matriz mostrada acima (fig. 17), deixamos de realizar 11 lançamentos para ajuste da ferramenta.

Em outro caso projetamos uma ferramenta, e para que tivéssemos uma boa assertividade, realizamos antes da sua construção uma verificação no computador.

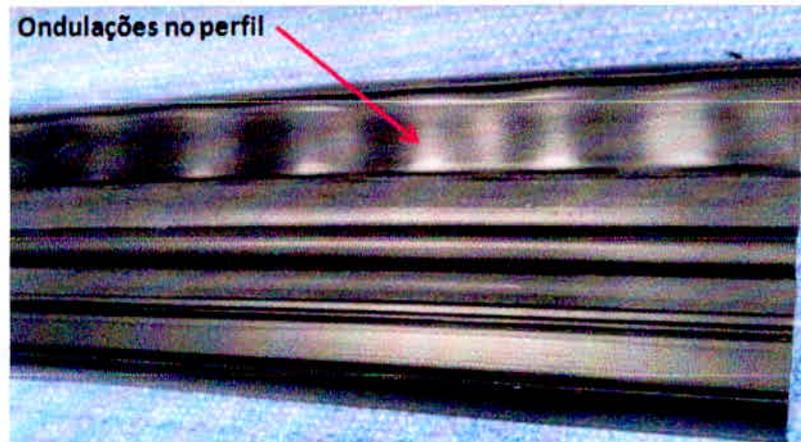
Figura 18- Resultados no computador da simulação.



Fonte: O autor, 2013.

Os resultados foram satisfatórios, no primeiro teste em produção a peça extrudada se enquadrou em 90% da geometria de desenho do produto. O único ponto que realmente estava gerando algum transtorno era uma ondulação na coluna da aba flocada maior.

Figura 19-Irregularidade no primeiro teste em produção.

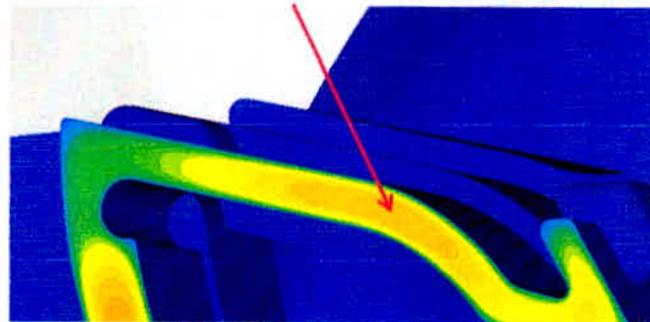


Fonte: O autor, 2013.

Comparando a peça extrudada com os resultados da simulação, identificamos que na região apontada na figura acima (fig. 19), havia uma maior velocidade da matéria prima, que ocasionava a ondulação.

Figura 20- Análise da causa da ondulação.

Diferença na tonalidade, velocidade maior do composto.



Fonte: O autor, 2013.

Para assegurar que no segundo teste na linha de produção não ocorresse este problema novamente, foram realizadas novas simulações e foram verificados os demais pontos que estavam fora do desenho de produto, para serem também corrigidos.

Figura 21- Modificações e comparações para melhoria fluxo.



Fonte: O autor, 2013.

Tomamos como base desta vez uma matriz de já está em produção há bastante tempo.

Figura 22- Componente de uma ferramenta de produção com desgaste.

Região fragilizada, desgaste prematuro.

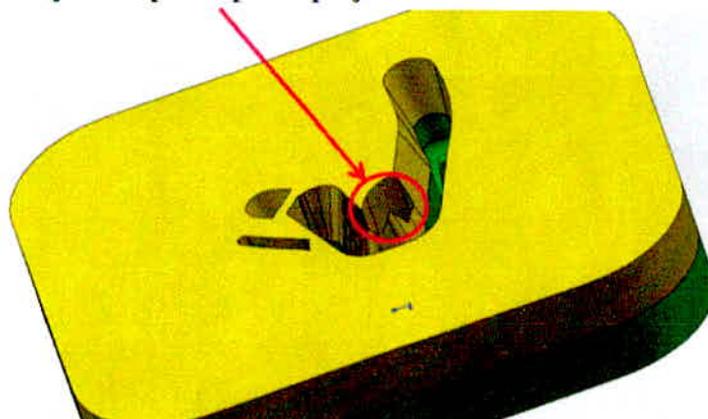


Fonte: O autor, 2013.

Devido à geometria do perfil e por se tratar de uma ferramenta mais antiga, alguns pontos da matriz quando foram ajustados, se tornaram frágeis e sujeitos ao desgaste, os mesmos foram repassados para o projeto. O problema é toda vez que realizamos a substituição deste componente sua vida útil esta já é menor, com isso a substituição se torna mais frequente.

Figura 23- Área fragilizada no projeto da ferramenta.

Ajustes copiados para o projeto.

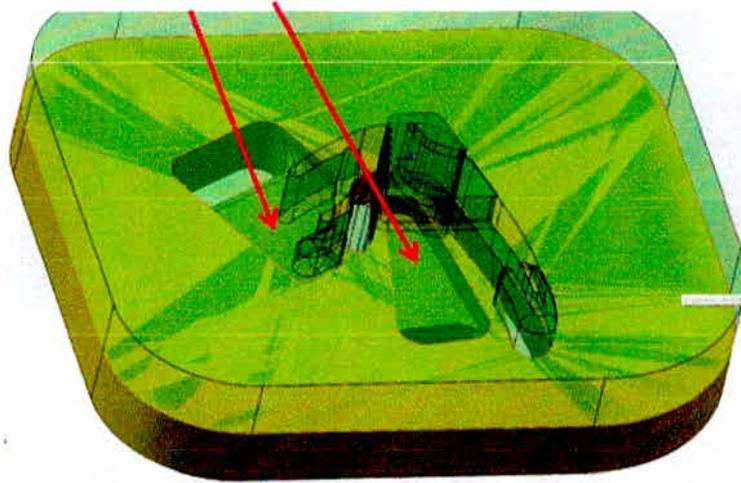


Fonte: O autor, 2013.

Modificamos o projeto da ferramenta e também realizamos a simulação na ferramenta, para assegurar que o fluxo de material se mantivesse estável.

Figura 24- Modificações no projeto após simulação.

Pontos modificados.



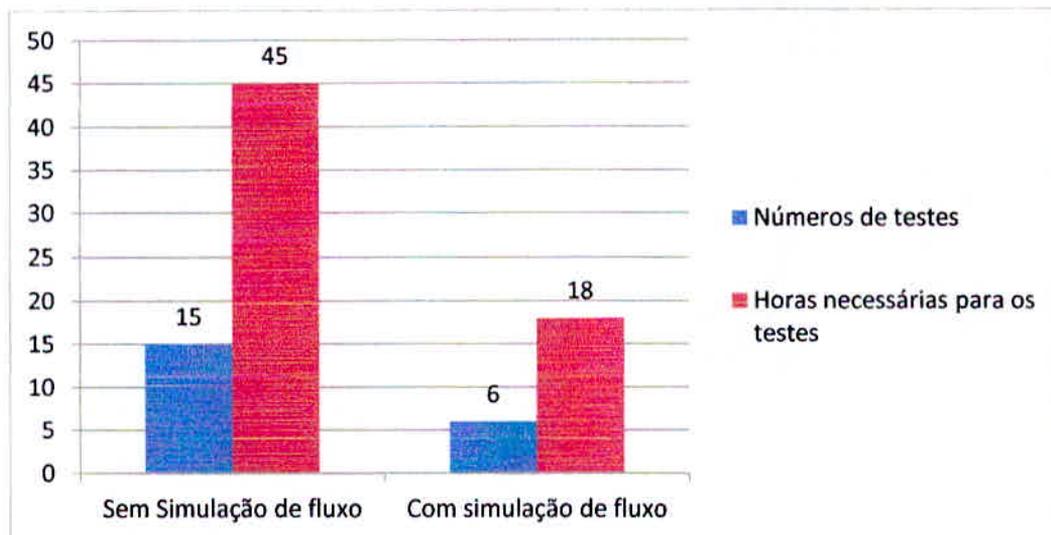
Fonte: O autor, 2013.

Com esta alteração, estamos assegurando que um componente mais robusto está entrando em produção, como resultado a sua substituição será em um tempo maior.

Se tomarmos nos basearmos em todos os testes realizados em matrizes de extrusão, que foram feitas as análises de fluxo computacional, inclusive os que não descritos neste trabalho, temos uma média seis (06) testes para liberação da ferramenta para produção. Como descrito anteriormente a média de testes para a liberação de uma ferramenta em que não foi realizada a simulação gira em torno de quinze (15), deixamos de realizar nove (09) lançamentos em cada uma das ferramentas que estão em desenvolvimento, obtivemos um ganho na eficiência do projeto de 60%.

O tempo médio para realização de *Trial* é de três (03) horas, já incluídos o tempo de preparação e setup das máquinas.

Gráfico 02 – Quantidades de testes e de horas para liberação de uma ferramenta para produção.



Fonte: O autor, 2013.

O custo de uma (01) hora de linha gira em torno cento e vinte reais (R\$120,00), assim temos:

Gráfico 03 – Custo da linha para liberação de uma ferramenta para produção.



Fonte: O autor, 2013.

Houve uma redução de cinco mil e quatrocentos reais (R\$5.400,00) para dois mil cento e sessenta reais (R\$2.160,00), com isso a empresa deixou de gastar três mil duzentos e quarenta reais (R\$3.240,00) em cada ferramenta.

5 CONCLUSÃO

Através da Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD), foi verificado o comportamento dos fluidos dentro de uma matriz de extrusão de termoplásticos, para dimensionar a geometria da ferramenta, de tal forma que o fluxo e a velocidade na saída da ferramenta fiquem balanceados, minimizando o refugo do processo produtivo.

A utilização do software de simulação se mostrou extremamente vantajoso, pois reduziu perdas no processo produtivo e possibilitou ganhos no tempo de linha, pois realizamos cada vez mais testes no computador, balanceando o fluxo do composto na matriz de extrusão.

REFERÊNCIAS

- ALFREY, Turner; GURNEE, Edward F. **Polímeros orgânicos**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1971.
- ANSEL, Howard C.et. al. **Formas Farmacêuticas e Sistemas de Liberação de Fármacos**. 69. ed. São Paulo: Premier, 2000.
- ARNO, Blass. **Processamento de Polímeros**. 2. ed. Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 1988.
- BARRA, Guilherme Mariz de Oliveira. **Processamento de Materiais Poliméricos**. Disponível em <http://emc5744.barra.prof.ufsc.br>. Acesso em: 30.jun.2013.
- BRIDGE, R. **Polymer extrusion**. 1997. Disponível em: [http://www.salspolymer.com/sources/polymer extrusion.htm](http://www.salspolymer.com/sources/polymer%20extrusion.htm). Acesso em: 20.maio.09.
- BROLIATO, Maurício k. **Tendências tecnológicas em extrusão de termoplásticos**. (Monografia apresentada ao curso de Administração de Empresas da Faculdade Nossa Senhora de Fátima) Caxias do Sul, 2009. Disponível em <http://www.ebah.com.br/monografia-mauricio-k-broliato>. Acesso em: 23.maio.2013.
- CALLISTER, Willian D. **Ciência e engenharia de materiais uma introdução**. 5. ed. Rio de Janeiro, 2002.
- CANEVAROLO JUNIOR, Sebastião V. **Ciências dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. São Paulo: Artliber, 2002.
- COOPER Standard. **Treinamentos internos para capacitação profissional**. Varginha, MG, 02.jun.2007.
- Copyright 2013 Autodesk, **Simulação de escoamento de fluidos**. Disponível em <http://www.autodesk.pt/products/autodesk-simulation-family/features/simulation-cfd>. Acesso em 20.out.13.
- CORDEBELLO, F. S. Polímeros do Futuro – Tendências e Oportunidades Polímeros. **Ciência e Tecnologia**, v.12, 2002.
- CTB. Disponível em <http://www.ctb.com.pt>. Acesso em: 20.maio.2013.
- DEMING, W. Edwards. **Qualidade: a revolução da administração**. Rio de Janeiro: Marques Saraiva, 1990.
- DUPONT HYTREL. Disponível em <http://www2.dupont.com>. Acesso em 12.maio.2013.
- FCC. Fornecedor de matéria de prima. Disponível em <http://www.fcc.com.br>. Acesso em 20.maio.2013.

FROZZA, Moises. **Conceitos sobre Polímeros.** Disponível em <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAEAYAD/conceitos-sobre-polimeros>. Acesso em: 14.out.13.

LÁSZLÓ Sors, LÁSZLÓ Bardócz, ISTVÁN Radnóti. **PLÁSTICOS: Moldes e Matrizes.** Hemus Livraria, Distribuidora e editora S.A.. Curitiba – PR, 2002.

PLASTMAX. Disponível em <http://www.plastimaxmaquinas.com.br>. Acesso em: 20.maio.2013.

PLASTIVIDA. Disponível em <http://www.plastivida.org.br>. Acesso em: 05.mar.2013.

POLÍMEROS DO FUTURO TENDÊNCIAS E OPORTUNIDADES: Palestras técnicas (II) (parte A). Disponível em <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47013102>. Acesso em 20.maio.13.

RENDER MULTIMÍDIA. **Cursos sobre CAE.** Disponível em <http://www.render.com.br/cursos/cae>. Acesso em 13.out.13.

RODA, Daniel Tietz, **A Extrusora e o Processo de Extrusão.** Artigo revisado em 04 de junho 2012. Disponível em <http://www.tudosobreplasticos.com/processo/extrusao.asp>. Acesso em: 05.mar.2013.

RUAEMA, **Conceitos sobre polímeros.** Disponível em <http://pt.scribd.com/doc/135044188>. Acesso em: 20.maio.2013.

SILVA, Lissandra Galego. **Inclusão de materiais reciclados aos processos produtivos industriais.** (Artigo científico). Disponível em http://artigocientifico.uol.com.br/uploads/artc_1326395157_67.pdf. Acesso em: 01.set.13.

STRAPASSON, R., **Valorização do polipropileno através de sua mistura e reciclagem.** Curitiba – Universidade Federal do Paraná, 2004.

T-SYSTEMS DO BRASIL Ltda. **CAE - Soluções de TI para Engenharia de Simulação.** Disponível em http://www.t-systems.com.br/home/p-gina-inicial/548998_1/blobBinary/DL_CAe-ps.pdf. Acesso em: 13.out. 2013.