



isec

Engenharia

MESTRADO EM ENGENHARIA
MECÂNICA

**Projeto e Fabrico de um Molde para
Injeção de Termoplásticos**

DEFINITIVO

Autor

Alexandre Vieira Pires

Orientadores

Prof. Doutor Fernando António Gaspar Simões

Prof. Doutor Pedro Miguel Soares Ferreira

Coimbra, janeiro 2021

INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA



isec

Engenharia

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Projeto e Fabrico de um Molde para Injeção de Termoplásticos

Relatório de Trabalho de Projeto para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Especialização em Construção e Manutenção de Equipamentos Mecânicos

Autor

Alexandre Vieira Pires

Orientadores

Prof. Doutor Fernando António Gaspar Simões

Prof. Doutor Pedro Miguel Soares Ferreira

Coimbra, janeiro 2021

Agradecimentos

Ao longo de todo o percurso percorrido na elaboração deste trabalho, foram recebidos vários contributos de muitas pessoas. Desta forma, quero expressar o mais honesto agradecimento a todas as entidades e pessoas que, com a sua essencial colaboração, permitiram que a realização deste trabalho fosse possível.

Aos meus orientadores, Doutor Fernando António Gaspar Simões e Doutor Pedro Miguel Soares Ferreira, pela sua inteira disponibilidade quer pessoalmente, quer por telefone ou por mail, pela sua dedicação e preocupação que mostraram ao longo deste percurso. Mais importante ainda dizer que para além de dois grandes professores profissionais, se tornaram dois admiráveis amigos por todo o companheirismo que se criou ao longo de todo o percurso.

Ao meu cunhado Engenheiro Rúben Santos que ao trabalhar na área dos moldes, transmitiu a sua sábia experiência e todos os conhecimentos adquiridos que foi um importante suporte para a realização deste trabalho.

Ao Engenheiro Paulo Amaro por todo o apoio dado ao longo do fabrico do molde e todos os valiosos conselhos transmitidos.

Ao Sr. Sérgio Heleno, sócio gerente da empresa IMC – Injection Mold Consulting por todas as sensatas ideias referidas no início do projeto que se tornaram imprescindíveis no desenvolver do trabalho.

Ao CENTIMFE – Centro Tecnológico da Indústria de Moldes, Ferramentas Especiais e Plásticos por toda a entrega e cooperação ao disponibilizar a máquina de injeção para o teste das primeiras peças teste.

À empresa Paralelocontrol situada na Marinha grande, que se ofereceu para executar o corte e ajuste dos extratores e pernos retorno.

A toda a minha família principalmente aos meus pais e à minha irmã pelo seu apoio incondicional ao longo de todo este percurso académico, sem eles nada disto seria possível.

À minha namorada Inês por todo o apoio, carinho, compreensão e paciência que demonstrou ao longo desta fase.

Por fim um enorme agradecimento a todos os meus amigos e colegas por toda a ajuda, amizade e solidariedade que foram essenciais para a conclusão do curso.

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo analisar todas as etapas de projeto e de fabrico de um molde para injeção de termoplásticos. O trabalho centra-se no estudo de um molde com o propósito de produzir pequenas peças plásticas, focando-se em todas as etapas subsequentes até se obter as peças físicas.

A seleção da peça a moldar teve como condição eleger um objeto que permita aplicar os princípios utilizados na indústria para o fabrico de moldes, mas que não exija no molde elementos móveis ou balancés com zonas negativas na peça (contra saídas). Simultaneamente, pretende-se que a peça apresente utilidade para o Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Pelos motivos enunciados, foi decidido projetar e construir um molde para produzir uma peça que represente uma ferramenta não funcional alusiva à Engenharia Mecânica, a qual seja bastante semelhante a uma chave de bocas e que possa ser utilizada como porta-chaves a utilizar como “Merchandising” pelo ISEC.

De modo a permitir uma melhor compreensão do trabalho para todos aqueles que não centram a sua atividade profissional na indústria dos moldes, é efetuada uma apresentação inicial dos principais conceitos da área dos moldes.

No decorrer deste trabalho é analisada a fase inicial de anteprojecto de um molde, em que se prepara e estuda o modelo da peça tendo em conta todos os fatores condicionantes. Seguidamente, o desenvolvimento do projeto do molde refere o procedimento da fase de desenho e estudo da estrutura do molde, recorrendo também à incorporação no molde de elementos normalizados disponíveis comercialmente no mercado. Após esta etapa, é utilizado um *software* que permite efetuar a simulação da injeção e arrefecimento da peça moldada.

Na parte final do trabalho, são apresentadas as sucessivas etapas do fabrico do molde, desde a maquinaria de chapas e todos os elementos, até à montagem e ensaio do molde, pronto para a injeção das peças.

Palavras chave: molde, projeto, desenho, fabrico, injeção.

Abstract

The present work aims to analyse all the design and manufacturing steps of a thermoplastic injection mold. The work focuses on the study of a mold for the purpose of producing small plastic parts, focusing on all subsequent steps until the physical parts are obtained.

The selection of the part to be molded had as a condition to choose an object that allows the application of the principles used in the industry for the manufacture of molds, but that does not require slides or racks with negative zones in the part. At the same time, the piece is intended to be useful for the Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. For these reasons, it was decided to design and build a mold to produce a part that represents a non-functional tool alluding to Mechanical Engineering, which is very similar to a wrench and can be used as a keychain to use as “Merchandising” by ISEC.

In order to allow a better understanding of the work for all those who do not focus their professional activity in the mold industry, an initial presentation of the main concepts of the mold area is given.

In the course of this work we analyse the initial design phase of a mold, which prepares and studies the model of the part taking into account all the conditioning factors. Subsequently, the development of the mold design refers to the procedure of the design phase and study of the mold structure, also using the incorporation in the mold of commercially available standard elements. After this step, software is used to simulate injection molding and cooling of the molded part.

In the final part of the work, the successive steps of the mold manufacturing are presented, from the machining of plates and all the elements, to the assembly and testing of the mold, ready for the injection of the parts.

Keywords: mold, design, manufacture, injection

Índice

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABELAS	XV
SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS	XVII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 A Indústria Portuguesa dos Moldes para Termoplásticos	1
1.2 Objetivos e metodologia do trabalho	4
1.3 Estrutura do trabalho	4
2 ESTRUTURA USUAL DE UM MOLDE	7
2.1 Placas da estrutura de um molde (Chapas)	8
2.2 Elementos redondos	9
2.3 Elementos de transporte	10
2.4 Elementos de guiamento	11
2.5 Elementos de imobilização	12
2.6 Elementos de ligação	14
2.7 Elementos de injeção e extração	16
2.8 Elementos de refrigeração	18
3 ANTEPROJETO DO MOLDE	21
3.1 Introdução	21
3.2 Análise da geometria da peça	21
3.3 Características da máquina de injeção	23
3.4 Caracterização do polímero a injetar	24
3.5 Força de fecho necessária	27
3.6 Contração da peça no arrefecimento	28
3.7 Modelação da bucha e cavidade	29
3.7.1 Etapas do processo de modelação	29
3.7.1.1 Definição da linha de junta na peça	29
3.7.1.2 Gerar uma superfície na linha de junta	30
3.7.1.3 Tapar furos existentes na peça	31
3.7.1.4 Criar geometria da bucha e cavidade	32
3.7.1.5 Preparação dos postigos finais	32
4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DO MOLDE	37
4.1 Materiais metálicos do molde	37
4.1.1 Estrutura	37
4.1.2 Postigos da bucha e cavidade	38
4.2 Desenho do Molde	39
4.2.1 Software de modelação do molde	39
4.2.2 Construção do modelo	40
4.2.3 Estrutura, guiamento e centragem	43
4.2.4 Sistema de alimentação	54
4.2.5 Sistema de extração	64

4.2.6	Sistema de refrigeração	73
4.2.7	Elementos de transporte, segurança e identificação do molde	78
4.3	Verificação estrutural do dimensionamento do molde	81
4.3.1	Resistência da cavidade à pressão de injeção	81
4.3.2	Área dos calços de suporte	86
4.3.3	Cálculo da espessura média da peça	89
4.3.4	Dimensionamento da força de extração	92
4.3.5	Dimensionamento do extratores	94
4.3.6	Dimensionamento da secção dos canais de injeção	95
4.3.7	Balanço térmico do molde	98
4.3.7.1	Cálculo do diâmetro dos canais de refrigeração	99
4.4	Simulação da injeção das peças	107
4.4.1	Funcionalidades do software utilizado	107
4.4.2	Preparação do modelo	108
4.4.3	Malhagem do modelo 3D	111
4.4.4	Definição de materiais e fluido de refrigeração	112
4.4.5	Definição dos parâmetros de processo	114
4.4.6	Condições fronteira	117
4.4.7	Resultados obtidos na simulação da injeção	118
5	FABRICO DO MOLDE	129
5.1	Maquinagem do Molde	129
5.1.1	Postiços de injeção	129
5.1.2	Postiços da bucha/Cavidade	131
5.1.3	Chapa n.º 3 (Chapa das buchas)	135
5.1.4	Chapa n.º 5 e n.º 6 (Calços)	138
5.1.5	Chapa n.º 7 (Chapa dos extratores)	138
5.1.6	Chapa n.º 8 (Chapa de aperto dos extratores)	139
5.1.7	Chapa n.º 9 (Chapa inferior de aperto)	140
5.1.8	Chapa n.º 2 (Chapa das cavidades)	141
5.1.9	Chapa 1 (Chapa superior de aperto)	143
5.1.10	Maquinagem das caixas dos interlocks e fugas de ar	143
5.2	Trabalho de bancada	144
6	TESTE E INJEÇÃO DO MOLDE	147
6.1	Montagem e preparação do molde na máquina de injeção	147
6.2	Injeção das peças	149
7	ESTIMATIVA DE CUSTOS DO MOLDE	151
8	CONCLUSÃO	155
BIBLIOGRAFIA		159
9	ANEXOS	163

Índice de Figuras

FIGURA 1.1 - BALANÇA COMERCIAL NO MOLDES (CEFAMOL, 2018).	2
FIGURA 1.2 - DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DA EXPORTAÇÃO NOS MOLDES (CEFAMOL, 2018).	3
FIGURA 2.1 - ESTRUTURA DE UM MOLDE DE INJEÇÃO.	7
FIGURA 2.2 - NUMERAÇÃO DAS CHAPAS CONSTITUINTES DE UM MOLDE.	8
FIGURA 2.3 - ELEMENTOS REDONDOS: ANEL DE CENTRAGEM (A) E SUPORTES (B) (MOLDES, 2019).	10
FIGURA 2.4 - ACESSÓRIOS DE TRANSPORTE: OLHAL (MOLDES, 2019).	11
FIGURA 2.5 - ACESSÓRIOS DE GUIAMENTO: GUIAS PRINCIPAIS (A) E CASQUILHOS DAS GUIAS (B) (MOLDES, 2019).	12
FIGURA 2.6 - ACESSÓRIOS DE IMOBILIZAÇÃO: BARRA DE FECHO (A) E BLOCOS DE TRAVAMENTO LATERAIS (B) (MOLDES, 2019).	13
FIGURA 2.7 - ACESSÓRIOS DE IMOBILIZAÇÃO: PERNOS DE RETORNO (MOLDES, 2019).	14
FIGURA 2.8 - ACESSÓRIOS DE LIGAÇÃO: PARAFUSOS DE CABEÇA CILÍNDRICA (A) E PARAFUSOS DE CABEÇA CÔNICA (B) (MOLDES, 2019).	15
FIGURA 2.9 - ACESSÓRIOS DE LIGAÇÃO: ANILHAS (MOLDES, 2019).	15
FIGURA 2.10 - ACESSÓRIOS DE INJEÇÃO E EXTRAÇÃO: INJETOR PRINCIPAL (A) E GUIAS DAS CHAPAS DE EXTRAÇÃO (B) (MOLDES, 2019).	16
FIGURA 2.11 - ACESSÓRIOS DE INJEÇÃO E EXTRAÇÃO: CASQUILHOS DAS CHAPAS DE EXTRAÇÃO (A) E EXTRATORES TUBULARES (B) (MOLDES, 2019).	17
FIGURA 2.12 - ACESSÓRIOS DE REFRIGERAÇÃO: BOCAIS RÁPIDOS (A) E VEDANTE (O'RING) (B) (MOLDES, 2019).	18
FIGURA 2.13 - ACESSÓRIOS DE REFRIGERAÇÃO: TAMPÕES (MOLDES, 2019).	19
FIGURA 3.1 - VISTA ISOMÉTRICA DA GEOMETRIA INICIAL DA PEÇA A SER INJETADA.	22
FIGURA 3.2 - MÁQUINA DE INJEÇÃO DEMAG D 100 - 275 NCIII.	23
FIGURA 3.3 - ESTRUTURA QUÍMICA DO POLIPROPILENO (SMITH, 1998).	25
FIGURA 3.4 – RESULTADO DA ANÁLISE DOS ÂNGULOS DAS SUPERFÍCIES DA PEÇA ATRAVÉS DE CORES.	30
FIGURA 3.5 - REPRESENTAÇÃO DO <i>LOFT</i> DA PEÇA A INJETAR.	31
FIGURA 3.6 - REPRESENTAÇÃO DA PELÍCULA TOTALMENTE CONSTRUÍDA.	31
FIGURA 3.7 - BUCHA E CAVIDADE DA PEÇA A INJETAR.	32
FIGURA 3.8 - DISPOSIÇÃO DAS QUATRO PEÇAS PARA A MONTAGEM.	33
FIGURA 3.9 - A) POSTIÇO DA BUCHA B) BLOCO DO POSTIÇO DA BUCHA.	34
FIGURA 3.10 - POSTIÇO DA CAVIDADE B) BLOCO DO POSTIÇO DA CAVIDADE.	34
FIGURA 3.11 - CONJUNTO FINAL DA BUCHA E CAVIDADE PARA PRODUIR 4 PEÇAS EM SIMULTÂNEO.	35
FIGURA 4.1 - DESIGNAÇÃO DE CADA SÓLIDO PARA A CRIAÇÃO DOS POSTIÇOS.	42

FIGURA 4.2 - DEFINIÇÃO DO SISTEMA DE COORDENADAS DO MOLDE.	42
FIGURA 4.3 - CONFIGURAÇÕES PARA: ESCOLHA DAS CHAPAS DO MOLDE (A) E ESCOLHA DAS ESPESSURAS DAS CHAPAS DO MOLDE (B).	44
FIGURA 4.4 - VISUALIZAÇÃO 3D DO MOLDE AO LONGO DAS CONFIGURAÇÕES.	45
FIGURA 4.5 - MODELO DO MOLDE INICIAL.	45
FIGURA 4.6 - LADO DA INJEÇÃO DO MOLDE.	46
FIGURA 4.7 - LADO DA EXTRAÇÃO DO MOLDE.	46
FIGURA 4.8 - ESQUEMA DA GUIA PRINCIPAL HASCO Z00/L1×D1×L2 (HASCO, 2019).	47
FIGURA 4.9 - VISUALIZAÇÃO DO MOLDE COM AS 3 GUIAS DE IGUAL DIÂMETRO.	48
FIGURA 4.10 - VISUALIZAÇÃO DA GUIA DE DIÂMETRO DIFERENTE.	48
FIGURA 4.11 - ESQUEMA DO CASQUILHO DA GUIAS HASCO Z10/L2×D1 (HASCO, 2019).	49
FIGURA 4.12 - VISUALIZAÇÃO DO MOLDE COM TRÊS CASQUILHOS DE 24 MM DE DIÂMETRO.	49
FIGURA 4.13 - VISUALIZAÇÃO DO CASQUILHO DE DIÂMETRO DIFERENTE.	50
FIGURA 4.14 - ESQUEMA DOS CASQUILHOS DE CENTRAGEM HASCO Z20/D3×L1 (HASCO, 2019).	50
FIGURA 4.15 - VISUALIZAÇÃO DA MODIFICAÇÃO NO COMPRIMENTO DOS CASQUILHOS DE CENTRAGEM.	51
FIGURA 4.16 - <i>INTERLOCKS</i> HASCO Z086/B1×B2 (HASCO, 2019).	51
FIGURA 4.17 - VISUALIZAÇÃO DOS <i>INTERLOCKS</i> NO MOLDE.	52
FIGURA 4.18 - REPRESENTAÇÃO DOS RASGOS DE DESMONTAGEM DAS CHAPAS NO MOLDE.	52
FIGURA 4.19 - REPRESENTAÇÃO DAS DIMENSÕES DO RASGO.	53
FIGURA 4.20 - REPRESENTAÇÃO DOS PARAFUSOS DE APERTO DOS POSTIÇOS.	53
FIGURA 4.21 - VISUALIZAÇÃO DO MOLDE LADO DA EXTRAÇÃO, APÓS A COLOCAÇÃO DOS PARAFUSOS M5 E FUIROS M8.	54
FIGURA 4.22 - CLASSIFICAÇÃO DA GEOMETRIA DOS CANAIS DE ALIMENTAÇÃO (CORPORATION, 2006).	55
FIGURA 4.23 - CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO TIPO DE ATAQUE (BEAUMONT, 2019).	56
FIGURA 4.24 - ANEL DE CENTRAGEM HASCO Z7515/D1×H1 (HASCO, 2019).	57
FIGURA 4.25 - BICO DE INJEÇÃO HASCO Z51/D2×L1×D1×SR1 (HASCO, 2019).	57
FIGURA 4.26 - POSICIONAMENTO DO ANEL DE CENTRAGEM E DO BICO DE INJEÇÃO NO MOLDE.	58
FIGURA 4.27 – VISUALIZAÇÃO DO BICO DE INJEÇÃO NO LADO DA INJEÇÃO DO MOLDE.	58
FIGURA 4.28 - ESQUEMA DO CANAL DE ALIMENTAÇÃO PROJETADO INICIALMENTE NO LADO DA EXTRAÇÃO DO MOLDE.	59
FIGURA 4.29 - ESQUEMA DO CANAL DE ALIMENTAÇÃO PRINCIPAL E CANAL DE INJEÇÃO SUBMARINA, REPRESENTADO NO LADO DA EXTRAÇÃO DO MOLDE.	60
FIGURA 4.30 - ESQUEMA DO CANAL DE ALIMENTAÇÃO SECUNDÁRIO, REPRESENTADO NO LADO DA INJEÇÃO DO MOLDE.	60
FIGURA 4.31 - LADO DA EXTRAÇÃO DO MOLDE COM OS POSTIÇOS DE INJEÇÃO.	61
FIGURA 4.32 - ÁRVORE DE OPERAÇÕES DO <i>MOLDWORKS</i> PARA DEFINIR OS CANAIS DE ALIMENTAÇÃO E CANAL PRINCIPAL REPRESENTADO NA PLACA E POSTIÇOS DA BUCHA.	62

FIGURA 4.33 - VISUALIZAÇÃO DOS CANAIS DE ALIMENTAÇÃO SECUNDÁRIOS DO LADO DA INJEÇÃO.	62
FIGURA 4.34 - ÁRVORE DE OPERAÇÕES DO <i>MOLDWORKS</i> NA ESCOLHA DA GEOMETRIA DO CANAL DE INJEÇÃO SUBMARINA E LOCALIZAÇÃO NO MOLDE.	63
FIGURA 4.35 - VISTA EM CORTE DO CANAL DE ALIMENTAÇÃO, COM REALCE PARA O CANAL DE INJEÇÃO SUBMARINA E PONTO DE CONTACTO DO CANAL COM A CAVIDADE DA PEÇA A MOLDAR.	64
FIGURA 4.36 - ESQUEMA DO EXTRATOR CILÍNDRICO HASCO Z40/D1XL1 (HASCO, 2019).	66
FIGURA 4.37 - VISUALIZAÇÃO DO LADO DA EXTRAÇÃO DO MOLDE APÓS A COLOCAÇÃO DOS PERNOS DE RETORNO.	66
FIGURA 4.38 - VISTA EM CORTE DOS PERNOS DE RETORNO NO MOLDE COM A RESPETIVA FIXAÇÃO NAS PLACAS DE EXTRAÇÃO.	67
FIGURA 4.39 - ESQUEMA DA GUIA DE EXTRAÇÃO HASCO Z0100/D1×L1 (HASCO, 2019).	67
FIGURA 4.40 - ESQUEMA DOS CASQUILHOS DAS GUIAS DE EXTRAÇÃO HASCO (HASCO, 2019).	68
FIGURA 4.41 - VISUALIZAÇÃO DO LADO DA EXTRAÇÃO DO MOLDE APÓS A COLOCAÇÃO DAS GUIAS E CASQUILHOS DE EXTRAÇÃO.	68
FIGURA 4.42 - VISTA EM CORTE DAS GUIAS E CASQUILHOS DE EXTRAÇÃO NO MOLDE.	69
FIGURA 4.43 - ESQUEMA DOS EXTRATORES HASCO Z40/D1×L1 (HASCO, 2019).	69
FIGURA 4.44 - VISUALIZAÇÃO DA DISPOSIÇÃO DOS EXTRATORES NA PEÇA A MOLDAR E NOS CANAIS DE ALIMENTAÇÃO.	70
FIGURA 4.45 - VISUALIZAÇÃO DA POSIÇÃO DOS EXTRATORES NAS PEÇAS.	71
FIGURA 4.46 - VISTA EM CORTE DOS EXTRATORES NO MOLDE.	71
FIGURA 4.47 - ESQUEMA DOS SUPORTES HASCO Z57/D1×H1 (HASCO, 2019).	72
FIGURA 4.48 - VISUALIZAÇÃO DO SISTEMA DE EXTRAÇÃO DO MOLDE.	72
FIGURA 4.49 - VISTA DE TOPO DO TERCEIRO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO DO LADO DA EXTRAÇÃO.	74
FIGURA 4.50 - VISTA DE TOPO DO QUARTO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO DO LADO DA EXTRAÇÃO.	75
FIGURA 4.51 - PRIMEIRO E SEGUNDO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO DO LADO DA INJEÇÃO.	75
FIGURA 4.52 - BOCAIS DE LIGAÇÃO HASCO Z81/D4×D7 (HASCO, 2019).	76
FIGURA 4.53 - TAMPÕES HASCO Z9400/10 (HASCO, 2019).	76
FIGURA 4.54 - ESQUEMA DOS O-RINGS HASCO Z9400/D1×D2 (HASCO, 2019).	77
FIGURA 4.55 - PRIMEIRO E SEGUNDO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO COM OS ACESSÓRIOS COLOCADOS.	77
FIGURA 4.56 - BOCAIS DE LIGAÇÃO DA REFRIGERAÇÃO NO MOLDE.	78
FIGURA 4.57 - REPRESENTAÇÃO DO MOLDE APÓS A COLOCAÇÃO DOS FUROS DE OLHAL.	79
FIGURA 4.58 - ESQUEMA DO DISPOSITIVO DE SEGURANÇA HASCO Z13/H1×B1×L1 (HASCO, 2019).	79
FIGURA 4.59 - VISUALIZAÇÃO DO MOLDE APÓS A COLOCAÇÃO DA BARRA DE SEGURANÇA.	80
FIGURA 4.60 – CHAPA DE IDENTIFICAÇÃO DO MOLDE (A) E VISUALIZAÇÃO DO MOLDE APÓS COLOCAÇÃO DA CHAPA DE IDENTIFICAÇÃO (B).	80
FIGURA 4.61 – REPRESENTAÇÃO DA CAVIDADE DO MOLDE E RESPETIVAS DIMENSÕES (HARADA, 2004).	82

FIGURA 4.62 - DIMENSÃO DA CAVIDADE EQUIVALENTE À PEÇA, PARA EFEITOS DE CÁLCULO DA ESPESSURA DA PAREDE DA CAVIDADE.	85
FIGURA 4.63 - REPRESENTAÇÃO DA CARGA EXERCIDA NA PLACA SUPORTE DO MOLDE (HARADA, 2004).	87
FIGURA 4.64 - REPRESENTAÇÃO DO POSTIÇO DO MOLDE E PLACA ONDE ESTÁ INSERIDO.	88
FIGURA 4.65 - REPRESENTAÇÃO DA PLACA DA CAVIDADE E CALÇOS DO MOLDE.	88
FIGURA 4.66 - DIMENSÕES RELATIVAS À ESPESSURA DA PEÇA.	89
FIGURA 4.67 - SEPARAÇÃO DA PEÇA EM TRÊS PARTES.	90
FIGURA 4.68 - MEDIÇÕES OBTIDAS ATRAVÉS DOS <i>SOLIDWORKS</i> DO CONJUNTO.	90
FIGURA 4.69 - MEDIÇÕES OBTIDAS ATRAVÉS DOS <i>SOLIDWORKS</i> DA PARTE CENTRAL.	90
FIGURA 4.70 - MEDIÇÕES OBTIDAS ATRAVÉS DOS <i>SOLIDWORKS</i> DA PARTE DA BOCA.	91
FIGURA 4.71 - MEDIÇÕES OBTIDAS ATRAVÉS DOS <i>SOLIDWORKS</i> DA PARTE DO ANEL.	91
FIGURA 4.72 - CONSTANTE DEPENDENTE DO TIPO DE CONEXÕES TERMINAIS DA COLUNA/EXTRATOR (ROSATO, 2000)	95
FIGURA 4.73 - CANAIS DE ALIMENTAÇÃO PRINCIPAL E SECUNDÁRIO.	96
FIGURA 4.74 – DIÂMETRO DO ALIMENTADOR EM FUNÇÃO DO PESO DA MOLDAÇÃO.	97
FIGURA 4.75 – FATOR DE CORREÇÃO EM RELAÇÃO AO COMPRIMENTO DO ALIMENTADOR.	97
FIGURA 4.76 - PROCESSOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR OCORRIDOS NO MOLDE (ALMEIDA, 2016).	100
FIGURA 4.77 - MODELO 3D DA CAVIDADE.	108
FIGURA 4.78 - MODELO 3D DA BUCHA.	109
FIGURA 4.79 - MODELO 3D DO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO.	109
FIGURA 4.80 - MODELO 3D DA INJEÇÃO.	110
FIGURA 4.81 - MODELO 3D FINAL.	110
FIGURA 4.82 - DEFINIÇÃO DE CADA SÓLIDO NO <i>PLASTICS</i> .	111
FIGURA 4.83 - ESCOLHA DO TAMANHO E TIPO DE ELEMENTO FINITO.	112
FIGURA 4.84 - SELEÇÃO DO TIPO DE POLÍMERO A INJETAR E RESPECTIVAS PROPRIEDADES.	112
FIGURA 4.85 - SELEÇÃO DO FLUIDO DE REFRIGERAÇÃO.	113
FIGURA 4.86 - SELEÇÃO DO MATERIAL DO MOLDE.	113
FIGURA 4.87 - PARÂMETROS RELATIVOS AO MÓDULO: <i>FILL SETTINGS</i> (A) E <i>PACK SETTINGS</i> (B).	115
FIGURA 4.88 - PARÂMETROS RELATIVOS AO MÓDULO: <i>COOL SETTINGS</i> (A) E <i>WARP SETTINGS</i> (B).	116
FIGURA 4.89 - DEFINIÇÃO DO PONTO DE INJEÇÃO.	117
FIGURA 4.90 - INDICAÇÃO DA DIREÇÃO DA FORÇA DE FECHO DO MOLDE.	117
FIGURA 4.91 - CONFIGURAÇÕES DAS CONDIÇÕES FRONTEIRAS RELATIVAS À ENTRADA DE ÁGUA.	118
FIGURA 4.92 - CICLO DE MOLDAGEM POR INJEÇÃO (RESEARCHGATE, 2019).	119
FIGURA 4.93 - REPRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS RELATIVOS AO TEMPO DE ENCHIMENTO.	120
FIGURA 4.94 - REPRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS RELATIVOS À PRESSÃO DE INJEÇÃO NO FINAL DO ENCHIMENTO.	121
FIGURA 4.95 - IDENTIFICAÇÃO DAS <i>AIR TRAPS</i> NAS PEÇAS.	121

FIGURA 4.96 - LINHAS DE SOLDA DAS PEÇAS.	122
FIGURA 4.97 - REPRESENTAÇÃO DO DIAGRAMA DA VARIAÇÃO DA TAXA DE CORTE AO LONGO DA PAREDE DA CAVIDADE (ROSATO, 2000).	123
FIGURA 4.98 - REPRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS RELATIVOS À TAXA DE CORTE.	123
FIGURA 4.99 - REPRESENTAÇÃO DO DIAGRAMA DA VARIAÇÃO DA TENSÃO DE CORTE AO LONGO DE UMA PAREDE (ROSATO, 2000).	124
FIGURA 4.100 - REPRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS RELATIVOS À TENSÃO DE CORTE.	125
FIGURA 4.101 - REPRESENTAÇÃO DA VISTA EM CORTE DA PEÇA.	125
FIGURA 4.102 - REPRESENTAÇÃO DA VARIAÇÃO DA PRESSÃO DE INJEÇÃO.	126
FIGURA 4.103 - REPRESENTAÇÃO DA VARIAÇÃO DA FORÇA DE FECHO.	127
FIGURA 4.104 - TEMPOS DE CADA FASE DO CICLO DE MOLDAGEM.	127
FIGURA 5.1 – DESBASTE DOS POSTIÇOS DE INJEÇÃO (A) E FURAÇÃO E ACABAMENTO DO POSTIÇO DE INJEÇÃO (B).	129
FIGURA 5.2 – DESBASTE DAS SUBMARINAS (A) E ACABAMENTO DAS SUBMARINAS (B).	130
FIGURA 5.3 - CONFIRMAÇÃO DA COTA LATERAL DO POSTIÇO DE INJEÇÃO.	130
FIGURA 5.4 - BLOCO DE ALUMÍNIO PRONTO PARA O FABRICO DO POSTIÇO DA BUCHA (A) E DESBASTE DO POSTIÇO DA BUCHA (B).	131
FIGURA 5.5 - FURACÃO CENTRAL M8, ACABAMENTO DAS CAIXAS DOS POSTIÇOS DE INJEÇÃO (A) E ROSCAGEM MANUAL DOS FUROS M4 (B).	131
FIGURA 5.6 - COLOCAÇÃO DOS POSTIÇOS DE INJEÇÃO.	132
FIGURA 5.7 - RESULTADO DA MAQUINAGEM DAS CAVIDADES E CANAL DE ALIMENTAÇÃO: VISTA DE TOPO (A) E VISTA ISOMÉTRICA (B).	132
FIGURA 5.8 – VISTA DE TOPO DO POSTIÇO DA BUCHA.	133
FIGURA 5.9 – VISTA POSTERIOR DO POSTIÇO DA BUCHA: ANTES DA MAQUINAGEM (A) E COM OS FUROS MAQUINADOS (B).	133
FIGURA 5.10 – VISTA DE TOPO DO POSTIÇO DA CAVIDADE (A) E ROSCAGEM MANUAL DOS FUROS CENTRAIS M8 (B).	134
FIGURA 5.11 – FURAÇÃO DAS ÁGUAS LATERAIS (A) E CHANFRO DOS FUROS LATERAIS (B).	134
FIGURA 5.12 – MACHO MÁQUINA M10 UTILIZADO NA ROSCAGEM DAS LINHAS DE ÁGUA (A) E COLOCAÇÃO DOS TAMPÕES NO POSTIÇO DA BUCHA (B).	135
FIGURA 5.13 – RESULTADO APÓS MAQUINAGEM DA FURAÇÃO DAS ÁGUAS E DO FURO H7/G6 PARA O BICO DE INJEÇÃO.	135
FIGURA 5.14 - RASGO PARA ABERTURA DAS CHAPAS (A) E OPERAÇÃO DE DESBASTE DA CAIXA DO POSTIÇO (B).	136
FIGURA 5.15 – AFINAÇÃO DO POSTIÇO NA CAIXA (A) E RESULTADO DA OPERAÇÃO DE FURAÇÃO DAS ÁGUAS E EXTRATORES (B).	136

FIGURA 5.16 - RESULTADO DA OPERAÇÃO DE FURAÇÃO DOS OLHAIS (A) E GRAVAÇÃO DO FUROS M10 E MAQUINAGEM DOS FUROS PARA A BARRA DE SEGURANÇA (B).	137
FIGURA 5.17 – OPERAÇÃO DE FURAÇÃO DAS ÁGUAS LONGAS (A) E OPERAÇÃO DE ROSCAGEM E GRAVAÇÃO DAS ENTRADAS E SAÍDAS DE ÁGUAS (B).	137
FIGURA 5.18 – OPERAÇÕES DE FURAÇÃO PARA OS FUROS DOS PERNOS DE RETORNO E GUIAS DE EXTRAÇÃO (A) E MANDRILAMENTO DOS FUROS H7/G6 DOS PERNOS DE RETORNO (B).	138
FIGURA 5.19 - ABERTURA DOS RASGOS PARA ABERTURA DE CHAPAS (A) E COLOCAÇÃO DA CHAPA DE IDENTIFICAÇÃO (B).	138
FIGURA 5.20 - RESULTADO FINAL DAS ETAPAS DE MAQUINAGEM NA CHAPA N.º 7.	139
FIGURA 5.21 - RESULTADO FINAL DAS ETAPAS DE MAQUINAGEM NA CHAPA N.º 8.	140
FIGURA 5.22 - RESULTADO DAS ETAPAS DE MAQUINAGEM NA CHAPA N.º 9.	140
FIGURA 5.23 - RESULTADO DA OPERAÇÃO DE DESBASTE, ACABAMENTO E AFINAÇÃO DO POSTIÇO (A) E RESULTADO DA OPERAÇÃO DE FURAÇÃO DAS ÁGUAS, ABERTURA DAS CAIXAS DOS O-RINGS E FURAÇÃO COM FOLGA PARA O BICO DE INJEÇÃO (B)	141
FIGURA 5.24 - FURAÇÃO E ROSCAGEM DOS FUROS DOS OLHAIS (A) E FURAÇÃO LONGA DO CIRCUITO DAS ÁGUAS (B).	141
FIGURA 5.25 – RESULTADO DA OPERAÇÃO DE GRAVAÇÃO DOS M10 DOS OLHAIS E NOMENCLATURA DE IDENTIFICAÇÃO DO DOS CIRCUITOS DAS ÁGUAS DO MOLDE	142
FIGURA 5.26 - RESULTADO DA OPERAÇÃO DE MAQUINAGEM DE UMA CAIXA CIRCULAR PARA REBAIXAMENTO DO BICO DE INJEÇÃO.	142
FIGURA 5.27 – MAQUINAGEM DA CAIXA PARA O ANEL DE CENTRAGEM (A) E COLOCAÇÃO DO ANEL DE CENTRAGEM NA CHAPA (B).	143
FIGURA 5.28 - MAQUINAGEM DAS CAIXAS DOS <i>INTERLOCKS</i> .	144
FIGURA 5.29 - RESULTADO DA MAQUINAGEM DAS FUGAS DE AR.	144
FIGURA 5.30 - MONTAGEM DOS ELEMENTOS NA PARTE DA EXTRAÇÃO DO MOLDE.	145
FIGURA 5.31 - MARCAÇÃO DA CAVIDADE COM ZARCÃO.	146
FIGURA 5.32 – PRIMEIRO RESULTADO DO TESTE DA LINHA DE JUNTA APÓS A MARCAÇÃO DA CAVIDADE COM ZARCÃO.	146
FIGURA 6.1 - PREPARAÇÃO DO MOLDE (A) E TRANSPORTE DO MOLDE, ATRAVÉS DE UMA PONTE ROLANTE, PARA A MÁQUINA DE INJEÇÃO (B).	147
FIGURA 6.2 - FIXAÇÃO DO MOLDE À MÁQUINA DE INJEÇÃO (A) E TESTE DO CIRCUITO DAS ÁGUAS (B).	148
FIGURA 6.3 - TESTE DO CURSO DE EXTRAÇÃO E ABERTURA DO MOLDE.	148
FIGURA 6.4 - RESULTADO DAS PEÇAS TESTE E CANAIS DE ALIMENTAÇÃO NAS PRIMEIRAS INJEÇÕES.	149
FIGURA 6.5 - RESULTADO FINAL DAS PEÇAS TESTE.	150

Índice de Tabelas

TABELA 1.1 - DISTRIBUIÇÃO EM 2016 DO FABRICO DE MOLDES PELOS DIFERENTES SETORES INDUSTRIAIS (CEFAMOL, 2018).	3
TABELA 3.1 – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DA MÁQUINA DE INJEÇÃO DEMAG D 100 - 275 NCIII.	24
TABELA 3.2 – PARÂMETROS DE PROCESSAMENTO DO PP (CAETANO, 2012).	26
TABELA 3.3 – VALOR DAS VARIÁVEIS PARA O CÁLCULO DA FORÇA DE FECHO PARA A PEÇA EM ESTUDO.	28
TABELA 4.1 - CARACTERÍSTICAS DO AÇO ESCOLHIDO PARA A ESTRUTURA DO MOLDE (HASCO, 2019).	38
TABELA 4.2 - CARACTERÍSTICAS DO ALUMÍNIO ESCOLHIDO PARA OS POSTIÇOS DA BUCHA E CAVIDADE DO MOLDE (COPPERMETAL, 2019).	38
TABELA 4.3 - TABELA DE CORES A UTILIZAR NO DESENHO DE MOLDES.	41
TABELA 4.4 - PARÂMETROS NECESSÁRIOS PARA O CÁLCULO DA FORÇA DE EXTRAÇÃO.	93
TABELA 4.5 – PARÂMETROS NECESSÁRIOS PARA O CÁLCULO DO DIÂMETRO DO ALIMENTADOR.	98
TABELA 4.6 - REGRAS DE PROJETO NO SENTIDO DE ACOMODAR OS CANAIS DE REFRIGERAÇÃO BEM COMO ELEMENTOS NORMALIZADOS NOS SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO	104
TABELA 7.1 - CUSTOS ASSOCIADOS ÀS MATÉRIAS-PRIMAS.	151
TABELA 7.2 - CUSTOS DE MÃO-DE-OBRA ASSOCIADOS À CONCEÇÃO E FABRICO DO MOLDE.	153

Simbologia e Abreviaturas

CAM – Desenho Assistido por Computador (*Computer Aided Design*)

CEFAMOL – Associação Nacional da Indústria de Moldes

CENTIMFE – Centro Tecnológico da Indústria de Moldes, Ferramentas Especiais e Plásticos

CNC – Comando Numérico Computadorizado

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

EUA – Estados Unidos da América

IMC – *Injection Mold Consulting*

ISEC – Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

PME – Pequenas médias empresas

PP – Polipropileno

UV - Ultravioleta

1 Introdução

1.1 A Indústria Portuguesa dos Moldes para Termoplásticos

A moldagem é um processo de fabrico que usa uma estrutura rígida chamada molde ou matriz. De um modo simplificado, pode-se dizer que o molde é um bloco oco, o qual apresenta a geometria negativa da peça a produzir, sendo cheio com líquido ou material maleável, como por exemplo plástico, vidro ou metal, onde o material arrefece no interior do molde, adotando a sua forma.

A origem histórica da indústria portuguesa de moldes está intimamente ligada ao setor industrial do vidro. De facto, é a partir da experiência e do saber-fazer de moldes para vidro que se começaram a fabricar moldes para plástico.

A indústria desenvolveu-se com a importação de tecnologia estrangeira e, em 1955, iniciou-se a exportação com a venda dos primeiros moldes à Grã-Bretanha. Em 1980, a indústria já exportava para mais de 50 países e só na área da Marinha Grande existiam 54 empresas em laboração, empregando cerca de 2000 pessoas (Económicas, 2019).

Segundo a Associação Nacional da Indústria de Moldes – CEFAMOL, esta indústria tem vindo a crescer e a consolidar a sua notoriedade no mercado internacional, impulsionada, quer pela procura externa, quer pelo conjunto de competências e capacidades produtivas que oferece aos seus clientes.

Atualmente, o setor de moldes possui 515 empresas, maioritariamente de pequena e média dimensão (PME), dedicadas à conceção, desenvolvimento e fabrico de moldes e ferramentas especiais. Emprega aproximadamente 10460 trabalhadores, com uma distribuição geográfica centrada nas regiões da Marinha Grande e Oliveira de Azeméis.

Portugal encontra-se entre os principais fabricantes de moldes a nível mundial, nomeadamente na área da injeção de plásticos, exportando 85% da produção total.

De acordo com a Figura 1.1, em 2017 a exportação atingiu um valor recorde superior a 675 milhões de euros, o melhor ano de sempre da indústria em termos de produção e exportação, sendo o valor total de produção estimado em cerca de 794 milhões de euros, facto representativo de que Portugal, ao longo dos anos, tem demonstrado uma elevada capacidade de adaptação às necessidades dos seus clientes e às evoluções, quer dos mercados, quer das tecnologias.

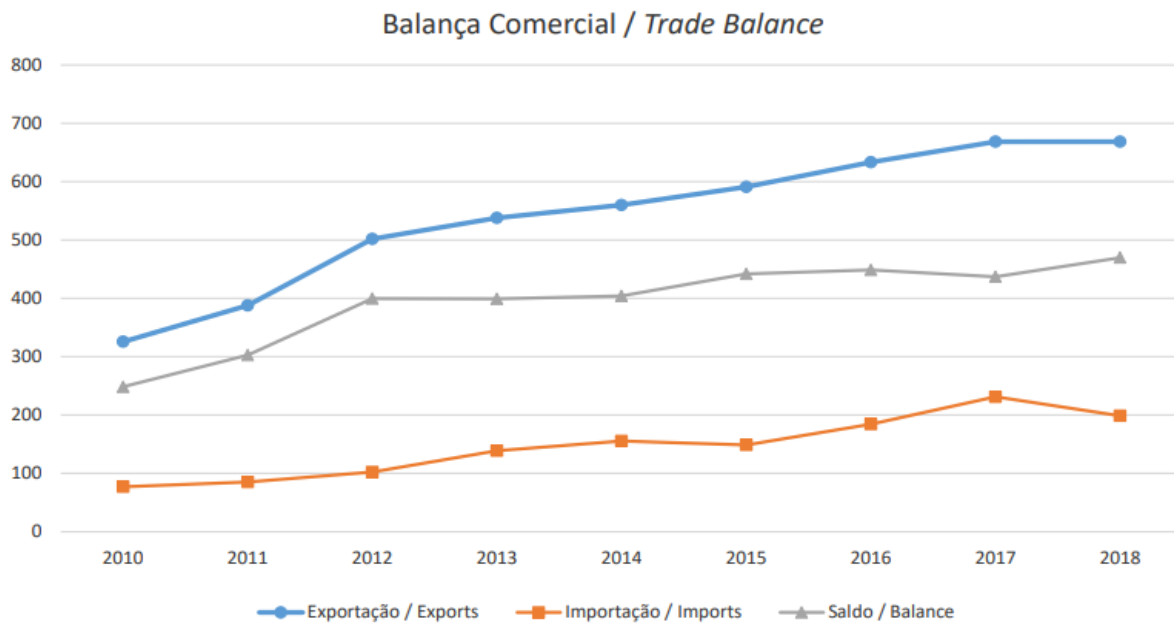


Figura 1.1 - Balança comercial no moldes (Cefamol, 2018).

Em termos de importância das regiões económicas, mantém-se a preponderância do mercado europeu, principalmente comunitário, representando nos 10 últimos anos, em média, 80% do total de exportações, atingindo em 2018, um valor de 83% como indicado na Figura 1.2.

Importa salientar o aumento de exportações para a América do Norte, nos últimos anos. Este desempenho deve-se em muito ao aumento de confiança e investimento nos EUA, mas também à aposta da indústria na promoção junto dos clientes norte-americanos.

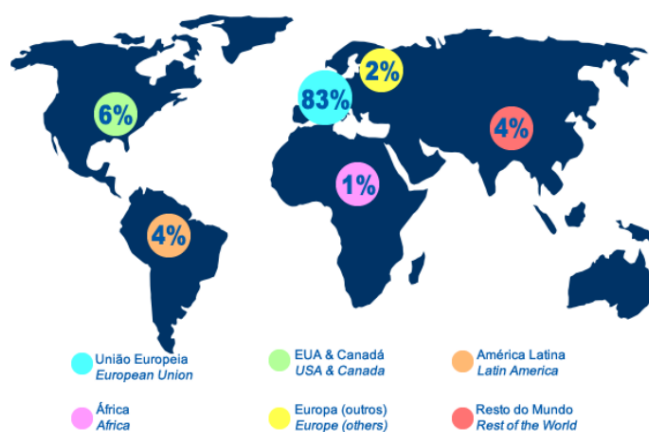


Figura 1.2 - Distribuição geográfica da exportação nos moldes (Cefamol, 2018).

A informação estatística apresentada na Tabela 1.1, referente às principais indústrias servidas pelo setor de moldes, denota que a indústria automóvel tem vindo a consolidar o seu crescimento e importância no desenvolvimento do setor, tendo evoluído de 14%, em 1991, para 82% em 2016. Outra indústria em destaque é a embalagem, que tem vindo a crescer de uma forma sustentada, representando 8% da produção nacional de moldes. No entanto, regista-se a presença do setor em outras áreas industriais de grande importância para o desenvolvimento de novos produtos na economia mundial, assim como a procura por novas áreas e nichos, tais como a indústria aeronáutica e de dispositivos médicos (Cefamol, 2018).

Tabela 1.1 - Distribuição em 2016 do fabrico de moldes pelos diferentes setores industriais (Cefamol, 2018).

Indústrias	Percentagem (%)
Automóvel	82
Embalagem	8
Utilidades Domésticas	3
Eletrónica	2
Mobiliário	1
Dispositivos Médicos	1
Outros	3

1.2 Objetivos e metodologia do trabalho

De modo sucinto, poder-se-á dizer que foram delineados atingir neste trabalho os objetivos que a seguir se enumeram, implementando para tal a metodologia descrita.

Objetivos:

- ✓ Projetar um molde de injeção de termoplásticos;
- ✓ Utilizar ferramentas computacionais de auxílio no projeto e fabrico de moldes;
- ✓ Produzir o molde projetado, respeitando as dimensões e tolerâncias dimensionais definidas no projeto;
- ✓ Efetuar a montagem do molde e torná-lo operacional;
- ✓ Produzir peças de teste.

Metodologia implementada para atingir os objetivos propostos:

- ✓ Definir o componente a fabricar por injeção e identificar os requisitos iniciais;
- ✓ Utilizar ferramentas de *software* vocacionados para a indústria dos moldes para projetar a estrutura do molde, zonas moldantes, sistemas de injeção, arrefecimento e extração.
- ✓ Utilizar ferramentas de *software* para simulação da injeção e arrefecimento da peça moldada;
- ✓ Adquirir elementos normalizados para o molde e utilizar as máquinas ferramenta CNC do DEM/ISEC para o fabrico do molde;
- ✓ Efetuar as correções e ajustes necessários no molde após montagem de todos os elementos constituintes;
- ✓ Definir os parâmetros de injeção e efetuar testes para obtenção da peça moldada.

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho está organizado em sete capítulos. No **Capítulo 1** faz-se uma breve contextualização do trabalho, apresentam-se os objetivos gerais que fundamentaram a sua concretização e apresenta-se também a estrutura do trabalho. Já **Capítulo 2** é apresentado uma noção geral da estrutura do molde e de todos os elementos constituintes. Um anteprojecto do

molde é apresentado no **Capítulo 3**, onde se estuda e define-se todos os requisitos do molde, para que se reúnam todas as decisões a fim de se avançar para a etapa seguinte. No **Capítulo 4** seleciona-se os tipos de materiais para a estrutura do molde, é demonstrado o procedimento para o desenho do molde, é realizada uma verificação estrutural do dimensionamento do molde e ainda estudada a simulação da injeção das peças. Posteriormente, no **Capítulo 5** e **Capítulo 6** são apresentadas as etapas de fabrico do molde percorridas até à conclusão do molde e quais os custos envolvidos na aquisição dos materiais, componentes e fabrico, sendo efetuada uma estimativa de custo final do molde, respetivamente. Por último, no último capítulo expõem-se as principais conclusões deste trabalho e sugestões para trabalhos posteriores.

2 Estrutura usual de um molde

A estrutura de um molde de duas placas apresentada na Figura 2.1 é constituída por uma parte fixa (lado da injeção) e por uma parte móvel (lado da extração). O lado da injeção é formado pela chapa de aperto da injeção e a chapa das cavidades enquanto que o lado da extração é constituído pela chapa da bucha, a chapa de reforço da bucha (se for necessário), os calços que permitem definir o espaço necessário aos movimentos do sistema de extração, a chapa dos extratores, a chapa de aperto dos extratores e por fim a chapa de aperto da extração.

Na chapa das cavidades (ou num postigo montado nessa chapa) é maquinada a cavidade que define a forma exterior da peça, sendo que na chapa das buchas é maquinada a bucha que define a forma interior da peça. Quando o molde fecha, a chapa das cavidades e a chapa das buchas entram em contacto, definindo a peça que se pretende produzir. É de mencionar que a cavidade e a bucha podem estar situadas indiferentemente na parte fixa ou na parte móvel do molde, contudo, é mais comum a configuração descrita, ou seja em que a cavidade fica na parte fixa e a bucha na parte móvel, já que facilita a extração dos componentes injetados (Pereira, 2017). Os elementos usuais num molde são habitualmente conhecidos por uma designação numérica convencionada e conhecida pelas empresas que atuam na área de fabrico de moldes, sendo neste capítulo apresentada juntamente com a designação dos elementos.

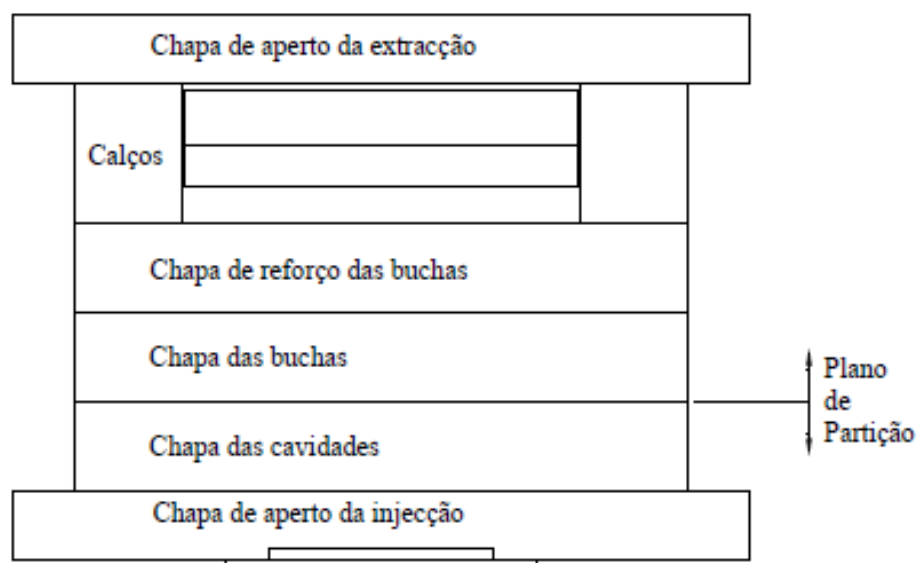


Figura 2.1 - Estrutura de um molde de injeção.

2.1 Placas da estrutura de um molde (Chapas)

O número de placas (usualmente designadas por “chapas”) que definem a estrutura do molde, vai depender essencialmente do tipo de molde a executar, verificando-se que o uso de uma configuração de um molde com um plano de partição, usualmente designado de molde de duas placas, é o mais adequado. O molde será constituído por um total de 7 chapas como apresentado na Figura 2.2, nas quais se vão alojar todos os componentes e acessórios.

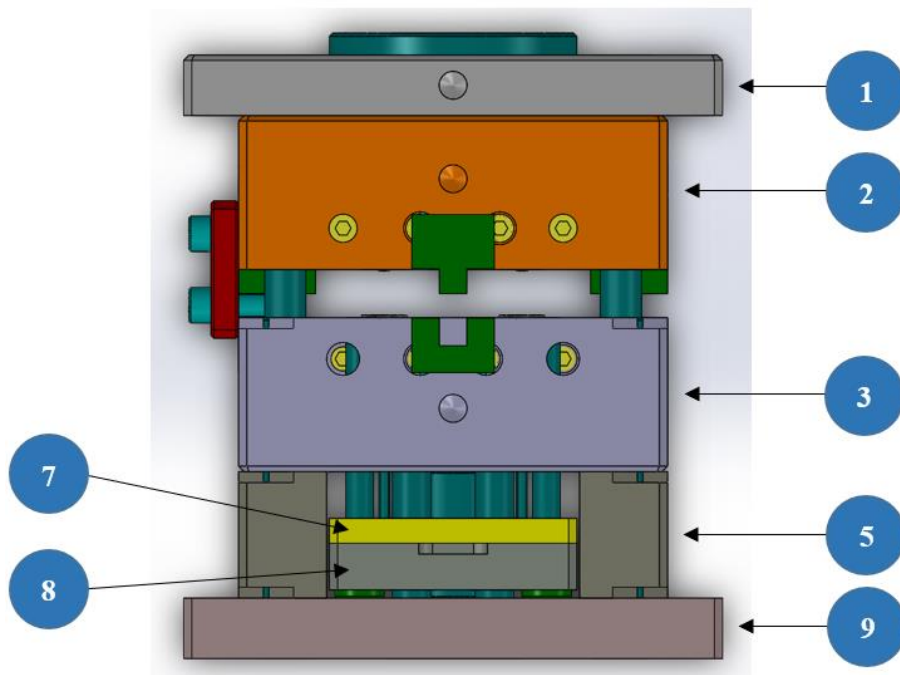


Figura 2.2 - Numeração das chapas constituintes de um molde.

Seguidamente, efetua-se uma breve descrição sobre a funcionalidade de cada uma das chapas na estrutura do molde. Sendo assim:

- **Chapa n.º 1** - tem como principal função fixar o lado da injeção ao prato da máquina de injeção;
- **Chapa n.º 2** - é a chapa das cavidades. É onde se encontra moldada a cavidade que definirá parte da geometria da peça a produzir;

- **Chapa n.º 3** - designada como chapa das buchas, com dimensões iguais à chapa n.º 2, é onde se encontra moldada parte da geometria da peça a produzir;
- **Chapa n.º 4** - não existente na Figura 2.2, sendo por vezes adicionada em determinados moldes, encontra-se posicionada entre a chapa n.º 3 e a chapa n.º 5. Esta chapa, tem por função reforçar a chapa das buchas, para que esta suporte a pressão de injeção da máquina. Para o molde em estudo não se justifica a existência desta chapa;
- **Chapa n.º 5 e 6** - são designados calços e têm como função fornecer o curso de extração, que permita a abertura do molde;
- **Chapa n.º 7** - é designada chapa dos extratores que tem por função, conjuntamente com a chapa de aperto dos extratores, fazer a extração da peça quando esta chapa se desloca até entrar em contacto com a chapa n.º 3;
- **Chapa n.º 8** - chapa de aperto dos extratores;
- **Chapa n.º 9** - é a chapa inferior de aperto, tendo como função fixar o lado da extração do molde ao prato da máquina de injeção.

2.2 Elementos redondos

O anel de centragem do lado da injeção, apresentado na Figura 2.3 a) tem a função de centrar o lado da injeção do molde, com o bico da máquina de injeção. Os diâmetros exterior e interior do anel de centragem, do lado da injeção, dependem, respetivamente, da máquina e do bico de injeção. A fim de proporcionar uma correta ligação à máquina de injeção, o diâmetro exterior é ajustado com folga (normalmente 0,2 mm). O mesmo se passa na junção com a chapa de aperto da injeção. Deve-se ter em conta o ajustamento recomendado para a entrada do bico dos injetores.

Os suportes, tem a função de ajudar a suportar a pressão de injeção, no lado da extração. Estão situados entre a chapa 3 e chapa 9, e são posicionados e dimensionados de forma a poder suportar a pressão de injeção exercida no molde como representado na Figura 2.3 b), impedindo a flexão da placa da bucha (chapa nº 3). Admite-se uma tolerância no comprimento do suporte de 0,1 mm (desvios entre 0 e +0,1 mm).

As chapas dos extratores e de aperto dos extratores (chapa 7 e 8) têm furos de passagem dos suportes, com folga que pode variar entre 3 e 4 mm.

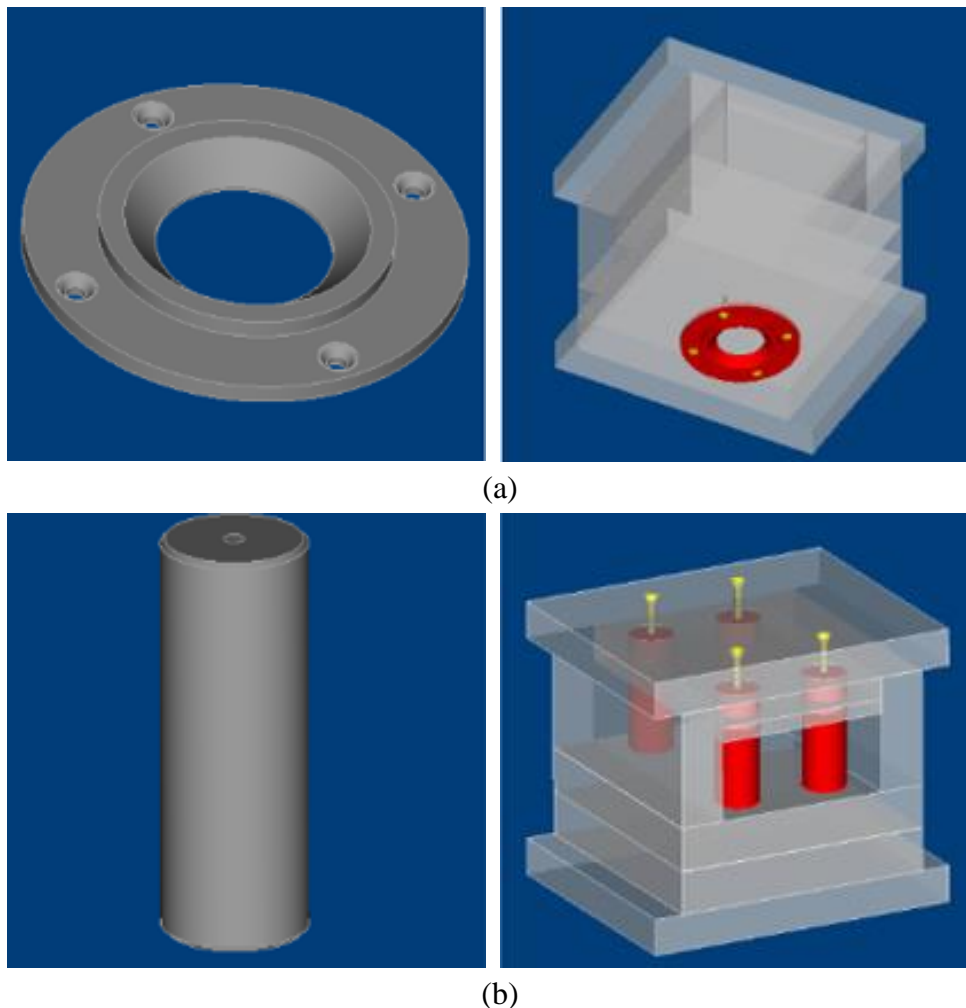


Figura 2.3 - Elementos redondos: Anel de centragem (a) e suportes (b) (Moldes, 2019).

2.3 Elementos de transporte

Os olhais são peças roscadas, nas chapas do molde ou na barra de transporte, que permitem a elevação e transporte do molde como demonstrado na Figura 2.4. O olhal é escolhido em função do peso do molde e do furo roscado existente no molde. A introdução do olhal, deve ser localizado no centro de gravidade do molde, a fim de permitir um perfeito equilíbrio durante o seu transporte.

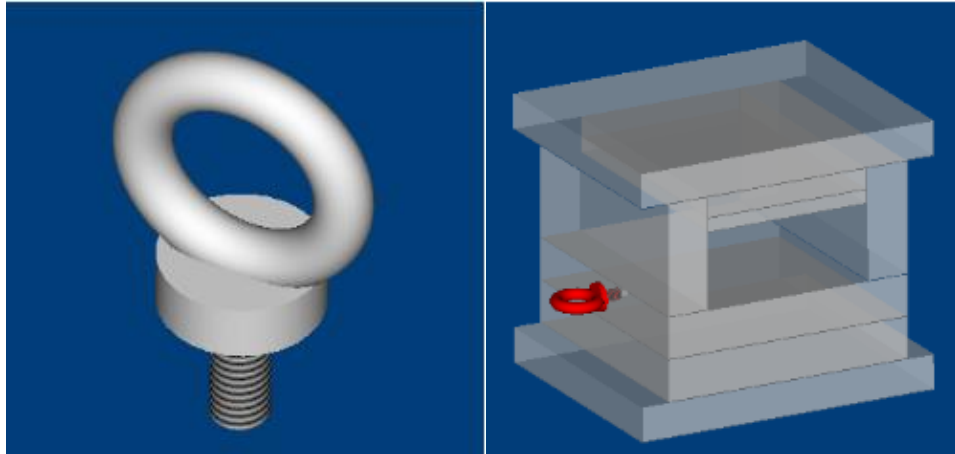


Figura 2.4 - Acessórios de transporte: Olhal (Moldes, 2019).

2.4 Elementos de guiamento

O conjunto guia-casquilho tem como função manter a posição relativa de duas chapas ou peças que se pretendem guiar. As guias principais são escolhidas em função do tamanho e funcionamento do molde. Devem ser robustas, e seu comprimento depende da configuração das peças. Isto é, o comprimento da guia deve garantir que durante a abertura ou fecho do molde, o lado da injeção e da extração se mantenham guiados.

Como demonstrado na Figura 2.5 a) as guias são constituídas por rasgos circulares para a lubrificação. De forma a facilitar a montagem do molde numa só posição, uma das quatro guias é usualmente deslocada ou apresenta um diâmetro menor em relação às outras. O funcionamento das guias dentro do casquilho, Figura 2.5 b), obedece a um ajustamento H7/g6.

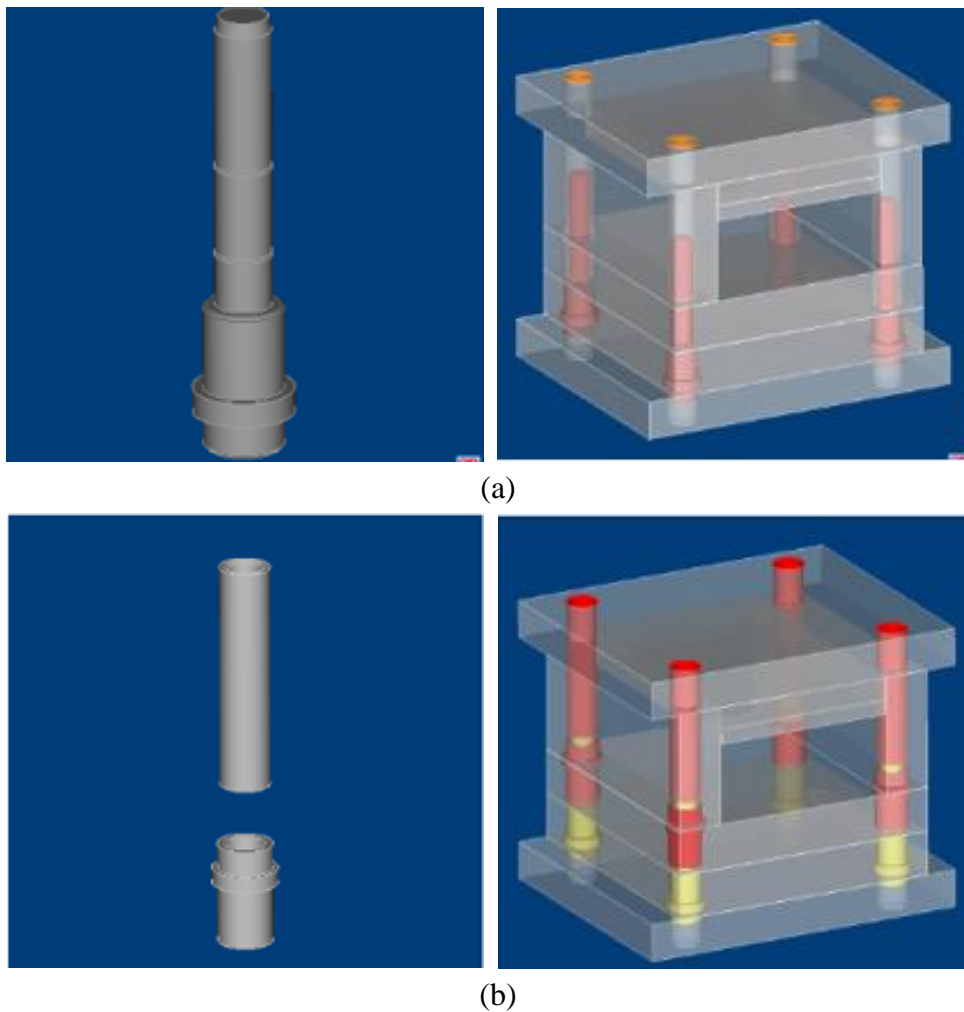


Figura 2.5 - Acessórios de Guiamento: Guias Principais (a) e casquilhos das guias (b) (Moldes, 2019).

2.5 Elementos de imobilização

A barra de fecho garante o fecho entre o lado da injeção e o da extração, durante o seu transporte (e montagem na máquina de injeção). A barra de fecho é fixa com dois parafusos (um no lado da injeção e o outro no lado da extração) e colocada de frente para o operador a fim de ser retirada após a montagem do molde na máquina como mostrado na Figura 2.6 a).

Os blocos de travamento laterais, representado na Figura 2.6 b), tem como função o guiamento na linha de junta, sempre que as paredes de uma peça de plástico sejam moldadas no lado da injeção e também no lado da extração. Os *interlocks*, designação mais utilizada, definem-se por

apresentarem uma rigorosa tolerância no seu conjunto e as caixas onde são apertados admitem uma tolerância de H7/g6.

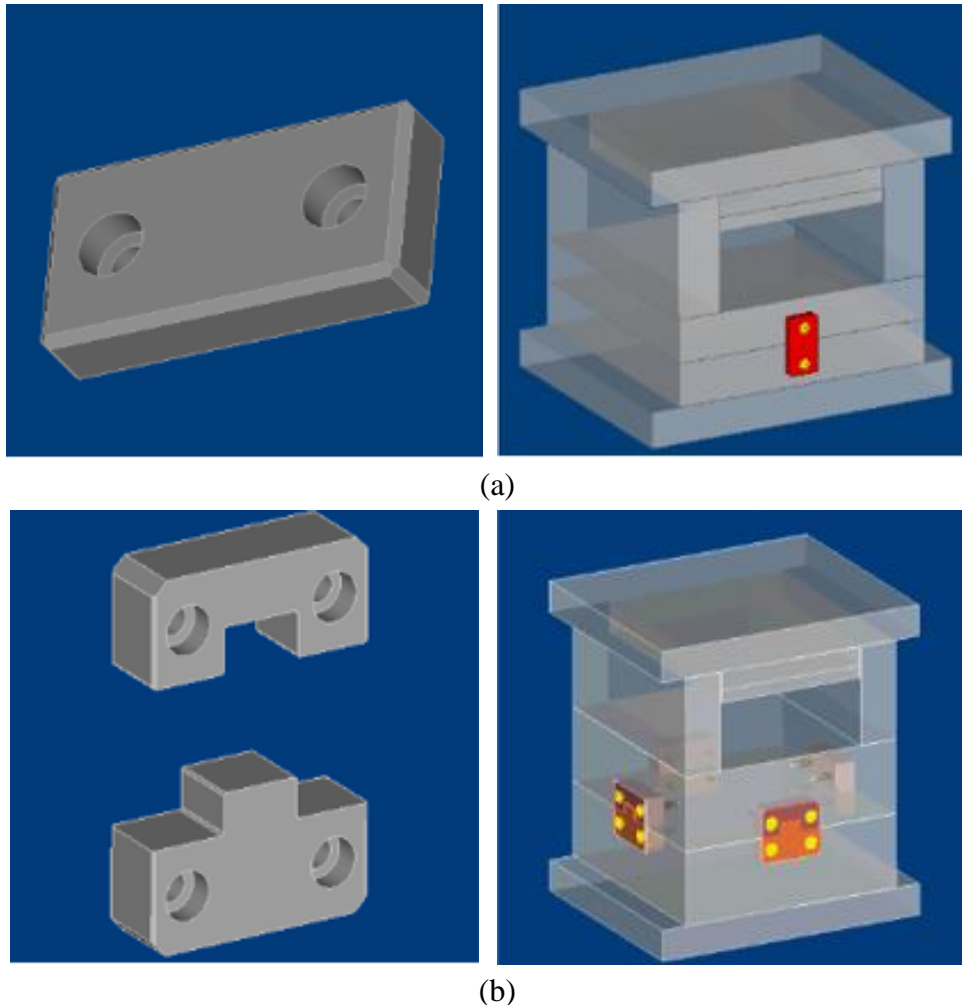


Figura 2.6 - Acessórios de imobilização: Barra de fecho (a) e blocos de travamento laterais (b) (Moldes, 2019).

Os pernos de retorno têm como função assegurar o recuo das chapas extratoras quando se dá o fecho do molde, após ter sido executada a extração da peça moldada. Os pernos de retorno garantem que durante o fecho do molde, a chapa das buchas não toque nos extratores, evitando um possível dano. O tamanho dos pernos de retorno é selecionado de acordo com as dimensões do molde, e habitualmente, são colocados 4 nos cantos das chapas extratoras como apresentado na Figura 2.7. Quando os moldes são de grandes dimensões colocam-se, além dos posicionados nos cantos, mais dois no meio das chapas extratoras.

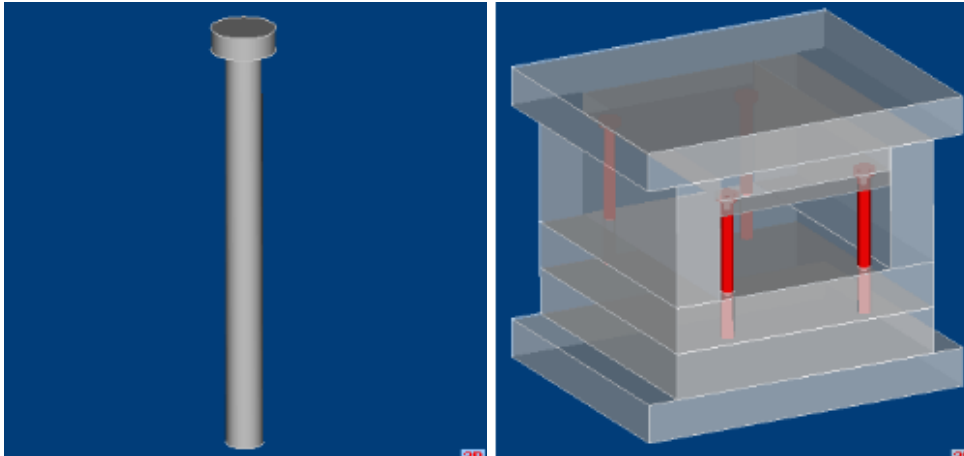
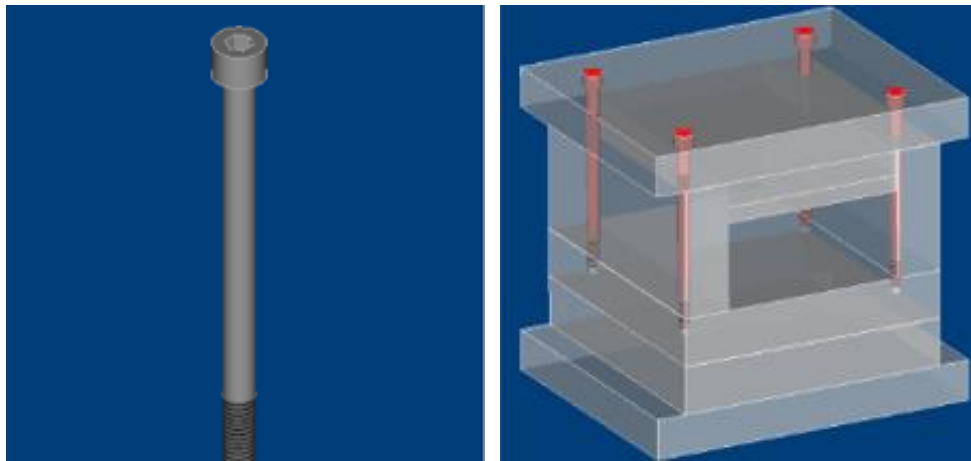


Figura 2.7 - Acessórios de imobilização: Pernos de retorno (Moldes, 2019).

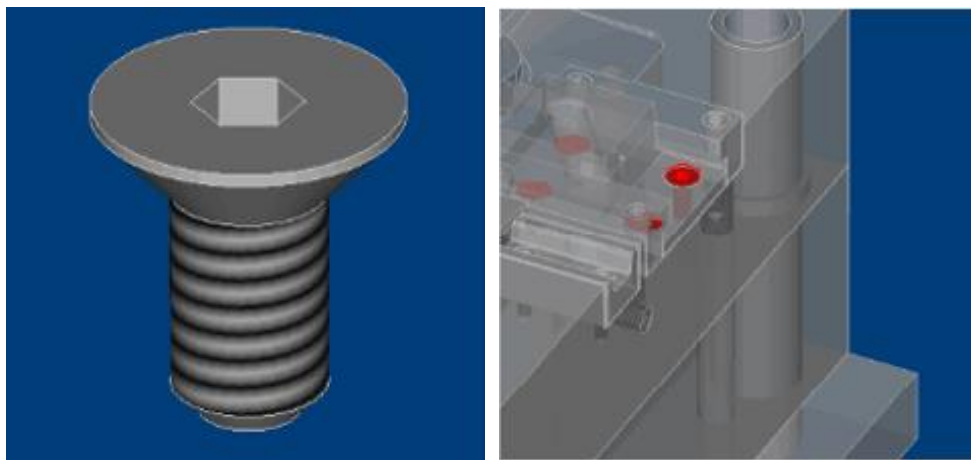
2.6 Elementos de ligação

Os parafusos de cabeça cilíndrica, apresentados na Figura 2.8 a) e são conhecidos devido à configuração achatada da sua cabeça, permitem a fixação de chapas e acessórios de espessura reduzida. Os parafusos de cabeça cilíndrica de sextavado interior (também designados por parafusos *Umbrako* e por parafusos *Allen*) são escolhidos em número e tamanho de acordo com as dimensões e resistência mecânica necessária à ligação das peças. Já os parafusos de cabeça cónica, têm como função garantir a fixação e o aperto entre duas ou mais chapas, elementos e acessórios como mostrado na Figura 2.8 b) devido à configuração cónica da cabeça do parafuso, permite que sejam embutidos nas chapas sem necessidade se serem abertas caixas com folga na cabeça.

As anilhas têm como função proteger peças de mossas quando sujeitas a apertos sucessivos, e também servir de apoio para facilitar o ajustamento e o aperto de acessórios como mostrado na Figura 2.9. O tipo e espessura da anilha são escolhidos de acordo com a aplicação e espaço a preencher.



(a)



(b)

Figura 2.8 - Acessórios de ligação: parafusos de cabeça cilíndrica (a) e parafusos de cabeça cônica (b) (Moldes, 2019).

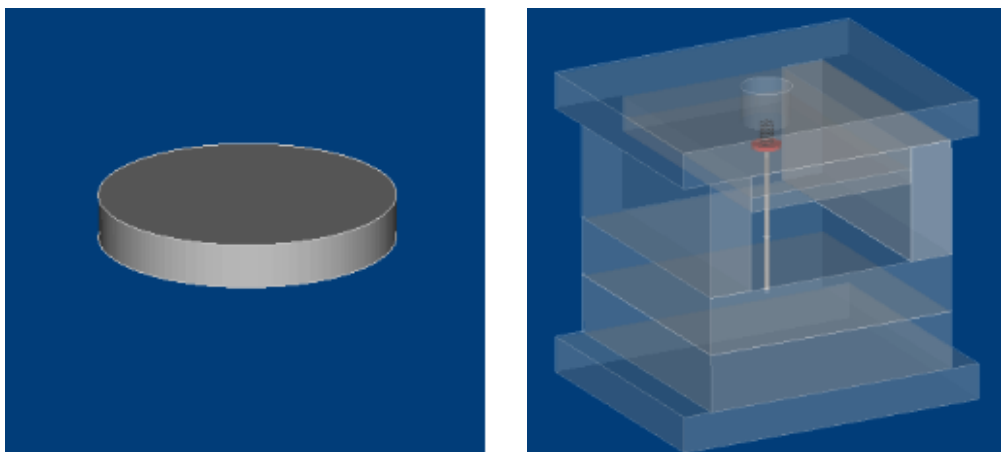


Figura 2.9 - Acessórios de ligação: Anilhas (Moldes, 2019).

2.7 Elementos de injeção e extração

O injetor principal, indicado na Figura 2.10 a), recebe o material plástico da máquina de injeção, e canaliza-o para o sistema de alimentação ou diretamente à zona moldante. No seu interior são maquinadas, um calote esférico (de acordo com o bico da máquina de injeção e um furo cónico, com diâmetro dependente da necessidade de maior ou menor fluxo e que varia entre 1° e 30°.

As guias das chapas de extração, associadas ao casquilho, asseguram o guiamento das chapas extratoras no decorrer da sua movimentação como demonstrado na Figura 2.10 b). As guias das chapas de extração são escolhidas em função do tamanho e funcionamento do molde e admite-se uma tolerância H7/g6 relativamente aos furos onde são inseridas na Chapa n.º 9.

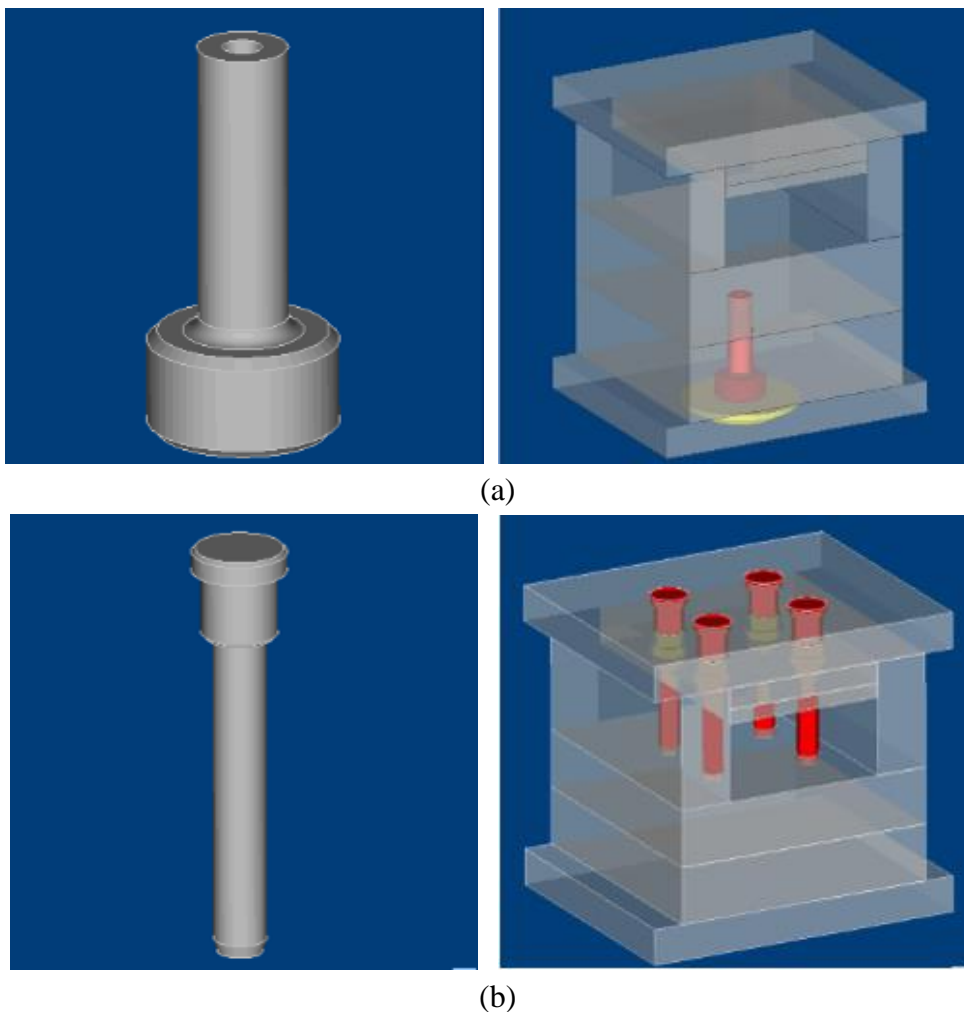


Figura 2.10 - Acessórios de injeção e extração: Injetor principal (a) e guias das chapas de extração (b) (Moldes, 2019).

Os casquilhos das guias das chapas de extração, associados à guia, têm por função assegurar o guiamento das chapas de extração durante o seu movimento de extração como representado na Figura 2.11 a). Podem ser auto lubrificantes e admitem uma tolerância H7/g6 relativamente às Chapas n.º 7 e n.º 8, apresentando uma pequena folga no anel central, lateralmente e em altura para garantir o alinhamento nos furos H7/g6 e para garantir que as chapas 6 e 7 se fecham totalmente.

Os extratores tubulares, apresentados na Figura 2.11 b), permitem extrair a peça da cavidade, sendo acionados pela chapa extratora. Estes podem ser ou não perfilados e no final são retificados com a medida desejada.

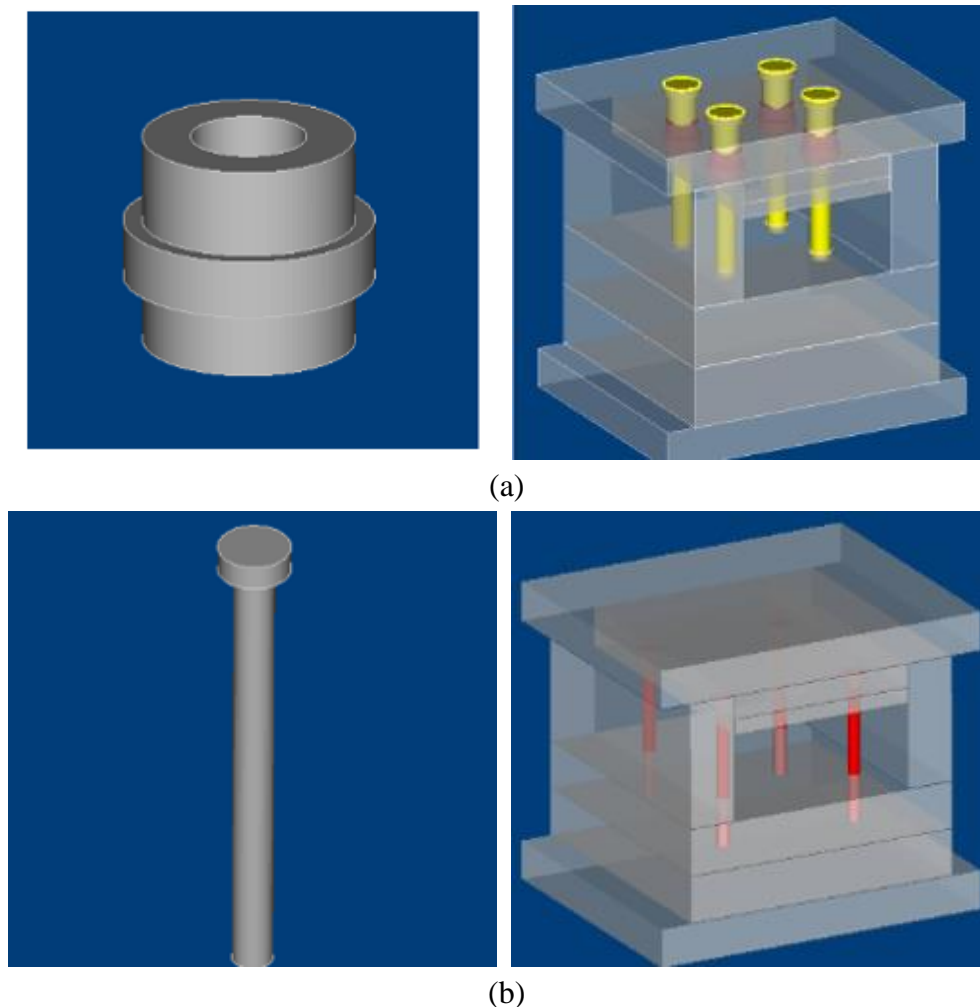


Figura 2.11 - Acessórios de injeção e extração: Casquilhos das chapas de extração (a) e extratores tubulares (b) (Moldes, 2019).

2.8 Elementos de refrigeração

Os bocais rápidos têm como finalidade promover uma rápida montagem e desmontagem das mangueiras nas entradas ou saídas de fluido de refrigeração do molde, como mostrado na Figura 2.12 a). As dimensões e formato são selecionados de acordo com o tipo de molde e tipo de ligação.

O vedante (**O'ring**), representado na Figura 2.12 b), têm como função impedir a fuga de água, óleo ou ar entre chapas e elementos. Habitualmente, seleciona-se as dimensões do vedante e é aberta uma caixa para a sua inserção.

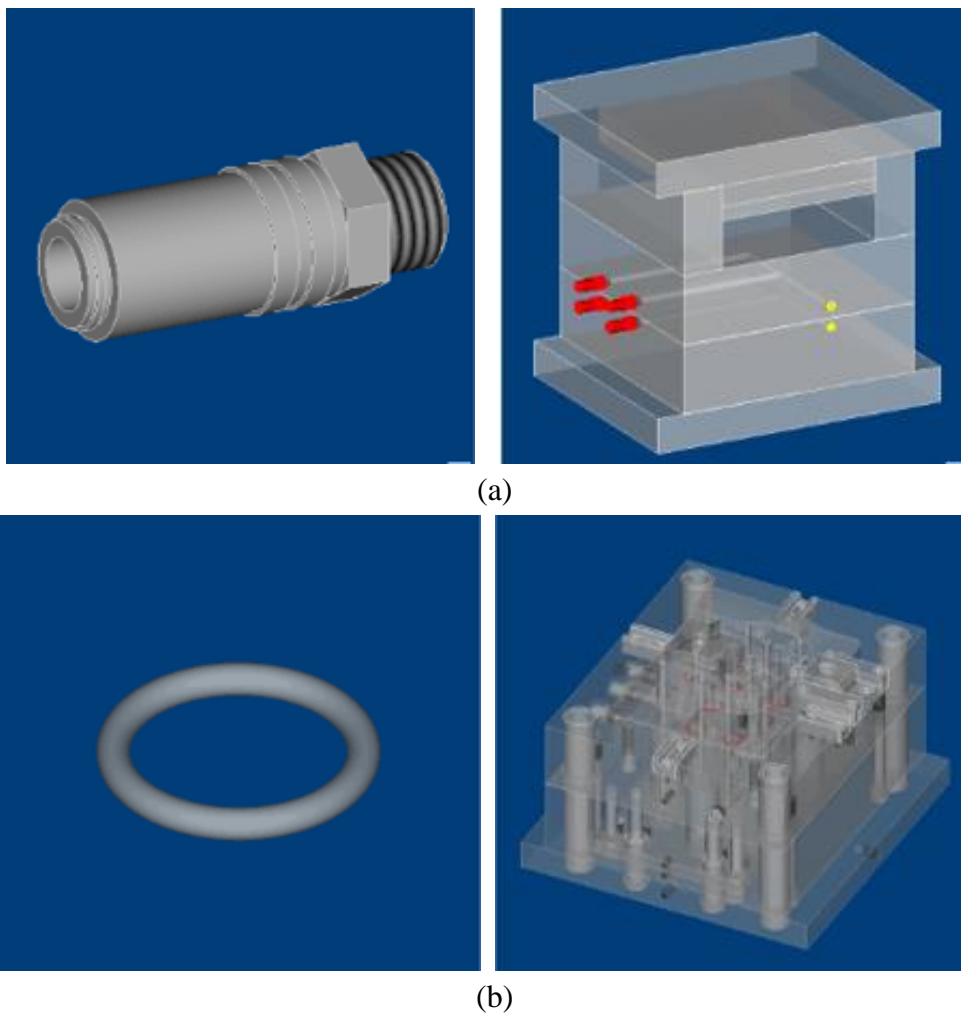


Figura 2.12 - Acessórios de refrigeração: Bocais rápidos (a) e vedante (O'ring) (b) (Moldes, 2019).

Os tampões, demonstrados na Figura 2.13, têm como função tapar o início das furações necessárias à construção de um circuito de refrigeração, evitando que o líquido refrigerante se perca durante o seu percurso. Para o caso de ser necessário tamponar circuitos de refrigeração no interior, são utilizados “tacos” que têm como função desviar o fluido de refrigeração, não garantindo neste caso a vedação total.

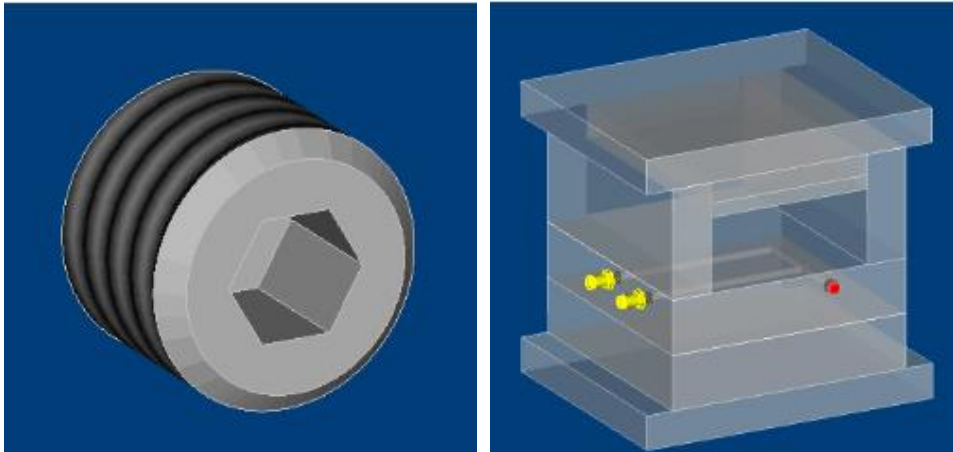


Figura 2.13 - Acessórios de refrigeração: Tampões (Moldes, 2019).

3 Anteprojeto do molde

3.1 Introdução

O anteprojeto do molde retratado ao longo deste capítulo, tem como objetivo apresentar as condicionantes e condições de partida para realizar numa fase posterior o projeto de um molde para injeção de uma peça em material termoplástico.

A seleção da peça a moldar teve como condição eleger um objeto que permita aplicar os princípios utilizados na indústria para o fabrico de moldes, mas que não exija no molde elementos de desmoldação de zonas negativas da peça (contra saídas). Simultaneamente, pretende-se que a peça apresente utilidade para o Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Pelos motivos enunciados, foi decidido projetar e construir um molde para produzir uma peça que represente uma ferramenta não funcional alusiva à Engenharia Mecânica, a qual seja bastante semelhante a uma chave de bocas e que possa ser utilizada como porta-chaves a utilizar como *Merchandising* pelo ISEC.

3.2 Análise da geometria da peça

Antes do início do projeto do molde, realizou-se uma análise pormenorizada ao modelo da peça. O objetivo consistiu em antever problemas que possam ocorrer no fabrico do molde ou na injeção da peça, fazendo modificações à geometria da peça, de modo a solucionar esses problemas.

A espessura da parede tem grande influência nas principais características da peça, incluindo o seu desempenho mecânico, aparência estética, plasticidade e economia. A espessura ideal, por vezes, consiste num equilíbrio entre direções opostas como a resistência, redução de peso, durabilidade e custo. Devem-se considerar possíveis problemas de moldação e alterações caras nos moldes, quando se incrementa a espessura numa peça. Também é importante ter em consideração que quanto maior a espessura da peça, maior o seu volume e o tempo de

arrefecimento após injeção, conduzindo a maiores tempos de produção e conseqüente aumento dos custos finais, assim como o aparecimento de defeitos nas peças. No caso de espessuras demasiado finas, a peça possui uma resistência inferior, além de se correr o risco de não haver um enchimento completo da cavidade de moldação (Bayer, 2000).

Na Figura 3.1 está representada em vista isométrica a geometria da peça idealizada. Quando se lida com pequenas dimensões, tendo a peça em estudo cerca de 76 mm de comprimento, é necessário antever as possíveis dificuldades na maquinagem da bucha e cavidade, pois poderão existir raios de canto ou áreas de reduzidas dimensões, e maquinar com ferramentas de pequeno diâmetro é um grande desafio, tendo em conta a limitação da profundidade de corte admissível. Na indústria, em circunstâncias semelhantes, é usual recorrer às tecnologias de fabrico por electroerosão, que neste trabalho se pretendem dispensar por questões de maior dificuldade de acesso a este tipo de máquinas-ferramenta.

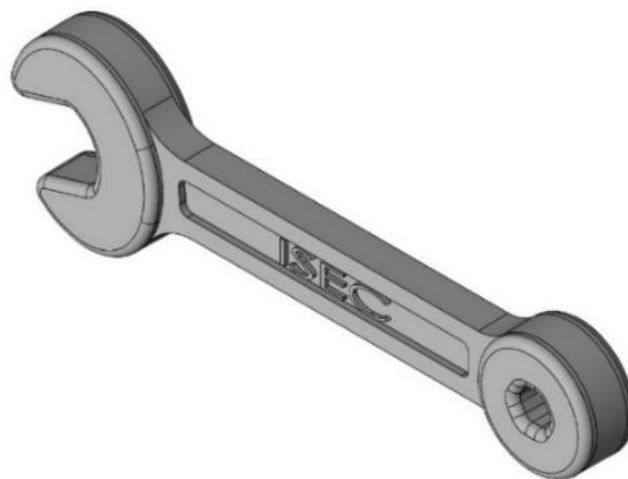


Figura 3.1 - Vista isométrica da geometria inicial da peça a ser injetada.

A geometria da peça representa uma chave n.º 8 de boca/anel, sendo necessárias várias adaptações para se obter uma peça com geometria possível de produzir por injeção.

O maior desafio no desenho da peça, foi o facto de estarmos perante reduzidas dimensões, o que se torna difícil, por exemplo, a colocação de extratores na peça e a maquinagem de raios de canto de pequeno diâmetro. Seria fácil desenhar a peça conforme a geometria desejada, mas

mais tarde os problemas iriam surgir, como por exemplo a colocação de extratores inferiores a 2 ou 1 mm de diâmetro, não tendo em conta a espessura da peça, facilmente a peça pode ser perfurada na extração. Quanto aos raios de canto inferiores a 1mm, apontam que mais tarde na etapa de maquinagem, será necessário a utilização de fresas de diâmetro muito reduzido, tornando um processo pouco viável de ser produzido. Desta forma considerou-se uma espessura mínima da peça de 4 mm, comprimentos e larguras de forma a utilizar extratores com um mínimo 3 mm de diâmetro e raios de canto superiores a 1 mm para ser possível efetuar a maquinagem dos raios de canto da bucha e cavidade com fresas com o diâmetro mínimo de 2 mm.

3.3 Características da máquina de injeção

Como se trata do primeiro molde a ser desenvolvido, houve necessidade de se recorrer a uma ajuda externa, neste caso o CENTIMFE – Centro Tecnológico da Indústria de Moldes, Ferramentas Especiais e Plásticos, que disponibilizou uma máquina de injeção DEMAG D 100 - 275 NCIII para a produção das peças teste iniciais, como é possível observar na Figura 3.2.



Figura 3.2 - Máquina de injeção Demag D 100 - 275 NCIII.

As características técnicas resumidas da máquina de injeção estão apresentadas na Tabela 3.1 e apresentadas em detalhe no anexo I. Esta máquina de injeção é adequada para o projeto em estudo, uma vez que o molde a ser produzido será pequeno não sendo necessário elevadas pressões de injeção e forças de fecho.

Tabela 3.1 – Características técnicas da máquina de injeção Demag D 100 - 275 NCIII.

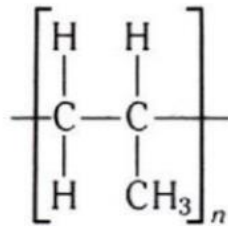
Características da máquina de injeção	
Força de fecho máxima [kg]	100 0000
Curso de abertura máximo [mm]	350
Distância entre barras de ligação [mm]	400 × 400
Diâmetro do fuso [mm]	38
Pressão de injeção máxima [bar]	1730

3.4 Caraterização do polímero a injetar

Como já referido, as peças a injetar são porta-chaves, e sendo um objeto do nosso dia a dia, que não apresenta especiais requisitos de propriedades para o seu bom desempenho, a grande maioria dos polímeros são adequados, sendo por isso o baixo custo do material polimérico e a facilidade de processamento, dois dos principais requisitos a ter em consideração. O material escolhido foi o polipropileno (PP) que é um polímero bastante versátil e pode ser utilizado como um único elemento com adição de outros elementos, como por exemplo fibras de vidro. O polipropileno é uma excelente escolha para moldação de artigos domésticos, componentes e acessórios para a indústria automóvel, artigos de laboratório, entre outros componentes (Rosato, 2000).

Estrutura

O polipropileno é um dos plásticos mais baratos pois pode ser sintetizado a partir de matérias-primas petroquímicas baratas, sendo a estrutura química representada pelo monômero da Figura 3.3.



Polipropileno

Figura 3.3 - Estrutura química do polipropileno (Smith, 1998).

Vantagens

As vantagens do polipropileno são:

- Baixo custo entre os diversos plásticos;
- Atóxico;
- Moldável;
- Possibilidade de ser aditivado;
- Resistência ao atrito;
- Boa resistência à humidade;
- Baixa densidade (0,90 a 0,91 g/cm³);
- Boa resistência química;
- Boa resistência ao calor até temperaturas da ordem dos 105 °C (Ultimaker, 2019) ;
- Resistência a fissuras por fadiga;
- Boa dureza superficial;
- Estabilidade dimensional.

Desvantagens

As desvantagens do polipropileno são:

- Baixa resistência mecânica, apresentando uma tensão de cedência à tração de 35 MPa (INCOMPLAST, 2019);
- Resistência limitada a altas temperaturas;
- Mau comportamento quando sujeito a radiações UV e agentes oxidante.

Processamento

As condições de processamento dos polímeros estão dependentes da máquina de injeção, da geometria da peça a injetar e das suas características. Na Tabela 3.2 apresentam-se valores indicativos relativamente aos parâmetros de injeção.

Tabela 3.2 – Parâmetros de processamento do PP (Caetano, 2012).

PP – Parâmetros de processamento	
Velocidade de fluxo da massa fundida [g/10 min]	0,27 – 45
Ponto de fusão [°C]	134 – 170
Temperatura na zona de alimentação [°C]	175 – 253
Temperatura no bico de injeção [°C]	215 – 245
Temperatura da massa fundida [°C]	210 – 290
Temperatura do molde [°C]	20 – 60
Pressão de injeção [bar]	800 – 1400

Para a seleção do material, foi decidido a escolha do Propileno (PP) – Moplen® HP500N produzido pela empresa Lyondellbasell® que se caracteriza por ser um homopolímero frequentemente usado na área dos moldes, resistente e por não necessitar de secagem antes do

processamento devido a não reter humidade suficiente que interfira no processo de injeção. A ficha técnica deste termoplástico é apresentada no Anexo II.

3.5 Força de fecho necessária

Designa-se por força de fecho da máquina de injeção o esforço desenvolvido pela unidade de fecho da máquina de forma a manter o molde fechado, sendo expressa em [kN] ou [ton]. O dimensionamento desta força tem como principal objetivo verificar se a capacidade de fecho da máquina de injeção é superior à força exercida pelo material, caso contrário o molde abre e há formação de rebarba. Para que isso não aconteça, as máquinas deverão ser ajustadas para exercerem uma força de fecho ligeiramente superior (cerca 10 a 20%) à requerida por uma determinada moldação. A estimativa rigorosa da força de fecho necessária para uma determinada moldação é complexa, pois requer o cálculo da distribuição de pressões devido a perdas entre o cilindro de injeção e o ponto de injeção. No entanto, poderão ser efetuadas previsões aproximadas com as variáveis da Tabela 3.3 e com base na equação 1 (CENTIMFE, 2003):

$$F_f = (A_p \times P_m \times N_{cav}) / 9,81 \times 10^4 \quad [1]$$

Em que:

F_f - Força de fecho [ton];

A_p - Área projetada da moldação [mm²];

P_m - Pressão média de injeção durante a fase de enchimento [bar] (cerca de 1/3 a 1/5 da pressão de injeção);

N_{cav} - Número de cavidades.

Tabela 3.3 – Valor das variáveis para o cálculo da força de fecho para a peça em estudo.

Variáveis	Valores
A_p - Área projetada [mm ²]	1100
P_m - Pressão média de injeção [bar]	900
N_{cav} - Número de cavidades	4

Tendo em conta que a pressão média de injeção para o tipo de material escolhido se encontra entre os 800 e os 1400 bar, foi considerada uma pressão de injeção de 900 bar. É de notar que a área projetada foi calculada para uma geometria simplificada, considerando que a peça é um bloco sólido para simplificação dos cálculos.

$$F_f = [1100 \times (900 \times \frac{1}{4}) \times 4] / 9,81 \times 10^4 = 10,09 \text{ ton} \quad [2]$$

Atendendo que as peças a injetar são de pequenas dimensões, com base no resultado da equação 2, conclui-se que a força de fecho exigida é bastante baixa, e que a máquina de injeção cumpre facilmente o requisito da força de fecho.

3.6 Contração da peça no arrefecimento

Como já definido anteriormente, o material a injetar no molde será o Propileno (PP) – Moplen® HP500N o qual apresenta uma contração linear de 1,35%. De forma a compensar este valor de contração do material, deve-se aplicar um fator de escala de 1,0135 ao modelo 3D da peça. Depois de dada a contração ao modelo 3D da peça, inicia-se a fase da modelação.

3.7 Modelação da bucha e cavidade

Para obter a geometria da bucha e cavidade que definem a geometria da peça a moldar, foi utilizado o *SplitWorks*®, que é um módulo do *software Solidworks*, vocacionado para a indústria dos moldes, que utiliza a tecnologia avançada para automatizar o processo de separação e criação de buchas e cavidades. O processo, inicia-se analisando o modelo da peça e exibindo diferentes cores da peça, mostrando a bucha, a cavidade, as superfícies de ângulo de inclinação zero e as superfícies que pertencem à bucha e à cavidade, de acordo com a linha de junta selecionada.

O *SplitWorks*® funciona também em geometrias não sólidas, proporcionando uma vantagem competitiva significativa sobre outros produtos. O utilizador pode modificar a divisão simplesmente ao clicar em um plano, face plana ou borda, que atualiza dinamicamente a visualização. Os cortes complexos e as superfícies de diferentes ângulos são analisadas neste estágio, permitindo ao utilizador determinar a melhor direção de divisão. A geometria é então automaticamente explodida em quatro partes (definidas pelo utilizador). O *SplitWorks*® permite ainda mover ou duplicar diferentes superfícies de peça para peça, permitindo a criação de novas peças conforme necessário, tapar furos automaticamente em superfícies planas e não planas e ainda criar superfícies de divisão (*loft*) (rnbusa, 2019).

3.7.1 Etapas do processo de modelação

3.7.1.1 Definição da linha de junta na peça

A definição da linha de junta consiste na separação das superfícies da peça que vão ser separadas em bucha e cavidade. Para isso é necessário que se faça uma análise à peça, de modo a que seja definida a linha de junta do molde, facilitando a maquinagem, o seu ajuste, e análise se existem ângulos desfavoráveis à desmoldagem da peça. Foi tida uma especial atenção na fase de desenho da geometria da peça, para que nesta etapa tudo se tornasse mais simples. Assim, a peça foi desenhada de forma a que a geometria tivesse ângulos negativos e positivos, consoante as faces que iriam estar na parte da bucha e na parte da cavidade.

Através do comando *Separar Peça* do *SplitWorks*®, podemos observar (Figura 3.4) o resultado após a seleção do plano desejado para a linha de junta.

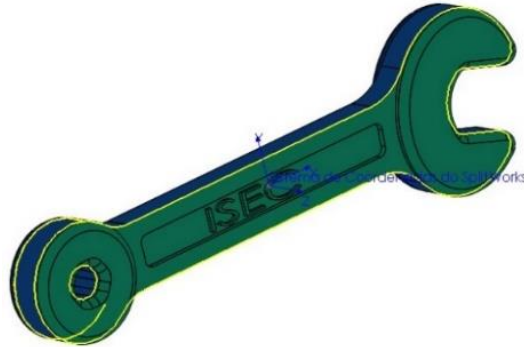


Figura 3.4 – Resultado da análise dos ângulos das superfícies da peça através de cores.

A cor azul indica as superfícies com um ângulo negativo de um grau que corresponde à parte da bucha. A cor verde indica as superfícies com um ângulo positivo de um grau, correspondente à parte da cavidade. Desta forma, a maior área de contacto entre a peça injetada e o molde, fica do lado da bucha, com o objetivo de quando o molde abrir, não existir o risco de a peça ficar agarrada à cavidade e com isso impossibilitar a remoção da peça com recurso aos extratores existentes no molde.

3.7.1.2 Gerar uma superfície na linha de junta

Nesta etapa, o objetivo foi, através do comando (*Loft*), criar uma superfície na linha de junta ao longo da peça com o tamanho desejado, a qual é designada por “película” que separa a bucha da cavidade (Figura 3.5). Este passo é essencial para posteriormente obter a bucha e a cavidade em 2 placas distintas.

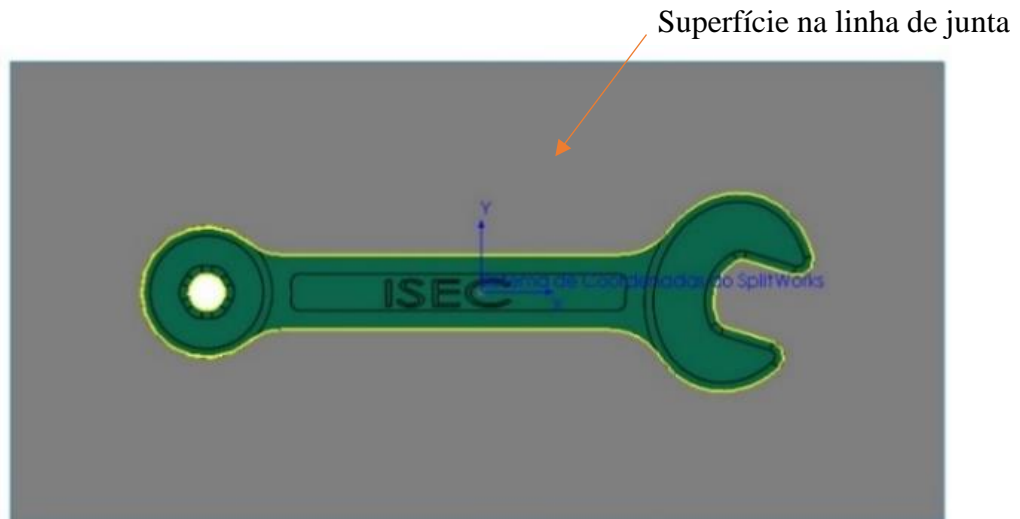


Figura 3.5 - Representação do *Loft* da peça a injetar.

3.7.1.3 Tapar furos existentes na peça

Para que seja possível a separação na bucha e cavidade, é necessário por fim tapar os furos da peça, para que o *software* identifique a linha separação da bucha e cavidade na região do furo, de forma a criar na totalidade a película de divisão. Assim, através do comando (*Fill holes*) é completada a superfície na zona do anel como demonstrado na Figura 3.6.

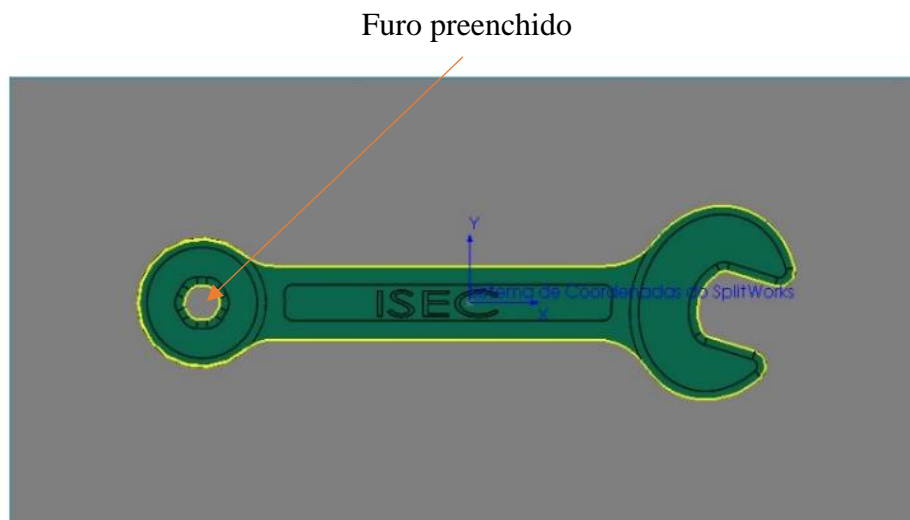


Figura 3.6 - Representação da película totalmente construída.

3.7.1.4 Criar geometria da bucha e cavidade

Por fim, através do comando *Criar Postiços* é concebida a bucha e a cavidade com a forma negativa da peça, respeitando as dimensões e o ângulo de inclinação da peça desenhada como representado na Figura 3.7. É possível observar que, a amarelo, está representada a bucha que diz respeito ao lado da extração e a cinzento a cavidade pertencente ao lado da injeção.

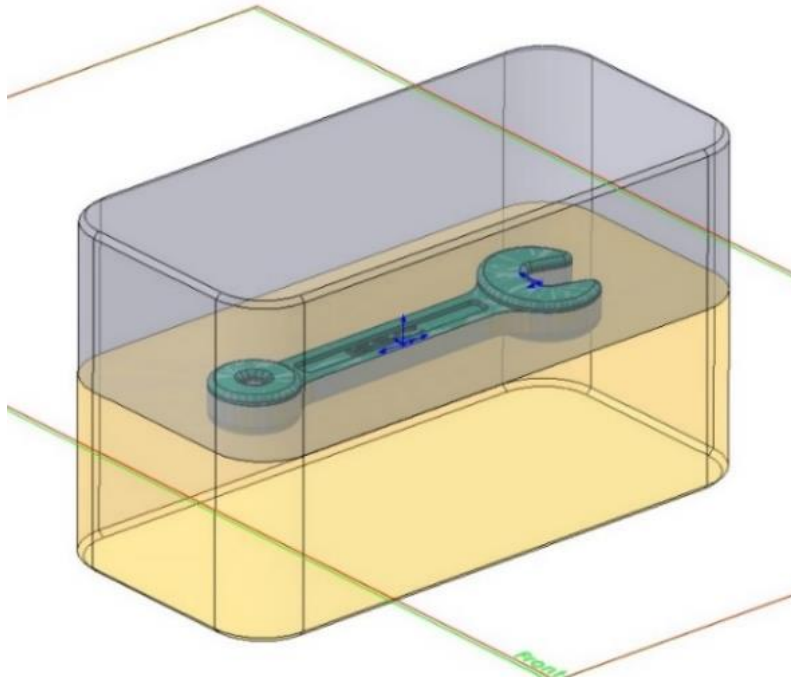


Figura 3.7 - Bucha e cavidade da peça a injetar.

3.7.1.5 Preparação dos posições finais

Como o objetivo se trata de injetar quatro peças em simultâneo, foi necessário criar um ficheiro *Assembly* com a montagem das quatro peças com as respetivas buchas e cavidades produzidas anteriormente. Relativamente à disposição das 4 peças no molde e ao ponto de injeção em cada peça, estas foram posicionadas de modo que o enchimento fosse o mais uniforme possível e que as linhas de solda fossem as menores possíveis.

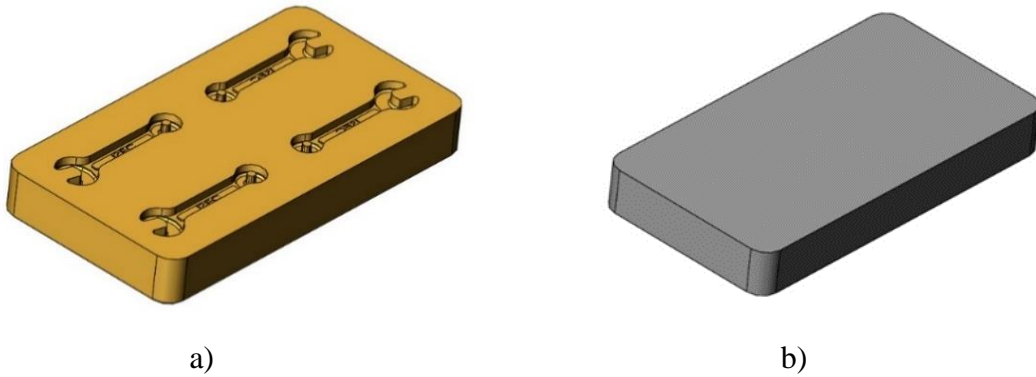
As três diferentes formas estudadas para o ponto de injeção localizavam-se na parte do anel, num dos cantos da boca da chave ou ao meio da peça. Se o ponto de injeção se situar a meio da

peça, o plástico vai fluir de forma constante ao longo do comprimento e nos dois sentidos, mas irá encher primeiro a metade da peça do lado do anel e só depois do lado da boca. Se o ponto de injeção se situar no lado da boca da chave, o plástico não vai fluir sempre no mesmo sentido pois vai ter de recuar para encher a outra metade da boca da chave. Por fim, a localização escolhida foi aquela em que o ponto de injeção se situa do lado do anel, influenciando o plástico a fluir sempre na mesma direção de forma constante até aos dois cantos do lado da boca da chave. Apesar de ser posteriormente realizado um estudo de simulação do enchimento, foi necessário nesta altura fazer uma pré-avaliação de qual seria a melhor localização para o ponto de injeção. Na Figura 3.8 podemos observar a disposição escolhida para as quatro chaves.



Figura 3.8 - Disposição das quatro peças para a montagem.

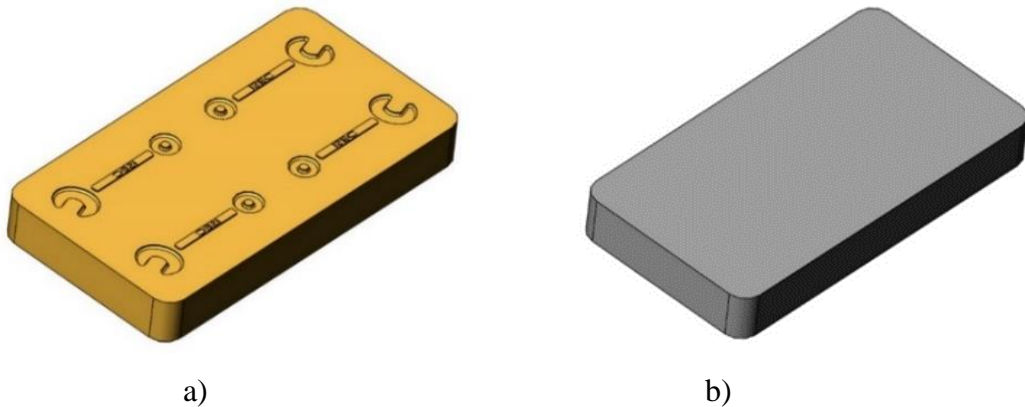
Para o desenho do molde através do *Add-in Moldworks*, é necessário inserir no ficheiro *Assembly*, o postigo da bucha e um bloco sólido com o formato da bucha tendo o bloco como função, cortar uma caixa para o postigo na chapa n.º 3. Na Figura 3.9 pode-se observar cada ficheiro (*Part*) em separado para serem inseridas unicamente num ficheiro *Assembly*.



a) b)

Figura 3.9 - a) Postiço da bucha b) Bloco do postiço da bucha.

Da mesma forma, para o lado da injeção, foram criados dois ficheiros *Part* com o postiço da cavidade e o respetivo bloco como apresentado na Figura 3.10.



a) b)

Figura 3.10 - Postiço da cavidade b) Bloco do postiço da cavidade.

De modo a finalizar a fase de modelação da bucha e cavidade do molde, foi criado um *Assembly* final com os postiços, os respetivos blocos e as peças (Figura 3.11), encontrando-se concluída esta etapa para que no capítulo seguinte seja realizado o desenho completo do molde.

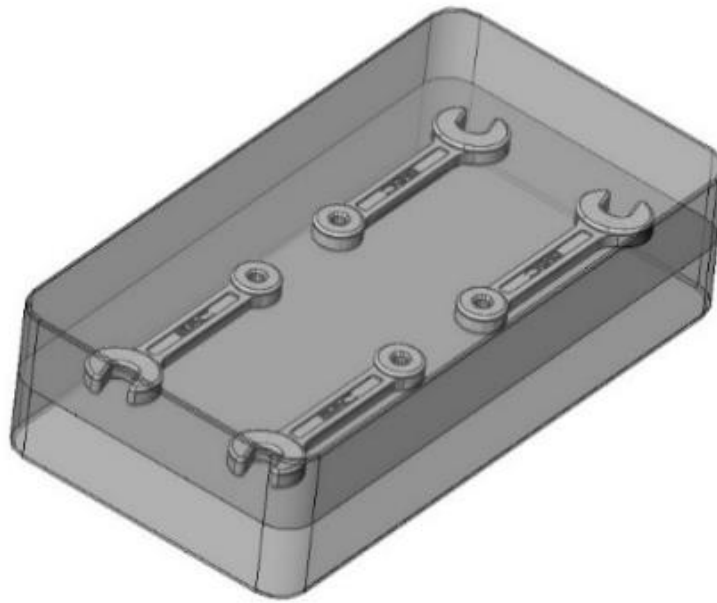


Figura 3.11 - Conjunto final da bucha e cavidade para produzir 4 peças em simultâneo.

4 Desenvolvimento do projeto do molde

4.1 Materiais metálicos do molde

Os aços utilizados na fabricação de moldes devem ser resistentes às tensões e fáceis de maquinar. A resistência às tensões é necessária devido às altas pressões que ocorrem na zona moldante bem como pela necessidade de suportar as tensões de flexão e as cargas de compressão, exigindo que a resistência no núcleo de aço seja alta, enquanto se mantém uma dureza superficial adequada. Uma dureza superficial adequada permite:

- Suportar efeitos de erosão dos materiais termoplásticos rígidos nas zonas do molde em que o fluxo é restrito ou obstruído;
- Resistir ao desgaste, especialmente em grandes produções;
- Manter na superfície um alto grau de polimento, que facilite a extração do produto e lhe proporcione um bom acabamento.

Como regra geral, as partes do molde em contacto com o material plástico fundido e os elementos móveis que suportam o atrito devem ser tratadas para aumento de dureza. As partes do molde que compõem a estrutura são usualmente de aço de baixo teor de carbono, não sendo necessário tratamento (Harada, 2004). Para o desenvolvimento do molde, o fornecedor escolhido foi a HASCO, e por isso as referências retratadas ao longo do projeto são as definidas pelo fornecedor.

4.1.1 Estrutura

O material da estrutura, não apresenta requisitos especiais devido à peça a injetar ser de pequenas dimensões, e não ter como objetivo ser produzida em grandes quantidades. Se estivéssemos a lidar com um molde para injetar milhares de peças, optávamos por um aço 1.2312 de maior resistência ($950 - 1100 \text{ N/mm}^2$) principalmente nas chapas dois, três e oito que sofrem maior impacto. Uma vez que se trata de um molde para um número de peças previsível

na ordem das 1000 a 5000 unidades, foi escolhido o aço 1.1730 que é o mais económico e adequado. Na Tabela 4.1 são apresentadas as características do aço escolhido para a estrutura.

Tabela 4.1 - Características do aço escolhido para a estrutura do molde (Hasco, 2019).

Nº do material	Nome abreviado	Composição química	Resistência à rotura
1.1730	DIN C45 U	C - 0,45%	max. 190HB (~ 650 N/mm ²)
	AFNOR XC48	Si - 0,3%	
	AISI 1045	Mn - 0,7%	

4.1.2 Postiços da bucha e cavidade

A seleção dos materiais para o postiço da bucha e cavidade, não requerem exigências elevadas. Desta forma optou-se por escolher uma liga de Alumínio de elevada resistência mecânica por apresentar características de fácil maquinagem. Na Tabela 4.2 apresenta-se as características do alumínio escolhido para os postiços da bucha e cavidade.

Tabela 4.2 - Características do alumínio escolhido para os postiços da bucha e cavidade do molde (Coppermetal, 2019).

Nº do material	Composição química	Resistência à rotura
7075-T651	Al 87.1 91.4%	180 HB (530 - 570 N/mm ²)
	Si máx 0.4%	
	Mn máx 0.3%	
	Cr 0.18 – 0.28%	
	Cu 1.2 - 2%	
	Fe máx 0.5%	
	Ti máx 0.2%	
Zn 5.1 – 6.1%		

O alumínio 7075-T651 dispõe de uma excelente capacidade de maquinagem, estabilidade, assim como dureza e elevada resistência, sendo comum serem utilizados em moldes vocacionados para baixas cadências de produção. Comparativamente com os aços, a liga de alumínio 7075-T651 oferece benefícios inigualáveis, podendo-se cortar, torner, fresar, perfurar e polir, de uma maneira mais fácil e rápida, admitindo ainda tratamentos de superfície. É tenaz, duro, resistente à corrosão, soldável e reciclável. O 7075-T651 possui o seu peso específico de $2,85\text{g/cm}^3$, sendo $1/3$ menor que o aço, proporcionando um menor desgaste e esforço do equipamento, como também, em condições normais, a fabricação de um molde recorrendo a ligas de alumínio, é reduzida a metade do tempo em relação ao aço e menor desgaste das ferramentas.

4.2 Desenho do Molde

4.2.1 *Software de modelação do molde*

O *software* utilizado para modelar o molde foi o *Solidworks*. Este *software* inclui um módulo que foi utilizado neste trabalho, designado *MoldWorks*®, o qual é baseado em sólidos 3D que fornece ferramentas de design inteligente, intuitivas e inovadoras para a indústria de moldes de injeção. Destacam-se as seguintes vantagens:

- Incorporação de conhecimento específico do processo de fabricação de moldes no *software* CAMD (Computer Aided Mold Design);
- Combinação de conhecimento especializado com automação e associatividade;
- Níveis de produtividade que superam drasticamente o *software* tradicional de fabricação de moldes;
- Proporciona ganhos de tempo de projeto e fabrico.

A visualização dinâmica da base de molde inicial e dos componentes relacionados, reduz significativamente o tempo de projeto. O utilizador pode modificar uma placa, componente ou toda a base do molde sem esforço. Esta funcionalidade, por si só, economiza horas de design

aos utilizadores. Para diminuir ainda mais o processo de projeto, o *MoldWorks* cria automaticamente os desenhos 2D, mantendo a associatividade completa (rnbusa, 2019).

Destacam-se as seguintes funcionalidades do *MoldWorks* (rnbusa, 2019):











- Flexibilidade para permitir o trabalho com modelos de molde do utilizador ou importadas;
- Capacidade ilimitada de usar e criar peças definidas pelo utilizador;
- Importar modelos de moldes criadas com outros pacotes CAM;
- Assistente de componentes para adicionar componentes normalizados e não normalizados, tais como extratores (com corte), pernos de retorno, parafusos, o-rings, etc;
- Módulo para criar circuitos de refrigeração a partir de esboços 2D e 3D com verificação de interferência, componentes automáticos e extensões de limite de peça;
- O módulo *Runners & Gates* cria canais de alimentação a partir de esboços 2D / 3D com visualização dinâmica, inclui escolha de perfil, por esboço, caminho ou segmento;
- Desenhos 2D automáticos das chapas;
- Possibilidade de trabalhar com 15 bibliotecas de componentes comerciais (HASCO, DME, National, Progressive, Futuba, etc).

4.2.2 Construção do modelo

Com o fim de facilitar a distinção entre cada elemento do molde, foi seguido um código de cores habitualmente utilizado pela indústria de moldes, conforme indicado na Tabela 4.3.

Tendo em vista desenhar o molde, a primeira etapa exige abrir o ficheiro *Assembly* criado anteriormente pelo *Splitworks*. De seguida, para a criação do modelo inicial do molde, o *Moldworks* requer a identificação de cada posição (bucha e cavidade), juntamente com os blocos dos posições e as quatro peças. Para além disso exige ainda o reconhecimento do fornecedor da estrutura, dos elementos do molde a utilizar e as configurações pormenorizadas do molde.

Tabela 4.3 - Tabela de cores a utilizar no desenho de moldes.

Tabela de cores		
Aços base com têmpera Código RGB: 0/128/182		Aplicar cor nas faces dos elementos
Aços base sem têmpera Código RGB: 130/130/130		Aplicar cor nas faces das chapas
Zona moldante 1 Código RGB: 150/210/239		Aplicar cor a zona moldante 1
Zona moldante 2 Código RGB: 255/172/0		Aplicar cor a zona moldante 2
Roscas Código RGB: 255/255/0		Aplicar cor em roscas
<i>Interlocks</i> Código RGB: 0/128/0		Aplicar cor nos <i>interlocks</i>
Águas 1 Código RGB: 0/255/255		Aplicar cor a furos de água 1
Águas 2 Código RGB: 0/0/192		Aplicar cor a furos de água 2
Águas 3 Código RGB: 0/128/192		Aplicar cor a furos de água 3
Águas 4 Código RGB: 135/211/255		Aplicar cor a furos de água 4

Desta forma, através do comando *adicionar posições*, foi selecionado os posições (cavidade e bucha) com a designação de cavidades, a chave como sendo a peça plástica, e por fim o os blocos criados anteriormente como sendo uma caixa com sólido que irão cortar a chapa n.º 2 e chapa n.º 3 com o formato das caixas para a inserção dos posições. Na Figura 4.1 podemos observar a seleção feita a cada sólido.

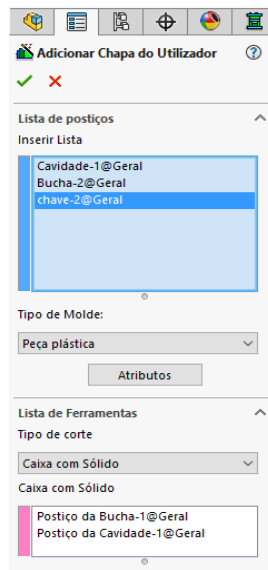


Figura 4.1 - Designação de cada sólido para a criação dos posiços.

De seguida é necessário criar um sistema de coordenadas do molde. Através do comando, *criar sistema de coordenadas do molde* seleciona-se o plano da linha de junta e o ponto central do molde. Na Figura 4.2 pode ser observado o sistema de coordenadas do molde.

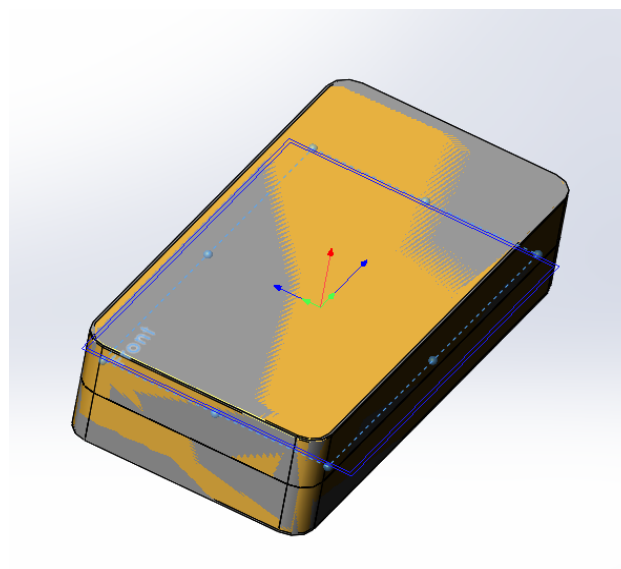


Figura 4.2 - Definição do sistema de coordenadas do molde.

4.2.3 Estrutura, guiamento e centragem

Para a criação do modelo base do molde é possível importar cada chapa individualmente, ou então, alternativamente, o *Moldworks* permite importar diretamente a estrutura completa, com base no fornecedor dos materiais selecionado. Através do comando *Novo Molde*, escolheu-se o fabricante HASCO, e com base neste fornecedor foram selecionadas as dimensões para o molde e a configuração das chapas do molde.

Caso seja necessário adicionar outros elementos não incluídos inicialmente na configuração das chapas, por exemplo a escolha de uma chapa de reforço da bucha, pode ser reformulada a configuração, conforme é apresentado na Figura 4.3 a). De forma a selecionar a espessura de cada chapa, é necessário abrir o separador relativo às espessuras de cada chapa *standard* apresentado na Figura 4.3 b), e escolhida a espessura conforme o objetivo pretendido.

Para o molde em estudo, escolheu-se uma espessura de 27 mm para as chapas inferior e superior de aperto pois trata-se da espessura mínima *standard*, não se justificando que as chapas possuam uma espessura maior. No caso da chapa n.º 2 e chapa n.º 3, selecionou-se uma espessura de 56 mm, devido ao postigo ter uma espessura de 25 mm e de forma a desenhar ainda os canais de refrigeração.

Para as restantes chapas, as exigências são poucas, pois atendendo à geometria da peça não é necessário um curso de extração muito grande. Assim, para a chapa de extração e de aperto de extração foram escolhidas as espessuras mínimas *standard*. Para a espessura dos calços foi definido 56 mm, permitindo um curso de extração de 24 mm, que é mais que suficiente para a peça a injetar.

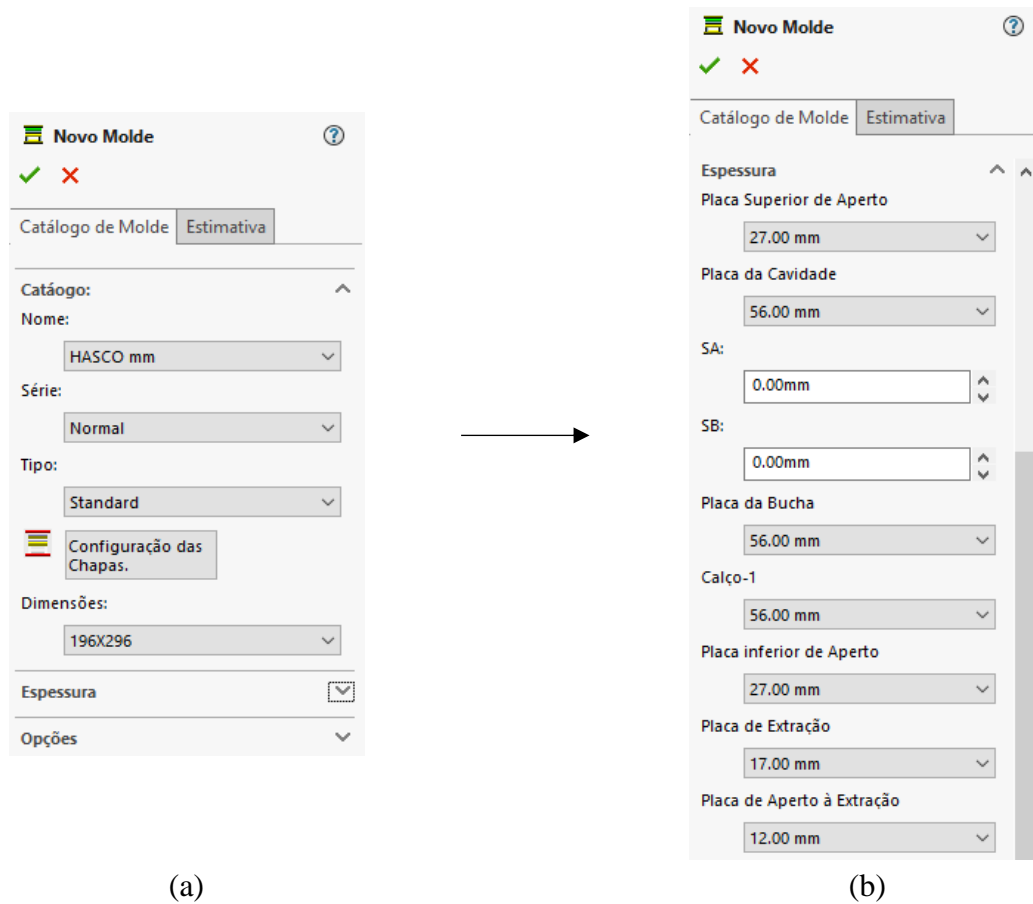


Figura 4.3 - Configurações para: escolha das chapas do molde (a) e escolha das espessuras das chapas do molde (b).

A Figura 4.4 mostra um exemplo da visualização 3D do molde que o *Moldworks* concebe ao longo destas configurações, para que o utilizador possa ter uma referência para as modificações que está a fazer. De forma a facilitar a construção do molde, pode-se optar pela introdução automática de alguns elementos como por exemplo as guias, casquilhos e o anel de centragem pretendido.

Após a seleção de todas as configurações pretendidas, é necessária uma verificação cuidada de todos os valores introduzidos, pois caso exista algum erro, depois de o *Moldworks* criar o molde, torna-se difícil fazer alterações.

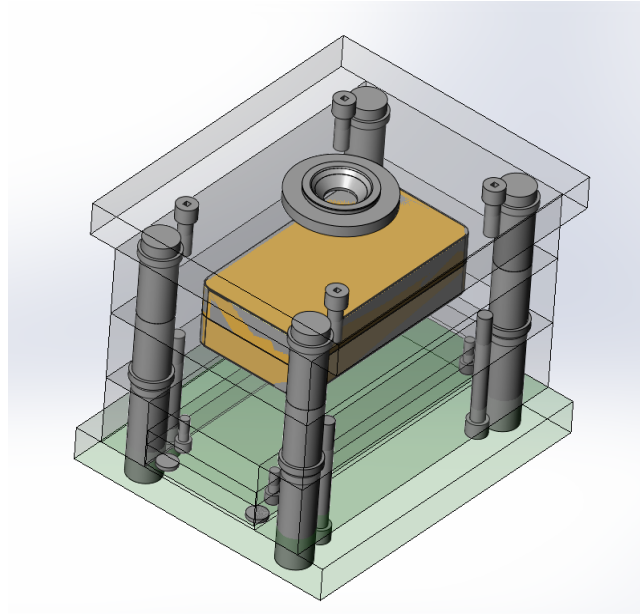


Figura 4.4 - Visualização 3D do molde ao longo das configurações.

Na Figura 4.5 está representado o modelo do molde já criado com todas as chapas montadas e com alguns elementos inseridos, tais como as guias e casquilhos principais, os parafusos que apertam a chapa 1 à chapa 2, os parafusos que apertam a chapa 9 à chapa 8, os discos de encosto e por fim, os parafusos que apertam a chapa n.º 7 à chapa n.º 8.

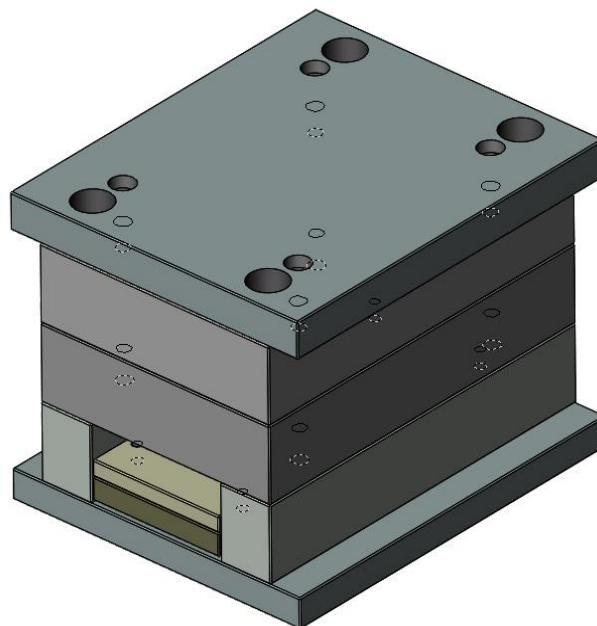


Figura 4.5 - Modelo do molde inicial.

Na Figura 4.6 pode ser observado o lado da injeção do molde, na qual é possível observar as guias principais e a amarelo o postigo da cavidade.

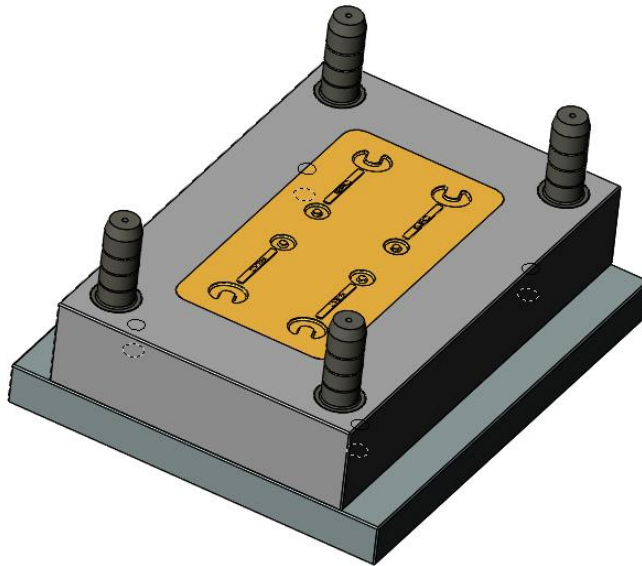


Figura 4.6 - Lado da injeção do molde.

Por outro lado, na Figura 4.7 está representada a parte da extração do molde, onde podemos ver os casquilhos das guias principais e a amarelo o postigo da bucha.

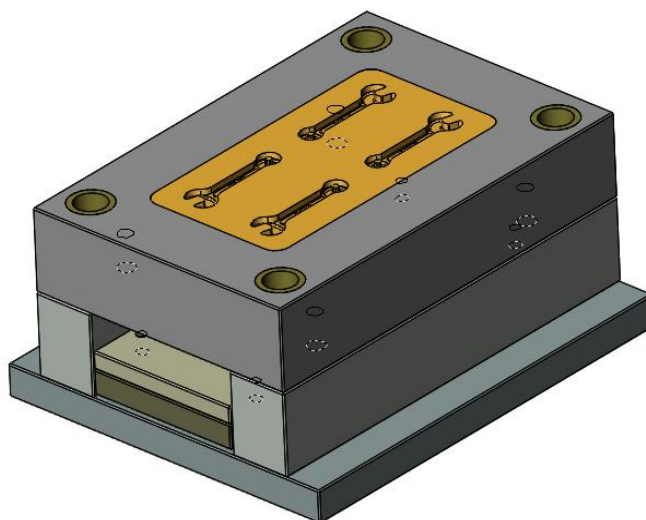


Figura 4.7 - Lado da extração do molde.

Tendo o modelo do molde criado, podemos observar que ainda existem inúmeras etapas a percorrer. O passo seguinte consistiu em aplicar uma das regras de projeto dos moldes, que recomenda que uma das guias do molde tenha um diâmetro diferente ou então, esteja deslocada em relação às outras guias. Esta regra é muito importante, pois impede que a montagem do molde seja feita numa posição incorreta.

O método escolhido para cumprir a regra de projeto referida anteriormente foi a escolha de uma guia de diâmetro diferente. As guias principais *standard* colocadas por predefinição pelo *Moldworks* são guias HASCO com cabeçote de centragem com a referência Z00/56×22×55. Na Figura 4.8 podemos observar a geometria da guia escolhida e as respectivas características deste componente (tolerâncias dimensionais e rugosidade superficial).

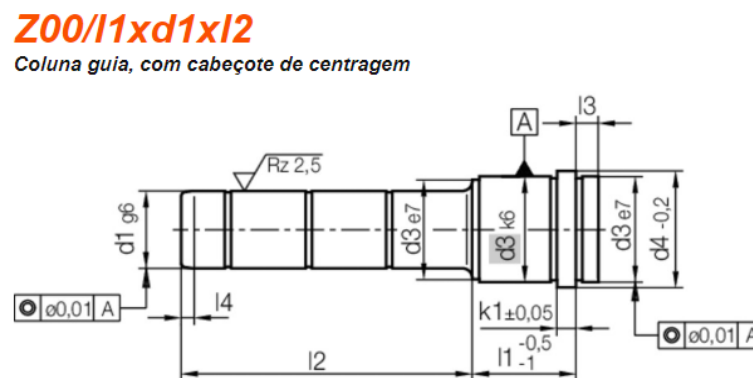


Figura 4.8 - Esquema da guia principal HASCO Z00/l1×d1×l2 (HASCO, 2019).

De forma a modificar os diâmetros das guias, como não existe guias *standard* de menor diâmetro para as espessuras das chapas escolhidas, foram colocadas três guias de diâmetro 24 mm e uma guia de 22 mm. Para isso através da árvore do *Moldworks* recorreu-se aos acessórios *standard* e editou-se as guias colocadas por pré definição para 24 mm com o comprimento de 115 mm e eliminou-se uma. Na Figura 4.9 podemos observar o molde com apenas três guias de 24 mm.

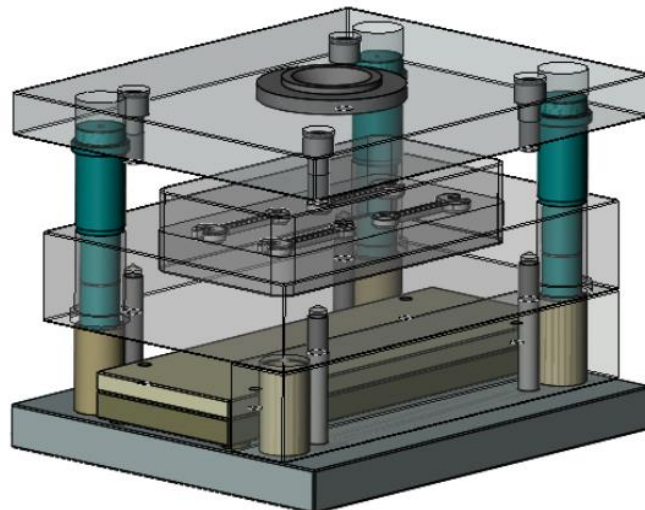


Figura 4.9 - Visualização do molde com as 3 guias de igual diâmetro.

Para adicionar a guia de tamanho diferente, no separador posição, tem que ser indicado um *sketch* com o ponto onde queremos inserir a guia e a face onde vai ser colocada (face superior da chapa 2). Podemos observar na Figura 4.10 que foi escolhida uma guia (cor rosa) de menor diâmetro e com o mesmo comprimento, a qual é designada, Z00/56×22×115.

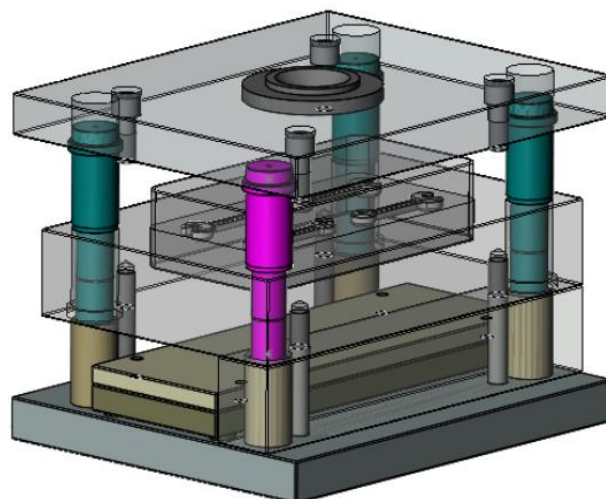


Figura 4.10 - Visualização da guia de diâmetro diferente.

Os casquilhos das guias *standard* colocados por predefinição pelo *Moldworks* são casquilhos HASCO com cabeçote de centragem e com a referência Z10/56/22. Na Figura 4.11 podemos observar o esquema do casquilho escolhido para o molde.

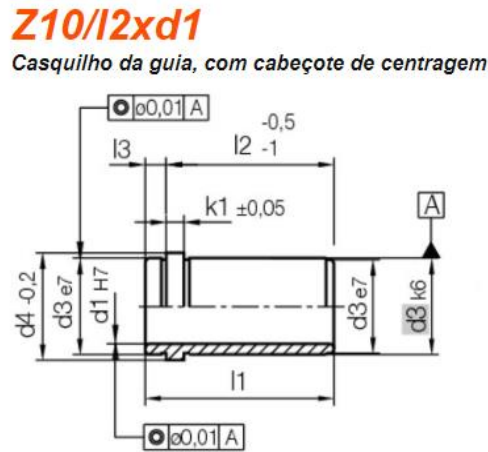


Figura 4.11 - Esquema do casquilho da guias HASCO Z10/I2×d1 (HASCO, 2019).

Na Figura 4.12 podemos analisar os três casquilhos de 24 mm a verde-esmeralda. O procedimento para alteração do casquilho da guia de menor diâmetro será o mesmo que foi realizado para a modificação da guia principal de 22 mm. A posição será a mesma, apenas se muda a face de posicionamento, e escolhe-se um casquilho de diâmetro 24 mm representado na Figura 4.13 a cor-de-rosa.

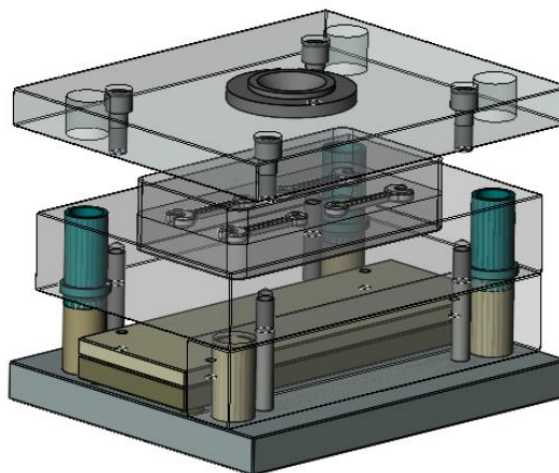


Figura 4.12 - Visualização do molde com três casquilhos de 24 mm de diâmetro.

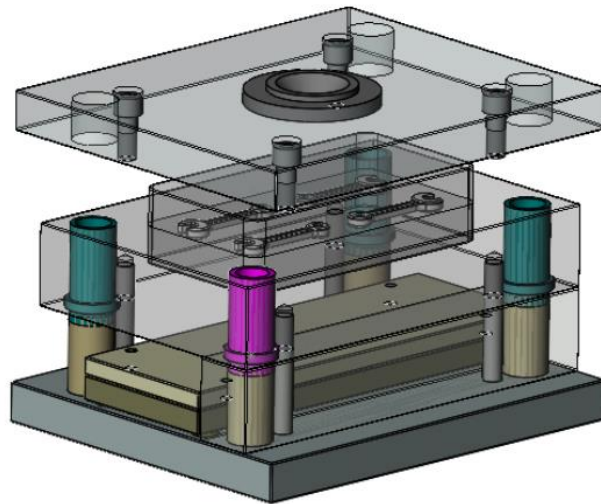


Figura 4.13 - Visualização do casquilho de diâmetro diferente.

No que diz respeito aos casquilhos de centragem do molde, o *Moldworks* coloca por predefinição casquilhos *HASCO standard*, de referência *Z20/d3×80*. Na Figura 4.14 podemos observar a geometria do casquilho de centragem selecionado.

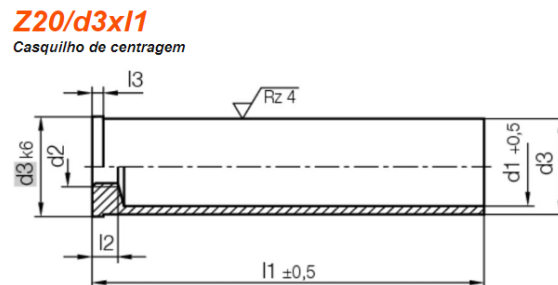


Figura 4.14 - Esquema dos casquilhos de centragem HASCO Z20/d3×l1 (HASCO, 2019).

Uma vez que os casquilhos de centragem colocados por defeito são de elevado comprimento e estão erradamente sobrepostos aos casquilhos das guias, conforme é possível observar na Figura 4.13 foi necessário proceder a uma modificação, alterando o comprimento para 60 mm. Na Figura 4.15 podemos observar os casquilhos de centragem com o comprimento correto.

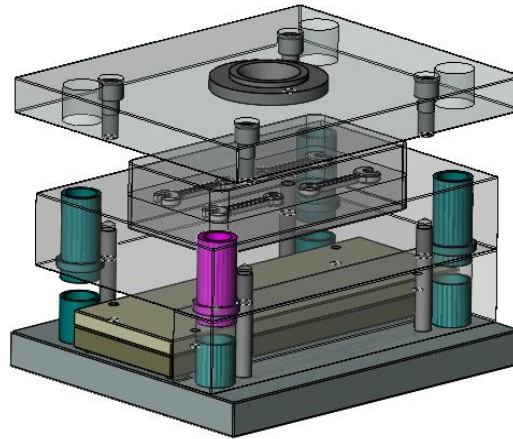


Figura 4.15 - Visualização da modificação no comprimento dos casquilhos de centragem.

Após a correção dos elementos que foram introduzidos automaticamente no molde, seguiu-se para a introdução dos elementos não inseridos pelo *Moldworks*. Para tal, procedeu-se à colocação dos *interlocks*, recorrendo ao site do fornecedor HASCO foi escolhido o elemento e de seguida procurada a referência no *Moldworks* para este ser inserido automaticamente. Os *interlocks* escolhidos para o molde têm a designação HASCO Z086/40×10, onde a sua geometria se encontra representada na Figura 4.16.

Z086/b1xb2
Interlock prismático

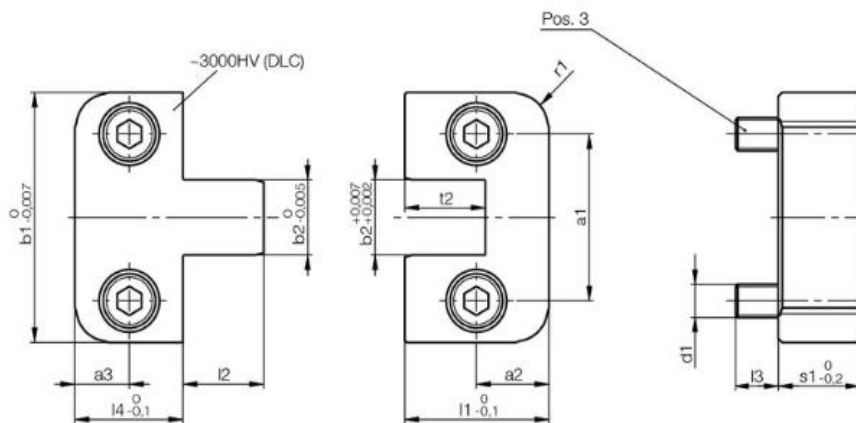


Figura 4.16 - Interlocks HASCO Z086/b1×b2 (HASCO, 2019).

A Figura 4.17 ilustra a verde os quatro pares de *interlocks* colocados no molde com os respetivos furos de fixação. Estes elementos são de grande importância pois garantem a correta centragem do molde no momento final de fecho.

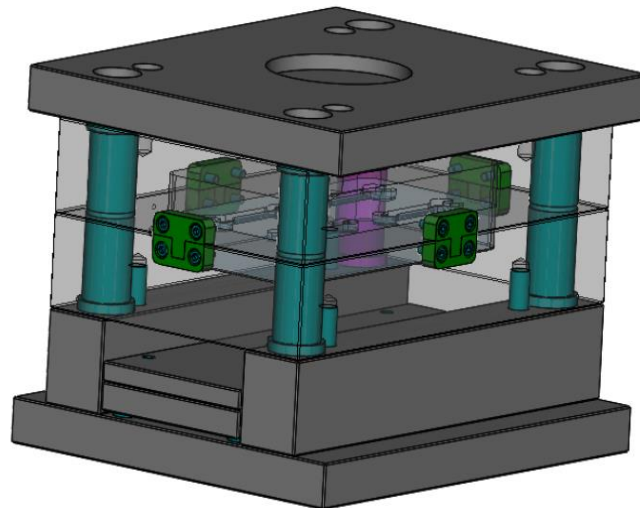


Figura 4.17 - Visualização dos *interlocks* no molde.

De seguida, , foram realizados rasgos nos quatro cantos das chapas do molde de forma a se poder introduzir uma ferramenta de auxilio e facilitar a desmontagem do molde quando necessário. Na Figura 4.18 podemos observar os rasgos introduzidos nas chapas do molde.

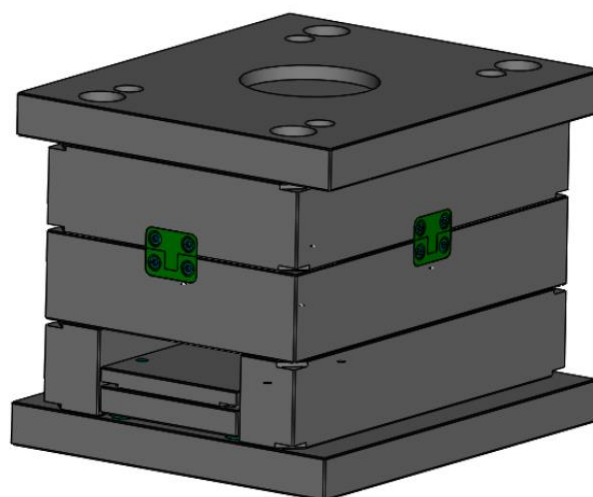


Figura 4.18 - Representação dos rasgos de desmontagem das chapas no molde.

Os rasgos têm uma profundidade de 4 mm e apresentam um comprimento máximo de 20 mm com um ângulo de 45°, tal como se apresenta na Figura 4.19. Os rasgos foram realizados de acordo com regras de projeto de desenho dos moldes.

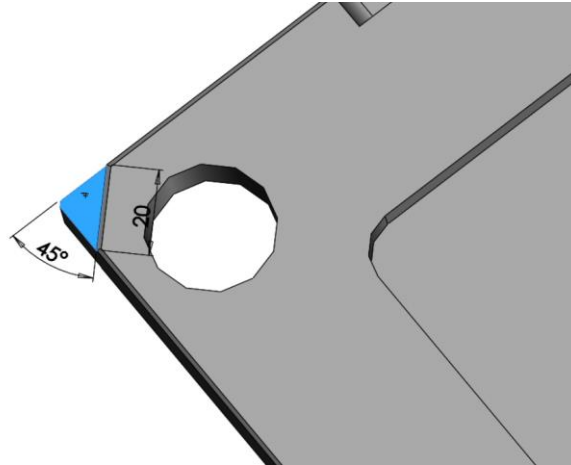


Figura 4.19 - Representação das dimensões do rasgo.

De modo a fixar os postigos da bucha e cavidade às chapas n.º 2 e n.º 3, foram colocados quatro parafusos M5. O *Moldworks* permite configurar todos os parâmetros dos parafusos, tais como o comprimento, parâmetros do furo e ainda a folga, conforme se pode observar na Figura 4.20.

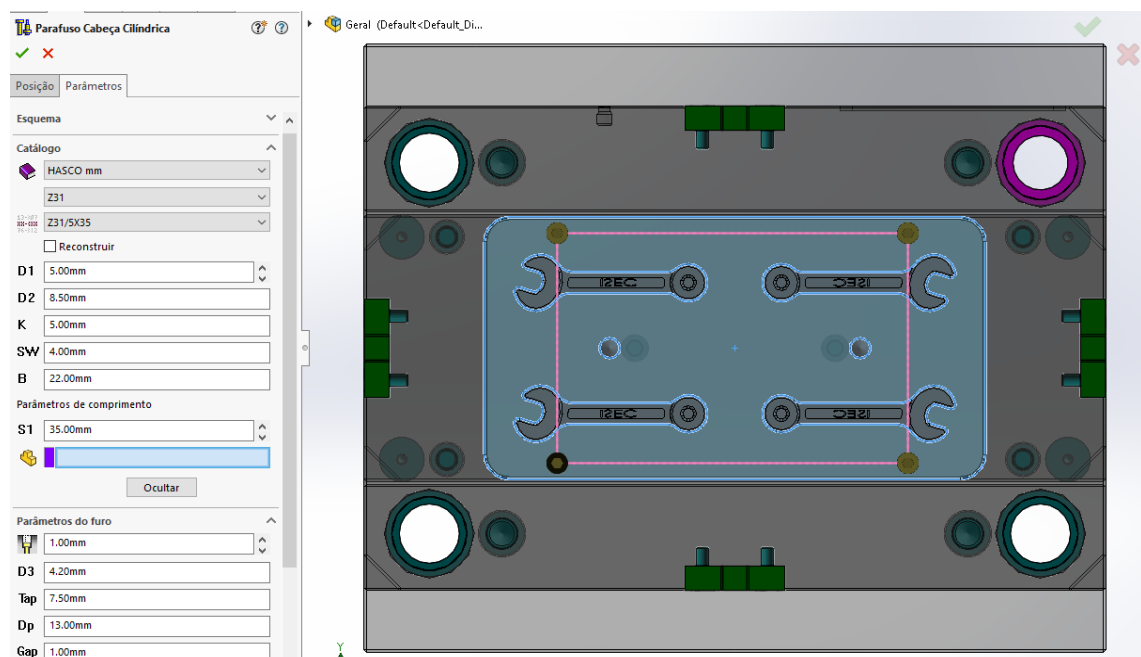


Figura 4.20 - Representação dos parafusos de aperto dos postigos.

Foram ainda realizados nesta etapa dois furos M8 centrados no postigo com o objetivo de facilitar a montagem e desmontagem, (Figura 4.21). No lado da injeção foi repetido o mesmo procedimento.

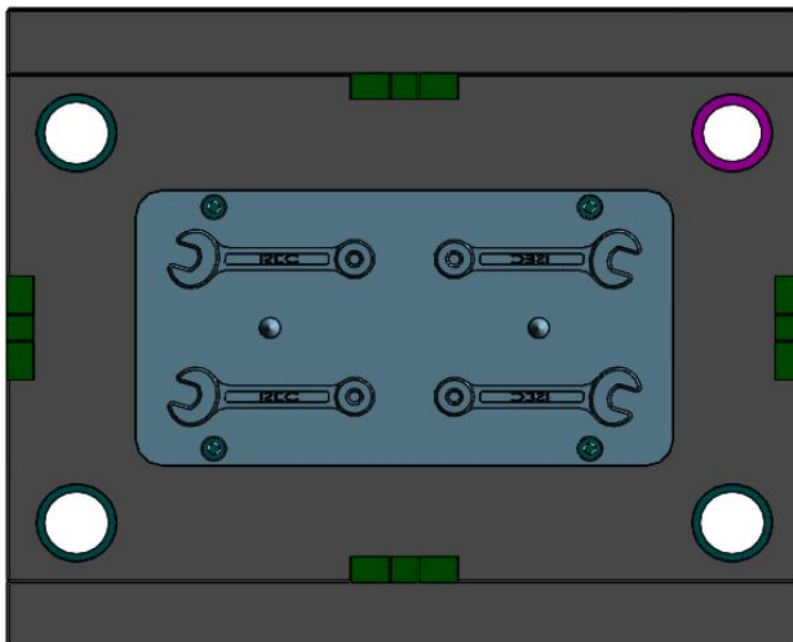


Figura 4.21 - Visualização do molde lado da extração, após a colocação dos parafusos M5 e furos M8.

4.2.4 Sistema de alimentação

O sistema de alimentação é constituído por uma série de canais geralmente maquinados numa ou mais placas do molde pelo qual o material fundido é transportado desde o bico de injeção até cada zona moldante. O sistema de alimentação pode ser de canais quentes ou canais frios. No sistema de canais quentes, o sistema de alimentação é controlado termicamente, mantendo o material no estado fundido desde o bico da máquina de injeção até à zona moldante. No sistema de canais frios, mais económico e menos complexo, por isso mais usual, o polímero circula nos canais à temperatura do molde, sem qualquer controlo da temperatura, ocorrendo assim um decréscimo da temperatura do material fundido.

No caso deste trabalho, optou-se por projetar e construir um sistema de alimentação de canais frios, pois tendo em conta a reduzida dimensão da peça moldada e do molde, não fazia sentido optar por outra solução.

O fundido entra no molde pelo jito que pode ligar diretamente com a impressão (injeção direta), ou ramificar-se num sistema de alimentadores. A entrada do polímero fundido nas impressões é feita através dos ataques. O jito é um canal troncocónico divergente, com um ângulo de abertura de 2° a 5°, que liga o bico de injeção aos canais de alimentação ou à própria impressão. Esta conicidade é necessária para facilitar a sua extração. Os canais de alimentação podem ser classificados quanto à secção transversal, podendo ser:

- Circulares;
- Trapezoidais;
- Trapezoidais modificados;
- Semicirculares;
- Retangulares.

A Figura 4.22 demonstra as secções dos diferentes tipos de canais de alimentação reproduzidos nas duas placas moldantes ou apenas numa das placas, consoante o caso.

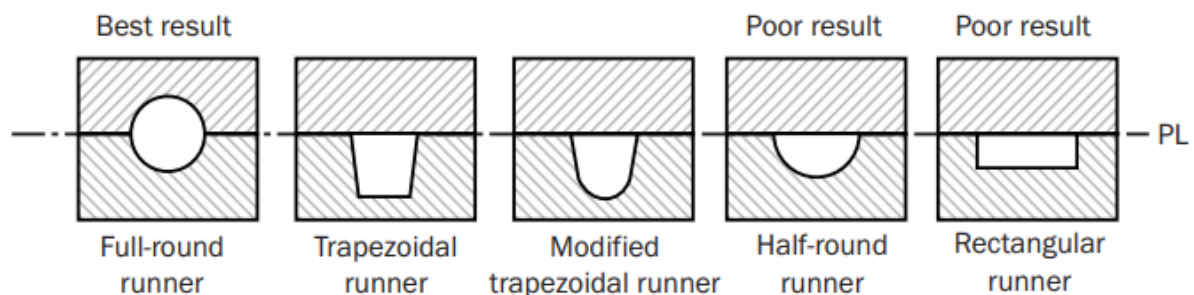


Figura 4.22 - Classificação da geometria dos canais de alimentação (Corporation, 2006).

Quanto ao tipo de ataque, e consoante o objetivo pretendido, estes são classificados como representado na Figura 4.23.

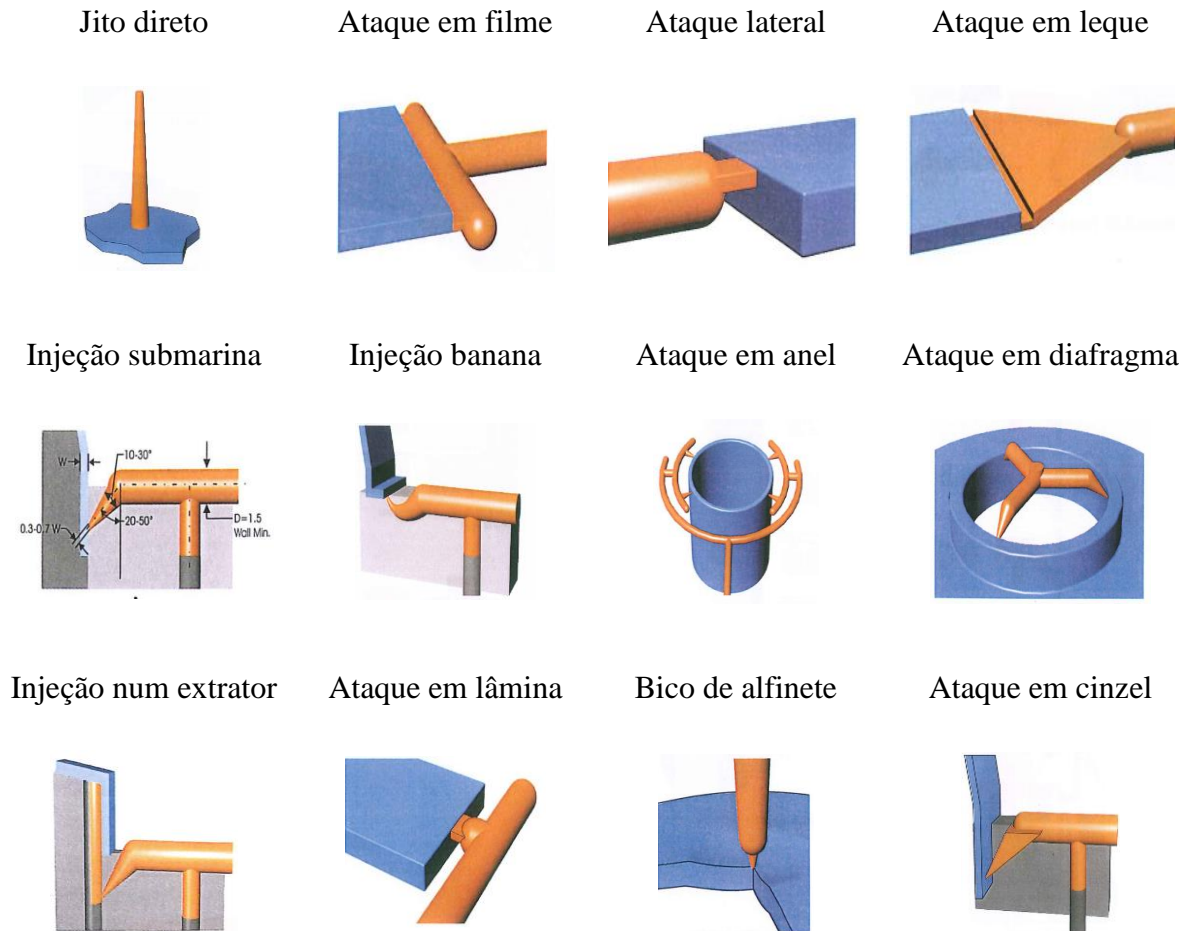
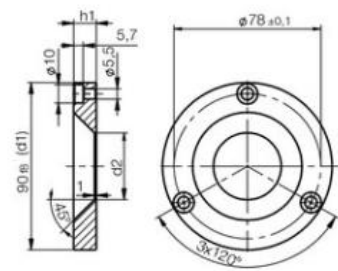


Figura 4.23 - Classificação quanto ao tipo de ataque (Beaumont, 2019).

Antes de se iniciar a construção dos canais, a primeira etapa consistiu em definir a colocação do anel de centragem e do bico de injeção, de acordo com máquina injetora prevista ser utilizada. O anel de centragem selecionado HASCO Z7515/90×15, encontra-se representado na Figura 4.24.

Z7515/d1xh1

Anel de centragem, com furos de fixação



Typ 2

Figura 4.24 - Anel de centragem HASCO Z7515/d1xh1 (HASCO, 2019).

O bico de injeção escolhido tem a designação HASCO Z51/18×56×3.5×15.5, tendo sido este escolhido pelo facto de ser o bico *standard* disponível com o diâmetro mais pequeno (Figura 4.25).

Z51/d2x1xd1xsr1

Injectores, raio da calota métrico

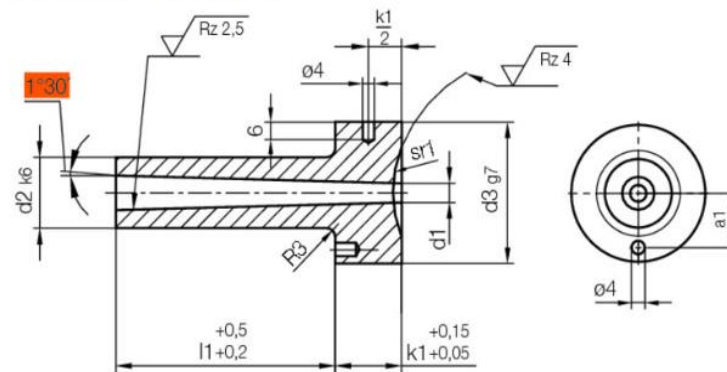


Figura 4.25 - Bico de injeção HASCO Z51/d2x1xd1xsr1 (HASCO, 2019).

Na Figura 4.26 pode-se observar o posicionamento do anel de centragem e do bico de injeção, bem como a localização do ponto de injeção relativamente aos restantes elementos do molde.

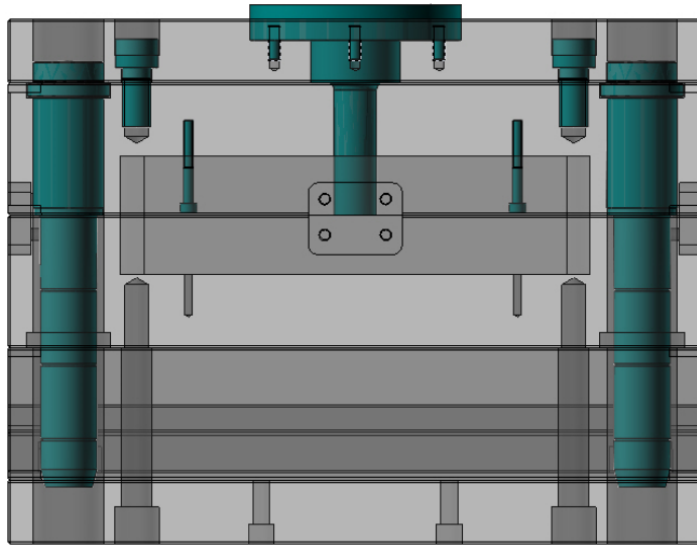


Figura 4.26 - Posicionamento do anel de centragem e do bico de injeção no molde.

Embora tenha sido selecionado o bico de injeção disponível de menor diâmetro, (diâmetro no final do bico de injeção de 7,30 mm), este será maior que o canal de alimentação implementado, resultando num jito de grande diâmetro. Na Figura 4.27 encontra-se representado o bico de injeção, visualizado no lado da injeção do molde.

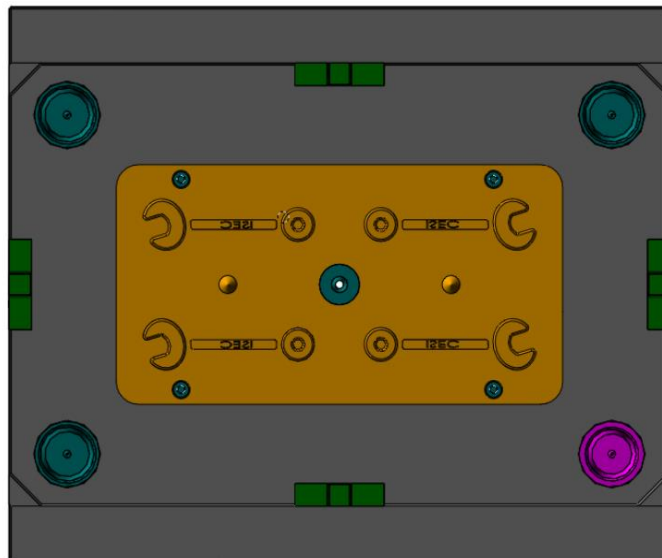


Figura 4.27 – Visualização do bico de injeção no lado da injeção do molde.

Depois de uma análise a todos os fatores condicionantes, para evitar problemas na linha de junta (rebarba), optou-se por projetar canais de alimentação trapezoidais, uns maquinados no postigo do lado da injeção e outros no postigo do lado da extração, de acordo com a necessidade. Uma vez que se pretende que o material solidificado nos canais frios seja separado automaticamente da peça durante a extração, optou-se por desenhar um sistema de ataque à peça por injeção submarina. Inicialmente o canal trapezoidal do sistema de alimentação foi planeado ser contruído no lado da extração (Figura 4.28), com o objetivo de obter desse lado a maior área de contacto do polímero com a superfície do molde, para certificar que a peça fica agarrada do lado da extração durante a abertura do molde. Só assim será possível que o sistema de extração a projetar seja eficaz.

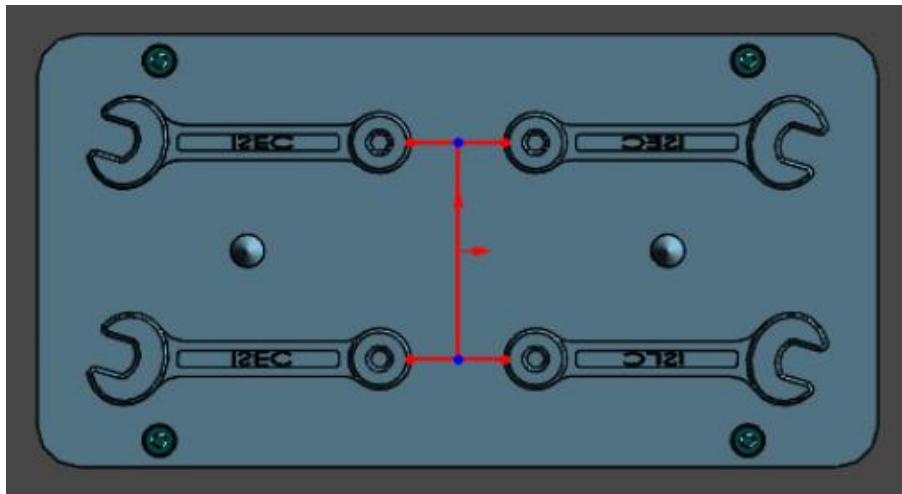


Figura 4.28 - Esquema do canal de alimentação projetado inicialmente no lado da extração do molde.

No entanto, no momento de definir a geometria da injeção submarina, constatou-se que pelo facto da peça a injetar ter uma espessura relativamente pequena, o ponto de injeção não alcançava a peça, ficando abaixo desta. Este problema está relacionado com o facto de o ângulo de ataque do canal de injeção dever ter 45° , de modo a garantir que o polímero solidificado no canal de injeção quebre no local de contacto com a peça, aquando da extração.

Como solução, decidiu-se optar por fazer parte do canal de injeção na bucha e outra parte na cavidade, pois permite aumentar a altura do canal da injeção submarina e assim obter uma inclinação de 45° . Na Figura 4.29 é possível observar na parte da extração o esquema do canal

de alimentação. A linha central trata-se do canal de alimentação principal, e os pontos será o local onde serão feitos os canais da injeção submarina.

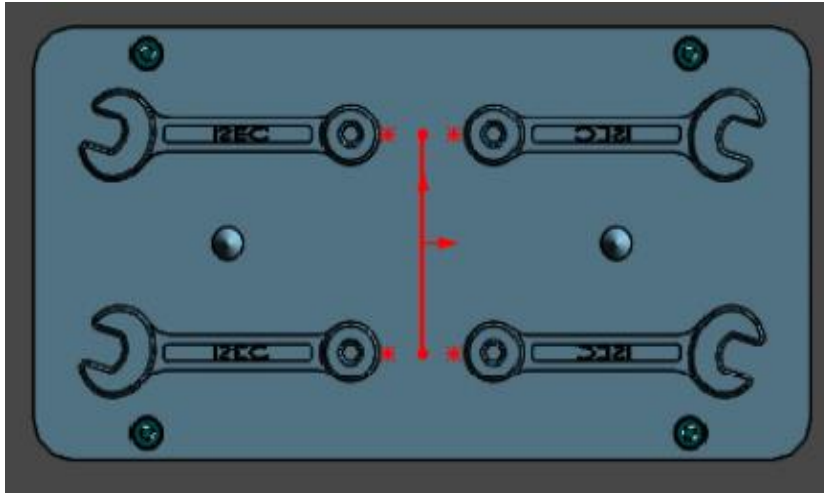


Figura 4.29 - Esquema do canal de alimentação principal e canal de injeção submarina, representado no lado da extração do molde.

Do lado da injeção foram contruídos os canais de alimentação secundários, de acordo com o esquema da Figura 4.30. Dada a configuração dos canais, durante a injeção, o polímero irá fluir inicialmente no canal principal que se encontra na bucha e depois sobe para os canais de alimentação secundários que se encontram na cavidade.

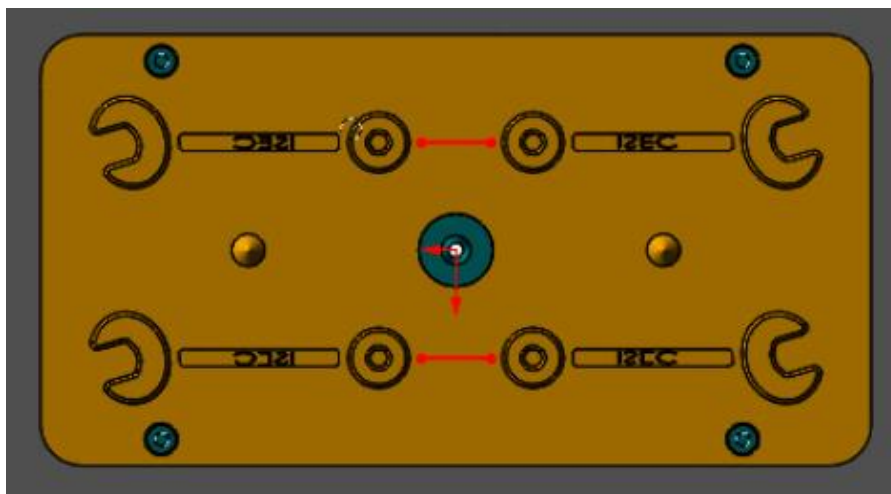


Figura 4.30 - Esquema do canal de alimentação secundário, representado no lado da injeção do molde.

Atendendo que não existe no ISEC o processo de fabrico por eletroerosão, tentou-se encontrar uma solução para que os canais da injeção submarino fossem fabricados na máquina de CNC. A decisão, passou por desenhar dois meios posições para que fosse possível maquinar metade do canal na superfície de cada um dos posições. Na Figura 4.31 encontra-se representado os dois posições com os canais de alimentação montados na placa do molde e fixos por intermédio de parafusos.

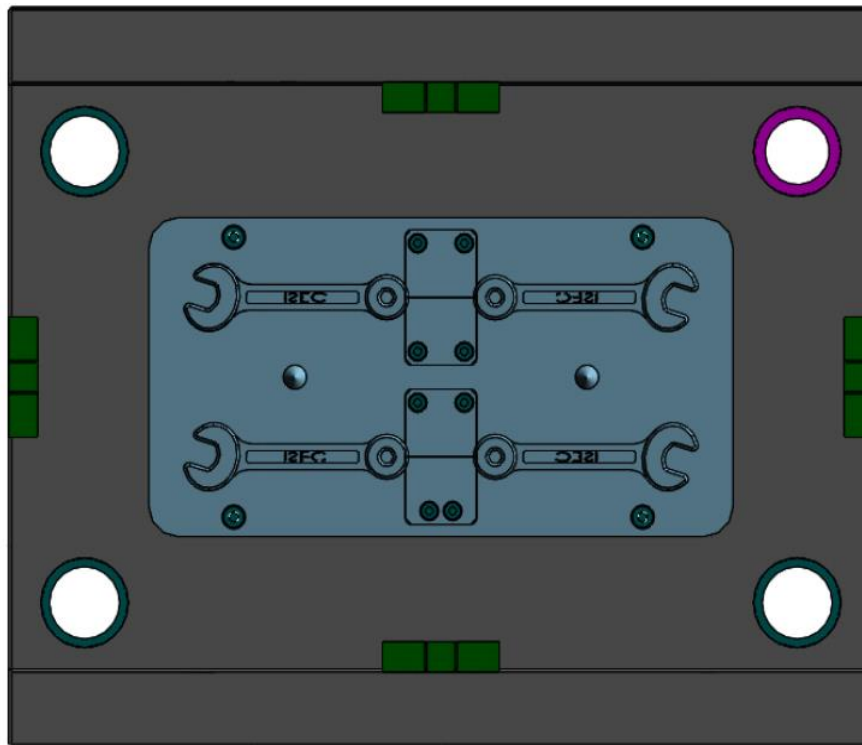


Figura 4.31 - Lado da extração do molde com os posições de injeção.

A Figura 4.32 representa a árvore de operações do *Moldworks* com as configurações a escolher para definir os canais de alimentação. Como podemos verificar, foi escolhido para o canal de alimentação principal um diâmetro de 4 mm com um ângulo de 10° e automaticamente, o programa calcula a profundidade. Apesar do *Moldworks* definir automaticamente os canais de alimentação, não permite a realização dos poços frios. Por esse motivo, com a ferramenta do *Solidworks* – *Cut Extrude*, foram desenhados 3 poços frios com 4 mm de profundidade, e ângulo negativo de 3° , de forma a facilitar uma correta extração, segurando o canal de alimentação no lado da extração.

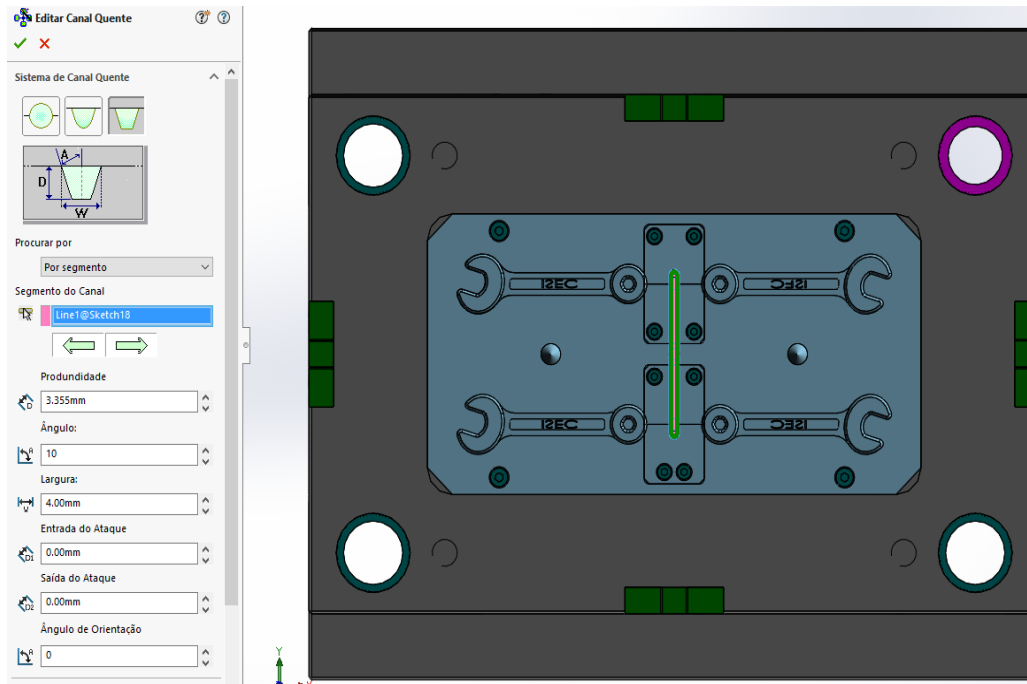


Figura 4.32 - Árvore de operações do *Moldworks* para definir os canais de alimentação e canal principal representado na placa e posições da bucha.

No lado da injeção foram seguidamente desenhados os canais de alimentação secundários reduzindo o diâmetro do canal para 3 mm. Na Figura 4.33 representa-se os canais de alimentação secundários desenhados.

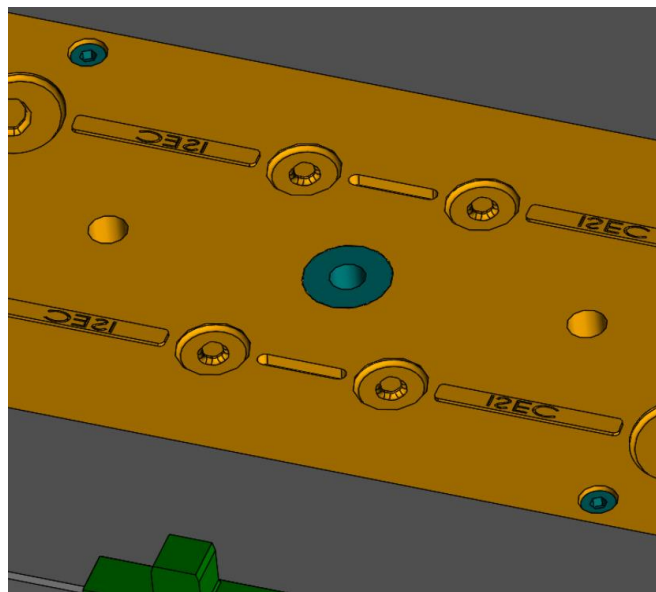


Figura 4.33 - Visualização dos canais de alimentação secundários do lado da injeção.

Para finalizar, foi realizada a construção dos canais de injeção submarina nos postigos colocados no lado da extração. Para isso, através da árvore de operações do *Moldworks*, foram adicionados os ataques aos canais de alimentação secundários e configurados todos os parâmetros como por exemplo, a colocação da submarina a 45°, com um diâmetro final do cone da submarina a acabar em 1 mm (diâmetro adequado para posterior maquinagem) e a localização do cone da submarina indicando o ponto inicial e final do cone. Na Figura 4.34 encontra-se representada a configuração escolhida para o canal de injeção submarina.

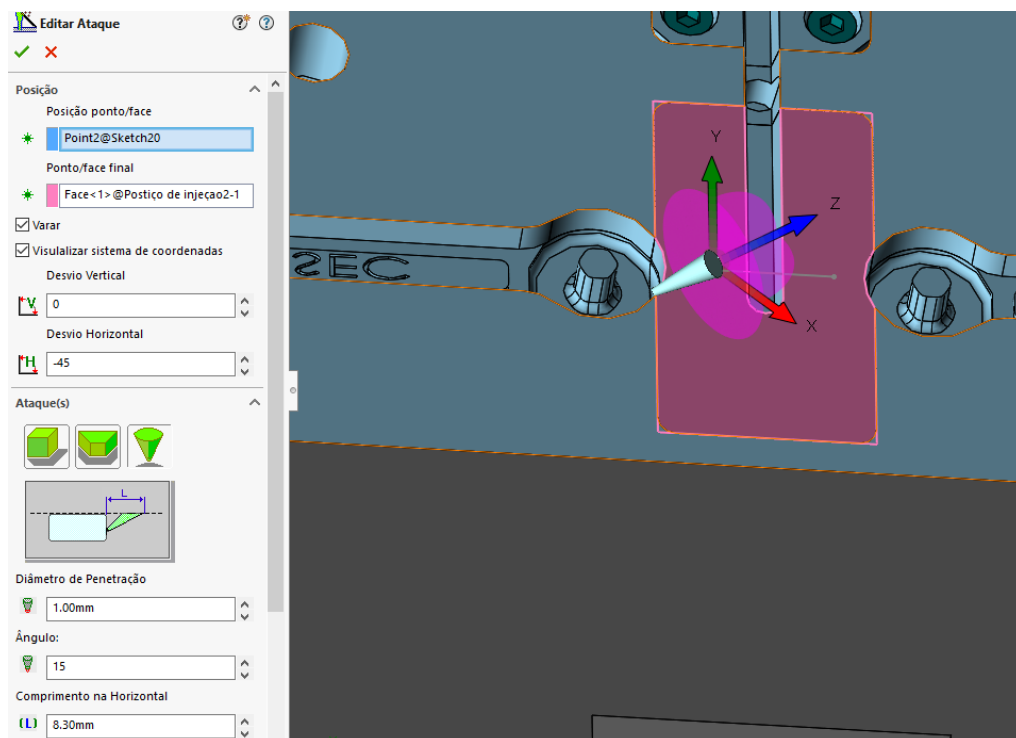


Figura 4.34 - Árvore de operações do *Moldworks* na escolha da geometria do canal de injeção submarina e localização no molde.

Para melhor compreensão de como é que o polímero fundido irá ser injetado nas peças, na Figura 4.35 visualiza-se uma vista em corte do canal de alimentação onde é possível verificar a injeção submarina localizada na parte do anel da peça.

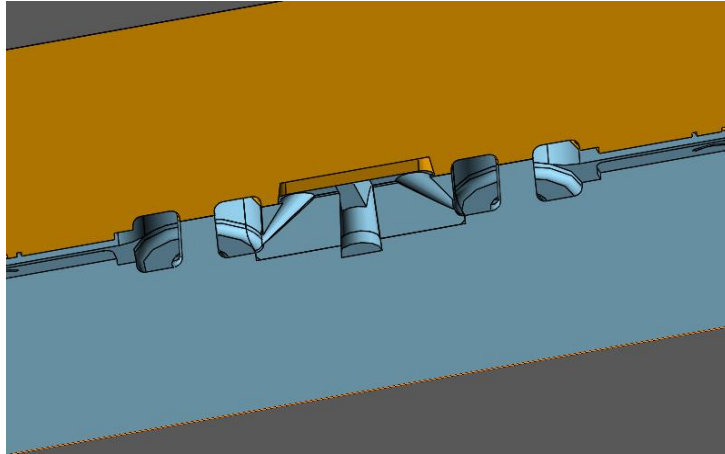


Figura 4.35 - Vista em corte do canal de alimentação, com realce para o canal de injeção submarina e ponto de contacto do canal com a cavidade da peça a moldar.

4.2.5 Sistema de extração

Durante o processo de injeção, o material fundido é injetado no molde fechado e frio com pressões relativamente elevadas (fase de injeção). Para contrariar estas pressões, a unidade de fecho do molde mantém o molde fechado, evitando que o material saia das zonas moldantes. Na fase final da injeção e de forma a compensar a contração do polímero durante o arrefecimento, é mantida a pressão, por forma a injetar mais material para as zonas moldantes (fase de pressurização) até que o ataque solidifique. Depois desta fase o material arrefece até atingir uma rigidez suficiente (fase de arrefecimento) que permita a sua extração do molde. (CENTIMFE, 2003)

A extração da peça plástica é efetuada no intervalo entre a abertura e fecho do molde e o ideal seria a peça cair por gravidade, mas tal não acontece na maioria das situações devido à contração, adesão e contra saídas existentes. Desta forma, a peça fica agarrada ao molde, habitualmente do lado da bucha, sendo necessário um sistema de extração para que esta se separe da zona moldante.

O sistema de extração é geralmente atuado através de um veio, roscado na chapa 8 e conectado à máquina de injeção. Caso este método não seja possível, o sistema de extração, pode ser atuado autonomamente por um sistema hidráulico ou pneumático.

O sistema de extração simples é normalmente constituído pelos seguintes elementos (CENTIMFE, 2003):

- **Chapas dos extratores** (Chapa n.º 7 e n.º 8) – fixam, posicionam os extratores e promovem o seu acionamento;
- **Suportes** – apesar de não fazerem realmente parte do sistema de extração, estão localizados na “caixa de extração”, servindo, por um lado, para diminuir a flexão da placa das buchas e, por outro lado, de reforço, devido às pressões desenvolvidas nas fases de injeção e pressurização do ciclo de injeção;
- **Botões de encosto** – fazem a separação das placas dos extratores da chapa de aperto da extração, permitindo que o seu acabamento superficial possa ser menor. Além disso, permitem que eventuais sujidades se venham a acumular nesta zona durante a produção, não prejudicando o funcionamento deste sistema;
- **Casquilhos e guias de extração** – normalmente são quatro, servindo para guiar o movimento das placas dos extratores;
- **Pernos de retorno** – Geralmente são aplicados quatro pernos, promovem o recuo das placas dos extratores e protegem os extratores de eventuais contactos indesejáveis, assegurando também que os extratores estejam na posição correta antes do início da injeção no ciclo seguinte. Estes pernos são iguais aos extratores cilíndricos só que, normalmente, de diâmetro substancialmente maior;
- **Extratores** – empurram diretamente a peça e devem atuar em zonas onde tenha havido consolidação suficiente de material e as marcas provocadas não prejudiquem a estética da peça. Em regra, a área de contacto peça- extrator deve ser tão grande como possível e ter em conta a força necessária para a extração;
- **Parafusos** – promovem a união das placas dos extratores.

A primeira etapa de projeto do sistema de extração, , consistiu na escolha dos pernos de retorno no fornecedor HASCO. Foram então selecionados extratores cilíndricos temperados com a referência Z40/10×100. Devido às dimensões do molde, concluiu-se que 4 pernos de retorno de 10 mm de diâmetro seriam o ideal com a medida *standard* superior à necessária, ou seja, com 100 mm. Os pernos de retorno serão corrigidos posteriormente em relação ao seu comprimento para a medida desejada. Na Figura 4.36 está representado o perno de retorno selecionado e a respetiva dureza e rugosidade que possui nas diferentes seções.

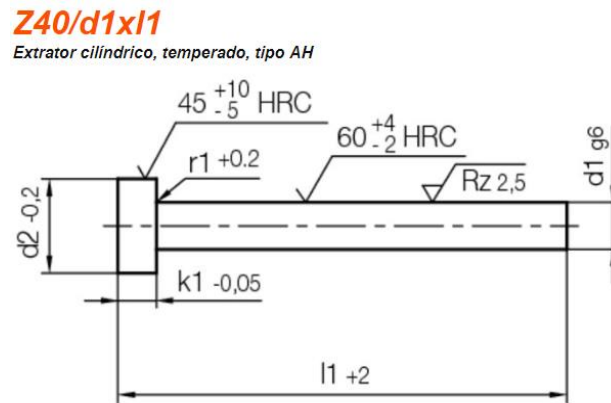


Figura 4.36 - Esquema do extrator cilíndrico HASCO Z40/d1x11 (HASCO, 2019).

A posição dos pernos de retorno é aconselhável ser o mais próximo possível das faces exteriores do molde, de modo a criar estabilidade nas placas durante o fecho do molde. Na Figura 4.37 pode-se observar os pernos de retorno inseridos no molde. É de notar que os pernos de retorno, nesta fase apresentam o comprimento desejado.

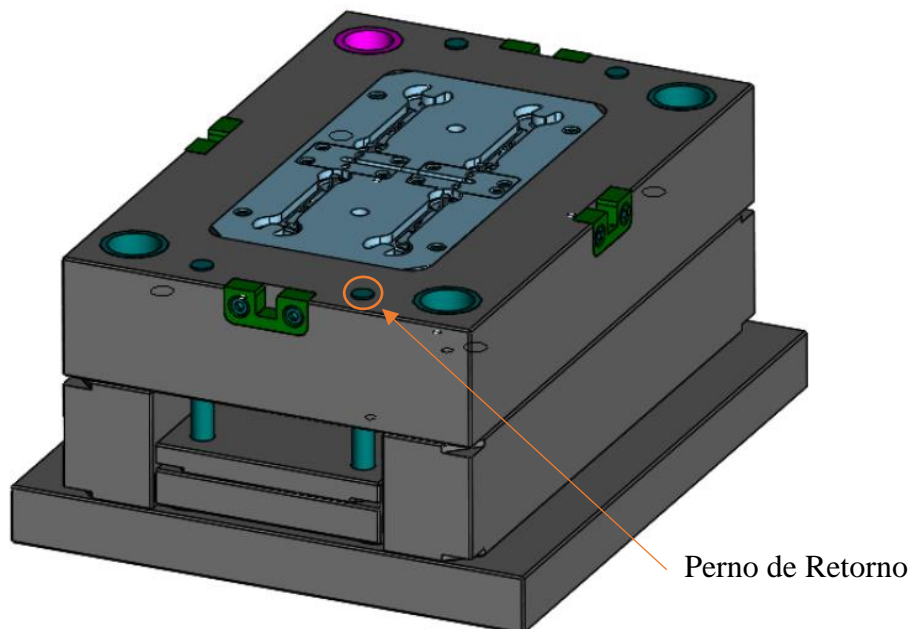


Figura 4.37 - Visualização do lado da extração do molde após a colocação dos pernos de retorno.

Quanto aos parâmetros de folga e tolerâncias, foi escolhido para os pernos de retorno uma folga de 1 mm em diâmetro, na zona de aperto da cabeça do extrator. Na chapa dos extração foram executados furos de 10 mm de tolerância H7, para garantir o correto guiamento, conforme é possível observar na Figura 4.38. Desta forma pode-se garantir que os pernos de retorno estão corretamente na vertical após se apertar as chapas dos extratores (chapa 7 e chapa 8) e no posicionamento correto, devido ao furo com tolerância na chapa 3.

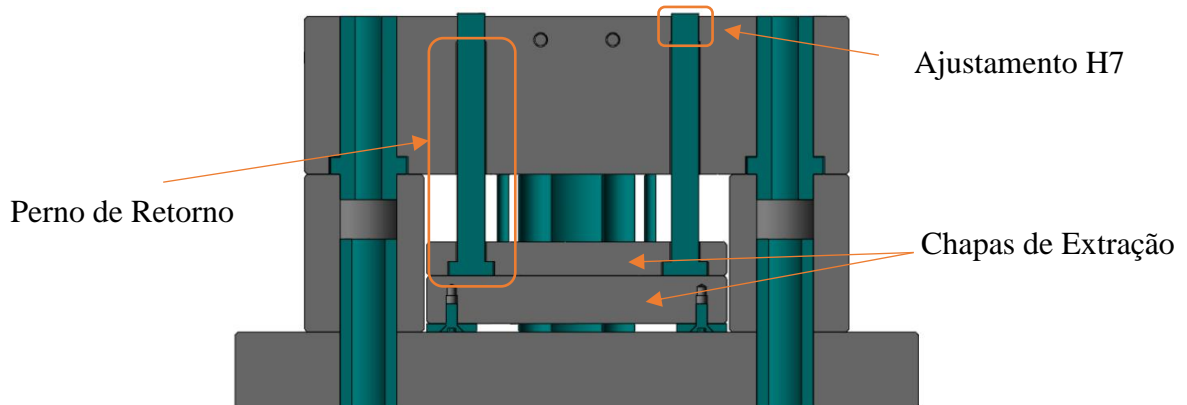


Figura 4.38 - Vista em corte dos pernos de retorno no molde com a respectiva fixação nas placas de extração.

Para as guias de extração, as quais fazem o correto guiamento das placas de extração relativamente ao molde, foram selecionadas 4 guias HASCO Z0100/12×100 como se pode observar na Figura 4.39, com diâmetro de 12 mm. Em relação ao seu comprimento, escolheu-se a medida *standard* de forma a que as guias de extração sejam imobilizadas na placa da bucha.

Z0100/d1x11

Coluna guia, para guia de esferas

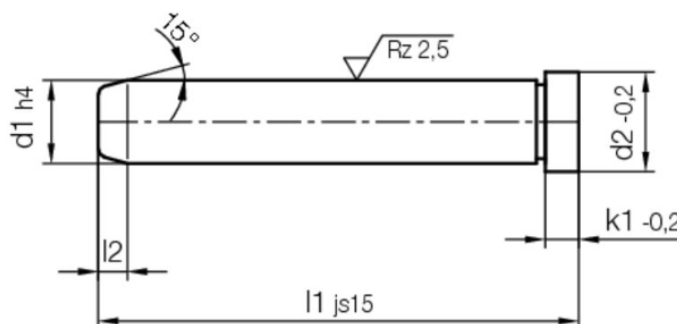


Figura 4.39 - Esquema da guia de extração HASCO Z0100/d1×11 (HASCO, 2019).

Em relação aos casquilhos das guias de extração, foram escolhidos casquilhos HASCO Z13W/17×12 como se pode observar na Figura 4.40. Os elementos escolhidos são os apropriados para o diâmetro das guias de extração e para as espessuras das chapas n.º 7 e n.º 8. Com o objetivo de tornar o sistema de extração mais preciso e durável, os casquilhos escolhidos são grafitados, permitindo assim uma auto-lubrificação no sistema de movimentação.

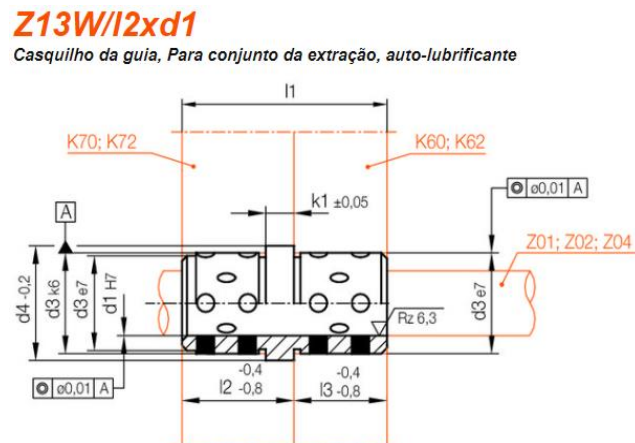


Figura 4.40 - Esquema dos casquilhos das guias de extração HASCO (HASCO, 2019).

O conjunto guias/casquilhos de extração, foram colocados nas placas de extração do molde nas extremidades da chapa 7 e 8 para estabilizar o movimento da extração. A Figura 4.41 representa a parte da extração do molde com as guias e casquilhos de extração colocados.

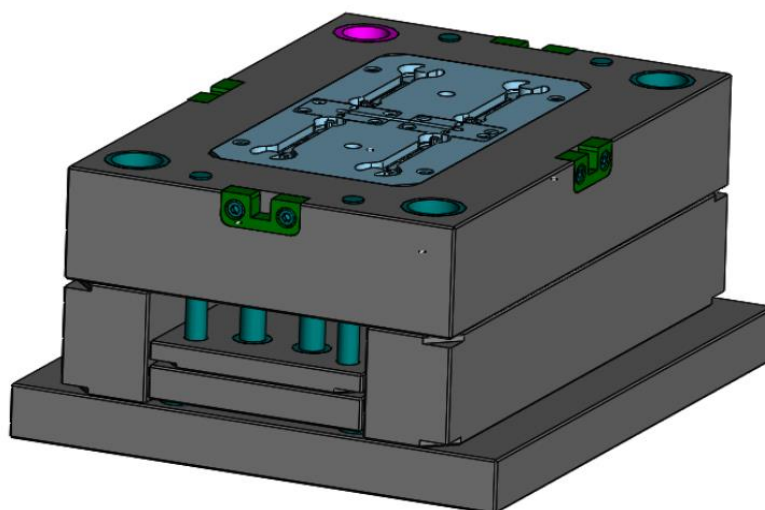


Figura 4.41 - Visualização do lado da extração do molde após a colocação das guias e casquilhos de extração.

Em relação aos parâmetros de folga e tolerância, as guias foram colocadas com 1 mm de folga em diâmetro na chapa 3 e na chapa 9 com tolerância H7. À semelhança das guias, os casquilhos das guias de extração, estão ajustados às chapas 7 e 8 com uma tolerância H7, tendo apenas folga de 1 mm em diâmetro na zona do anel como representado na Figura 4.42.

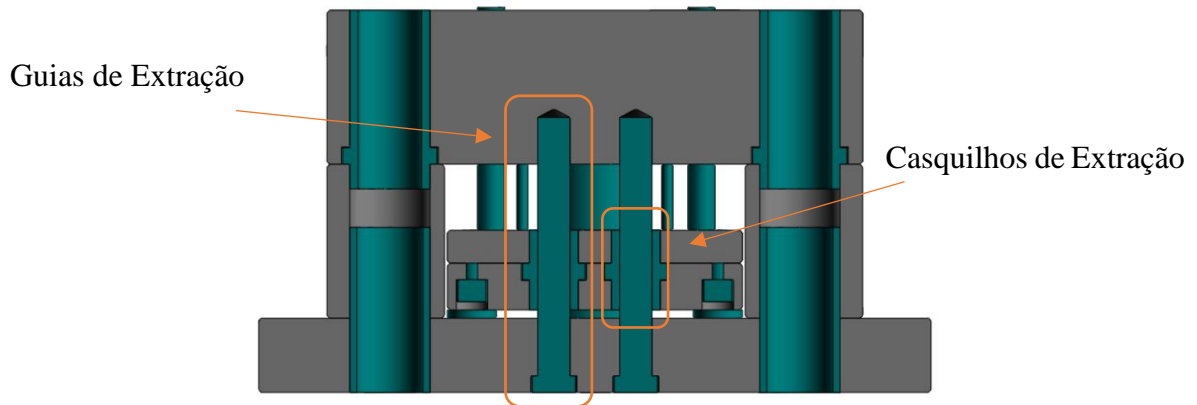


Figura 4.42 - Vista em corte das guias e casquilhos de extração no molde.

Na etapa seguinte foram selecionados os extratores HASCO Z40/d1×l1. Na Figura 4.43, está representado o esquema dos extratores escolhidos.

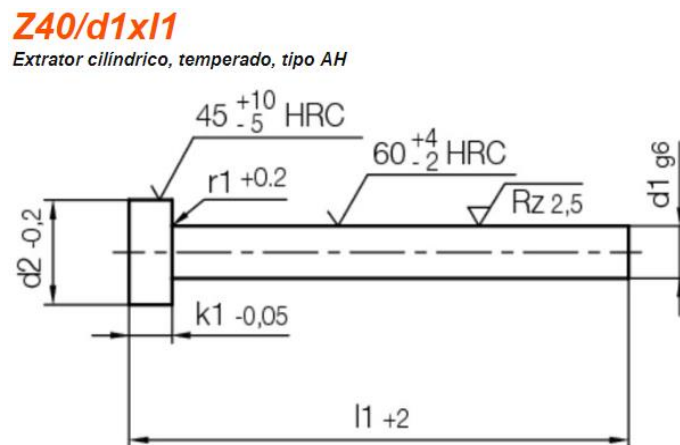


Figura 4.43 - Esquema dos extratores HASCO Z40/d1×11 (HASCO, 2019).

A disposição dos extratores foi estudada de modo a identificar qual o diâmetro máximo possível a selecionar. Na Figura 4.44 pode-se analisar a disposição dos extratores, os quais estão

representados por pontos vermelhos. A escolha da posição dos extratores é um fator muito importante pois vários problemas poderão surgir como por exemplo, a escolha de extratores de diâmetro muito pequeno poderá furar a peça, ou então se não estiverem dispostos de forma gradual ao longo da peça poderão existir problemas de desmoldagem.

Em cada peça, são utilizados 4 extratores para a desmoldagem, estando centrados na peça e dispostos gradualmente. O diâmetro dos extratores é de 3 mm para os dois extratores que estão ao centro da peça e 4 mm para os dois outros extratores. Por fim, no canal de alimentação foram colocados mais três extratores, posicionados nos poços frios, os quais possuem diâmetro igual ao diâmetro dos canais de alimentação (4 mm).

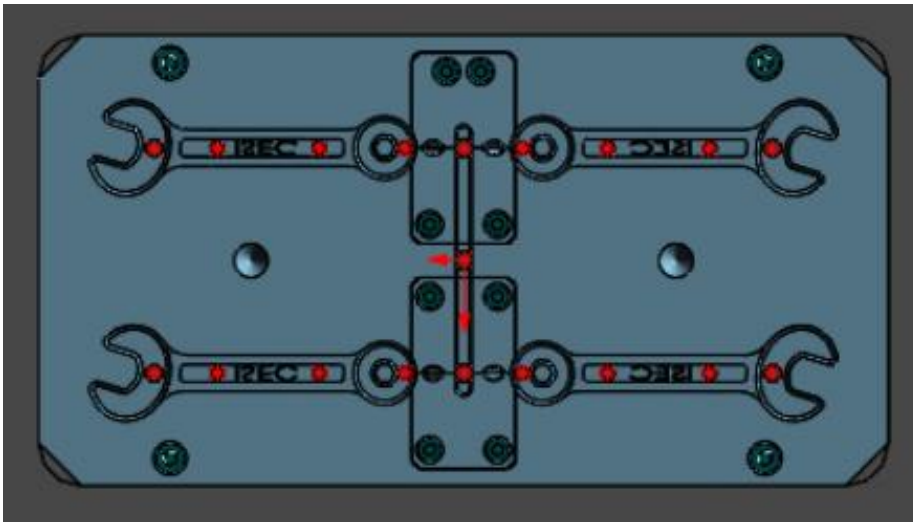


Figura 4.44 - Visualização da disposição dos extratores na peça a moldar e nos canais de alimentação.

Na Figura 4.45, pode-se observar com maior detalhe o posicionamento dos extratores relativamente às peças e ao canal de alimentação. Quanto ao comprimento dos extratores, à semelhança dos pernos de retorno, a medida escolhida é *standard*, sendo superior à requerida, sendo por isso necessário mais tarde serem ajustados para o comprimento final. É de notar ainda que para este caso, as zonas moldantes são superfícies apenas horizontais, facilitando a correção da dimensão dos extratores, pois não necessitam de ser perfilados.



Figura 4.45 - Visualização da posição dos extratores nas peças.

Para os extratores, as folgas e tolerâncias aplicadas seguiram o mesmo método aplicado nos pernos de retorno. Ou seja, uma folga de 1 mm apenas em diâmetro tanto na cabeça como no corpo e nas extremidades entram num furo ajustado H7 como mostrado na Figura 4.46.

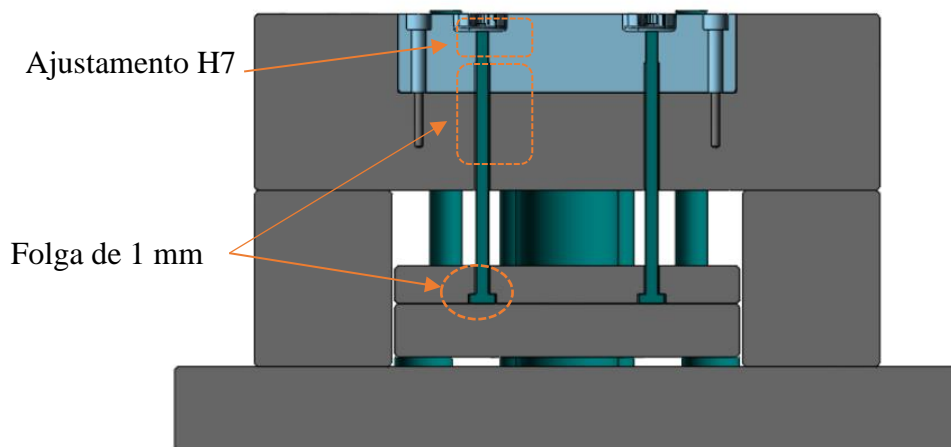


Figura 4.46 - Vista em corte dos extratores no molde.

Por fim, resta apenas escolher e colocar os suportes no molde. Estes são colocados entre a chapa inferior de aperto (chapa 9) e a chapa da bucha (chapa 3) e posicionados estrategicamente na “caixa de extração”. Os suportes escolhidos são HASCO Z57/32×56 sendo as medidas mais adequadas para o molde em estudo. Na Figura 4.47 está representado o esquema dos suportes.

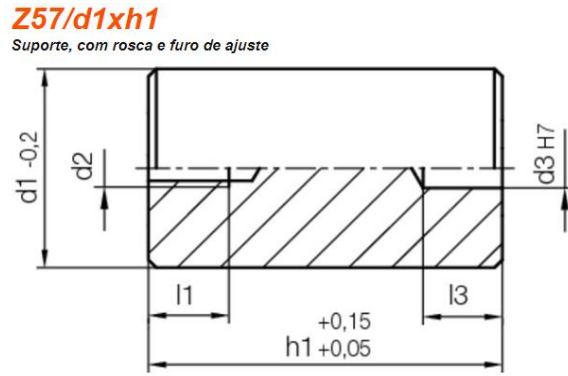


Figura 4.47 - Esquema dos suportes HASCO Z57/d1xh1 (HASCO, 2019).

Em relação ao posicionamento dos suportes, decidiu-se optar por a colocação de dois suportes centrados na “caixa de extração” pois para este caso, como se trata de um sistema simples, não são necessárias grandes exigências para o seu posicionamento. De forma a que os suportes não interfiram no sistema de extração, foi deixada uma folga de 4 mm em diâmetro nas chapas n.º 7 e n.º 8. Na Figura 4.48 encontram-se representados os suportes, os casquilhos de fixação do molde, bem como o sistema de extração completo, com todos os elementos devidamente posicionados.

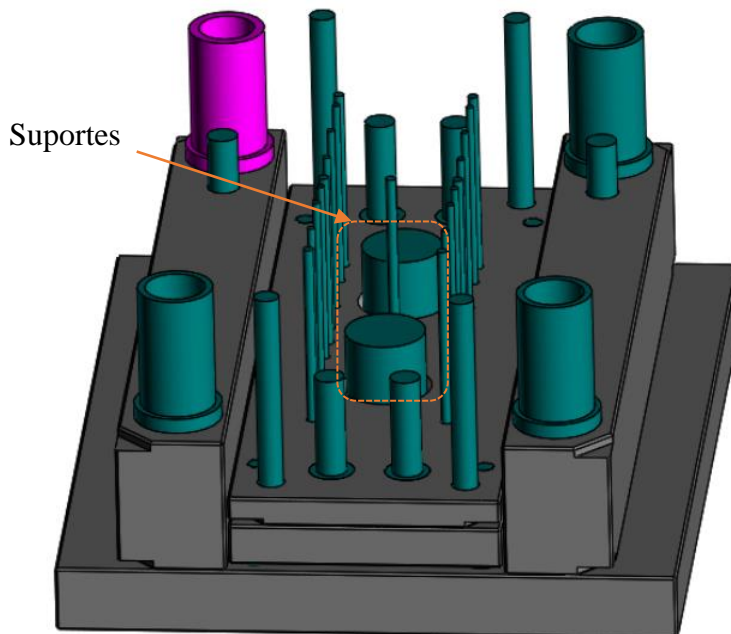


Figura 4.48 - Visualização do sistema de extração do molde.

4.2.6 Sistema de refrigeração

Idealmente, na injeção de materiais poliméricos, o molde deveria estar à temperatura do fundido durante a fase de injeção e, no momento da extração, molde e peças, deveriam estar à temperatura ambiente. Nestas condições, seria necessária uma pressão de injeção muito reduzida e as peças seriam isotrópicas devido ao modo muito lento de como se fazia o arrefecimento. Desta forma, seriam produzidas “peças perfeitas”, mas infelizmente o seu preço seria proibitivo e a empresa fecharia rapidamente.

Assim, por razões económicas, deve-se produzir as peças à maior cadência possível, sendo por isso, o arrefecimento do polímero um aspeto fundamental no funcionamento do molde, procurando-se conjugar a rapidez do ciclo e o melhor nível de propriedades das peças com as especificações técnicas e económicas do produto. Tipicamente, o tempo de arrefecimento é cerca de 50% da duração total do ciclo de injeção, sendo de grande importância o sistema de controlo de temperatura. O arrefecimento do material injetado é feito por transferência de calor para as zonas moldantes e deve ser controlado, não só em termos de gradiente de temperatura do fluido, como na forma de como é distribuído o circuito de refrigeração com o intuito de evitar empenos nas peças. O sistema de controlo de temperatura simples a aplicar no molde em estudo é constituído por:

- Circuito de refrigeração;
- Bocais de ligação;
- Tampões;
- O-rings.

Quanto ao tipo de circuito de refrigeração, foram escolhidos quatro circuitos de diâmetro 8 mm, o primeiro e segundo no lado da injeção e o terceiro e quarto no lado da extração. Seguindo o trajeto do fluido de refrigeração, a entrada inicia-se nas chapas n.º 2 e n.º 3, sobe para os postigos, dá a volta às peças, e por fim desce e volta a sair pelas chapas. Na Figura 4.49 está representado o desenho do terceiro circuito, sendo que a refrigeração nesta placa apresenta maiores restrições devido à possível interferência dos extratores. A distância de segurança entre o circuito de refrigeração, extratores e parafusos foi de 3 mm. Com o objetivo de refrigerar as

outras duas peças adjacentes, foi desenhado o quarto circuito, o qual é semelhante ao terceiro circuito e abrange as outras duas peças, conforme se pode observar na Figura 4.50.

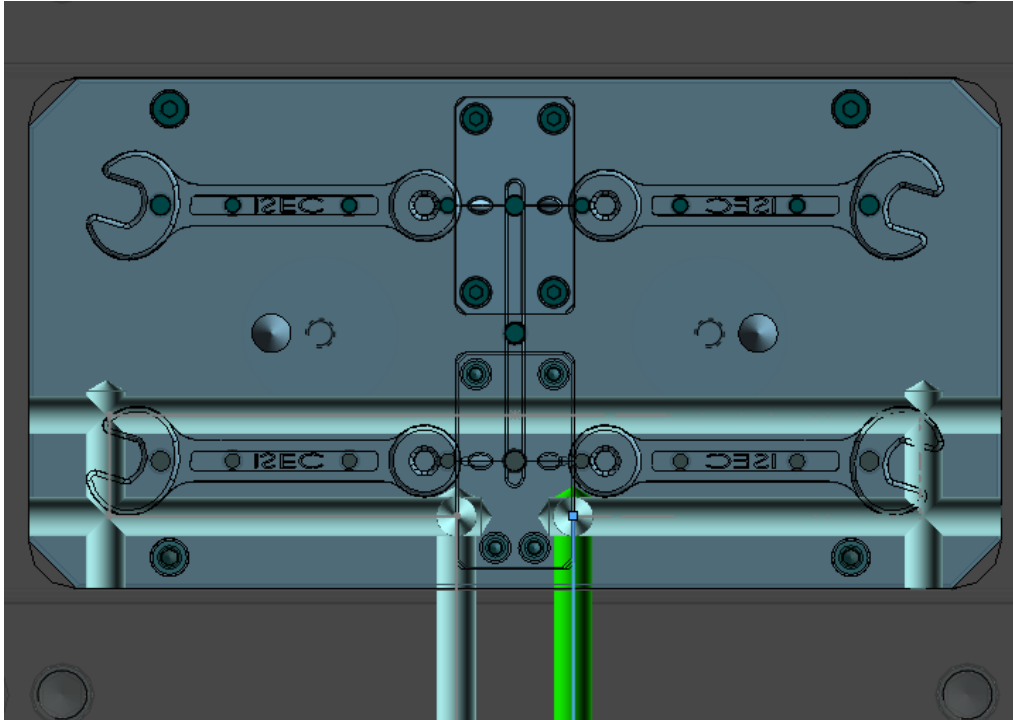


Figura 4.49 - Vista de topo do terceiro circuito de refrigeração do lado da extração.

A entrada e saída de ambos os circuitos, efetuam-se do mesmo lado do molde. Contudo, neste último circuito, a entrada e saída das águas realiza-se num nível inferior ao circuito anterior, de modo a evitar cruzamento dos circuitos. Por este motivo, é necessário criar canais de ligação que façam “subir” o fluido até ao nível das peças a refrigerar e depois façam “descer” o fluido até o nível inferior onde se encontra a ligação para o exterior.

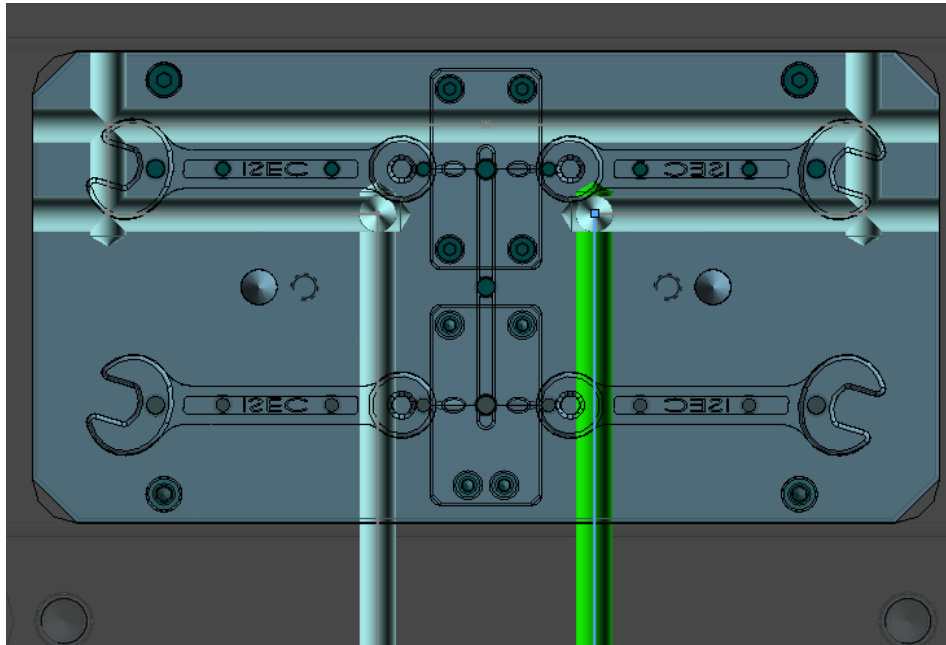


Figura 4.50 - Vista de topo do quarto circuito de refrigeração do lado da extração.

No lado da injeção, foi feito um espelho dos dois circuitos anteriores e realizados o primeiro e segundo circuito de refrigeração. A Figura 4.51 mostra o modelo dos dois circuitos no lado da injeção, onde é possível verificar o trajeto do fluido de refrigeração. É de notar que a conexão do circuito entre a placa do molde e o respetivo postigo é conseguida por um canal construído na vertical, o que implica a utilização de um o-ring de vedação colocado na horizontal, o qual terá maior eficácia de vedação do que se o o-ring estivesse numa posição vertical.

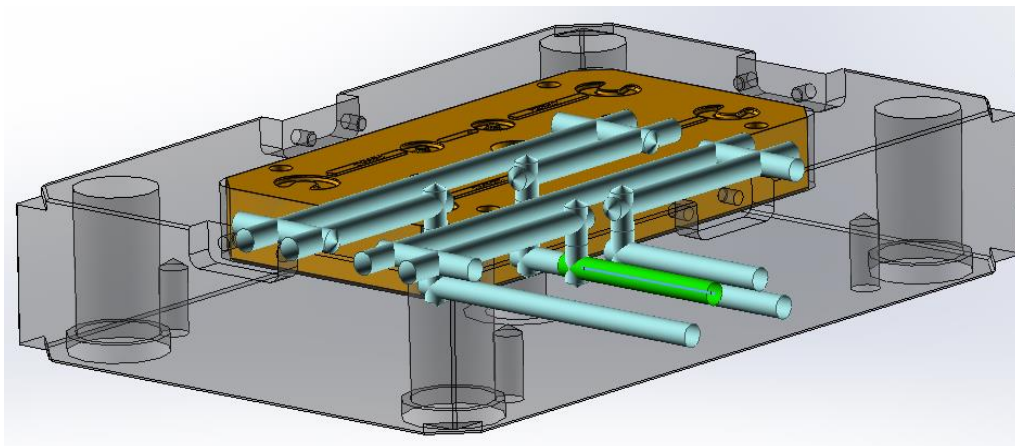


Figura 4.51 - Primeiro e segundo circuito de refrigeração do lado da injeção.

Com o circuito contruído, falta apenas nesta fase a colocação dos bocais de ligação, os tampões de vedação e os o-rings. Foram selecionados bocais de ligação HASCO Z81/9×10, (Figura 4.52).

Z81/d4xd7

Bocal de ligação, com passagem livre

Mit Dichtmittel beschichtet
Coated with sealing compound
Recouvert avec ruban d'étanchéité

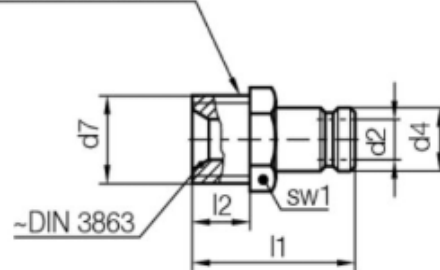


Figura 4.52 - Bocais de ligação HASCO Z81/d4×d7 (HASCO, 2019).

Com o intuito de vedação, foram escolhidos tampões de vedação com composto de vedante HASCO Z9400/10 representados na Figura 4.53.

Z9400/d1

Tampão roscado, cilíndrico com composto vedante

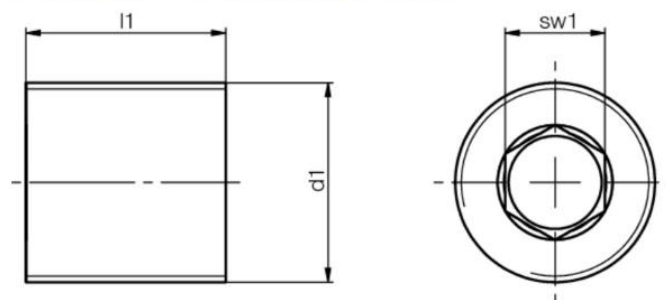


Figura 4.53 - Tampões HASCO Z9400/10 (HASCO, 2019).

Na escolha dos o-rings, optou-se por o-rings de 8 mm HASCO Z98/8×2 em que o esquema está representado na Figura 4.54.

Z98/d1xd2

Anel em O

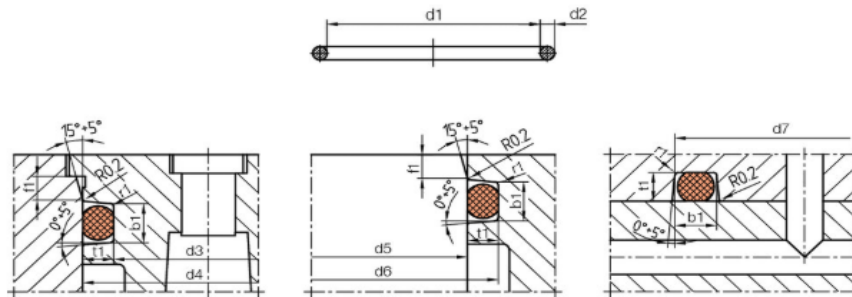


Figura 4.54 - Esquema dos o-rings HASCO Z9400/d1xd2 (HASCO, 2019).

Com auxílio do *Moldworks* foram colocados os acessórios escolhidos nos respectivos locais e o resultado pode ser observado na Figura 4.55. Quanto à colocação dos tampões foi deixada uma distância de 2 mm relativamente à face do postiço, de forma a não existir qualquer interferência dos tampões na colocação dos postiços nas chapas 2 e 3. Este procedimento foi repetido para o terceiro e quarto circuitos.

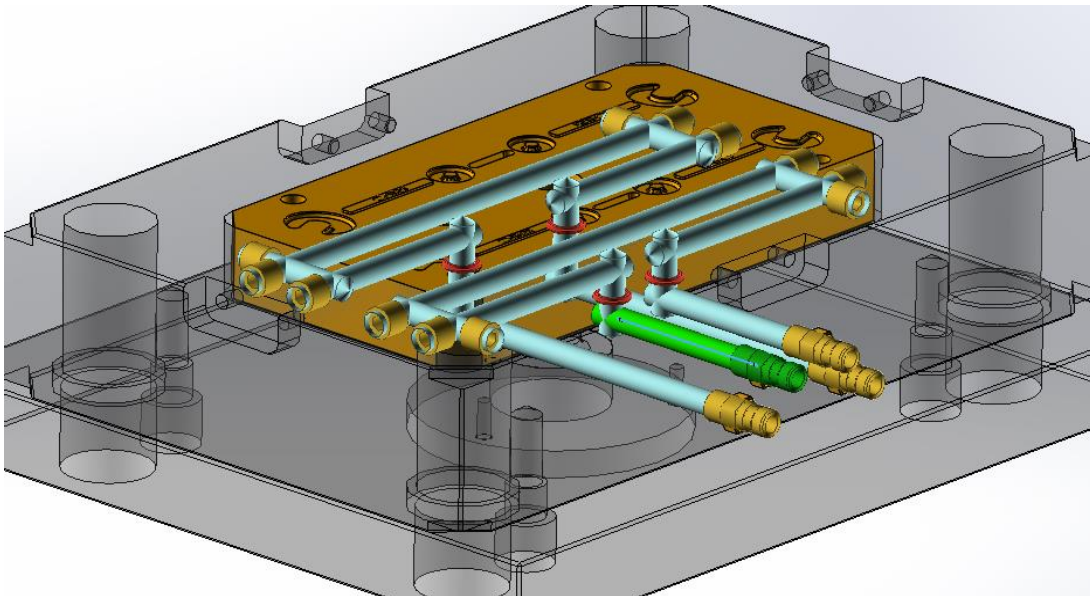


Figura 4.55 - Primeiro e segundo circuito de refrigeração com os acessórios colocados.

Para finalizar a parte da refrigeração, a fim de facilitar a montagem das mangueiras de refrigeração, na Figura 4.56, pode-se observar a gravação que foi efetuada nas chapas, referente à indicação das entradas e saídas da refrigeração. É de notar que o sentido de entrada do fluido de refrigeração está num circuito do lado direito e no outro do lado esquerdo, com o objetivo de otimizar a transferência de calor da refrigeração.

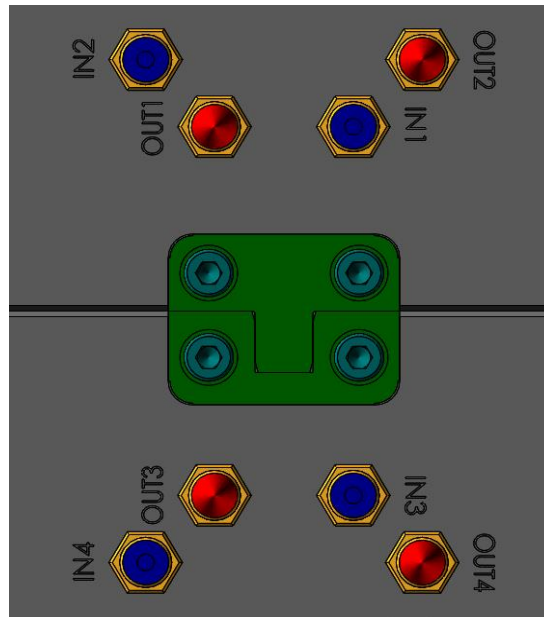


Figura 4.56 - Bocais de ligação da refrigeração no molde.

4.2.7 Elementos de transporte, segurança e identificação do molde

O molde completo pesa cerca de 100 kg, tornando-se muito difícil o seu transporte manual para as diferentes áreas de produção. De forma a facilitar o transporte, foram colocados um a dois furos roscados M10 por face nas chapas n.º 2 e n.º 3 para que, quando seja necessário a movimentação do molde, sejam inseridos olhais nos furos e com o equipamento adequado efetuar a deslocação do molde. Na Figura 4.57 estão representados os furos para os olhais com a face interior a amarelo.

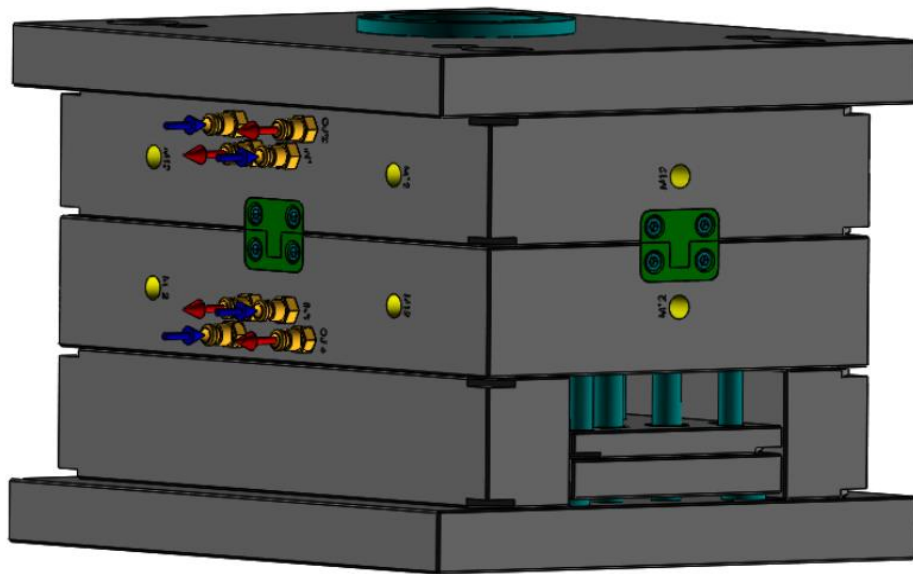


Figura 4.57 - Representação do molde após a colocação dos furos de olhal.

Ao transportar o molde, um dos riscos que pode ocorrer é o facto de se poder abrir. Para que isso não aconteça, colocou-se uma barra de segurança do fornecedor HASCO com a referência Z73/12x20x50 em que o esquema pode ser observado na Figura 4.58.

Z73/h1xb1xl1
Dispositivo de segurança do molde

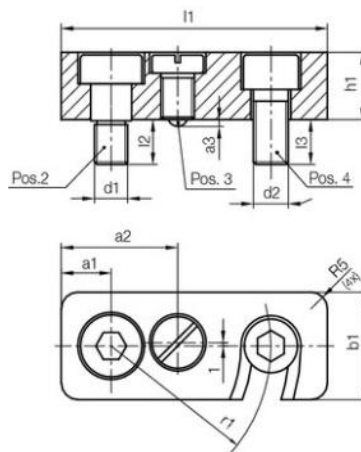


Figura 4.58 - Esquema do dispositivo de segurança HASCO Z13/h1×b1×l1 (HASCO, 2019).

O dispositivo de segurança do molde tem como função impedir que o molde se abra durante o transporte. Este deve ser colocado do lado do operador, ou seja, no lado contrário à refrigeração, como se pode verificar na Figura 4.59.

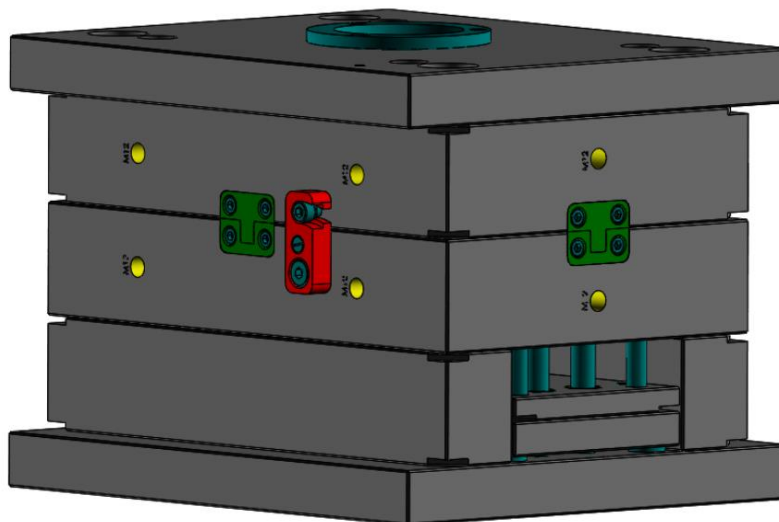
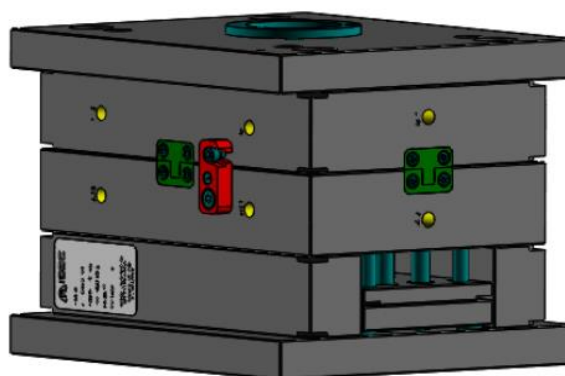


Figura 4.59 - Visualização do molde após a colocação da barra de segurança.

Como última etapa, foi colado no molde uma chapa com as principais características do molde para uma correta identificação, conforme demonstrado na Figura 4.60.



(a)



(b)

Figura 4.60 – Chapa de identificação do molde (a) e visualização do molde após colocação da chapa de identificação (b).

4.3 Verificação estrutural do dimensionamento do molde

Os moldes de injeção são expostos a uma carga mecânica estrutural muito alta, sempre dentro do limite da deformação elástica. Estes devem produzir peças de alta precisão, e desta forma é evidente que qualquer deformação no molde pode afetar as dimensões finais da peça, bem como a contração do material plástico durante a fase de arrefecimento. Além disso, a deformação indevida de um molde pode resultar numa interferência indesejável com o processo de moldação.

Para o dimensionamento do molde deve-se analisar as forças que atuam sobre ele:

- a) Força de fecho exercida pela máquina;
- b) Pressão máxima na cavidade;
- c) Abertura do molde e força de extração.

Na maior parte das empresas, o dimensionamento do molde é apenas baseado na experiência e os cálculos através de fórmulas são esquecidos. Um errado dimensionamento pode causar graves danos no molde tal como nos seus componentes.

4.3.1 Resistência da cavidade à pressão de injeção

A análise da pressão exercida na cavidade do molde possibilita determinar a espessura mínima que deverá ter a cavidade do molde, sendo todo o raciocínio aqui exposto baseado na explicação apresentada no livro *Moldes para Injeção de Termoplásticos* (Harada, 2004).

Uma vez que durante a injeção a cavidade do molde é sujeita a uma elevada pressão interna provocada pela pressão de injeção, é aconselhado determinar a espessura mínima da parede da cavidade que garanta que a deflexão da cavidade esteja abaixo de um máximo especificado. O cálculo preciso da resistência da cavidade não é fácil mesmo para geometrias muito simples. Por este motivo, é comum serem aplicados conceitos da resistência de materiais, aplicando fórmulas básicas que garantam uma margem de segurança grande.

Usualmente o valor máximo admitido para a deflexão da cavidade durante o funcionamento do molde deve situar-se entre 0,1 e 0,2 mm para cavidades sólidas. No caso das cavidades com

postigos, a deflexão admitida deve situar-se entre 0,08 e 0,1 mm. Os métodos de cálculo apresentam resultados satisfatórios apenas quando a cavidade do molde tem um comprimento de parede que excede a profundidade. Conforme apresentado na Figura 4.61, para cavidades com geometria quadrada ou retangular, a resistência da cavidade pode ser baseada nos seguintes métodos:

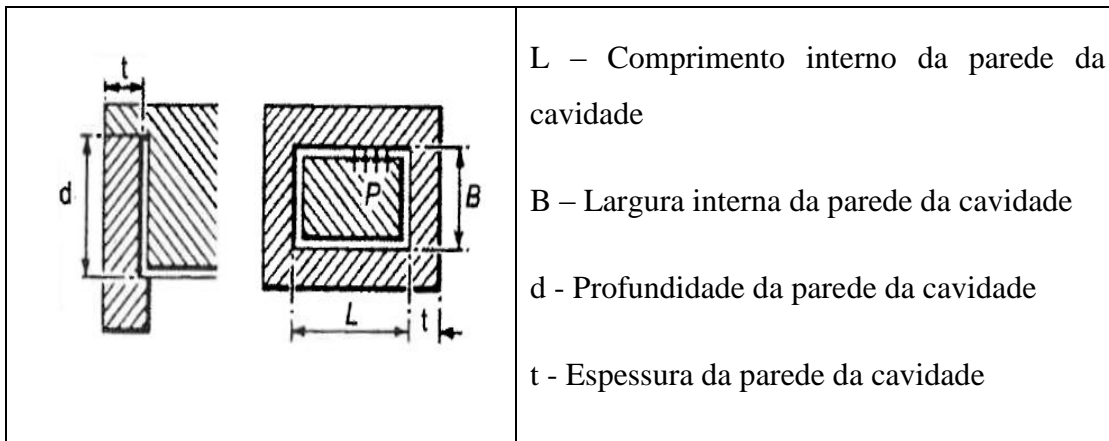


Figura 4.61 – Representação da cavidade do molde e respetivas dimensões (Harada, 2004).

1- Cálculos baseados na consideração de cada parede da cavidade ser tratada como uma viga fixa, com carga distribuída uniformemente;

Neste caso, é deduzida a expressão 3 que possibilita determinar a espessura da parede necessária para que a deflexão máxima não ultrapasse o valor especificado. Este método é aquele para o qual se obtêm a menor espessura de parede.

$$t = \left[\frac{W \cdot L^4}{32 \cdot E \cdot y \cdot d} \right]^{\frac{1}{3}} \quad [3]$$

Onde:

y – Deflexão na parede lateral [cm];

W - Pressão no interior da cavidade (Pressão na cavidade [Kg/Cm²] x Profundidade da cavidade [cm]);

L - Comprimento interno da parede da cavidade [cm];

E - Módulo de elasticidade [Kg/cm²];

d - Profundidade total da parede da cavidade [cm];

t - Espessura da parede da cavidade [cm].

O cálculo da espessura é feito em primeiro lugar para o lado maior da cavidade. Para os lados menores, podem ser feitos cálculos análogos, ou pode-se utilizar a mesma espessura da parede determinada para o lado maior, uma vez que nos lados menores a deflexão é mais pequena.

2- Cálculos baseados na consideração de cada parede da cavidade ser tratada como uma viga livremente apoiada, com carga distribuída uniformemente;

Neste caso a espessura da parede é obtida em função da deflexão estipulada, de acordo com a expressão 4. Este método fornece a maior espessura da parede entre todos os métodos aqui descritos e por isso apresenta maior margem de segurança.

$$t = \left[\frac{5 \cdot W \cdot L^4}{32 \cdot E \cdot y \cdot d} \right]^{1/3} \quad [4]$$

Onde:

y – Deflexão na parede lateral [cm];

W – Pressão no interior da cavidade (Pressão na cavidade [Kg/Cm²] x Profundidade da cavidade [cm]);

L – Comprimento interno da parede da cavidade [cm];

E – Módulo de elasticidade [Kg/cm²];

d- Profundidade total da parede da cavidade [cm];

t- Espessura da parede da cavidade [cm].

3- Cálculos baseados na consideração da cavidade ser tratada como um pórtico com carga uniforme interna.

Os métodos anteriores simplificam o problema considerando independentemente cada lado da cavidade como uma viga com carga uniforme, de extremos fixos e livremente apoiados. No entanto, os extremos da cavidade não são fixos nem livres e nem as paredes da cavidade defletem independentemente das restantes. Desta forma, o efeito sobre os cantos deve ser considerado. A cavidade é considerada como um pórtico com carga uniforme interna, em que os cantos permanecem retos e fixos. Neste caso, a determinação da espessura da parede da cavidade é determinada com base nas equações 5 e 6, sendo estas aplicadas fundamentalmente a cavidades retangulares.

$$M_1 = \left[\frac{W \cdot (L^3 + B^3)}{12 \cdot (L + B)} \right] \quad [5]$$

$$t_L = \left[\left(\frac{1,5 \cdot L^2}{d \cdot E \cdot y_L} \right) \cdot \left(\frac{5 \cdot W \cdot L^2}{48} - M_1 \right) \right]^{1/3} \quad [6]$$

Onde:

M_1 – Momento fletor devido à influência da carga;

y – Deflexão na parede lateral [cm];

W – Pressão no interior da cavidade (Pressão na cavidade [Kg/Cm^2] x Profundidade da cavidade [cm]);

L – Comprimento interno da parede da cavidade [cm];

B – Largura interna da parede da cavidade [cm];

E – Módulo de elasticidade [Kg/cm^2];

d - Profundidade total da parede da cavidade [cm];

t_L - Espessura da parede da cavidade [cm].

No caso concreto do molde aqui projetado, a cavidade apresenta as dimensões indicadas na Figura 4.62, com espessura que não é uniforme em toda a sua seção. Atendendo que a área projetada corresponde a 1100 mm^2 para efeitos de cálculo da espessura da parede da cavidade, foi considerada uma geometria retangular com área projetada igual à da peça e uma espessura de 6 mm, a qual corresponde a uma espessura “média” da peça (Figura 4.62).

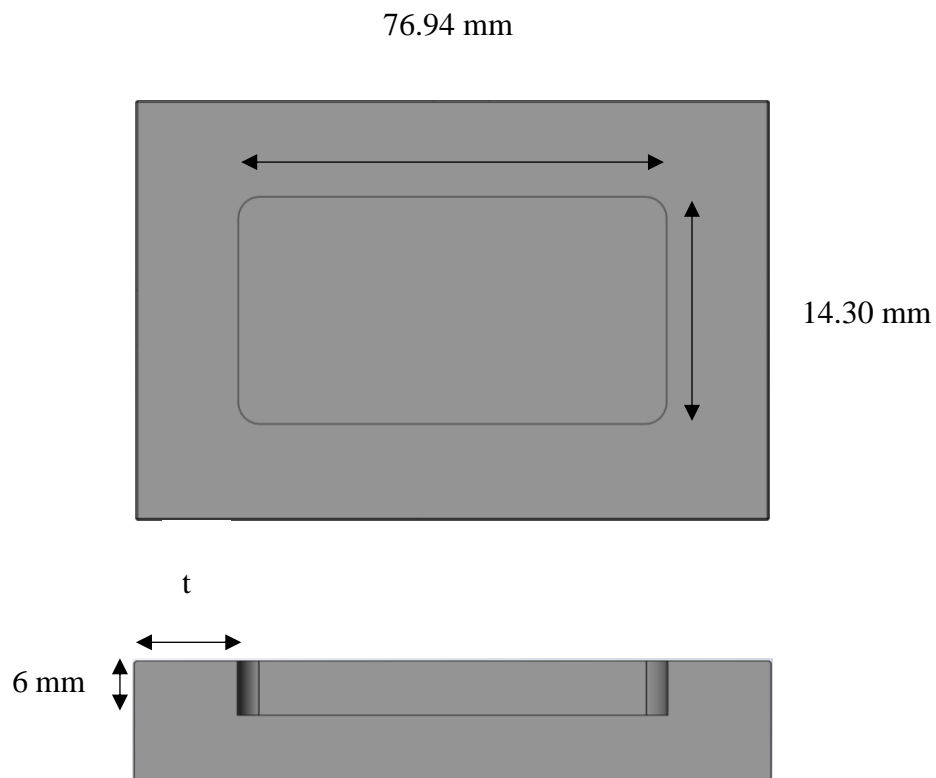


Figura 4.62 - Dimensão da cavidade equivalente à peça, para efeitos de cálculo da espessura da parede da cavidade.

Para determinar a espessura da parede da cavidade de acordo com os 3 métodos anteriormente expostos (método 1 – equação 3; método 2 – equação 4; método 3 – equação 5 e 6, foram considerados os seguintes dados:

- $L = 76,94 \text{ mm}$;

- $B = 14,30$ mm;
- $d = 6$ mm.

Considerando que a cavidade do molde será um postigo em alumínio inserido numa placa de aço, foi considerado para efeitos de cálculo o módulo de elasticidade do alumínio, que a pressão de injeção será 100 MPa repartido pelas 4 cavidade (25 MPa por cavidade) e que a deflexão máxima do postigo admitida seja 0,1 mm. Ou seja:

- $E = 72$ GPa;
- Pressão de injeção por cavidade de 25 MPa;
- $Y = 0,1$ mm.

Face aos dados apresentados, de acordo com o método adotado, a espessura mínima da cavidade deverá ser:

- **Método 1:** Espessura mínima da cavidade 15,6 mm;
- **Método 2:** Espessura mínima da cavidade 26,7 mm;
- **Método 3:** Espessura mínima da cavidade 18,3 mm.

Conclui-se assim que as dimensões da placa e do postigo da cavidade encontram-se dentro das especificações recomendadas.

4.3.2 Área dos calços de suporte

A pressão de injeção pode ocasionar a deflexão da placa suporte da cavidade do molde, a qual está assente nos calços. A possível deflexão poderá ter o efeito indesejável de causar rebarbas nos produtos moldados. Para evitar este problema, a placa suporte da cavidade além de estar assente nos calços, poderá ter como reforço suportes colocados em locais estratégicos que não interfiram com os pinos de extração e retorno. A análise da pressão de injeção exercida permite determinar a força exercida na placa suporte do molde e determinação da área mínima dos calços para suportar a força exercida na placa suporte (Figura 4.63).

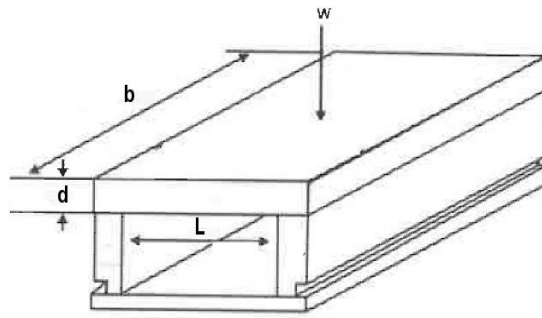


Figura 4.63 - Representação da carga exercida na placa suporte do molde (Harada, 2004).

O cálculo da carga exercida na placa suporte (W) e a área mínima necessária para não permitir a deflexão da placa suporte poderá ser calculada com base nas equações 7, 8 e 9.

$$S = \frac{W \cdot L}{8 \cdot Z} \quad [7]$$

$$Z = \frac{b \cdot d^2}{6} \quad [8]$$

$$\frac{W}{A} < \sigma_{ced} a\zeta o \quad [9]$$

Onde:

S – Tensão no centro da placa suporte [Kg/Cm^2];

W – Carga exercida na placa suporte [Kg];

L – Distância entre os calços [cm];

b – Comprimento dos calços [cm];

d – Espessura da placa suporte [cm];

Z – Módulo da seção que resiste à flexão [cm^3];

A – Área mínima dos calços [cm^2].

Tendo em consideração a Figura 4.64 e a Figura 4.65, para utilizar as equações anteriores foram considerados os seguintes dados:

- Tensão de cedência do aço: 350 MPa;
- L= 110 mm;
- B= 296 mm;
- d= 31 mm.

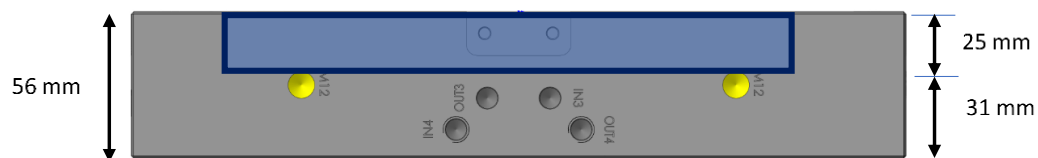


Figura 4.64 - Representação do postigo do molde e placa onde está inserido.

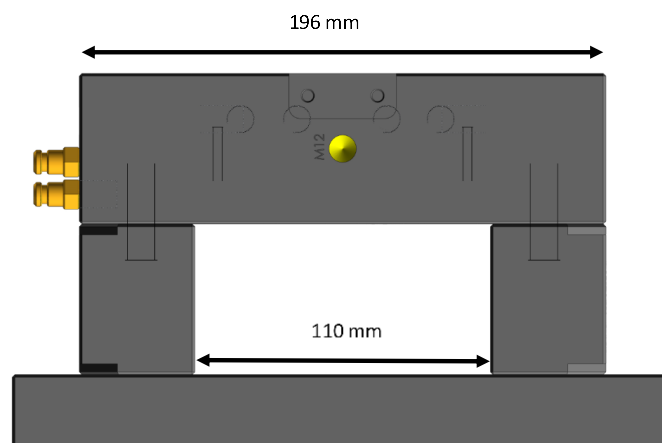


Figura 4.65 - Representação da placa da cavidade e calços do molde.

Face aos dados considerados, determina-se que a carga máxima possível (W) na placa suporte é 120678 Kg e, por conseguinte, a área suporte da placa deverá ter no mínimo 3448 mm². Atendendo que cada calço tem a área de suporte de 12728 cm² (43 cm x 296 cm), está garantida a resistência à deflexão. Chama-se, no entanto, à atenção que a carga aplicada devido à pressão de injeção é de magnitude bastante menor do que aquela que a placa suporte possibilita, e, por conseguinte, o molde estará bastante sobredimensionado deste ponto de vista.

4.3.3 Cálculo da espessura média da peça

Para os cálculos mais rigorosos de dimensionamento seguintes, foi necessário calcular concretamente a espessura média da peça visto que a espessura não é a mesma ao longo de todo o comprimento apresentando uma espessura de 4 mm na parte central e 7 mm nas extremidades como se pode observar na Figura 4.66.

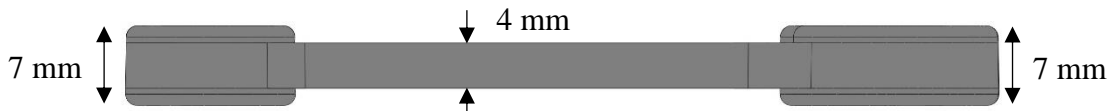


Figura 4.66 - Dimensões relativas à espessura da peça.

Para o cálculo da espessura média da peça foi necessária uma medida de suporte para que através de percentagens se pudesse obter uma espessura fiável. Desta forma foi considerada a área superficial da peça e separou-se a peça em três partes, a parte central, a parte do anel e a parte da boca como mostrado na Figura 4.67.

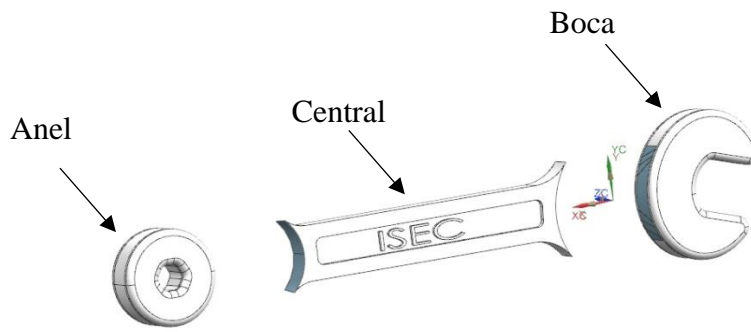


Figura 4.67 - Separação da peça em três partes.

Uma medição necessária para a realização do cálculo será a área superficial total do conjunto e a área superficial de cada parte que foram obtidas através do *Solidworks* como apresentado na Figura 4.68, Figura 4.69, Figura 4.70 e na Figura 4.71:

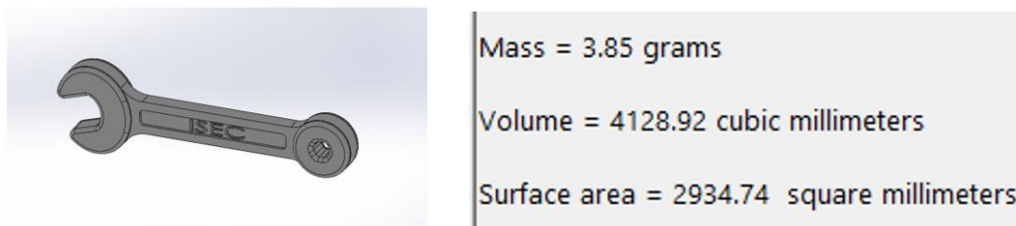


Figura 4.68 - Medições obtidas através dos *Solidworks* do conjunto.

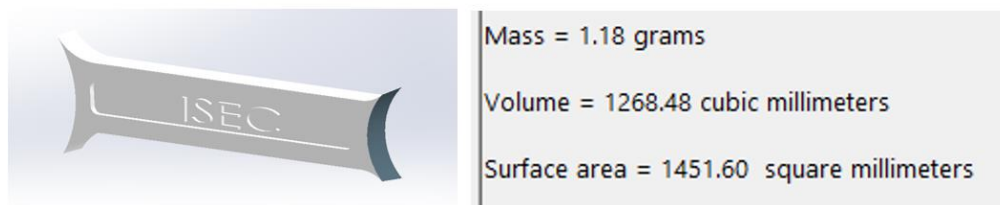


Figura 4.69 - Medições obtidas através dos *Solidworks* da parte central.

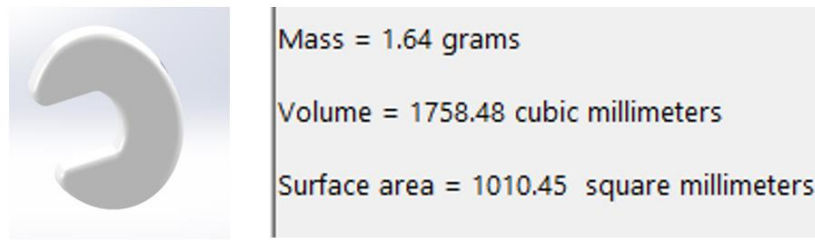


Figura 4.70 - Medições obtidas através dos *Solidworks* da parte da boca.

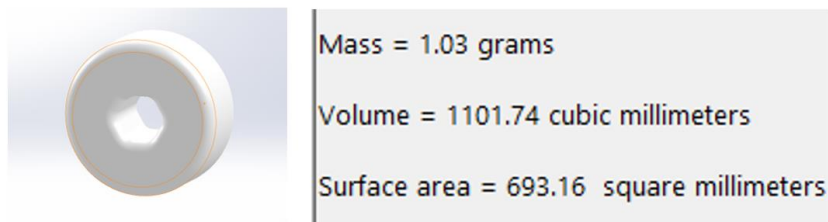


Figura 4.71 - Medições obtidas através dos *Solidworks* da parte do anel.

Com as medições anteriores calculou-se as percentagens das duas partes que apresentam a mesma espessura, ou seja, a parte da boca mais o anel e a parte central através das equações 10 e 11.

$$Percentagem_{boca+anel} = \frac{A_{sup.boca} + A_{sup.anel}}{A_{sup.conjunto}} \quad [10]$$

$$Percentagem_{boca+anel} = \frac{1010,45mm + 693,16mm}{2934,74mm}$$

$$Percentagem_{boca+anel} = 58,05\%$$

$$Percentagem_{central} = 100\% - Percentagem_{boca+anel} \quad [11]$$

$$Percentagem_{central} = 41,95\%$$

Tendo a relação calculada recorrendo à equação 12, multiplicou-se as percentagens pelas espessuras, e através do somatório dos resultados, obteve-se a espessura média da peça.

$$E_{média} = (Percentagem_{boca+anel} \times E_{boca+anel}) + (Percentagem_{central} \times E_{central}) \quad [12]$$

$$E_{média} = (58,05 \times 7 \text{ mm}) + (41,95 \times 4 \text{ mm})$$

$$E_{média} = 5,741 \text{ mm}$$

4.3.4 Dimensionamento da força de extração

A força de extração necessária para a remoção da peça moldada e contraída, é determinada pela expressões 13 e 14 (Jones, 2008):

$$P = \frac{St \times E \times A \times \mu}{d \times \left(\frac{d}{2 \times t} - \frac{d}{4 \times t} \times \vartheta \right)} \quad [13]$$

$$St = (\alpha \times \Delta T) \times d \quad [14]$$

Em que:

A - Área de contacto entre a peça e o molde [mm²];

d - Diâmetro do círculo equivalente ao perímetro da cavidade [mm];

E - Modulo de Young do polímero [Mpa];

Fe - Força de extração [N];

St - Contração térmica do polímero relativamente ao diâmetro [mm];

t - Espessura da peça [mm];

α - Coeficiente de expansão térmica (9×10^{-5} [$^{\circ}\text{C}^{-1}$]);

ΔT – Diferença de temperatura entre a injeção e a extração da peça (Temperatura de deformação do polímero – Temperatura molde no momento da extração) [$^{\circ}\text{C}$];

μ - Coeficiente de atrito entre o polímero e o aço;

ϑ - Coeficiente de Poisson do polímero.

Os valores dos parâmetros necessários para o cálculo da força de extração estão apresentados na Tabela 4.4:

Tabela 4.4 - Parâmetros necessários para o cálculo da força de extração.

Parâmetro	Valor
E	1350 MPa
A	1880,73 mm ²
μ	0,36
D	63,08 mm
T	5,7 mm
γ	0,4
$P_{peça}$	198,17 mm
α	0,00009
Δt	127
$T_{injeção}$	226
$T_{extração}$	99

A substituindo cada parâmetro nas formulas anteriores obtém-se:

$$S_t = 9 \times 10^{-5} \times 127 \times 63,08 = 0,72 \text{ mm}$$

$$P = \frac{0,72 \times 1350 \times 1880,73 \times 0,36}{63,08 \times \left(\frac{63,08}{2 \times 5} - \frac{63,08}{4 \times 5} \times 0,4 \right)} = 2360,13 \text{ N}$$

De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que a força necessária para a extração é de 2360,13 N.

4.3.5 Dimensionamento do extratores

Os extratores podem ser dimensionados como se se tratasse de uma coluna sujeita à encurvadura. Desta forma, recorrendo às equações 15 e 16, aplica-se o critério de *Euler* (Rosato, 2000):

$$F = \frac{m \times \pi^2 \times E \times I}{L^2} \quad [15]$$

$$I = \frac{\pi \times D^4}{64} \quad [16]$$

Onde:

E – Módulo de Young [MPa];

F – Força a que o extrator está sujeito (Força de extração a dividir pelo número de extratores) [N];

I – Momento de inércia da secção [mm⁴];

L – Comprimento do extrator [mm]

m – Constante dependente do tipo de conexões terminais da coluna/extrator (ver Figura 4.72);

D – Diâmetro da secção do extrator [mm].

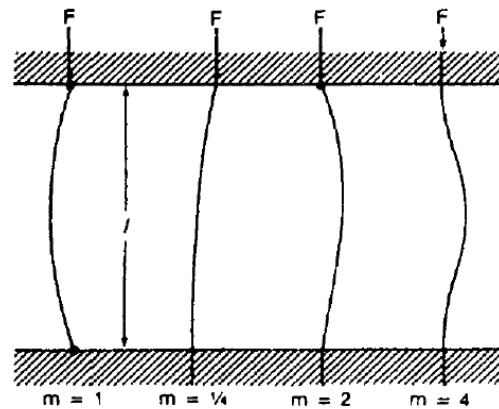


Figura 4.72 - Constante dependente do tipo de conexões terminais da coluna/extractor (Rosato, 2000)

Para o cálculo da força a que cada extrator está sujeito considerou-se que cada peça tem 4 extractores perfazendo um total de 16 extractores no molde.

$$F = \frac{2360,129}{4} = 590,0323 \text{ N}$$

Aplicando as equações 15 e 16:

$$349,43 = \frac{0,25 \times \pi^2 \times 210 \times 10^3 \times \frac{\pi \times D^4}{64}}{100^2}$$

$$D = 1,95 \text{ mm}$$

Obteve-se que o diâmetro mínimo dos extractores deve ser 1,95 mm, concluindo que os extractores estão sobredimensionados, tendo em conta que os diâmetros dos extractores a colocar no molde apresentam diâmetros de 3 e 4 mm.

4.3.6 Dimensionamento da secção dos canais de injeção

Os alimentadores ou canais de alimentação, ligam o jito aos ataques das impressões e, em moldes simples, estão situados na superfície de partição. A disposição dos canais de

alimentação depende principalmente do número e da forma das peças, do tipo de molde e do tipo de ataque.

Considerando como exemplo um canal de alimentação trapezoidal, tanto o comprimento como a largura, afetam a resistência ao fluxo. Quanto maior for a largura do canal, menor será a resistência ao fluxo, ou seja, menor será a queda de pressão. No entanto o tempo necessário para o arrefecimento aumenta. Deste modo, deverá existir um compromisso entre a minimização da queda de pressão e a redução do tempo de arrefecimento. Isto é especialmente importante para o aumento da produtividade, uma vez que o tempo de arrefecimento representa, frequentemente, 50 a 75 % do tempo do ciclo. Outro aspeto importante que o projetista de moldes deve considerar é a redução do material a reciclar, uma vez que a reciclagem implica custos adicionais (CENTIMFE, 2003). No projeto em estudo foi designado como P o canal de alimentação principal e como R1 o canal de alimentação secundário como demonstrado na Figura 4.73.

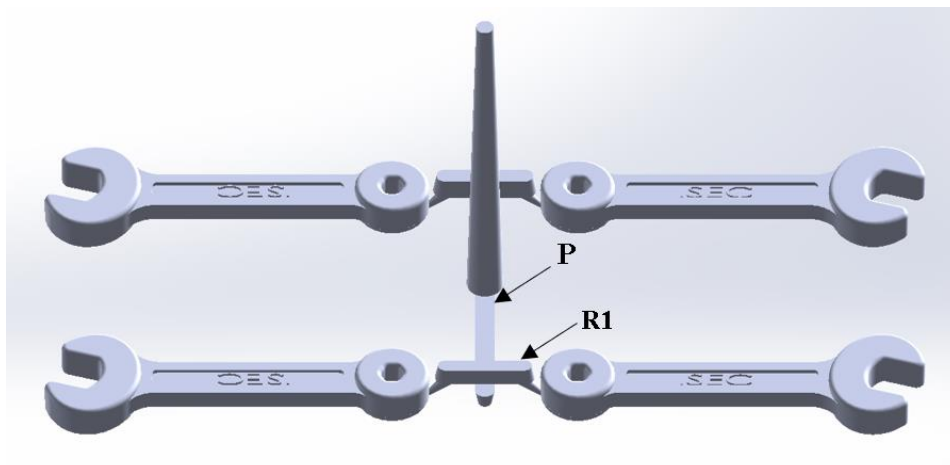


Figura 4.73 - Canais de alimentação principal e secundário.

A largura do canal de alimentação pode ser estimada recorrendo a algumas regras empíricas com base no peso e na espessura da peça a moldar. Recorrendo à análise da Figura 4.74 e da Figura 4.75 é possível retirar alguns dados necessários para o cálculo do diâmetro do alimentador.

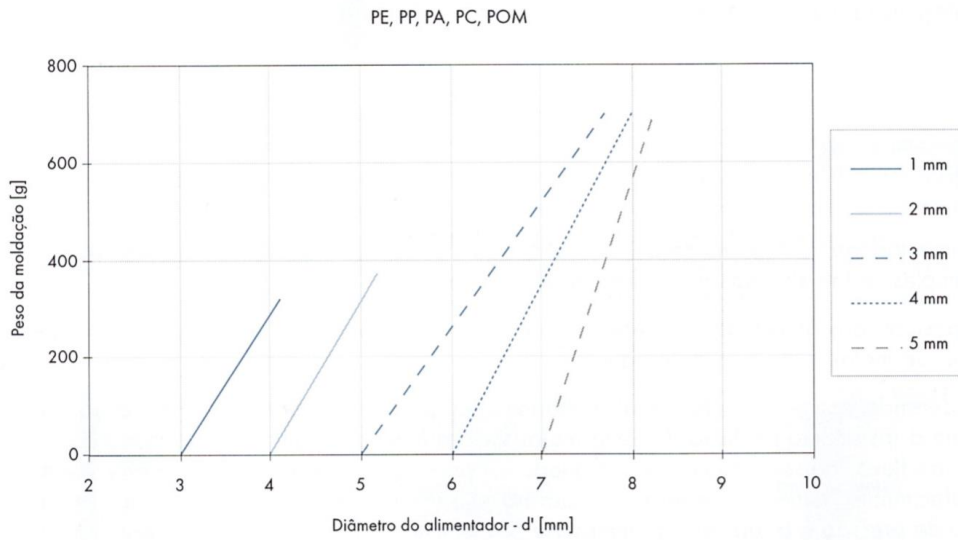


Figura 4.74 – Diâmetro do alimentador em função do peso da moldação.

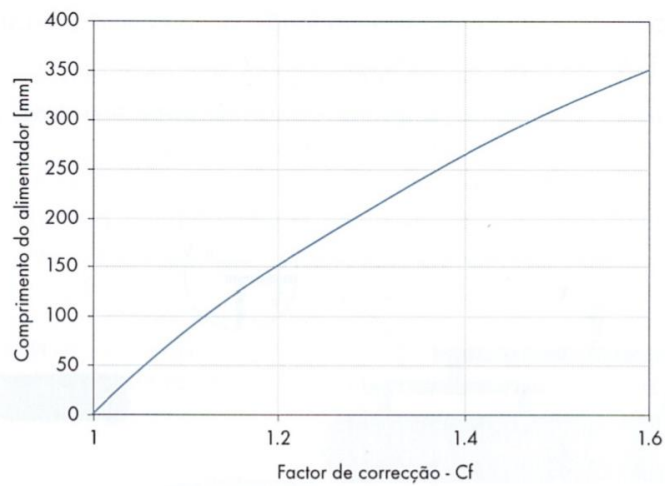


Figura 4.75 – Fator de correção em relação ao comprimento do alimentador.

Para o projeto em estudo, foi considerado um tipo de ataque submarino e o material a injetar o Polipropileno. Na Tabela 4.5 estão representados os valores de entrada necessários.

Tabela 4.5 – Parâmetros necessários para o cálculo do diâmetro do alimentador.

Valor de entrada	Valor
Número de peças	4
Peso de cada moldação	3,85 g
Comprimento do alimentador secundário	10 mm
Espessura da peça	5,74 gr

Recorrendo à Figura 4.74 e à Figura 4.75, conclui-se que para uma espessura de 5 mm e para um peso de moldação de 3,85 mm o d' terá um valor de 7,1 mm. Como o alimentador tem 10 mm de comprimento o fator de correcao é de 1,01. Deste modo o alimentador $dR1$ devera ter um diâmetro de:

$$dR1 = d' \times Cf \quad [17]$$

$$dR1 = 7,1 \times 1,01 = 7,17 \text{ mm}$$

4.3.7 *Balanço térmico do molde*

O projeto do sistema de controlo de temperatura de um molde é algo de extrema importância, tendo influência sobre aspetos fundamentais, como por exemplo, a qualidade da peça, o tempo do ciclo e conseqüentemente toda a rentabilidade e eficiência do molde. Assim o projeto destes sistemas, deve obrigatoriamente ter em conta algumas regras gerais que permitam bons resultados na prática, como por exemplo:

- Preferência de circuitos independentes e simétricos, relativamente à zona ou zonas de enchimento do molde, tentando que estes acompanhem o melhor possível a forma das peças. Deste modo, o arrefecimento conferido às peças será igual entre elas no caso de múltiplas cavidades e as temperaturas na superfície moldante será mais uniforme;

- O percurso do refrigerante não deve ser longo ao ponto de que a variação da sua temperatura seja superior a 5°C. Por isso, afirma-se ser melhor ter múltiplos circuitos independentes do que um único, mas mais longo, uma vez que se o aquecimento do fluido de refrigeração for muito grande a uniformidade de temperaturas será obviamente menor. Além disso, a existência de circuitos independentes pode permitir ter diferentes temperaturas no molde. Uma temperatura ligeiramente mais baixa em zonas onde é necessário retirar mais calor (zonas mais espessas da peça) e, ligeiramente mais alta, onde seja necessário retirar menos calor, contribuindo assim para um arrefecimento mais uniforme;
- O fluido refrigerante que circula no molde em circuito fechado deve passar numa unidade de tratamento, por exemplo, no termorregulador, que consegue controlar o caudal do fluido. O sentido de circulação deve ser termorregulador, entrada do molde, saída do molde, regulador de caudal, termorregulador. Com este sistema, garante-se que os canais estão sempre cheios e que a transferência de calor seja mais eficiente.

A arquitetura dos sistemas de arrefecimento depende principalmente da forma da peça, e das suas dimensões, dado que elas condicionam o “espaço” existente para a sua implementação. Contudo, se para o arrefecimento exterior da peça, não existem, geralmente, grandes problemas, uma vez que o espaço se pode “criar”, já o mesmo não se pode afirmar no arrefecimento no interior das peças, em que espaço está limitado pela geometria da peça. Além disso, para dificultar o projeto, são estas zonas que normalmente necessitam de uma maior remoção de calor (Almeida, 2016).

4.3.7.1 Cálculo do diâmetro dos canais de refrigeração

Ao longo do ciclo de injeção, as temperaturas nas diferentes partes do molde oscilam devido ao ritmo regular do ciclo e também devido a alterações nas condições de injeção. A exata modelação do processo de arrefecimento, se possível, envolveria uma quantidade de trabalho matemático incomportável em termos práticos. Por isso, costumam aceitar-se e fazer-se algumas hipóteses simplificativas que não só tornam o problema maneável e comportável de se fazerem em tempo útil, como não afetam de maneira significativa os resultados que em termos

práticos continuam a ser satisfatórios. Deste modo, as simplificações referidas anteriormente consistem em:

- Processo quase estático;
- As flutuações nas temperaturas e nos fluxos térmicos durante os ciclos são desprezáveis;
- Consideram-se os valores médios das propriedades durante os períodos em questão.

Para efeitos de balanço térmico no molde, considera-se como positivo o calor recebido pelo molde e como negativo o calor cedido. Seguidamente, na Figura 4.76 ilustram-se os processos de transferência de calor ocorridos no molde

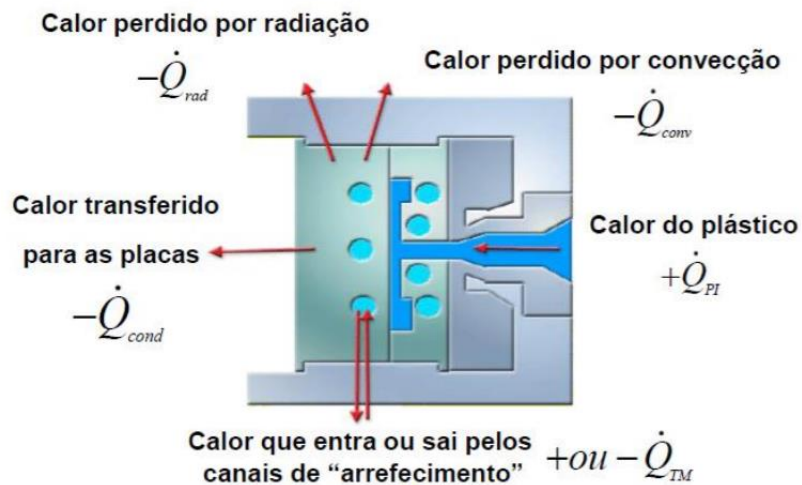


Figura 4.76 - Processos de transferência de calor ocorridos no molde (Almeida, 2016).

Resumindo, o balanço térmico do molde pode ser expresso matematicamente pela equação 18:

$$\sum \dot{Q}_t = \dot{Q}_{TM} + \dot{Q}_{PI} + \dot{Q}_{AMB} \quad [18]$$

Onde,

$$\dot{Q}_{AMB} = \dot{Q}_{COND} + \dot{Q}_{CONV} + \dot{Q}_{RAD} \quad [19]$$

O fluxo de calor cedido pelo material fundido, durante o tempo em que a cavidade do molde permanece cheia é dado pela equação 20:

$$\dot{Q}_{PI} = \frac{m + (h_{inj} - h_{ext})}{t_c} \quad [20]$$

Desta forma, será necessário calcular primeiro o tempo de arrefecimento através da equação 21:

$$T_{arrefecimento} = \frac{s^2 \times \ln(k \times \frac{T_{injecao} - T_{molde}}{T_{extração} - T_{molde}})}{\pi^2 \times \alpha} \quad [21]$$

$$T_{arrefecimento} = \frac{0,57^2 \times \ln(\frac{8}{\pi^2} \times \frac{226 - 45}{99 - 45})}{\pi^2 \times 0,00097}$$

$$T_{arrefecimento} = 33,92 \text{ s}$$

Recorrendo à equação 20 conclui-se que o fluxo de calor cedido pelo material fundido é de:

$$\dot{Q}_{PI} = \frac{0,0157 + (545000 - 180000)}{33,92}$$

$$\dot{Q}_{PI} = 168,9405 \text{ W}$$

A transmissão de calor para o ambiente ocorre através de três processos naturais: condução, convecção e radiação (CENTIMFE, 2003):

- Condução – o fluxo de calor por condução dá-se para as placas de fixação do molde e é proporcional à diferença entre as temperaturas do molde e do ambiente, podendo ser calculado pela equação (22);

$$\dot{Q}_{COND} = A_{fic} \times \beta \times (T_{amb} - T_{molde}) \quad [22]$$

Em que substituindo cada parâmetro conclui-se que o fluxo de calor por condução será de:

$$\dot{Q}_{COND} = (196 \times 296) \times 100 \times (25 - 45)$$

$$\dot{Q}_{COND} = -116,032 \text{ W}$$

- A troca de calor para o ambiente por convecção é talvez a forma de transferência de calor com maior importância, uma vez que representa aproximadamente entre 70-80% do total das perdas de calor para o ambiente e pode ser calculada recorrendo à equação 23;

$$\dot{Q}_{CONV} = A_{lat} \times \alpha \times (T_{amb} - T_{molde}) \quad [23]$$

Onde:

$$\dot{Q}_{CONV} = (((196 \times 2) + (296 \times 2)) \times 56) \times 5 \times (25 - 45)$$

$$\dot{Q}_{CONV} = -5,510 \text{ W}$$

Conclui-se que o calor transferido para o ambiente por convecção é de -5,510 W.

- Radiação – o fluxo de calor por radiação pode ser calculado pela equação 24.

$$\dot{Q}_{RAD} = A_{lat} \times \varepsilon \times C_{rad} \times \left(\left(\frac{\theta_{amb}}{100} \right)^4 - \left(\frac{\theta_{molde}}{100} \right)^4 \right) \quad [24]$$

Onde:

$$\dot{Q}_{RAD} = 55104 \times 0,25 \times 5,67 \times \left(\left(\frac{25 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{45 + 273}{100} \right)^4 \right)$$

$$\dot{Q}_{RAD} = -1,8277 \text{ W}$$

Recorrendo à equação 19 e substituindo pelos valores anteriores:

$$\dot{Q}_{AMB} = \dot{Q}_{COND} + \dot{Q}_{CONV} + \dot{Q}_{RAD}$$

$$\dot{Q}_{AMB} = -123,37 \text{ W}$$

O valor anterior representa o valor do calor transportado pelo material fundido e das trocas de calor com o ambiente, no entanto a quantidade de calor que terá de se retirar com o fluido de arrefecimento é calculado pela equação 25 de balanço térmico:

$$\dot{Q}_{TM} = -\dot{Q}_{PI} + \dot{Q}_{AMB} \quad [25]$$

Onde:

$$\dot{Q}_{TM} = -168,94 + (-123,37)$$

$$\dot{Q}_{TM} = 45,57 \text{ W}$$

Com este dado consegue-se estimar o caudal mínimo dos canais de refrigeração, fixando o aumento da sua temperatura durante a passagem pelo molde. Esta variação de temperatura deve-se situar entre os 2 a 5 °C. Posto isto, o caudal é dado pela equação 26:

$$\dot{m} = \frac{|\dot{Q}_{TM}|}{C \times \Delta T} \quad [26]$$

Onde,

$$\dot{m} = \frac{|45,57|}{41,86 \times 2}$$

$$\dot{m} = 0,005443 \text{ kg/s}$$

O que corresponde a um caudal de 0,3266 l/min. Conhecido o caudal de fluido de refrigeração, pode-se determinar o diâmetro recomendado para os canais de refrigeração. De acordo com a Tabela 4.6 podem seguir-se algumas regras de projeto no sentido de acomodar canais bem como elementos normalizados nos sistemas de refrigeração, seguindo as correspondências entre caudal e diâmetro dos canais.

Tabela 4.6 - Regras de projeto no sentido de acomodar os canais de refrigeração bem como elementos normalizados nos sistemas de refrigeração

Caudal [l/min]	Valor [mm]
3,8	8
9,5	11
38	19
85	23,8

Para que a transferência de calor seja ainda mais eficiente e a qualidade das peças assegurada, deve-se garantir que o escoamento é turbulento. Deste modo, este regime deve sempre ser imposto, sendo que isto ocorre quando o número de Reynolds é superior a 3500. Para o cálculo do número de Reynolds utilizou-se a seguinte equação 27.

$$Re = \frac{v \times D}{\nu} \quad [27]$$

Onde;

$$Re = \frac{\frac{5,44 \times 10^{-6}}{(\pi \times 0,002^2)/4} \times 0,002}{1,00 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 3451$$

Para um caudal de 0,326 l/m, através da tabela anterior, e tendo em conta o diâmetro da broca necessária para a furação um valor de 8 mm devido a ser bastante difícil furar com uma broca de 6 mm o comprimento pretendido dos canais de refrigeração foi considerado o valor de 8 mm para o canal de refrigeração. Desta forma, calculou-se o valor de diferença de temperaturas que se tem no escoamento da com a equação 28.

$$\Delta T = \frac{|\dot{Q}_{TM}|}{C \times \dot{m}} \quad [28]$$

Onde:

$$\dot{m} = Q_{volumico} \times \rho_{agua} \quad [29]$$

$$\dot{m} = \frac{\left(\frac{3500 \times 1,00 \times 10^{-6}}{0,008}\right) \times \pi \times 0,008^2}{4} \times \rho_{agua}$$

$$\dot{m} = 0,022 \text{ kg/s}$$

Substituindo os valores anteriores:

$$\Delta T = \frac{|45,57|}{4186 \times 0,022}$$

$$\Delta T = 0,493 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Por outro lado, o comprimento dos canais de refrigeração é outro critério de extrema importância a ter em conta, sendo que este deve ser o maior possível. Por isso, deve-se sempre verificar, através da equação 30, se os comprimentos dos canais de refrigeração existentes no molde são superiores ao mínimo necessário para assegurar a transmissão de calor pretendida.

$$L = \frac{2 \times |\dot{Q}_{TM}| \times e}{k \times \pi \times d \times \Delta T} \quad [30]$$

Onde;

$$L = \frac{2 \times 45,57 \times 0,003}{50 \times \pi \times 0,008 \times 0,493}$$

$$L = 0,4413 \text{ m}$$

Com o resultado anterior, conclui-se que os comprimentos dos canais de refrigeração existentes no molde terão de apresentar um comprimento superior a 441 mm. Tendo em conta que os canais de refrigeração em cada posição apresentam cerca de 800 mm de comprimento, verifica-se que o comprimento dos canais de refrigeração no molde, encontram-se acima do valor estabelecido.

4.4 Simulação da injeção das peças

4.4.1 Funcionalidades do software utilizado

Para executar a simulação do processo de injeção, recorreu-se ao aplicativo *Plastics* do software *SolidWorks*, o qual apresenta aos projetistas de peças plásticas e moldes de injeção capacidades de análise reológica e simulação avançada do processo de injeção de moldes. O software permite simular a forma como o polímero flui durante o processo de injeção, bem como a sua compactação e arrefecimento, ajudando a detetar e prevenir defeitos relacionados com a produção em peças e moldes. Permite rapidamente avaliar a possibilidade de produção enquanto se projeta, de forma a eliminar dispendiosas revisões, potenciar a qualidade das peças e acelerar o *time-to-market*. A funcionalidade deste software designada “*assessor de resultados*” fornece opções de resolução de problemas e conselhos práticos de projeto, auxiliando no diagnóstico e evitando potenciais problemas (sqedio, 2019).

A simulação completa da injeção no *Solidworks Plastics* é conseguida em 4 módulos de análise distintos, os quais consistem nos seguintes estudos:

- *FLOW* – Prevê como o material preenche a cavidade. Os resultados da simulação incluem distribuições de pressão e temperatura dentro da cavidade e deteta locais de fugas de ar e linhas de solda;
- *PACK* – Avalia o processo de arrefecimento do material na cavidade. Os resultados preveem o histórico de tempo de arrefecimento em todos os pontos da peça e o tempo de ciclo. As distribuições de pressão, tensão e resultados de contração estão também disponíveis neste modulo de simulação;
- *COOL* – Realiza a análise de transferência de calor com o objetivo de obter a distribuição de temperatura dentro do molde. Durante o ciclo de moldagem por injeção, as temperaturas calculadas variam de acordo com a localização e também ao longo do tempo;
- *WARP* – Prevê a forma e as dimensões finais da peça, depois de ter sido injetada e totalmente arrefecida. Ao contrário da análise de fluxo volumétrico finito usada em

FLOW e *PACK*, a simulação *WARP* é baseada no método dos elementos finitos, e a parte plástica é considerada um corpo elástico linear.

4.4.2 *Preparação do modelo*

Antes de se avançar para o estudo no *Plastics*, deve ser feita uma preparação cuidada do modelo a nível estrutural visto que o modelo será dividido através de elementos finitos e poderão surgir erros na malhagem. O primeiro ponto a analisar, é o facto de o *Solidworks Plastics* não admitir ficheiros em formato *Assembly*. Desta forma o modelo terá de ser gravado em formato *Part* e conter apenas os sólidos necessários, os quais mais tarde serão seleccionados com a função pretendida. Para obter o modelo desejado, foram utilizadas várias ferramentas do *Solidworks*, como por exemplo o *Combine*, para unir a cavidade e bucha às chapas n.º 2 e n.º 3 e o *Intersect*, para obter o modelo da refrigeração e da injeção. No final, o modelo será constituído apenas pelos sólidos principais para que o estudo não seja demasiado complexo. Nesta fase o molde será formado por sete sólidos:

- Cavidade (resulta da operação “*Combine*” da chapa 2, do postigo da cavidade e do bico de injeção), conforme representado na Figura 4.77;

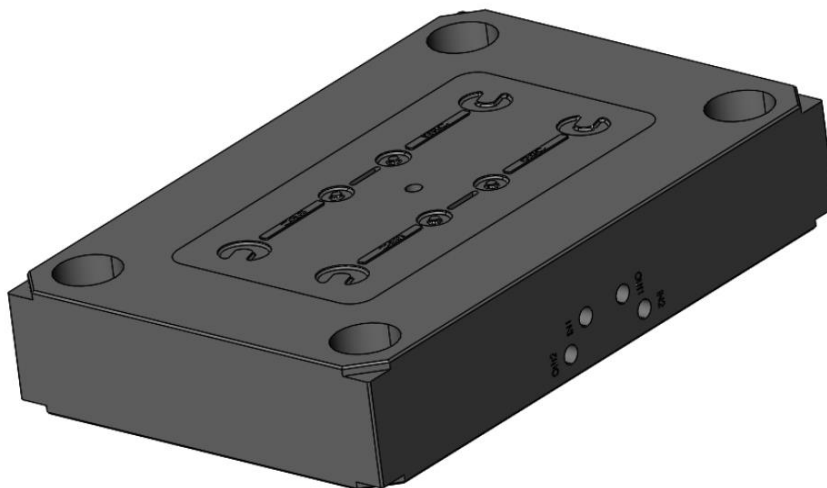


Figura 4.77 - Modelo 3D da Cavidade.

- Bucha (resulta da operação “*Combine*” da chapa n.º 3, do postigo da bucha e dos postigos de injeção) conforme representado na Figura 4.78;

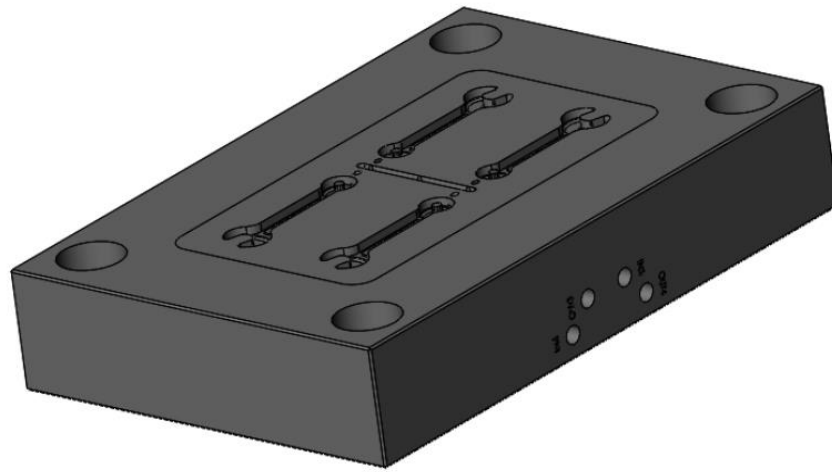


Figura 4.78 - Modelo 3D da Bucha.

- Refrigeração (Sistema constituído por um conjunto de quatro sólidos distintos, o qual resulta de um *Intersect* das chapas n.º 2 e n.º 3 com planos nas extremidades das chapas), como se pode visualizar na Figura 4.79;

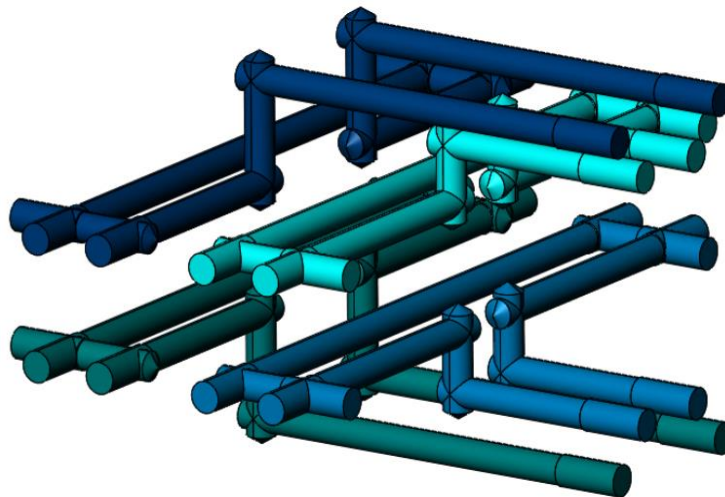


Figura 4.79 - Modelo 3D do circuito de Refrigeração.

- Injeção (Sólido constituído pela totalidade do polímero injetado) formado pelos canais de injeção e pelas peças moldadas, através de um *Intersect* entre as chapas n.º 2, n.º 3 e planos, como representado na Figura 4.80.

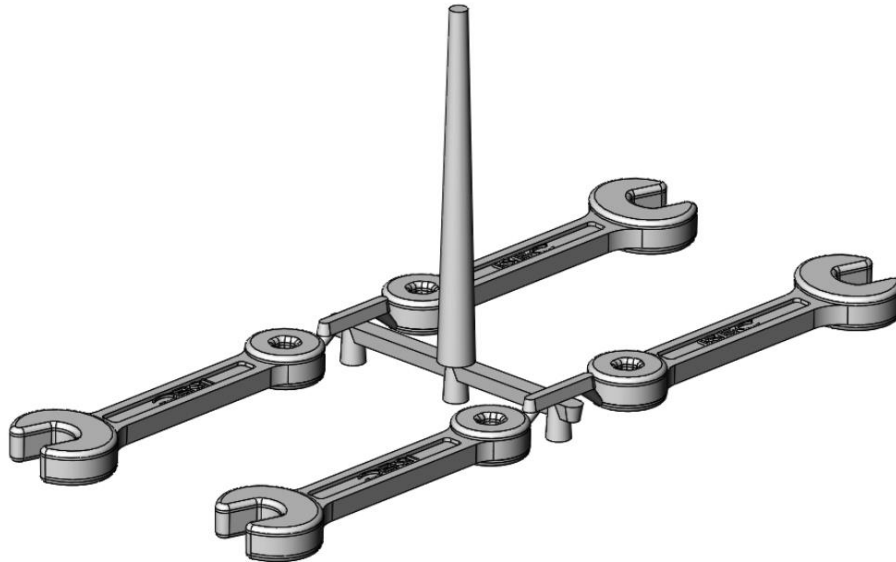


Figura 4.80 - Modelo 3D da injeção.

O modelo final, pronto para o estudo está representado na Figura 4.81, o qual é constituído pelos sete sólidos anteriormente apresentados e que estão incorporados nas placas do molde.

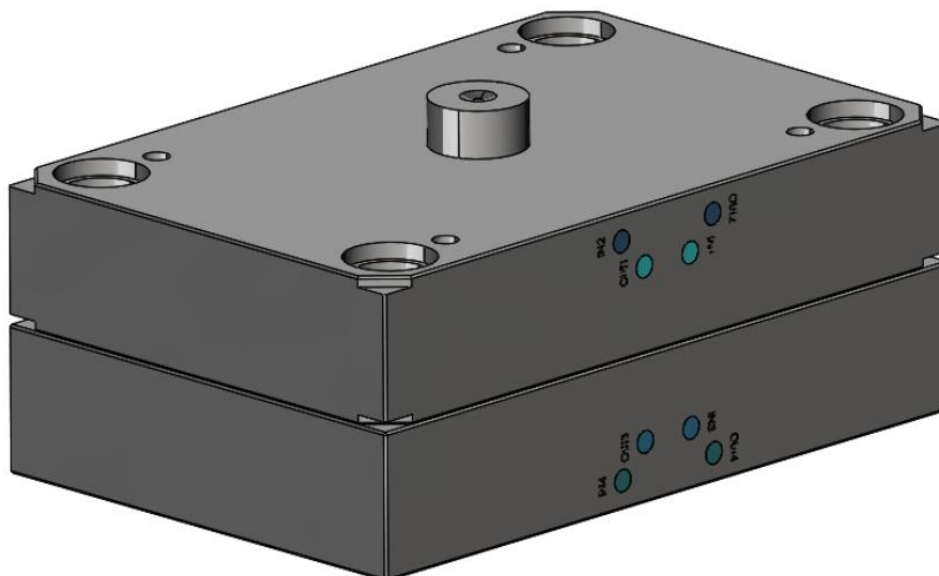


Figura 4.81 - Modelo 3D final.

4.4.3 Malhagem do modelo 3D

À semelhança do *Solidworks Flow Simulation* que recorre ao método de elementos finitos para obter soluções de dinâmica de fluidos, o *Plastics*, necessita que o modelo em estudo seja dividido em inúmeros elementos para calcular e avaliar a forma de como é feita a injeção de uma determinada peça. Existem dois métodos para fazer a malhagem da geometria: a automática, em que é criada uma malha robusta automaticamente, e a manual, que permite definir configurações de malha preferenciais, obtendo um comportamento do material mais detalhado. Com o objetivo de obter os melhores resultados possíveis, foi selecionada a opção de malha manual. Assim, nas configurações de seleção dos sólidos, a cavidade e bucha foram definidas como *Mold*, os quatro sólidos da refrigeração como *Cooling channel*, e a injeção como *Cavity*, conforme representado na Figura 4.82.

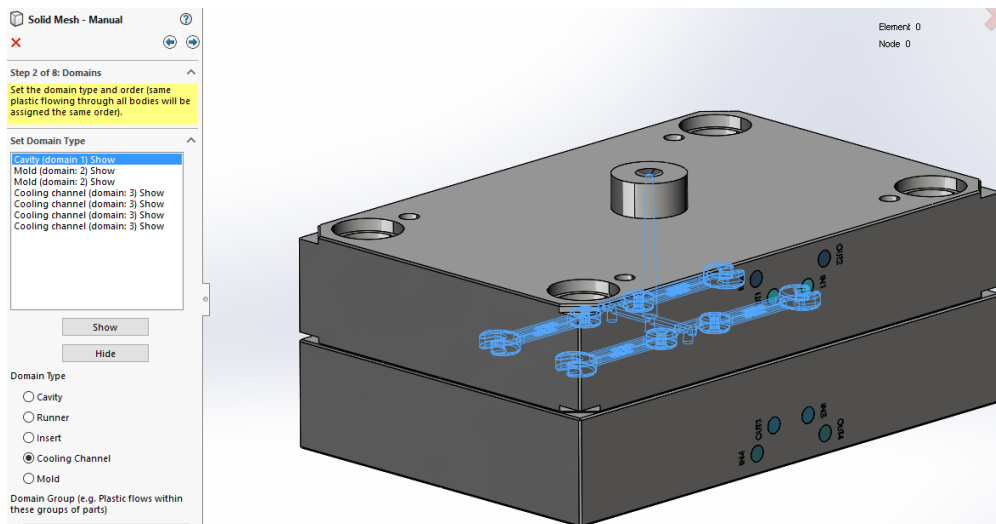


Figura 4.82 - Definição de cada sólido no *Plastics*.

Em relação ao tamanho e tipo de elemento finito, foi definido para a injeção 0,1 mm com uma malhagem híbrida (elementos prismáticos e tetraédricos) aumentando a precisão da simulação do fluxo de material. Para a cavidade, bucha e sistema de refrigeração, os requisitos não são tão importantes, e assim foi definido um tamanho de elemento de 1 mm, com uma malhagem de elementos tetraédricos, conforme se pode observar na Figura 4.83.

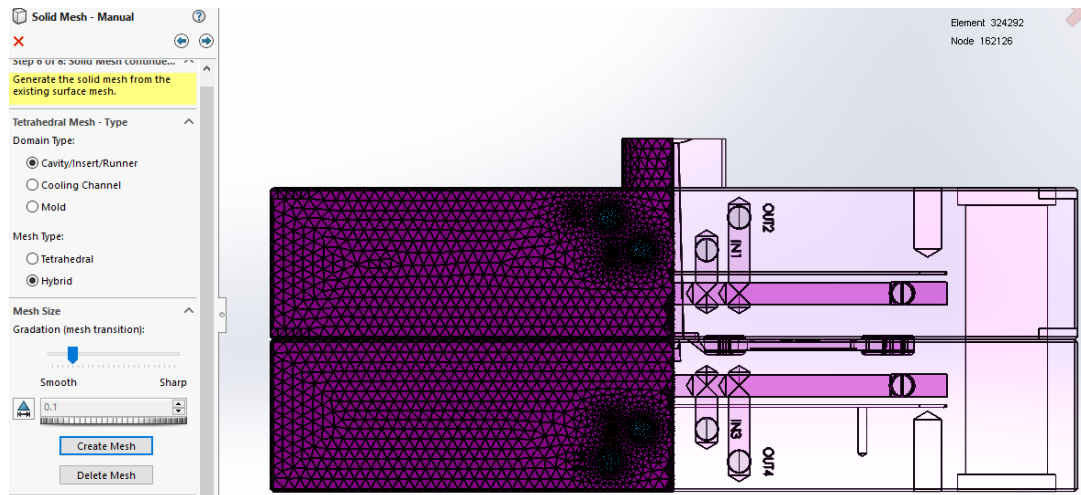


Figura 4.83 - Escolha do tamanho e tipo de elemento finito.

4.4.4 Definição de materiais e fluido de refrigeração

Tal como já referido anteriormente, o material polimérico a considerar será o Polipropileno (PP) – Moplen® HP500N. Através da biblioteca de polímeros do *Solidworks Plastics*, cabe apenas seleccionar o material correto, pois todas as características estão pré-definidas, conforme está representado na Figura 4.84.

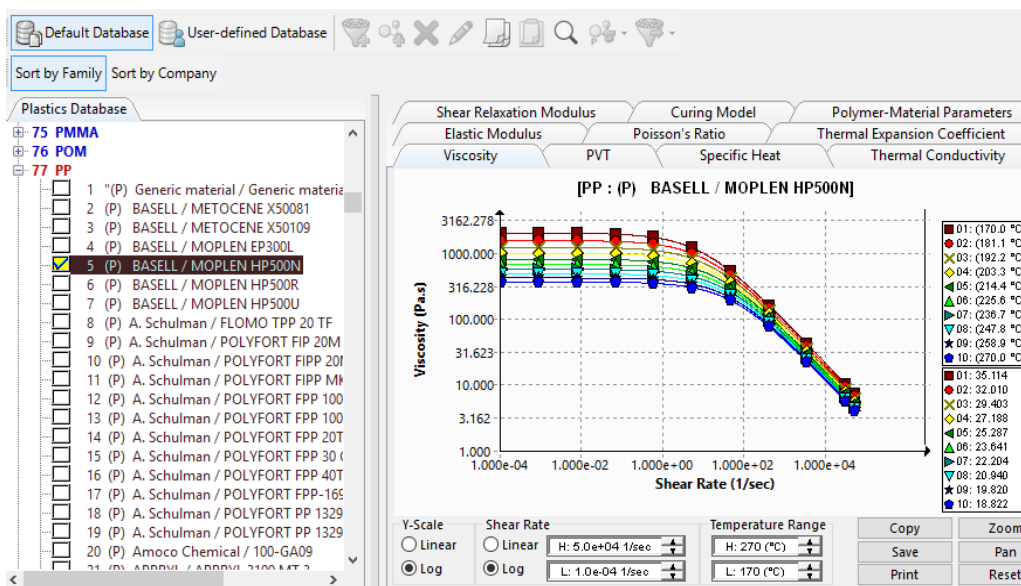


Figura 4.84 - Seleção do tipo de polímero a injetar e respetivas propriedades.

De seguida foi escolhido o fluido de refrigeração a utilizar, tendo sido para o caso em estudo, considerada água, como demonstrado na Figura 4.85.

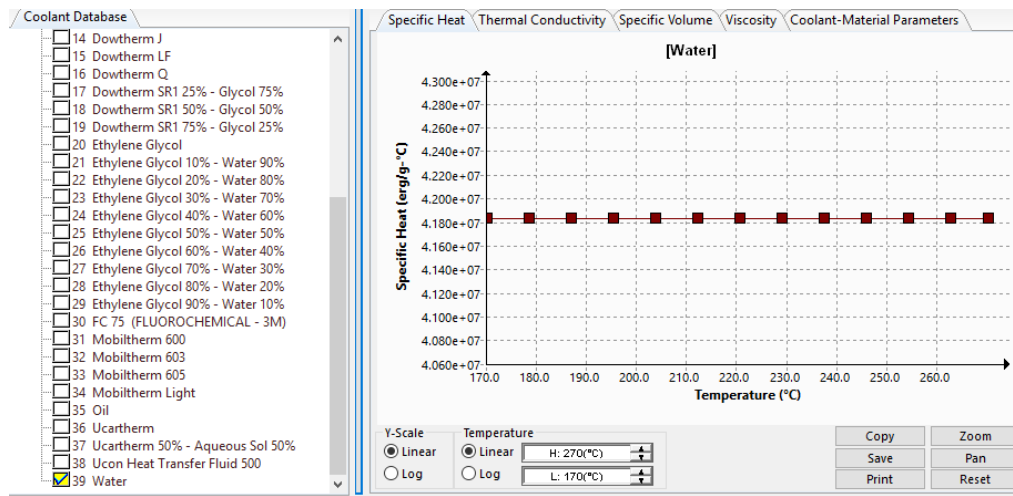


Figura 4.85 - Seleção do fluido de refrigeração.

Relativamente à definição de materiais, é necessário selecionar qual o tipo de material do molde. Apesar da estrutura do molde ser em aço, uma vez que a injeção apenas se vai processar nos postigos, foi considerado no caso de estudo o alumínio 7075-T651, tal como representado na Figura 4.86, pois este é o material a utilizar nestes componentes

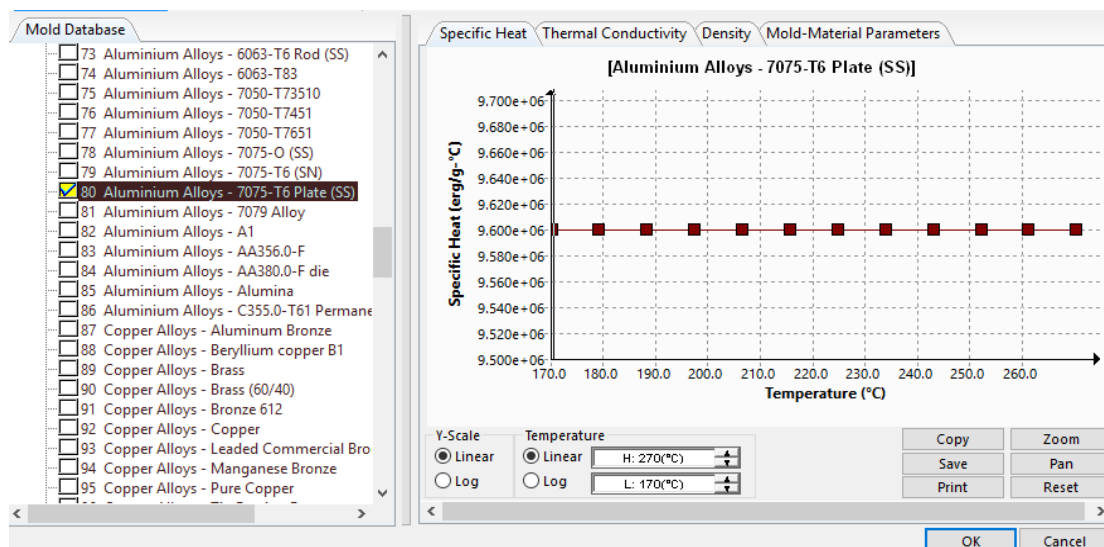


Figura 4.86 - Seleção do material do molde.

4.4.5 Definição dos parâmetros de processo

Os parâmetros requeridos pelo módulo *Plastics* são divididos nos 4 módulos em análise, *FLOW*, *PACK*, *COOL* e *WARP*. Relativamente ao primeiro módulo, ao abrir na árvore de operações do separador *Fill Settings* referente ao módulo de *FLOW*, foram requeridos os seguintes parâmetros:

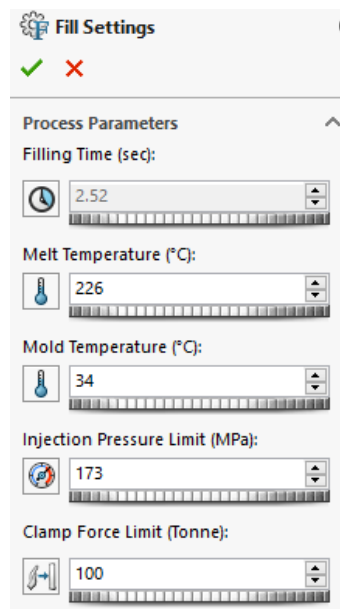
- *Filling time (sec)* – Tempo que leva o plástico fundido a encher completamente a cavidade. Este parâmetro não necessita de ser introduzido devido ao programa calcular automaticamente o tempo de preenchimento com base na geometria da peça, propriedades do polímero selecionado e restantes parâmetros definidos;
- *Melt Temperature (°C)* – Temperatura do polímero fundido no local da injeção. Este será um valor padrão para a temperatura de fusão e é obtido do banco de dados dos materiais do *Plastics*;
- *Mold Temperature (°C)* – Temperatura do molde ao longo do ciclo de injeção. Para este caso foi introduzido um valor padrão obtido pelo banco de dados dos polímeros do *Plastics*. Caso seja necessário entrar em mais detalhe, é possível selecionar um perfil da temperatura do molde;
- *Injection Pressure Limit (°C)* – Valor máximo permitido da pressão do polímero no local da injeção. Se a pressão atingir o valor limite, a taxa de fluxo de entrada será automaticamente reduzida para esse limite e o tempo de enchimento será maior do que o valor solicitado. Este valor foi modificado para 173 MPa, sendo este o valor máximo da pressão de injeção para a máquina prevista ser utilizada;
- *Clamp Force Limit (Tonne)* – Força de fecho máxima da máquina de injeção em que o valor colocado foi de 100 ton referentes à máquina de injeção a utilizar.

Na Figura 4.87 a) pode-se observar a árvore de operações do separador *Fill Settings* com os valores corretamente introduzidos. Seguindo para os parâmetros do módulo *PACK*, através da árvore de operações, no separador *Pack Settings*, introduziu-se os parâmetros (Figura 4.87 b):

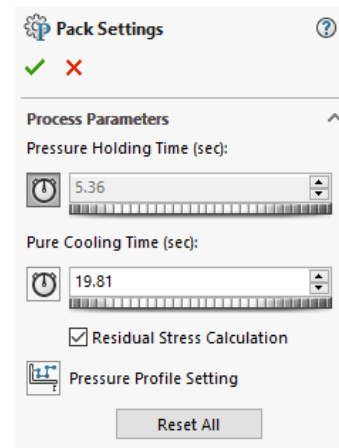
- *Pressure Holding Time (sec)* – Duração do primeiro estágio da pressurização, durante o qual a pressão é aplicada nos locais de injeção à medida que o material fundido no molde

arrefece e contrai. O programa calcula o valor padrão com base na geometria da peça e nas propriedades do material;

- *Pure Cooling Time (sec)* - Duração do último estágio de pressurização, durante o qual a pressão é removida dos locais de injeção, calculada quando o arrefecimento é concluído. O tempo padrão para o estágio de arrefecimento e pressurização é estimado com base na temperatura final (quando as peças estão prontas para serem extraídas) fornecida nos dados do material. Nesta fase o núcleo da peça ainda está no estado fundido e arrefece fora do molde para alcançar a temperatura ambiente.



(a)



(b)

Figura 4.87 - Parâmetros relativos ao módulo: Fill settings (a) e Pack settings (b).

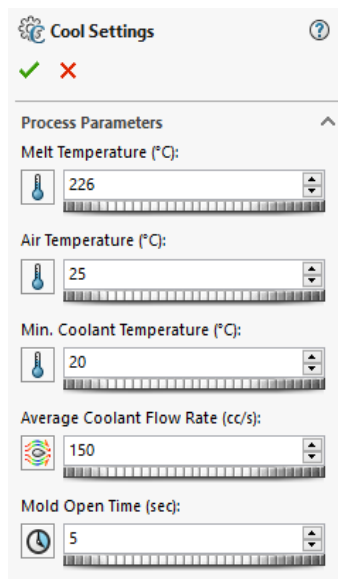
Relativamente aos parâmetros *COOL*, o módulo *Plastics* requer os seguintes dados:

- *Melt Temperature (°C)* – Temperatura do polímero no local da injeção. O valor padrão para a temperatura de fusão é obtido do banco de dados dos materiais do *Plastics*;
- *Air Temperature (°C)* – Temperatura exterior;
- *Min. Coolant Temperature (°C)* – Menor valor permitido para a temperatura do fluido de refrigeração em qualquer ponto e durante o ciclo de injeção;

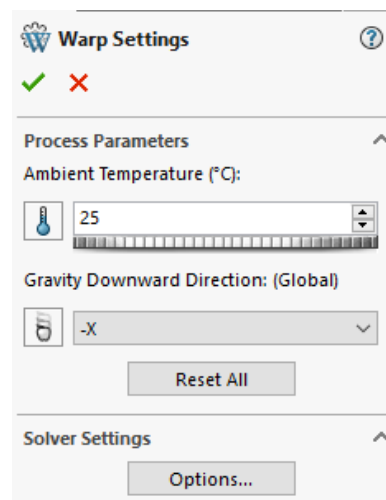
- *Average Coolant Flow Rate (cm³/s)* – Taxa média de arrefecimento do fluxo do fluido de refrigeração;
- *Mold Open Time (sec)* – Este tempo representa a duração desde a abertura do molde, extração e fecho do molde. Este parâmetro é adicionado para fazer a soma com o tempo de enchimento e de arrefecimento para calcular o tempo total do ciclo.

Na Figura 4.88 a) está representada a árvore de operações do separador *Cool Settings* com os valores introduzidos. Para terminar a introdução dos parâmetros, na árvore de operações, no separador *WARP*, resta indicar os parâmetros, como mostrado na Figura 4.88 b):

- *Ambiente Temperature (°C)* – Temperatura ambiente;
- *Gravity Downward Direction* – Neste parâmetro deve-se introduzir qual a direção da gravidade, selecionando o respetivo eixo, e se é positivo ou negativo quando montado na máquina de injeção.



(a)



(b)

Figura 4.88 - Parâmetros relativos ao módulo: *Cool settings* (a) e *Warp settings* (b).

4.4.6 Condições fronteira

Relativamente às condições fronteira, apenas foram introduzidas três condições, atendendo que estas seriam suficientes para o objetivo pretendido. Desta forma, é exigido em primeiro lugar a localização da injeção, sendo definido o primeiro ponto no jito em que o material fundido inicia o seu trajeto, conforme representado na Figura 4.89 com um cone a cor de rosa.

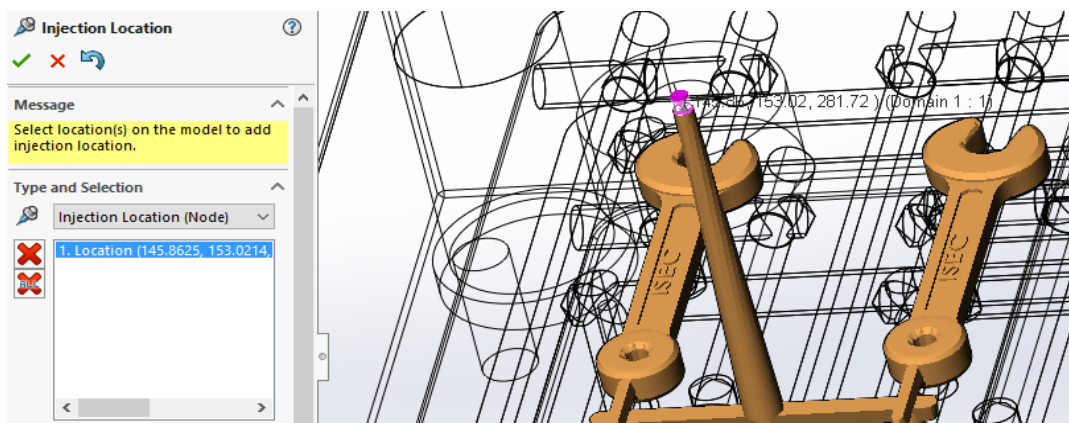


Figura 4.89 - Definição do ponto de injeção.

De seguida, indicou-se a direção da força de fecho do molde. Conforme se pode observar na Figura 4.90, foi definido o eixo Z, sendo esta a posição correta para a abertura e fecho do molde.

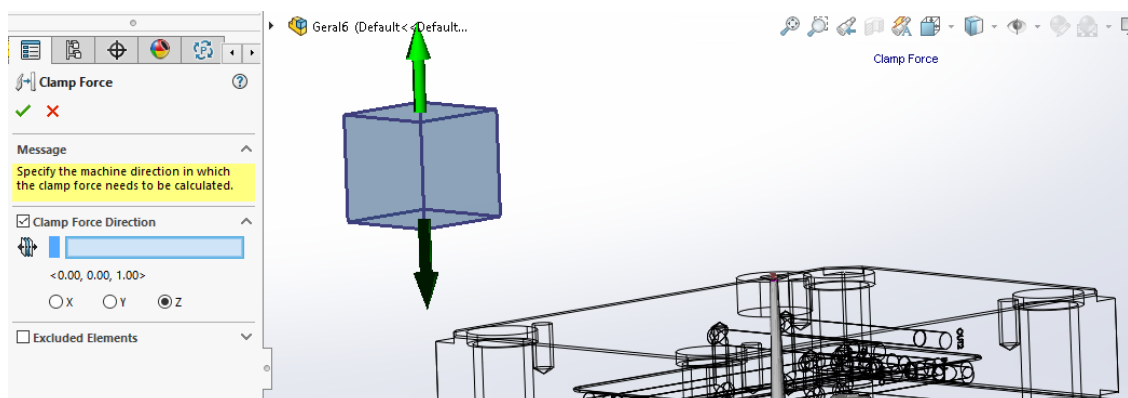


Figura 4.90 - Indicação da direção da força de fecho do molde.

Por fim, foram indicados os parâmetros relativos à temperatura de entrada do fluido, o fluxo de entrada e a localização da entrada do fluido (pequenos triângulos representados nas entradas de águas), como se pode observar na Figura 4.91.



Figura 4.91 - Configurações das condições fronteiras relativas à entrada de água.

4.4.7 Resultados obtidos na simulação da injeção

Como retratado anteriormente, os resultados obtidos através do módulo *Plastics*, estão divididos em quatro módulos de análise que conjuntamente possibilitam obter uma noção geral do processo de injeção obtido para o molde projetado. Para melhor perceção destes módulos, a Figura 4.92 retrata o ciclo de moldagem. Os resultados obtidos no módulo *FLOW* são relativos à primeira fase do ciclo que trata do enchimento da cavidade com o material fundido (*Fill*). Seguidamente, o módulo *PACK* que indica como vão ocorrer as distribuições de pressão, tensão e resultados de contração em que é originada uma contra pressão que contraria a contração do plástico. Por fim, o módulo *COOL* analisa as diferenças de temperatura nas peças e no molde

ao longo do tempo. O módulo *WARP* não está introduzido no ciclo de moldagem, mas pode se atentar como uma consideração final de como será a forma e as dimensões finais da peça, depois de ter sido injetada e totalmente arrefecida.

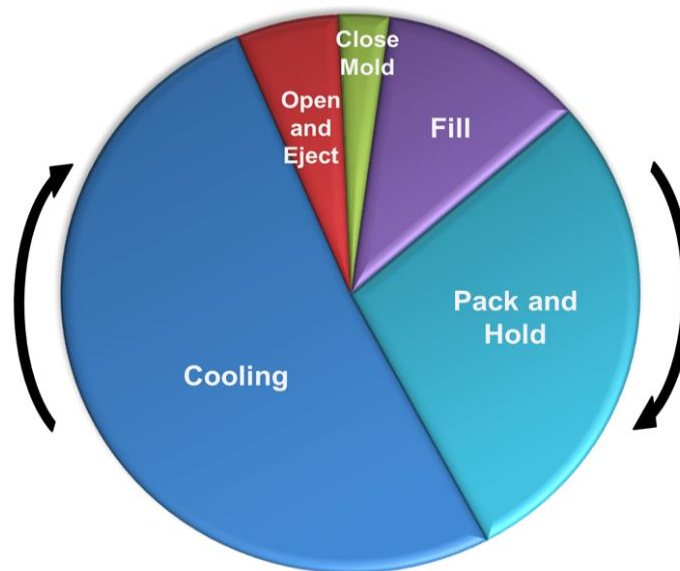


Figura 4.92 - Ciclo de moldagem por injeção (ResearchGate, 2019).

Os resultados demonstrados na Figura 4.93 são relativos ao tempo de enchimento e representam com um gradiente de cores o tempo que decorre durante o percurso do plástico fundido, à medida que este flui ao longo da cavidade. As regiões azuis indicam o tempo que decorre desde o início do fluxo e as regiões a vermelho o tempo que decorre até ao fim do preenchimento da cavidade, onde o fluxo estagnou. O *software* calcula automaticamente o tempo de preenchimento e o fluxo volumétrico de como o plástico flui ao longo da cavidade. O tempo de preenchimento tem um efeito significativo na maior parte dos resultados, pois um tempo de preenchimento mais longo pode reduzir a pressão de injeção, a taxa de corte e a tensão de corte. Pode-se então observar que o tempo de enchimento previsto é de 2,69 segundos.

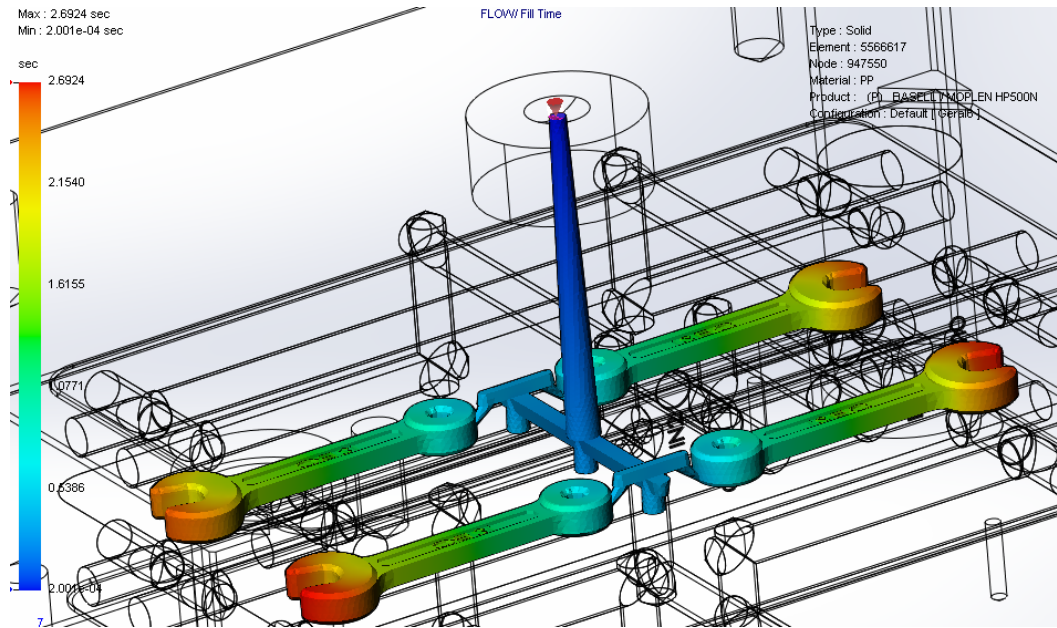


Figura 4.93 - Representação dos resultados relativos ao tempo de enchimento.

Durante o estágio de enchimento, a velocidade a que o parafuso sem-fim avança na direção do bico de injeção é controlada, o que resulta na pressão necessária para encher a cavidade a essa velocidade.

A pressão de injeção é propagada através do plástico fundido e resulta numa queda de pressão, distribuída ao longo do comprimento percorrido pelo fluxo. A pressão registada no final do preenchimento da cavidade é uma indicação muito boa de quão uniformemente a cavidade foi preenchida.

Na Figura 4.94 estão representados os resultados da pressão de injeção no final do enchimento, a partir da qual se conclui que a pressão máxima atingida na cavidade é de 22,72 MPa, sendo a queda de pressão uniforme.

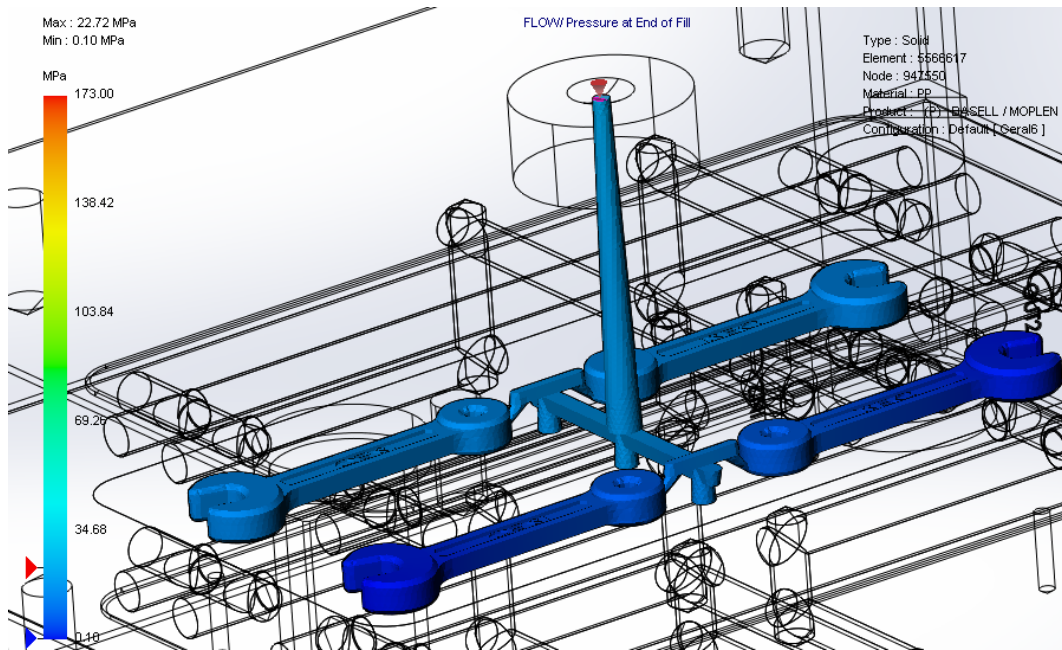


Figura 4.94 - Representação dos resultados relativos à pressão de injeção no final do enchimento.

As designadas “*air traps*” assinalam os locais onde o ar se acumula em resultado de ser empurrado à medida que o fluxo percorre a cavidade. Esta informação é bastante útil a fim de identificar as zonas onde as saídas de ar devem ser criadas para evitar defeitos nas peças. Na Figura 4.95, o aprisionamento de ar é identificado por umas esferas de cor roxo que identificam as regiões potencialmente problemáticas (extremidades dos canais de alimentação, na zona da gravação das letras e na zona da boca da chave onde se finaliza o enchimento das peças).

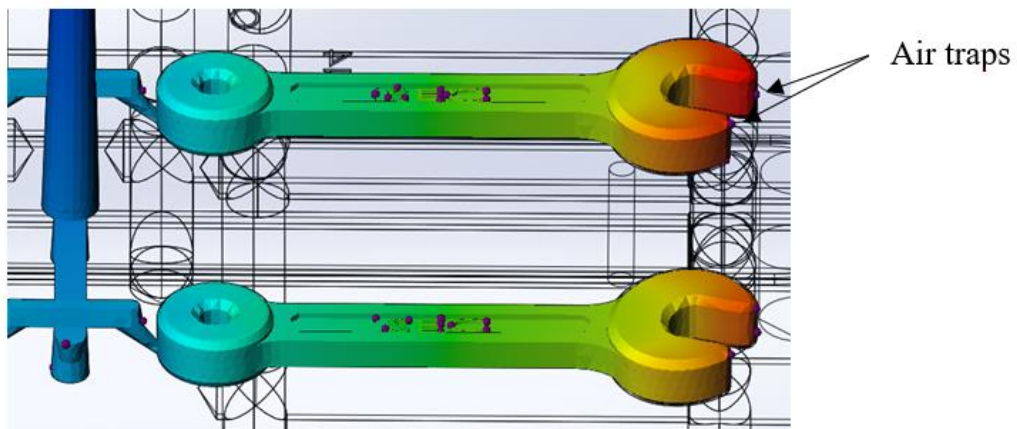


Figura 4.95 - Identificação das *air traps* nas peças.

Uma linha de solda é um defeito visível ou fraqueza criada quando dois ou mais caminhos de fluxo se encontram durante o processo de enchimento. Na Figura 4.96 pode-se observar a localização das linhas de solda, as quais já se previam ocorrer, na parte de trás do anel da chave, pois o material fundido flui em volta do anel, mas de seguida segue em frente ficando um pequeno espaço onde não se une e também na parte da boca do anel onde o plástico se encontra no final.

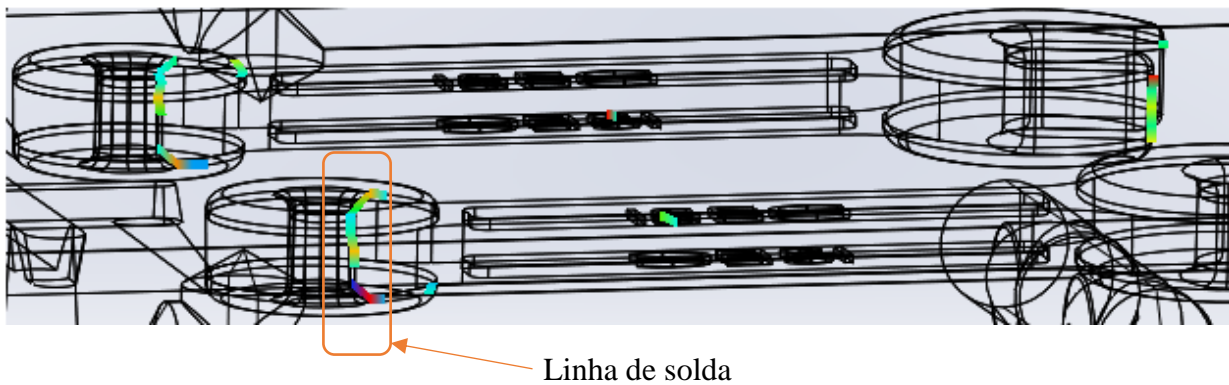


Figura 4.96 - Linhas de solda das peças.

No que diz respeito à taxa de corte do polímero, esta mede a velocidade de uma camada de fluido relativamente a outra camada de fluido que se desloca a uma velocidade diferente. O material plástico arrefecido em contato com a parede da cavidade não se move em relação à parede, o que resulta em uma taxa de corte de zero. O material plástico fundido move-se dentro do material arrefecido, o que produz uma taxa de corte positiva ($> 0,01 / \text{seg.}$).

A taxa de corte continua aumentando até que um máximo seja atingido dentro da parede. Em seguida, a taxa de corte começa a diminuir em direção ao centro do fluxo, atingindo um mínimo local no centro. Este mínimo ocorre porque as cadeias poliméricas no centro do fluxo movem-se à mesma velocidade e não se movem em relação uma à outra, resultando em uma taxa de corte zero ($0,01 / \text{seg.}$). Um exemplo deste fenómeno pode ser observado na Figura 4.97.

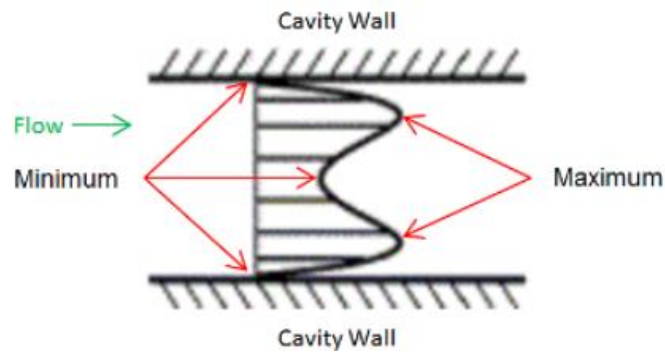


Figura 4.97 - Representação do diagrama da variação da taxa de corte ao longo da parede da cavidade (Rosato, 2000).

A taxa de corte em massa não deve exceder o valor máximo recomendado para o material na base de dados. Exceder este valor, provavelmente levaria à degradação do polímero. O resultado obtido no módulo *Plastics* está representado na Figura 4.98, sendo positivo, estando os valores da taxa de corte a variar no intervalo de [0,02/seg. a 7876,13 /seg.], não excedendo o valor limite do material 61300/seg. Existe apenas um pico na zona de estrangulamento do canal da injeção submarina, tal como seria esperado.

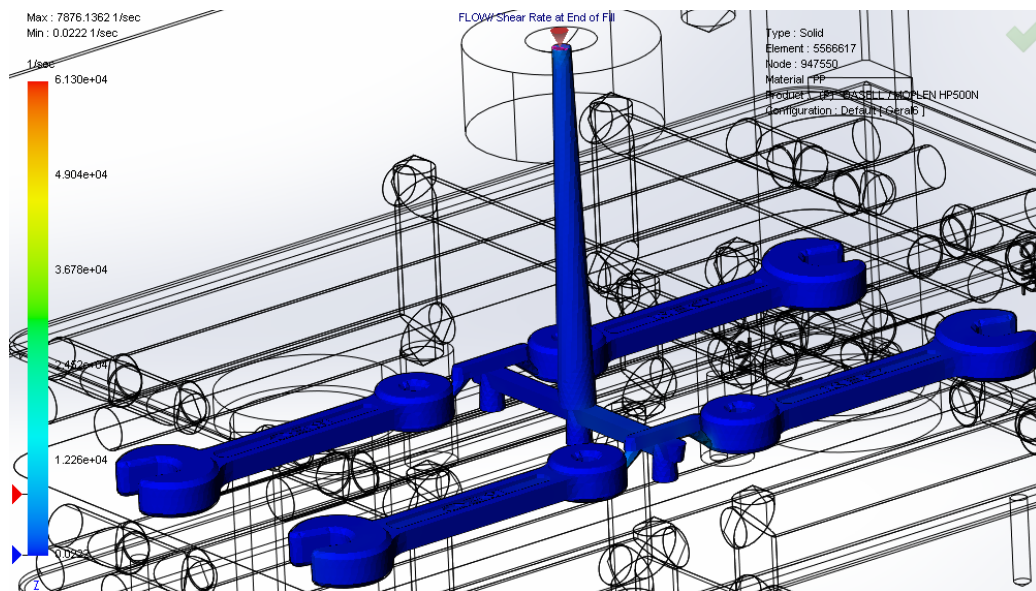


Figura 4.98 - Representação dos resultados relativos à taxa de corte.

A tensão de corte é uma medida da força por unidade de área. A direção da força é paralela ao plano da parede da cavidade, e pode ser considerada como a força usada para empurrar a parede da cavidade na direção do fluxo.

O diagrama de tensões representado na Figura 4.99 exhibe a forma como a tensão de corte varia ao longo do enchimento, caso a parede não se mova e o plástico fundido esteja em movimento ao longo da parede da cavidade. O material no centro do fluxo move-se com menor resistência, enquanto o material encostado à parede da cavidade não se move devido à maior resistência ao fluxo.

Desta forma, é perceptível que a força necessária para fluir ao longo da parede da cavidade esteja relacionada às tensões de corte mais altas. O material no centro do fluxo exhibe muito menos tensão de corte porque há menos resistência ao fluxo.

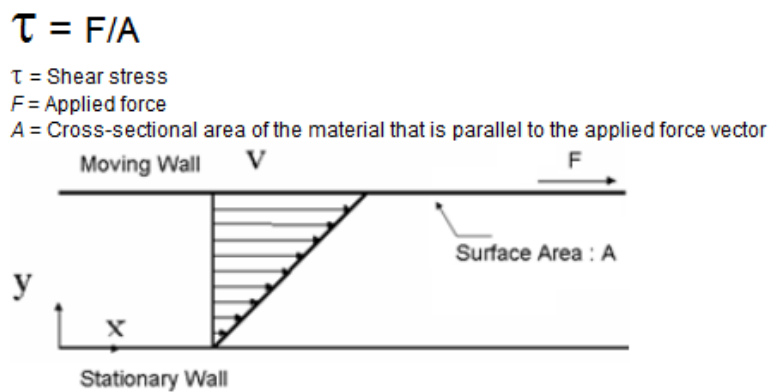


Figura 4.99 - Representação do diagrama da variação da tensão de corte ao longo de uma parede (Rosato, 2000).

À semelhança da taxa de corte, a tensão de corte tem um valor limite o qual não deve ser excedido, sendo este definido na base de dados (0,25 MPa). Conforme representado na Figura 4.100, conclui-se que os valores da tensão de corte variam no intervalo de [0,00 MPa a 0,20 MPa], não ultrapassando o valor limite de 0,25 MPa. Pode se ainda retirar que existe novamente um pico de tensões na zona do canal da injeção submarina como esperado devido ao enorme estrangulamento.

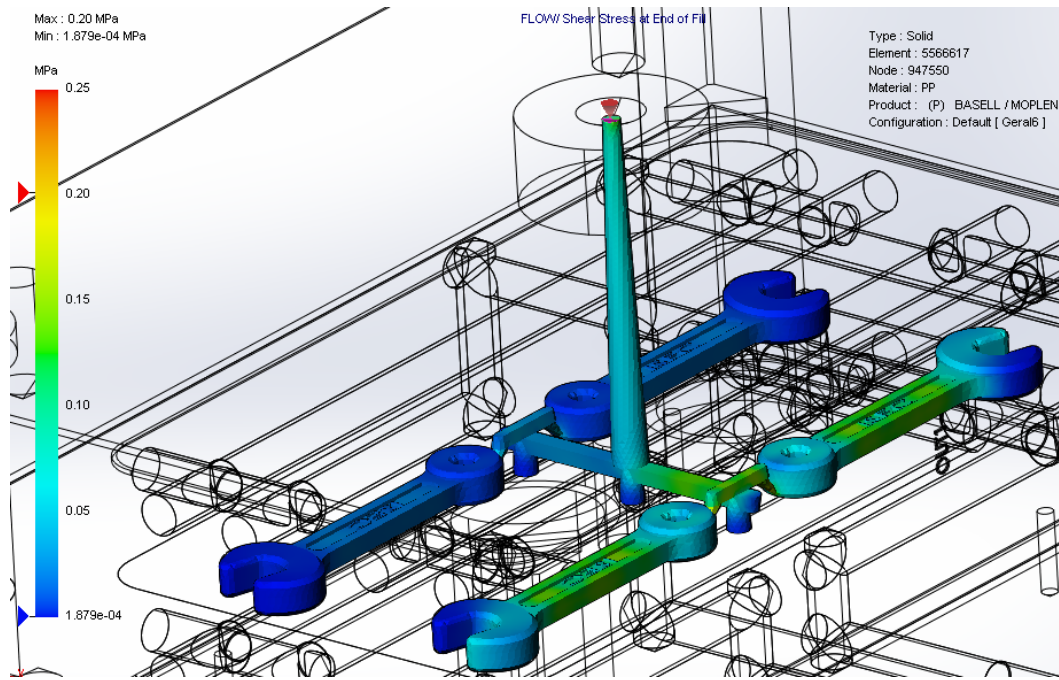


Figura 4.100 - Representação dos resultados relativos à tensão de corte.

De acordo com a Figura 4.100, notamos que o azul mais claro diz respeito a tensões de corte superiores às do azul mais escuro. Desta forma a vista em corte que representa a peça plástica injetada (Figura 4.101), junto às paredes da cavidade a cor é mais clara do que no centro, representando assim tensões mais altas como era de esperar pois é onde oferece mais resistência.

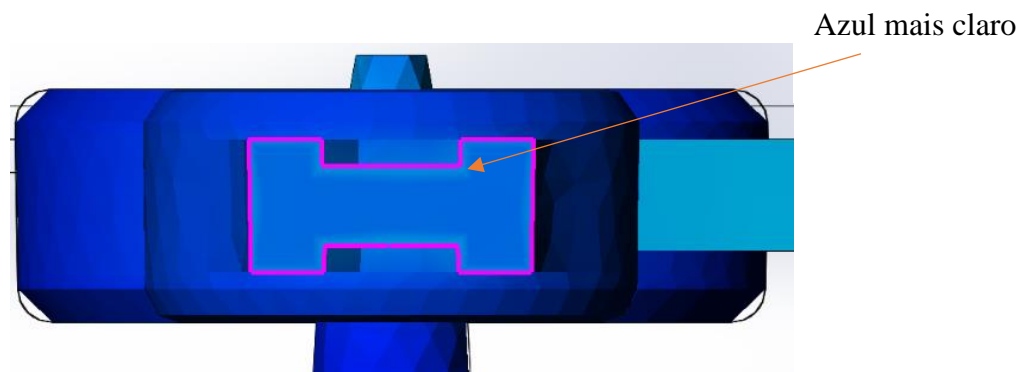


Figura 4.101 - Representação da vista em corte da peça.

A variação da pressão de injeção pode ainda ser analisada com base na Figura 4.102, a qual evidencia que a pressão aumenta durante o enchimento até ao valor máximo de 22,72 MPa diminuindo na fase de pressurização.

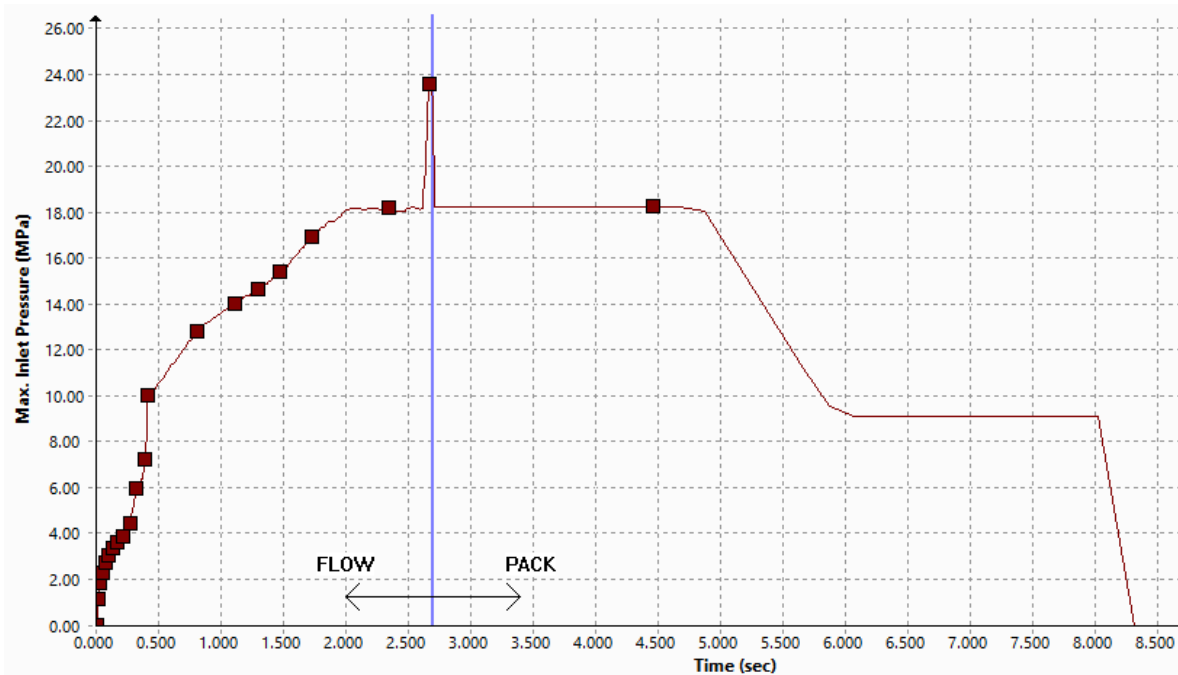


Figura 4.102 - Representação da variação da pressão de injeção.

Relativamente à força de fecho, a sua variação encontra-se representada na Figura 4.103, a partir da qual se conclui que na fase de enchimento a força de fecho aumenta até um valor máximo de 2,70 toneladas e, seguidamente, na fase de pressurização, atinge um pico de 4950 kg, decrescendo até ao final.

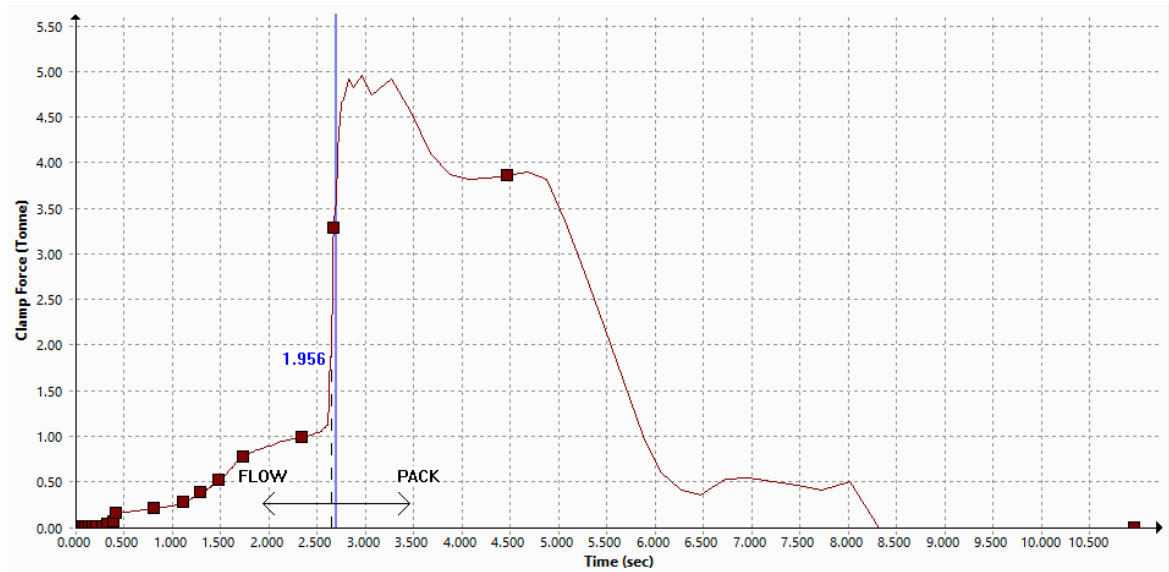


Figura 4.103 - Representação da variação da força de fecho.

O resumo do tempo de cada etapa do ciclo de moldagem é mostrado na Figura 4.104. O tempo total do ciclo será de 33,11 segundos e como esperado, a fase que ocupa mais tempo será o arrefecimento, ocupando 19,80 segundos do ciclo de injeção.

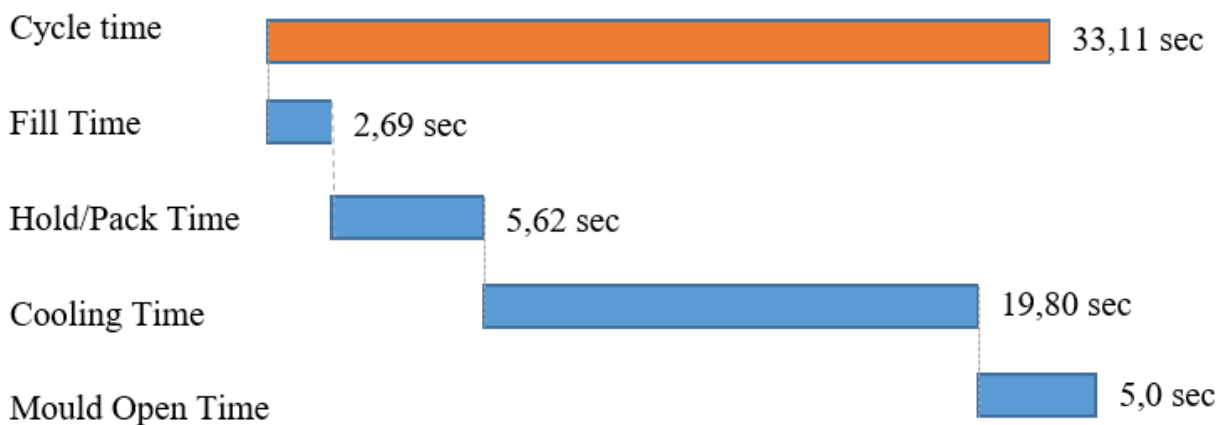


Figura 4.104 - Tempos de cada fase do ciclo de moldagem.

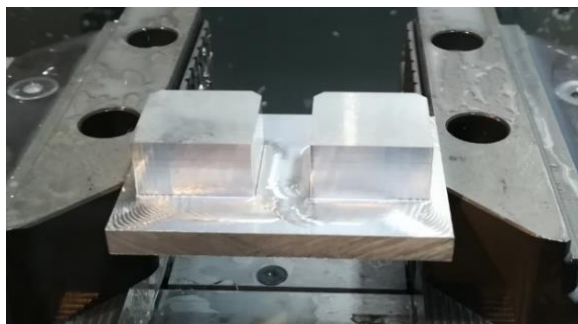
5 Fabrico do molde

5.1 Maquinagem do Molde

Após todas as etapas de projeto terem sido percorridas, chegou-se finalmente à última etapa deste trabalho, que é, a maquinagem das peças e do molde. Para a realização desta última etapa foi utilizada uma máquina CNC de 5 eixos *HAAS UMC 750 SS*. Cada peça do molde será produzida com recurso a inúmeros ciclos de maquinagem. Esses ciclos de maquinagem foram realizados no *software Mastercam*. Em virtude do elevado número de ciclos que foram feitos e de forma a não subcarregar este trabalho, não se irá entrar em explicar em detalhe os ciclos elaborados no *software* de CAM para produção do molde.

5.1.1 Postiços de injeção

A primeira peça a produzir tratou-se dos postiços de injeção (submarinas), que devido ao ISEC não possuir o processo de fabrico por eletroerosão tornou-se um desafio na maquinagem, destas peças e por vezes um teste em saber se irá resultar. Sendo os postiços de injeção constituídos por duas peças, foi apertado um bloco de alumínio na prensa da máquina e foi feito um desbaste, deixando 1 mm de sobre-espessura para acabamento, tal como se pode observar na Figura 5.1 a). Seguidamente realizou-se a furação para os parafusos de aperto dos postiços, a respetiva caixa para a cabeça do parafuso com 1 mm de folga e os ciclos de acabamento para a cota final lateral como demonstrado na Figura 5.1 b).



(a)



(b)

Figura 5.1 – Desbaste dos postiços de injeção (a) e furação e acabamento do postigo de injeção (b).

Na maquinagem dos postigos de injeção (submarinas), o maior desafio foi a necessidade de utilizar uma fresa de diâmetro 1 mm, sendo bastante frágil, e qualquer erro poderá partir a fresa. Desta forma, inicialmente foi realizado um desbaste para tirar o máximo material possível com uma fresa de 2 mm como apresentado na Figura 5.2 a). Para finalizar as submarinas, foi realizado então o acabamento com a fresa de 1 mm e o resultado pode ser observado na Figura 5.2 b). De notar que, o que é apresentado na Figura 5.2 b), são as duas peças que formam o postigo de injeção e que serão posicionadas juntando as faces onde estão maquinadas as submarinas.

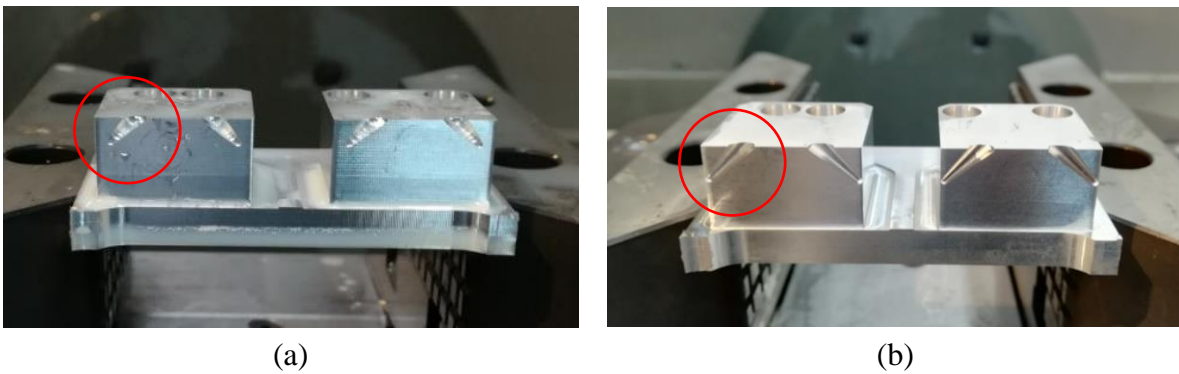


Figura 5.2 – Desbaste das submarinas (a) e acabamento das submarinas (b).

No fabrico das peças do molde, todo o rigor é necessário com o fim de antever problemas de folgas e desalinhamentos. Na Figura 5.3 é possível observar esse cuidado, tendo sido verificado se a cota lateral final dos postigos era de 24,400 mm.

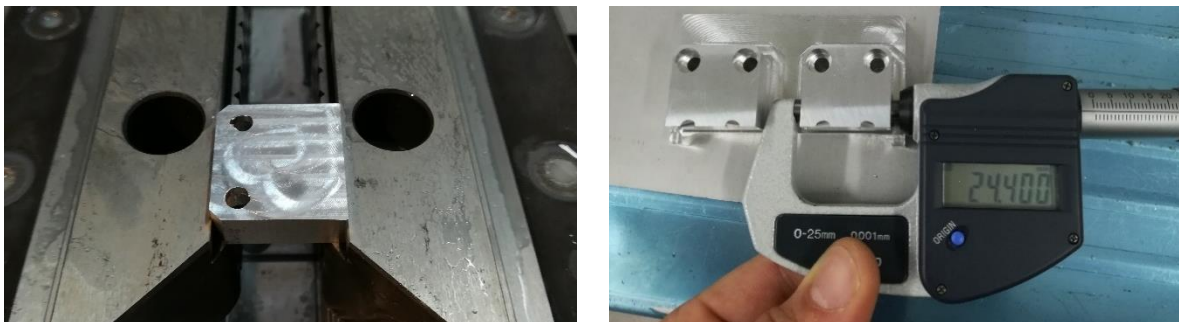


Figura 5.3 - Confirmação da cota lateral do postigo de injeção.

5.1.2 Postiços da bucha/Cavidade

Com os postiços de injeção terminados, seguiu-se para o fabrico do postiço da bucha. Colocou-se um bloco de alumínio na prensa da máquina, como mostrado na Figura 5.4 a), e iniciou-se o desbaste lateral e posterior acabamento. Na Figura 5.4 b) apresenta-se o desbaste das caixas dos postiços de injeção e a furação para os parafusos de aperto do postiço da bucha.

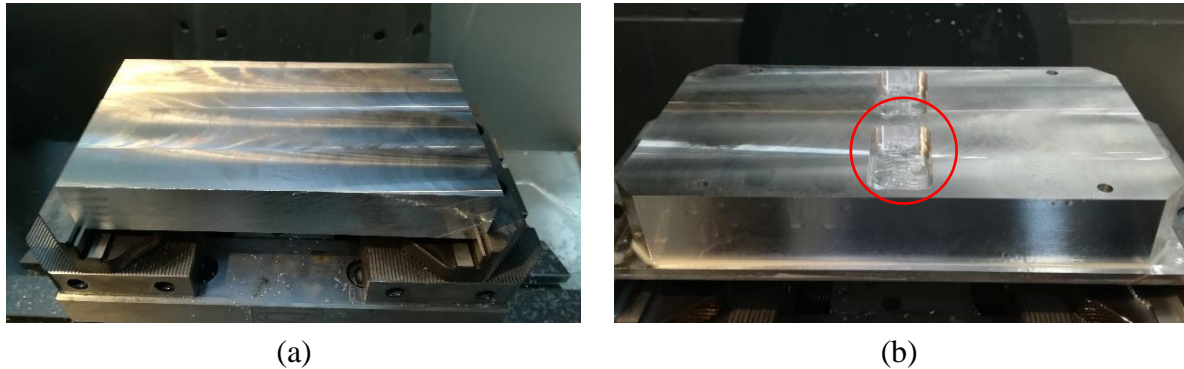


Figura 5.4 - Bloco de alumínio pronto para o fabrico do postiço da bucha (a) e desbaste do postiço da bucha (b).

Para facilitar a colocação do postiço da bucha, na chapa n. ° 3 foram realizados dois furos M8. O acabamento para a cota final das caixas dos postiços de injeção, e os respetivos furos para os parafusos de aperto dos postiços de injeção, podem ser observados nas Figura 5.5 a) e Figura 5.5 b).

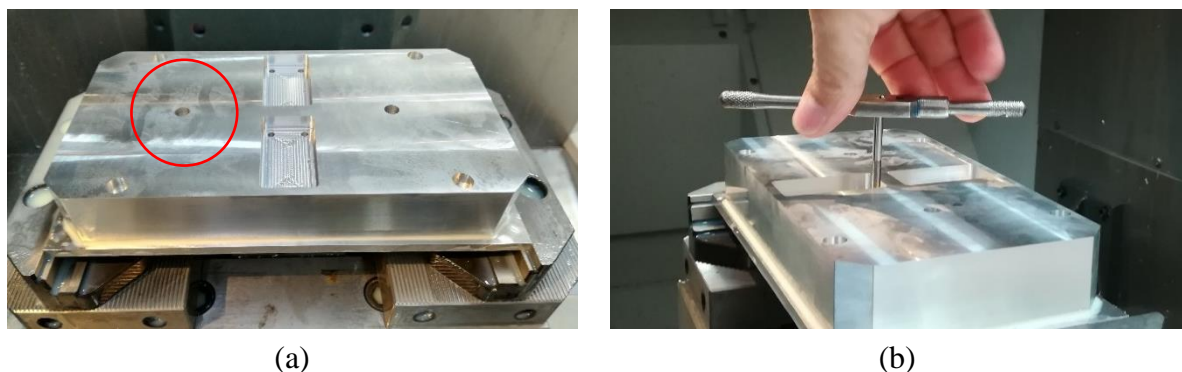


Figura 5.5 - Furação central M8, acabamento das caixas dos postiços de injeção (a) e roscagem manual dos furos M4 (b).

A maquinagem das cavidades das chaves será realizada com os postigos de injeção colocados por forma a minimizar os possíveis desalinhamentos. Assim, foram numerados os postigos e apertados nos locais corretos tal como se apresenta na Figura 5.6.

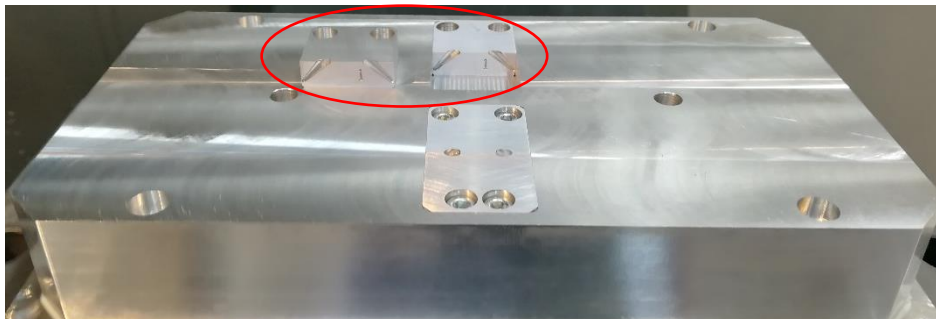


Figura 5.6 - Colocação dos postigos de injeção.

A maquinagem das cavidades no postigo da bucha conta com cerca de trinta ciclos de maquinagem, sendo que o elevado número de ciclos tem como principal objetivo o de obter o melhor acabamento possível, para facilitar posteriormente a etapa de polimento. Para além disso, para otimizar tempo, maquinou-se também o canal de alimentação do lado da extração. O resultado dessa etapa de maquinagem é apresenta-se na Figura 5.7.



(a)



(b)

Figura 5.7 - Resultado da maquinagem das cavidades e canal de alimentação: Vista de topo (a) e vista isométrica (b).

Importa referir que nesta fase, para além de se ter deixado 0,5 mm de sobre espessura no postigo da bucha, para caso seja necessária efetuar mais tarde uma operação de retificação, também foi decidido deixar mais 0,5 mm para um facejamento com os postigos de injeção colocados.

Na Figura 5.8 pode-se observar em vista de topo, o postigo da bucha com todas as etapas de maquinação terminadas. Através da análise da figura é possível verificar que o facejamento final realizado permite que quase não se note que os postigos de injeção foram colocados como insertos. É ainda possível verificar que foi realizada as furações para os extratores da peça e do jito, sendo que para os extratores da peça foram realizados furos a 2,75 e a 3,75 mm e para os extratores do jito os furos foram realizados a 3,75 mm. Posteriormente foi realizada a operação de mandrilamento, para colocar os fora nas dimensões de 3 e 4 mm com uma tolerância H7. Importa referir que, a profundidade destes furos torelânciados onde percorrem os extratores somente é necessário garantir a tolerância H7/g6 numa profundidade de 10 mm.

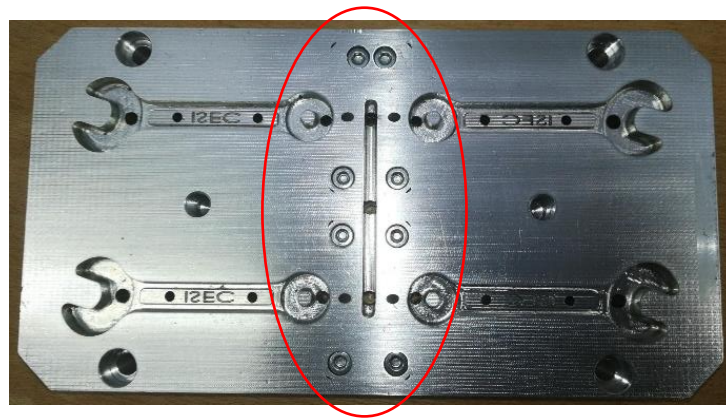


Figura 5.8 – Vista de topo do postigo da Bucha.

Virando os postigos na máquina de CNC, iniciou-se as etapas de fabrico no Plano inferior. No postigo da bucha, com uma fresa maquinau-se até à profundidade definida os furos com folga dos extratores (de pelo menos 0,25 mm relativamente ao diâmetro nominal da cota tolerânciada) e os furos de 8mm das águas verticais como se pode observar na Figura 5.9.



(a)



(b)

Figura 5.9 – Vista posterior do postigo da bucha: Antes da maquinação (a) e com os furos maquinaados (b).

Relativamente ao fabrico do postigo da cavidade, o procedimento adotado foi semelhante ao postigo da bucha, ou seja, inicialmente foi realizado a operação de desbaste. Atendendo ao facto de que o postigo da cavidade não contém os postigos de injeção, o número de ciclos realizados nas operações de acabamento foi menor do que as realizadas no fabrico do postigo da bucha. Assim, foram maquinadas as cavidades das peças e o canal de alimentação relativas ao lado da injeção como se pode verificar na Figura 5.10 a). Tal como já tinha sido feito na maquinagem do postigo da bucha, também foram realizados os dois furos M8 (Figura 5.10 b)), no centro do postigo da cavidade para facilitar a extração do postigo.

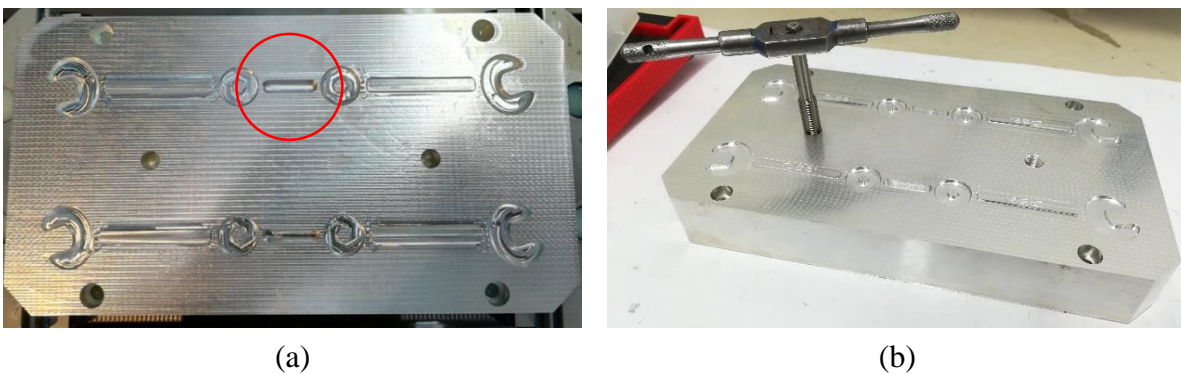


Figura 5.10 – Vista de topo do postigo da cavidade (a) e roscagem manual dos furos centrais M8 (b).

Nos planos laterais, iniciou-se a furação das águas laterais, tal como é apresentado na Figura 5.11 a) e realizou-se o chanfro dos furos como demonstrado na Figura 5.11 b), para posterior roscagem e colocação de tampões.



Figura 5.11 – Furação das águas laterais (a) e chanfro dos furos laterais (b).

Como foi referido anteriormente, para finalizar o postigo da bucha, roscau-se os furos M10 com o macho-máquina mostrado na Figura 5.12 a) e colocou-se os tampões representados na Figura 5.12 b).

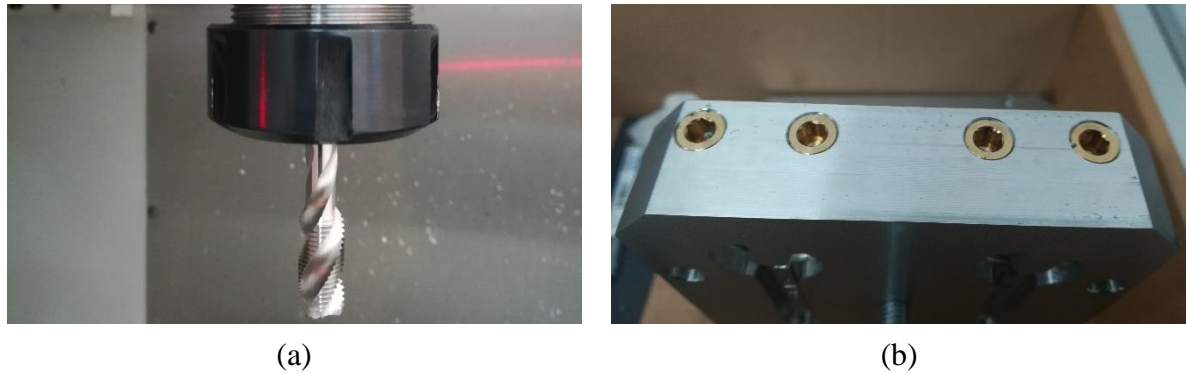


Figura 5.12 – Macho máquina M10 utilizado na roscagem das linhas de água (a) e colocação dos tampões no postigo da bucha (b).

Voltando a colocar o postigo da cavidade da máquina, no plano inferior, realizou-se a operação de furação das águas em que o procedimento foi igual ao do postigo da bucha devido ao esquema de águas ser igual. Por último, procedeu-se à maquinagem do furo para colocação do bico de injeção (Figura 5.13) sendo este furo um H7/g6.



Figura 5.13 – Resultado após maquinagem da furação das águas e do furo H7/g6 para o bico de injeção.

5.1.3 Chapa n.º 3 (Chapa das buchas)

Na maquinagem das chapas do molde, decidiu-se primeiramente começar pelo lado da extração, desde o centro (linha de junta) até à extremidade. Desta forma, colocou-se a chapa n.º 3 na

máquina e o primeiro passo de maquinagem foi a realização dos rasgos para a abertura das chapas, tal como é apresentado na Figura 5.14 a). Seguidamente iniciou-se o desbaste da caixa do postição como apresentado na Figura 5.14 b).

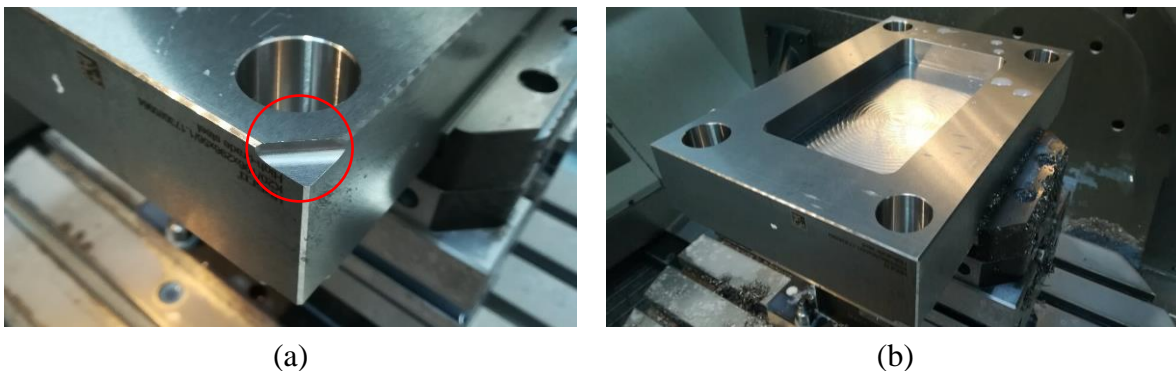


Figura 5.14 - Rasgo para abertura das chapas (a) e operação de desbaste da caixa do postição (b).

No mesmo plano (Plano superior), realizou-se a operação de acabamento da caixa do postição e procedeu-se posteriormente ao tolerânciamento do postição da bucha na chapa das buchas, tal como é apresentado na Figura 5.15 a). Para além desta operação, também se procedeu à operação de furação das águas verticais, dos canais para os extratores assim e abertura das caixas dos o-rings para o circuito das águas, como representado na Figura 5.15 b).

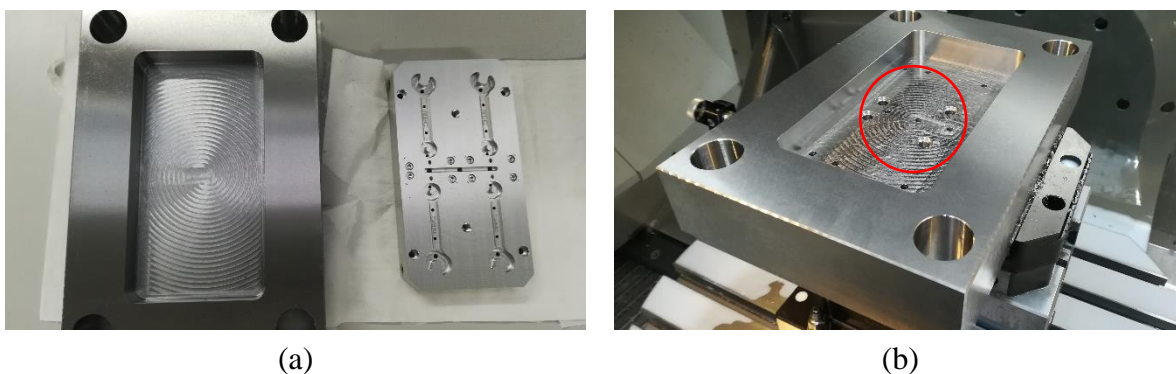


Figura 5.15 – Afinação do postição na caixa (a) e resultado da operação de furação das águas e extratores (b).

Nos planos laterais realizou-se a operação de furação para os olhais e a respetiva roscagem M10, tal como é apresentado na Figura 5.16 a). De seguida procedeu-se à gravação dos furos

M10, maquinou-se um furo roscado e um pino para a colocação da barra de segurança (Figura 5.16 b)).

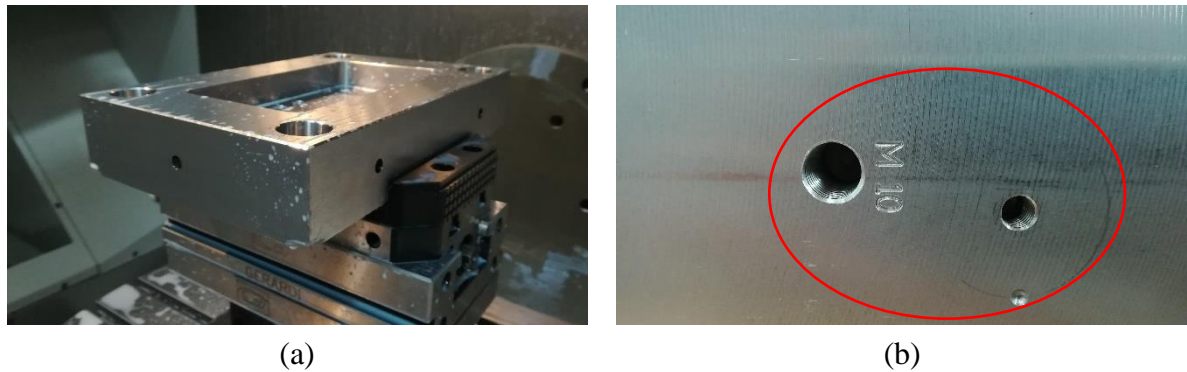


Figura 5.16 - Resultado da operação de furação dos olhais (a) e gravação do furos M10 e maquinagem dos furos para a barra de segurança (b).

Para finalizar as operações nos planos laterais, executou-se a operação de furação para as águas, a operação de roscagem e a respetiva gravação, tal como é apresentado na Figura 5.17.

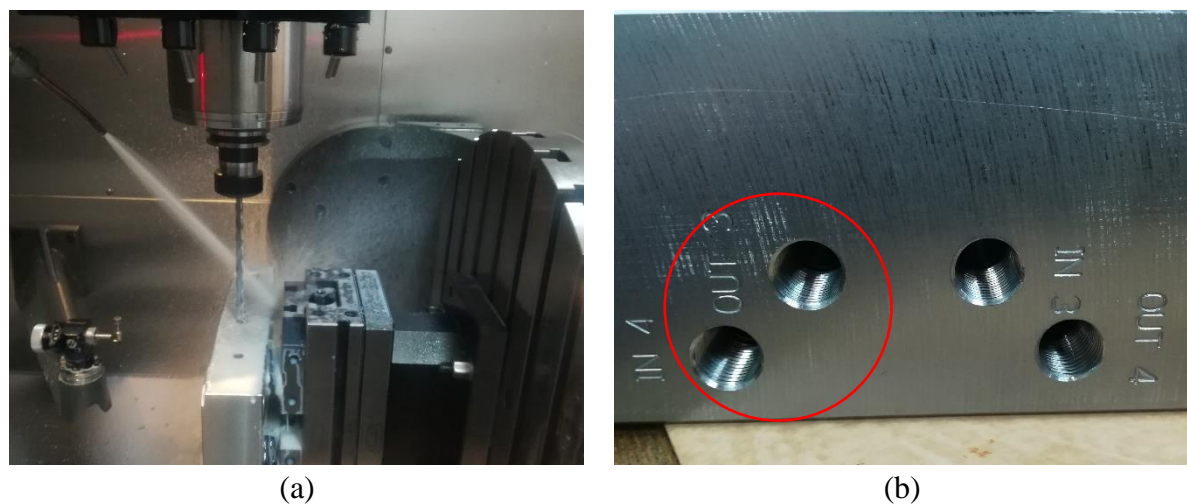


Figura 5.17 – Operação de furação das águas longas (a) e operação de roscagem e gravação das entradas e saídas de águas (b).

Como operações finais da chapa 3, realizou-se a operações de furação dos furos para as guias de extração e para os pernos de retorno como apresentado na Figura 5.18 a) e a operação de mandrilamento, nos furos H7/g6 com uma profundidade de 10 mm (Figura 5.18 b)).

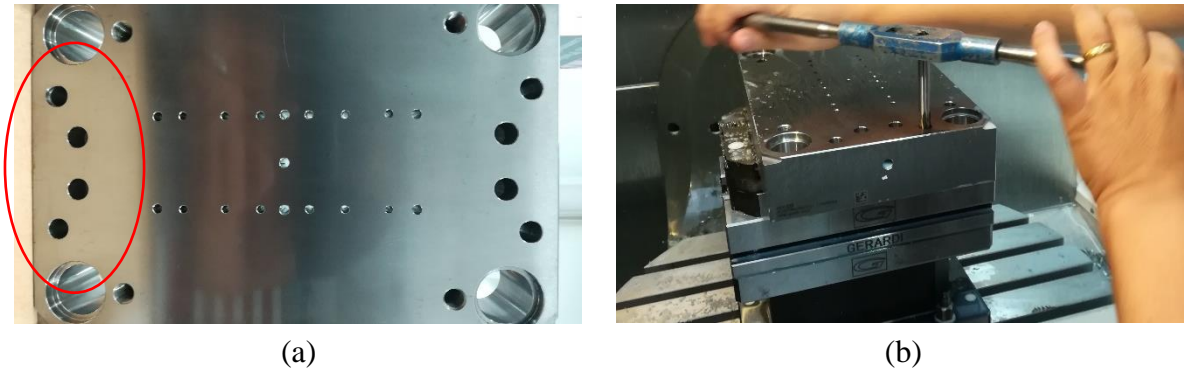


Figura 5.18 – Operações de furação para os furos dos pernos de retorno e guias de extração (a) e mandrilamento dos furos H7/g6 dos pernos de retorno (b).

5.1.4 Chapa n.º 5 e n.º 6 (Calços)

Relativamente às operações de maquinagem nas chapas n.º 5 e n.º 6 (calços), estas tiveram poucas operações de maquinagem, devido à sua função no molde. No entanto procedeu-se à maquinagem dos rasgos para a desmontagem de chapas, como demonstrado na Figura 5.19 a) e a abertura de quatro furos M4 para a colocação da chapa de identificação do molde (Figura 5.19 b)).

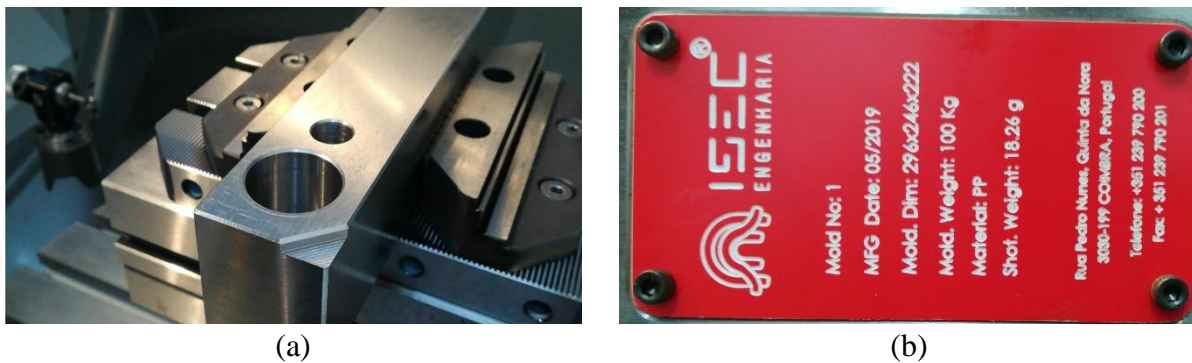


Figura 5.19 - Abertura dos rasgos para abertura de chapas (a) e colocação da chapa de identificação (b).

5.1.5 Chapa n.º 7 (Chapa dos extratores)

A chapa n.º 7 é a chapa onde se dispõem os extratores, sendo que os furos para colocação dos extratores não necessitam de serem furos tolerânciados, uma vez que esse tolerânciamento

H7/g6 é realizado no postiço da cavidade. Nesta chapa (chapa dos extratores), é necessário garantir que é dada folga na cabeça lateralmente dos extratores sendo, no entanto necessário que a profundidade de alojamento da cabeça dos extratores, tenha uma dimensão menor que a espessura da cabeça dos extratores. Essa dimensão menor é para que seja possível proceder à fixação os extratores com o aperto com a chapa n.º 8. Desta forma, maquinou-se os rasgos para abertura das chapas, a furação para os extratores, abriu-se as caixas circulares para os suportes na parte central da chapa com 2 mm de folga em diâmetro e os furos H7/g6 para os casquilhos de extração, como é apresentado na Figura 5.20.

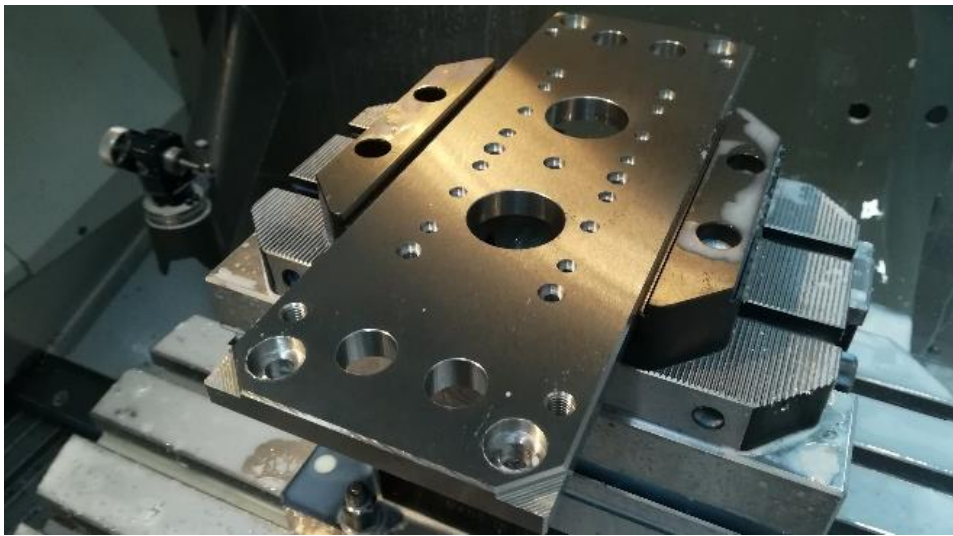


Figura 5.20 - Resultado final das etapas de maquinagem na chapa n.º 7.

5.1.6 Chapa n.º 8 (Chapa de aperto dos extratores)

A chapa n.º 8 é a chapa que aperta a cabeça dos extratores na chapa 7. Relativamente às operações de maquinagem, somente foi necessário a realizar a abertura de furos H7/g6 para colocação dos casquilhos de extração e abertura cas caixas circulares centrais com 2 mm folga para os suportes, como observado na Figura 5.21. Importa referir que os casquilhos de extração não apresentam exatamente o mesmo diâmetro na parte superior e inferior. Sendo assim no encaixe com a chapa 7 apresenta uma medida de 17,95 mm, enquanto que no encaixe com a chapa 8 apresenta uma medida de 18,00 mm. Esta diferença de diâmetro serve para que ao separar as duas chapas, os casquilhos fiquem seguros à chapa 8.

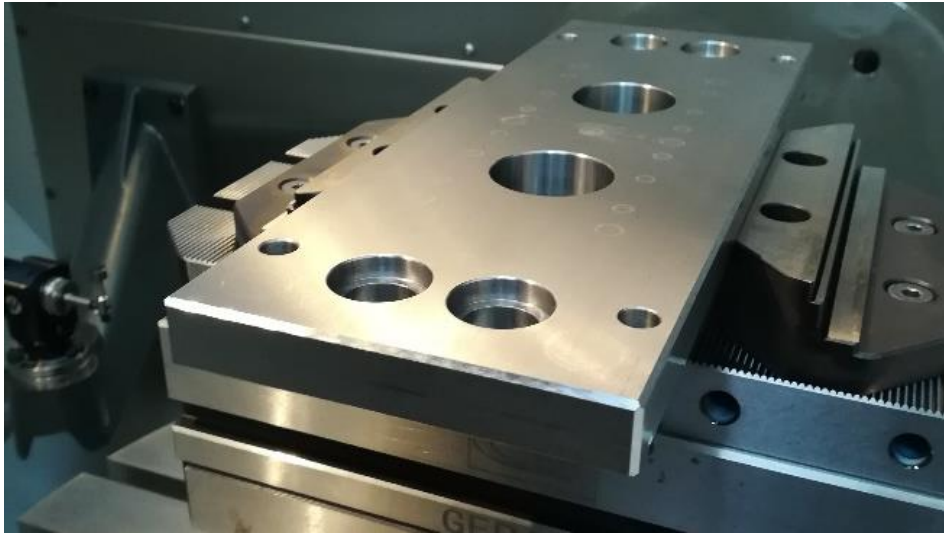


Figura 5.21 - Resultado final das etapas de maquinagem na chapa n.º 8.

5.1.7 Chapa n.º 9 (Chapa inferior de aperto)

Relativamente à chapa n.º 9, somente houve necessidade de abertura de em furos H7/g6 e caixas circulares, para montagem dos casquilhos de extração que guiam as chapas n.º 7 e n.º 8, tal como é apresentado na Figura 5.22.



Figura 5.22 - Resultado das etapas de maquinagem na chapa n.º 9.

5.1.8 Chapa n.º 2 (Chapa das cavidades)

As operações de maquinagem que foram realizadas na chapa n.º 2 foram semelhante às operações de maquinagem realizada na chapa n.º 3. A primeira operação foi a maquinagem dos rasgos para abertura das chapas, seguindo-se as operações de desbaste e de acabamento para afinação do postigo da bucha, tal como é ilustrado na Figura 5.23 a). Para além das operações anteriormente referidas, foi também realizada a operação de furação das águas, abertura das caixas dos o-rings e a furação (com folga) para o bico de injeção (Figura 5.23 b).

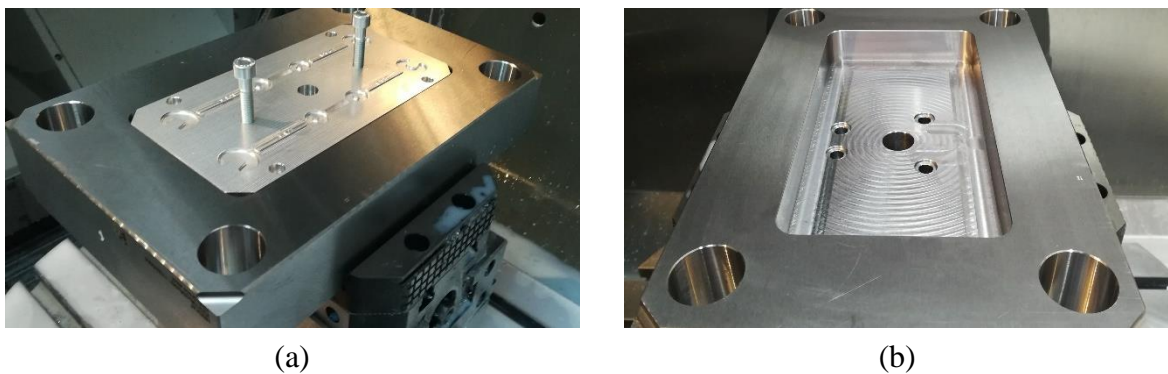


Figura 5.23 - Resultado da operação de desbaste, acabamento e afinação do postigo (a) e resultado da operação de furação das águas, abertura das caixas dos o-rings e furação com folga para o bico de injeção (b)

Nos planos laterais, realizou-se a furação e roscagem dos furos dos olhais, como apresentado na Figura 5.24 a) e a furação longa das águas (Figura 5.24 b)).

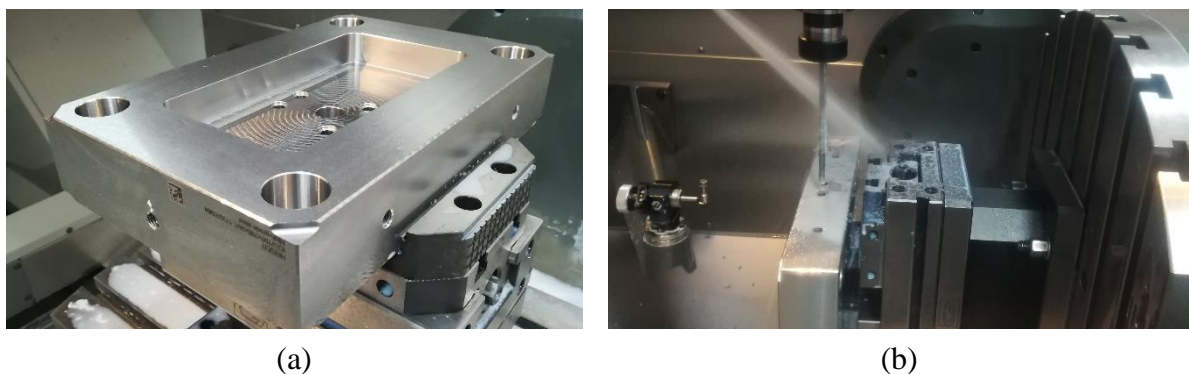


Figura 5.24 - Furação e roscagem dos furos dos olhais (a) e furação longa do circuito das águas (b).

Na Figura 5.25 apresenta-se o resultado final da operação de gravação dos M10 dos olhais, os furos roscados para entrada e saída das águas, bem como toda a sua identificação.



Figura 5.25 – Resultado da operação de gravação dos M10 dos olhais e nomenclatura de identificação do dos circuitos das águas do molde

A última operação de maquinagem na chapa n.º 2, foi a abertura de uma caixa circular para alojamento do bico de injeção para garantir que o bico de injeção estava na face de injeção. Depois de se efetuar medições verificou-se que existia uma diferença de cota de 0.05 mm, sendo assim necessário proceder a esse rebaixo (Figura 5.26.) para que na linha da junta não aparecesse uma pequena película de polímero aquando da injeção



Figura 5.26 - Resultado da operação de maquinagem de uma caixa circular para rebaixamento do bico de injeção.

5.1.9 Chapa 1 (*Chapa superior de aperto*)

Na maquinagem da chapa n.º 1, foi necessário recorrer a uma alteração no diâmetro do anel de centragem. Esta alteração foi necessária porque, a máquina de injeção onde se irá proceder à injeção do molde utiliza um anel de centragem com um diâmetro de 125 mm para a centragem do molde. Desta forma, foi maquinada uma caixa de tolerância H7 para o anel com as dimensões pretendidas (Figura 5.27).

Para além da abertura da caixa para o anel de centragem do molde, houve ainda necessidade de se proceder à maquinagem dos furos para o aperto do anel, e da abertura e ajuste em altura para o bico de injeção.

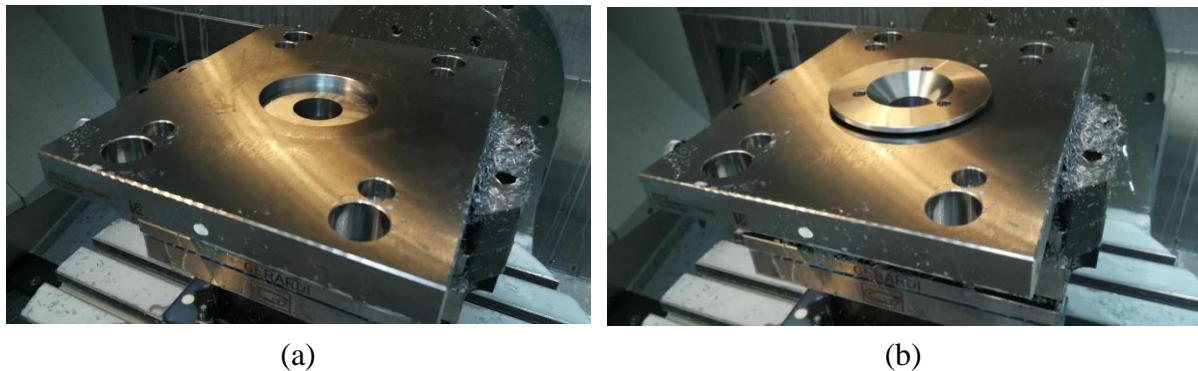


Figura 5.27 – Maquinagem da caixa para o anel de centragem (a) e colocação do anel de centragem na chapa (b).

5.1.10 Maquinagem das caixas dos *interlocks* e fugas de ar

Relativamente à maquinagem das caixas dos *interlocks* e de forma a garantir o correto posicionamento dos *interlocks*, foi montado um conjunto chapa n.º 2 e chapa n.º 3, com os guias e os casquilhos e apertadas as duas chapas com recurso a grampos. Procedeu-se posteriormente à maquinagem das caixas dos *interlocks* com uma tolerância H7/g6 como mostrado na Figura 5.28.

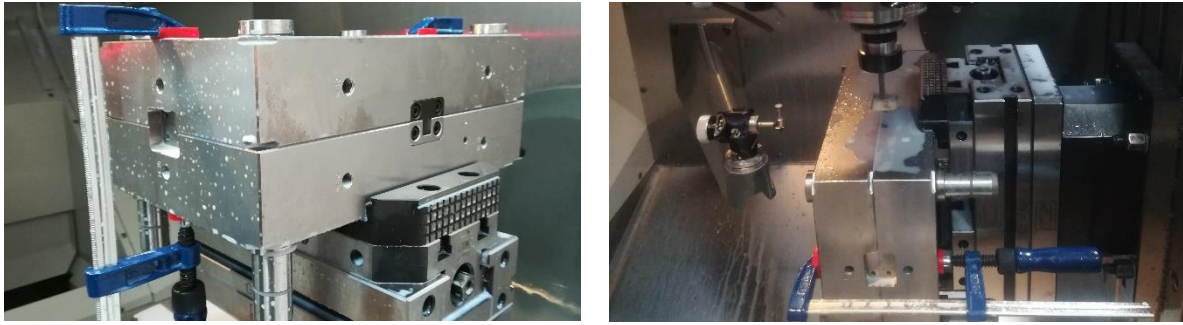


Figura 5.28 - Maquinagem das caixas dos *interlocks*.

De formar a permitir as fugas de ar ao longo da injeção do material fundido, foram realizados os rasgos nos locais indicados na simulação da injeção (Figura 5.29) com as dimensões requeridas pelo material a injetar, ou seja no canal principal mais próximo da peça com profundidade de 0,03 mm e no canal secundário com 0,1 mm de profundidade.

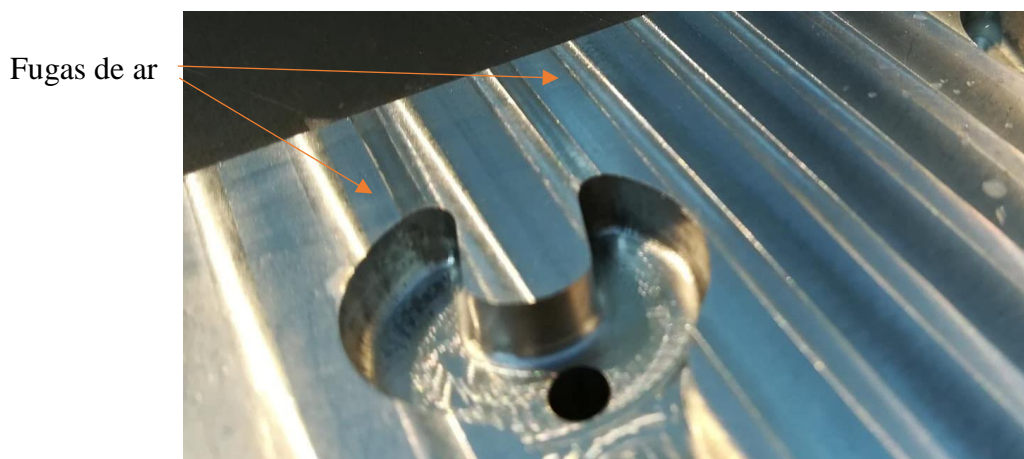


Figura 5.29 - Resultado da maquinagem das fugas de ar.

5.2 Trabalho de bancada

As etapas de montagem de um molde, são realizadas normalmente por pessoas especializadas e com experiência nas áreas de precisão e ajustes, pois apesar de o fabrico ter sido realizado com o máximo rigor, torna-se impossível que todo o molde e elementos estejam perfeitamente ajustados. Como se pode observar na Figura 5.30, são vários os componentes que constituem o

sistema de extração e para o seu correto funcionamento é necessário proceder ao corte para as cotas finais dos extratores e dos pernos de retorno. Devido a não existir uma retificadora adequada no ISEC onde fosse possível realizar esses cortes, recorreu-se à empresa Paralelocontrol, que se disponibilizou a ajustar os elementos para as cotas finais.



Figura 5.30 - Montagem dos elementos na parte da extração do molde.

Ao longo da montagem do molde, foi necessário proceder ao ajuste de várias zonas. Pode ser dado como exemplo disso as caixas dos *interlocks* que, devido ao processo de fabrico ou ao desgaste da ferramenta fez com que a caixa dos *interlocks* apresenta-se uma medida no cimo da caixa e uma medida menor no fundo da caixa. Esta pequeníssima diferença fazia com que, depois de colocar os *interlocks* no molde, não era possível proceder à abertura do molde. Sendo assim, e com recurso a lixa foi realizado o processo de ajuste por forma a que depois de colocar os *interlocks* no molde fosse possível proceder à abertura do molde.

Com todos os elementos ajustados, recorreu-se ao último ajuste do molde que é o ajuste da linha de junta. Para isso e com recurso a “zarcão”, marcou-se a cavidade (Figura 5.31) e fechou-se o molde.

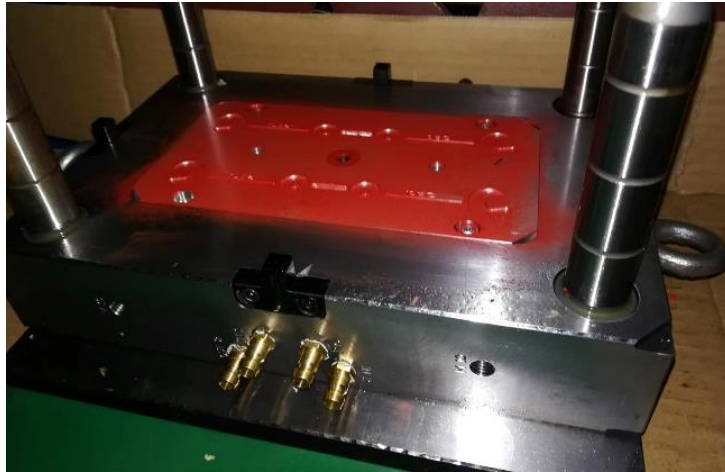


Figura 5.31 - Marcação da cavidade com Zarcão.

Depois procedeu-se à abertura do molde para verificou-se visualmente onde ocorreu transferência de “zarcão” da cavidade para a bucha (Figura 5.32). Analisando a figura é possível verificar, as únicas zonas onde ocorreu transferência foram nas extremidades do molde. Este resultado foi bastante surpreendente e uma possível explicação para esse fenómeno é o facto de se ter produzido o molde em múltiplos apertos. Para solucionar o problema, retificou-se novamente o postigo montado com a chapa n.º 3 e testou-se novamente com Zarcão, tendo-se verificado depois que o ajuste da linha de junta estava correto e pronto para a injeção.

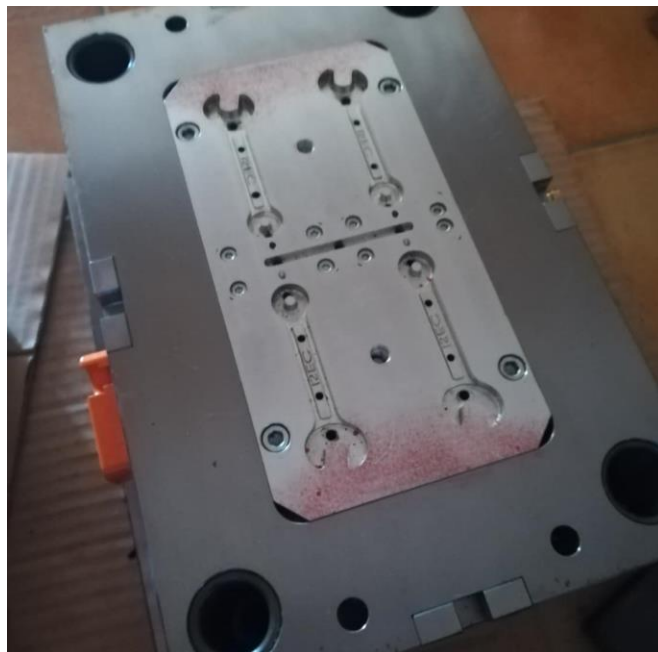


Figura 5.32 – Primeiro resultado do teste da linha de junta após a marcação da cavidade com Zarcão.

6 Teste e injeção do molde

6.1 Montagem e preparação do molde na máquina de injeção

Para a injeção das peças teste do molde, e tal como já foi referido anteriormente foi necessário a colaboração do CENTIMFE que disponibilizou a máquina de injeção. Com o molde pronto e perfeitamente ajustado, procedeu-se à lubrificação de todos os componentes de guiamento e de deslize. Depois de garantir que o molde se encontrava fechado através da barra de fecho, montou-se o olhal de transporte (Figura 6.1 a)) e através de uma ponte rolante, transportou-se o molde (Figura 6.1b)) para a máquina de injeção, onde irá ser centrado e apertado.

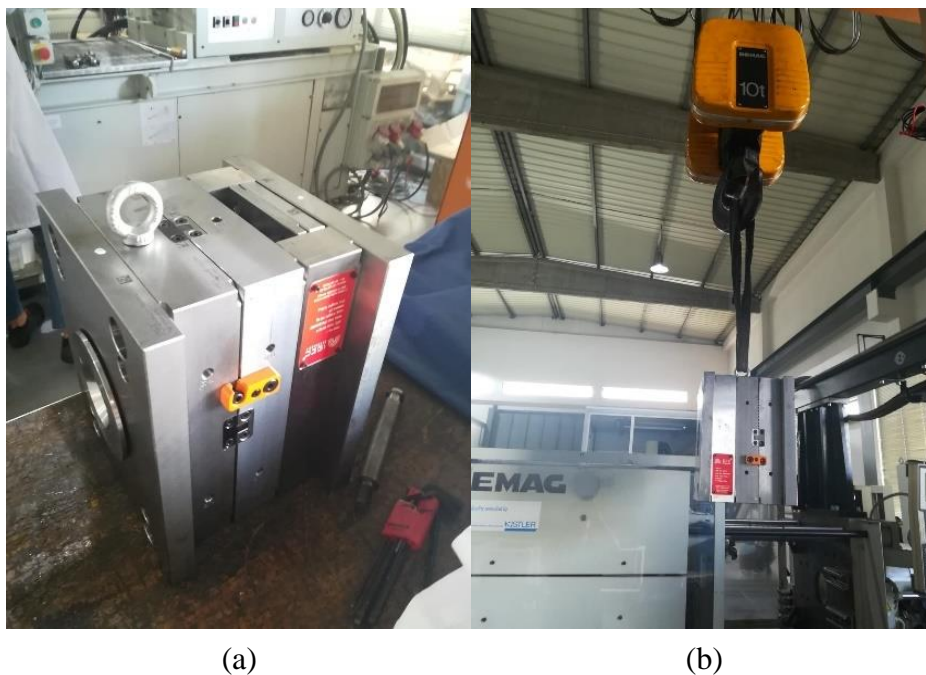


Figura 6.1 - Preparação do molde (a) e transporte do molde, através de uma ponte rolante, para a máquina de injeção (b).

Com o auxílio do anel de centragem, centrou-se o molde na máquina e através dos sistemas de aperto da máquina de injeção, fixou-se a chapa n.º 1 e n.º 9 à máquina de injeção. Depois disso, acoplou-se a haste de extração à chapa n.º 8 para o avanço e recuo das chapas de extração. Na Figura 6.2 a) pode-se observar do lado do operador, o molde apertado na máquina de injeção.

Do lado contrário foi ligado todos os circuitos das águas (Figura 6.2 b)) nos respetivos acessórios, procedendo-se de seguida ao seu sangramento do circuito de água e testou-se todos os circuitos para a verificação de fugas.

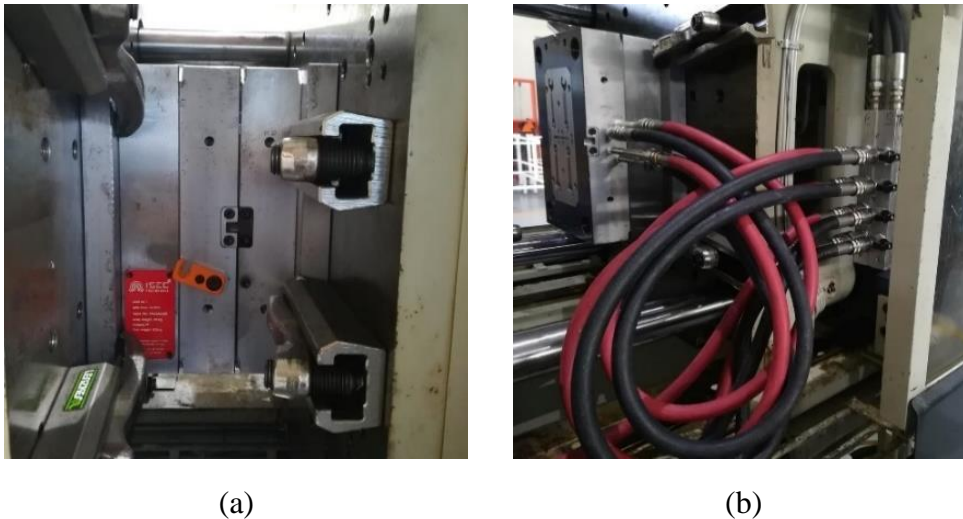


Figura 6.2 - Fixação do molde à máquina de injeção (a) e teste do circuito das águas (b).

Para finalizar a preparação do molde, foi analisado e testado o curso de abertura do molde tal como a velocidade de fecho, sendo que esta deve ser menor quando o conjunto *interlocks* macho/fêmea se aproximam. Por último, foi definido o curso de extração para que as peças sejam extraídas na totalidade e caiam por gravidade (Figura 6.3) encontrando-se assim o molde pronto para a injeção.



Figura 6.3 - Teste do curso de extração e abertura do molde.

6.2 Injeção das peças

Um fator importante a ter em conta quando se está a lidar com um molde em fase de teste, passa por iniciar a injeção a baixas pressões e aumentar gradualmente a pressão de injeção até se obter a totalidade das peças injetadas. Sendo assim, foi inicialmente feita a injeção do polímero com recurso apenas à primeira pressão em que se verificou o enchimento de apenas metade da peça.

Seguidamente e como se pode verificar na Figura 6.4, acrescentou-se a segunda pressão e as peças saíram totalmente preenchidas e separadas dos canais de alimentação como era esperado. Esta separação entre o jito e as peças é devido à injeção submarina, existindo apenas um defeito de contração na zona da boca da chave devido a parâmetros de injeção e à variação de secção ao longo da peça a ser injetada.

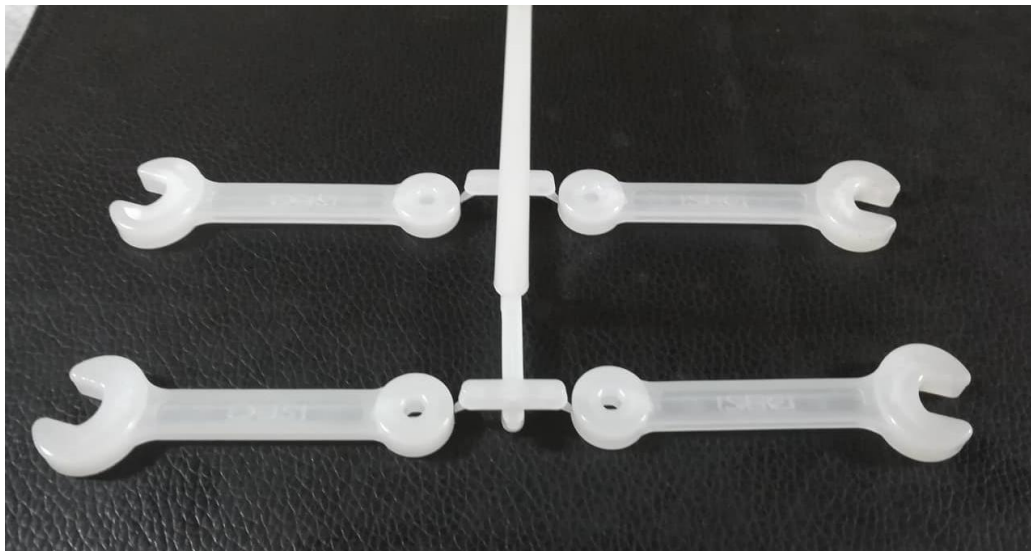


Figura 6.4 - Resultado das peças teste e canais de alimentação nas primeiras injeções.

Na tentativa de melhorar os defeitos da peça, aumentou-se a pressão de injeção e modificou-se os tempos da primeira e segunda pressão, notando-se melhorias na peça e diminuindo a contração da mesma. O resultado final de todo este processo está representado na Figura 6.5.



Figura 6.5 - Resultado final das peças teste.

7 Estimativa de custos do molde

A Tabela 7.1 pretende apresentar a informação relativa aos custos de matérias-primas para o molde.

Tabela 7.1 - Custos associados às matérias-primas.

Designação do material	Quantidade	Preço [€]	Valor Total [€]
Chapa de aperto sobressaída (Chapa 1) K10/196×296×27/1.1730	1	180,43	180,43
Chapa moldante (Chapa 2 e 3) K20/196×296×56/1.1730	2	208,15	416,30
Calços (Chapa 5 e 6) K40/196×296×56/1.1730	2	100,88	201,76
Chapa dos extratores (Chapa 7) K60/196×296×12/1.1730	1	70,24	70,24
Chapa de aperto dos extratores (Chapa 8) K70/196×296×17/1.1730	1	72,80	72,80
Chapa de aperto sobressaída (Chapa 9) K10/196×296×27/1.1730	1	180,43	180,43
Postiços (Alumínio)	2	27,27	54,54
Parafuso de cabeça cilíndrica Z31/8×18	10	0,29	2,90
Parafuso de cabeça cilíndrica Z31/5×30	20	0,23	4,60
Parafuso de cabeça cilíndrica Z31/12×30	4	0,61	2,44
Parafuso de cabeça cilíndrica Z31/12×90	4	1,34	5,36
Botão de encosto Z55/18×3	4	1,85	7,40

Casquilho com cabeça de centragem Z10/56×22	1	22,06	22,06
Casquilho com cabeça de centragem Z10/56×24	3	22,06	66,18
Guia com cabeça de centragem Z00/56×22×115	1	33,73	33,73
Guia com cabeça de centragem Z00/56×24×115	3	33,73	101,19
Casquilho de centragem Z20/30×60	4	8,85	35,40
Coluna guia Z0100/12×100	4	9,73	38,92
Casquilho Auto lubrificado Z13W/17×12	4	23,88	95,52
Extrator cabeça cilíndrica Z40/4×100	7	3,21	22,47
Extrator cabeça cilíndrica Z40/3×100	12	3,12	37,44
Extrator cabeça cilíndrica Z40/10×100	4	6,52	26,08
Suporte com rosca e furo de ajuste Z57/32×56	2	13,12	26,24
Interlock prismático Z086/40×10	4	189,23	756,92
Anel de centragem com furos de fixação Z7515/90×15	1	25,25	25,25
Injetor Z51/18×56×3.5×15.5	1	56,19	56,19
Barra de fecho Z73/12×20×50	1	35,99	35,99
Bocal com passagem livre Z81/9×10×1	8	0,88	7,04
Tampão roscado com Rectuloc Z9400/10×1	24	0,60	14,40
Anel em O (O-rings) Z98/8×2	8	0,91	7,28

Total	2581,26
Desconto 10%	258,126
IVA 23%	534,32
Total com IVA	2857,45

Na Tabela 7.2 apresenta-se a informação relativa aos custos de mão-de-obra associados à conceção e fabrico do molde.

Tabela 7.2 - Custos de mão-de-obra associados à conceção e fabrico do molde.

Setor	Tempo total [h]	Custo unitário [€/h]	Custo [€]
Desenho	80	35	2800
CNC	200	55	1100
Retificação	10	35	350
Bancada	20	35	700
Outros			
Custo total [€]			14850

Somando todos os custos associados ao molde, conclui-se que o valor total foi cerca de 17707.45 €. Relativamente a este valor importa referir que, o valor final do molde vai de encontro ao que era espectável pois, é do senso comum que, este tipo de processo de fabrico só se torna viável, quando se pretende produzir grandes quantidades de peças por forma a diluir o custo produtivo do molde no custo unitário da peça.

8 Conclusão

Atualmente, no mundo dos moldes, é óbvio a competitividade existente entre empresas devido à procura por mercados internacionais pela melhor qualidade, ao melhor preço e à produção no menor tempo possível. Todas as áreas existentes numa empresa de moldes, têm de estar ao seu mais alto nível, para encontrarem respostas e soluções rápidas para o cliente de forma a oferecerem o melhor desempenho possível, cabendo o primeiro passo de trabalho nos moldes, a área de projeto.

A primeira etapa do projetista será analisar todas as especificações do cliente, tais como o tipo ou tipos de materiais a injetar, linha de separação bucha e cavidade, tipo de extração e de injeção, temperaturas de injeção tanto do polímero como do molde, pontos de injeção, entre outros. Depois de uma análise cuidada, o projetista entra em contacto com o cliente dizendo se é possível projetar o molde com as suas especificações, e não o sendo, deve propor alternativas para que possível o correto funcionamento do molde. Uma vez, que no desenvolvimento deste projeto não existe um cliente que define os parâmetros necessários, estes foram definidos em concordância com toda a equipa por detrás de todo este processo, neste caso aluno e professores.

Na fase de desenho do molde, numa fase primordial e não existindo conhecimentos em moldes, este foi desenhado sem ajuda de *software* específico de moldes tendo apenas realizado o download das chapas do molde e todos os elementos foram colocados através de cortes das chapas o que se tornou num processo impossível. Após alguma pesquisa, foi interessante conhecer o desenvolvimento e ajuda que estes programas dão à indústria, conseguindo colocar todos os elementos de um molde, sem necessitar de fazer corte algum e definindo automaticamente as tolerâncias a dar, reduzindo de forma substancial a fase de desenho.

Como já retratado, os pontos de injeção são normalmente definidos pelo cliente, mas neste caso foram definidos após uma discussão entre a equipa em que se verificou posteriormente na simulação da injeção que os resultados foram os desejáveis. O estudo da injeção tem como objetivo aproximar-se o mais possível da realidade, mas conclui-se que é imprescindível conhecer e ter experiência nesta área pois apesar de ser estudado para uma pressão de injeção

de 173 MPa, na injeção do molde os parâmetros de injeção foram bastantes diferentes, neste caso o valor da pressão de injeção final foi de aproximadamente os 40 MPa.

Ao longo do fabrico do molde, o maior desafio foi cumprir o rigor existente na maior parte dos elementos. Com tolerâncias tão apertadas e a trabalhar à centésima de milímetro, qualquer descuido é fatal, e todo o processo de fabrico do molde realizado anteriormente poderá ser colocado em causa. Foram vários os fatores a ter em conta para cumprir todos os ajustamentos, como surgiu o caso da correta calibração da máquina CNC, que inicialmente com o empeno na base da mesa, foi necessário a sensibilidade para não existir erros de dimensões. O desgaste das ferramentas em que surgiu na abertura da caixa dos *interlocks* um perfil cónico devido à ponta da ferramenta estar desgasta e posteriormente teve de ser ajustada à lixa e alguns erros de centésimas de milímetros prejudicaram alguma ou outra tolerância. Estes erros de maquinagem surgiram no âmbito de um projeto numa universidade, agora na indústria dos moldes os erros também são frequentes e todos os dias são cometidos equívocos concluindo que, esta etapa é de extrema importância e de grande responsabilidade, para que o molde funcione corretamente e sem despesas adicionais para a empresa.

No processo de montagem do molde, conclui-se que apesar da fase anterior de maquinagem, ser concluída na perfeição, alguns elementos não encaixam perfeitamente necessitando de serem retificados e ajustados tornando muito importante o trabalho de bancada para o correto funcionamento do molde.

Na fase final (na injeção de polímero), um projetista de qualquer empresa, apresenta confiança na injeção pois normalmente usam bases de projetos anteriores de moldes que já foram injetados e não existido receios nos dimensionamentos efetuados. Para o caso de o molde em estudo, algumas dúvidas existiam principalmente nos posiços da injeção, que devido ao material ser de alumínio e de serem constituídos por duas metades e se devido a isso o molde iria funcionar corretamente.

Os resultados foram realmente surpreendentes e as peças teste saíram apenas com defeitos relativos aos parâmetros de injeção, não apresentando rebarbas e as submarinas separaram-se das peças como pretendido, tendo todo o molde funcionado na correta perfeição.

Foi revigorante o fato de todo o projeto realizado ter sido bem concebido tendo sido injetadas peças para mostrar aos novos alunos, um exemplo de um trabalho realizado pelo na área da Engenharia Mecânica no ISEC.

Bibliografia

A.B.Glanvill, & E.N.Denton. (1970). *Moldes de Injeção - Princípios Básicos e Projetos*. São Paulo: Edgard Blücher.

Almeida, T. F. (2016). *Definição de metodologias projetuais conducentes à aquisição de valências internas no que concerne o fabrico de moldes*. Aveiro.

Bayer. (2000). *Part and Mold Design. A Design Guide*. Pittsburgh.

Beaumont. (31 de 07 de 2019). *beaumontinc*. Obtido de Beaumont: <http://www.beaumontinc.com/injection-molding-glossary/gate/>

Caetano, M. J. (2012). *Ciência e Tecnologia da Borracha*. Obtido de http://www.ctb.com.pt/?page_id=877.

Cefamol. (26 de Setembro de 2018). *Índustria Portuguesa de moldes*. Obtido de Cefamol: <https://www.cefamol.pt/index.php?id=30>

CENTIMFE. (2003). *Manual do Projetista para Moldes de Injeção de Plástico*.

Coppermetal. (15 de Abril de 2019). *Informações Técnicas Alumínio 7075-T651*. Obtido de Coppermetal: http://www.coppermetal.com.br/pdf/aluminio/info-tec-copp_alumi7075.pdf

Corporation, M. (2006). *Moldflow Design Guide. Moldflow Design Guide A Resource for Plastics Engineers*. Framingham,, Massachusetts, U.S.A: Jay Shoemaker.

Económicas, D. G. (28 de 05 de 2019). *Índustria de Molde*. Obtido de Sinopse Indústria de Moldes 2018: https://www.dgae.gov.pt/...de...2019/sinopse-industria-moldes_vf_2018-3-pdf.aspx

Harada, J. (2004). *Moldes para Injeção de termoplásticos*. São Paulo: Artliber.

Hasco. (15 de Abril de 2019). *Mould Steel*. Obtido de Hasco: <https://www.hasco.com/medias/HASCO-Mat-1-1730-EN.pdf?context=bWFzdGVyfHJvb3R8NDE1NDM3fGFwcGxpY2F0aW9uL3BkZnxoNTQv>

aDRjLzg4MDI3OTk2MTYwMzAucGRmfGI4ZWVhODY1ODlmNDgwZGI0OTkzOGJlZD
Y0MTY5MGZhOGZkNjdINjk4OGZiZTdiMmEyMGQxMWQ2ZTdjMmM5NjE

HASCO. (18 de Julho de 2019). *Standards Z*. Obtido de HASCO:
<https://www.hasco.com/pt/Cat%C3%A1logo-do-produto/Z/c/PIM03>

INCOMPLAST, P. (. (23 de Setembro de 2019). *Polipropileno*. Obtido de Polipropileno (PP)
– INCOMPLAST: <https://incomplast.com.br/polipropilenopp/>

Jones, P. (2008). *The Mould Design Guide*. Shawbury: Smithers Rapra Technology Limited.

Moldes. (24 de Julho de 2019). Obtido de Manual do projetista de moldes:
http://formacao.training.pt/?page_id=218

Moreira, M. M. (2015). Projeto de molde para a injeção de peça plástica complexa para a indústria. Porto.

Normalien, S. (24 de Julho de 2019). *Direct Industry*. Obtido de Salão online da indústria:
<http://www.directindustry.com/pt/prod/strack-normalien/product-15598-1031263.html>

P, M. G. (1993). *How to Make Injection Molds*. Hanser: 2. Ed Munich.

Pereira, P. F. (2017). *Dimensionamento Estrutural de Moldes de Injeção*. Leiria.

ResearchGate. (11 de 07 de 2019). *Cycle time in injection molding*. Obtido de ResearchGate :
https://www.researchgate.net/figure/Cycle-time-in-injection-molding-30_fig2_325264129

rnbusa. (09 de 04 de 2019). *Mold & Die Design Solutions*. Obtido de rnbusa:
<https://www.rnbusa.com/products/corecreative-tools/splitworks/>

Rosato, D. V. (2000). *Injection Molding Handbook (3ªed.)*. Norwell, Massachusetts: Kluwer Academic Publishers.

Smith, W. F. (1998). *Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais (3ª ed.)*. Lisboa: McGrawHill.

sqedio. (21 de 05 de 2019). *Solidworks Plastics*. Obtido de Squedio:
<https://www.sqedio.com/solidworks-plastics/>

Ultimaker. (23 de Setembro de 2019). *Ficha técnica do PP*. Obtido de Ultimaker:
<https://ultimaker.com/download/67856/TDS%20PP%20v1.006-por-PT.pdf>

9 Anexos

I

**MANNESMANN
DEMAG**

Máquina de inyección D 100 NCIII

Datos técnicos

Denominación de tipo Denominación internacional mod. Grupo de bombeo	kW	D 100-182 NCIII 1000-182 15/22			D 100-275 NCIII 1000-275 15/22			D 100-452 NCIII 1000-452 15/22		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
Unidad de cierre		1000								
Fuerza de cierre	kN	1000								
Fuerza de retención	kN	1100								
Recorrido de apertura del molde	mm	350								
Espesor min. del molde	mm	200								
Espesor máx. del molde	mm	400								
Distancia máx. entre platos	mm	750								
Platos portamolde	mm	580 x 580								
Distancia útil entre columnas	mm	400 x 400								
Expulsor hidráulico		120								
— carrera	mm	45								
— fuerza de expulsión	kN	25								
— fuerza de retroceso	kN									
Unidad de inyección		182			275			452		
Cilindro plastificador		A	B	C	A	B	C	A	B	C
Díámetro de husillo	mm	28	32	38	32	38	45	38	45	52
Relación L/D		23,0	19,7	16,4	23,2	19,3	15,9	22,9	19,2	16,2
Presión de inyección		2470	1890	1340	2440	1730	1230	2490	1780	1330
— sin circuito diferencial	bar	1840	1410	1000	1890	1340	960	1730	1230	920
— con circuito diferencial	bar	74	97	135	110	160	220	180	255	340
Volumen desplazado	cm ³	66	87	120	98	145	195	160	230	305
Peso de la pieza inyectada (PS)	g									
Caudal de inyección (PS)	g/s	72/110	92/143	133/198	73/110	101/156	143/216	71/108	101/152	133/202
— sin circuito diferencial	g/s	97/147	124/189	172/267	92/143	133/198	184/281	101/156	143/216	189/290
— con circuito diferencial	g/s	350	450	640	450	640	890	640	890	1160
— con acumulador de presión	g/s									
Caudal de plastificación (PS)	g/s	12/—	16/—	21/—	11/17	17/27	23/36	14/22	22/35	27/43
— Escala I	g/s	8,3/12	10/16	14/22	7,5/12	12/19	16/25	11/18	18/23	22/35
— Escala II	g/s	5,8/8,6	6,9/12	9,7/15	4,6/7,5	7,4/12	10/16	7,0/11	11/18	14/22
— Escala III	g/s	—	—	—	—	—	—	4,8/7,5	7,5/12	9,6/15
— Escala IV	g/s									
Carrera del husillo	mm	120			140			160		
Recorrido de la boquilla máx.	mm	280			350			380		
Profundidad de inmersión máx.	mm	40	40	40	45	45	45	45	45	45
Fuerza de apoyo de la boquilla	kN	66			68			110		
Calefacción del cilindro	kW	8,4			10,8			14,0		
Capacidad de la tolva de llenado	l	35			75			75		
Datos generales		1000-182			1000-275			1000-452		
Capacidad del tanque de aceite	l	285			285			285		
Grupo de bombeo	kW	15/22			15/22			15/22		
Potencia total eléctrica instalada	kW	23/30			26/33			29/36		
N° de ciclos en vacío	h ⁻¹	1680/1980			1680/1980			1680/1980		
— según EUROMAP 6a	h ⁻¹	2110/2590			2110/2590			2110/2590		
— sin despegue de la boquilla	h ⁻¹	3500			3500			3700		
Peso neto (sin carga de aceite)	kg	4,9 x 1,2			4,9 x 1,2			4,9 x 1,2		
Superficie de emplazamiento	m	4,9 x 1,2			4,9 x 1,2			4,9 x 1,2		

Reserva de modificaciones técnicas

circuito diferencial → 162 bar de falta

Technical Data Sheet

Moplen HP500N

Polypropylene, Homopolymer



Product Description

Moplen HP500N is a homopolymer used for general purpose injection moulding applications. It exhibits good flow and stiffness. Moplen HP500N is suitable for food contact.

Regulatory Status

For regulatory compliance information, see Moplen HP500N [Product Stewardship Bulletin \(PSB\) and Safety Data Sheet \(SDS\)](#).

Status	Commercial: Active
Availability	Africa-Middle East; Asia-Pacific; Europe
Application	Furniture; Housewares
Market	Compounding; Consumer Products; Rigid Packaging
Processing Method	Compounding; Injection Blow Molding
Attribute	Medium Flow; Medium Stiffness

Typical Properties	Nominal Value	Units	Test Method
Physical			
Melt Flow Rate, (230 °C/2.16 kg)	12	g/10 min	ISO 1133-1
Density	0.90	g/cm ³	ISO 1183-1
Mechanical			
Tensile Modulus	1400	MPa	ISO 527-1, -2
Tensile Stress at Yield	35	MPa	ISO 527-1, -2
Tensile Strain at Break	> 50	%	ISO 527-1, -2
Tensile Strain at Yield	10	%	ISO 527-1, -2
Impact			
Charpy Impact Strength - Notched, (23 °C, Type 1, Edgewise, Notch A)	4	kJ/m ²	ISO 179
Thermal			
Vicat Softening Temperature			
(A/50 N)	153	°C	ISO 306
(B50)	85	°C	ISO 306
Heat Deflection Temperature B, (0.45 MPa, Unannealed)	95	°C	ISO 75B-1, -2