



**FCTUC** FACULDADE DE CIÊNCIAS  
E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA MECÂNICA

# **Análise Estrutural de um Molde para Injeção de Componentes Plásticos**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na Especialidade de Produção e Projeto

## **Structural Analysis of a Mold for Plastic Components Injection**

**Autor**

**Hugo Alexandre Bernardo de Matos**

**Orientadores**

**Maria Augusta Neto**

**Tiago Freire Duarte**

**Júri**

**Presidente**

**Professora Doutora Ana Paula Amaro**

**Professora Auxiliar da Universidade de Coimbra**

**Vogais**

**Professora Doutora Marta Cristina Oliveira**

**Professora Auxiliar da Universidade de Coimbra**

**Orientadores**

**Engenheiro Tiago Freire Duarte**

**Responsável de Produção da Erofio, SA**

**Em colaboração com a Erofio Engenharia e Fabricação de Moldes, SA**



**Coimbra, julho, 2016**

*« Do what you can,  
With what you have,  
Where you are »*  
Theodore Roosevelt

Aos meus pais e irmão.

## Agradecimentos

Esta dissertação representa um marco muito importante para mim, que só foi possível atingir graças aos contributos de algumas pessoas, às quais não posso deixar de prestar o meu reconhecimento e agradecimento.

Em primeiro lugar não posso deixar de agradecer aos meus pais e irmão pelo apoio e pelo esforço constante para me darem as melhores condições para atingir os meus objetivos.

À Professora Augusta por ter aceite o desafio de ser minha orientadora, pela constante disponibilidade e apoio, principalmente nos momentos de maior dificuldade em que os objetivos traçados pareciam difíceis de alcançar.

Ao Sr. Novo e à D<sup>a</sup> Margarida (Administradores da Erofio) por me terem acolhido na Erofio, disponibilizando todos os recursos necessários, inclusivamente alojamento.

Ao Engenheiro Tiago Freire pela sua sabedoria, amizade e disponibilidade constante para me ajudar a encontrar formas de transformar as dificuldades em conquistas, mesmo que isso implicasse ficar na empresa até mais tarde.

Aos Chefes Miguel Marcelino e João Frade, responsáveis pelo Departamento da Produção da Erofio, pela constante boa disposição, motivação e ensinamentos, também sobres moldes.

Ao Nelson Novo, os seus contributos na área dos Estudos de Enchimento e Cimatron foram de extrema importância.

Aos Engenheiros da Erofio João Paulo, Jorge Saraiva, Luís Santos e Sérgio Massena pela disponibilidade para responder às várias dúvidas sobre os diferentes processos desta Indústria.

A todos os colaboradores da Erofio pela sua amizade e bom ambiente que se faz sentir nas instalações da empresa.

À Professora Fátima Paulino e ao Professor Rui Ruben do IPL que partilharam dicas de extrema importância na utilização do programa *ABAQUS*.

À Engenheira Teresa Neves, por ter disponibilizado uma licença educacional, de Moldex 3D para permitir fazer os Estudos de Enchimento.

Ao Engenheiro Rui Alexandre da Sqédio, por ter disponibilizado uma versão de *SolidWorks* para uso pessoal e por todos os esclarecimentos sobre as potencialidades do programa.

Não posso deixar de agradecer à Flávia, à Diana, à Mariana, à Joana, ao André, ao Nicolas, ao Camilo, ao Francisco, ao Sérgio, ao Tiago, ao Nuno, ao Hugo, ao Pedro, ao Flávio, ao João, ao David, ao Vítor e a todos os meus amigos e professores pela sua amizade e por todas as memórias que levarei comigo prá' vida.

A todos, muito obrigado.

Hugo Matos

## Resumo

A presente dissertação tem como objetivo a análise estrutural de um molde para injeção de componentes plásticos. O trabalho centra-se num molde específico que, devido à necessidade de diminuição das suas dimensões (para ser compatível com a máquina do cliente), originou alguns problemas.

O estudo centrou-se numa análise de elementos finitos recorrendo ao programa *SolidWorks*. Numa primeira abordagem é feito um estudo com os componentes do molde simplificados. Os resultados desse estudo são posteriormente validados com base numa segunda simulação onde os componentes críticos são simulados considerando os canais de arrefecimento.

A diminuição do tamanho dos constituintes estruturais do molde, a pedido do cliente, resultou numa fragilização do conjunto, gerando deslocamentos excessivos entre as buchas e as cavidades do molde e, conseqüentemente, o aparecimento de rebarba nas peças injetadas. Com o intuito de saber se o molde tinha sido bem dimensionado na fase de orçamentação, foi criada uma nova simulação com as dimensões dos componentes estruturais aumentadas para os valores usados na fase preliminar de orçamentação. Esta simulação revelou que o molde estava apto a injetar sem problemas, no entanto estava sobredimensionado.

Sabe-se que o dimensionamento dos componentes do molde é feito com base na experiência de Manuel Novo (dono da Erofio) e de Gabriel Santos (responsável pela orçamentação). Este tipo de previsão é bem-sucedida porque é deixada uma margem de segurança bastante elevada. A razão para este acontecimento, prende-se com o facto de não se conseguir definir o ponto, a partir do qual começam a existir problemas. Esta teoria é corroborada pela última simulação realizada neste estudo.

A análise do molde em questão foi realizada ao longo de 6 meses de estágio, na empresa Erofio S.A., no departamento da Produção, nas instalações da empresa na Batalha, Leiria.

Ao longo dos próximos capítulos o estudo irá focar-se na avaliação de resultados, cujas conclusões serão apresentadas ao longo do trabalho.

**Palavras-chave:** Análise Estrutural, Molde, Elementos Finitos, Otimização, Produção.

## Abstract

This thesis aims at the analysis of a mold for injection of plastic components. The work focuses on a specific mold that, due to the need for reduction of its dimensions (in order to be compatible with the client machine), gave some problems.

The study focused on a finite element analysis using the *SolidWorks* program. In a first approach is made a study of the components of the simplified mold, the results of this study are then validated against a second simulation where the critical components are simulated considering the cooling channels.

The reduction in the size of structural components of the model, requested by the client, resulted in a weakening of the structure. Generating excessive displacement between the core and the mold cavities and thus the burr occurrence in the molded parts. In order to know if the mold had been well dimensioned on budgeting phase, a new simulation has been prepared, with the dimensions of the structural components increased to the values used in the preliminary phase of budgeting. This simulation showed that the mold was able to smoothly inject the parts, however was oversized.

It is known that the design of the mold components is implemented based on Manuel Novo (Erofió's owner) and Gabriel Santos (responsible for budgeting) experience. This type of prediction is successful because it has a very high safety margin. The reason for this event relates to the difficulty to achieve critic point, from which start to be problems. This theory is supported by the latest simulation conducted in this study.

The analysis of the mold in question took place at the department of production of Erofió S.A. in the, the company premises in Batalha, Leiria, during 6 months.

Over the next chapters the focus will be on the study and evaluation of results, whose findings will be presented throughout the work.

**Keywords** Structural Analysis, Mold, Finite Elements, Optimization, Production

## Índice

Índice de Figuras .....	viii
Índice de Tabelas .....	xi
Siglas .....	xiii
1. Introdução e Objetivos.....	1
1.1. Objetivos e Estrutura da Dissertação .....	1
2. Estado de Arte .....	3
2.1. Evolução da Indústria dos Moldes em Portugal .....	3
2.2. Vanguarda tecnológica do Grupo Erofio .....	4
2.3. Moldes na Indústria de Transformação.....	4
2.4. A Pertinência da utilização de Moldes .....	5
2.5. Tipos de plástico de injeção .....	6
2.6. Ciclo de moldagem .....	7
3. Análise do Molde M1775 .....	9
3.1. Constituição do Molde.....	10
3.2. Problemas do Molde M1775.....	13
3.3. Estudo de Enchimento .....	14
3.4. Metodologia Adotada .....	18
3.4.1. Conversão de Ficheiros .....	18
3.4.2. Simplificação e Reparação da Geometria das Peças .....	19
3.4.3. Tolerâncias.....	22
3.4.4. Materiais utilizados .....	22
3.4.5. Interações e Constrangimentos.....	24
3.4.6. Fixações e Forças .....	26
3.4.7. Discretização e Resultados .....	29
4. Análise e Discussão de Resultados.....	35
4.1. Validação do Modelo Numérico.....	35
4.1.1. Comparação com modelo M1755 Furado .....	35
4.1.1. Comparação com o modelo M1775 Preliminar.....	36
4.2. Dificuldades .....	37
5. Conclusões.....	39
5.1. Análise por Elementos Finitos - uma mais-valia? .....	39
5.2. Propostas para Trabalhos Futuros.....	40
Referências Bibliográficas.....	41
ANEXO A .....	43
APÊNDICE A .....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Principais setores servidos pelos Moldes Portugueses (Marques, 2015 b).....	6
Figura 2.2 Evolução da balança comercial dos Moldes Portuguesa (Marques, 2015 a).....	6
Figura 2.3 Representação esquemática de uma máquina de Injeção (Cunha, 2003). ....	8
Figura 3.1 Peça do puxador do BMW F45/46 (Boeriu, 2014). ....	9
Figura 3.2 Artigo (um de quatro) injetado pelo molde M1775 ( <a href="http://opn.to/a/gur0p">http://opn.to/a/gur0p</a> ). ....	10
Figura 3.3 Imagem do lado Fixo do M1775.....	10
Figura 3.4 Imagem do lado Móvel do M1775. ....	11
Figura 3.5 Interação entre Elemento Móvel e Artigo, ( <i>SolidWorks</i> ). ....	12
Figura 3.6 Vídeo do funcionamento do molde ( <a href="http://opn.to/a/doV10">http://opn.to/a/doV10</a> ). ....	13
Figura 3.7 Representação dos canais de enchimento e refrigeração, (Moldex 3D). ....	14
Figura 3.8. Representação dos tipos de malhas que constituem a BLM (Moldex.com)....	15
Figura 3.9 Sensor de pressão Kistler. ....	15
Figura 3.10 Pressão de Injeção nos artigos e canais de enchimento. ....	16
Figura 3.11 Peça do M1775 com defeitos de compactação. ....	17
Figura 3.12 Chapa 2 Original. ....	20
Figura 3.13 Chapa 2 Simplificada. ....	20
Figura 3.14 Chapa 3 Original. ....	20
Figura 3.15 Chapa 3 Simplificada. ....	20
Figura 3.16 Cavidade 103 Original. ....	20
Figura 3.17 Cavidade 102 Simplificada. ....	20
Figura 3.18 Bucha 202 Original. ....	21
Figura 3.19 Bucha 202 Simplificada. ....	21
Figura 3.20 Elemento Móvel 82 Original. ....	21
Figura 3.21 Elemento Móvel 82 Simplificado. ....	21
Figura 3.22. Valores de deslocamento que geram rebarba. ....	22
Figura 3.23 Influência das guias inclinadas nos elementos móveis. ....	25
Figura 3.24 Molde do M1775 com contactos sem penetração em destaque. ....	25
Figura 3.25 Máquina de injeção Engel, usada nos testes do M1775. ....	26

---

Figura 3.26 Esquema da estrutura de suporte de um molde (Cunha, 2003).....	27
Figura 3.27 Condição de simetria imposta no <i>SolidWorks</i> .....	27
Figura 3.28 Malha 0 – lado móvel sem as buchas.....	30
Figura 3.29 Tempos de geração de malhas e de simulação.....	32
Figura 3.30 Análise de convergência dos deslocamentos. ....	32
Figura 3.31 Deslocamentos segundo Z no lado fixo (Malha 1). ....	33
Figura 3.32 Malha 1. ....	33
Figura 3.33 Malha 2. ....	34
Figura 3.34 Malha 3. ....	34
Figura 3.35 Malha 4. ....	34
Figura 4.1 Fluxograma de preparação de peças para análise no <i>ADINA</i> .....	37
Figura 4.2 Mensagem de Erro do <i>ADINA</i> .....	38



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1. Propriedades dos Aços utilizados na constituição do Molde M1775. ....	24
Tabela 3.2 Força, Temperaturas e Pressões Impostas ao Molde M1775. ....	28
Tabela 3.3 Estudo de malha.....	31



---

## SIGLAS

*ADINA* – Automatic Dynamic Incremental Nonlinear Analysis

AFNOR – Association Française de Normalisation

AHA – Empresa criada por Aníbal Henriques Abrantes

AISI – American Iron and Steel Institute

ASTM – American Society for Testing and Materials

BS – British Standards

BLM – Boundary Layer Mesh

CAD – Computer Aided Design

CEFAMOL – Associação Nacional da Indústria de Moldes

DEM-UC – Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra

DIN – German Institute for Standardization

Erofió – Empresa onde foi realizado o estudo

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

FDA – Food and Drug Administration

IGES – Initial Graphics Exchange Specifications (formato de ficheiros CAD)

INE – Instituto Nacional de Estatística

IPL – Instituto Politécnico de Leiria

ITC – International Trade Center

MIT – Massachusetts Institute of Technology

RPI – Relatório de Parâmetros de Injeção

SLDPRT – *SolidWorks* part (formato de ficheiros CAD)

STEP – Clear Text Encoding of the Exchange Structure (formato de ficheiros CAD)

STL – Stereolithography (formato de ficheiros CAD)



## 1. Introdução e Objetivos

A indústria de moldes em solo nacional teve um crescimento exponencial, durante os anos 90 e início do século XXI. Gradualmente, as necessidades de melhoramento dos processos tornaram imprescindível a criação de novas empresas dedicadas a esse fim, tornando Portugal num dos principais fornecedores de moldes para várias marcas de renome mundial.

Contudo, os custos de produção deste tipo de moldes atingem valores bastante elevados, que ocupam lugares consideráveis na orçamentação das empresas nacionais que, na sua maioria, se traduzem em entidades de pequena e média dimensão, com volumes de negócio altamente influenciados pelos custos de produção.

Nesse sentido, o principal objetivo desta dissertação é fazer a análise estrutural de um molde, utilizando um programa de elementos finitos, e avaliar a possibilidade de utilizar estes resultados para extrapolar o comportamento de novos moldes.

A concretização deste objetivo irá permitir otimizar o coeficiente segurança utilizado na empresa e poderá também contribuir para diminuir os custos de produção, resultando numa vantagem económica para a Erofio, relativamente às restantes empresas deste setor.

### 1.1. Objetivos e Estrutura da Dissertação

Esta dissertação enquadra-se na análise estrutural de um molde para injeção de componentes plásticos. Esta análise é feita recorrendo à vertente de elementos finitos do programa *SolidWorks*®, desta forma é possível verificar se as dimensões do molde nas diferentes fases provocam ou não o aparecimento de rebarba.

O presente trabalho está dividido em cinco partes. Numa fase inicial é feito um enquadramento ao tema e são traçados os objetivos a atingir.

No segundo capítulo é feito um apanhado geral da Indústria dos Moldes, onde é descrita a sua evolução, a evolução da Erofio, os tipos de moldes existentes, as vantagens e desvantagens de utilizar moldes, os tipos de plásticos utilizados e também é feita uma pequena explanação sobre o ciclo de moldagem.

No terceiro capítulo é feita uma análise ao molde M1775. Trata-se de uma descrição da constituição do molde, relevando os componentes com maior impacto na sua estrutura. Referem-se, também, os problemas que levaram à necessidade de desenvolver este estudo. O terceiro capítulo abrange, ainda, o estudo de enchimento e metodologia adotada para obter os resultados que são discutidos no momento seguinte.

Por conseguinte, no quarto capítulo, é feita a comparação dos resultados obtidos previamente com duas análises complementares, como forma de validar o modelo numérico. Ainda no quarto capítulo são apresentadas algumas das dificuldades relativas à utilização de diferentes programas de elementos finitos (*ADINA*® e *ABAQUS*®).

No quinto e último capítulo apresentam-se as conclusões e as razões pelas quais a análise por elementos finitos se pode tornar numa mais-valia para a Indústria dos Moldes. Ainda neste capítulo é deixada uma proposta de trabalho que, por constrangimentos temporais, não pode ser desenvolvida nesta dissertação.

## 2. ESTADO DE ARTE

### 2.1. Evolução da Indústria dos Moldes em Portugal

A Indústria dos Moldes para injeção de plásticos é resultado do avanço tecnológico da Indústria vidreira. Em 1748, a *Real Fábrica de Vidros de Coima* teve necessidade de se transferir para Nossa Senhora do Rosário da Marinha, agora Marinha Grande, devido à proximidade do Pinhal de Leiria, do qual a lenha era fundamental para aquecer os fornos. Esta fábrica que estava ao comando de Sir John Beare (cidadão Irlandês) produziu vidraça e cristal até à sua falência em 1767. Em 1769, foi passado um alvará pelo Rei D. José I, ao comerciante Inglês Sir Guilherme Stephens para reconstruir a fábrica. O sucesso da Indústria Vidreira na Marinha Grande deve-se em parte à enorme necessidade de vidraça para a reconstrução de Lisboa após o terramoto de 1755.

Em meados do séc. XX nasceu em Portugal o conceito de molde pela astúcia e espírito empreendedor de Aníbal Henriques Abrantes, sendo pioneiro a nível mundial. Nos primeiros anos da AHA (empresa fundada por Aníbal Henriques Abrantes) não eram feitos orçamentos e o preço a pagar pelo cliente era determinado de acordo com os custos de fabrico. Estas condições deviam-se à colossal procura de moldes e muito baixa oferta, situação que rapidamente desencadeou a abertura de novas empresas, algumas delas dirigidas por ex-funcionários da AHA. “É necessário compreender que se vivia uma verdadeira corrida ao ouro na nova indústria dos plásticos, em Portugal como na Europa e nos Estados Unidos” (Neto, 2014).

O crescente aumento de empresas de moldes, em número e em tecnologia, obriga à constante atualização e inovação das empresas para se manterem competitivas em termos de prazos, preços e qualidade do serviço. A Indústria dos moldes tem e teve um papel fundamental no desenvolvimento da região e do país, desde que Aníbal Abrantes fundou a sua empresa, e ajudou a ultrapassar as situações de crises cíclicas que se viviam até então.

## 2.2. Vanguarda tecnológica do Grupo Erofio

A Erofio iniciou atividade em 1992 e, desde então, tem sido uma referência no que toca à constante evolução tecnológica e prospecção de novos equipamentos para facilitar os processos. Não obstante o uso de equipamentos antigos, a evolução tecnológica é incontornável para manter a competitividade a nível de cadência, qualidade e preço. O grupo Erofio conta com nove CNC de 5 eixos, uma sinterizadora a laser de peças metálicas, máquinas de erosão por fio e eletroerosão, perfeitos exemplos da evolução tecnológica.

Como medida de resposta às exigências do mercado, o grupo Erofio oferece um serviço completo na área dos moldes, que passa pelo anteprojecto/orçamentação, projecto, produção, ensaio e injeção para produção. Assim, a Erofio não se limita a fazer o molde. Uma vez que possui uma vasta gama de máquinas de injeção, pode fazer todos os testes necessários de forma a garantir ao cliente que o molde fornecido funciona segundo os mais altos padrões de qualidade. Adicionalmente e, caso o cliente pretenda, também é possível fazer a produção das peças na Erofio.

## 2.3. Moldes na Indústria de Transformação

Segundo (Matos, et al., 2003) na obra “Manual do Projetista”, os processos utilizados na indústria dos moldes podem ser separados consoante as suas áreas de aplicação – moldes para vidros; moldes para materiais cerâmicos; moldes para polímeros e moldes para fundição. Os moldes para vidro permitem obter peças como garrafas e frascos por processos de sopro, cristais e vidros ornamentais, vidros de iluminação e vidro prensado (copos e cinzeiros).

No que diz respeito aos moldes para conformação de materiais cerâmicos, estes podem ser divididos em cerâmicos de construção e de loiça utilitária e decorativa. No caso dos cerâmicos de construção, é dado maior ênfase aos componentes estruturais, tais como telhas e tijolos, aos componentes de acabamento como loiças sanitárias, pavimentos e revestimentos. Consequentemente, os moldes de conformação de peças de materiais poliméricos são distinguidos pela forma como são obtidos - extrusão ou moldação por injeção. A moldação permite obter geometrias complexas com uma

excelente precisão dimensional e capacidade de repetibilidade. Por fim, os moldes de fundição injetada são utilizados para fundir peças para o ramo da indústria automóvel, eletrónica e ferragens em geral.

## 2.4. A Pertinência da utilização de Moldes

Os moldes apresentam-se como soluções úteis e, em muitos casos, essenciais na produção em série de determinados produtos.

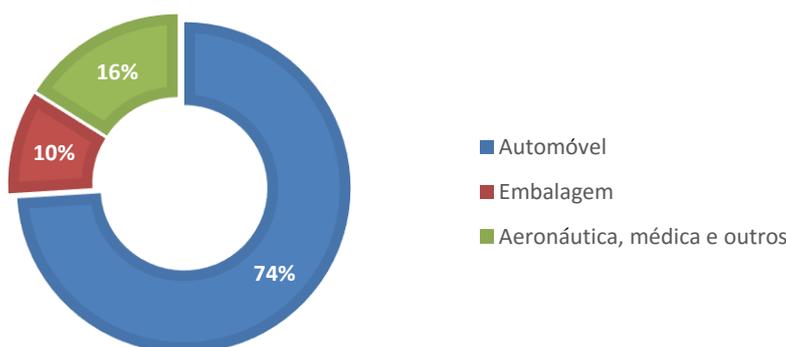
As principais vantagens, decorrentes da utilização de um molde, passam pela capacidade de produzir grandes volumes de peças de geometrias complexas, com elevada cadência, de forma automática, boa precisão dimensional, com a textura desejada e sem necessidade de acabamentos *a posteriori*.

Outros processos para produzir peças em plástico, como a impressão 3D ou a prototipagem rápida, são úteis para criar um baixo volume de peças. No entanto, a quantidade de polímeros que é possível utilizar nestes processos de prototipagem é muito inferior à vasta gama de polímeros que é possível injetar.

Tomando como exemplo a indústria automóvel, a redução de peso nos veículos é um objetivo prioritário. Devido ao constante desenvolvimento de novos polímeros é possível substituir peças metálicas por peças plásticas, com características mecânicas aproximadas e com pesos bastante inferiores aos originais.

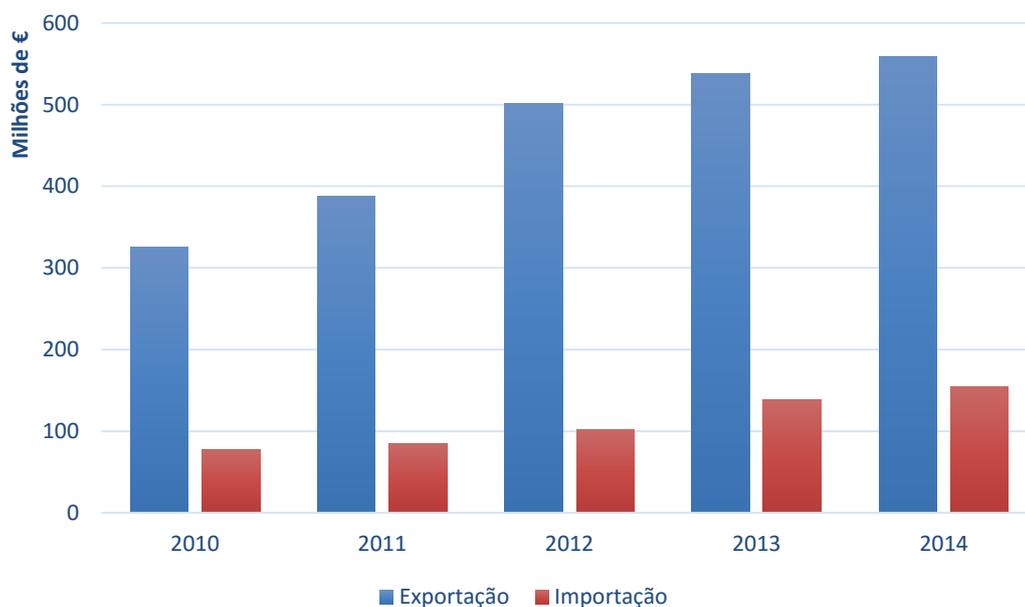
“A redução de 100 kg no peso de um veículo conduz a uma poupança de 0.35 l/100 km e 8.4 g de CO<sub>2</sub>/km” (Goede, et al., 2008).

Neste sentido, o elevado número de trabalhos de investigação relativos à produção de moldes, com aplicação na indústria automóvel, é visto como natural, sendo que este é dos setores que mais ganha com a constante melhoria das peças a utilizar, com se mostra na Figura 2.1.



**Figura 2.1** Principais setores servidos pelos Moldes Portugueses (Marques, 2015 b).

Tal como comprova o gráfico da Figura 2.2, o volume de negócios relativo à exportação tem aumentado nos últimos anos, em grande parte, devido à necessidade de otimização de diferentes componentes. Por outro lado, o aumento de transações com mercados externos deve-se ao reconhecimento da indústria de Moldes Portuguesa, pela qualidade e pela rápida resposta às necessidades dos clientes.



**Figura 2.2** Evolução da balança comercial dos Moldes Portuguesa (Marques, 2015 a).

## 2.5. Tipos de plástico de injeção

Os plásticos mais usados na indústria dos Moldes são o Polipropileno (PP), Polietileno (PE), Poliamida (PA), Poliestireno (PS), Policarbonato (PC) e as Polisulfonas (PSU). Os campos de aplicação são bastante variados e a escolha do tipo de polímero é feita com base nas suas características, tais como a resistência mecânica, comportamento a temperaturas altas ou opacidade. Os PP, PE, PA são dos mais utilizados na indústria automóvel devido à sua resistência mecânica, baixo peso e resistência química. Os Poliestirenos são termoplásticos com fácil moldabilidade e flexibilidade sob ação do calor, o que faz com que os PS sejam usados em embalagens e outros componentes de uso doméstico. No que diz respeito ao Policarbonato, devido ao facto de ser amorfo e

com capacidade de resistir ao impacto, é utilizado em materiais de proteção, tais como faróis, escudos, capacetes, etc.

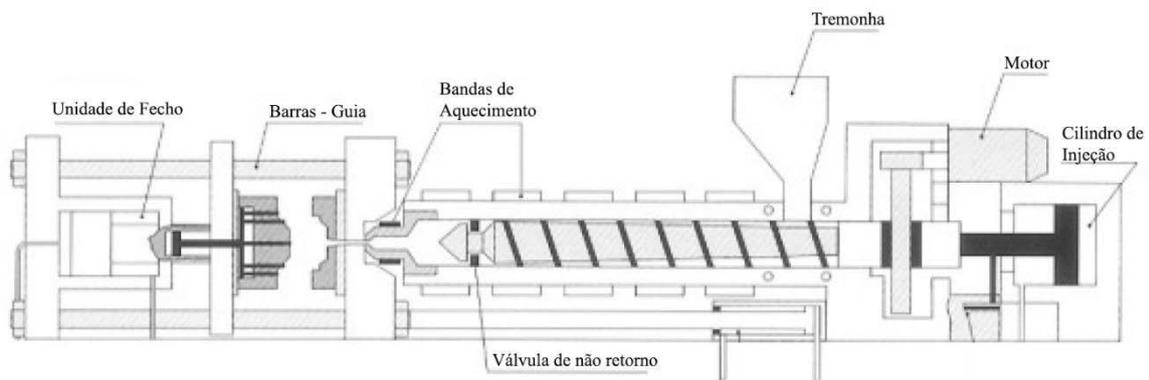
As Polisulfonas têm a vantagem de poder trabalhar a temperaturas elevadas em contacto com alimentos ou medicamentos, por isso, este tipo de polímeros é certificado pela FDA (food and drug administration).

O material utilizado na injeção das peças do molde estudado neste trabalho (M1775), é o Grillon BG 15S. Trata-se de uma Poliamida 6 com 15% de fibra de vidro.

“Este tipo de material tem um excelente acabamento superficial e é fácil de processar. É utilizado na indústria automóvel em puxadores e alavancas; também é utilizado no ramo eletrónico em partes de fixação” (EMS-Grivory, 2002).

## **2.6. Ciclo de moldagem**

Depois de ser montado e afinado, o molde fica pronto a ser usado. Para isso é necessária uma máquina de injeção – representada na Figura 2.3. Durante o ciclo do molde destaca-se a fase de fecho e injeção - que consiste em juntar o lado móvel ao lado fixo para poder dar início ao enchimento, fase onde ocorre o avanço do fuso, que funciona como pistão, injetando o material fundido para dentro do molde. De seguida, dá-se início à fase de pressurização. Esta fase é imprescindível para que a peça não tenha defeitos uma vez que, ao pressurizar a moldação, compensa a contração do fundido. O tempo que decorre desde o final da pressurização até à abertura do molde é conhecido como tempo de arrefecimento. Assim que a peça possa ser extraída sem distorção, o molde abre e a moldação é “desmoldada” por extratores. Com a ajuda de um robot as peças acabadas de injetar são transportadas para um tapete rolante.



**Figura 2.3** Representação esquemática de uma máquina de Injeção (Cunha, 2003).

### 3. ANÁLISE DO MOLDE M1775

Esta secção tem como objetivo integrar o leitor nas especificações do molde utilizado para fazer as peças dos puxadores da porta do BMW série 2 Active Tourer.

A cada ciclo do molde são injetadas quatro novas peças simétricas que serão aplicadas nas portas da frente e de trás do automóvel, com mostra a Figura 3.1.



**Figura 3.1** Peça do puxador do BMW F45/46 (Boeriu, 2014).

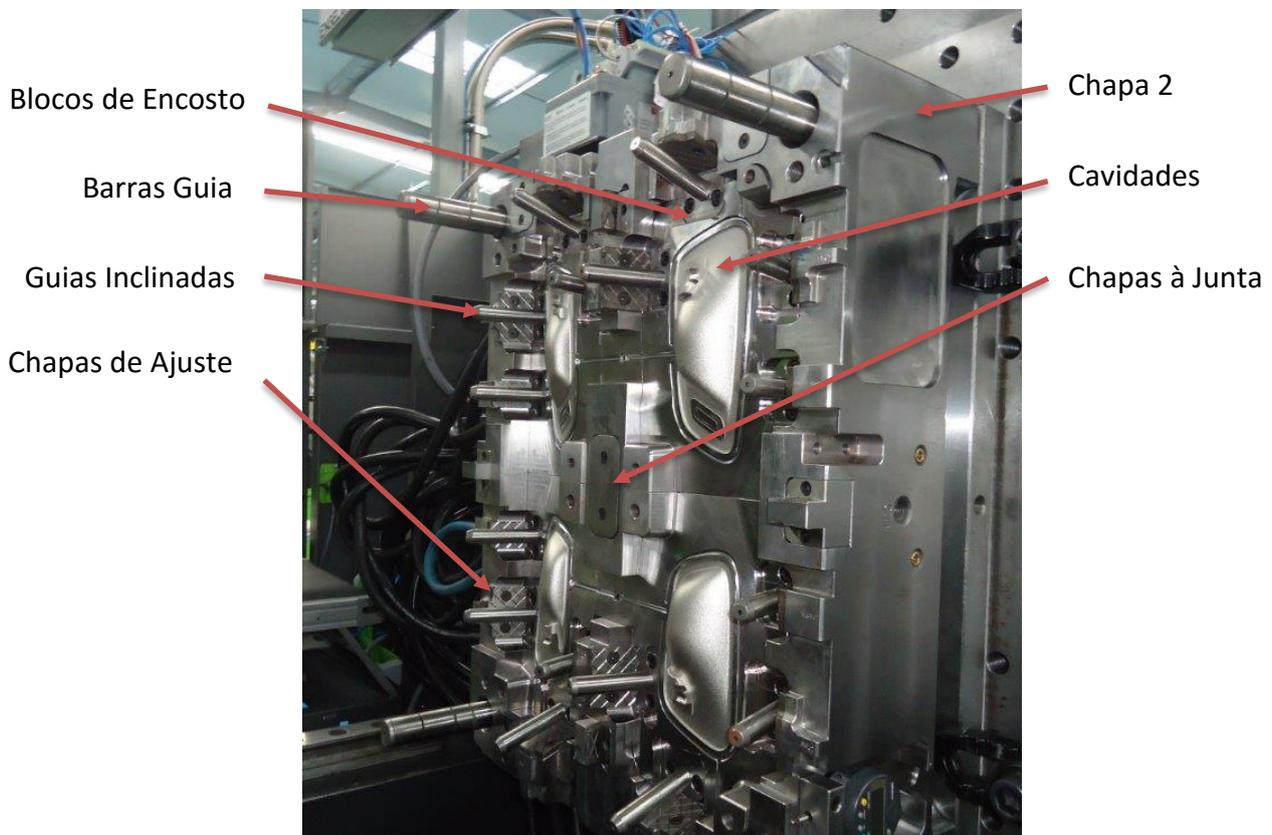
A imagem da Figura 3.1. dá a conhecer o aspeto final da peça, depois de incorporada no interior do veículo. A sua aparente simplicidade contrasta com as muitas horas de desenvolvimento, produção e processos necessários para alcançar este resultado final. O lado não visível da peça injetada tem uma complexidade maior, devido à existência de estruturas de fixação. Para uma melhor compreensão do lado não visível, aconselha-se a consulta da hiperligação disponível na Figura 3.2.



- **Figura 3.2** Artigo (um de quatro) injetado pelo molde M1775 (<http://opn.to/a/gur0p>).

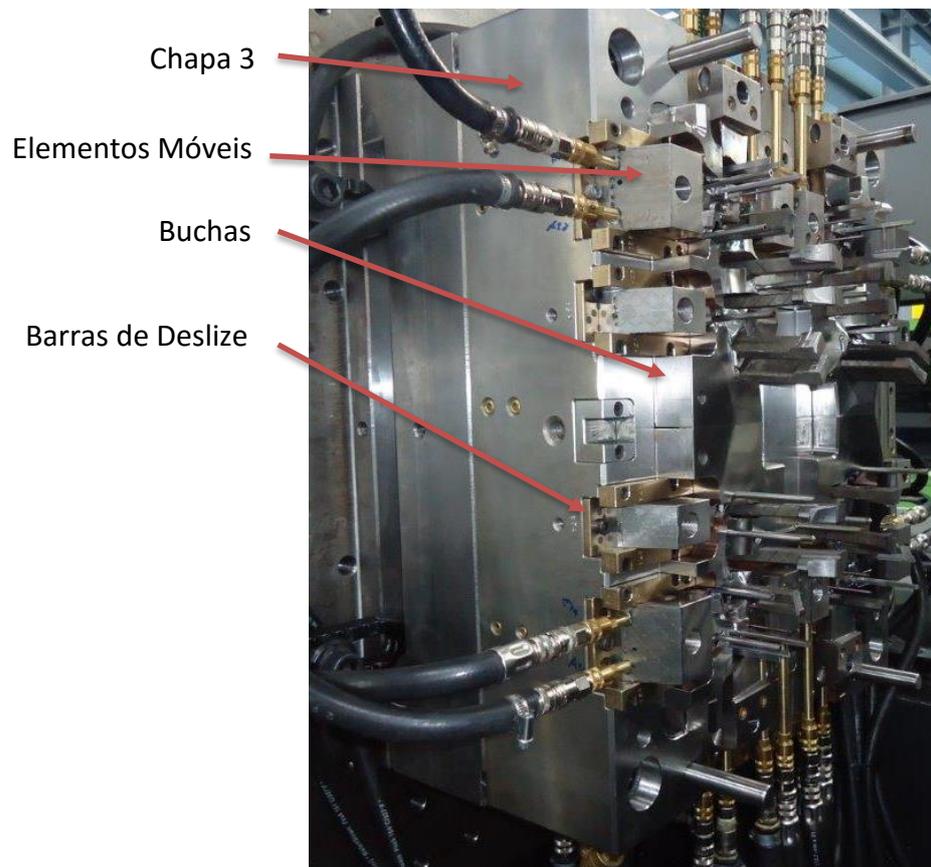
### 3.1. Constituição do Molde

Os moldes para injeção de plástico podem ser divididos em lado fixo e lado móvel. O lado fixo é o lado que fica acoplado ao bico de injeção. Das várias peças que o constituem podem destacar-se a chapa 2 (chapa das cavidades), cavidades, guias, blocos de encosto, chapas de ajuste e de junta. (Figura 3.3).



**Figura 3.3** Imagem do lado Fixo do M1775.

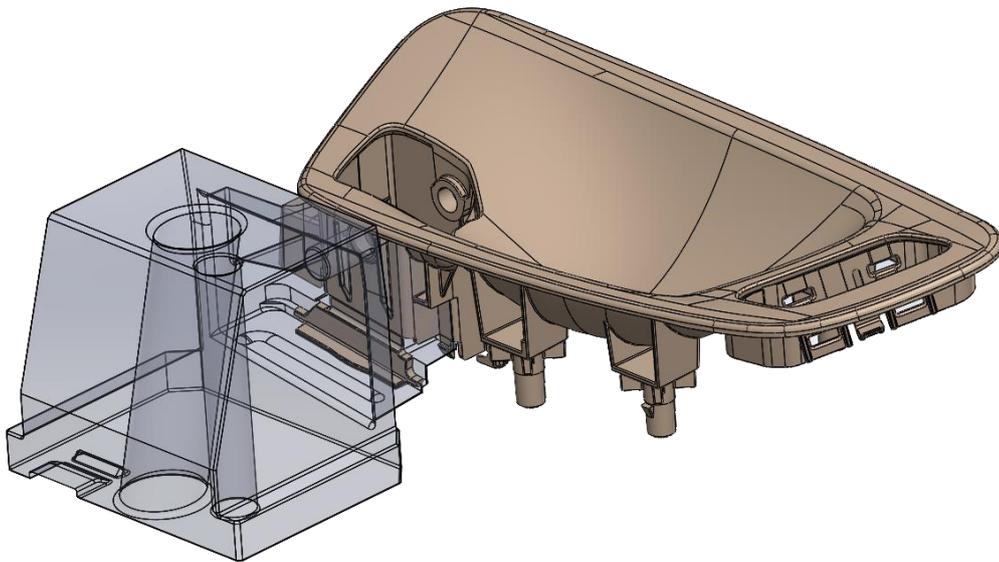
Do lado móvel, as peças que têm mais relevância para a simulação são a chapa 3 (chapa das buchas), as buchas, os elementos móveis e as barras de deslize como se vê na Figura 3.4.



**Figura 3.4** Imagem do lado Móvel do M1775.

A chapa 2 tem uma função estrutural importante no lado fixo, uma vez que suporta as quatro cavidades da peça. Para além da chapa 2, é importante considerar as chapas à junta, cujo objetivo é intermediar o contacto da chapa 2 com a chapa 3, que garantem o contacto perfeito entre as buchas e as cavidades e permitem afinação aquando o fecho do molde. Os blocos de encosto têm uma função semelhante, no entanto, garantem o contacto entre a cavidade e os elementos móveis, guiando-os ao encontro das cavidades. As chapas de ajuste promovem a separação entre a chapa 2 e os elementos móveis e servem ainda para afinação destes contra as cavidades.

A chapa 3 e as buchas têm funções semelhantes às da chapa 2 e das cavidades (lado fixo). Por sua vez, os elementos móveis são indispensáveis nos moldes com esta complexidade, uma vez que permitem que a peça possa ter zonas negativas e, ainda assim, possa ser desmoldada. A Figura 3.5 apresenta um exemplo em que é necessário da necessidade de utilizar elementos móveis.



**Figura 3.5** Interação entre Elemento Móvel e Artigo, (SolidWorks).

As barras de deslize são produzidas, habitualmente, em bronze grafitado para diminuir o coeficiente de atrito, de modo a facilitar a movimentação dos elementos móveis, aquando da abertura ou fecho do molde, sem ocorrer gripagem. A hiperligação da Figura 3.6 dá acesso a um vídeo onde se pode ver o funcionamento generalizado do molde.

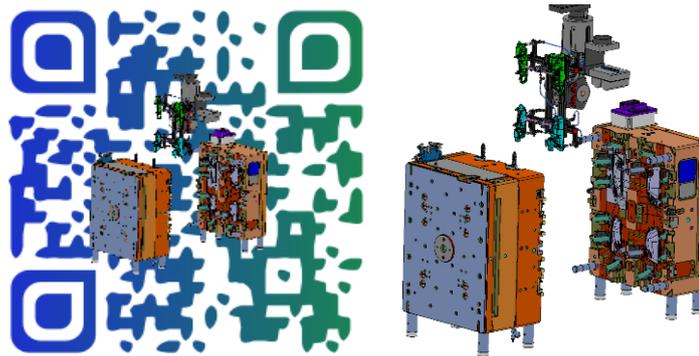


Figura 3.6 Vídeo do funcionamento do molde (<http://opn.to/a/doV10>).

### 3.2. Problemas do Molde M1775

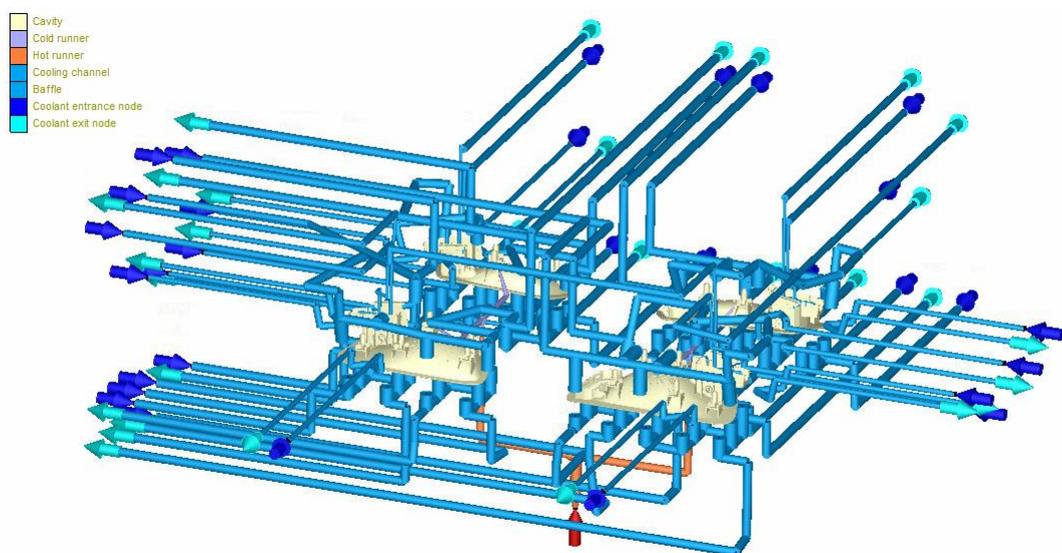
Foi criado um modelo preliminar para o molde M1775 na Erofio. Posteriormente, juntamente com outras alterações de menor importância, o cliente impôs que as dimensões do molde fossem mais pequenas, de modo a poder ser utilizado numa máquina de menor dimensão, representando para o cliente um custo por peça menor.

Não tendo sido possível fazer alterações nas buchas nem nas cavidades (uma vez que o volume de peças se mantinha constante) foi necessário reduzir as dimensões das chapas de suporte, o que implicou uma redução de 20 mm segundo a altura e comprimento e 14 mm na largura. Na fase de injeção, utilizando as condições ideais de trabalho e as dimensões do molde impostas pelo cliente – daqui em diante chamado M1775 – surgiram defeitos de compactação. Para evitar estes defeitos é necessário aumentar a pressão de injeção e, conseqüentemente, a força de fecho da máquina. Contudo, as forças de fecho, das máquinas de injeção estão limitadas. Assim, pode acontecer que as forças causadas pela pressão de injeção, no interior da peça, possam ser superiores à força de fecho para a qual a máquina está preparada, não conseguindo uma força de fecho suficiente para evitar rebarba nas peças. Por outro lado, o facto de uma máquina de injeção estar a trabalhar em constante sobre esforço, conduz ao desgaste precoce da máquina de injeção e do molde, sendo necessários maiores gastos em manutenção. Por último, a redução da geometria, leva a que a gama de variação dos parâmetros de injeção seja menor. O que torna mais difícil obter uma peça com todos os defeitos minimizados, deixando o processo de injeção com uma maior dependência de fatores externos como temperatura e humidade da nave industrial.

### 3.3. Estudo de Enchimento

Os estudos de enchimento foram feitos no programa *Moldex 3D R14*, tendo por base a geometria do artigo a injetar e todos canais de água existentes no molde.

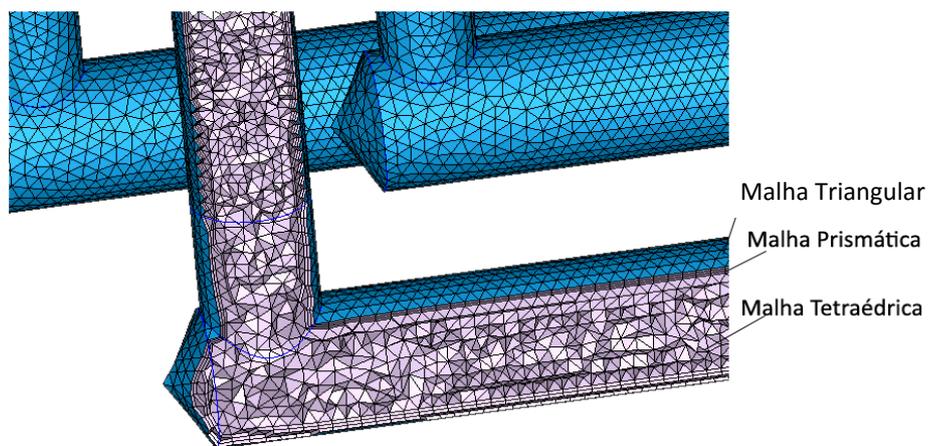
Para este estudo, foi necessário definir a posição dos canais de injeção e arrefecimento bem como os seus diâmetros, pressão, temperatura e direção, tal como mostra a Figura 3.7.



**Figura 3.7** Representação dos canais de enchimento e refrigeração, (Moldex 3D).

A versão *R14* do *Moldex 3D* permite a utilização da malha BLM para realizar a simulação do enchimento. “BLM - *Boundary Layer Mesh* é uma ferramenta de pós processamento para geometrias complexas. Este tipo de processo gera uma malha de superfície triangular com múltiplas camadas de malha prismática no seu interior. Para o preenchimento do volume é utilizada malha tetraédrica” (Moldex 3D, 2016).

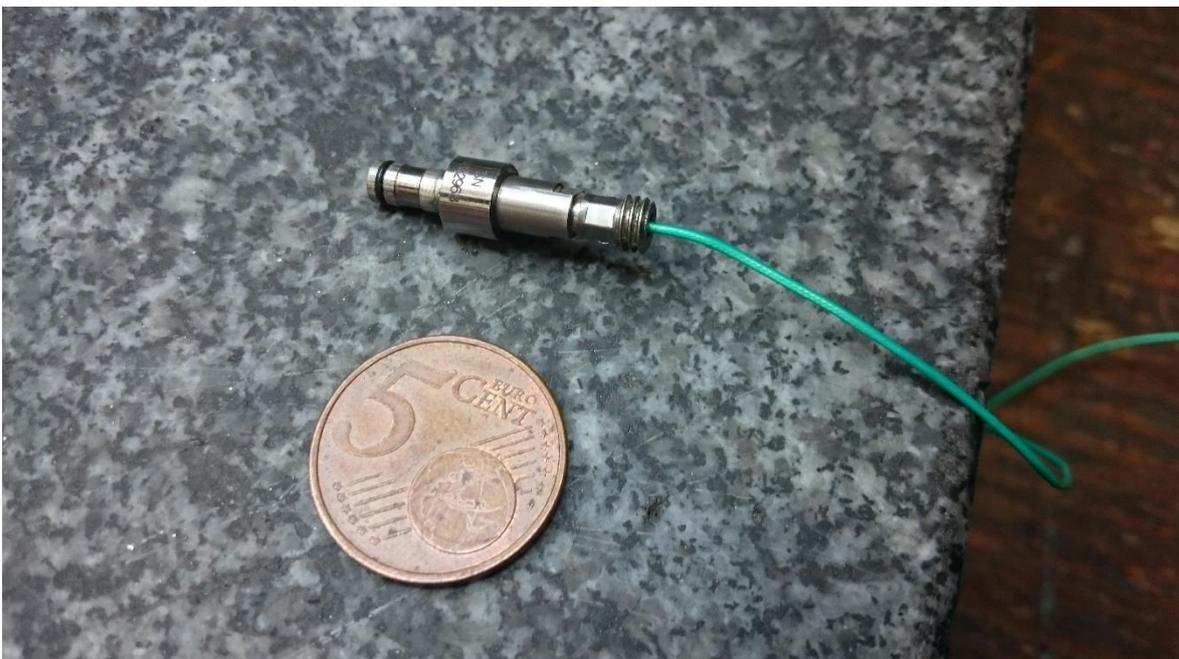
Na Figura 3.8. é apresentada uma vista em corte de um modelo onde é aplicada malha BLM.



**Figura 3.8.** Representação dos tipos de malhas que constituem a BLM (Moldex.com).

A simulação do estudo de enchimento é um processo que necessita de recursos computacionais e leva um tempo considerável a ser realizado. Dessa forma, optou-se por fazer uma simulação de apenas metade do modelo, visto que existe simetria das peças.

Na prática, para conhecer a pressão no interior do molde é necessário utilizar um sensor de pressão Figura 3.9. Normalmente este tipo de dispositivo só é aplicado a pedido do cliente, uma vez que é necessário que o molde tenha um furo na zona moldante que permita o alojamento do sensor. Por outro lado, o preço de cada sensor de pressão ronda os 800€, fator que encarece o custo do molde.



**Figura 3.9** Sensor de pressão Kistler.

No caso do M1775 não foram usados sensores de pressão e, por isso, só é conhecido o valor da pressão na zona do bico de injeção (entrada do molde), sendo este calculado através da relação da força exercida pelos hidráulicos com o diâmetro do fuso. Assim, no interior da peça só foi possível conhecer uma aproximação da pressão de injeção, com recurso a um estudo de enchimento do *Moldex 3D*. Neste estudo, a pressão máxima que chega à zona moldante não é igual à pressão de injeção, como se comprova na Figura 3.10. Nesta figura, é possível verificar que uma parte considerável da pressão, cerca de 30% é perdida nos canais de injeção, e a pressão não é igual em todas os pontos do artigo, sendo necessário considerar diferentes “zonas” de pressão, como se pode ver na tabela 3.2 da secção 3.4.6 - Fixações e Forças. As zonas mais afastadas do ponto de alimentação têm pressões mais baixas, ou seja, se a pressão de injeção for menor que um determinado valor, a peça não vai ficar completamente cheia – defeito de compactação que é visível na Figura 3.11.

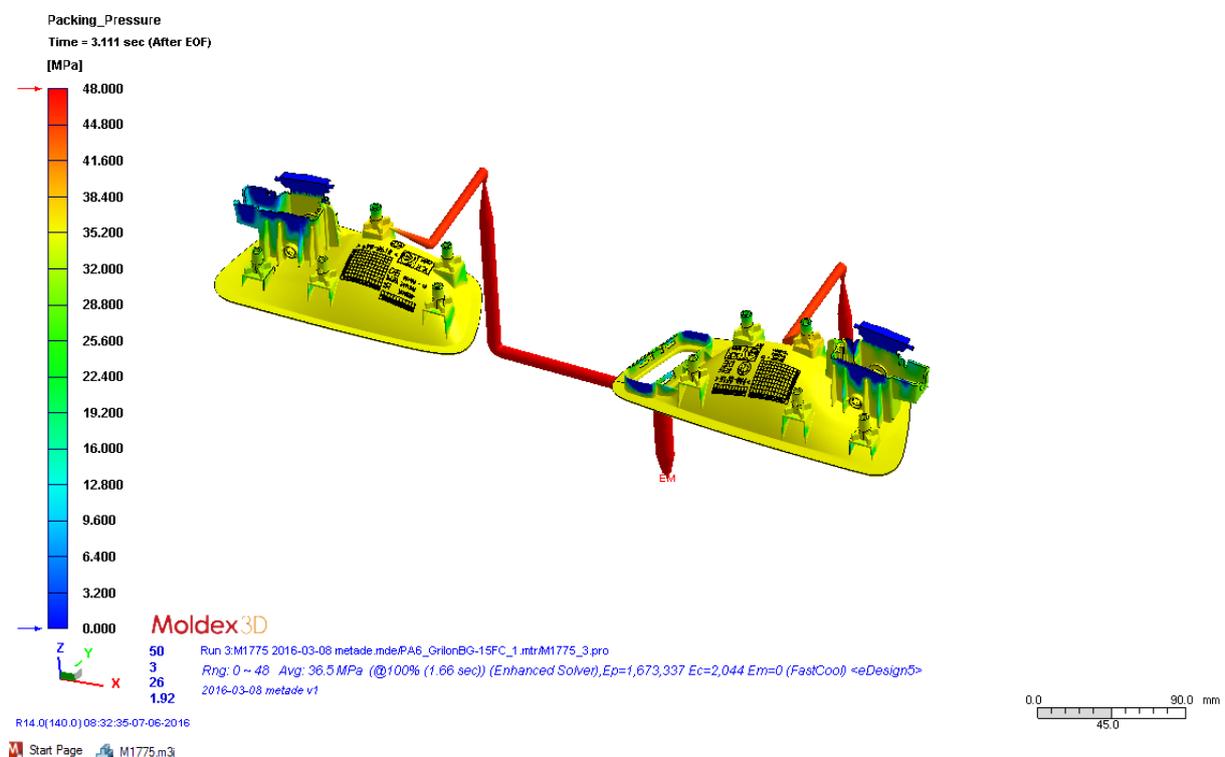


Figura 3.10 Pressão de Injeção nos artigos e canais de enchimento.



**Figura 3.11** Peça do M1775 com defeitos de compactação.

O ciclo de injeção de um molde é dividido em três fases distintas: enchimento, compactação e arrefecimento. No período de enchimento é injetado material para as cavidades do molde, no entanto não fica completamente cheio, sendo necessário dar início à fase de compactação, fase esta, que consiste em “forçar” a entrada de plástico no molde de modo a que todos os espaços sejam devidamente preenchidos. Após a peça estar completamente formada, segue-se o período de arrefecimento. Esta fase é fulcral para que a peça atinja uma temperatura suficientemente baixa de modo a que não se deforme com a extração.

A pressão no interior da peça só atinge o valor máximo, quando a totalidade da peça é preenchida. Pela análise feita no *Moldex* a pressão máxima na zona dos artigos é de 38,176 MPa e é atingida 3,11 segundos após o fim do enchimento como é representado na Figura 3.10.

## 3.4. Metodologia Adotada

### 3.4.1. Conversão de Ficheiros

A Erofio usa o programa *Cimatron E12* ® para criar as diferentes peças do molde. O desenho do artigo é da responsabilidade dos clientes e, por isso, é frequente haver dificuldades na conversão desses ficheiros para o *Cimatron*. Nesse sentido, para evitar problemas de conversão, utilizou-se um formato que é comum à maioria dos programas, tal como STEP ou Parasolid. Por outro lado, atendendo a que o *Cimatron* não faz análises de elementos finitos, para poder fazer uma análise estrutural, as peças selecionadas tiveram que ser convertidas para poderem ser lidas noutros programas.

A lista de formatos para os quais é possível exportar as peças do *Cimatron* é bastante completa, no entanto os diferentes formatos têm particularidades que os tornam preferíveis em diferentes situações. Os formatos STEP, Parasolid e STL são mais interessantes por serem neutros, desta forma a compatibilidade destes formatos com diferentes programas é maior.

Os ficheiros gravados em STEP têm duas versões AP203 e AP214. A primeira apenas permite definir a geometria, o que representa uma desvantagem relativamente à versão AP214 que, para além da geometria, a peça exportada fica com cor, textura, camadas e tolerâncias. Esta informação adicional permite utilizar as características dadas às peças na fase de projeto, tais como tipo de material utilizado e também ter a cor das diferentes partes da peça que representam o acabamento da peça em causa.

Os ficheiros em Parasolid são os únicos que podem ser lidos pelo programa de elementos finitos *ADINA* utilizado na Universidade de Coimbra (DEM/UC). Contudo, o *Cimatron* tem dificuldade na exportação para Parasolid, tanto no formato (x\_t) como (x\_b), originando alterações nas peças mais complexas. Uma das dificuldades está relacionada com as tolerâncias geométricas, as quais induzem o aparecimento de falhas (gaps) e invalidam a criação de um sólido.

Os ficheiros STL são ficheiros compactos que apenas representam as superfícies de uma peça tridimensional através de triângulos. Neste tipo de formato não há qualquer referencia à cor, textura ou outros atributos comuns em ficheiros CAD. Para o estudo de enchimento feito no *MOLDEX 3D* foi necessário importar os artigos em

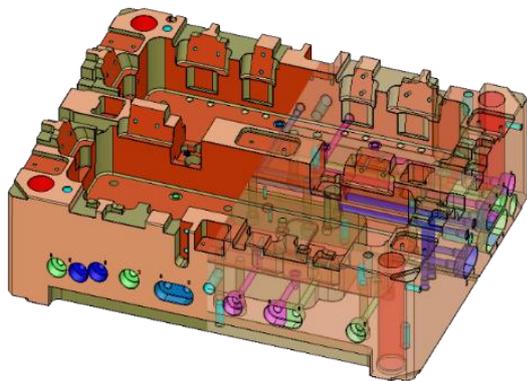
formato STL e as linhas, usadas para definir os canais de enchimento e refrigeração foram importadas em IGES, que também é um ficheiro neutro, mas só considera pontos, linhas e superfícies.

Atendendo a estas dificuldades, as simulações numéricas foram feitas utilizando o programa *SolidWorks* e, uma vez que o *Cimatron* consegue fazer a tradução para o formato STEP, sem tantos problemas como para o formato Parasolid, foi adotado o formato STEP AP214. Para que a peça possa ser analisada através de um programa de elementos finitos, é necessário importar a peça e guardá-la no formato nativo do programa de simulação, no caso do *SolidWorks* é o formato “sldprt”.

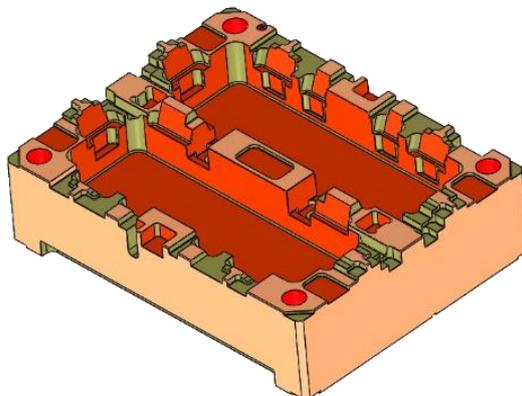
### **3.4.2. Simplificação e Reparação da Geometria das Peças**

As peças que são desenhadas no *Cimatron* têm um nível de complexidade bastante elevado, não só pela geometria e tolerâncias complexas, mas também, pela quantidade de furos, caixas, canais de água e enchimento que possuem. A simplificação da peça surge com o objetivo de minimizar o tempo e os recursos computacionais necessários, mas, acima de tudo, para evitar os erros que aparecem na conversão de ficheiros e, mais tarde, na geração da malha de elementos finitos.

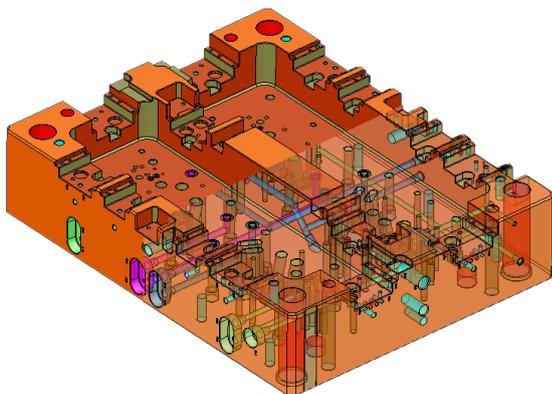
Deste modo, foram removidos furos, canais de água, gravuras e outros elementos que adicionam complexidade às chapas de suporte, cavidades, buchas e elementos móveis, como se pode ver da Figura 3.12 à Figura 3.21. Em casos normais poder-se-ia recorrer ao histórico de cada peça e apagar os elementos que geram problemas. No entanto, para poupar espaço no servidor, as peças do molde M1775 não tinham histórico e, conseqüentemente, este processo de simplificação teve que ser feito manualmente. Estas modificações foram feitas maioritariamente no *Cimatron*.



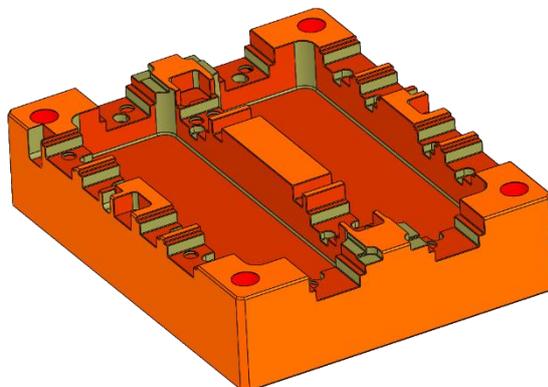
**Figura 3.12** Chapa 2 Original.



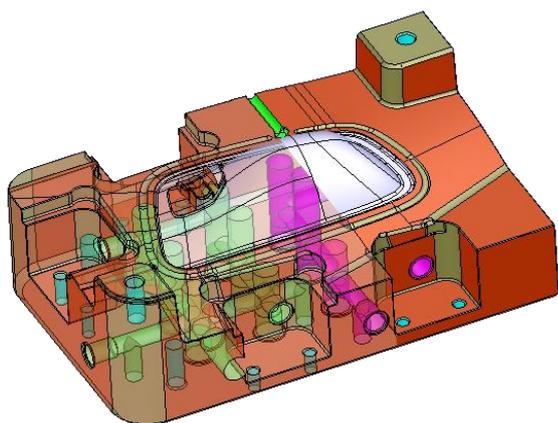
**Figura 3.13** Chapa 2 Simplificada.



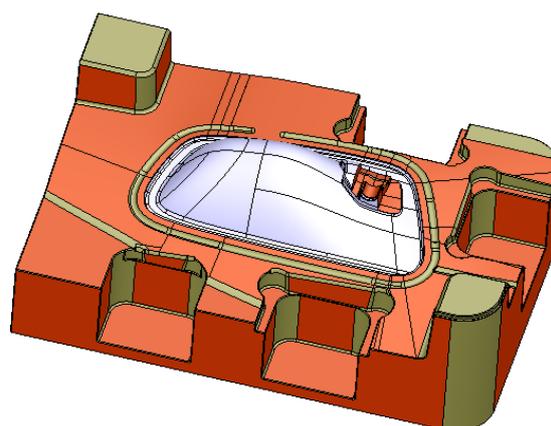
**Figura 3.14** Chapa 3 Original.



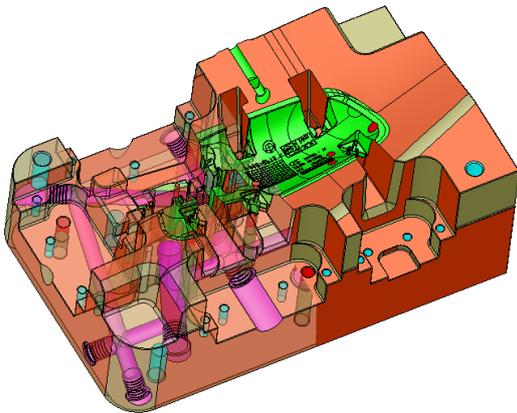
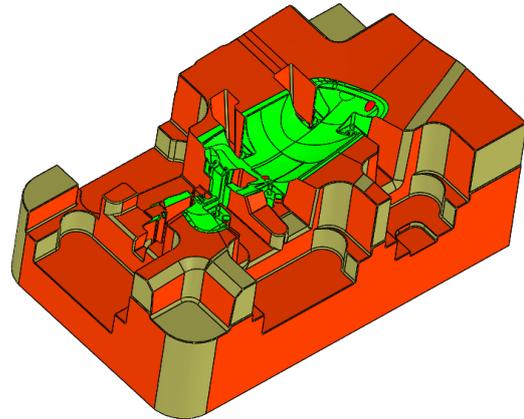
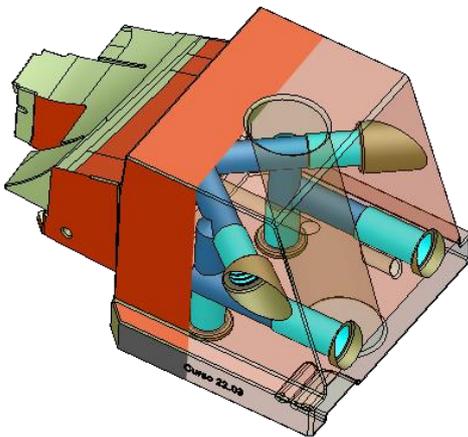
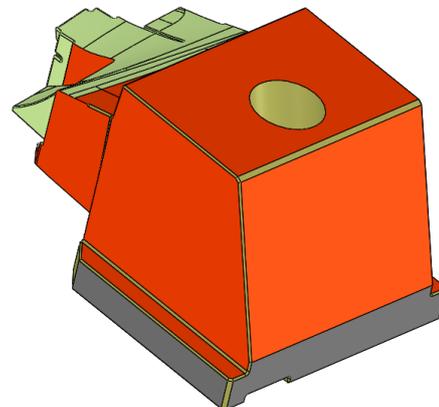
**Figura 3.15** Chapa 3 Simplificada.



**Figura 3.16** Cavity 103 Original.



**Figura 3.17** Cavity 102 Simplificada.

**Figura 3.18** Bucha 202 Original.**Figura 3.19** Bucha 202 Simplificada.**Figura 3.20** Elemento Móvel 82 Original.**Figura 3.21** Elemento Móvel 82 Simplificado.

Neste processo de simplificação surgiram alguns problemas. De facto, depois das peças terem sido simplificadas eram importadas via *Solid Works* como “cascas”, ou seja, na conversão do ficheiro ou na sua simplificação o objeto não estava fechado. Esta situação é um problema que pode ser resolvido automaticamente recorrendo à ferramenta de diagnóstico de importações do *Solid Works* ou, para os casos em que esta ferramenta de diagnóstico não é suficiente, é necessário encontrar o problema e fechar o “gap” manualmente, sendo um grande desafio em algumas situações.

### 3.4.3. Tolerâncias

Na Erofio é possível garantir que uma peça injetada em plástico tenha uma precisão dimensional de 0.03 mm e, para que isto aconteça, o molde que dá origem a esta peça tem de ter uma precisão de 0.01 mm. Os deslocamentos segundo o plano perpendicular ao plano da moldação, admissíveis entre a bucha e a cavidade, isto é, sem originar rebarba, variam consoante o tipo de polímero utilizado e percentagem de fibras, no entanto pode ser feita a generalização da Figura 3.22.

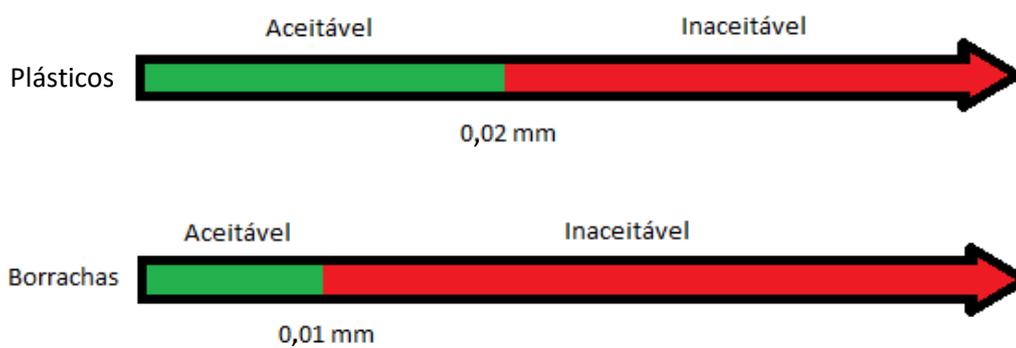


Figura 3.22. Valores de deslocamento que geram rebarba.

No *Cimatron* são definidas as tolerâncias conforme a zona da peça, inclusivamente, existe um documento, que faz parte do Sistema de Gestão da Qualidade da Erofio, que relaciona as cores do modelo 3D com o tipo de ajustamento pretendido na peça, disponível no ANEXO A.

Este esquema de cores facilita muitas operações na fase de produção, uma vez que em todos os postos há um computador com acesso ao *Cimatron*. Desta forma, os operadores sabem qual é o tipo de acabamento das diferentes faces da peça consoante a cor que vêm no 3D.

### 3.4.4. Materiais utilizados

No molde M1775 são utilizados diferentes tipos de aço, consoante a aplicação dada a cada peça. Na Erofio utiliza-se o “material nº”, cuja designação é a utilizada pela maioria dos clientes e fornecedores e tem uma relação direta com as restantes normas (AISI,

DIN, AFNOR e BS). Para as buchas, as cavidades e elementos móveis é utilizado o aço 1.2343. Este material equivale ao H11 da norma AISI e a sua designação comercial, dada pela Universal/Afir, é W400. De acordo com Pinto Soares na obra “Aços para ferramentas”, entre outras aplicações, o 1.2343 é especialmente utilizado para:

“[...] ferramentas para fabrico a quente de peças ocas, parafusos, rebites, fêmeas, etc. Lâminas de guilhotina para corte a quente. Moldes para a indústria dos plásticos.” (Soares, 2009, p. 88).

Para as chapas 2 e 3 é utilizado o aço 1.2312, que corresponde P20+S da norma AISI. As aplicações para este tipo de aço são:

“Estruturas e moldes para plástico de médias e grandes dimensões; estruturas de moldes para fundição injetada de ligas metálicas, assim como componentes para engenharia mecânica.” (Soares, 2009, p. 150).

Os blocos de encosto são maquinados a partir de blocos de aço 1.2311. Trata-se de um aço muito semelhante ao 1.2312, com boa maquinabilidade - embora inferior à do aço 1.2312. Os ramos de aplicação são em tudo idênticos, no entanto, é aconselhável aplicar este tipo de aço em: “[...] estruturas e moldes para plásticos de dimensões até 400 mm”. (Soares, 2009, p. 148).

O aço 1.2510 é conhecido por O1 na norma AISI. É um material com grande resistência ao desgaste, aliada a uma boa maquinabilidade e tenacidade. Este tipo de aço é utilizado em: “[...] elementos de construção mecânica, moldes para materiais plásticos, ferramentas de corte e conformação e instrumentos de medida”. (Soares, 2009, p. 306).

As barras de deslize são elementos sujeitos ao constante movimento dos elementos móveis, por isso, são constituídos por bronze grafitado de modo a promover a auto lubrificação.

A Tabela 3.1 relaciona a designação dos materiais e suas propriedades com as peças do molde M1775.

**Tabela 3.1.** Propriedades dos Aços utilizados na constituição do Molde M1775.

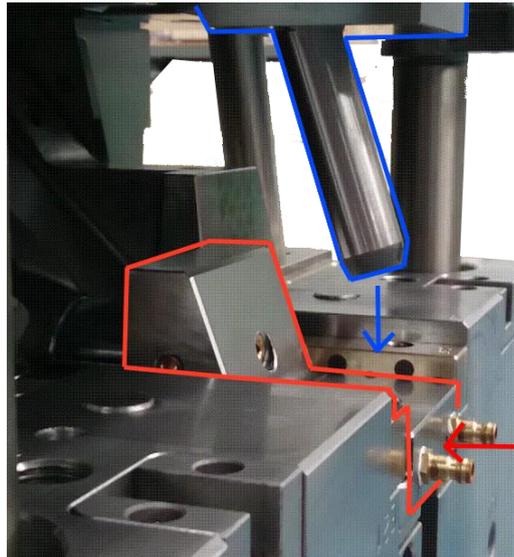
Designação	Peças onde é usado	Módulo de Elasticidade (MPa)	Coefficiente de Poisson	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
1.2343	Buchas, Cavidades e Elementos móveis	215000	0,28	7800
1.2312	Chapa 2 e 3	210000	0,28	7830
1.2311	Blocos de encosto	210000	0,28	7830
1.2510	Chapas de ajuste e Chapas à junta	204900	0,29	7850
Bronze grafitado	Barras de deslize	110000	0,33	8300

### 3.4.5. Interações e Constrangimentos

Para poder fazer uma análise estrutural rigorosa é necessário criar condições que estabeleçam o contacto entre os diferentes componentes do molde. Sem uma condição de contacto entre dois elementos eles atuam como se o outro não existisse. Os passos utilizados nesta secção tiveram por base as orientações de “The COSMOS Companion – Modeling Contact” (SolidWorks, 2006).

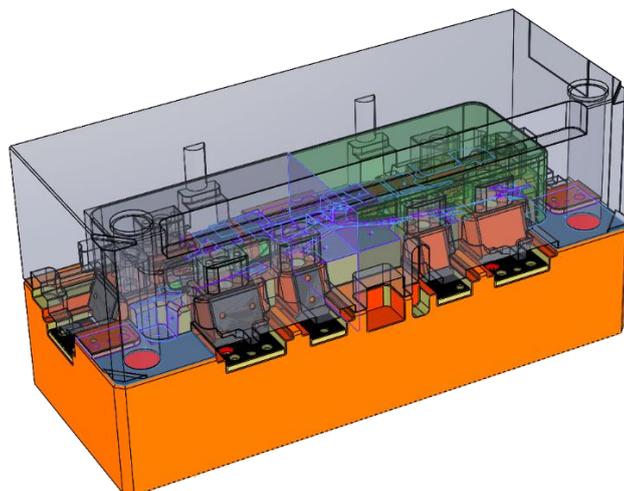
Depois da montagem das peças que se pretendem simular, é necessário definir os contactos entre elas. No *SolidWorks* existe uma função que permite encontrar todas as faces em contacto, esta opção funciona melhor em montagens mais simples. Para o caso do molde M1775 foi necessário definir os contactos manualmente. Inicialmente, foi escolhido o tipo de contacto “No Penetration”. Este tipo de contacto permite que os elementos interajam simultaneamente, sem que haja interpenetração. Porém, quando foi feita a simulação com estas condições, o programa não conseguiu convergir e a simulação parava alertando para a falta de recursos computacionais para resolver tantas iterações. Uma vez que este tipo de condição de fronteira impõem um maior número de graus de liberdade. Contudo, atendendo a que no momento em que a pressão na zona de moldação é máxima, os elementos considerados na análise estão imobilizados, optou-se por considerar que esses elementos estão colados – “Bonded”. Esta foi a única maneira de obter resultados na

simulação. Assim, os elementos móveis consideraram-se “colados” às chapas, uma vez que não têm movimento relativo. Na Figura 3.23 é possível visualizar um elemento móvel, identificado com a linha de contorno vermelha, e a guia inclinada que bloqueia o seu movimento, identificada com a linha azul. Os restantes componentes que foram considerados com contacto colado estão fixos com ligações soldadas ou aparafusadas.



**Figura 3.23** Influência das guias inclinadas nos elementos móveis.

Os contactos considerados “No Penetration” são os contactos entre as buchas e as cavidades, entre as diferentes buchas e cavidades e entre a chapa 3 e as barras de junta, como se pode ver na Figura 3.24, onde as zonas de contacto se encontram em evidência.



**Figura 3.24** Molde do M1775 com contactos sem penetração em destaque.

### 3.4.6. Fixações e Forças

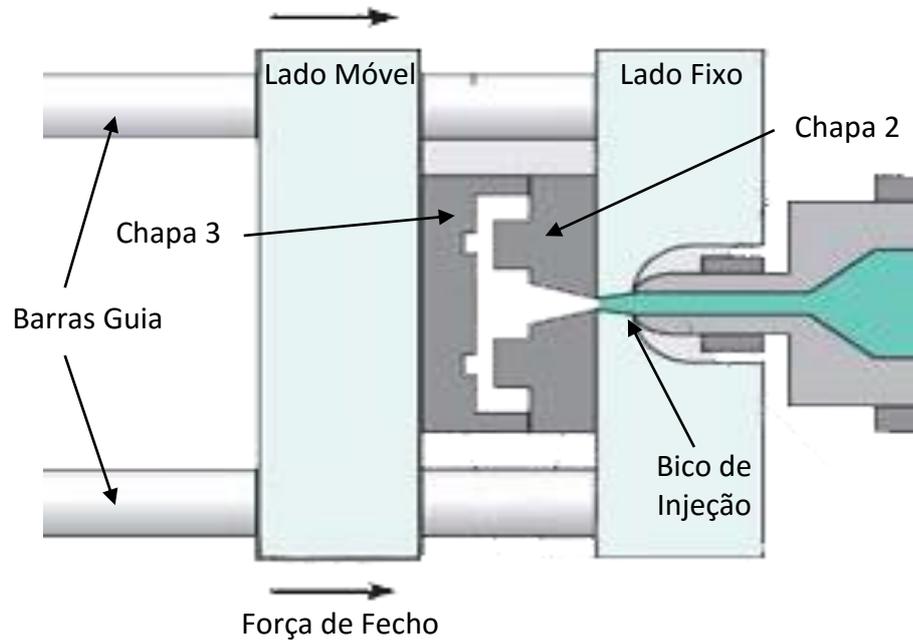
Para configurar os apoios e forças a utilizar na simulação, de uma forma equivalente ao que acontece na realidade, foi importante perceber a forma como o molde é sustentado na máquina de injeção. A Figura 3.25 mostra a máquina de injeção da Erofio que testa vários moldes, entre eles o M1775.



**Figura 3.25** Máquina de injeção Engel, usada nos testes do M1775.

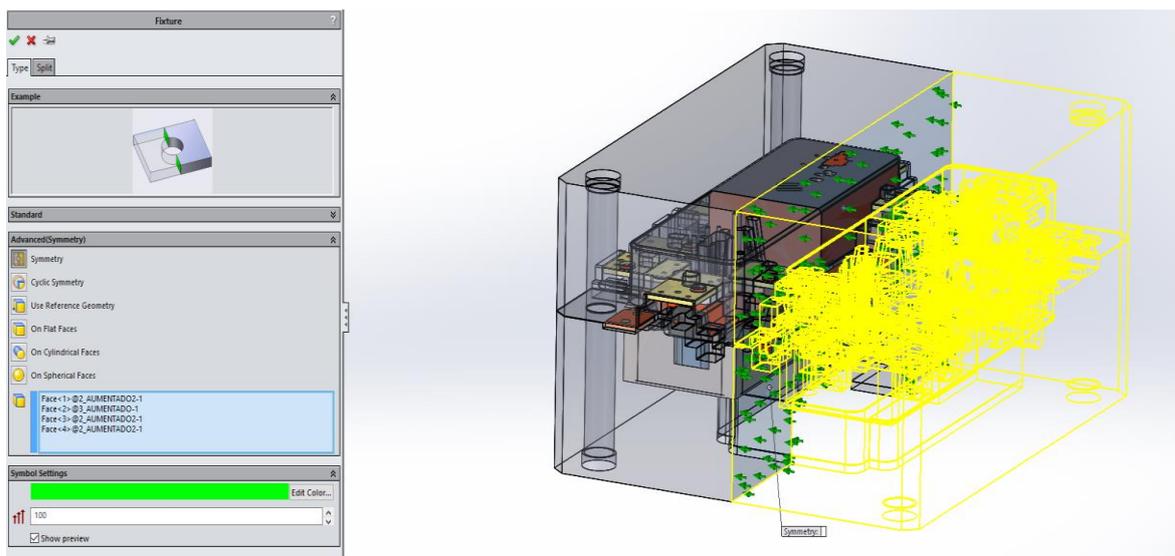
O lado fixo está encastrado junto ao bico de injeção. As guias são elementos cilíndricos que garantem que o molde se fecha na posição correta. Do lado móvel é aplicada a força de fecho da máquina e garante que não há separação entre as buchas e as cavidades. Este tipo de apoios encontra-se esquematizado na Figura 3.26.

No momento da injeção, a força de fecho da máquina deve garantir que o lado móvel está em contacto com o lado fixo e não há movimento relativo entre as duas partes. Por sua vez, as guias estão encastradas no lado fixo e o lado móvel desloca-se nas guias garantindo, assim, que sempre que o molde se fecha os componentes dos diferentes lados estão nas posições corretas.



**Figura 3.26** Esquema da estrutura de suporte de um molde (Cunha, 2003).

Uma vez que o molde é simétrico, a simulação foi feita utilizando metade do molde e, por isso, foram utilizadas condições de fronteira de simetria, como se vê na Figura 3.27.



**Figura 3.27** Condição de simetria imposta no *SolidWorks*.

Como é possível concluir da secção do “Estudo de Enchimento”, a pressão máxima aplicada nas peças não é igual em toda a sua extensão, sendo que ainda não é possível importar os perfis de pressões do estudo de enchimento realizado no Software Moldex 3D para a Análise Estática do Solid Works. Assim, o processo de aplicação das pressões teve que ser realizado manualmente. A Tabela 3.2, mostra quais foram as solicitações aplicadas em cada parte do molde. Na Figura A. 1 e Figura A. 2 do APÊNDICE A, estão discriminados os vários constituintes que constituem o lado fixo e móvel. Deste modo é mais fácil saber a que elemento corresponde o número da tabela.

**Tabela 3.2** Força, Temperaturas e Pressões Impostas ao Molde M1775.

Tipo de Solicitação	Local/Peça	Valor
<b>Força de Fecho</b>	Lado Móvel	2200 kN
<b>Temperatura</b>	Face da Cavidade	102 °C
	Face da Bucha	103 °C
<b>Pressão</b>	Elemento Móvel 80	32,27 MPa
	Elemento Móvel 81	37,79 MPa
	Elemento Móvel 82	35,7 MPa
	Elemento Móvel 83	35,35 MPa
	Elemento Móvel 84	35 MPa
	Elemento Móvel 85	27 MPa
	Elemento Móvel 86	32,3 MPa
	Elemento Móvel 87	34,7 MPa
	Peça 202 A	16,3 MPa
	Peça 200 A	17,3 MPa
	Ponto de Injeção (200)	37,3 MPa
	Ponto de Injeção (202)	37,09 MPa

Os valores aplicados no modelo do M1775 foram retirados do estudo de enchimento feito no *Moldex 3D*. Os valores de cada zona que se apresenta na figura são relativos às pressões que se fazem sentir na peça no momento em que a pressão é máxima. Foi necessário diferenciar as zonas, uma vez que a pressão que se faz sentir nos diferentes pontos da zona

molde varia com a distância ao ponto de injeção. Também foi considerada a força de fecho de 2200 kN, aplicada do lado móvel. Este valor de força foi obtido no RPI (Relatório de Parâmetros de Injeção) do M1775.

### **3.4.7. Discretização e Resultados**

“Os métodos computacionais têm vindo a tornar-se determinantes nas aplicações de engenharia e a geração de malhas, enquanto fase integrante do processo de simulação dos fenómenos físicos, é considerado um ponto-chave. Gerar uma malha de um determinado modelo pode representar cerca de noventa por cento do tempo de análise.” (Reis, 2014). A geração de malhas subdivide a geometria em elementos de menor dimensão, o que permite definir, através de equações mais simples, a posição e os fenómenos físicos que neles atuam. Neste sentido, existe sempre um erro associado à discretização que será tanto menor quanto maior o refinamento da malha. Os problemas relacionados com o refinamento da malha são o tempo de processamento e a necessidade de utilizar mais recursos computacionais. Se a malha for muito grosseira, as aproximações geométricas têm um erro maior e, se a dimensão característica dos elementos for maior do que alguns dos elementos da geometria, é impossível criar a malha.

Existem diferentes tipos de malha, mas nem todos são adequados para as necessidades impostas pelo molde M1775. No que concerne à discretização de superfície, podem ser usadas malhas triangulares, que são geradas de forma rápida e que se adequam a todos os tipos de geometrias. Podem também ser escolhidas malhas baseadas em quadriláteros - mais comum em malhas estruturadas - mas mais difíceis de adaptar a geometrias complexas.

As malhas tridimensionais mais comuns são as tetraédricas e as hexaédricas. Embora as malhas tetraédricas sejam menos precisas que as hexaédricas (para o mesmo número de elementos), têm como vantagem poderem adaptar-se a qualquer geometria independentemente da sua complexidade.

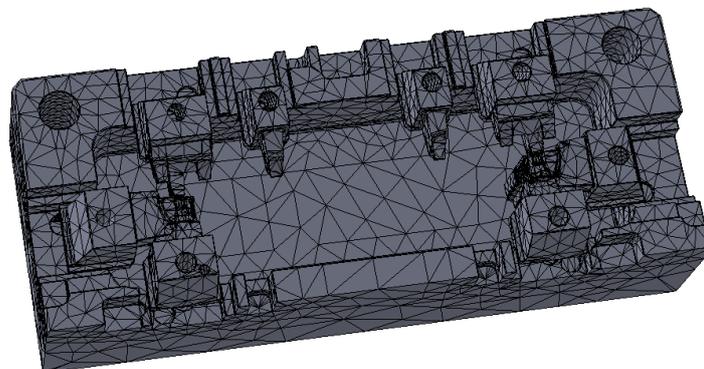
A generalidade dos programas de elementos finitos possui geradores automáticos de malhas de elementos finitos tetraédricos, aplicáveis a qualquer geometria.

Estes algoritmos utilizam parâmetros de controlo de malha específicos:

“O parâmetro de malha Standard baseia-se no esquema de malha de Voronoi-Delaunay, o qual gera uma malha superficial recorrendo a triângulos equiláteros, após as superfícies estarem discretizadas, usa tetraedros para a fazer a malha de volume. A malha baseada geometria gera mais elementos que a *standard*, mas é preferível para geometrias mais complexas e montagens, uma vez que se adapta melhor.” (Kim, 2015).

Considerando os conselhos de Dae Kim, Engenheiro Sênior de Produto na Hawk Ridge Systems, neste trabalho, optou-se por usar uma malha baseada na geometria, uma vez que se adapta melhor à complexidade de montagens com vários elementos. Ao utilizar este tipo de discretização é necessário definir o tamanho máximo e mínimo dos elementos bem como o fator de crescimento. Com base nestas três variáveis, o Solid Works escolhe os locais onde são aplicados os maiores ou menores tamanhos de elementos, com base nas variações da geometria. A variação de dimensão dos elementos prende-se com o fator de crescimento escolhido. O valor do número mínimo de elementos só necessita ser aumentado se a malha na zona dos furos for grosseira.

Numa fase inicial, foi gerada uma malha utilizando os valores definidos automaticamente pelo programa - “malha 0”. Consequentemente, a malha não foi gerada para todas as peças, devido à complexidade das buchas. (Figura 3.28). Posteriormente, foram geradas quatro malhas diferentes, as suas características estão apresentadas na Tabela 3.3. Nesta tabela é possível verificar que as malhas 1 e 2 são as mais grosseiras, mas permitiram obter resultados em todas as peças do modelo. A principal diferença entre estas duas malhas consiste na menor qualidade da “malha 1” - “Draft Quality Mesh”. O processo de simulação foi bastante mais rápido com a malha 1. Contudo, os resultados obtidos têm por base uma aproximação mais rudimentar.



**Figura 3.28** Malha 0 – lado móvel sem as buchas.

A “malha 3” conduziu a resultados bastante semelhantes aos das malhas mais refinadas e, graças ao menor tempo de processamento, apresentou vantagens em relação à malha mais refinada. A “malha 4” foi a discretização mais refinada deste estudo. Teoricamente, os resultados obtidos por esta malha são os mais próximos do que acontece na realidade. Contudo, a desvantagem clara desta discretização é o tempo de simulação, Tabela 3.3 e Figura 3.29. Na Figura 3.30 são apresentados os resultados, em termos de deslocamentos, para as diferentes malhas. Medidos nos pontos evidenciados na Figura 3.31. Os resultados das malhas 3 e 4 são bastante semelhantes, o que significa que há convergência de resultados. Para além destas discretizações, tentou-se gerar uma malha ainda mais refinada, tendo os elementos de menor dimensão apenas 1 mm. Apesar da tentativa, não foi possível obter resultados porque a simulação falhou por falta de memória.

Tabela 3.3 Estudo de malha.

Nome da Malha	Malha 0	Malha 1	Malha 2	Malha 3	Malha 4	Furado	Aumentado
<b>Número da Malha</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Elemento maior [mm]</b>	78.56	30	30	30	30	30	30
<b>Elemento menor [mm]</b>	15.71	9	9	5	3	5	5
<b>Núm. Min de Elementos</b>	8	8	8	8	8	8	8
<b>Fator de crescimento</b>	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
<b>Qualidade</b>	high	draft	high	high	high	high	high
<b>Número de nós</b>	-----	104669	715398	1336139	2381639	1434964	1327500
<b>Tempo malha [seg.]</b>	-----	44	56	64	93	71	67
<b>Tempo de Simulação [seg.]</b>	-----	205	983	2539	5585	3227	2278
<b>resultados [mm]</b>	-----	0,027	0,1675	0,01907	0,01969	0,03845	0,00173

Intel Core i7 Skylake 6700HQ @ 2.6 GHz; GTX 960M 4GB GDDR5; 32GB RAM

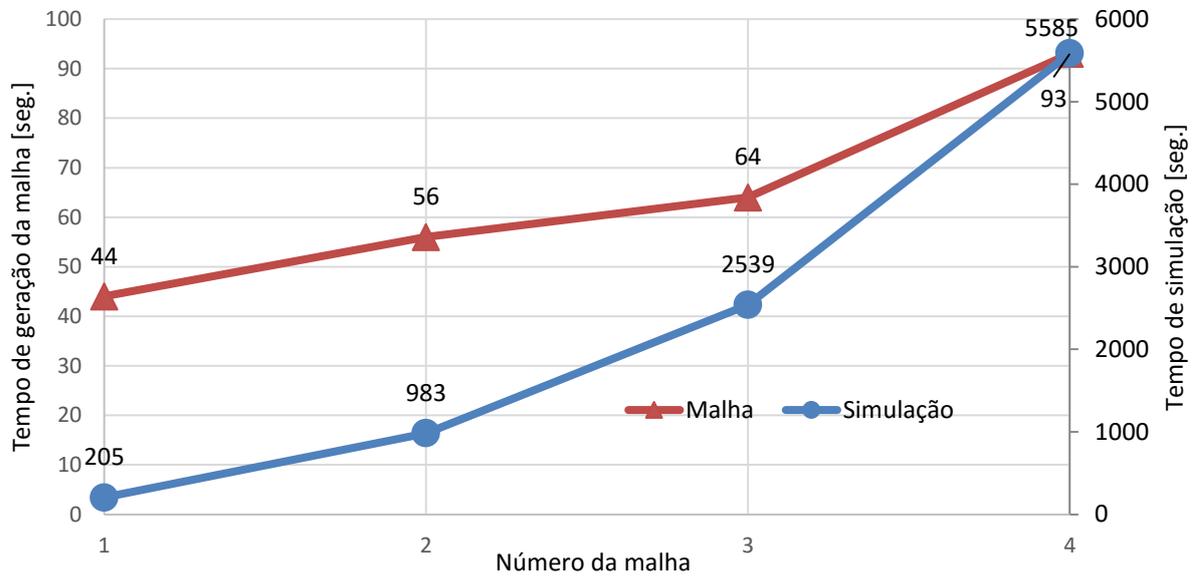


Figura 3.29 Tempos de geração de malhas e de simulação.

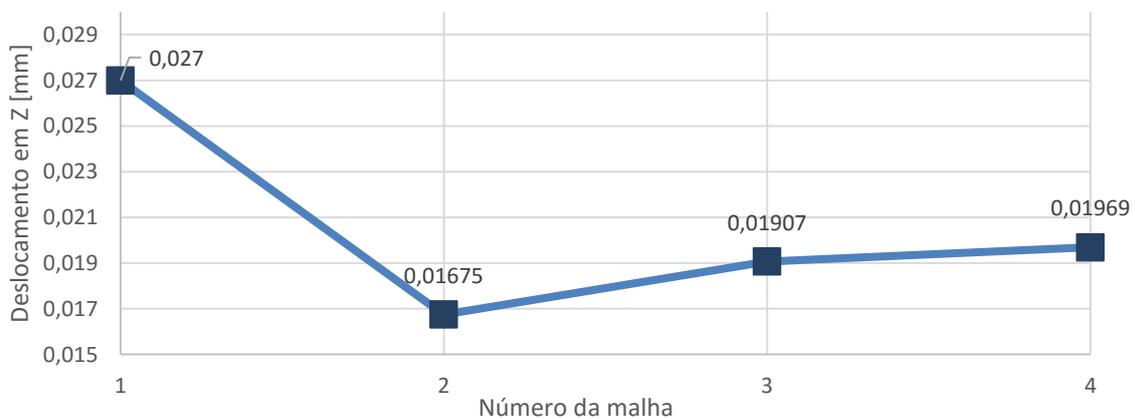


Figura 3.30 Análise de convergência dos deslocamentos.

Com base nos resultados apresentados na Figura 3.30, conclui-se que a “malha 3” permite uma boa aproximação e um tempo de simulação aceitável. Assim, considera-se que o deslocamento máximo entre as buchas e cavidades, segundo o plano perpendicular ao plano de moldação, é de 0.01907 mm. A “malha 3” irá ser utilizada para concretizar a comparação, incluindo as modificações feitas ao modelo M1775 descritas na seção 4.1 do capítulo 4.

Os deslocamentos apresentados na Tabela 3.3 foram retirados do *SolidWorks* recorrendo à função “sonda”. Desta forma, é possível conhecer o deslocamento em cada ponto pretendido. Na Figura 3.31 mostra-se a localização onde são retirados os valores de deslocamento segundo Z. No caso da Figura 3.31 estão representadas as cavidades e são retirados dez pontos na cavidade 100 e outros tantos na cavidade 102. O mesmo é feito do lado móvel para as buchas 200 e 202. Para obter o deslocamento relativo entre a cavidade e a bucha, foi escolhido o maior valor da diferença entre os dois deslocamentos.

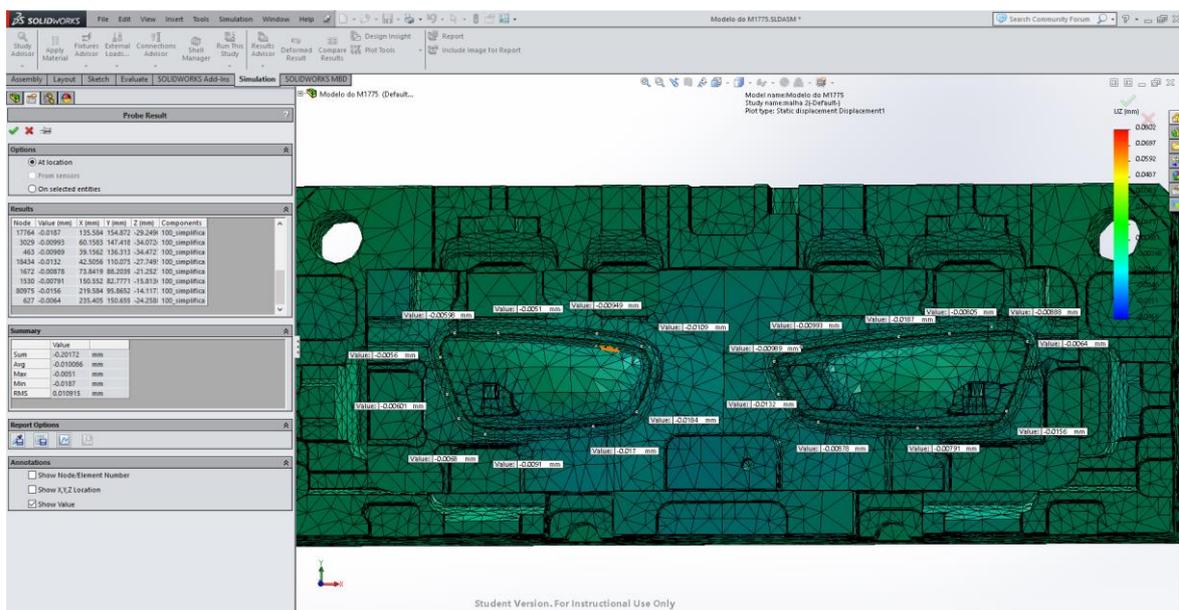


Figura 3.31 Deslocamentos segundo Z no lado fixo (Malha 1).

Da Figura 3.32 à Figura 3.35 ilustram-se as diferentes discretizações consideradas neste estudo.

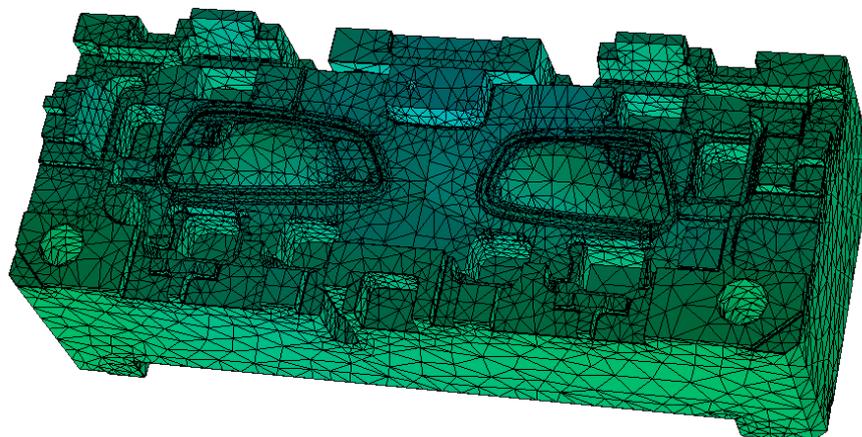
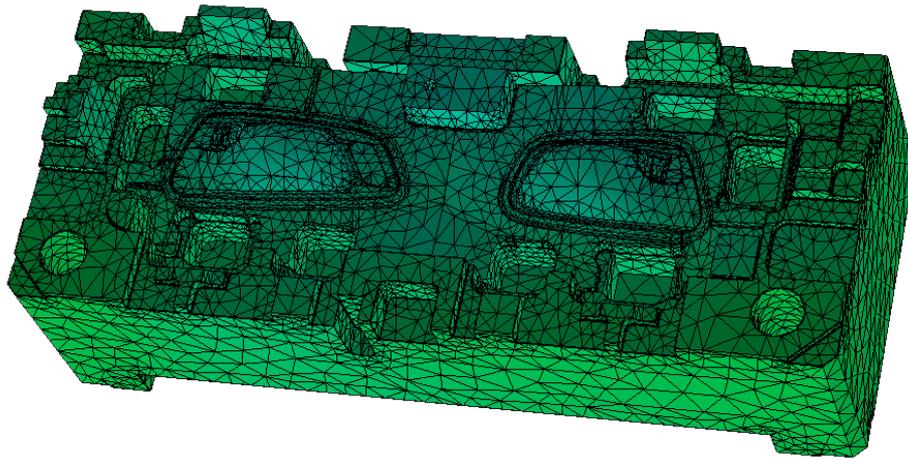
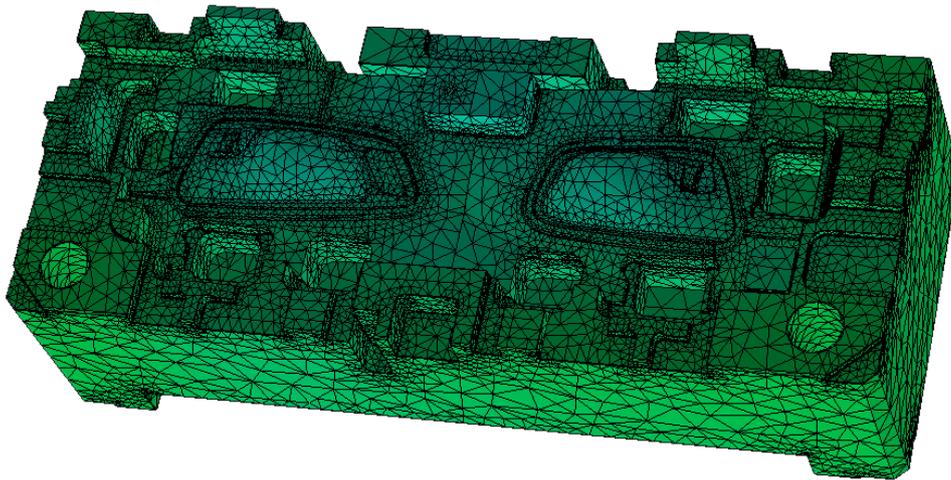


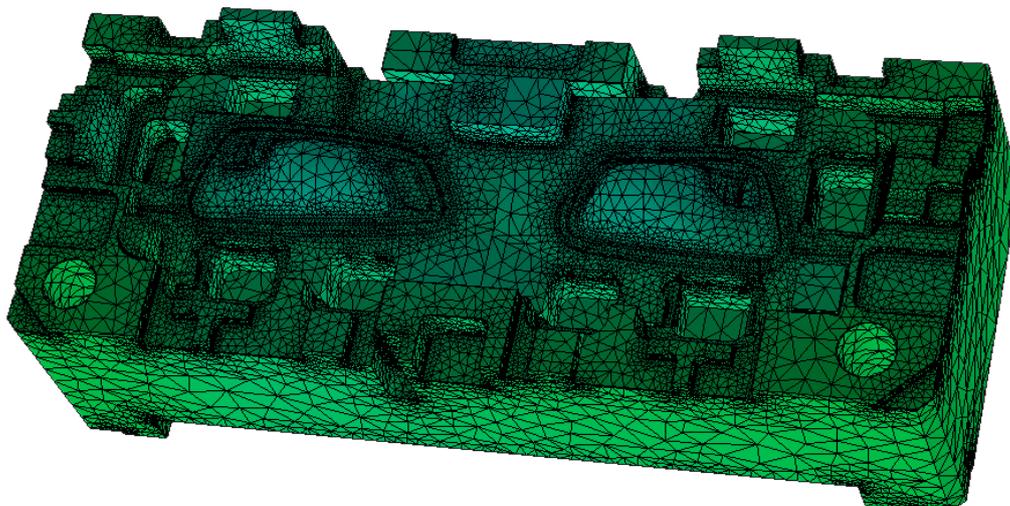
Figura 3.32 Malha 1.



**Figura 3.33** Malha 2.



**Figura 3.34** Malha 3.



**Figura 3.35** Malha 4.

## 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

### 4.1. Validação do Modelo Numérico

#### 4.1.1. Comparação com modelo M1755 Furado

Nuno Fino, colaborador responsável pela montagem do M1775, refere que para valores de deslocamento superiores a 0.02 mm a rebarba torna-se um problema e os valores que foram medidos inicialmente no M1775 chegavam aos 0.04 mm. Os deslocamentos obtidos na simulação atingiram valores próximos do limite a partir do qual começa a existir rebarba, no entanto, não são valores tão elevados como os que o bancadeiro da Erofio encontrou. Assim, a simplificação realizada com recurso à não consideração dos furos de extração, canais de água e de enchimento (explicitado no capítulo 3.4.2), conduziu a que o conjunto ficasse dotado de uma maior resistência no seu todo, após as modificações. Na operação de simplificação o conjunto aumentou 9.3% do seu volume material, uma vez que todas as furações foram tapadas, dessa percentagem cerca de 6.7% é referente às buchas e cavidades.

De forma a ter uma simulação mais aproximada das condições reais, foi criado o modelo M1775 FURADO. Para isso, foi realizada uma furação equivalente que fez com que as peças ficassem com um volume de material semelhante ao original. Nesse sentido, as furações foram concretizadas em *Solid Works*, evitando a sobreposição de furos e ultrapassando os problemas de intersecção de furos com diferentes geometrias. O modelo M1775 furado tem um volume de material muito semelhante ao Original tendo uma diferença de apenas 0.13%. O deslocamento máximo obtido, segundo a direção perpendicular ao plano de moldação, é de 0.03845 mm, o que se traduz num aumento considerável de deslocamento relativamente à simulação feita inicialmente, estando estes valores claramente afastados dos padrões de qualidade da Erofio.

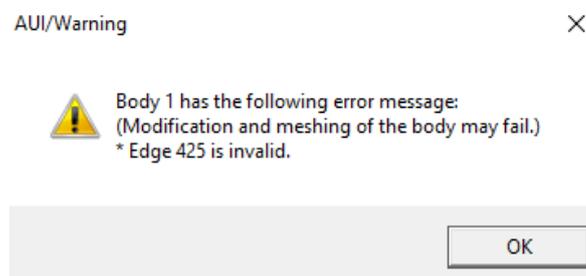
#### **4.1.1. Comparação com o modelo M1775 Preliminar**

Conforme referido anteriormente, o molde M1775 foi idealizado com as chapas de componente estrutural - Chapas 2 e 3, com dimensões superiores às suportadas pela máquina de injeção do cliente. Com o objetivo de ir ao encontro do pedido do cliente, estes componentes foram redimensionados de forma a reduzir a dimensão das chapas. Porém, mesmo após a simplificação destes componentes permanece uma questão essencial - caso as dimensões destes componentes estruturais fossem as idealizadas na fase de orçamentação, teriam ocorrido estes problemas?

Com o objetivo de dar resposta a esta questão criou-se outro modelo do M1775, com dimensões maiores nas chapas 2 e 3. Este novo modelo difere do primeiro apenas no tamanho das chapas 2 e 3, tendo mais 20 mm no comprimento e altura e 14 mm na largura. O que traduz num aumento de volume material de 12.8% face ao modelo do M1775. A metodologia adotada nesta simulação manteve-se igual à simulação do M1775 com os mesmos materiais, interações, constrangimentos, pressões de enchimento, força de fecho e malha.

Os deslocamentos obtidos para o caso da simulação do M1775 AUMENTADO são de 0.00173 mm. Os resultados desta simulação revelam que os valores de deslocamento entre as buchas e as cavidades são bastante inferiores aos obtidos na simulação do M1775 simplificada, permitindo concluir que, se tivessem sido considerados esses valores, não teriam ocorrido os problemas descritos anteriormente.





**Figura 4.2** Mensagem de Erro do *ADINA*.

Só após conseguir importar as peças sem erros é que se torna possível aplicar condições de fronteira, pressões e gerar a malha. Após a aplicação de condições de fronteira e carregamentos, tentou-se gerar a malha para a bucha 200. Este processo teve a duração aproximada de 48h até à sua conclusão. Partindo do princípio que se conseguiriam importar todas as peças sem defeitos para o *ADINA* (o que não chegou a acontecer), o processo de simulação da montagem iria, certamente, levar muito tempo a concluir.

#### **4.2.1.2. ABAQUS**

Após várias tentativas de utilização do programa *ADINA*, todas elas sem sucesso, foi realizada uma pesquisa de programas alternativos para fazer a simulação. O *ABAQUS* surgiu como opção.

A importação das peças no *ABAQUS* é feita em STEP, o que torna o processo bastante mais simples. Praticamente não foi necessário fazer reparação de peças.

Graças à ajuda da Professora Fátima Paulino (DEM-UC) e do Professor Rui Ruben (IPL) foi possível fazer a montagem completa com as condições de fronteira e carregamentos. Contudo, alguns minutos após o início da geração da malha, o processo termina automaticamente devido à falta de recursos para fazer a simulação.

Uma vez que os programas apenas de elementos finitos (*i.e.*, *ADINA* e *ABAQUS*) não estavam a ter sucesso com uma simulação tão complexa, passou a usar-se um programa CAD com uma vertente de Elementos Finitos, optando-se pelo *SolidWorks*.

## 5. CONCLUSÕES

### 5.1. Análise por Elementos Finitos - uma mais-valia?

Nesta última secção são apresentadas as conclusões mais importantes deste estudo, e também é feita uma proposta de continuação.

O principal objetivo desta dissertação prendeu-se com a análise de um molde, fabricado e vendido em 2014, pela Erofio. O molde M1775 foi alvo de um dimensionamento preliminar, no entanto, a pedido do cliente as dimensões deste molde tiveram de ser reduzidas para que este pudesse ser usado numa máquina mais pequena.

A única forma de saber o que aconteceu neste molde é através dos vários relatórios existentes, testemunhos das pessoas envolvidas e através dos estudos feitos com recurso a diferentes programas de simulação.

Baseado no RPI (Relatório de Parâmetros de Injeção) do M1755 foi desenvolvido um estudo de enchimento no programa *Moldex 3D*. Os resultados desse estudo foram fundamentais para conhecer as pressões e temperaturas durante a injeção no interior do molde. Os resultados do *Moldex* foram incluídos na análise estática feita no *Solid Works*. Numa primeira análise foram considerados todos os componentes “simplificados” (sem canais de refrigeração e enchimento) o que gerou resultados algo distantes do que aconteceu na prática. Com o objetivo de aproximar a simulação da realidade, foi desenvolvido um novo estudo, onde se consideram os canais de refrigeração dos componentes onde o deslocamento excessivo se torna crítico (buchas e cavidades). Os resultados desta segunda análise aproximaram-se muito mais da realidade. Permitindo concluir que é importante considerar os canais de refrigeração.

Como forma de comprovar a premissa inicial de que os moldes são sobredimensionados, foi criada uma última montagem onde os valores de espessura das chapas 2 e 3 se mantiveram iguais às dimensionadas preliminarmente. Conclui-se desta forma, que a previsão feita inicialmente na fase de orçamentação utiliza um coeficiente de segurança muito alto, sendo possível diminuir as dimensões dos componentes e continuar a

obter bons resultados. Nesse sentido, com uma análise utilizando elementos finitos na fase de dimensionamento dos componentes estruturais, não só se poupa na compra da matéria-prima, como também se pode diminuir o custo por peça (nos casos em que se possa usar uma máquina de menor dimensão).

A análise feita ao molde M1775 demorou aproximadamente 4 meses a estar concluída. Trata-se de um intervalo de tempo que causaria dificuldades, caso a execução do molde estivesse dependente do dimensionamento decorrente desta análise. Contudo, durante este período houve várias tentativas que não tiveram o sucesso esperado. Neste sentido, considera-se que é viável implementar esta análise em novos projetos, já que as peças a considerar não têm que passar pelo moroso processo de simplificação, os resultados podem ser obtidos num curto espaço de tempo.

## **5.2. Propostas para Trabalhos Futuros**

Os objetivos traçados inicialmente eram ambiciosos e não contavam, naturalmente, com todos os imprevistos que surgiram. A meta era criar uma mais-valia para a indústria do setor, através de um estudo com base nas características dos moldes, segmentando-os e permitindo criar generalizações. Desta forma, sabendo o tipo de polímero a injetar, número e volume das peças, área transversal e máquina alvo, poder-se-ia ter uma ideia das dimensões dos componentes estruturais.

Este objetivo é considerado uma proposta válida para um novo trabalho, que pode vir a melhorar de alguma forma o processo de orçamentação que, até ao momento, é apenas baseado na muita experiência de quem o faz.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Boeriu, H., 2014. *BMWblog*. [Online]  
Available at: <http://www.bmwblog.com/2014/02/14/world-premiere-bmw-2-series-active-tourer-first-front-wheel-drive-bmw/>  
[Acedido em 29 03 2016].
- Cunha, A., 2003. *Manual do Projetista para Moldes de Plástico*. s.l.:Lopo & Franco - Estúdio Gráfico. lda.
- EMS-Grivory, 2002. *EMS Material Database*. [Online]  
Available at: [www.emsgrivory.com](http://www.emsgrivory.com)  
[Acedido em Junho 2016].
- Goede, M. et al., 2008. *Super Light Car - lightweight construction thanks to a multi-material design and function integration*. s.l., Springer, p. 1.
- Kim, D., 2015. *The Art of Meshing - Hawk Ridge Systems*. [Online]  
Available at: <http://www.hawkridgesys.com/products/solidworks-simulation/simulation-videos/art-of-meshing/>  
[Acedido em 2 junho 2016].
- Marques, C., 2015 a. Moldes & Plásticos. *Jornal de Leiria*, Issue Evolução da Balança Comercial dos Moldes Portuguesa - ITC, p. 7.
- Marques, C., 2015 b. Moldes & Plásticos. *Jornal de Leiria*, Issue Principais Setores Servidos pela Indústria dos Moldes Portuguesa - CEFAMOL, p. 9.
- Matos, A. et al., 2003. *Manual do Projetista - Capítulo 1*. Centimfe - Centro Tecnológico da Indústria de Moldes Ferramentas Especiais e Plásticos ed. s.l.:Lopo & Franco - estúdio gráfico. lda.
- Moldex 3D, 2016. *Use Boundary Layer Mesh (BLM) for Complex Geometries to Ensure Accuracy of Mold-Filling Analyses*. [Online]  
Available at: <http://www.moldex3d.com/en/newsletter/use-boundary-layer-mesh-blm-for-complex-geometries-to-ensure-accuracy-of-mold-filling-analyses>
- Neto, H., 2014. *Um Olhar Sobre a Indústria de Moldes*. Guilherme Valente ed. São Pedro de Moel: gradiva.

Reis, L. M. R., 2014. *Aplicação de Algoritmos para geração automática de malhas de elementos finitos*, Lisboa, Portugal: Tese de Mestrado em engenharia Mecânica, Instituto Superior Técnico.

Soares, P., 2009. *Aços para Ferramentas - Características, Tratamentos, Aplicações*. 5ª ed. Porto: Engbook.

SolidWorks, 2006. *The COSMOS Companion - Modeling Contact in COSMOSWorks*, s.l.: s.n.

## ANEXO A

ET 9.24	<b>Especificação Técnica</b>	 ENGENHARIA E FABRICAÇÃO DE MOLDES
Revisão 4		
Data: 18-12-2014		
<b>Tolerância de Cotas</b>		
<b>Objetivo / Âmbito:</b> Estabelecer as tolerâncias das cotas das principais peças constituintes dos moldes		

**Descrição:**

O quadro seguinte estabelece, para as situações em que se verifica interligação das peças, as tolerâncias admissíveis e as respetivas cotas finais.

POSTO DE TRABALHO	TIPO DE OPERAÇÃO	DESCRIÇÃO	V. NOMINAL	A – VALOR NOMINAL ± VALOR INDICADO (SOBRE-ESPESSURA)	TOLERÂNCIAS (SOBRE O VALOR DE A)	COR INDICADA NA SUPERFÍCIE DO FICHEIRO 3D
GALGAMENTO DESBASTE FRESAGEM E TORNEAMENTO	GALGAMENTO DE ESTRUTURAS	ESPESSURA	VARIÁVEL	0 a 0.4 mm	+ 0.4mm	Aço 1
		TOPOS	VARIÁVEL	0.4 a 0.5 mm	± 0.4 mm	Aço 1
	TORNEAMENTO	TOPOS	VARIÁVEL	0 a 0.4 mm	+ 0.4 mm	Aço 2
		DIÂMETROS	VARIÁVEL	0 a - 0.4 mm	- 0.4 mm	Folga
	DESBASTE DE ESTRUTURAS	FURAÇÃO DE GUIÁS E CASQUILHOS	VARIÁVEL	0.5 a 0.8 mm	± 0.4 mm	H7
		FUROS DE PASSAGEM (PARAFUSOS, HASTES, ETC)	∅ - 1 mm - 10 mm	0 a 0.3 mm	± 0.3 mm	Folga
		FUROS DE PASSAGEM (PARAFUSOS, HASTES, ETC)	∅ > 1∅ mm	0 a 1 mm	± 1 mm	
		CAIXAS	VARIÁVEL	0.5 a 0.8 mm	± 0.4 mm	Justamento Folga Tolerância
	DESBASTE DE ZONAS MOLDANTES QUE VÃO LEVAR TRATAMENTO TÉRMICO	ZONA MOLDANTE E DE AJUSTAMENTO	VARIÁVEL	DEFINIDO CASO A CASO PELA SECÇÃO DE CAM	± 0.4 mm	Moldante 1    Moldante 2 Moldante 3    Moldante 4 Moldante 5    Moldante 6 Moldante 7    Moldante 8 Moldante 9    Moldante 10 Justamento

		FURAÇÕES PARA ACABAMENTO GUIAS E CASQUILHOS	VARIÁVEL	0.4 a 0.8 mm	0.4 mm	H7	
		FURAÇÕES FINAIS DE PASSAGENS DE PARAFUSOS, HASTES, ETC.	$\varnothing_{\text{ac}} 1 \text{ mm} - 10 \text{ mm}$	0 a 0.3 mm	0.3 mm	Folga	
	$\varnothing \geq 10 \text{ mm}$		0 a 1 mm	1 mm			
	FURAÇÕES	PROFUNDIDADE DOS FUROS	VARIÁVEL	...	$\pm 3 \text{ mm}$	Rosca Águas 1 Águas 2 Águas 3 Águas 4 Óleos IN Óleos OUT Ar Comprimido	
		FUROS PARA ROSCAR	VARIÁVEL	...	$\pm 0.3 \text{ mm}$	Rosca Águas 1 Águas 2 Águas 3 Águas 4 Óleos IN Óleos OUT Ar Comprimido	
	DESBASTE DE ZONAS	FURAÇÕES PARA ACABAMENTO	VARIÁVEL	0.4 a 0.8 mm	$\pm 0.4 \text{ mm}$	H7	
		FURAÇÕES FINAIS DE	$\varnothing_{\text{ac}} 1 \text{ mm} - 10 \text{ mm}$	0 a 0.3 mm	$\pm 0.3 \text{ mm}$	Folga	
		MOLDANTES PRÉ-TRATADAS	PASSAGENS DE PARAFUSOS, HASTES, ETC.	$\varnothing \geq 10 \text{ mm}$	0 a 1 mm	$\pm 1 \text{ mm}$	
	RETIFICAÇÃO	RETIFICAÇÃO DE PLANOS	RETIFICAÇÃO DE PLANOS	VARIÁVEL	NA	+ 0.02 mm	Aço 1 Aço 1 Aço 1 Aço 2
	ACABAMENTO POR FRESAGEM E EROÇÃO PENETRAÇÃO E FIO	ACABAMENTO DE ESTRUTURAS	FURAÇÃO DE GUIAS E CASQUILHOS	VARIÁVEL	NA	CONFORME TABELA TOLERANCIAS ISO FUROS	H7
FUROS DE PASSAGEM (PARAFUSOS, HASTES, ETC)			$\varnothing_{\text{ac}} 1 \text{ mm} - 10 \text{ mm}$	0 a 0.3 mm	$\pm 0.3 \text{ mm}$	Folga	
			$\varnothing \geq 10 \text{ mm}$	0 a 1 mm	$\pm 1 \text{ mm}$		
CAIXAS DE O'RINGS, CAIXAS DE POSTIÇOS E ZONAS DE ENCAIXE			VARIÁVEL	-0.02 mm a 0.05 mm	$\pm 0.02 \text{ mm}$	Folga Tolerância	
CAIXAS POSTIÇOS E ZONAS DE ENCAIXE	VARIÁVEL	NA	$\pm 0.02 \text{ mm}$	H7 Justamento			

ACABAMENTO DE PEÇAS COM ZONAS MOLDANTES	ZONA MOLDANTE	VARIÁVEL	NA	$\pm 0.05$ mm	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%;">Moldante 1</div> <div style="width: 50%;">Moldante 2</div> <div style="width: 50%;">Moldante 3</div> <div style="width: 50%;">Moldante 4</div> <div style="width: 50%;">Moldante 5</div> <div style="width: 50%;">Moldante 6</div> <div style="width: 50%;">Moldante 7</div> <div style="width: 50%;">Moldante 8</div> <div style="width: 50%;">Moldante 9</div> <div style="width: 50%;">Moldante 10</div> </div>
	CAIXAS DE O-RINGS, CAIXAS DE POSTIÇOS E ZONAS DE ENCAIXE	VARIÁVEL	-0.02 mm a 0.05 mm	$\pm 0.02$ mm	Folga Tolerância
	ZONA DE JUSTAMENTO	VARIÁVEL	NA	$\pm 0.02$ mm	Justamento
	FURAÇÃO PARA ACABAMENTO GUIAS E CASQUILHOS	VARIÁVEL	NA	CONFORME TABELA TOLERANCIAS ISO FUROS	H7
	FURAÇÕES FINAIS DE PASSAGEM PARAFUSOS, HASTES, ETC.	$\varnothing < 1$ mm - 10 mm $\varnothing \geq 10$ mm	$0 \pm 0.3$ mm $0 \pm 1$ mm	$\pm 0.3$ mm $\pm 1$ mm	Folga

Sempre que o Projeto considere mais adequado, para uma determinada peça, a utilização de tolerâncias diferentes das indicadas no quadro, o valor das mesmas será indicado no respetivo desenho.

Preparado por: Produção

Aprovado por: Raquel Frade



## APÊNDICE A

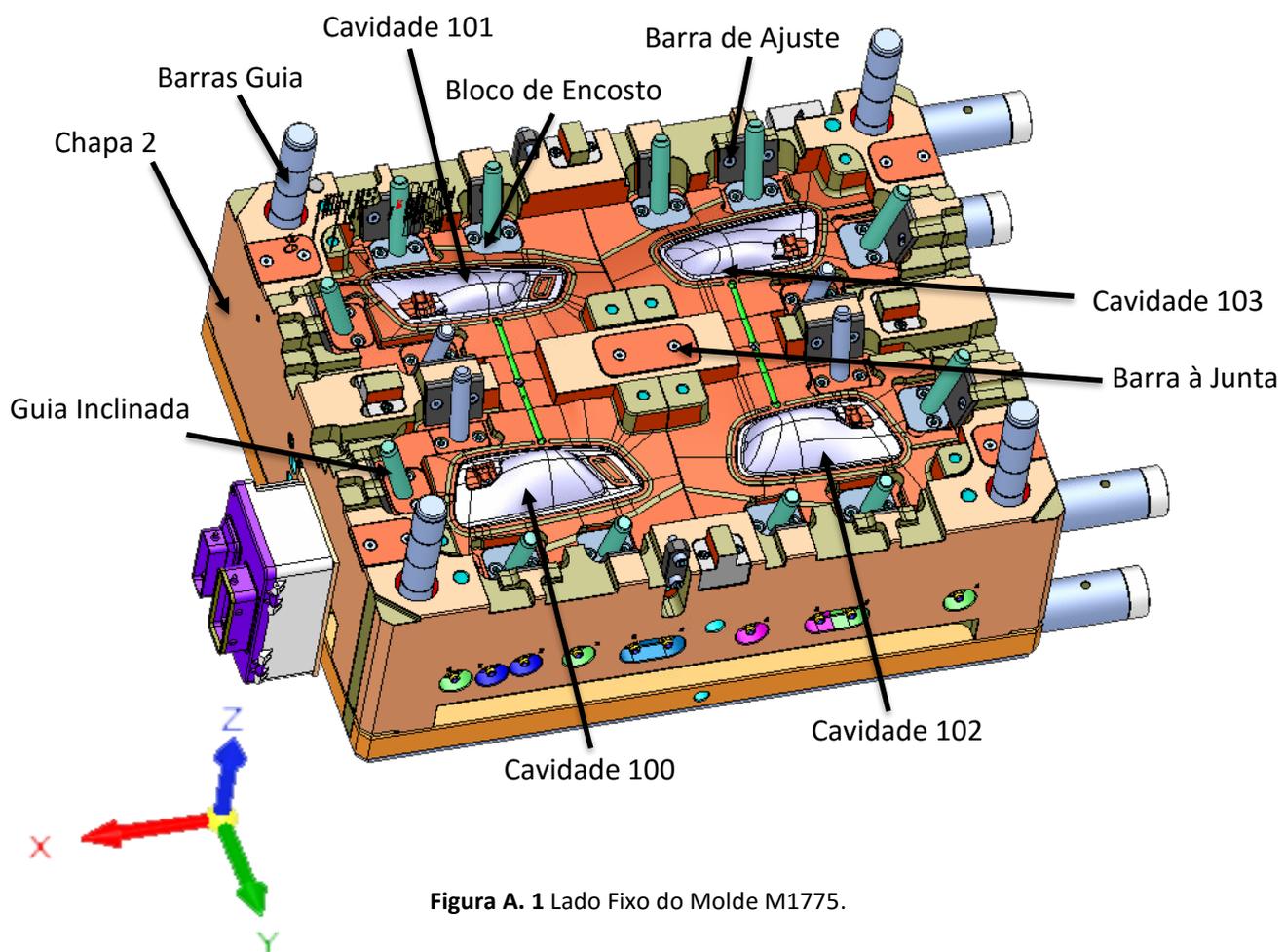


Figura A. 1 Lado Fixo do Molde M1775.

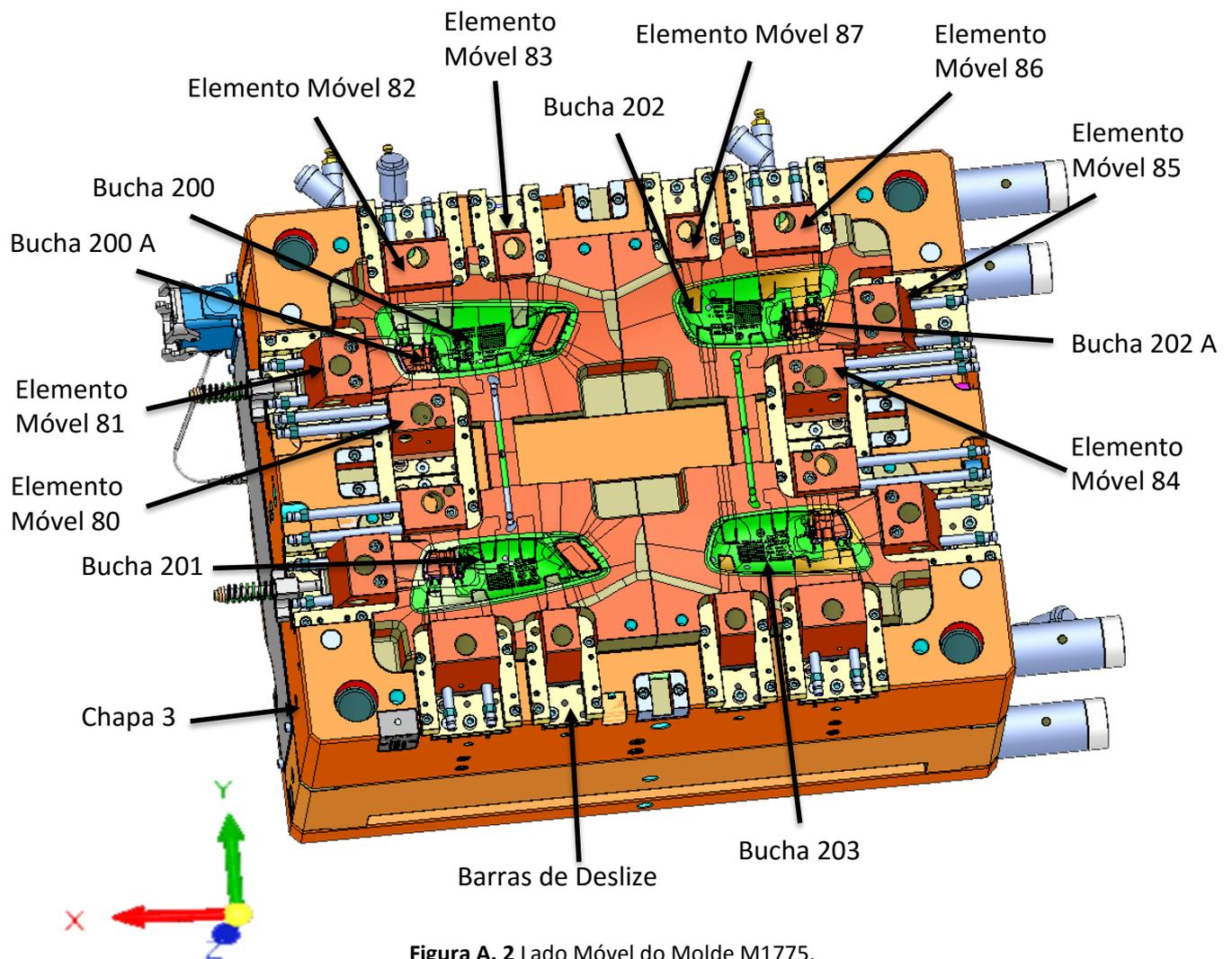


Figura A. 2 Lado Móvel do Molde M1775.