



**Instituto Superior de Engenharia do Porto**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**PROJECTO DE MOLDE PARA PEÇA PARA A  
INDÚSTRIA AUTOMÓVEL**

**Miguel José dos Santos Maia**





**Instituto Superior de Engenharia do Porto**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

## **PROJECTO DE MOLDE PARA PEÇA PARA A INDÚSTRIA AUTOMÓVEL**

**Miguel José dos Santos Maia**

**1070729**

*Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Doutor Francisco José Gomes da Silva, Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP e co-Orientação do Doutor Arnaldo Manuel Guedes Pinto, Professor Adjunto e do Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho, Professor Adjunto, do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP.*



## Júri

<b>Presidente</b>	Doutor Alexandre Gonçalves Santos Santiago Sottomayor <i>Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto</i>
<b>Orientador</b>	Doutor Francisco José Gomes da Silva <i>Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto</i>
<b>Co-Orientador</b>	Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho <i>Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto</i>
<b>Co-Orientador</b>	Doutor Arnaldo Manuel Guedes Pinto <i>Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto</i>
<b>Arguente/Vogal</b>	Doutor Luís Carlos Ramos Nunes Pinto Ferreira <i>Professor Adjunto, Escola Superior de Estudos Industriais e de Gestão</i>



## **Agradecimentos**

Ao Doutor Francisco Silva pela sua orientação, apoio e dedicação durante a realização deste trabalho.

Ao Doutor Arnaldo Pinto, Doutor Luís Ferreira, Doutor Raul Campilho pelas suas contribuições na realização deste trabalho.

A Jorge Pinhal e Hamilton Pinhal pela disponibilidade e apoio evidenciados, durante a concretização deste trabalho na HONP – Moldes, LDA.



## **Resumo**

*A realização deste trabalho teve por base uma solicitação por parte de uma empresa dedicada ao projecto e fabrico de moldes, assim como à injeção de plásticos, no sentido de projectar um molde para a injeção de uma peça em plástico (PP-Polipropileno +20%) para a indústria automóvel, segundo os requisitos de qualidade exigidos pelo cliente. Assim, atendendo a esses requisitos, foi planeado e elaborado o projecto do respectivo molde para a injeção, tendo em consideração todos os factores que contribuem de forma activa para a obtenção das peças desejadas, com a qualidade exigida e com o tempo de vida desejado para o molde.*

*Tendo início na definição das cavidades e movimentos do molde, passando pela selecção dos materiais mais adequados a cada um dos componentes do molde, selecção de componentes normalizados para o molde, simulação do enchimento e necessidades de arrefecimento, até à execução do molde e análise de possíveis não conformidades nas peças nele injectadas, o trabalho acompanhou todo o processo de criação do molde, desde a recepção das especificações emanadas pelo cliente, até ao teste e realização das correcções finais.*

*Constatou-se que o molde, após ligeiras afinações finais, cumpriu com os objectivos inicialmente traçados, permitindo a obtenção de peças com o formato e qualidade exigidas pelo cliente final.*

## **Palavras-chave**

*Plástico, Injeção de Plásticos, Moldes, Simulação de Enchimento de Moldes*



## **Abstract**

*This study was based on a request made by a company dedicated to the design and manufacture of moulds, and injection of plastic, in order to design a mould for injection of polymer parts (PP-propylene +20%) for the automotive industry, following the quality requirements demanded by the customer.*

*Thus, attending to these requirements, the design of the injection mould was planned and prepared, taking into attention all factors that actively contribute to the attainment of the desired parts, with the required quality and the desired lifetime for the mould.*

*Beginning by the definition of the cavities and mould movements, passing by the selection of the most suitable materials for each component of the mould, selection of each standard component for the mould, filling simulation and cooling system, until the implementation of the mould and analysis of possible non-conformities in the injected parts, this work accompanied all the design and manufacturing process, from the reception of the specifications issued by the customer until the test and implementation of the final corrections.*

*After slight final adjustments, the mould fulfilled the initially set objectives, enabling the production of parts with the required shape and quality by the final customer.*

## **Keywords**

*Plastics, Plastics Injection, Moulds, Mould Casting Simulation*



## Lista de Símbolos e Abreviaturas

ABS - Acrilonitrilo Butadieno Estireno  
Al - Alumínio  
Be - Berílio  
C - Carbono  
CAD - *Computer Aided Design*  
CAE - *Computer Aided Engineering*  
CAM - *Computer Aided Manufacturing*  
CEM - Caderno de encargo de moldes  
cm<sup>2</sup> - Centímetro quadrado  
CNC - Comando numérico computadorizado  
CO<sub>2</sub> - Dióxido de carbono  
Cr - Crómio  
Cu - Cobre  
D - Diâmetro  
EPDM - *Ethylene Propylene Diene Monomer*  
Fe - Ferro  
H - Hidrogénio  
HDT - *Heat Distortion Temperature*  
HRC - Escala de dureza Rockwell  
HV - Dureza Vickers  
K - Kelvin  
kg - Kilograma  
L - Comprimento  
M1 - Valor numérico da propriedade  
MCV - Mono Cloreto de Vinilo  
mm - Milímetro  
Mn - Manganês  
Mo - Molibdénio  
MPa - MegaPascal  
N - Azoto  
N - Newton  
Ni - Níquel  
∅ - Diâmetro  
O - Oxigénio  
°C - Graus celsius  
P - Fósforo

PA - Poliamida  
PC - Policarbonato  
PE - Polietileno  
PEAD - Polietileno Alta Densidade  
PERT - *Program Evaluation and Review*  
PET - Tereftalato  
PMMA - Polimetacrilato de Metilo  
POM - Poliacetal  
PRFV - Plásticos Reforçado com Fibra de Vidro  
PS - Poliestireno  
PUR - Poliuretano  
PVC - Policloreto de Vinilo  
Rm - Resistencia mecanica  
RPM - Rotações por minuto  
S - Enxofre  
s - Segundo  
Si - Silício  
Sim. - Simulação  
Tg - Temperatura vítrea  
Tm - Temperatura de fusão  
UP-FV - Poliéster insaturado com fibra de vidro.  
UV - Ultra violeta  
V - Vanádio  
W - Tungsténio  
Wi - Índice de importância

## Índice de figuras

Figura 1 - Mapa de processos (Teixeira, et al., 2011).....	6
Figura 2 - Diagrama de implantação por projecto (Cavaco, et al., 2009/10). ....	7
Figura3 - Diagrama PERT - CPM (Cavaco, et al., 2009/10) .....	8
Figura 4 - Formas de relação com o cliente e tempos de resposta (Cavaco, et al., 2009/10).....	9
Figura 5 - Relação da massa molar com a temperatura (Canevarolo Jr., 2006). ....	17
Figura 6 - Esquema representativo do modelo de Maxwell (Canevarolo Jr., 2006).....	18
Figura7 - Esquema representativo do Modelo de Voigt (Canevarolo Jr., 2006).....	19
Figura 8 - Esquema representativo do Modelo Maxwell-Voigt (Canevarolo Jr., 2006). ....	19
Figura 9 - Fenómeno de deformação por fluência (Marczak, Janeiro de 04). ....	20
Figura 10 - Alongamento em função do tempo, para diversos níveis de tensão (Marczak, Janeiro de 04).21	
Figura 11 - Módulo de fluência em função do tempo para diferentes tensões (Marczak, Janeiro de 04). 22	
Figura 12 - Influência do anel benzénico na $T_g$ (Canevarolo Jr., 2006) .....	25
Figura 13 - Relação da polaridade com a $T_g$ e a $T_m$ (Canevarolo Jr., 2006).....	26
Figura 14 - Perfil de escoamento (Reis, 2013). ....	31
Figura 15 - Tensões normais e corte (Reis, 2013). ....	32
Figura 16 - Escoamentos de extensão (Reis, 2013).....	32
Figura 17 - Perfil da velocidade de corte, temperatura e viscosidade (Reis, 2013). ....	33
Figura 18 - Viscosidade versus taxa de corte (Reis, 2013). ....	34
Figura 19 - Gráfico da viscosidade versus velocidade de corte (Reis, 2013).....	34
Figura 20 - Viscosidade versus tensão (Reis, 2013). ....	35
Figura 21 - Variação viscosidade de alguns polímeros com a temperatura (Reis, 2013). ....	36
Figura 22 - Estrutura do polietileno e polipropileno (Gorni, Antonio Augusto). ....	40
Figura 23 - Aplicação de PP no automóvel (Petry, 7/2011). ....	42
Figura 24 - Esquema do processo de moldação por injeção (ENGEPLAS).....	43
Figura 25 - Etapas do ciclo de moldação por injeção (Ebah).....	44
Figura 26 - Variação de pressão nas etapas do ciclo (Moldes injeção plásticos). ....	45
Figura 27 - As zonas do fuso (LGMT). ....	47
Figura 28 - As geometrias características do fuso para alguns materiais (Ebah). ....	47
Figura 29 - Taxas de compressão para diferentes materiais (Tudo Sobre plásticos).....	48
Figura 30 - Resina de Polieterimida (PEI) da SABIC usada em faróis de nevoeiro do Novo Golf (Blog do Plástico, 2013). ....	49
Figura 31 - Suporte plástico de motor em <i>Ultramid</i> <sup>®</sup> A3WG10 CR (Blog do Plástico, 2013). ....	49
Figura 32 - Esquema de uma extrusora (Chasque). ....	50
Figura 33 - Borracha de vedação entre a porta e o vidro das janelas.....	51

Figura 34 - Esquema de uma máquina de moldação por sopro .....	52
Figura 35 - Características das moldações de sopro por estiramento e extrusão (LEPCOM). ....	53
Figura 36 - Processo de moldação por sopro (Indústria Hoje).....	53
Figura 37 - Cabeçote (Engineer's Handbook) .....	54
Figura 38 - Cabeçote de fluxo axial (Júnior, Wolney Netto). ....	55
Figura 39 - Tipos de matrizes (Júnior, Wolney Netto) .....	56
Figura 40 - Cabeçote de fluxo radial (Júnior, Wolney Netto). ....	56
Figura 41 - Mandris na moldação de sopro (Júnior, Wolney Netto) .....	57
Figura 42 - Tanque de combustível em HDPE (Alibaba).....	59
Figura 43 - Esquema de moldação por compressão (Universidade Técnica de Lisboa).....	60
Figura 44 - Painel em resina poliéster com 33% de estireno e 33 % de fibra de vidro (Alibaba).....	61
Figura 45 - Esquema de um molde de injecção. ....	63
Figura 46 - Exemplo de molde de duas placas (Part and Mold Design - A Design Guide, 2000). ....	64
Figura 47 - Sequência de abertura de molde 3 placas (Part and Mold Design - A Design Guide, 2000). ...	65
Figura 48 - Ponto de fixação do molde e componente de fixação.....	66
Figura 49 - Extracção por placa extractora (Amato). ....	67
Figura 50 - Extracção por placa impulsadora (Amato).....	67
Figura 51 - Extracção por ar comprimido (Amato) .....	67
Figura 52 - Extracção por núcleo rotativo (Amato).....	68
Figura 53 - Entrada directa (Amato) .....	69
Figura 54 - Entrada restrita com câmara quente (Amato). ....	69
Figura 55 - Sistema com canal isolado (Amato).....	70
Figura 56 - Sistema com canal quente (Volastic) .....	71
Figura 57 - Sistema de bico quente (Volastic).....	72
Figura 58 - Canais de alimentação indirecta (Domingues, 2012) .....	74
Figura 59 - Canal da bucha de injecção (Amato) .....	75
Figura 60 - Bucha de injecção (Voigt). ....	75
Figura 61 - Perfis dos canais de distribuição (Amato).....	76
Figura 62 - Diâmetro do canal de distribuição (DSM, 2005).....	77
Figura 63 - Entrada restrita ( (Tudo sobre plásticos)).....	79
Figura 64 - Entrada em diagrama (Ebah). ....	79
Figura 65 - Entrada em leque (Ebah). ....	79
Figura 66 - Entrada capilar (Ebah). ....	80
Figura 67 - Entrada de anel (Ebah). ....	80
Figura 68 - Entrada unha de gato (Ebah). ....	80
Figura 69 - Entrada de cunha (Ebah). ....	81
Figura 70 - Entrada de aba (Ebah) . ....	81
Figura 71 - Entrada submarina (Ebah). ....	81
Figura 72 - Layout de canais (Ebah). ....	82

Figura 73 - Dimensão típica das saídas de gases para cada tipo de polímero a injectar (Moldes injeção plásticos).....	83
Figura 74 - Saída de gases (Moldes injeção plásticos). ....	84
Figura 75 - Canais de refrigeração e tempos dos ciclos respectivos (Silva, 06/2009).....	85
Figura 76 - Diâmetro e distância entre canais (DSM, 2005). ....	86
Figura 77 - Circuito em U (Silva, 06/2009). ....	87
Figura 78 - Circuito em Z (Silva, 06/2009).....	87
Figura 79 - Circuito rectangular (Silva, 06/2009). ....	88
Figura 80 - Circuito alternativo para cavidades circulares (Silva, 06/2009). ....	88
Figura 81 - Circuito para cavidade circular (Silva, 06/2009). ....	89
Figura 82 - Circuito com furação inclinada (Silva, 06/2009). ....	89
Figura 83 - Circuito de placas de refrigeração (Silva, 06/2009). ....	90
Figura 84 - Circuito em helicoidal (Silva, 06/2009). ....	90
Figura 85 - Posicionamento da guia e do casquilho (Moldes injeção plásticos). ....	92
Figura 86 - <i>Interlocks</i> (Sutafer).....	92
Figura 87 - Elementos móveis (Moldes injeção plásticos). ....	93
Figura 88 - Faces cónicas (Docstoc). ....	93
Figura 89 - Tempo de arrefecimento versus espessura de parede (Part and Mold Design - A Design Guide, 2000).....	94
Figura 90 - Resistência ao impacto do policarbonato vs espessura a várias temperaturas (Part and Mold Design - A Design Guide, 2000). ....	95
Figura 91 - Exemplos de alterações para manter uma espessura constante (Part and Mold Design - A Design Guide, 2000). ....	96
Figura 92 - Exemplos de alterações para melhorar o fluxo (Part and Mold Design - A Design Guide, 2000).....	96
Figura 93 - Exemplo de canal orientado (Part and Mold Design - A Design Guide, 2000).....	97
Figura 94 - Exemplo de rechupe causado por nervura mal dimensionada (Part and Mold Design - A Design Guide, 2000) . ....	97
Figura 95 - Recomendações gerais para dimensionamento de nervuras (Part and Mold Design - A Design Guide, 2000). ....	97
Figura 96 - Exemplo de buchas de fixação junto à parede do produto (Part and Mold Design - A Design Guide, 2000). ....	98
Figura 97 - Exemplos de aplicação de ângulos de saída (Part and Mold Design - A Design Guide, 2000)..	99
Figura 98 - Exemplos de alterações para simplificar a ferramenta (Part and Mold Design - A Design Guide, 2000).....	99
Figura 99 - Cavidade da extracção (Rosato, et al., 2000). ....	100
Figura 100 - Constante m (Rosato, et al., 2000).....	102
Figura 101 - Placas para moldes (Hasco). ....	108
Figura 102 - Extractores (Hasco). ....	109
Figura 103 - Componentes de centramento (Hasco). ....	109

Figura 104 - Componentes de guiamento (Hasco). .....	109
Figura 105 - Componentes de refrigeração (Sutafer). .....	110
Figura 106 - Componentes de injeção (Hasco). .....	110
Figura 107 - Operações de furação (Stoeterau). .....	113
Figura 108 - Tipos de brocas (Stoeterau). .....	114
Figura 109 - Rectificadoras cilíndrica e plana (ESSEI). .....	115
Figura 110 - Eléctrodo e respectiva peça, produzida por electro-erosão por penetração (Moldes Injeção plásticos). .....	117
Figura 111 - Componentes obtidos por electro - erosão por fio (Moldes Injeção plásticos) .....	117
Figura 112 - Exemplo de uma superfície texturada de um molde (Notícia Revista Ferramental). .....	119
Figura 113 - Planeamento da texturização (Notícia Revista Ferramental). .....	120
Figura 114 - Processamento (Notícia Revista Ferramental). .....	120
Figura 115 - Impressão (Notícia Revista Ferramental). .....	120
Figura 116 - Preparação (Notícia Revista Ferramental). .....	121
Figura 117 - Etapas de revestimento, exposição e remoção (Notícia Revista Ferramental). .....	121
Figura 118 - Peça aberta. ....	126
Figura 119 - Peça fechada. ....	126
Figura 120 - Localização dos movimentos na peça. ....	126
Figura 121 - Localização do sistema de fecho. ....	126
Figura 122 - Localização da charneira na peça. ....	126
Figura 123 - Corte do molde evidenciando os componentes da extracção guiamento e aperto. ....	130
Figura 124 - Localização do ponto de injeção. ....	131
Figura 125 - Placa 1. ....	132
Figura 126 - Placa 2. ....	132
Figura 127 - Placa 3. ....	132
Figura 128 - Placa 4. ....	133
Figura 129 - Placa 5. ....	133
Figura 130 - Placas 6 e 7. ....	133
Figura 131 - Placa 8. ....	133
Figura 132 - Superfícies da peça para o movimento. ....	135
Figura 133 - Movimentos laterais. ....	135
Figura 134 - Movimento lateral. ....	136
Figura 135 - Inclinação do ajuste. ....	136
Figura 136 - Faces de vedação do movimento lateral. ....	136
Figura 137 - Vista isométrica do movimento de extracção. ....	137
Figura 138 - Vista lateral do movimento de extracção. ....	137
Figura 139 - Vista de frente do movimento de extracção. ....	137
Figura 140 – Esquema do movimento de extracção. ....	138
Figura 141 - Posição dos extractores. ....	139
Figura 142 - Esquema e disposição de alguns componentes no molde. ....	140

Figura 143 – Guias das placas extractoras .....	141
Figura 144 - Disposição dos pilares e KO. ....	141
Figura 145 - Componentes de guiamento e ajuste.....	142
Figura 146 - Disposição das talas de travamento e faces de contacto. ....	143
Figura 147 - Almofada. ....	143
Figura 148 - Corte da Charneira.....	144
Figura 149 - Bico injector .....	145
Figura 150 - Disposição dos canais de refrigeração.....	146
Figura 151 - Movimento lateral .....	147
Figura 152 - Envio das peças para nitruração. ....	147
Figura 153 - Eléctrodos de grafite.....	147
Figura 154 - Polimento manual.....	148
Figura 155 - Rectificação.....	148
Figura 156 - Componentes de extracção. ....	148
Figura 157 - Eléctrodos de grafite.....	148
Figura 158 - Rectificação.....	149
Figura 159 - Superfícies da cavidade. ....	149
Figura 160 - Placas extractoras. ....	149
Figura 161 - Rectificação.....	149
Figura 162 - Componentes diversos. ....	150
Figura 163 - Envio das peças para nitruração. ....	150
Figura 164 - Rectificação.....	150
Figura 165 - Charneira. ....	151
Figura 166 - Rectificação.....	151
Figura 167 - Maquinação da charneira.....	151
Figura 168 - Placas 3 e 4. ....	152
Figura 169 - Eléctrodos de grafite.....	152
Figura 170 - Polimento manual.....	152
Figura 171 - Rectificação.....	153
Figura 172 - Gráfico genérico de Ashby. ....	154
Figura 173 - Exemplos de peças em Ampco 18 (Moldes injeção plásticos). ....	160
Figura 174 - Injector YUDO SAS-22-VC-119-R19 (Yudo).....	190
Figura 175 - Guia (Hasco).....	191
Figura 176 - Casquilho (Hasco). ....	191
Figura 177 - Guia (Hasco).....	191
Figura 178 - Casquilho (Hasco). ....	191
Figura 179 - Casquilho (Hasco). ....	192
Figura 180 - Guia (Hasco).....	192
Figura 181 - Ficha eléctrica 24 pins (Harting). ....	192
Figura 182 - Ficha eléctrica 16 pins (Harting). ....	192

Figura 183 - Cavilha maciça H6 Ø10 x 50.....	193
Figura 184 - Cavilha maciça H6 Ø6 x 35.....	193
Figura 185 - Cavilha maciça H6 Ø8 x 20.....	193
Figura 186- Retentor (CUMSA). ....	193
Figura 187 - 'Microswitch' BALLUFF (Balluf). ....	194
Figura 188 - Mola de elastómero (Fibro). ....	194
Figura 189 - Electro-válvula Metalwork 5/2 70 SOV35SESOO (Metalwork). ....	195
Figura 190 - 'Raccords' (Tech, Ria Food) .....	195
Figura 191 - Área da cavidade. ....	197
Figura 192 - Esquema da posição dos calços. ....	199
Figura 193 - Dimensões da cavidade para o cálculo da espessura. ....	200
Figura 194 - Molde aberto para extracção da peça. ....	203
Figura 195 - Injectora 600H-110 60T .....	204
Figura 196 - Parâmetros da malha no 'Moldflow'. ....	206
Figura 197 - Selecção da análise no 'Moldflow'. ....	206
Figura 198 - Selecção do material no 'Moldflow'. ....	207
Figura 199 - Definição do local de injeção e tipo de injeção no 'Moldflow'. ....	207
Figura 200 - Definição dos canais de arrefecimento no 'Moldflow'. ....	207
Figura 201 - Definição da disposição dos canais de arrefecimento no 'Moldflow'. ....	208
Figura 202 - Definição dos parâmetros do processo no 'Moldflow'. ....	208
Figura 203 - Definição dos parâmetros do processo no 'Moldflow'. ....	208
Figura 204 - Definição dos parâmetros do processo no 'Moldflow'. ....	209
Figura 205 - Definição das dimensões do molde no 'Moldflow'. ....	209
Figura 206 - Gráfico de perfil da acumulação de gases no primeiro estudo.....	210
Figura 207 - Gráfico de perfil da variação de temperatura do fluido no primeiro estudo.....	211
Figura 208 - Gráfico do caudal do fluido de arrefecimento no primeiro estudo .....	211
Figura 209 - Gráfico da força de fecho no primeiro estudo. ....	211
Figura 210 - Gráfico da distorção da peça na direcção Z no primeiro estudo. ....	212
Figura 211 - Gráfico do tempo de enchimento no primeiro estudo.....	212
Figura 212 - Gráfico das tensões residuais no primeiro estudo.....	212
Figura 213 - Gráfico do perfil da direccional do fluxo no primeiro estudo. ....	213
Figura 214 - Gráfico da pressão de injeção no primeiro estudo. ....	213
Figura 215 - Gráfico do perfil de temperaturas das paredes no molde no primeiro estudo. ....	213
Figura 216 - Gráfico do perfil de temperaturas da peça no primeiro estudo. ....	214
Figura 217 - Gráfico de temperaturas até temperatura de extracção no primeiro estudo. ....	214
Figura 218 - Gráfico do perfil das linhas de união no primeiro estudo. ....	214
Figura 219 - Gráfico do perfil da acumulação de gases no segundo estudo. ....	215
Figura 220 - Gráfico do perfil da variação de temperatura do fluido no segundo estudo.....	215
Figura 221 - Gráfico do caudal do fluido de arrefecimento no segundo estudo. ....	216
Figura 222 - Gráfico da força de fecho no segundo estudo. ....	216

Figura 223 - Gráfico da distorção da peça na direcção Z no segundo estudo.....	216
Figura 224 - Gráfico do tempo de enchimento no segundo estudo.....	217
Figura 225 - Gráfico das tensões residuais no segundo estudo.....	217
Figura 226 - Gráfico do perfil direccional do fluxo no segundo estudo.....	217
Figura 227 - Gráfico da pressão de injeção no segundo estudo.....	218
Figura 228 - Gráfico do perfil de temperaturas das paredes do molde no segundo estudo.....	218
Figura 229 - Gráfico do perfil de temperaturas da peça no segundo estudo.....	218
Figura 230 - Gráfico de temperaturas até temperatura de extracção no segundo estudo.....	219
Figura 231 - Gráfico do perfil das linhas de união no segundo estudo.....	219
Figura 232 - Gráfico do perfil da acumulação de gases no terceiro estudo.....	220
Figura 233 - Gráfico do perfil da variação de temperatura do fluido no terceiro estudo.....	220
Figura 234 - Gráfico do perfil da variação de temperatura do fluido no terceiro estudo.....	221
Figura 235 - Gráfico da força de fecho no terceiro estudo.....	221
Figura 236 - Gráfico da distorção da peça na direcção Z no terceiro estudo.....	221
Figura 237 - Gráfico do tempo de enchimento no terceiro estudo.....	222
Figura 238 - Gráfico das tensões residuais no terceiro estudo.....	222
Figura 239 - Gráfico do perfil direccional do fluxo no terceiro estudo.....	222
Figura 240 - Gráfico da pressão de injeção no terceiro estudo.....	223
Figura 241 - Gráfico do perfil de temperaturas das paredes do molde no terceiro estudo.....	223
Figura 242 - Gráfico do perfil de temperaturas da peça no terceiro estudo.....	223
Figura 243 - Gráfico de temperaturas até temperatura de extracção no terceiro estudo.....	224
Figura 244 - Gráfico do perfil das linhas de união no terceiro estudo.....	224
Figura 245 - Comparativo do tempo de enchimento.....	227
Figura 246 - Comparativo do tempo previsto de ciclo.....	227
Figura 247 - Comparativo do tempo de arrefecimento.....	228
Figura 248 - Comparativo da força máxima de fecho.....	228
Figura 249 - Comparativo da pressão máxima.....	228
Figura 250 - Localização dos queimados.....	229
Figura 251 - Indicação do <i>Moldflow</i> .....	229
Figura 252 - Área de empenamento da peça.....	230
Figura 253 - Área de empenamento da peça.....	230
Figura 254 - Tensões residuais da peça.....	230
Figura 255 - Digrama da viscosidade versus taxa de corte ( <i>Moldflow</i> ).....	232
Figura 256 - Digrama para o cálculo da pressão do molde pela espessura da peça (Rosato, et al., 2000).....	232
Figura 257 - Corte mostrando os movimentos no molde fechado e aberto.....	233
Figura 258 - O comprimento no qual o movimento sai da peça injectada.....	233
Figura 259 - O movimento à extracção com o molde fechado e aberto.....	234
Figura 259 - Fluxograma do processo de fabrico.....	242
Figura 261 - Desenho da secção do molde.....	243

Figura 262 - <i>Mastercam CAE</i> .....	243
Figura 263 - Fresadora CNC .....	243
Figura 264 - Furadora vertical.....	243
Figura 265 - Máquina de electro-erosão. ....	244
Figura 266 - Máquina de rectificação. ....	244
Figura 267 - Injectora 600H-110 60T.....	244
Figura 268 - Vista explodida do molde. ....	252
Figura 269 - Montagem do lado da injeção. ....	253
Figura 270 - Montagem do lado da injeção. ....	253
Figura 271 - Montagem do lado da injeção. ....	254
Figura 272 - Montagem do lado da injeção. ....	254
Figura 273 - Montagem do lado da injeção. ....	254
Figura 274 - Montagem do lado da injeção. ....	255
Figura 275 - Montagem do lado da injeção. ....	255
Figura 276 - Montagem do lado da extracção. ....	256
Figura 277 - Montagem do lado da extracção. ....	256
Figura 278 - Montagem do lado da extracção. ....	256
Figura 279 - Montagem do lado da extracção. ....	257
Figura 280 - Montagem do lado da extracção. ....	257
Figura 281 - Montagem do lado da extracção. ....	257
Figura 282 - Montagem do lado da extracção .....	258
Figura 283 - Montagem do lado da extracção. ....	258
Figura 284 - Montagem do lado da extracção. ....	258
Figura 285 - Montagem do lado da extracção. ....	259
Figura 286 - Colocação de tinta. ....	260
Figura 287 - Colocação de tinta. ....	260
Figura 288 - Rectificação.....	260
Figura 289 - Rectificação manual.....	261
Figura 290 - Polimento manual.....	261
Figura 291 - Esquema de ligação da válvula 5/2 (Simoldes, 2012). ....	262
Figura 292 - Esquema de ligação eléctrica da válvula2 (Simoldes, 2012). ....	262
Figura 293 - Esquema de ligação eléctrica dos termopares e resistências2 (Simoldes, 2012). ....	263
Figura 294 - Esquema eléctrico da ligação do micro2 (Simoldes, 2012). ....	263
Figura 295 - Localização de rebarba na peça. ....	264
Figura 296 - Localização de raspados na peça. ....	264
Figura 297 - Localização de desencontros na peça. ....	264
Figura 297 - Localização da marca na peça.....	265
Figura 299 - Localização dos extractores enterrados na peça. ....	265
Figura 300 - Localização da espessura da charneira na peça.....	265
Figura 301 - Localização da distorção na peça.....	265

Figura 302 - Localização de queimados na peça.....	266
Figura 303 - Localização da falta de polimento. ....	266
Figura 304 - Localização onde fica presa a peça.....	266
Figura 305 - Localização das correcções no molde.....	267
Figura 306 - Localização das correcções no molde.....	267
Figura 307 - Localização das correcções no molde.....	267
Figura 308 - Localização das correcções no molde.....	268
Figura 309 - Localização das correcções no molde.....	268
Figura 310 - Localização no molde das correcções.....	268
Figura 311 - Localização das correcções no molde.....	268
Figura 312 - Localização das correcções no molde.....	269
Figura 313 - Polimento manual.....	269
Figura 314 - Localização das correcções no molde.....	269
Figura 315 - Localização das correcções no molde.....	270
Figura 316 - Localização das correcções no molde.....	270
Figura 317 - Localização das correcções no molde.....	270
Figura 318 - Localização das correcções no movimento lateral. ....	270





## Índice de tabelas

Tabela 1 - Características do sistema de produção na área do fabrico de ferramentas (Cavaco, et al., 2009/10).....	6
Tabela 2 - Características da produção intermitente (Canevarolo Jr., 2006). .....	8
Tabela 3 - Vantagens e desvantagens dos polímeros (Materiais usados na concepção de um automóvel., 18/10/2010). .....	10
Tabela 4 - Propriedades e aplicações dos principais tipos de polímero (Materiais usados na concepção de um automóvel., 18/10/2010). .....	13
Tabela 5 - Algumas propriedades químicas dos polímeros.....	15
Tabela 6 - Propriedades mecânicas mais comuns nos polímeros (e outros materiais). .....	23
Tabela 7 - Relação das temperaturas $T_g$ e $T_m$ com os grupos laterais (Canevarolo Jr., 2006).....	26
Tabela 8 - Relação isomeria com temperaturas de $T_g$ e $T_m$ (Canevarolo Jr., 2006). .....	27
Tabela 9 - Simetria e temperaturas de $T_g$ e $T_m$ (Canevarolo Jr., 2006). .....	28
Tabela 10 - Energia de activação para vários tipos de polímeros (Reis, 2013). .....	36
Tabela 11 - Razão temperatura para vários materiais (Reis, 2013).....	37
Tabela 12 - Cálculo para dissipação viscosa (Reis, 2013). .....	38
Tabela 13 - Parâmetros de processamento de PP (Equistar). .....	42
Tabela 14 - Relações entre L/D. .....	49
Tabela 15 - Algumas funções das placas. ....	63
Tabela 16 - Sistemas de extracção. ....	67
Tabela 17 - Características de bicos de injeção (DSM, 2005). ....	73
Tabela 18 - Diâmetros do canal da bucha (Amato).....	76
Tabela 19 - Exemplos de sistemas de injeção indirecta. ....	79
Tabela 20 - Temperatura do molde para diferentes polímeros. ....	91
Tabela 21 - Métodos de guiamento. ....	92
Tabela 22 - Percentagens específicas de espessura de nervura versus espessuras de parede (Part and Mold Design - A Design Guide, 2000). ....	98
Tabela 23 - Valores de $K_m$ . ....	100
Tabela 24 - Número de ciclos obtido para diferentes temperaturas (Vendramim, et al.). ....	106
Tabela 25 - Alguns materiais para moldes e a sua aplicação (Simoldes, 2012). ....	107
Tabela 26 - Aspectos da peça.....	126
Tabela 27 - Valores dos ângulos correspondentes aos movimentos. ....	128
Tabela 28 - Componentes que vão ser incorporados no molde. ....	132
Tabela 29 - Etapas de fabricação de algumas das peças principais do molde. ....	147
Tabela 30 - Etapas de fabricação dos componentes ligados ao sistema de extracção. ....	148
Tabela 31 - Etapas de fabricação dos componentes ligados às placas intermédias. ....	149

Tabela 32 - Etapas de fabricação de componentes diversos de guiamento e deslizamento. ....	150
Tabela 33 - Etapas de fabricação dos componentes relativos à charneira. ....	151
Tabela 34 - Etapas de fabricação das placas-macho e cavidade. ....	152
Tabela 35 - Efeito dos elementos de liga no aço (MENGES, et al., 2000). ....	155
Tabela 36 - Características de aços para moldes (classificação de 1 (pouco apto) a 10 (muito apto)) (Rosato, et al., 2000). ....	159
Tabela 37 - Composição química dos aços usados no fabrico de moldes para injeção de plásticos (F. Ramada F. Ramada, Aços e Indústrias S.A.). ....	161
Tabela 38 - Propriedades dos aços próprios para a fabricação de moldes. ....	162
Tabela 39 - Propriedades requeridas a cada parte do molde. ....	165
Tabela 40 - Valores atribuídos a cada material, em função das suas características e aptidões ao uso... 167	
Tabela 41 - Índices de mérito dos diferentes materiais, em função das diversas propriedades requeridas no molde. ....	168
Tabela 42 - Valores atribuídos aos requisitos. ....	170
Tabela 43 - Valores do índice de mérito para placas de encosto e extracção. ....	170
Tabela 44 - Requisitos dos componentes. ....	171
Tabela 45 - Componentes com os mesmos requisitos. ....	173
Tabela 46 - Valores das propriedades para os requisitos do grupo 1. ....	175
Tabela 47 - Valores de índice de mérito para o grupo 1. ....	175
Tabela 48 - Valores das propriedades para os requisitos do grupo 2. ....	177
Tabela 49 - Valores de índice de mérito para o grupo 2. ....	178
Tabela 50 - Valores das propriedades para os requisitos do grupo 3. ....	180
Tabela 51 - Valores de índice de mérito para grupo 3. ....	181
Tabela 52 - Valores das propriedades para os requisitos do grupo 4. ....	183
Tabela 53 - Valores de índice de mérito para o grupo 4. ....	184
Tabela 54 - Valores das propriedades para os requisitos do grupo 5. ....	186
Tabela 55 - Valores de índice de mérito para o grupo 5. ....	187
Tabela 56 - Valores das propriedades para os requisitos do grupo 6. ....	189
Tabela 57 - Valores de índice de mérito para o grupo 6. ....	189
Tabela 58 - Volume de injeção (Yudo). ....	190
Tabela 59 - Compatibilidade de material (Yudo). ....	191
Tabela 60 - Componentes normalizados necessários. ....	191
Tabela 61 - Fichas eléctricas. ....	192
Tabela 62 - Cavilhas. ....	193
Tabela 63 - Parâmetros do PP A382 indicado no Moldflow. ....	196
Tabela 64 - Propriedades da água. ....	196
Tabela 65 - Valores de variáveis para cálculo força de fecho. ....	197
Tabela 66- Tabela da HASCO do posicionamento das guias e dimensões do seu alojamento. ....	201
Tabela 67 - Guia Z03 (Hasco). ....	203
Tabela 68 - Características da injectora. ....	204

Tabela 69 - Parâmetros de processamento recomendados para o PP ( <i>Moldflow</i> ).....	205
Tabela 70 - Valores de parâmetros de injeção do primeiro estudo. ....	210
Tabela 71 - Caracterização dos resultados correspondentes ao primeiro estudo prévio. ....	210
Tabela 72 - Valores de parâmetros de injeção para o segundo estudo. ....	215
Tabela 73 - Caracterização dos resultados do segundo estudo. ....	215
Tabela 74 - Valores de parâmetros de injeção do terceiro estudo.....	220
Tabela 75 - Caracterização dos resultados do terceiro estudo. ....	220
Tabela 76 - Valores obtidos no <i>Moldflow</i> para as diferentes fases de injeção.....	225
Tabela 77 - Valores dos parâmetros do sistema de arrefecimento.....	227
Tabela 78 - Gráficos dos valores de maior relevância nos 3 estudos.....	227
Tabela 79 - Acumulação de gases. ....	229
Tabela 80 - Empeno da peça.....	230
Tabela 81 - Dados técnicos da mola LS16025. ....	234
Tabela 82 - Funções das secções envolvidas nas etapas de fabrico. ....	243
Tabela 83 - Estimativa do custo do molde. ....	245
Tabela 84 - Custo da mão-de-obra associada à fabricação.....	251
Tabela 85 - Montagem do lado da injeção.....	253
Tabela 86 - Montagem do lado da extracção. ....	256
Tabela 87 - Aspectos gerais do fecho do molde. ....	260
Tabela 88 - Ligações do bico valvulado. ....	262
Tabela 89 - Ligações dos termopares e resistências. ....	263
Tabela 90 - Ligação do 'Microswitch'. ....	263
Tabela 91 - Considerações retiradas do teste do molde.....	264
Tabela 92 - Acções correctivas.....	267
Tabela 93 - Alteração da geometria dos movimentos. ....	270



# Índice

Lista de Símbolos e Abreviaturas .....	xiii
Índice de figuras .....	xv
Índice de tabelas.....	xxvi
Índice .....	xxx
1. Introdução .....	1
1.1. Enquadramento .....	1
1.2. Objectivos .....	2
1.3. Metodologia .....	3
1.4. Estrutura .....	3
2. Revisão bibliográfica .....	5
2.1. A fabricação de componentes no sector automóvel: Conceitos gerais .....	5
2.2. A importância dos polímeros na indústria automóvel .....	10
2.3. Propriedades requeridas aos polímeros para injeção.....	15
2.3.1. Propriedades químicas .....	15
2.3.2. Propriedades mecânicas.....	17
2.3.3. Propriedades eléctricas .....	24
2.3.4. Propriedades térmicas.....	24
2.3.5. Propriedades ópticas .....	29
2.3.6. Propriedades reológicas .....	30
2.3.7. Propriedades do polipropileno .....	39
2.4. Processos ligados à produção de peças plásticas para a indústria automóvel .....	43
2.4.1. Moldação por injeção .....	43
2.4.2. Extrusão .....	50
2.4.3. Moldação por sopro .....	52
2.4.4. Moldação por compressão .....	60
2.5. Os moldes para a injeção de plásticos .....	62
2.5.1. Breve introdução às funções de um molde para a injeção de plástico .....	62
2.5.1.1. Estrutura dos moldes.....	63
2.5.1.2. Tipos de molde de injeção .....	64
2.5.1.3. Fixação da ferramenta .....	66
2.5.1.4. Sistema de extracção .....	66
2.5.1.5. Sistema de alimentação.....	68
2.5.1.5.1. Sistema de alimentação directa.....	68
2.5.1.5.2. Sistema de alimentação indirecta.....	74
2.5.1.5.3. Layout dos canais.....	82

2.5.1.5.4. Saída de gases.....	83
2.5.1.6. Sistema de arrefecimento do molde .....	84
2.5.1.7 Sistema de guiamento/centramento.....	92
2.5.2. Análise da geometria da peça injectada.....	94
2.5.3. Dimensionamento de moldes para a injeção de plástico .....	100
2.5.3.1. Cálculo da força de fecho .....	100
2.5.3.2. Dimensionamento dos calços.....	100
2.5.3.3. Dimensionamento do extractor/guia .....	101
2.5.3.4. Força de extracção.....	102
2.5.3.5 Cálculo do tempo de arrefecimento da peça .....	103
2.5.3.6 Dimensionamento da espessura mínima da cavidade.....	103
2.5.4. Materiais para moldes de injeção de plástico.....	104
2.5.5. Componentes normalizados para aplicação em moldes .....	108
2.5.6. Processos de fabrico associados à produção de moldes .....	111
2.5.7. Tratamentos térmicos.....	117
2.5.8. Texturização.....	119
2.6. Estudo do fluxo de enchimento em moldes de injeção de plástico.....	123
3. Desenvolvimento.....	125
3.1. Objectivos do trabalho prático .....	125
3.2. Caracterização da empresa que acolheu o projecto.....	125
3.3. Definição da peça injectada pretendida .....	126
3.4. Elencagem dos requisitos emanados pelo cliente.....	127
3.4.1. Características da injectora.....	127
3.4.2. Características do molde .....	127
3.4.3. Características da peça .....	129
3.5. Soluções prévias: Anteprojecto do molde .....	129
3.5.1. Separação da peça em macho e cavidade.....	130
3.5.2. Contração da peça .....	131
3.5.3. Geometria do molde e disposição da peça .....	131
3.5.4. Sistema de extracção da peça.....	134
3.5.4.1. Movimentos laterais.....	134
3.5.4.2. Movimento de extracção.....	137
3.5.5. Extractores.....	139
3.5.5.1. Pernos de retorno.....	140
3.5.5.2. Placas extractoras .....	140
3.5.6. Guiamento e ajuste .....	142
3.5.7. Charneira .....	144
3.5.8. Sistema de injeção .....	145
3.5.9. Sistema de refrigeração do molde.....	146
3.6. Soluções de fabrico.....	147

3.7. Selecção dos materiais para as diferentes zonas do molde.....	153
3.8. Selecção de componentes normalizados para o molde .....	190
3.9. Dimensionamento do molde .....	196
3.10. Dimensionamento das placas e guias.....	197
3.11. Estudo do enchimento do molde e modo de arrefecimento .....	204
3.11.1. Enchimento do molde .....	231
3.12. Dimensionamento dos sistemas móveis .....	233
3.13. Dimensionamento do sistema de arrefecimento .....	235
3.14. Dimensionamento do sistema de ejeção das peças injectadas .....	237
3.15. Processos de fabrico utilizados e respectiva sequência de fabricação .....	242
3.16. Estimativa de custos para o molde .....	245
3.17. Montagem final do molde .....	252
3.18. Ligações eléctricas do molde .....	262
3.19. Teste do molde .....	264
3.20. Acções de correcção implementadas e respectivos resultados .....	267
4. Conclusões.....	271
5. Bibliografia e outras fontes de informação.....	273
5.1. Bibliografia.....	273
5.2. Outras fontes de informação .....	275

# **1. Introdução**

## **1.1. Enquadramento**

A indústria automóvel é uma das mais exigentes em termos de qualidade e produtividade no sector da produção metalomecânica, tendo sido perscrutora no desenvolvimento e introdução de inúmeras tecnologias de produção e sistemas de gestão.

O desenvolvimento de componentes para a indústria automóvel faz-se, normalmente, envolvendo o cliente principal – marca automóvel que detém as linhas de montagem – e os produtores de peças, estando estes ainda hierarquizados em diferentes níveis, em função dos níveis de qualidade para os quais estão certificados e importância dos produtos fabricados. A interação entre estes intervenientes é uma constante, procurando satisfazer os desejos e necessidades do projecto com os meios envolvidos no fabrico, garantia de qualidade e correspondentes custos.

Devido ao seu baixo peso específico, facilidade de transformação e possibilidade de obtenção de peças de geometria complexa com apenas uma operação de fabrico, os polímeros ganharam, durante as últimas décadas, um papel de relevo na indústria automóvel. Associada à indústria de produção de peças injectadas, está, invariavelmente, a indústria de moldes, que possui uma larga tradição no nosso país, com qualidade reconhecida internacionalmente há várias décadas.

Desde o empirismo de outrora, até ao estudo mais técnico e científico da actualidade, o projecto e fabricação de moldes tem conhecido um interessante desenvolvimento, permitindo chegar às soluções finais de uma forma mais célere e com uma maior qualidade. A injeção de plásticos técnicos e, em certos casos, de quantidades apreciáveis de fibras curtas de vidro juntamente com o polímero, têm também imposto novos requisitos aos materiais em que os moldes são realizados, tentando maximizar a sua vida útil e minimizar as intervenções para manutenção. Por outro lado, a complexidade de formas exigida pelo projectista das peças leva a que haja necessidade de um maior engenho por parte de quem projecta os moldes, que passam pela texturização de superfícies e pela conjugação de movimentos dentro do molde, durante o ciclo de injeção do produto.

## 1.2. Objectivos

Este trabalho tem como objectivo principal proceder ao projecto de um molde para a injeção de uma peça para a indústria automóvel, que obedeça aos seguintes requisitos:

- Assegure eficazmente as dimensões requeridas para a peça;
- Assegure os altos índices de qualidade requeridos à superfície da peça;
- Minimize o impacto das linhas de junção do plástico, caso o molde seja provido de vários canais de alimentação;
- Minimize o tempo de ciclo de injeção do produto;
- Assegure a possibilidade de utilização do molde em determinadas máquinas de injeção, através de um correcto dimensionamento das suas placas-base;
- Cumpra todos os outros requisitos especificados pelo cliente final;
- Esteja otimizado em termos de funcionamento;
- Maximize o tempo de vida do molde e minimize as sempre necessárias intervenções de manutenção.

Para a prossecução dos objectivos anteriormente referidos, tornar-se-á necessário:

- Proceder à correcta selecção de materiais para as diferentes zonas do molde;
- Proceder ao desenho do molde, com o correspondente estudo dos movimentos necessários;
- Proceder ao estudo do enchimento do molde e correspondente solidificação da peça, otimizando a injeção e o arrefecimento através de ferramentas informáticas adequadas para o efeito;
- Efectuar o correspondente estudo do processo de fabrico do molde;
- Proceder ao estudo, selecção e optimização de todos os componentes normalizados para o molde;
- Estudar o respectivo processo de montagem;
- Verificar o seu funcionamento;
- Efectuar as correcções finais;
- Proceder à elaboração do presente relatório.

### **1.3. Metodologia**

A elaboração do presente trabalho seguiu a metodologia que seguidamente se descreve:

- Análise das especificações do cliente;
- Pesquisa bibliográfica sobre projecto e dimensionamento de moldes para a injeção de plásticos;
- Pesquisa de componentes normalizados para a correspondente satisfação dos requisitos exigidos pelo molde, através da consulta 'online' e em catálogos;
- Realização do anteprojecto para validação prévia;
- Estudo do fluxo de material dentro do molde e correspondente solidificação;
- Estudo dos canais de arrefecimento necessários;
- Selecção dos materiais para as diferentes zonas do molde;
- Estudo das placas de fixação do molde à máquina de injeção;
- Realização do projecto final;
- Estudo do processo de produção e montagem do molde;
- Realização dos testes de injeção e verificação de possíveis melhorias a implementar;
- Implementação das correcções necessárias;
- Validação final do correcto funcionamento do molde;
- Redacção da presente dissertação.

### **1.4. Estrutura**

A estrutura deste trabalho está assente essencialmente em duas partes: uma Revisão Bibliográfica inicial, onde se pretende enquadrar o leitor com os temas envolvidos nesta dissertação, passando em revista os desenvolvimentos técnicos e científicos que foram publicados em livros e periódicos científicos dedicados à matéria, e o Desenvolvimento do Trabalho Prático propriamente dito, com a referência aos projectos desenvolvidos, soluções encontradas, assim como o tratamento e análise crítica dos resultados.

ESTA PÁGINA FOI, INTENCIONALMENTE, DEIXADA EM BRANCO.

## **2. Revisão bibliográfica**

### **2.1. A fabricação de componentes no sector automóvel: Conceitos gerais**

A indústria automóvel depende fortemente da indústria de componentes para abastecer as suas linhas de montagem com componentes de qualidade. Por exigência da qualidade final do produto (automóvel), a indústria de componentes é obrigada a cumprir rigorosas normas de qualidade, as quais permitem também uma elevada rastreabilidade do produto, para que, em caso de falha, se perceba facilmente o que esteve na origem da mesma, que lote pode ter sido afectado e quais as acções a tomar para que tal não volte a acontecer. Para tal, e aquando do projecto, os fornecedores de componentes são chamados para colaborar no desenvolvimento do produto, com vista a garantir a sua qualidade e competitividade, assegurando simultaneamente um baixo índice de risco de falha na produção, para que os *'timings'* de entrega nunca venham a ser comprometidos.

Uma boa parte dos componentes necessita de ferramentas, as quais são fornecidas, normalmente, por fabricantes com larga experiência nesta área, e que podem colaborar igualmente no desenvolvimento do produto, através de sugestões assertivas para a melhoria da qualidade e produtividade. Normalmente cada ferramenta é única, sendo um conjunto que congrega uma série de componentes *standard* e não *standard*. Trata-se de algo com singularidade e complexidades únicas. A concepção e o fabrico do molde é um estímulo, devido aos problemas e dificuldades que surgem durante o processo de produção. Portanto, existe um forte controlo da evolução do trabalho, para garantir a qualidade e os prazos de entrega.

Na relação entre o cliente e o fornecedor podemos destacar a proximidade do cliente com todo o processo produtivo, desde o processo de orçamentação, concepção e desenvolvimento, até à aprovação do produto final. Durante o processo de desenvolvimento existe uma contínua troca de informações que podem visar alterações geométricas do componente, alterações da ferramenta, prazos de entrega, etc. Esta troca de informação pretende definir correctamente os requisitos do cliente, preencher a suas necessidades, e obter a sua satisfação total.

A fabricação da ferramenta é constituída por vários processos (Figura 1), pelo que se exige uma metodologia bem definida na sua gestão, visando a garantia da qualidade e salvaguardando que todos os requisitos especificados pelo cliente são escrupulosamente cumpridos pela empresa fornecedora da ferramenta, desde o seu desenvolvimento.

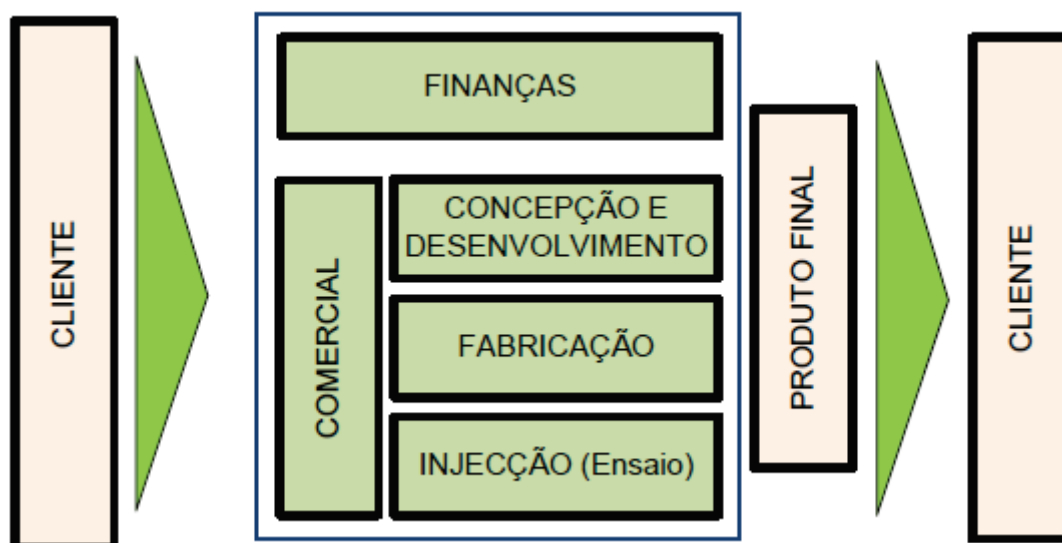


Figura 1 - Mapa de processos (Teixeira, et al., 2011)

O sistema de produção do fabricante de ferramentas apresenta características bastante distintas de outros sectores de actividade, conforme podemos observar na tabela abaixo.

Tabela 1 - Características do sistema de produção na área do fabrico de ferramentas (Cavaco, et al., 2009/10).

Parâmetros	Classificação
Implementação	Por projecto
Fluxo dos materiais	Limite do intermitente
Relação com o cliente	Engenharia por encomenda
Quantidades produzidas do mesmo produto	Unitária (produção à medida do cliente)
Tipologia da estrutura dos produtos	Convergente
Variabilidade dos produtos produzidos	Elevada
Natureza dos produtos	Discreta
Caracterização da procura	Imprevisível
Organização	Flexível

Os principais parâmetros que caracterizam um fabricante de ferramentas são:

- Implementação;
- Fluxo dos materiais;
- Relação com o cliente.
- Quantidades produzidas de um dado produto;

### Quanto à implementação

Trata-se de uma implementação por projecto. Caracterizado por um produto unitário, de elevado custo, adequado a mudanças contínuas e aceitando uma forte variação para o produto (Figura 2).

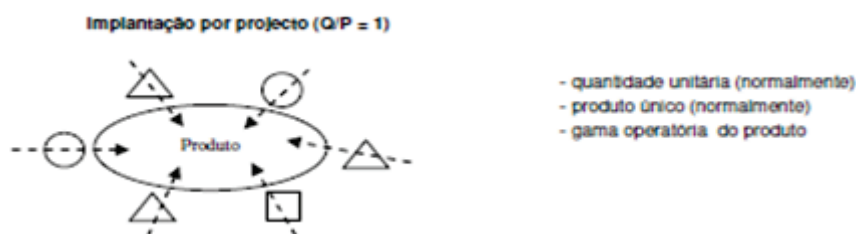


Figura 2 - Diagrama de implantação por projecto (Cavaco, et al., 2009/10).

Q - Quantidade

P - Produto

### Fluxo dos materiais

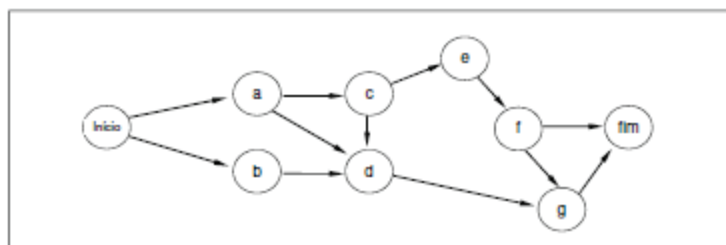
O fluxo dos materiais refere-se ao grau de continuidade que caracteriza o sistema. O fabrico de uma ferramenta caracteriza-se por um fluxo intermitente (Tabela 2), devido à espera que o produto sofre ao longo do seu processo.

**Tabela 2 - Características da produção intermitente (Canevarolo Jr., 2006).**

Factores	Produção intermitente
Processamento em cada momento	Uma ou poucas operações por produto
Nº de ordens de fabrico executadas simultaneamente	Elevado
Entradas no sistema	Variável
Sequência de operações	Múltiplas
Quantidades produzidas a cada momento de cada artigo	Unitária
Condições de trabalho	Frequentemente variáveis
Planeamento	Variável

**Quantidades produzidas de um mesmo produto**

Trata-se da realização de um produto unitário, normalmente produzido uma única vez, de elevada complexidade, que requer a coordenação de muitos recursos e que tem um elevado impacto na organização. Tendo uma natureza única, a separação entre as actividades produtivas directas e funções indirectas não é relevante do ponto de vista do planeamento. O planeamento das actividades deve ter em conta os meios necessários e as relações de dependência física e temporal que devem respeitar (Figura3).

**Figura 3 - Diagrama PERT - CPM (Cavaco, et al., 2009/10)****Relação com o cliente**

A relação produtor da ferramenta - cliente é caracterizada por uma engenharia por encomenda, em que o cliente fornece especificações que devem passar pela peça, tipo de material, aplicação, etc., e a empresa concebe, aprovisiona, fabrica, monta e entrega (Figura 4).



**Figura 4 - Formas de relação com o cliente e tempos de resposta (Cavaco, et al., 2009/10)**

O cliente interage em todas as fases do processo de produção. Essas fases podem ser o pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento.

O papel do cliente começa no pré-desenvolvimento da ferramenta, fornecendo especificações e características pretendidas para a ferramenta. A partir dos recursos disponíveis e dos conhecimentos da empresa, realiza-se um projecto inicial.

Prossegue-se para o desenvolvimento da ferramenta. Nesta etapa, fazem-se as escolhas das melhores soluções de projecto, tais como materiais, processos de fabrico, sistemas agregados, etc. Existe troca de informações entre o cliente e o fabricante, para resolução de incompatibilidades e alteração de especificações, entre outros.

Após o desenvolvimento, seguem-se as etapas de fabrico da ferramenta, montagem e entrega. Nesta fase, podem surgir mudanças ao projecto, mas com menor grau de complexidade, tanto por parte do cliente, como por parte do fabricante. O cliente é actualizado com informações do estado da ferramenta, assim como o fabricante recebe informações das necessidades do cliente.

## 2.2. A importância dos polímeros na indústria automóvel

O grande desenvolvimento dos primeiros polímeros começou nas décadas de 1930 e 1940. O Polietileno (PE), Policloreto de Vinilo (PVC) e Poliestireno (PS) foram alguns dos polímeros desenvolvidos. O PVC e PE são os mais usados em todo o mundo. O PVC contém 57% de Cloro e 43% de Eteno, através do MVC (Mono Cloreto de Vinilo, unidade básica do polímero). Com o processo de polimerização, liga-se formando uma molécula muito maior, conhecida como PVC. O PE é obtido pela polimerização do Etileno.

A indústria automóvel viu nos polímeros um material alternativo aos tradicionais, como o metal, o alumínio ou o vidro. Inicialmente a sua utilização era diminuta, sendo que nos anos 70 cada automóvel tinha, em média, cerca de 30 quilos de polímeros. Gradualmente, a indústria automóvel foi substituindo os materiais tradicionais. Agora, o automóvel tem em média cerca de 200 quilos de polímeros. Algumas das razões para este forte incremento foram um maior conforto, durabilidade, diminuição do ruído e nível de vibrações, diminuição dos custos e forte redução do peso, o que beneficiava fortemente a relação peso/potência.

**Tabela 3 - Vantagens e desvantagens dos polímeros (Materiais usados na concepção de um automóvel., 18/10/2010).**

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Redução de peso	Degradação térmica e ambiental
Redução de emissão de CO <sub>2</sub>	Inflamável
Redução de custo	Baixa resistência ao impacto
Redução do tempo de produção	Dificuldade de adesão da tinta
Diminuição dos investimentos em manufactura	Baixa estabilidade dimensional
Aumento da resistência à corrosão	Baixa resistência química
Formatos mais complexos	Dificuldade em recuperação de peças
Fácil de processar	
Veículos mais silenciosos	
Melhoria da segurança	

As desvantagens enunciadas no quadro anterior referem-se a itens comuns à maioria dos polímeros. No entanto, existem polímeros com propriedades específicas para atender a algumas das exigências normais de uso, como o ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno), que tem elevada resistência a baixas temperaturas. Uma das vantagens dos polímeros foi o seu baixo peso específico comparativamente com aço e vidro, que no automóvel permitiu a diminuição de peso e emissões de CO<sub>2</sub>.

Na indústria automóvel, o custo de cada componente é extremamente importante. O polímero veio diminuir o tempo de produção dos componentes, eliminando etapas de fabrico e elevando fortemente as cadências de produção. Por outro lado, este trouxe uma enorme flexibilidade ao projecto, na obtenção de peças mais complexas e aerodinâmicas, assim como permitindo novos detalhes no seu acabamento final, facto que representa para a indústria automóvel uma efectiva vantagem, devido ao aparecimento de componentes com *design* cada vez mais arrojado e elaborado. A nível da segurança, permitiu a criação de airbags, cintos de segurança e pára-choques, que realmente amortecem o choque.

Antes de serem utilizados, os polímeros são normalmente aditivados. Estes aditivos podem ter inúmeras funções, entre as quais se destaca conferir cor ao componente. O polímero tem, normalmente, uma cor bem definida mas, na indústria automóvel, existe a necessidade permanente de permitir que o cliente do automóvel possa optar por uma vasta lista de cores para um mesmo componente, sendo fácil proceder a este ajuste através da alteração do aditivo. Contudo, existem outros aditivos com funções completamente distintas, mas não menos importantes, tais como a protecção contra a oxidação e envelhecimento por incidência de raios ultra violetas ou diminuição do custo (através da inserção de cargas, que podem ter origem na reciclagem de outros polímeros).

Seguidamente é realizada uma breve resenha histórica da evolução dos polímeros, desde o início da sua produção.

**1920-1950:** São desenvolvidos o PVC (Policloreto de Vinilo), PMMA (Polimetacrilato de Metilo), PS (Poliestireno), PA (Poliamida), PE (Polietileno), Silicone, PUR (Poliuretano), ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) e Poliéster, entre outros.

**1924:** São criadas as fibras de Acetato de Celulose.

**1950:** Existe uma popularização da tecnologia de polímeros pelo desenvolvimento do Polipropileno (PP), Espumas de Poliuretano, PE linear, Poliacetais (POM) e Policarbonatos (PC).

**1960:** Surgem os polímeros de engenharia, materiais de alto desempenho, com diversas aplicações. Aparecem elastómeros termoplásticos. Surgem os primeiros tanques de combustível e sacos de supermercado produzido sem PE de alta densidade (PEAD), lentes de contacto flexíveis e garrafas de Polietileno Tereftalato (PET). Mais recentemente, surgiram novas tecnologias, como polímeros de cristais líquidos, polímeros condutores de electricidade, Polisilanos, etc.

Os polímeros (Tabela 4) mais usados na indústria automóvel são:

- PP- Polipropileno;
- PE – Polietileno;
- PS – Poliestireno;
- PVC – Policloreto de vinilo;
- ABS – Acrilonitrilo butadieno estireno;
- PA – Poliamida, Nylon<sup>®</sup>;
- PUR – Poliuretanos;
- POM – Polioximetileno ou Poliacetal;
- PBT – Tereftalato de polibutileno;
- UP-FV – Poliéster insaturado com fibra de vidro.

**Tabela 4 - Propriedades e aplicações dos principais tipos de polímero (Materiais usados na concepção de um automóvel., 18/10/2010).**

Polímero	Propriedades	Aplicações
Polietileno de alta densidade (HDPE)	Resistência a calor e solventes Baixo custo	Caixa do triângulo de emergência, Protecção anti-cascalho, Reservatório de água do pára-brisas, Depósito de combustível
Polipropileno (PP)	Alta resistência química Estabilidade Flexibilidade Baixo custo Resistência a riscos	Caixa da bateria, Caixa de ferramentas, Caixa de 1 socorros, Caixa eléctrica, Carpetes, Cobertura da bateria, Volante, Cobertura dos amortecedores, Condutas de ar, Sistemas de refrigeração do motor, Painel de instrumentos, Pára-Choques, Porta-Luvas, Revestimentos, Ventilador
Politóxido de metileno (POM)	Excelente estabilidade dimensional Baixa absorção de água Resistência à fadiga	Limpa-para-brisas, Cintos de segurança, espelhos retrovisores, Fechaduras, Circuito de combustível
Poli(sulfeto de fenileno) (PPS)	Elevada rigidez Boas propriedades mecânicas Transparência	Carcaça dos faróis, Suporte da bobina, Válvulas do filtro de ar
Polycarbonato (PC)	Semelhança com o vidro Alta resistência ao impacto Boa estabilidade Boas propriedades eléctricas	Faróis, Painel de instrumentos
Poliuretano (PU)	Absorção de Energia Isolamento	Pára-choques, Estofos dos bancos
Poliamida (PA)	Resistência à tensão e às altas temperaturas	Engrenagens, airbag, conectores
Copoli(estireno-butadieno-acrilonitrila) (ABS)	Resistência à corrosão Resistência química Resistência ao impacto	Grades, Painel de instrumentos
Copolifestireno-acrilonitrila (SAN)	Resistência às baixas temperaturas e ao impacto	Grades de ventilação
Poli(cloreto de vinila) (PVC)	Resistência à chama	Filtros de ar e de óleo, Revestimentos
Poli(óxido de metileno)/poliamida (Noryl GTX)	Resistência ao impacto, solventes e altas temperaturas	Guarda-lamas
Poli(tereftalato de butileno)	Resistência mecânica e química Resistência a altas temperaturas	Painel de instrumentos, Pára-choques, Spoilers
Poli(tereftalato de etileno) (PET)	Resistência mecânica, térmica e química	Componentes eléctricos

Os polímeros, em muitos casos são usados no seu estado natural ou com uma ligeira percentagem de aditivos que visam essencialmente modificar a cor, reduzir o custo, melhorar a resistência ao envelhecimento, etc. Contudo, é também muito frequente adicionarem-se reforços como aditivo, para melhorar as propriedades mecânicas do polímero. Um dos reforços que mais se destaca é a fibra de vidro. Os polímeros com reforço de fibra de vidro são usualmente referidos como PRFV (Plásticos Reforçado com Fibras de Vidro). A fibra de vidro é um aglomerado de finíssimos filamentos flexíveis de vidro que, juntamente com resina poliéster (ou outro tipo de resina), e posterior aplicação de uma substância catalisadora de polimerização, resulta num material compósito, com muito boas propriedades, das quais se podem destacar as seguintes:

**Ótimas propriedades mecânicas:** Os plásticos reforçados com fibras de vidro tem elevada resistência à tracção, flexão e impacto, sendo muito utilizados em aplicações estruturais.

**Leveza:** A fibra de vidro é bastante leve. Os laminados moldados por contacto apresentam peso específico na ordem dos  $1.4 \text{ kg/dm}^3$ , contra  $2.7 \text{ kg/dm}^3$  para o alumínio e  $7.8 \text{ kg/dm}^3$  para o aço.

**Alta rigidez dieléctrica:** A fibra de vidro não conduz corrente eléctrica, sendo usada como isolante estrutural em condições adversas.

**Flexibilidade de projecto:** Os plásticos reforçados com fibras de vidro permitem ampla flexibilidade de projecto, possibilitando a moldagem de peças complexas, grandes ou pequenas, sem emendas e com grande valor funcional e estético.

**Estabilidade dimensional:** As peças realizadas em PRFV mantêm inalteradas as suas formas e dimensões em condições de uso extremas. O baixo coeficiente de dilatação térmica, aliado à diminuta absorção de água, permite o seu uso em paralelo com peças metálicas em aplicações sujeitas a grandes variações de temperatura e humidade.

**Resistência à corrosão:** A fibra de vidro não se degrada devido à corrosão e tem excepcional resistência a ambientes altamente agressivos, comparativamente aos materiais convencionais. A resistência química é determinada pela resina e construção do laminado.

**Integração de peças:** A fibra de vidro permite a moldação de peças inteiriças complexas, sem emendas, juntas, parafusos ou rebites.

**Moldes simples e baratos:** Os PRFV podem ser conformados em moldes simples e baratos, viabilizando a comercialização de peças grandes e complexas, mesmo com baixos volumes de produção.

**Baixo custo de acabamento:** Geralmente, as peças compósitas PRFV são moldadas na cor desejada, com uma camada externa de *gel-coat*, dispensando pintura ou outro tipo de acabamento.

**Baixo custo de manutenção:** Os componentes realizados em PRFV apresentam custos de manutenção baixos, devido à alta inércia química e óptima resistência às intempéries.

### 2.3. Propriedades requeridas aos polímeros para injeção

Os polímeros, tal como o aço ou alumínio, apresentam características que têm que ser consideradas no momento da selecção do material (Canevarolo Jr., 2006).

As propriedades devem ser consideradas segundo diferentes grupos:

- Químicas;
- Mecânicas;
- Eléctricas;
- Térmicas;
- Ópticas;
- Reológicas.

#### 2.3.1. Propriedades químicas

As propriedades químicas (Tabela 5) estão intimamente relacionadas com a composição e estrutura do polímero (Mano, 1991).

Tabela 5 - Algumas propriedades químicas dos polímeros.

Propriedades	Observações
Resistência à oxidação	Esta resistência é maior em polímeros com macro moléculas saturadas (com ligações simples entre átomos de carbono), como o PE,PP e outras Poliolefinas. Nos polímeros insaturados (com ligação dupla entre átomos de carbono), como as borrachas, pode ocorrer a oxidação através dessas ligações e rotura das cadeias, diminuindo a resistência mecânica.
Resistência a radiações ultravioletas	Os polímeros de estrutura insaturada apresentam baixa resistência às radiações ultravioleta, que são absorvidas, gerando facilmente radicais livres quando expostos à luz solar. Pode ocorrer uma eventual modificação das propriedades mecânicas pelo endurecimento do material ou pela formação de ligações cruzadas. Os polímeros como o PP ou o PE de baixa densidade podem sofrer uma fragmentação quando expostos prolongadamente à luz solar.

Resistência à absorção de água	A absorção de água faz aumentar a dimensão das peças e dificulta o trabalho de precisão. A existência de grupos na cadeia, capazes de fazer pontes de hidrogénio, aumenta essa capacidade de absorção.
Resistência a ácidos	Em geral, o contacto dos polímeros com ácidos pode provocar a destruição parcial das moléculas poliméricas, se existirem grupos sensíveis à reacção com ácidos. As resinas melamínicas e os produtos celulósicos alteram-se quimicamente em meio ácido, mesmo diluído.
Resistência a bases	As soluções alcalinas (básicas) aquosas são bastante agressivas para os polímeros, nas estruturas que apresentam certos agrupamentos como a carboxila, hidroxila, fenólica e éster.
Resistência a solventes e reagentes	Depende da interacção molecular entre o solvente e o soluto. Quando existe uma maior afinidade das moléculas do solvente com o polímero, do que entre si, as moléculas penetram nas cadeias macro- moleculares, formando reacções do tipo dipolo-dipolo, forças de <i>Van der Waals</i> ou pontes de hidrogénio, que permitem a sua dissolução.
Inflamabilidade	Quando o polímero é aquecido, vai sofrer alterações físicas e químicas, até que seja decomposto em produtos voláteis. Dependendo da natureza química do polímero, esta decomposição térmica varia, em polímeros com fácil decomposição térmica, como nitrato de celulose, que apresenta uma elevada rapidez de combustão. Os polímeros termoendurecíveis, tais como as resinas fenólicas, têm uma maior dificuldade de combustão, sendo por isso usadas em peças do ramo eléctrico. Os polímeros com anéis aromáticos e com ausência de cadeias parafínicas permitem um retardamento da inflamabilidade, não conseguindo manter a chama devido à formação de CO <sub>2</sub> por parte de grupos éster.
Resistência à degradação térmica	Dependendo do polímero, o calor pode formar radicais livres na molécula juntamente com oxigénio (do ar), provocando a ruptura das ligações covalentes dos átomos nas cadeias macromoleculares insaturadas, ou em cadeias de carbono terciário. Os polímeros clorados são muito sensíveis à degradação térmica durante o processamento, devido à fácil ruptura das ligações carbono-cloro.

### 2.3.2. Propriedades mecânicas

O comportamento mecânico dos polímeros difere em relação ao dos metais, apresentando um comportamento intermédio entre o de um sólido elástico e o de um líquido viscoso, Newtoniano. A predominância de um carácter viscoso ou elástico a uma solicitação mecânica depende do essencialmente do tempo. A aplicação de uma tensão durante um longo intervalo de tempo provoca normalmente um escoamento viscoso, sendo uma deformação permanente do polímero.

Aplicação de uma deformação muito rápida não dá tempo as moléculas do polímero, se ajustarem induzindo uma resposta elástica.

Verifica-se que o módulo de elasticidade e a viscosidade variam sendo característico de comportamento viscoelástico.

#### Comportamento viscoelástico dos polímeros

Quando o comportamento de um polímero é analisado existem alguns factores que devem ser levados com maior relevância, como a massa molar, as temperaturas de transição vítrea ( $T_g$ ) e de fusão ( $T_m$ ), a que temperatura é analisado o comportamento do polímero. Através da figura a podemos observar a variação da massa molar com a temperatura, e os vários estados em que os polímeros se podem encontrar (Canevarolo Jr., 2006).

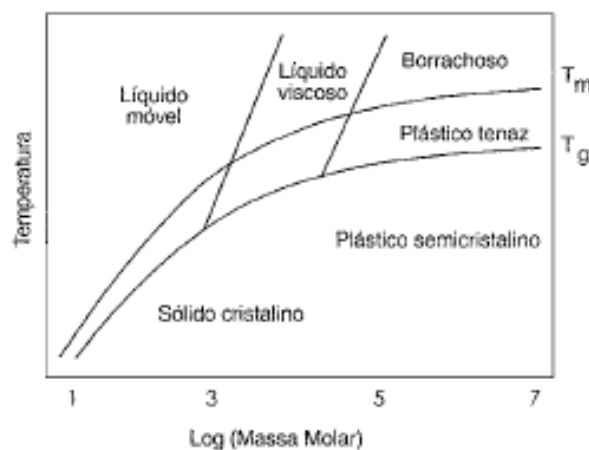


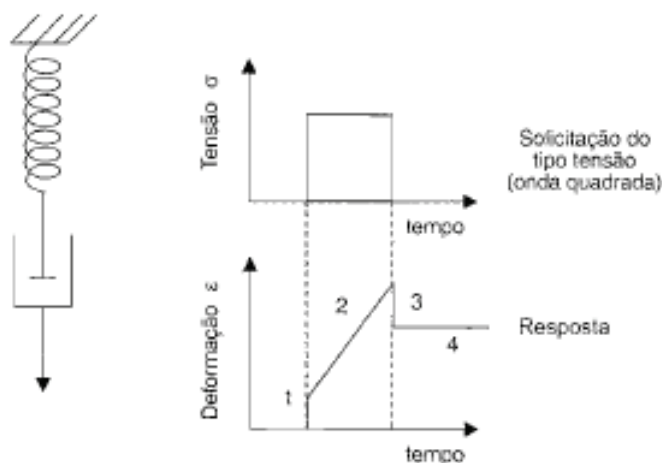
Figura 5 - Relação da massa molar com a temperatura (Canevarolo Jr., 2006).

Existem modelos que representam fisicamente o comportamento viscoelástico do polímero perante uma solicitação, que podem ser tratados matematicamente. A parte elástica da deformação é representada por uma mola que reflecte um comportamento que segue a lei de *Hooke*. A parte plástica é representada por um amortecedor que segue um comportamento Newtoniano (Canevarolo Jr., 2006).

$$\text{Comportamento elástico de uma mola ideal: } \sigma = \frac{E}{\varepsilon} \quad (1)$$

$$\text{Comportamento plástico de amortecedor: } \sigma = \eta \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (2)$$

No **Modelo de Maxwell** (Figura 6), a mola e o amortecedor estão dispostos em série. A deformação resultante é a soma da mola que responde instantaneamente, e do amortecedor que responde de forma linear no tempo.

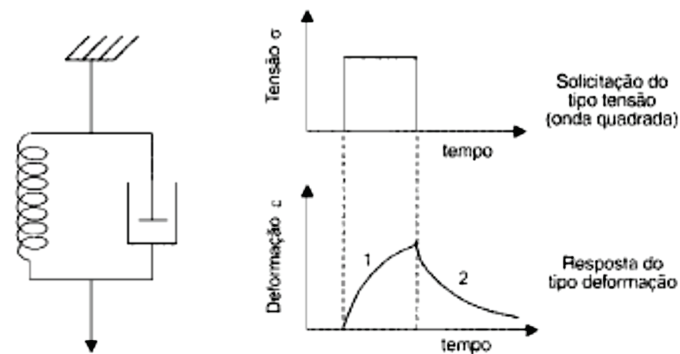


**Figura 6 - Esquema representativo do modelo de Maxwell (Canevarolo Jr., 2006).**

Verifica-se que a curva deformação *versus* tempo é independente para cada elemento, com as seguintes componentes:

- 1- Deformação elástica instantânea (mola);
- 2- Deformação plástica dependente do tempo (amortecedor);
- 3- Recuperação elástica instantânea (mola);
- 4- Deformação plástica residual irreversível (amortecedor).

No **Modelo de Voigt**, a mola e o amortecedor estão dispostos em paralelo. Ao aplicar uma solicitação, verifica-se que a deformação varia com o tempo, como é demonstrada na figura abaixo.

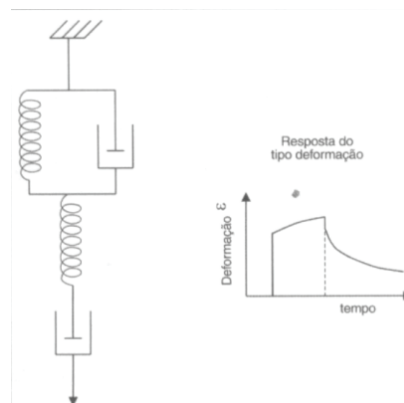


**Figura7 - Esquema representativo do Modelo de Voigt (Canevarolo Jr., 2006).**

Verifica-se que a curva de deformação *versus* tempo é dependente dos dois elementos, sendo que:

- 1- Deformação elástica é retardada por uma componente viscosa;
- 2- Recuperação elástica é retardada pela componente viscosa: a recuperação total acontece, mas num tempo muito longo, teoricamente infinito ( $t=\infty$ ).

O **Modelo de Maxwell-Voigt** (Figura 8) resulta da associação dos dois anteriores modelos. Este modelo explica melhor o comportamento viscoelástico. Podemos ver, na figura abaixo, a associação em série dos dois casos.



**Figura 8 - Esquema representativo do Modelo Maxwell-Voigt (Canevarolo Jr., 2006).**

A curva de deformação pode ser função de um elemento, individualmente, ou da acção conjunta de dois elementos. Este modelo aproxima-se melhor ao comportamento real, tendo em consideração a resposta elástica instantânea e uma deformação plástica residual.

### Fluência (*Creep*)

A fluência é uma característica de elevada dependência das propriedades mecânicas com o tempo. O fenómeno de fluência é observado através de uma solicitação de tracção, compressão ou flexão numa amostra, a qual se vai deformar continuamente no tempo. Este fenómeno acontece, por exemplo, no pneu de um automóvel, quando este está parado muito tempo.

Num material polimérico, a curva de fluência é usualmente descrita como mostra a figura abaixo. Inicialmente, a fluência tem uma taxa de deformação muito rápida, após o carregamento, a qual se vai desvanecendo com o tempo.

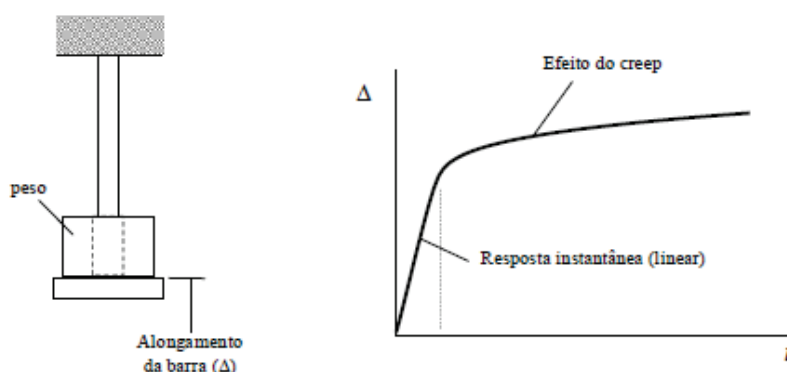


Figura 9 - Fenómeno de deformação por fluência (Marczak, 2004).

As estruturas dos termoendurecíveis, providas de ligações cruzadas, resistem melhor à fluência do que os termoplásticos. Aditivos como a fibra de vidro ou de carbono reduzem drasticamente a fluência nos plásticos (Marczak, Janeiro de 04). O comportamento à fluência do polímero é afectado por:

- Carga (tensão);
- Temperatura;
- Duração da carga;
- Ambiente.

O Módulo de fluência a carga constante (fluência linear) pode ser expresso através da equação seguinte:

$$J(t) = \frac{\varepsilon(t)}{\sigma} \quad (3)$$

J - Módulo de Fluência ( $\text{mm}^2/\text{N}$ )

$\varepsilon$  - Deformação (mm/mm)

$\sigma$  - Tensão aplicada (MPa)

O Módulo de Relaxação, tendo por base uma deformação constante, pode ser expresso através da equação seguinte:

$$Y(t) = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon} \quad (4)$$

Y - Módulo de relaxação (MPa)

Esta variável tem grande importância em aplicações como vedações, espaçadores, encaixes sob pressão e peças aparafusadas, já que a carga de montagem não é mantida ao longo da vida do componente (Marczak, Janeiro de 04).

Por vezes, tensões/deformações muito baixas apresentam relaxação considerável (Marczak, Janeiro de 04). As figuras seguintes mostram a variação do alongamento no tempo, para diferentes cargas constantes, em que, para cargas baixas, a relaxação apresenta um valor pouco significativo.

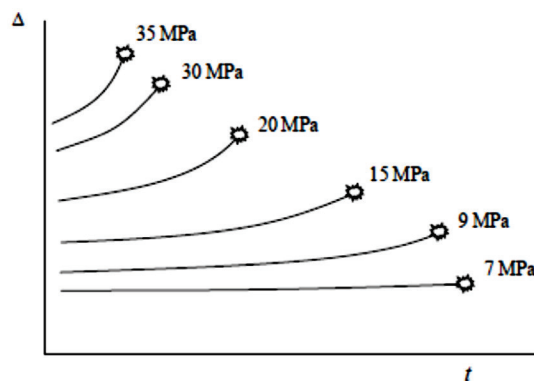


Figura 10 - Alongamento em função do tempo, para diversos níveis de tensão (Marczak, 2004).

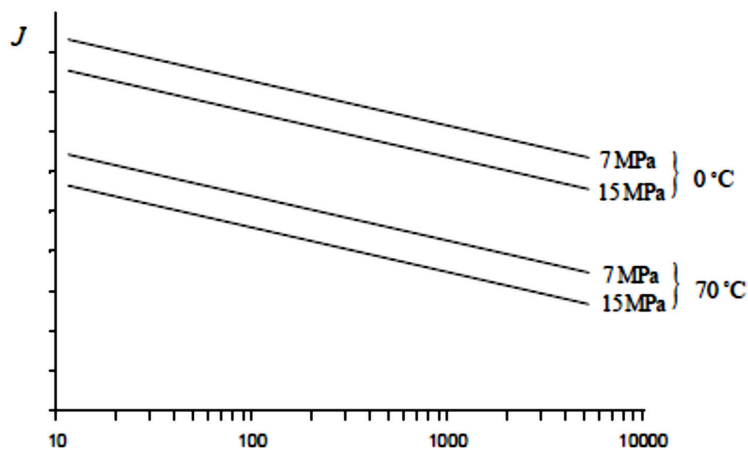


Figura 11 - Módulo de fluência em função do tempo para diferentes tensões (Marczak, 2004).

### Peso molecular

Os polímeros não possuem um único peso molecular, mas sim uma distribuição de pesos moleculares. O cálculo do peso molecular médio pode ser realizado através da seguinte expressão:

$$M_n = \frac{\sum N_i M_i}{\sum N_i} \quad M_w = \frac{\sum n_i M_i^2}{\sum n_i M_i} = \frac{\sum W_i \cdot M_i}{\sum W_i} \quad (5)$$

$N_i$  - Número de moléculas  $i$  com o peso  $M_i$

$M_n$  - Peso molecular numérico médio

$M_w$  - Peso ponderal médio

O peso molecular tem influência na deformação do polímero: o seu incremento altera a viscosidade, elevando o seu valor e aumentando a resistência à deformação.

Seguidamente, são ainda enumeradas algumas das propriedades mecânicas mais comuns para qualquer material, independentemente de estarmos a tratar de polímeros ou não (Tabela 6).

**Tabela 6 - Propriedades mecânicas mais comuns nos polímeros (e outros materiais).**

<b>Propriedades</b>	<b>Observações</b>
Resistência à tracção	Os polímeros apresentam baixa resistência à tracção, não ultrapassando os 10 kgf/mm <sup>2</sup> , mas, com adição de fibras, este valor aumenta.
Alongamento até à ruptura	O alongamento na ruptura pode ser correlacionado quantitativamente com a estrutura do polímero. Materiais com grande teor de ligações cruzadas, como os utilizados nas espumas rígidas, são resistentes e duros, porém quebradiços, enquanto os elastómeros e as espumas flexíveis têm alongamento na ruptura muito superior.
Módulo de elasticidade	O módulo de elasticidade de um material é responsável pela rigidez do componente e, por isso, tem um papel importante durante a selecção do material. No caso dos polímeros, deve-se levar em conta que o módulo de elasticidade é muito mais susceptíveis às variações de temperatura do que se está acostumado com os metais.
Resistência à fadiga	A resistência à fadiga depende da composição química do polímero, da temperatura, da frequência do carregamento e da amplitude das tensões e deformações. Estas variáveis podem favorecer fenómenos viscoelásticos.
Resistência ao impacto	A resistência ao impacto varia entre os polímeros, sendo o Policarbonato o mais resistente.
Dureza	As ligações cruzadas aumentam a dureza, enquanto a adição de plastificantes ao polímero a diminuem. Os polímeros são bastante menos duros do que os metais e cerâmicos.
Coefficiente de atrito	Varia com o tipo de polímero, situando-se normalmente entre os 0.2 e os 0.8. Porém, o Teflon <sup>®</sup> exibe um coeficiente muito baixo, de apenas 0.02, enquanto as borrachas macias têm um coeficiente de atrito muito mais elevado (4 ou mais).
Abrasão	A capacidade dos polímeros em resistir ao desgaste provocado pelo atrito varia, sendo o Poliuretano aquele que apresenta maior resistência à abrasão.

Densidade	Indica a estrutura química e organização molecular dos polímeros. Os cristalinos a estrutura é mais compacta, sendo mais densos. Nos amorfos é mais volumosa, sendo menos densos.
Estabilidade dimensional	Os cristalinos têm uma boa estabilidade dimensional, tendo uma boa coesão molecular.

### **2.3.3. Propriedades eléctricas**

Os materiais poliméricos são considerados maus condutores de electricidade, sendo excelentes isolantes. Os polímeros têm baixa densidade de electrões livres e, por isso, não permitem a adequada mobilidade dos electrões, tornando-os bons isolantes.

A adição de cargas condutoras, como limalha de ferro, melhora a condutividade eléctrica dos polímeros. Esta melhoria da condutividade eléctrica evita a acumulação de electricidade estática, que é prejudicial para algumas aplicações.

O desenvolvimento do mercado levou à criação de polímeros especiais, com elevada condutividade eléctrica. Estes polímeros têm ligações duplas conjugadas e são dopados com agentes oxidantes ou redutores.

As principais características eléctricas dos polímeros são a rigidez dieléctrica, resistividade, constante dieléctrica, factor de potência e resistência ao arco.

### **2.3.4. Propriedades térmicas**

As propriedades térmicas têm uma importância relevante na temperatura de injeção, sendo esta superior à temperatura de transição vítrea. O controlo da temperatura de injeção é essencial, para que se verifique o enchimento da cavidade e se evite a degradação do plástico pelo excesso de temperatura. Estas propriedades devem ser consideradas logo ao nível do projecto da peça, pois têm implicações directas na temperatura de trabalho da peça e na sua deformação com o aumento da temperatura e nível de isolamento térmico.

## Temperatura de transição vítrea ( $T_g$ )

Existem algumas características estruturais que influenciam a  $T_g$ , tais como:

- A rigidez e flexibilidade da cadeia principal;
- Polaridade;
- Efeito estérico do grupo lateral;
- Massa molar;
- Isometria;
- Simetria;
- Ramificações;
- Calor específico;
- Condutividade térmica;
- Expansão térmica;
- Fusão cristalina;
- Temperatura de distorção ao calor.

### A rigidez e flexibilidade da cadeia principal

O oxigénio e o enxofre formam ligações flexíveis com o carbono, enquanto o p-fenileno vai promover a rigidez devido ao seu anel benzénico (Figura 12). O p-fenileno representa um grupo rígido dentro da cadeia principal, que vai aumentar a rigidez e a temperatura de transição vítrea,  $T_g$ .

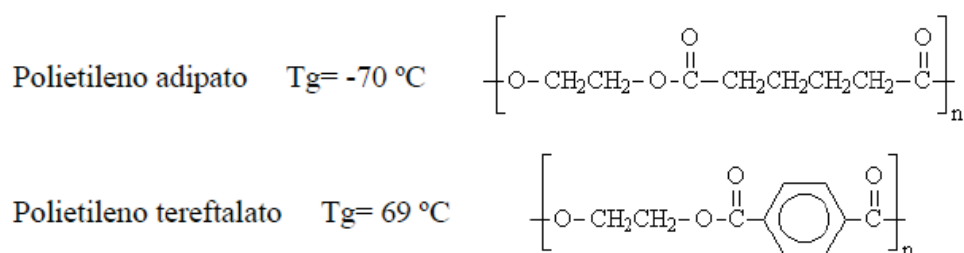


Figura 12 - Influência do anel benzénico na  $T_g$  (Canevarolo Jr., 2006)

## Polaridade

A ligação a grupos polares tais como o CO, OH ou CN, vai aproximar as cadeias entre si, aumentando as forças secundárias e aumentando a  $T_g$  e  $T_m$  (Figura 13).

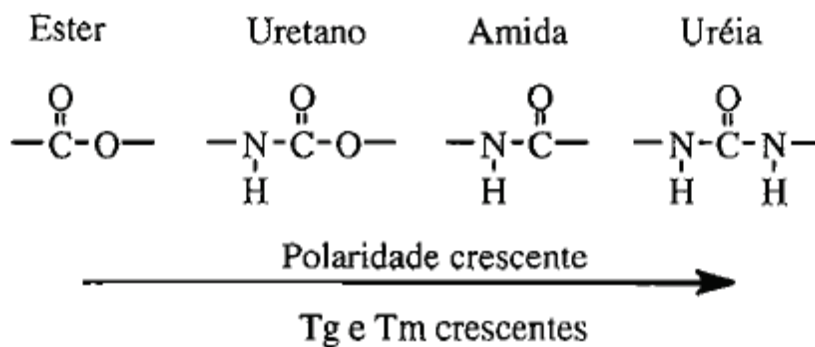


Figura 13 - Relação da polaridade com a  $T_g$  e a  $T_m$  (Canevarolo Jr., 2006).

## Efeito estéreo do grupo lateral

A ligação de um grupo lateral volumoso vai exigir uma maior energia para que a cadeia adquira mobilidade, o que vai aumentar a  $T_g$  e a  $T_m$ . Contudo, os grupos volumosos vão dificultar o empilhamento atômico, diminuindo a cristalização como podemos verificar na tabela abaixo [ (Canevarolo Jr., 2006)].

Tabela 7 - Relação das temperaturas  $T_g$  e  $T_m$  com os grupos laterais (Canevarolo Jr., 2006).

Polímero	Mero	Grupo lateral	$T_g$ (°C)	$T_m$ (°C)	%C <sup>(1)</sup>
Polietileno PE	$\left[ \text{CH}_2\text{CH}_2 \right]_n$	Nenhum	-100 a -85	135	90
Policloreto de vinila PVC	$\left[ \text{CH}_2\text{-CH} \right]_n$   Cl	Cloro	87	212	15
Poliestireno PS (2)	$\left[ \text{CH}_2\text{-CH} \right]_n$   	Fenil	100		-

<sup>(1)</sup> Percentagem de cristalinidade, <sup>(2)</sup> PS atático

O comprimento dos grupos laterais influencia a distância das cadeias principais. Com o aumento desta distância, as forças secundárias vão diminuir, assim como a  $T_g$  e  $T_m$ .

### Massa molar

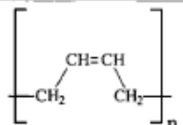
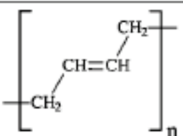
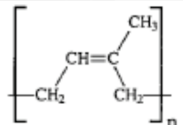
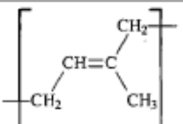
O aumento da massa molar (aumento do comprimento da molécula) vai incrementar a  $T_g$  por efeito de diminuição do volume livre. Normalmente, os valores  $T_g$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) fornecidos referem-se a um polímero com a massa molar a tender para infinito. Com massas molares mais baixas, a  $T_g$  vai diminuir. A equação abaixo permite obter uma  $T_g$  para polímeros com massas molares mais baixas.  $K$  é uma constante que depende do polímero, enquanto  $M_n$  ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) representa a massa molar e  $T_g^{\infty}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) a temperatura vítrea quando a massa molar tende para o infinito (Canevarolo Jr., 2006).

$$T_g = T_g^{\infty} - K\left(\frac{1}{M_n}\right) \quad (6)$$

### Isometria

A isometria refere-se a compostos químicos que têm a mesma fórmula química, mas diferente estrutura molecular (Tabela 8). Polímeros com diferentes isometrias alteram a mobilidade da cadeia.

**Tabela 8 - Relação isomeria com temperaturas de  $T_g$  e  $T_m$  (Canevarolo Jr., 2006).**

Polímero	Mero	$T_g$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_m$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
Poli-cis-butadieno		-95	2
Poli-trans-butadieno		-83	145
Poli-cis-isopreno		-72	25
Poli-trans-isopreno		-60	57

## Simetria

A simetria dos grupos laterais (Tabela 9) influencia a  $T_g$  e  $T_m$ . A existência de uma simetria desses mesmos grupos em relação à cadeia principal vai exigir níveis de energia mais baixos para a temperatura de transição.

Tabela 9 - Simetria e temperaturas de  $T_g$  e  $T_m$  (Canevarolo Jr., 2006).

Polímero	Merco	$T_g$ (°C)	$T_m$ (°C)	$T_g/T_m$ (K/K)
Policloreto de vinila PVC	$\left[ \begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} \\   \\ \text{Cl} \end{array} \right]_n$	87	212	0,53
Policloreto de vinilideno PVDC	$\left[ \begin{array}{c} \text{Cl} \\   \\ \text{CH}_2 - \text{C} \\   \\ \text{Cl} \end{array} \right]_n$	-19	198	0,74

## Ramificações

Verifica-se que o incremento das ramificações vai aumentar o volume livre. Isto facilita o movimento, diminuindo a energia para atingir a temperatura de transição vítrea (Canevarolo Jr., 2006).

## Calor Específico

O calor específico é a quantidade de energia térmica necessária para aumentar a temperatura do polímero, sendo definido como a quantidade de calor necessária para aumentar a temperatura da massa unitária do material em 1°C. Nos materiais de estrutura cristalina, é necessária uma maior quantidade de energia para transitar de estado. Esta propriedade influencia o dimensionamento da rosca e cilindro na injeção (principalmente nos semi-cristalinos).

## Condutividade térmica

Os polímeros têm uma baixa condutividade térmica, pelo que são utilizados muitas vezes como isolantes, como no caso das espumas.

### **Expansão térmica**

A expansão térmica reflecte o aumento do volume devido à subida de temperatura. No dimensionamento da cavidade de um molde de injeção, deverá existir a devida compensação para este aumento de volume.

### **Fusão cristalina**

O polímero, no estado fundido, apresenta-se como uma massa irregular com as cadeias macromoleculares emaranhadas em maior ou menor grau. Em função das condições de arrefecimento, as cadeias podem formar regiões de estrutura ordenada, cristalina, descontínua, geralmente lamelar, interligadas por segmentos dessas cadeias (Mano, 1991).

### **Temperatura de distorção ao calor**

A temperatura a partir da qual o escoamento viscoso é mais pronunciado é normalmente descrita pela sigla HDT (*Heat Distortion Temperature*). A resistência e módulo de elasticidade dos polímeros são drasticamente reduzidos com o aumento da temperatura ambiente. Nos polímeros termoplásticos, a HDT situa-se normalmente abaixo dos 100°C, enquanto nos termoendurecíveis esta não ocorra, embora se verifique a degradação progressiva do material (Mano, 1991).

### **2.3.5. Propriedades ópticas**

As propriedades ópticas dos polímeros podem dar informações cruciais sobre a estrutura e ordenamento moleculares, bem como sobre a existência de tensões ou regiões sob deformação.

### **Transparência**

A transparência à luz visível é apresentada por polímeros amorfos ou com baixo grau de cristalinidade, sendo quantitativamente expressos pela transmitância, que é a razão entre a

quantidade de luz que atravessa o meio e a quantidade de luz que incide paralelamente à superfície. Nos polímeros mais comuns, este valor pode alcançar 92%.

### Índice de refração

É a razão entre a velocidade da radiação electromagnética no vácuo e a velocidade no meio em estudo, determinando-se a diminuição da velocidade da luz quando passa do vácuo para o meio transparente e opticamente isotrópico. A maioria dos polímeros tem índice de refração na faixa de 1.45-1.60, sendo excepções o PET (1.7) e a borracha natural (1.2) (Mano, 1991).

### 2.3.6. Propriedades reológicas

De uma maneira geral, a reologia é a ciência que estuda a deformação e o fluxo da matéria. Na moldação por injeção, as propriedades reológicas assumem uma importância significativa no escoamento do material fundido. A reologia, com o estudo dos materiais poliédricos, permite:

- Prever o comportamento do polímero durante o processamento;
- Obter condições ideais para os processos de transformação dos polímeros;
- Definir o ponto de injeção de modo a evitar a ocorrência de anomalias durante a fusão.

A reologia classifica o estado sólido, líquido ou gasoso, através do número de Deborah ( $D_e$ ) (Barra).

$$De = \frac{\lambda_r}{t} \quad (7)$$

t - tempo de aplicação da tensão (s)

$\lambda_r$  - tempo até que ocorra algum relaxamento molecular (s)

Os sólidos apresentam  $D_e$  que tendem para infinito, enquanto nos fluidos viscosos  $D_e$  tende para zero. Os polímeros apresentam  $0 < D_e < \infty$ .

O escoamento do material tem um comportamento complexo, mesmo em secções simples. O material, ao entrar em contacto com as paredes frias do molde, começa instantaneamente a solidificar, formando uma casca, que vai aumentar as taxas de corte, diminuindo assim a secção efectiva de escoamento. No perfil do escoamento (Figura 14), existem diferenças de temperatura, a qual é menor junto à parede. Isto permite que no centro do perfil do escoamento a viscosidade seja inferior em relação à parede, o que vai causar um escoamento em fonte. Este tem um elevado efeito na orientação molecular e, por consequência, nas propriedades mecânicas finais (Reis, 2013).

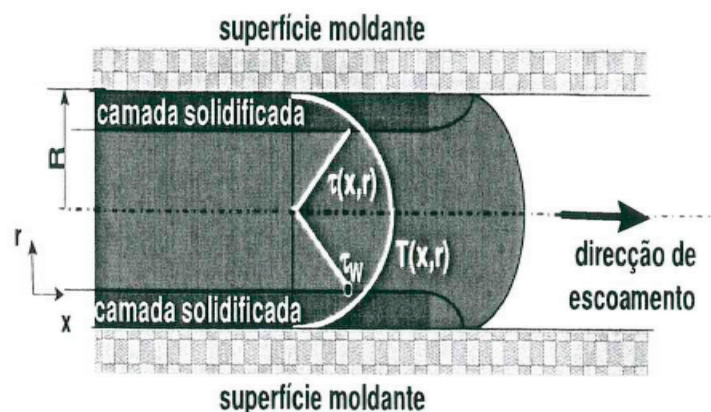


Figura 14 - Perfil de escoamento (Reis, 2013).

Existem outros efeitos de origem reológica como as linhas de soldadura e o efeito de jacto. As linhas de soldadura são causadas por uma obstrução do fundido, no qual a frente se separa, voltando-se a unir, induzindo diferentes graus de orientação no material, que podem originar diferentes morfologias e tensões internas. O jacto consiste no escoamento não homogêneo (não laminar) para dentro da cavidade. Após o ataque (orifício de injeção), o fundido é expelido de encontro à parede da cavidade. A diminuição da velocidade de injeção e alteração do ataque pode minimizar este efeito.

### Tipos simples de escoamento

Os escoamentos reais são complexos do ponto de vista dos campos de deformação, velocidades e tensões que neles se desenvolvem. No entanto, estes desenvolvem-se a partir da conjugação de escoamentos mais simples.

### Escoamento de corte

As tensões tangenciais (Figura 15) à superfície são as únicas tensões aplicadas no corpo. Neste escoamento, as linhas de fluxo são paralelas entre si, correspondendo à tensão de corte, deformação e taxa de corte.

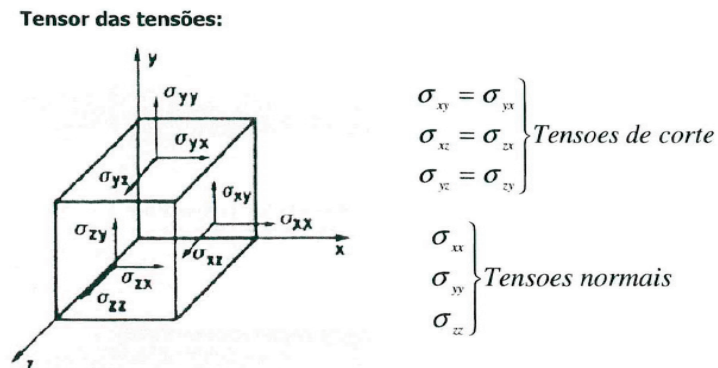


Figura 15 - Tensões normais e corte (Reis, 2013).

### Escoamento em extensão

As únicas tensões existentes neste tipo de escoamento são tensões normais à sua superfície. Em consequência deste facto, a secção transversal varia e as linhas de fluxo podem ser convergentes ou divergentes. Conforme a tensão aplicada, existem três tipos de escoamento em extensão, que são os seguintes (Figura 16):

- Uniaxial- Existe uma solitação de tracção e duas de compressão;
- Biaxial - Caracterizada por duas forças de tracção e uma de compressão;
- Planar - Definida por uma força de tracção e uma de compressão.

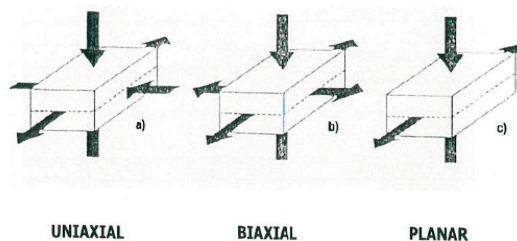


Figura 16 - Escoamentos de extensão (Reis, 2013).

## Viscosidade e os seus factores físicos

A viscosidade é uma propriedade que condiciona o comportamento do fundido. Os polímeros de injeção têm, geralmente, um comportamento não-Newtoniano, e este varia com vários factores físicos (Figura 17), tais como:

- A taxa de deformação;
- A temperatura;
- A pressão.

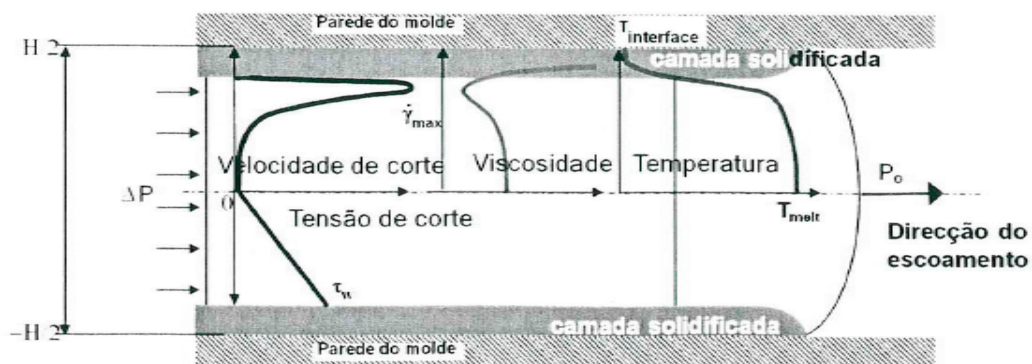


Figura 17 - Perfil da velocidade de corte, temperatura e viscosidade (Reis, 2013).

## Taxa de deformação

A viscosidade varia com a taxa de deformação, sendo que a taxa de deformação varia com o tipo de escoamento.

## Escoamento de corte

Geralmente, a viscosidade (Figura 18) diminui com o aumento da taxa de corte (comportamento pseudoplástico), devido à orientação progressiva das cadeias poliméricas na direção dos escoamentos, desfazendo os entrelaçamentos e diminuindo o atrito intramolecular. Na figura seguinte podemos observar a variação da viscosidade com a taxa de corte. Existe uma faixa na qual se processa geralmente os polímeros, sendo no caso da injeção entre  $10^2$  e  $10^5 \text{ s}^{-1}$  (Reis, 2013).

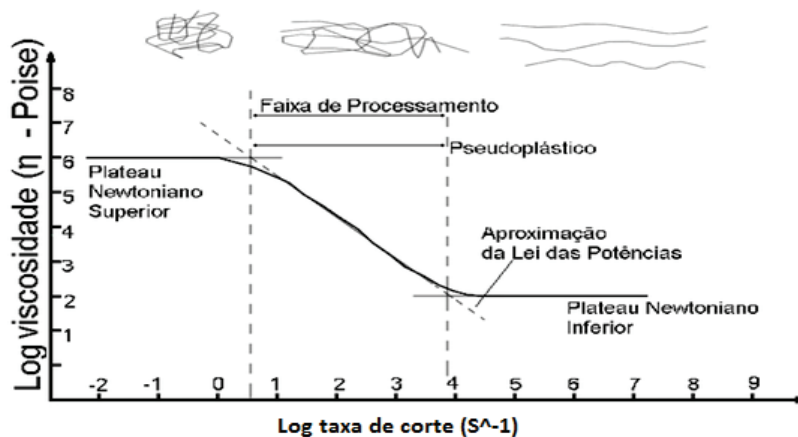


Figura 18 - Viscosidade versus taxa de corte (Reis, 2013).

Para descrever o comportamento podemos aplicar a lei das potências que pode ser descrita por:

$$\sigma = K\dot{\gamma}^n \quad (8)$$

K – Consistência, parâmetro empírico de ajuste

$\dot{\gamma}$  - Velocidade de corte ( $s^{-1}$ )

n - Índice da potencia, parâmetro empírico de ajuste, que varia entre 0 e 1

Esta equação só é válida para taxas de corte intermédias, sobrestimando ou subavaliando a viscosidade das taxas de corte baixas e elevadas, respectivamente (Figura 19).

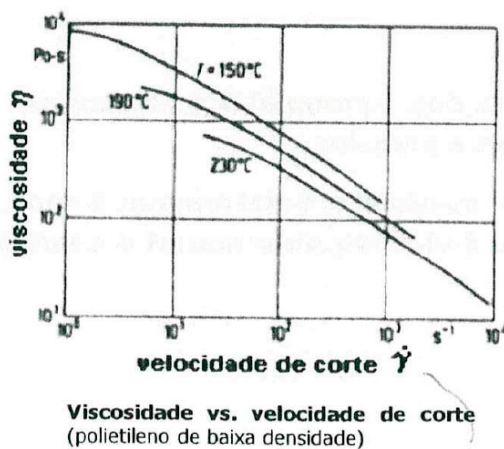


Figura 19 - Gráfico da viscosidade versus velocidade de corte (Reis, 2013).

### Escoamento em extensão

O comportamento do fundido em extensão é significativamente diferente do observado em corte: o comportamento é dilatante e a viscosidade aumenta com a taxa de deformação, embora em alguns casos a viscosidade se possa manter praticamente constante ou mesmo diminuir com a taxa de extensão. Porém, os valores absolutos de viscosidade são muito superiores aos da viscosidade de corte (Figura 20).

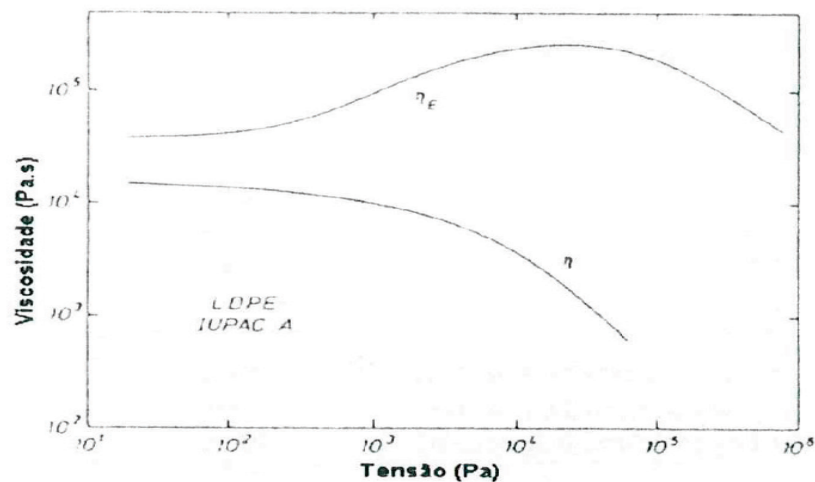


Figura 20 - Viscosidade versus tensão (Reis, 2013).

### Temperatura

Aumento da temperatura irá promover um incremento na movimentação molecular que promove uma diminuição da viscosidade do material. Nos polímeros esta variação de viscosidade é significativa com a temperatura. Com temperaturas mais de 100°C acima da T<sub>g</sub>, a variação da viscosidade com a temperatura assume um perfil exponencial.

$$\eta \propto e^{\frac{E}{RT}} \quad (9)$$

R - Constante dos gases ideais (8.31 kJ/g.mol)

E - Energia de activação do escoamento (Tabela 10) (J)

T - Temperatura (K)

POLÍMERO	E (kJ/g.mol)
HDPE	26.3 - 29.2
LDPE	48.8
PP	37.5 - 41.7
PIB	50 - 62.5
PET	79.2
PS	104.2
PC	108.3 - 125
SAN	104.2 - 125
ABS (c/ 20% borracha)	108.3
ABS (c/ 30% borracha)	100
ABS (c/ 40% borracha)	87.5

Tabela 10 - Energia de activação para vários tipos de polímeros (Reis, 2013).

A temperatura exerce uma grande influência na viscosidade. Basta diminuir um pouco a temperatura de processamento para existir uma grande variação na viscosidade, como por exemplo no caso do PC, em que basta passar de 310°C para 300°C para que se obtenha uma variação na viscosidade de cerca de 50 % (Figura 21).

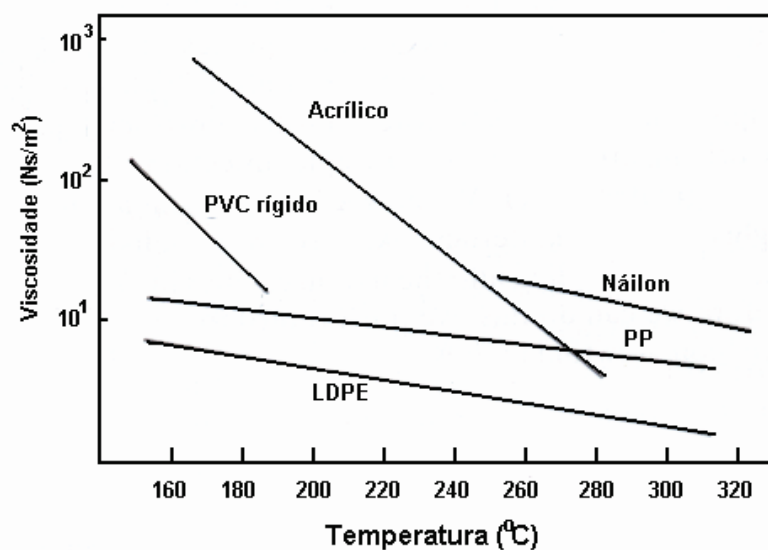


Figura 21 - Variação viscosidade de alguns polímeros com a temperatura (Reis, 2013).

## Pressão

Em geral, a pressão faz incrementar a viscosidade. Como a viscosidade depende do grau de liberdade entre as moléculas, este diminui com a pressão e faz aumentar a viscosidade. Existem polímeros que não estão sujeitos a este comportamento, como o PS, para os quais o aumento de pressão provoca uma diminuição da viscosidade. No caso prático do PP, a viscosidade pode aumentar 5 vezes quando este material está sujeito a uma pressão de 200 MPa (pressão típica para a moldação por injeção). Em termos de injeção, a viscosidade tem efeitos no processamento e na concepção do molde.

O estudo empírico dos escoamentos em pressões hidrostáticas elevadas é difícil e, por isso, não existem muitos dados mas, para baixas e médias taxas de corte ( $10^3 \text{ s}^{-1}$ ), é possível estabelecer relações empíricas entre o aumento de pressão e diminuição equivalente da temperatura (em termos de viscosidade) (Tabela 11).

**Tabela 11 - Razão temperatura para vários materiais (Reis, 2013).**

Polímero	$-(\Delta T/\Delta P)_n$
LPDE	$5.3 \times 10^{-7}$
HDPE	$4.2 \times 10^{-7}$
PP	$8.6 \times 10^{-7}$
PS	$4.0 \times 10^{-7}$
PVC	$3.1 \times 10^{-7}$
PMMA	$3.3 \times 10^{-7}$
PES	$6.7 \times 10^{-7}$
PA	$3.6 \times 10^{-7}$
Copolímero Acetal	$3.2 \times 10^{-7}$
PPO	$5.1 \times 10^{-7}$
Silicone	$5.7 \times 10^{-7}$

Por exemplo, ao aumentar a pressão do PP em 100 MPa equivale, em termos de viscosidade, a reduzir a temperatura do material em 86 K.

### Dissipação viscosa

No processamento de polímeros, a dissipação é um parâmetro deveras importante, especialmente quando se processam polímeros com elevada viscosidade. Este efeito é consequência, geralmente, de os polímeros serem maus condutores térmicos, e dificilmente dissiparem o calor interno que surge no seu processamento. A estimativa do aumento da temperatura devido à dissipação pode ser obtida pelas equações na tabela seguinte.

**Tabela 12 - Cálculo para dissipação viscosa (Reis, 2013).**

<b>Dissipação Viscosa</b>	
$\Delta T = \frac{\Delta P}{\rho C_p}$ <p><math>\Delta P</math>- Variação de pressão  <math>\rho</math> - Densidade  <math>C_p</math> - Calor específico</p>	<p>Escoamentos rápidos ou em canais muito curtos (moldes de injeção).</p> <p>Considera-se um escoamento adiabático no qual todo o calor gerado é utilizado para aquecer o polímero.</p>
$\Delta T = \frac{5}{6} \eta \left( \frac{V_z^2}{K} \right) \left[ 1 - e^{\left( -\frac{48}{5} \right) Ca} \right]$ <p><math>V_z</math> - velocidade média do fluido  <math>K</math> - Condutividade térmica  <math>Ca</math> - Número de Cameron  <math>\eta</math> - Viscosidade</p>	<p>Aplicado a escoamentos intermédios típicos da moldação por extrusão e injeção. Trata-se de um escoamento no regime de transição.</p>
$\Delta T = \eta \frac{V_z^2}{K}$	<p>Aplicado a escoamentos muito lentos ou em canais muito longos. Considera-se que o regime atingiu o equilíbrio.</p>

Podemos verificar que na dissipação viscosa a velocidade do fluido tem uma grande influência, sendo que a dissipação viscosa é proporcional à viscosidade do fundido e ao quadrado da sua velocidade. Isto pode conduzir a alterações do fundido como, por exemplo, a sua degradação.

### **2.3.7. Propriedades do polipropileno**

O polipropileno é uma resina de baixa densidade que permite um bom equilíbrio entre as propriedades térmicas, químicas e eléctricas com uma resistência moderada, sendo melhorada com a adição de fibra de vidro. A sua tenacidade pode ser melhorada em diferentes graduações especiais de elevado peso molecular, modificadas com borrachas (Albuquerque, 1990).

#### **Vantagens**

- Boa resistência química;
- Baixa absorção de humidade;
- Boa resistência ao impacto;
- Soldável e moldável;
- Atóxico;
- Baixo custo entre a maioria dos plásticos;
- Bom isolante térmico;
- Resistência ao atrito razoável;
- Boa estabilidade ao atrito;
- Boa estabilidade térmica;
- Pode ser aditivado;
- Alta resistência ao entalhe;
- Opera até 115°C;
- Baixa densidade (0.92 kg/dm<sup>3</sup>), o mais leve de plásticos;
- Em revestimentos que necessitam trabalhar até 90°C, substitui o PVC.

## Desvantagens

- Baixa resistência mecânica;
- Baixa resistência à abrasão;
- Comportamento fraco quando sujeito a radiação ultravioleta e agentes oxidantes;
- Resistência limitada à temperatura;
- Acumula electricidade estática;
- A 90°C, com solicitação mecânica, a ligação de carbono fica comprometida;
- Não é resistente a baixa temperatura (abaixo de 0°C).

## Aspectos da estrutura

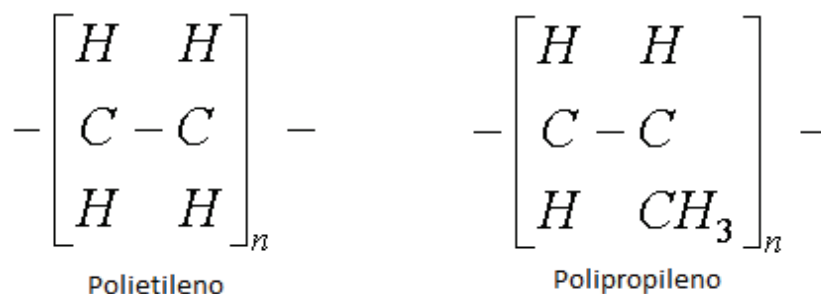


Figura 22 - Estrutura do polietileno e polipropileno (Gorni, 2013).

A molécula de polipropileno (Figura 22) é semelhante ao polietileno, diferenciando-se pela existência de um grupo *metil* (CH<sub>3</sub>) que substitui o hidrogénio. Este grupo *metil* restringe a rotação das cadeias, produzindo um material mais forte, mas menos flexível. Aumenta a temperatura de transição vítrea e a temperatura de fusão, relativamente ao polietileno.

A presença de átomos de H ligados a átomos de C terciários em cada unidade repetitiva diminui a sua estabilidade frente ao O<sub>2</sub>, luz e agentes oxidantes (HNO<sub>3</sub> fumegante e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado), causando a degradação do polímero.

## Aditivos

A aplicação de aditivos pode modificar algumas características do polipropileno com o objectivo de melhorar o seu comportamento mecânico e processamento (Petry, 2011). As razões do uso de aditivos são as seguintes:

- Radiação ultravioleta: uso de estabilizadores anti-UV para prevenir a degradação do polímero.
- Oxidação: o PP virgem é sensível à oxidação pelo ar, o uso de antioxidantes evita este fenómeno.
- Ajuste de cor: o PP tem uma cor esbranquiçada. A aplicação de pigmentos permite fornecer uma cor e melhorar a componente estética do produto final.
- Modificação de dureza: a utilização de plastificantes e cargas permite obter diferentes níveis de dureza.
- Redução da inflamabilidade: o PP é inflamável e para diminuir esta característica procede-se à aplicação de retardantes de chama.
- Modificar as propriedades da superfície: o uso de aditivos pode modificar o coeficiente de atrito e a apetência para aderir a outras superfícies por parte do polipropileno, o que é muito usado na fabricação de filmes.
- Modificação das propriedades mecânicas: o uso de cargas, como o talco, permite melhorar a rigidez e a estabilidade dimensional. O uso de fibras melhora a resistência e a rigidez.

## Processamento

As condições de processamento dependem de factores tais como a máquina de injeção a utilizar, geometria da peça e características dos polímeros. Na tabela abaixo fornece valores indicativos relativos aos parâmetros iniciais de injeção, os quais podem ser afinados após o início do processo de injeção.

Tabela 13 - Parâmetros de processamento de PP (Equistar).

Parâmetros de processamento do PP	
Temperatura na zona da alimentação	204°C
Temperatura na zona de compressão	218°C
Temperatura na zona de dosagem ou mistura	232°C
Temperatura do bico	230°C
Temperatura do fundido	216°C-230°C
Temperatura do molde	32°C 43-54°C (melhorar a rigidez e acabamento)
Pressão de injeção	4-10 MPa
Segunda pressão	70%-85% (da pressão de injeção)

## Aplicações

Na figura seguinte poderão ser observadas algumas das aplicações mais comuns do Polipropileno, principalmente associadas à indústria automóvel. De notar que as aplicações destinam-se tanto ao interior como ao exterior do veículo. No entanto, as aplicações do Polipropileno não se restringem apenas a aplicações na área da indústria automóvel, possuindo um vasto campo de aplicação em utensílios domésticos, entre outros.

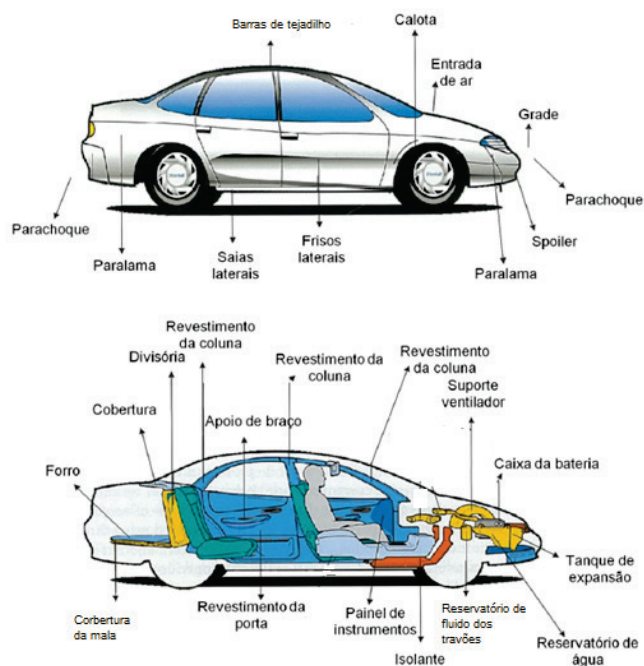


Figura 23 - Aplicação de PP no automóvel (Petry, 2011).

## 2.4. Processos ligados à produção de peças plásticas para a indústria automóvel

Poderemos considerar que os principais processos de fabrico ligados à produção de peças em materiais poliméricos são os seguintes:

- Moldação por injeção;
- Extrusão;
- Moldação por sopro;
- Moldação por compressão.

### 2.4.1. Moldação por injeção

No processo de moldação por injeção (Figura 24) o polímero é amolecido pelo calor e injectado para uma cavidade, onde solidifica. Inicialmente, a matéria-prima é colocada numa estufa para controlar/diminuir a quantidade de água presente no polímero. A injectora é alimentada através de uma tremonha, e o polímero é levado até ao fuso. O movimento giratório sem-fim do fuso vai transportar o polímero que vai fundindo e homogeneizando até que atinja o bico de injeção. Seguidamente, o polímero fundido vai ser introduzido, com pressão, na cavidade.

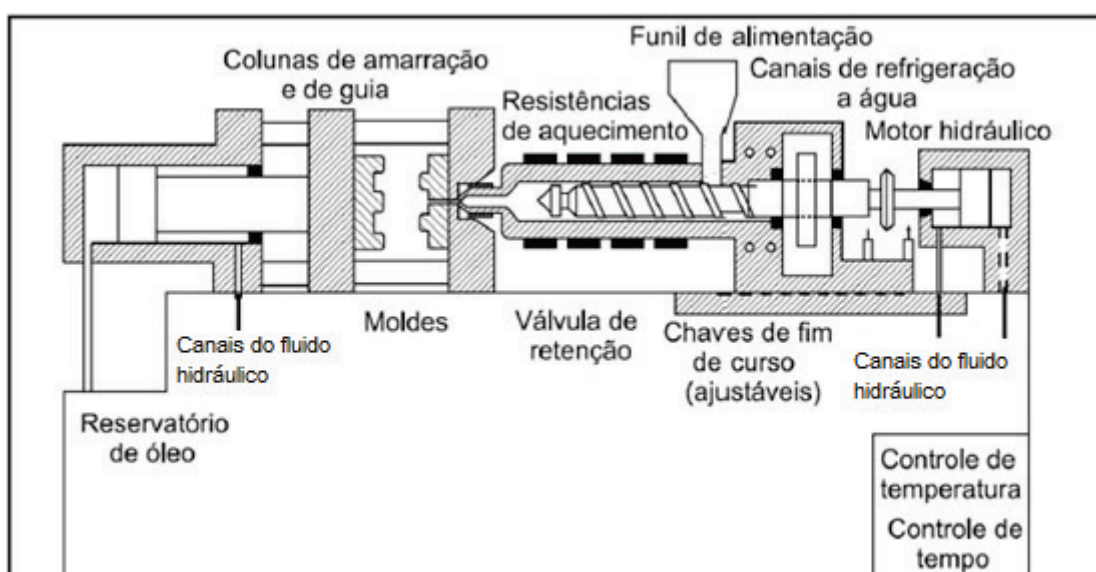


Figura 24 - Esquema do processo de moldação por injeção (ENGEPLAS).

A moldação por injeção é caracterizada por permitir a obtenção de:

- Peças de elevada qualidade com elevadas cadências de produção;
- Peças com bom acabamento superficial;
- Peças com geometria complexa;
- Elevada produção de peças para compensar o custo do equipamento.

Na moldação por injeção, o ciclo produtivo é constituído pelas seguintes etapas:

- Fecho do molde;
- Injecção;
- Compressão/recalque;
- Solidificação;
- Abertura do molde;
- Extracção.

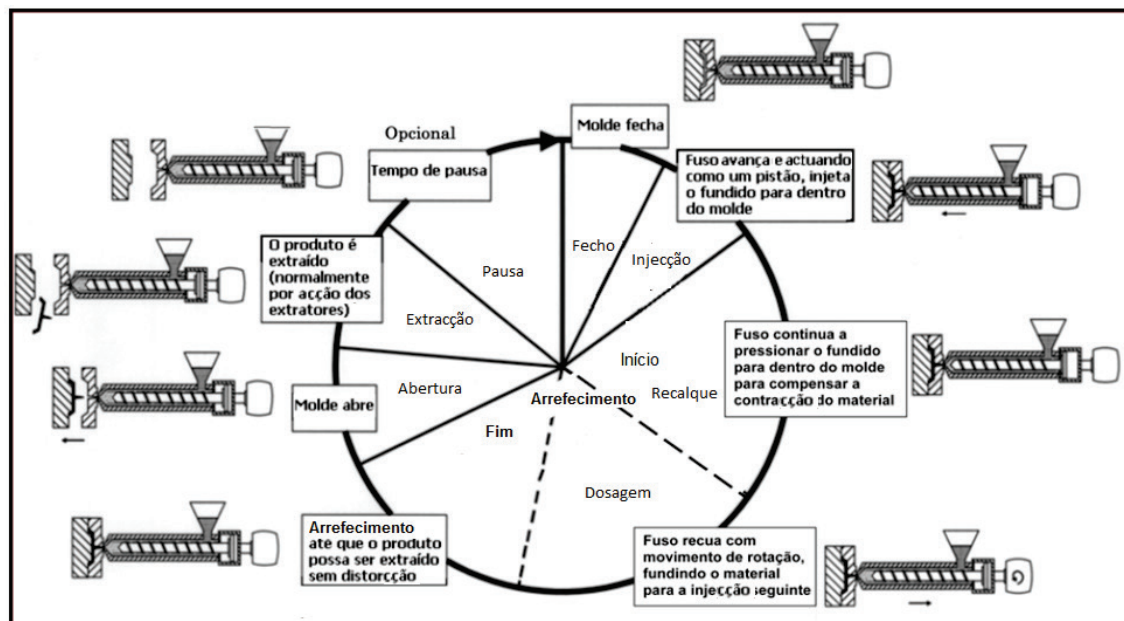


Figura 25 - Etapas do ciclo de moldação por injeção (Ebah).

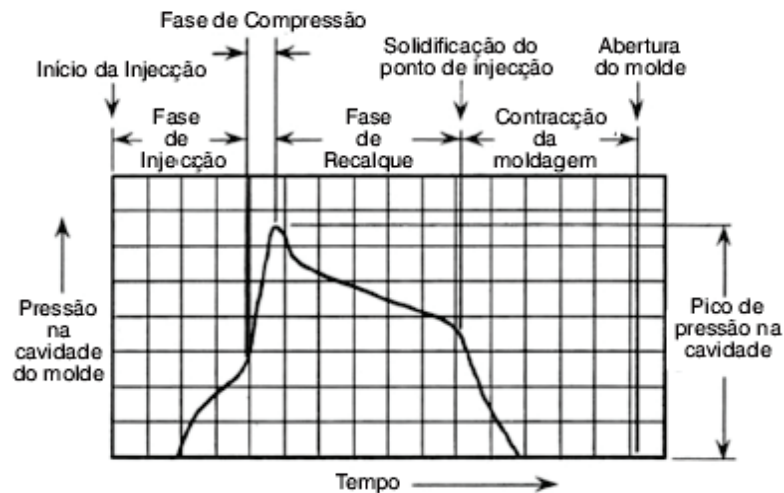


Figura 26 - Variação de pressão nas etapas do ciclo (Moldes injeção plásticos).

No processo de moldação por injeção, os principais factores a ter em conta são:

- Tempo de ciclo: indica o período de tempo necessário para completar todas as fases de injeção;
- Velocidade de injeção: Velocidade de avanço do pistão ou fuso. Elevadas velocidades de injeção reduzem tensões internas e melhoram o tempo do ciclo, mas estão limitadas às dimensões do orifício de injeção ou das entradas. Altas velocidades podem originar material queimado ou esfoliado;
- Tempo de injeção: período de tempo para realizar a operação de injeção. Depende da geometria da peça, do bico injetor, dos canais de injeção e o comprimento da peça;
- Tempo de recalque: período de tempo em que a injetora continua a fazer pressão após a injeção. Actua até à solidificação, para evitar o retorno do material;
- Tempo de arrefecimento: tempo que a peça permanece no molde. Depende da espessura das paredes da peça e do tipo de polímero;
- Temperatura do molde: é um factor de enorme importância na solidificação da peça dentro do molde, para evitar deformações. Uma elevada temperatura diminui as tensões internas, produz superfícies mais brilhantes e minimiza as linhas de junção. Contudo, aumenta o tempo do ciclo. Uma baixa temperatura provoca tensões internas e pode provocar a ruptura do material;

- Temperatura da máquina: influenciada pela temperatura de injeção do material, demasiada temperatura provoca degradação do material, aparecimento de 'retardas' e ciclos mais longos. Uma temperatura baixa pode provocar um enchimento incompleto, linhas de fluxo, pior acabamento superficial, tensões residuais e um maior desgaste da injectora, o que requer maiores velocidades e pressões;
- Dosagem: quantidade de material a usar para realizar um ciclo completo;
- Pressão de injeção: pressão a que o material é injectado no molde. A pressão de injeção depende da temperatura, do diâmetro de abertura do bico de injeção e do tipo de polímero. Pressão máxima e diminuição da temperatura no interior da injectora permite ciclos mais curtos. A conjugação de uma alta temperatura com demasiada pressão pode provocar excesso de rebarba;
- Pressão de recalque: actua dentro do tempo de recalque, garantindo que o material chega a todas as cavidades e fica com a espessura pretendida. Compensa a contracção do volume durante o arrefecimento, e mantém as dimensões da peça conforme planeado. Demasiada pressão provoca demasiadas tensões na peça, e baixa pressão pode provocar vazios.

## **Máquina injectora**

Os aspectos de maior relevância na injectora são:

- O fuso;
- O bico injector;
- A unidade de fecho.

### **Fuso**

O fuso está localizado dentro do canhão ou cilindro e tem por função transportar, comprimir, fundir e homogeneizar o material. O fuso é dividido em três zonas (Figura 27):

- Zona de alimentação;
- Zona de compressão;
- Zona de dosagem ou mistura.

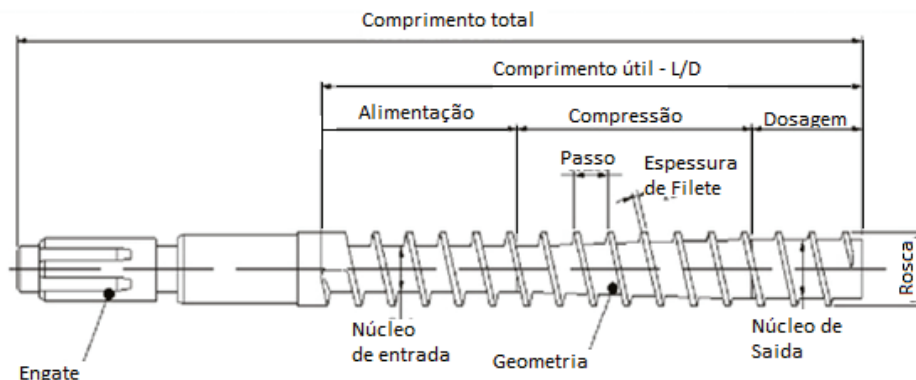


Figura 27 - As zonas do fuso (LGMT).

A **zona de alimentação** tem por finalidade efectuar o transporte do material para a zona de compressão e fazer o pré-aquecimento do material.

Já na **zona de compressão** verifica-se o início da plastificação, pela diminuição da secção livre, através da compressão do material. Nesta zona, o material já encontra todo fundido.

A **zona de dosagem** ou mistura é a zona final, na qual a altura dos filetes do fuso é mínima. Vai completar a homogeneização física e da temperatura do material.

O comprimento de cada zona depende do comportamento reológico de cada polímero: no caso do PEBD, é apropriado dividir igualmente estas zonas mas, se for um polímero que plastifique rapidamente, como o *Nylon*, é preferível usar uma secção de compressão mais curta (Figura 28).

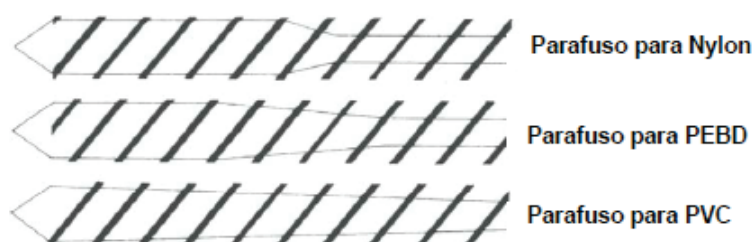


Figura 28 - As geometrias características do fuso para alguns materiais (Ebah).

Características geométricas do fuso (rosca):

- Taxa de compressão;
- Comprimento do fuso;
- Profundidade do filete.

A **taxa de compressão** é a relação entre os dois primeiros passos de rosca da zona da alimentação e os dois últimos da zona de dosagem. Existem relações de 1.5 - 4.5 para 1, mas o mais usual é 2.5 - 3 para 1. Para taxas de compressão elevadas, a velocidade de rotação deve ser menor (entre 10 a 50 rpm). Com menores taxas de compressão (3:1) as velocidades podem rondar os 50 - 150 rpm (Figura 29).

EXEMPLOS DE TAXAS DE COMPRESSÃO PARA DIFERENTES PLÁSTICOS	
Roscas de baixa taxa de compressão (1,2 a 1,8)	Acrílico
	Acrílico multipolímero
	ABS e SAN
	PVC rígido
Roscas de média taxa de compressão (2 a 2,8)	Poliacetá
	Cetulósicos
	Nylon
	Poli(óxido de fenileno) (Noryl)
	Polycarbonato
	Poliétileno (de média a baixa fluidez)
	Poliopropieno (de média a baixa fluidez)
Roscas de alta taxa de compressão (3 a 4,5)	PS e PSAl
	PVC flexível
	Poliacetá (de alta fluidez)
	Fluoroplásticos
	Nylon (de alta fluidez)
	PEAD e outros polietilénos de alta fluidez
	Poliopropieno (de média a alta fluidez)

Figura 29 - Taxas de compressão para diferentes materiais (Tudo Sobre plásticos)

O **comprimento do fuso** influencia a relação entre o comprimento do fuso e o seu maior diâmetro (L/D). Quanto maior for a relação L/D, melhor será a qualidade do fundido devido à maior área de fricção, maior será o comprimento de mistura e menor será a variação de pressão. Os fusos comerciais variam entre 12/1 a 24/1. Os fusos mais usuais têm relações de 18/1 a 20/1.

A **profundidade do filete** vai variar com o tipo de polímero. Os filetes pouco profundos são usados para materiais menos viscosos, enquanto para altas viscosidades se usa uma maior profundidade de filete. As roscas comerciais variam entre 0.15 a 0.18D na zona de alimentação e 0.05 a 0.06D na zona de compressão (Tabela 14).

Tabela 14 - Relações entre L/D.

Fuso curto L/D	Fuso longo L/D
Menor tempo de residência do fundido no canhão.  Ocupa menos espaço.  Requer menos binário, reduzindo a necessidade de potência do motor.  Requer um investimento inicial de reposição pequeno.	Permite um elevado caudal.  Permite um caudal mais uniforme e melhor mistura do fundido.  Promove uma melhor condução de calor no canhão.

### Aplicação na indústria automóvel

O processo de moldação por injeção é largamente utilizado para obtenção de componentes. Nas figuras 30 e 31 podemos observar dois componentes obtidos por este processo. Um farol para o Golf e um apoio de motor para a Mercedes.



Figura 30 - Resina de Polieterimida (PEI) da SABIC usada em faróis de nevoeiro do Novo Golf (Blog do Plástico, 2013).



Figura 31 - Suporte plástico de motor em *Ultramid*® A3WG10 CR (Blog do Plástico, 2013).

## 2.4.2. Extrusão

Este processo é largamente utilizado nos termoplásticos, consistindo em fazer passar o material por um tubo aquecido – conhecido como “torpedo” – e através de fuso sem-fim, que funde o material e o faz passar através de uma fieira, que lhe confere a forma final.

É utilizado principalmente no revestimento de fios, fabricação de tubos e mangueiras e perfis contínuos. Outros produtos produzidos por este processo são os filmes de PE e PP, largamente utilizados para mangas e sacos plásticos, utilizados em grandes superfícies comerciais.

O processo de extrusão é caracterizado por:

- Elevada cadência de produção;
- Produtos acabados ou semiacabados;
- Bom acabamento superficial;
- Necessita de uma elevada produção para compensar o custo do equipamento;
- Peças de secção constante (perfis);
- Obtenção de perfis com elevado comprimento.

### Máquina de extrusão

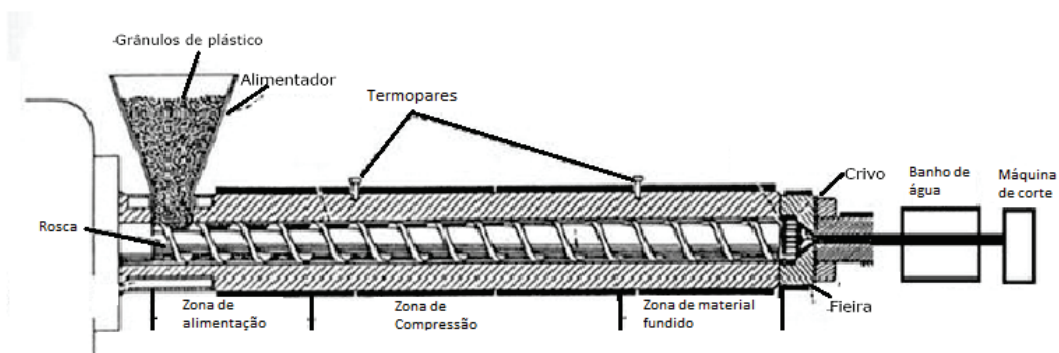


Figura 32 - Esquema de uma extrusora (Chasque).

Em muitos aspectos idênticos às de injeção, o fuso da extrusora gira e envia continuamente material para a fieira, sendo que o perfil obtido é arrefecido usualmente num tanque ou através de pulverização de água. O fuso da extrusora não promove a compressão do material, como na injeção: na extrusão a pressão é gerada unicamente pela diminuição da secção útil entre os filetes do fuso.

### Sistema de filtro/crivo

- Permite peneirar o fundido para remover polímero não fundido;
- Aumenta a pressão de contra-fluxo;
- Remove a memória elástica do fundido devido ao percurso em espiral do fundido.

### Fieira

- Dá a forma final ao perfil extrudido, actuando na geometria, morfologia e qualidade do produto final.

### Aplicações na indústria automóvel

São várias as aplicações deste processo em componentes para a indústria automóvel. Uma das mais visíveis será todo o tipo de borrachas de vedação das portas e vidros das janelas, conforme se mostra abaixo.



**Figura 33 - Borracha de vedação entre a porta e o vidro das janelas.**

Nestes tipos de aplicação já está definido o uso borracha de EPDM, devido à sua elevada resistência ao ozono, ao meio ambiente, calor, oxidação e flexibilidade a baixas temperaturas.

### 2.4.3. Moldação por sopro

Este processo de transformação é usado para produzir artigos ocios fechados ou com gargalos, tais como garrafas, brinquedos e recipientes diversos. A secção de um tubo polimérico moldado é extrudida para dentro de um molde aberto. Pela acção de ar comprimido ou vapor, o plástico é então soprado, adaptando-se às paredes do molde. Esta técnica é amplamente usada para a manufatura de garrafas e artigos similares.

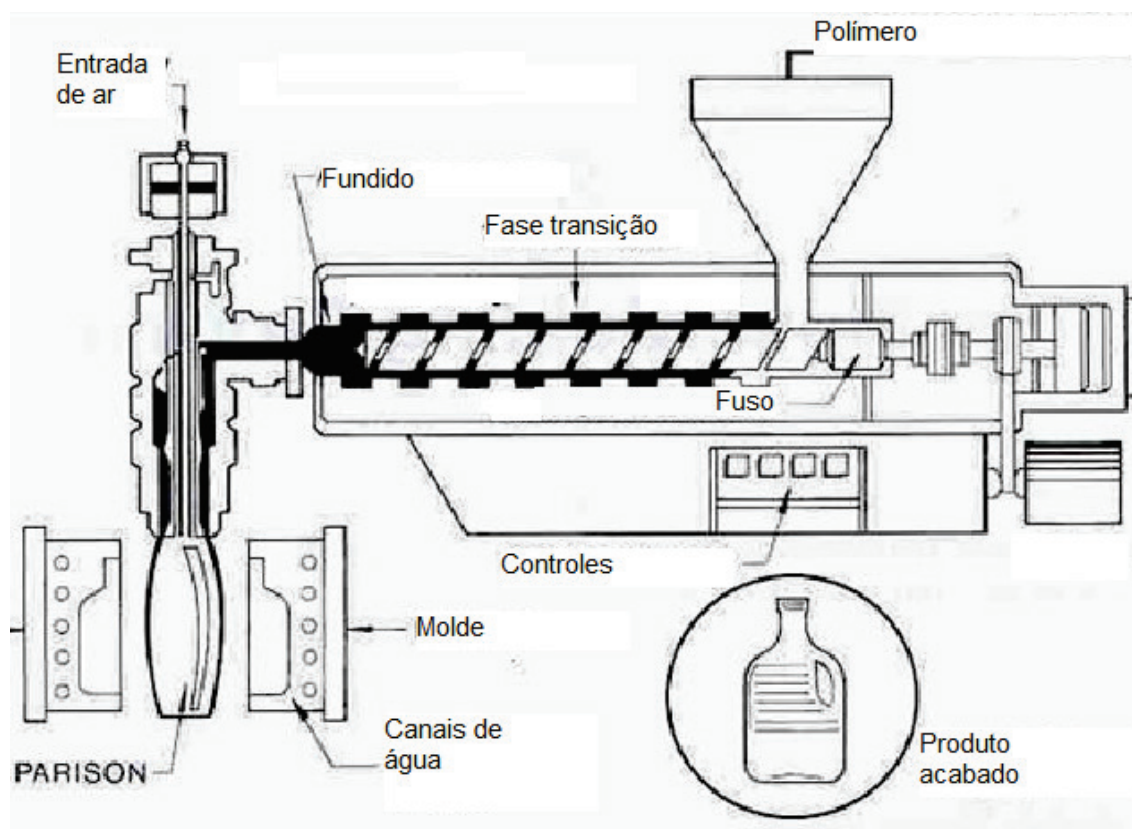


Figura 34 - Esquema de uma máquina de moldação por sopro

O processo de moldação por sopro é constituído por 3 fases:

- A plastificação do material: é realizada na extrusora;
- Produção de um pré forma: é extrudido um tubo, que vai ser introduzido dentro de um molde, sendo fechado de um lado e estando acoplado ao tubo de sopro do outro;
- O sopro da pré-forma: é normalmente realizado com ar, sendo seguido pela extracção.

Se a pré-forma for moldada por injeção, é chamada moldação de injeção por sopro. No quadro seguinte pode ver-se as vantagens e desvantagens dos dois processos.

	Vantagens	Desvantagens
Moldagem por sopro via injeção (e injeção com estiramento)	Moldados sem rebarba. Bom controle de espessura do gargalo e da parede. Mais fácil de produzir objetos não-simétricos. Não há necessidade de acabamento.	Processo lento. Mais restrito no que concerne à escolha dos moldados. São necessários dois moldes para cada objeto.
Moldagem por sopro via extrusão	Moldados com rebarbas. Deforma lentamente. Altas velocidades de produção. Maior versatilidade com respeito à produção.	Mais difícil de controlar a espessura da parede. Necessária a operação de corte.

Figura 35 - Características das moldações de sopro por estiramento e extrusão (LEPCOM).

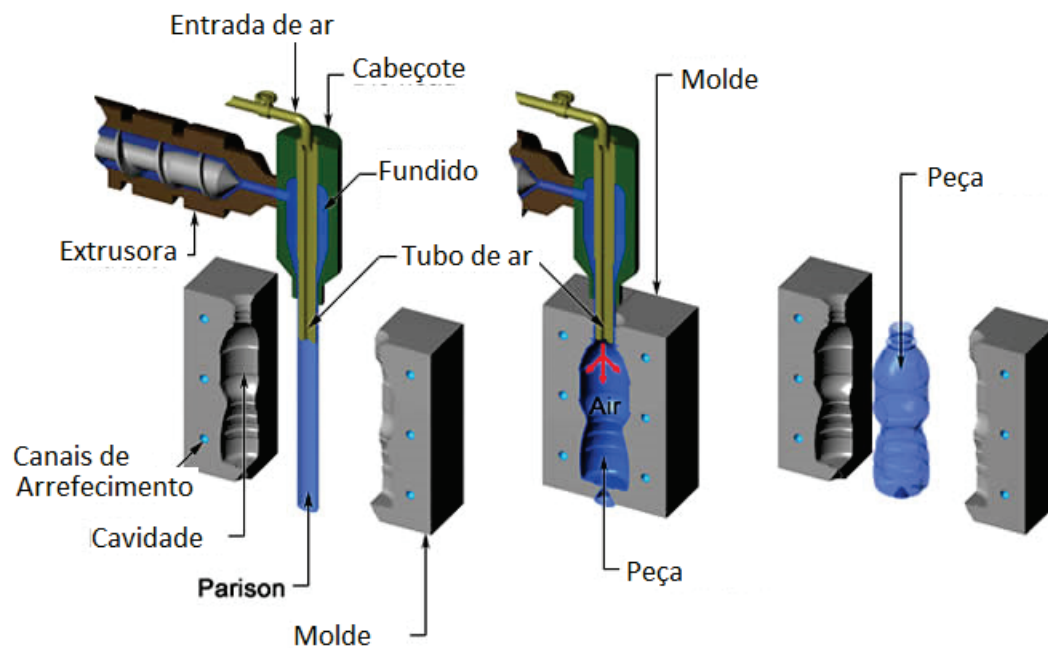


Figura 36 - Processo de moldação por sopro (Indústria Hoje).

## Equipamento

### Extrusora/injectora

Na moldação por sopro, poderá ser utilizada uma extrusora ou uma injectora, dependendo do método e componente que se pretende realizar. A extrusora e a injectora são idênticas às usadas nos processos de extrusão e moldação por injeção.

### Cabeçote

O cabeçote tem por finalidade comprimir e transportar o material fundido, garantindo um fluxo eficiente e constante, não permitindo a degradação do material em áreas de estagnação (zonas mortas). O material degradado no cabeçote pode resultar em marcas de fluxo na pré-forma produzida (Figura 37).

Tipos de cabeçotes:

- Cabeçote de fluxo axial;
- Cabeçote de fluxo radial;
- Cabeçote acumulador.

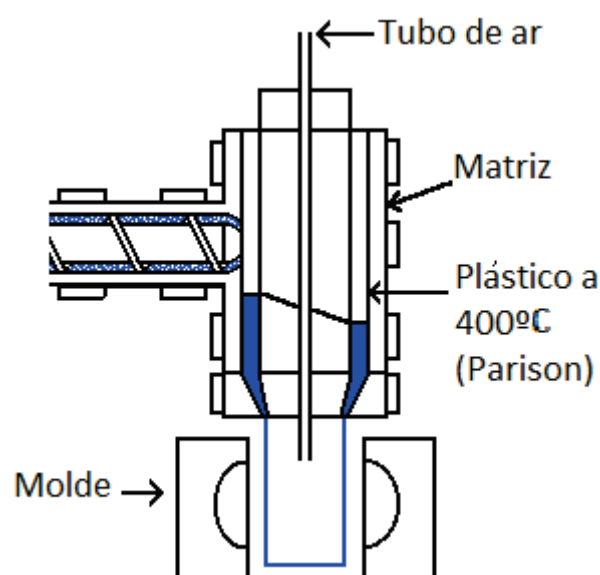


Figura 37 - Cabeçote (Engineer's Handbook)

### Cabeçote de fluxo axial

Caracteriza-se pelo seu fluxo axial, onde o fundido vai de encontro a um torpedo que por sua vez é sustentado por um anel de suporte, garantindo uma distribuição uniforme de material pela matriz (Figura 38).

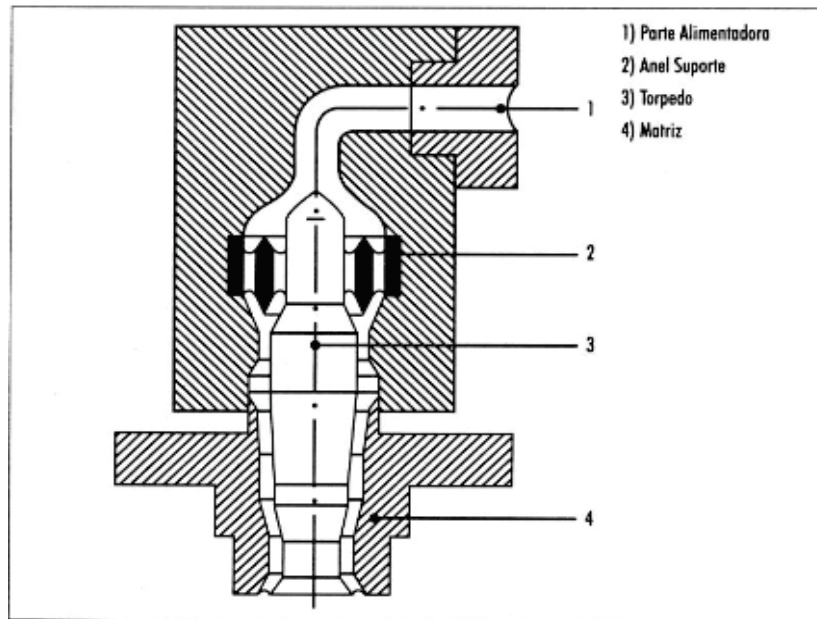


Figura 38 - Cabeçote de fluxo axial (Júnior, 2013).

A explicação das diferentes zonas do cabeçote apresentado na figura anterior poderá ser analisada seguidamente:

- 1 - Parte da alimentadora: a ligação entre a extrusora e cabeçote na qual vai fluir o fundido;
- 2 - Anel de suporte: peça que suporta o torpedo;
- 3 - Torpedo: Distribui o fundido, auxiliando a sua homogeneização e um fluxo uniforme;
- 4 - Matriz: normalmente é constituída por bucha e macho, influenciando as dimensões e qualidade da superfície da pré-forma.

A matriz pode apresentar-se de três formas distintas: CONVERGENTE, ANELAR ou DIVERGENTE, conforme a figura abaixo, sendo essas aplicadas em conformidade com o *design* do artigo soprado (Figura 39).

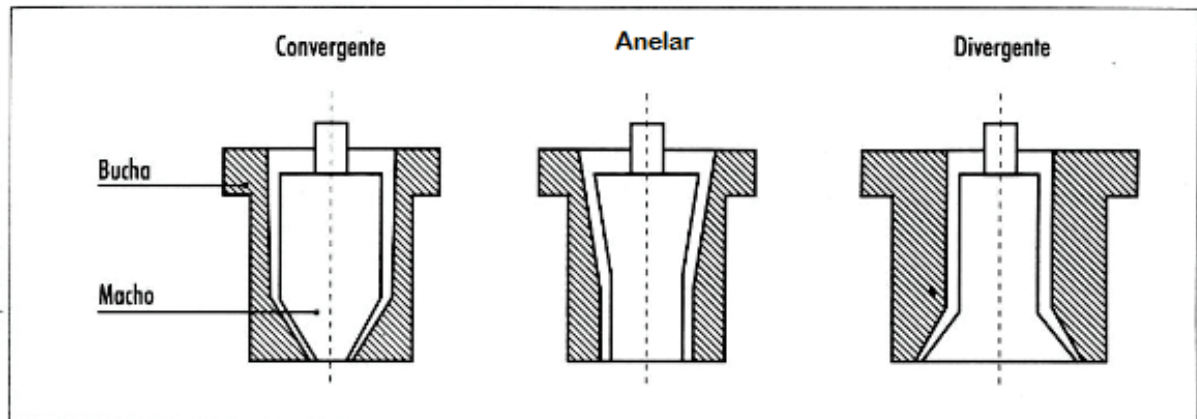


Figura 39 - Tipos de matrizes (Júnior, Wolney Netto)

### Cabeçote de fluxo radial

Apresentando um núcleo fixo na parte superior, a massa flui radialmente após se projectar no mandril (Figura 40).

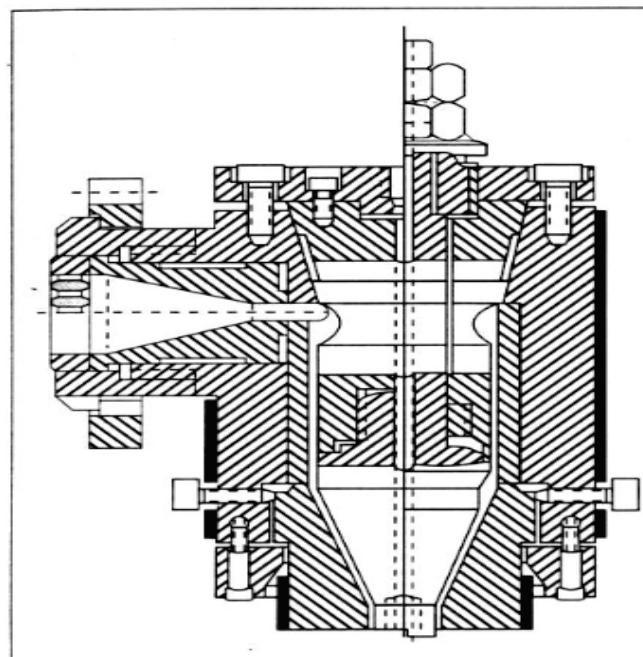


Figura 40 - Cabeçote de fluxo radial (Júnior, Wolney Netto).

Neste caso, o fluxo de material faz-se de forma radial, verificando-se uma distribuição do mesmo em redor da secção, obrigando o material a fluir em torno do mandril, com o objectivo de eliminar sulcos no tubo extrudido. Existem vários tipos de mandris, como se pode verificar na figura abaixo.

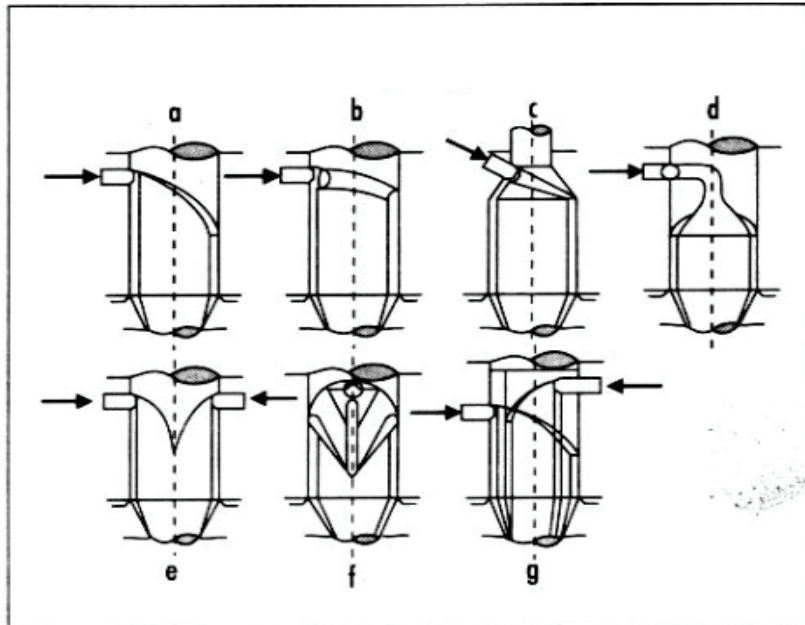


Figura 41 - Mandris na moldação de sopro (Júnior, Wolney Netto)

### Mecanismo de sopro

No processo de sopro, o ar pode ser injectado através de pinos ou agulhas. Os pinos são usados em frascos ou corpos de grandes volumes, e funcionam como calibradores do gargalo. As agulhas são usadas quando o furo não é desejável.

Pressões de sopro excessivas no processo podem ocasionar:

- Fragilidade da linha de solda;
- Ligeira redução da contracção do produto;
- Melhor acabamento superficial;
- Ligeira redução da fase de arrefecimento.

Por outro lado, pressões de sopro baixas ocasionam:

- Excessiva contracção dimensional;
- Acabamento superficial enrugado;
- Linha de união da peça rebaixada;
- Indefinição na forma global do produto.

O processo pode ser caracterizado pelos seguintes parâmetros:

- Pressão de injeção;
- Temperatura do cilindro;
- Tempo do ciclo;
- Temperatura do molde;
- Pressão de ar.

### **Pressão de injeção**

Depende do tipo de molde e da injectora: o uso do mínimo de pressão possível vai diminuir o número de peças com defeitos internos ou superficiais. Excesso de pressão provoca rebarba.

### **Temperatura do cilindro**

A temperatura é responsável pela plastificação correcta, ou não, do material, e a temperatura do material depende não só da temperatura do cilindro, como também da velocidade com que o material passa através dele. Um aquecimento uniforme do material depende, em suma, de um correcto controlo da temperatura do cilindro de aquecimento e do tempo e duração do ciclo.

### **Tempo do ciclo**

Quando o tempo de ciclo é elevado, a produtividade é menor, enquanto um tempo de ciclo muito baixo pode resultar em peças mal acabadas.

### **Temperatura do molde**

Deverá situar-se abaixo da temperatura vítrea do material, para se verificar uma correcta solidificação do material. Uma temperatura do molde elevada pode aumentar o tempo de ciclo mas, ser for demasiado baixa, pode provocar defeitos nas peças.

### **Pressão de ar**

Para um bom trabalho de moldação são necessárias pressões de 5 a 7 kg/cm<sup>2</sup>, na prática. Outros factores importantes são a eliminação de jactos de ar, pelo perigo de arrefecimento local, e a secagem do ar ou eliminação do óleo arrastado pelo ar desde o compressor.

### **Aplicações na indústria automóvel**

Na indústria automóvel a aplicação da moldação por sopro permitiu a substituição dos tanques metálicos por poliméricos, o que permitiu uma redução de 30 a 40% no peso e uma maior liberdade de projecto. Esta técnica é usada igualmente para a obtenção de diferentes tanques e componentes. Na figura abaixo podemos observar um tanque de combustível constituído em HDPE.



**Figura 42 - Tanque de combustível em HDPE (Alibaba).**

#### 2.4.4. Moldação por compressão

A moldação por compressão (Figura 43) é um processo de fabrico que assenta na utilização de polímeros termoendurecíveis como o fenol-formaldeído ou os epóxidos. O material que pode ser pré-aquecido é colocado na cavidade, o molde fecha e comprime o material. Devido à pressão e calor, o material preenche a cavidade. A abertura do molde é feita depois da conjugação das ligações cruzadas das resinas termoendurecíveis estar efectuada, sendo a peça então ejectada. O excesso de material ou rebarbas é retirado posteriormente.

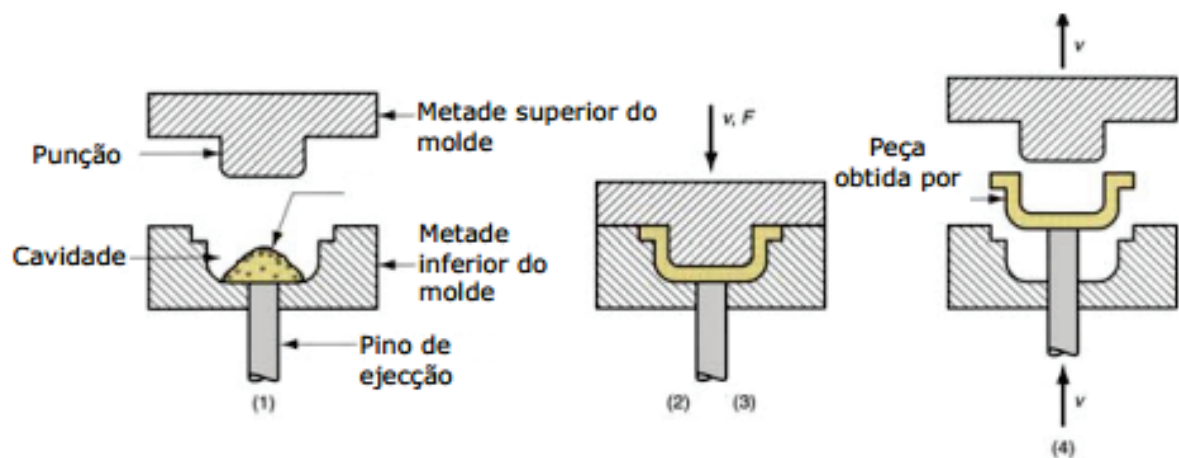


Figura 43 - Esquema de moldação por compressão (Universidade Técnica de Lisboa).

O ciclo de moldação por compressão é definido pelas seguintes etapas:

- Carregamento do material na cavidade do molde;
- Pré-compressão;
- Desgaseificação;
- Compressão e fecho do molde;
- Policondensação ou cura do material;
- Abertura do molde;
- Extracção da peça.

O processo de moldação por compressão é caracterizado por:

- Menores custos no fabrico do molde;
- O baixo fluxo reduz o desgaste e a abrasão do molde;
- Possibilita a produção de peças grandes;
- A simplicidade do molde torna-o mais compacto;
- Difícil de produzir peças com geometria complexa;
- Difícil de produzir peças com tolerâncias dimensionais apertadas;
- As peças saem com rebarba.

### **Condições de moldação**

Temperatura: obtida através de resistências, varia conforme a resina. Nas resinas fenólicas aplicam-se temperaturas entre 150 e 180°C, enquanto nas resinas ureicas se aplicam temperaturas entre 135 a 140°C.

Pressão: Existe um limite quanto à pressão de moldação Normalmente usam-se 150 a 200 kg/cm<sup>2</sup> para resinas fenólicas com carga de pó de madeira, 400 a 800 kg/cm<sup>2</sup> para resinas ureicas, e 400 a 500 kg/cm<sup>2</sup> para resinas melamínicas.

Tempo de cura: é inversamente proporcional à temperatura. A 165°C, o tempo de cura pode ser de 20 a 25 segundos por milímetro de espessura de parede.

### **Aplicações na indústria automóvel**

A moldação por compressão é usada na indústria automóvel para obtenção de painéis e estruturas com dimensões consideráveis com um custo reduzido. Em muitos casos a aplicação de fibra de vidro permite melhorar as propriedades do componente, como se pode observar na figura abaixo (painel constituído por fibra de vidro).



**Figura 44 - Painel em resina poliéster com 33% de estireno e 33 % de fibra de vidro (Alibaba).**

## **2.5. Os moldes para a injeção de plásticos**

### **2.5.1. Breve introdução às funções de um molde para a injeção de plástico**

O molde é uma ferramenta destinada ao processamento de polímeros, permitindo obter produtos com elevada qualidade e elevadas cadências de produção. Trata-se de uma ferramenta que assegura que uma cavidade seja preenchida por material fundido em condições controladas. No molde podemos destacar as seguintes funções:

- O alojamento da cavidade;
- Qualidade dimensional e estrutural das peças a obter;
- Controlo da temperatura do fundido;
- Injecção do fundido na cavidade;
- Saída do componente da cavidade.

Existe uma variedade de sistemas para garantir o funcionamento adequado, no qual podemos destacar:

- Estrutura da máquina;
- Fixação da ferramenta;
- Sistema de extracção;
- Alimentação da cavidade do molde;
- Arrefecimento do molde;
- Guiamento entre os meios-moldes;
- Cavidade.

### 2.5.1.1. Estrutura dos moldes

A estrutura do molde de injeção de plástico é normalmente constituída por placas agregadas entre si (Figura 45). A estrutura garante a solidez e fixação dos componentes (Tabela 15).

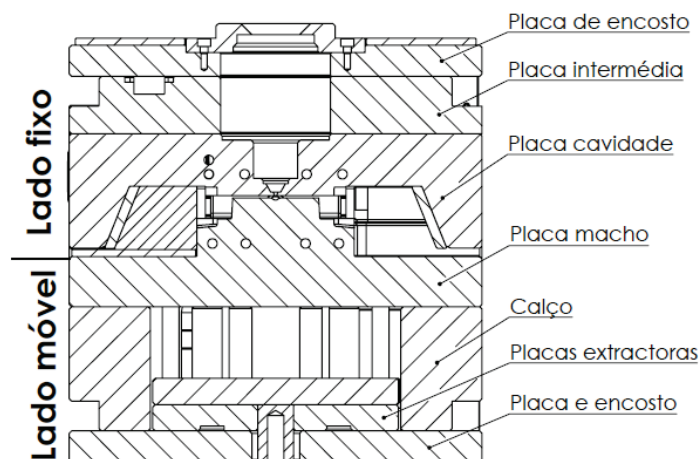


Figura 45 - Esquema de um molde de injeção.

Tabela 15 - Algumas funções das placas.

Placa	Observações
Placa de encosto	Fixa a ferramenta à injectora. Fixa componentes (guias, anel de centragem, postigos, guias).
Placa intermédia/suporte	Promove a solidez da estrutura. Aloja e fixa componentes (bico injector, postigos). Suporta a pressão de injeção.
Placa cavidade	Aloja os postigos (fêmeas). Aloja a cavidade "fêmea". Aloja e fixa componentes (cunhas, guias, talas, etc.). Promove a solidez da estrutura. Suporta a pressão de injeção.
Placa Macho	Aloja os postigos (machos). Aloja a cavidade "macho". Aloja e fixa componentes (cunhas, guias, talas, etc.). Promove a solidez da estrutura. Suporta a pressão de injeção.
Calço	Limita e cria o curso para a extracção.
Placa extractora	Aloja e fixa os elementos extractores. Extrai o componente da cavidade.

### 2.5.1.2. Tipos de molde de injeção

Os tipos de molde mais usuais são:

- Moldes de duas placas;
- Moldes de três placas.

#### Moldes de duas placas

A configuração mais comum dos moldes é a de duas placas, em que as duas metades do molde abrem ao longo de uma linha de separação (Figura 46). O material pode entrar na cavidade do molde directamente através do canal da bucha de injeção, ou indirectamente, por meio de um sistema de canais que fornece o material para os locais desejados ao longo da linha de separação. A metade do molde móvel geralmente contém um mecanismo de extracção ligado a um cilindro hidráulico actuado pelo operador da máquina (Part and Mold Design - A Design Guide, 2000).

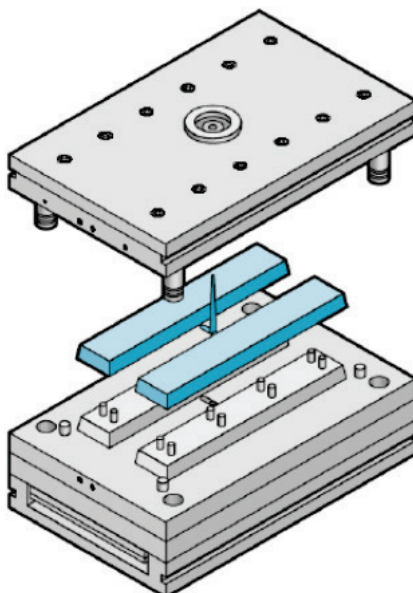


Figura 46 - Exemplo de molde de duas placas (Part and Mold Design - A Design Guide, 2000).

### Moldes de 3 placas

Na configuração de três placas, o molde abre em dois locais em vez de um. A figura abaixo mostra a sequência de abertura para um molde típico de três placas. O molde possui uma placa-macho, uma placa-cavidade e outra caracterizada como flutuante. Na placa flutuante ficam os sistemas de canais. Na abertura do molde, o gito separa-se da peça e, seguidamente, a peça é extraída e o gito sai do seu alojamento. Esta configuração é aplicada em moldes de múltiplas cavidades com ponto de alimentação central, ou ainda em moldes de uma cavidade com grande área e necessidade de vários pontos de injeção, onde não é viável a aplicação de um sistema de câmara quente. A principal desvantagem desta configuração é originar desperdício de material (gito), que deve ser reaproveitado na proporção máxima recomendada pelo fornecedor de matéria-prima, para que as propriedades desejadas para o produto final sejam mantidas dentro do intervalo desejado.

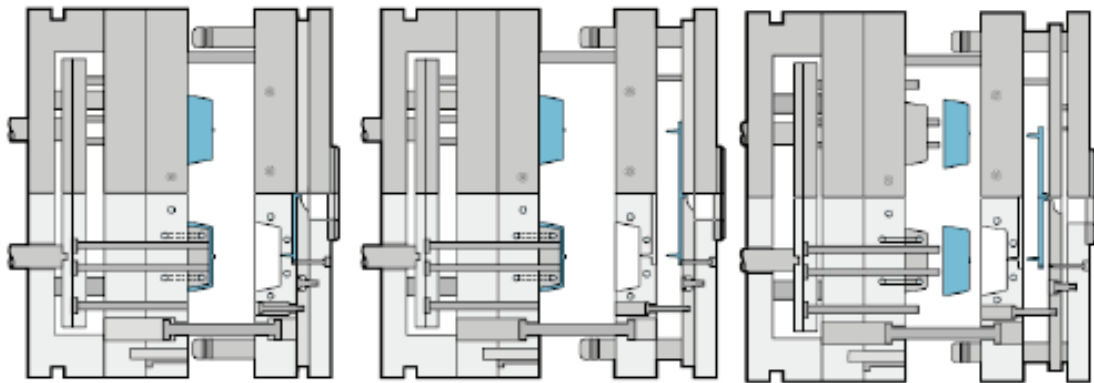


Figura 47 - Sequência de abertura de molde 3 placas (Part and Mold Design - A Design Guide, 2000).

### 2.5.1.3. Fixação da ferramenta

A fixação do molde à injectora é normalmente obtida através do uso de grampos de fixação a placas exteriores, as quais possuem abas laterais ou rasgos para inserção do grampo.

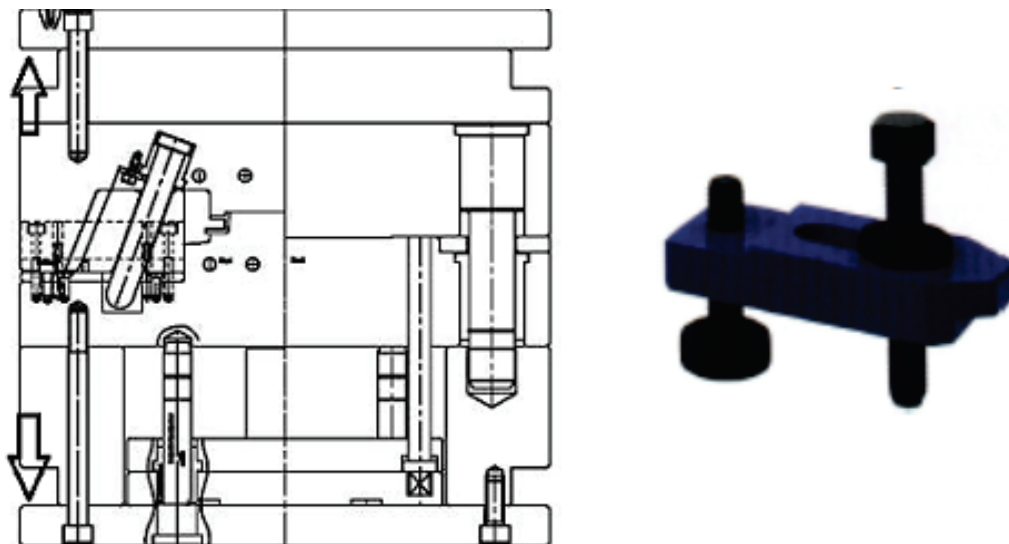
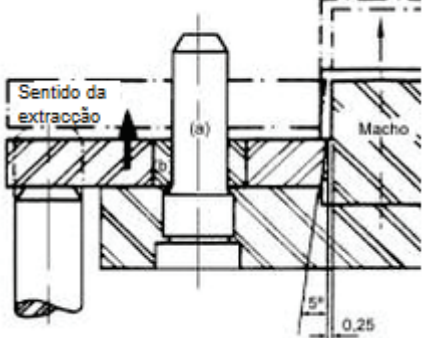
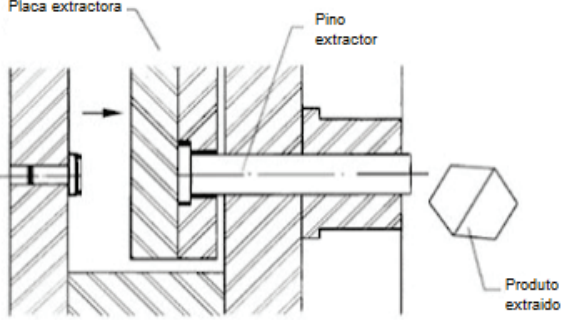
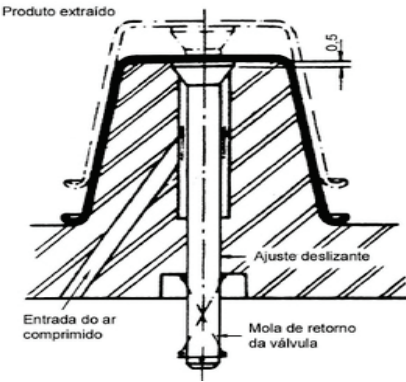


Figura 48 - Ponto de fixação do molde e componente de fixação

### 2.5.1.4. Sistema de extracção

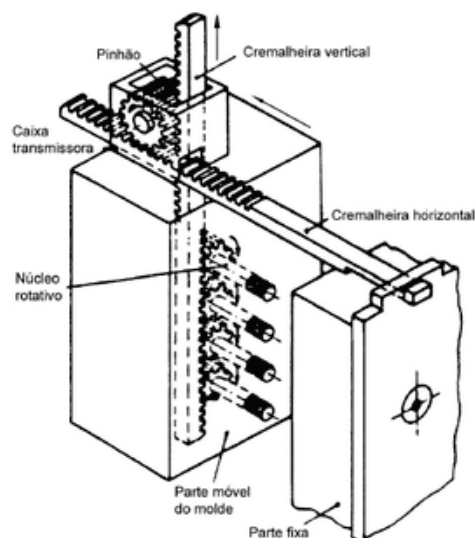
Em muitos casos, o componente continua na cavidade mesmo após a abertura do molde, pelo que é necessário que o sistema de extracção extraia a peça da cavidade. O sistema é normalmente composto por placas amovíveis (placas extractoras), sendo estas accionadas directamente pela máquina. Com a abertura do molde, estas placas accionam os elementos extractores (pinos extractores, placa, lâminas extractoras, etc.). Existem outros tipos de sistemas de extracção, como podemos verificar abaixo (Tabela 16).

Tabela 16 - Sistemas de extracção.

Sistemas de extracção	Exemplo
<p>Placa extractora:</p> <p>Consiste na colocação de uma placa ajustada que envolve a base do macho, permitindo que a força de extracção seja distribuída uniformemente. É aplicada em casos que apresentem pouca área de extracção e perfis complexos. O accionamento pode ser por molas, tirantes ou outros.</p>	 <p>Figura 49 - Extracção por placa extractora (Amato, 2004).</p>
<p>Placa extractora/impulsionadora:</p> <p>Esta placa aloja e empurra as cabeças dos extractores que fazem a extracção da peça; Esta placa é directamente accionada pela máquina injectora.</p>	 <p>Figura 50 - Extracção por placa impulsionadora (Amato, 2004).</p>
<p>Ar comprimido:</p> <p>Introdução de ar comprimido entre a face do molde e a peça. Elimina algum vácuo que possa existir. O ar é controlado pelo operador através de uma válvula.</p>	 <p>Figura 51 - Extracção por ar comprimido (Amato, 2004).</p>

Por núcleo rotativo:

É baseado na rotação das fêmeas ou machos roscados, sendo accionados por engrenagens, parafuso sem-fim etc., que com a abertura do molde, desenrosca as peças. Permitem uma elevada produção de peças roscadas.



**Figura 52 - Extração por núcleo rotativo (Amato, 2004).**

### **2.5.1.5. Sistema de alimentação**

O sistema de alimentação é o percurso que o material percorre para chegar à cavidade. O material sai do cilindro da máquina, passa pelo bico de injeção, pela bucha de injeção, pelos canais de injeção, e entra por um orifício de injeção na cavidade. Nem todos os sistemas de alimentação podem ser assim descritos, pois existem sistemas que são mais adequados do que outros, tendo em conta a geometria da peça, o material a injectar, o número de cavidades e tipo de produção. Seguidamente serão destacados alguns dos sistemas de alimentação directa e indirecta.

#### **2.5.1.5.1. Sistema de alimentação directa**

Neste sistema, o material flui directamente da bucha de injeção para a cavidade, sendo usado essencialmente em peças com grande volume. Os tipos de alimentação directa são:

- Entrada directa;
- Entrada restrita com câmara quente;
- Corpo aquecido;
- Canais quentes.

### Entrada directa

O material sai do bico e entra directamente da bucha para a cavidade.

Utilizado normalmente em produtos de grande volume (Figura 53).

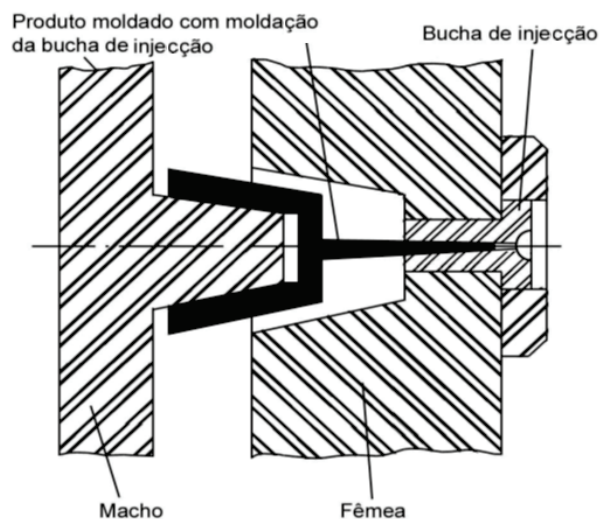


Figura 53 - Entrada directa (Amato, 2004).

### Entrada restrita com câmara quente

O material sai do bico para uma câmara quente e só depois para a cavidade. A peça sai sem o canal, não necessitando de operações posteriores. O seu ciclo de injeção é menor (Figura 54).

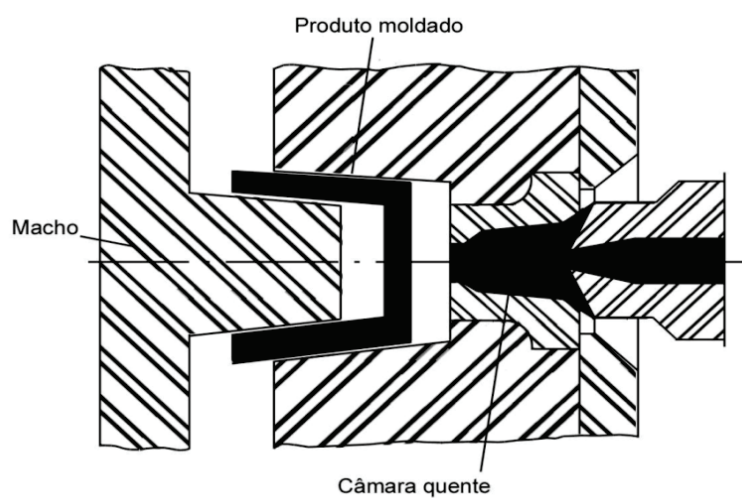


Figura 54 - Entrada restrita com câmara quente (Amato, 2004).

### Sistema com canal isolado

Constituído por um sistema de canais que variam entre 12 e 20 mm de comprimento, no qual estão inseridos elementos (torpedos) que, através do aquecimento, vão manter o material fundido no interior do canal. Com a rotação, a camada externa do material dentro da câmara vai funcionar como isolante e o material novo vai fluir continuamente através do núcleo (Figura 55).

É caracterizado por:

- Ser usualmente aplicado em peças simples com elevada cadência de produção;
- Não necessita da remoção dos canais;
- Não necessita do ajuste exacto da temperatura dos canais;
- É aplicado em peças com paredes delgadas;

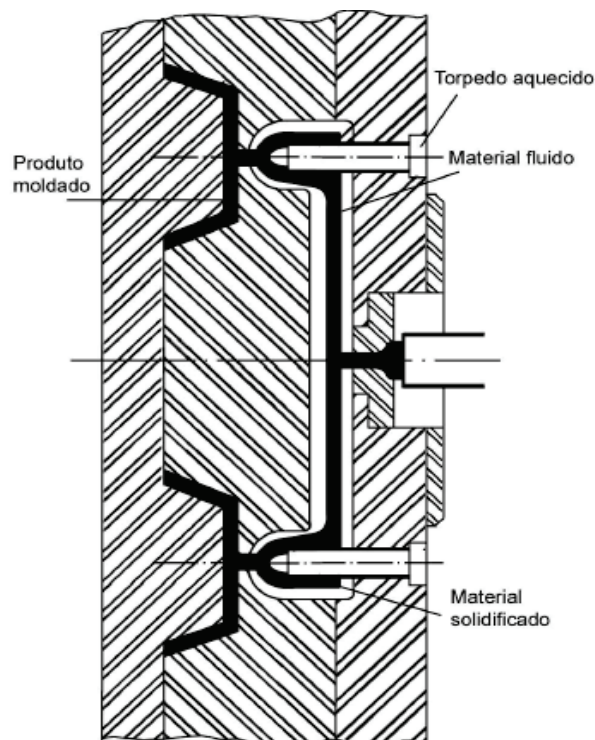


Figura 55 - Sistema com canal isolado (Amato, 2004).

## Sistema com canal quente

O sistema de canal quente é composto por um placa que contém os canais de distribuição, bicos e outros elementos. O material é mantido quente dentro dos canais, pronto para ser injectado nos ciclos seguintes (Figura 56).

Este sistema é caracterizado por:

- Aplicação em moldes de múltiplas cavidades e para alta produção;
- Permite ciclos mais rápidos;
- Economia de material;
- A peça não necessita de operações posteriores (remoção dos canais);
- Custo do molde é superior;
- Para modificar a cor do produto a injectar é necessário desmontar e limpar.

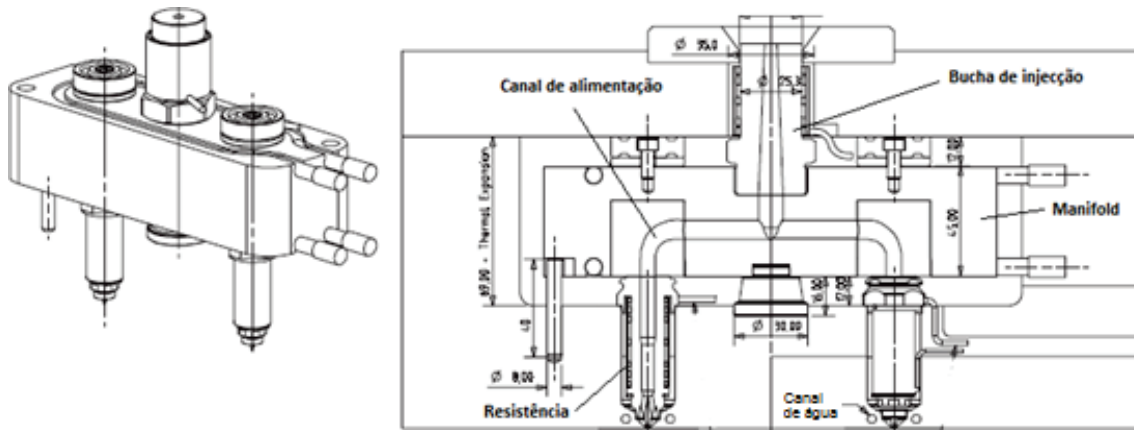


Figura 56 - Sistema com canal quente (Volastic)

### Sistema de bico quente

Este sistema é composto por uma câmara, na qual é alojado o bico. Este possui resistências internas que mantêm o material quente. O bico possui, normalmente, uma válvula de fecho/abertura que é accionada pneumaticamente (Figura 57). Apresenta as seguintes características (Figura 58):

- Diminui o tempo de injeção;
- Elimina o canal de alimentação;
- Permite economia de material;
- Custo do molde elevado;
- Depende do bico para mudar a cor.

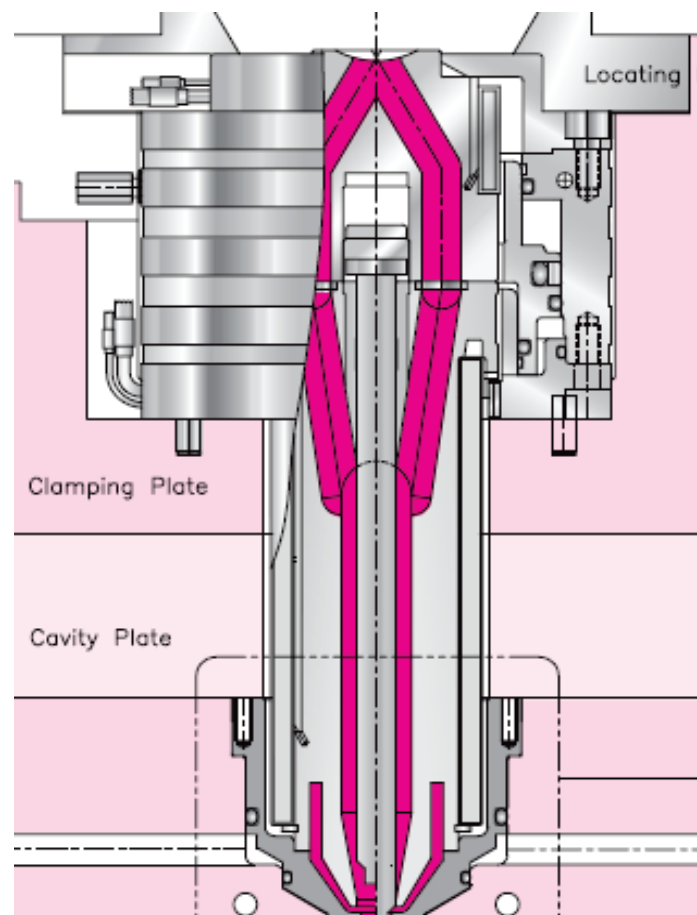
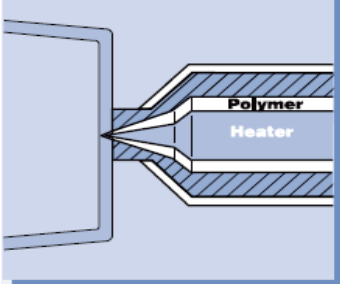
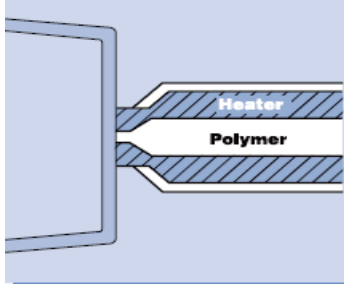
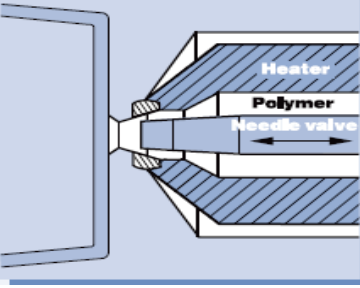


Figura 57 - Sistema de bico quente (Volastic)

A tabela abaixo indica algumas vantagens e desvantagens dos bicos de injeção.

Tabela 17 - Características de bicos de injeção (DSM, 2005).

Com resistência interna	Com resistência externa	Com resistência externa e bico com válvula
		
<p>Vantagens:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplicação simples e económica.</li> <li>- Solidez de construção.</li> <li>- Boa eficiência energética.</li> <li>- Sem vazamento.</li> </ul>	<p>Vantagens</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Homogeneidade da temperatura.</li> <li>- Pequeno volume de fundido.</li> <li>- Aplicado num vasto leque de materiais.</li> <li>- Pouca perda de pressão.</li> <li>- Fácil troca de cor.</li> </ul>	<p>Vantagens</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Homogeneidade da temperatura.</li> <li>- Pequeno volume de fundido.</li> <li>- Possibilita orifícios de injeção mais largos.</li> <li>- Aplicação em materiais viscosos e termicamente instáveis.</li> <li>- Controlo do processo.</li> </ul>
<p>Desvantagens:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Homogeneidade da temperatura.</li> <li>- Perdas de pressão.</li> <li>- Mudança da cor.</li> <li>- Alta tensão de corte.</li> <li>- Controlo do processo.</li> <li>- Usado principalmente com poliafinas.</li> </ul>	<p>Desvantagens:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilização de muita energia.</li> <li>- Custo.</li> <li>- Vazamento.</li> <li>- Necessário isolamento das partes frias do molde.</li> </ul>	<p>Desvantagens:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilização de muita energia.</li> <li>- Custo.</li> <li>- Elevada manutenção.</li> <li>- Alta tensão de corte.</li> <li>- Necessário isolamento das partes frias do molde.</li> </ul>

### 2.5.1.5.2. Sistema de alimentação indirecta

Este sistema é caracterizado por um canal primário, no qual o material corre, sendo distribuído por canais secundários até ao orifício da cavidade (Figura 58).

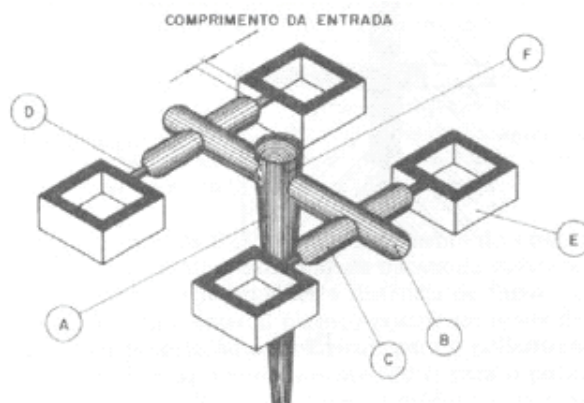


Fig. 49

- A - Canal de injeção da bucha
- B - Canal distribuição primário
- C - Canal distribuição secundário
- D - Entradas do ponto de injeção
- E - Produto moldado
- F - Poço frio

**Figura 58 - Canais de alimentação indirecta (Domingues, 2012)**

Os canais de alimentação devem:

- Ser o mais curtos possível, para evitar perdas de pressão e calor;
- Permitir fácil ejeção do canal de alimentação;
- Permitir um enchimento balanceado das cavidades;
- Reduzir perdas de material;
- Maximizar a eficiência da energia consumida.

O poço frio evita que o material frio, que arrefeceu na extremidade do bico de injeção, entre nos canais ou cavidade. Ao mesmo tempo, favorece a extracção do canal da bucha.

Os canais de distribuição unem o canal da bucha aos orifícios de injeção. Todos os canais devem ser polidos na direcção em que flui o plástico, facilitando o deslocamento do fundido.

## Perfis da bucha de injeção e dos canais de distribuição

### Bucha de injeção

Após a saída do bico da injectora, o material passa pela bucha de injeção (Figura 59). Os cuidados que devem ser tidos em consideração no dimensionamento da bucha de injeção são (Figura 60):

- Evitar a degradação do material devido a tensões de corte;
- O canal deve ter uma forma cónica de 2 a 6 graus, para uma fácil saída;
- O canal deve ser bem polido e o mais curto possível;
- Devem ser evitados cantos ou arestas vivas;
- O comprimento do canal varia entre 5 a 9 vezes o diâmetro mínimo do canal;
- Evitar um canal demasiado comprido para que não parta na extracção.

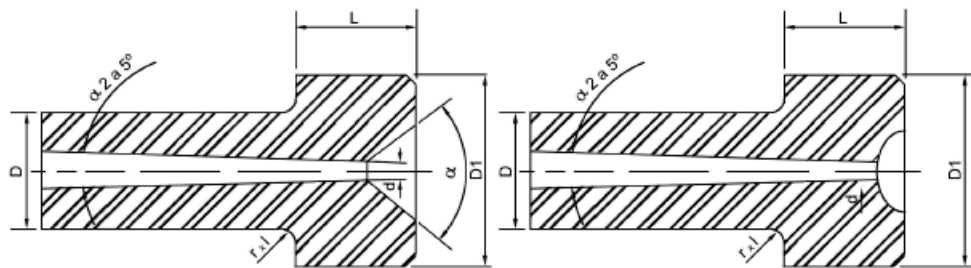


Figura 59 - Canal da bucha de injeção (Amato, 2004).

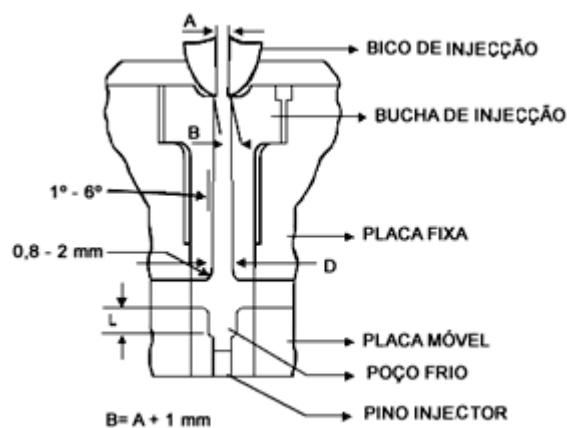


Figura 60 - Bucha de injeção (Voigt).

O diâmetro menor da bucha varia com o peso, tipo de material e características da máquina. A Tabela 18 apresenta valores recomendados para alguns materiais.

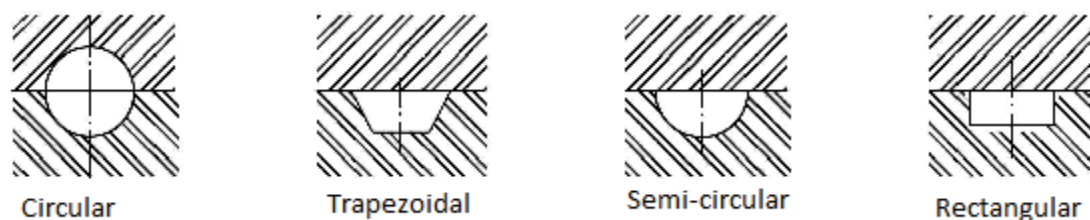
**Tabela 18 - Diâmetros do canal da bucha (Amato, 2004).**

Dimensões recomendadas para o diâmetro mínimo da bucha para injectar polistireno	
Massa a injectar em gramas (g)	Diâmetro mínimo (d) da bucha (mm)
10	3.5
10 – 20	4.5
20 – 40	5.5
40 – 150	6.5
150 – 300	7.5

Para outros materiais, estes valores devem ser multiplicados pelos seguintes fatores:	
Outros tipos de poliestireno	1.2 a 1.5
Polimetacrilato de metilo	2.0
PVC plastificado	0.8
Poliâmidas	0.8
Acetato de celulose	1.0
Polietileno	0.5

### Canais de distribuição

Idealmente nos canais de alimentação deverá ser adoptado o perfil circular, embora seja de fabrico mais difícil, enquanto o canal trapezoidal é bastante eficiente e mais fácil de fabricar do que o circular. O perfil semicircular é mais aconselhável do que o rectangular, porém a sua utilização é diminuta devido a ser pouco eficiente (Figura 61).



**Figura 61 - Perfis dos canais de distribuição (Amato, 2004).**

As dimensões dos canais dependem do volume e do comprimento da peça, da capacidade da máquina e do orifício de injeção. Normalmente, os canais variam entre 3 e 15 mm de diâmetro, e esta dimensão nunca é menor do que a largura da maior espessura de parede da peça. A figura abaixo indica os valores recomendados para os canais de alimentação (*Runners*).

Runner Diameter		Maximum Runner Length			
(in)	(mm)	Low Viscosity		High Viscosity	
		(in)	(mm)	(in)	(mm)
1/8	3	4	100	2	50
1/4	6	8	200	4	100
3/8	9	11	280	6	150
1/2	13	13	330	7	175

$$D = \frac{w^{1/2} \times L^{1/4}}{3.7}$$

where:  
 D = runner diameter (mm)  
 W = part weight (g)  
 L = runner length (mm)

Figura 62 - Diâmetro do canal de distribuição (DSM, 2005)

Os canais secundários devem ser mais estreitos que o canal principal, devido à diminuição do fluxo. Para o cálculo dos canais secundários, podemos usar a relação seguinte:

$$D_p = N^{\frac{1}{3}} * D \quad (11)$$

N- Número de ramificações

$D_p$  – Diâmetro do canal principal

D- Diâmetro do canal secundário

### **Entrada ou ponto de injeção**

A entrada ou ponto de injeção conecta os canais de distribuição à cavidade. A secção da entrada é muito menor do que a dos canais. Esta diminuição de secção permite:

- Que o material arrefeça na entrada, após o enchimento da cavidade;
- A separação dos canais de alimentação de forma manual ou automática;
- Reduzir a marca de injeção no produto.

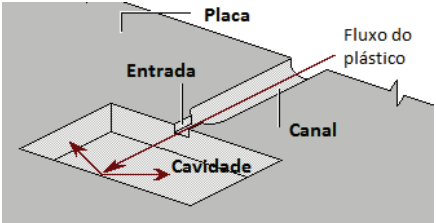
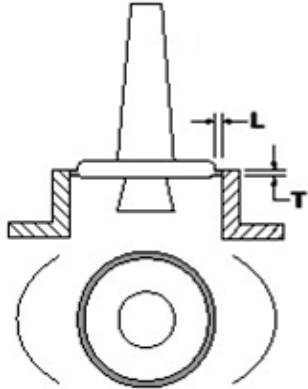
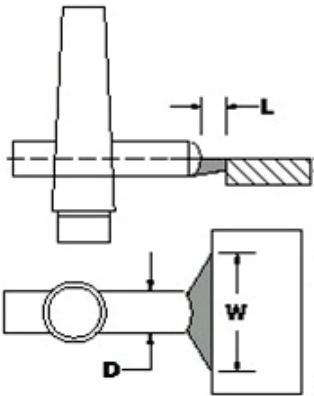
A dimensão do ponto de injeção depende de:

- Características do material;
- Espessura da parede da peça;
- Volume da peça;
- Temperatura do material;
- Temperatura do molde.

Existem vários tipos de entradas, podendo assumir as seguintes configurações (Tabela 19):

- Entrada restrita;
- Entrada em diagrama;
- Entrada capilar;
- Entrada em anel;
- Entrada tipo unha de gato;
- Entrada em cunha;
- Entrada em aba;
- Entrada submarina;
- Entrada em leque.

Tabela 19 - Exemplos de sistemas de injeção indirecta.

<b>Exemplos de sistemas de injeção indirecta</b>	
<p><b>Restrita</b> Alimentação ao centro ou lateral, ideal para materiais de fácil fluxo. Solidifica rapidamente após o enchimento. Reduz tensão de corte e evita o jacto livre. Boa aparência no local do corte. Não recomendada para materiais viscosos.</p>	 <p><b>Figura 63 - Entrada restrita ( Tudo sobre plásticos)).</b></p>
<p><b>Diagrama</b> Utilizada para produtos de forma tubular. O furo central é muito grande. Fluxo radial do plástico. Própria para a injeção de peças com grande espessura. Fluxo homogêneo, sem linha de junta. Orientação molecular. Queda de pressão baixa. A remoção do canal de injeção é uma operação à parte. Usualmente deixa marca na separação do canal de injeção.</p>	 <p><b>Figura 64 - Entrada em diagrama (Ebah).</b></p>
<p><b>Leque</b> Elevada aplicação em produtos planos (com elevadas áreas e paredes finas). Aplicado em quase todos polímeros, excepto em PVC rígido. O leque é sempre menor que a largura do produto. Permite um fluxo uniforme. Alta orientação molecular. Reduz marcas de fluxo. Permite injectar um elevado volume de material em pouco tempo. Deixa marca na superfície.</p>	 <p><b>Figura 65 - Entrada em leque (Ebah).</b></p>

**Capilar**

Deve ser de menor dimensão possível (minimizar marca de injeção). Permite uma separação automática entre o canal de injeção e a peça. Defeitos mínimos. Adequada para moldes de múltiplas cavidades. Permite ciclos mais rápidos e diminuição de tensões. Permite colocar o ponto de injeção da peça.

Maior desperdício de material. Maior custo do molde.

Não adequada a materiais muito viscosos ou muito sensíveis ao calor.

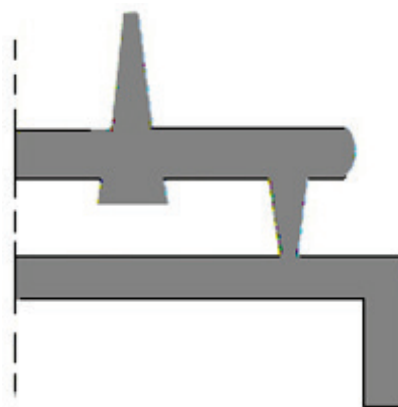


Figura 66 - Entrada capilar (Ebah).

**Anel**

Assenta no princípio de um anel concêntrico, que circunda a cavidade pela parte externa. Utilizado em produtos tubulares, quando existe mais de uma cavidade. Não existem linhas de junta. Aplicação em moldes multi-cavidade. Difícil remoção do canal de injeção. Necessário acabamento fina.

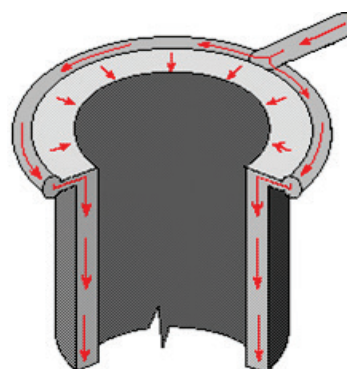


Figura 67 - Entrada de anel (Ebah).

**Unha de gato**

Aconselhada para materiais flexíveis, sendo de evitar materiais com cargas ou de elevada dureza, pois podem romper dentro do canal. Diminui a possibilidade de empeno. Remoção automática do canal de injeção.

Apresenta um bom preenchimento da cavidade.

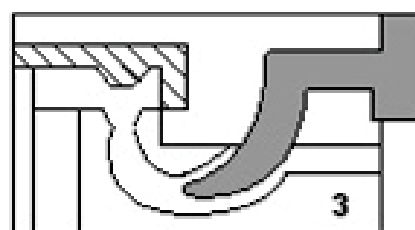


Figura 68 - Entrada unha de gato (Ebah).

**Cunha**

Aplicação em peças planas, no qual o material flui uniformemente. Diminui o empeno da peça. Apresenta um bom preenchimento da cavidade. Remoção automática do canal de injeção.

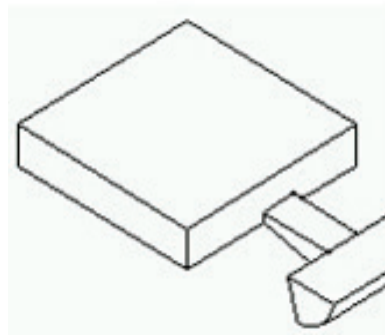


Figura 69 - Entrada de cunha (Ebah).

**Aba**

Aconselhado para PMMA, PSC e PC. Diminui as tensões residuais. Efectua a quebra do fluxo, evitando o jacto livre.

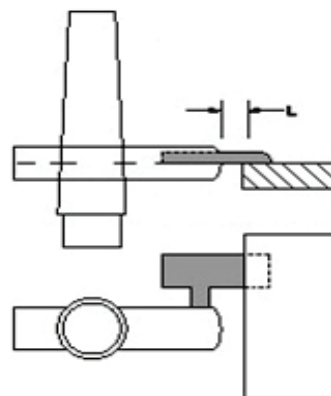


Figura 70 - Entrada de aba (Ebah) .

**Submarina**

Aplicação em moldes com múltiplas cavidades, de pequenas dimensões e para materiais flexíveis. Remoção automática do canal de injeção.

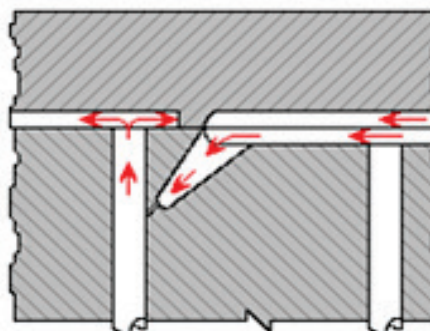


Figura 71 - Entrada submarina (Ebah).

### 2.5.1.5.3. Layout dos canais

A disposição dos canais varia com o número de cavidades e com a própria geometria da peça. Um balanceamento adequado tem por objectivos o enchimento em simultâneo das cavidades, um fluxo mais uniforme e a acomodação das cavidades de maneira a minimizar a dimensão do molde (Figura 72). O não balanceamento dos canais pode provocar:

- O enchimento incompleto;
- Diferenças nas propriedades dos produtos;
- Diferenças de contracção;
- Marcas de ocos.

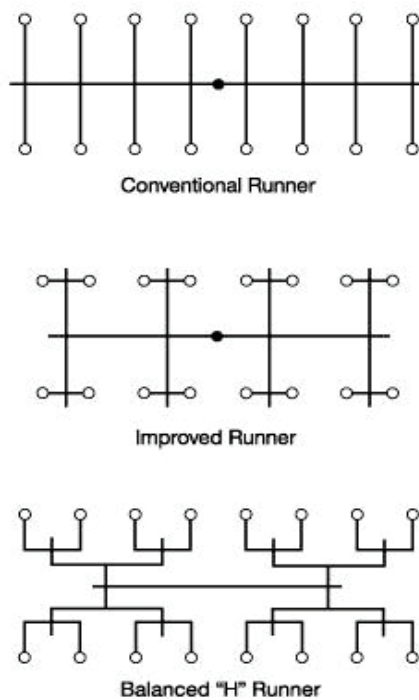


Figura 72 - Layout de canais (Ebah).

#### 2.5.1.5.4. Saída de gases

O polímero tem tendência a libertar gases durante a solidificação, os quais, na maior parte dos casos, são prejudiciais e necessitam da criação de saídas para a sua libertação para o exterior (Moldes injeção plásticos).

A falta de um adequado escoamento dos gases provoca:

- Marcas de fluxo;
- Mau acabamento na peça;
- Contração irregular;
- Emendas.

A disposição das saídas devia ser no local ao qual o material chega mais tarde, e na junção do mesmo. Contudo, existem limitações geométricas e outros factores que influenciam a localização das saídas. As localizações mais usuais para as saídas de gases são (Figura 74):

- Colocação de postiços;
- Insertos de material poroso (Porcerax);
- Através de canais junto a linha de apartação.

<b>Matéria-prima injectada</b>	<b>Dimensão min.-max. (mm)</b>
ABS	0.051 até 0.076
POM	0.013 até 0.038
PMMA	0.013 até 0.076
PA	0.013 até 0.064
PA-reforçado	0.013 até 0.064
PC	0.025 até 0.076
PE	0.025 até 0.051
PP	0.025 até 0.051
PPO	0.025 até 0.051
PPS	0.013 até 0.025
PS	0.025 até 0.076
PVC - rígido	0.025 até 0.038
PVC - flexível	0.013 até 0.051

**Figura 73 - Dimensão típica das saídas de gases para cada tipo de polímero a injectar (Moldes injeção plásticos)**

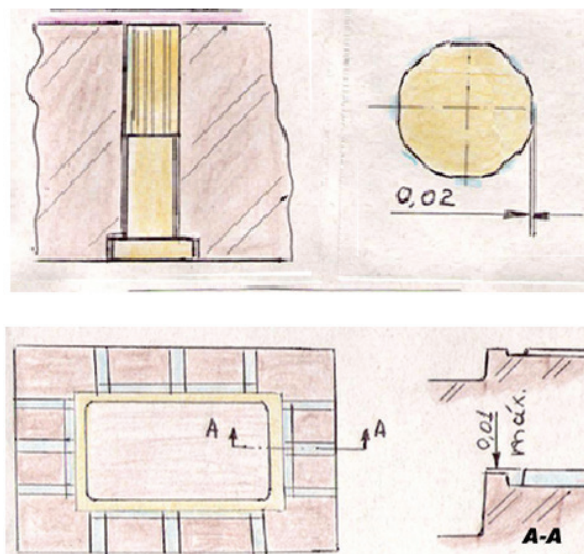


Figura 74 - Saída de gases (Moldes injeção plásticos).

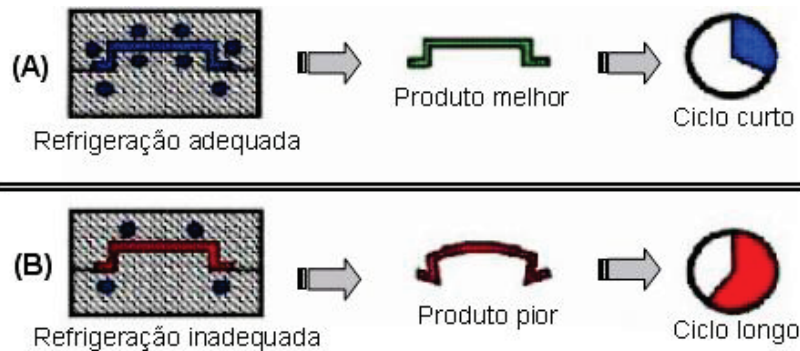
### 2.5.1.6. Sistema de arrefecimento do molde

O arrefecimento do molde é necessário para evitar o aquecimento em demasia do mesmo, permitindo que a peça solidifique rapidamente e que a peça resista à extracção sem sofrer deformações (Figura 75). No dimensionamento de um sistema de arrefecimento eficiente, os aspectos a considerar são:

- O tipo de polímero e a temperatura de processamento;
- A temperatura do molde;
- As condições do fluido refrigerante;
- O espaço disponível no molde;
- A forma (perfil) da peça;
- O grau de condutividade térmica dos materiais aplicados junto às cavidades;
- A entrada do canal de refrigeração próximo do bico de injeção, pois é a região de maior calor acumulado;
- O dimensionamento e localização adequada dos sistemas aplicados ao molde;
- As regulações de parâmetros de processo;
- O acabamento superficial do molde e do produto que se deseja alcançar.

Um bom dimensionamento do sistema de arrefecimento do molde permite:

- Diminuição do tempo de ciclo;
- Evita tensões internas;
- Evita a degradação do material;
- Diminui o número de peças defeituosas.



**Figura 75 - Canais de refrigeração e tempos dos ciclos respectivos (Silva, 2009).**

O sistema de arrefecimento pode ser a:

Água - A água é aplicada na maior parte dos casos. Quando se verifica um elevado aquecimento, poderá ser usada água gelada, Metanol<sub>4</sub>+ CO<sub>2</sub> ou Gás (CO<sub>2</sub>+Azoto).

Óleo - Nos casos em que o molde é para ser mantido a uma temperatura acima dos 80°C, sendo aplicado em materiais como o PMMA ou o Nylon<sup>®</sup>.

Ar - Aplicado quando há necessidade de arrefecimento lento e a água não é possível.

O uso de moldes mais quentes ou mais frios depende da aplicação e do tipo de peça que pretendemos, sendo que para:

Moldes mais quentes:

- Maior tempo de ciclo;
- O fluxo do material é mais fácil;
- Melhor aspecto superficial e menores tensões internas.

Moldes mais frios:

- O fluxo do material é mais difícil;
- Pode originar peças incompletas;
- Menor ciclo do tempo;
- Pior aspecto e maiores tensões internas.

### Canais de arrefecimento

O posicionamento dos canais de arrefecimento deve ser eficaz, de modo a manter a temperatura constante ao longo da placa. Na figura abaixo poderão observar-se os valores recomendados para o diâmetro do canal e a respectiva distância entre canais.

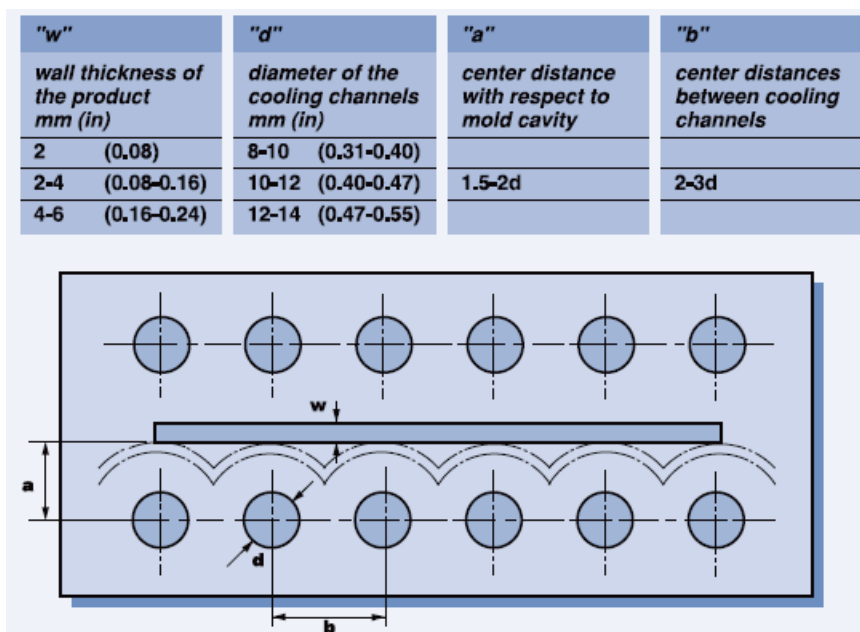


Figura 76 - Diâmetro e distância entre canais (DSM, 2005).

### Circuitos de arrefecimento

Os circuitos de arrefecimento são canais que percorrem as placas, normalmente efectuados com recurso à maquinagem ou furação. Estes circuitos têm diferentes perfis, mas podemos destacar os circuitos em "U", "Z", rectangular e circular, conforme seguidamente se descreve.

### Circuito em U

Aplicação em cavidades de perfil longo e baixo. A orientação do fluxo pode ser feita de 3 maneiras: através de um furo perpendicular aos outros dois, utilização de uma placa de conexão que pode ser aparafusada ou aplicação de uma mangueira para direccionar o fluido (Figura 77).

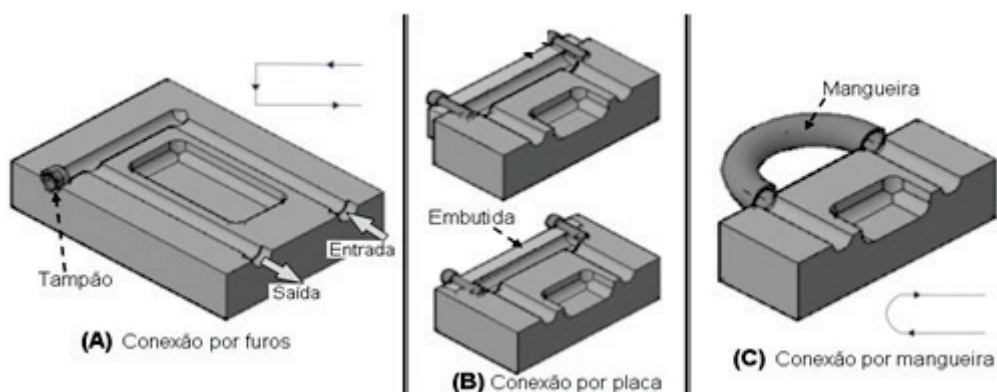


Figura 77 - Circuito em U (Silva, 2009).

### Circuito em Z

Aplicação em moldes de uma ou duas cavidades, com grandes áreas. É adequado para peças com baixo perfil. O circuito em Z pode ser espelhado ou simétrico: no simétrico as entradas e saídas de água ficam no mesmo lado, enquanto no espelhado ficam em lados opostos (Figura 78).

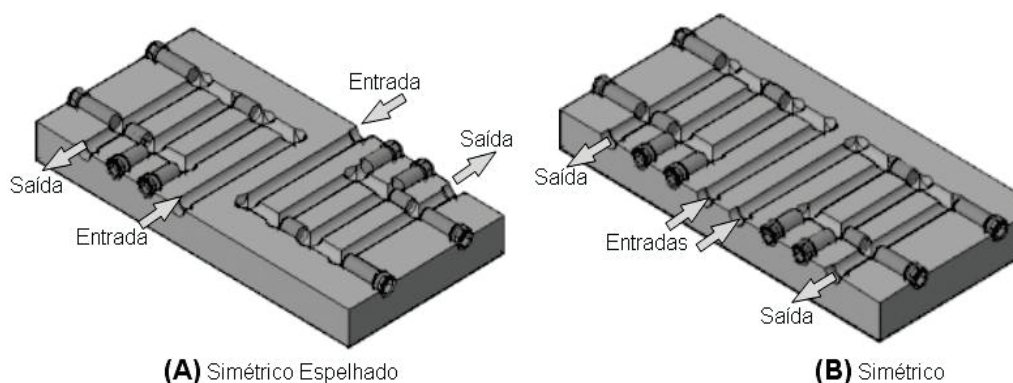


Figura 78 - Circuito em Z (Silva, 2009).

### Circuito rectangular

Aplicado em cavidades com um perfil rectangular, podendo ser com baixa ou alta profundidade (Figura 79).

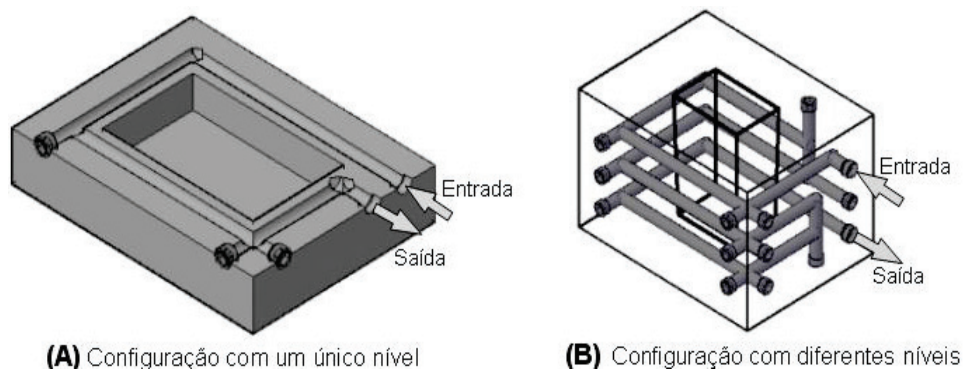


Figura 79 - Circuito rectangular (Silva, 2009).

### Circuito alternativo para cavidades circulares

Aplicado em peças com um alto perfil circular ou similares, permite uma proximidade à parede da cavidade, melhorando assim a transferência de calor (Figura 80).

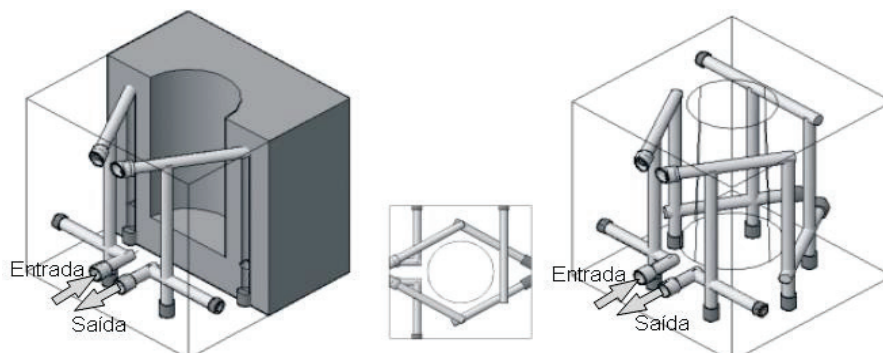


Figura 80 - Circuito alternativo para cavidades circulares (Silva, 2009).

### Circuito para cavidade circular

É aplicado quando é necessário que o canal acompanhe o perfil da peça. Normalmente é usado em machos nos quais é maquinado o canal. É necessária a aplicação de O-rings na vedação (Figura 81).

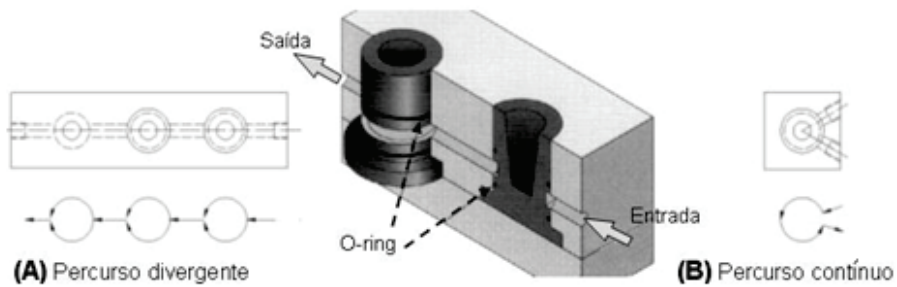


Figura 81 - Circuito para cavidade circular (Silva, 2009).

### Circuito com furação inclinada

Aplicado em machos compridos com faces inclinadas ou formas peculiares. Efectuam-se dois furos, que se encontram no topo do macho. Este sistema não é muito eficiente, principalmente nos casos que o furo fique afastado da parede da cavidade (Figura 82).

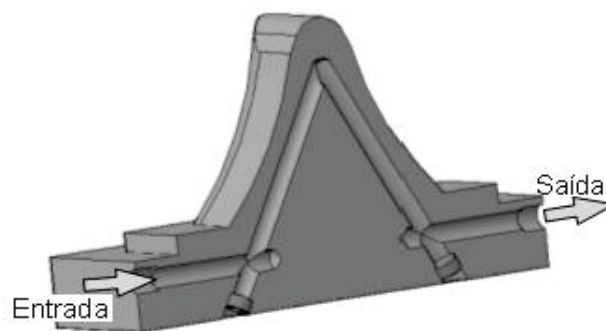


Figura 82 - Circuito com furação inclinada (Silva, 2009).

### Circuito de placas de refrigeração

Permite o controlo individual de cada parede da cavidade do molde. É aplicado principalmente em molde para o processo por sopro. O circuito é maquinado nas placas de refrigeração, sendo estes depois fixadas à placada cavidade. Necesita do uso de O-rings para vedação na junta (Figura 83).

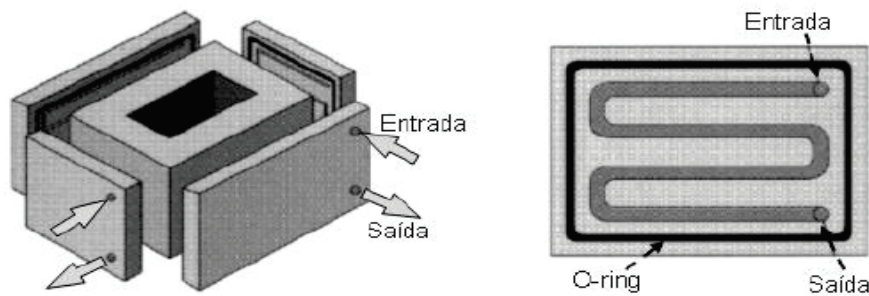


Figura 83 - Circuito de placas de refrigeração (Silva, 2009).

### Circuito em helicoidal

É normalmente aplicado em machos, peças com um alto perfil e grandes diâmetros. Este sistema vai arrefecer as paredes laterais da peça através de um canal com uma forma helicoidal, que percorre todo o interior do macho. O canal, ao ter esta forma, vai adquirir um elevado comprimento, aumentando o tempo do fluido no macho, o que diminui a sua eficiência (Figura 84).

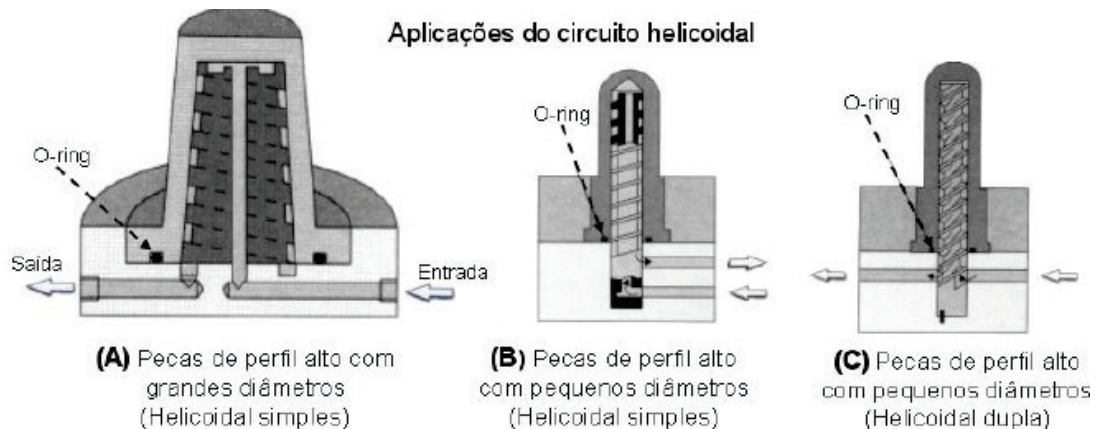


Figura 84 - Circuito em helicoidal (Silva, 2009).

### Tempo de arrefecimento da peça

O tempo de arrefecimento corresponde a uma parte significativa do tempo do ciclo, o que desejamos sempre encurtar. O tempo de arrefecimento depende da:

- Espessura da peça;
- Relação de temperaturas entre o molde e o material;
- Temperatura de extracção da peça.

### Cálculo do tempo de arrefecimento

O tempo de arrefecimento da peça poderá ser calculado com recurso à expressão seguinte:

$$S = \left(\frac{-t^2}{2\pi\alpha}\right) \log \left[ \left(\frac{\pi}{4}\right) \left(\frac{T_r - T_m}{T_c - T_m}\right) \right] \quad (12)$$

onde:

S- Tempo de arrefecimento (s)

T - Espessura da peça (cm)

$\alpha$  – Coeficiente de difusão térmica do material (cm<sup>2</sup>/s)

T<sub>r</sub> - Temperatura de extracção da peça (K)

T<sub>m</sub> – Temperatura do molde (Tabela 20) (K)

T<sub>c</sub> – Temperatura de injeção do material (K)

**Tabela 20 - Temperatura do molde para diferentes polímeros.**

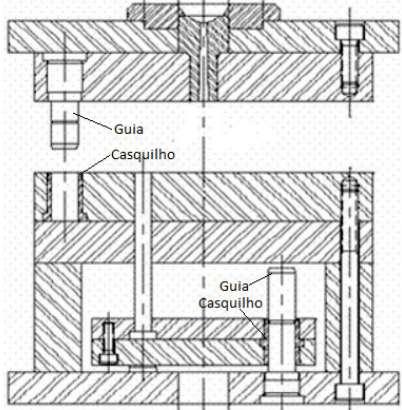

### Temperatura do molde °C

PS/SB	10 - 50
SAN, ABS	30 - 80
PE	20 - 60
PP	20 - 80
PVC	20 - 60
PA 6	60 - 100
PA 66, 610	40 - 90
PA 12	40 - 80
PC	80 - 120
CA, CP, CAB	40 - 80
PMMA	40 - 80
POM	40 - 120
PUR	40 - 80
TPX	60 - 80
Alathon	10 - 30
Surlyn	10 - 30
Noryl	80 - 120
Poliéster	170 - 200
Resina alquídica	160 - 180
Resinas fenólicas	170 - 190
Resinas uréicas	130 - 150
Resinas fenólica-melamina	170 - 190

### 2.5.1.7 Sistema de guiamento/centramento

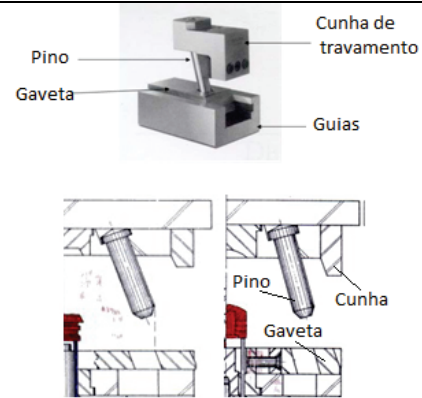
O sistema de guiamento permite o ajuste das partes móveis do molde e evita desencontros, que podem originar defeitos na peça. Na tabela seguinte podemos ver alguns métodos usados para garantir o alinhamento das placas.

**Tabela 21 - Métodos de guiamento.**

Métodos	
<p><b>Guia e casquilho</b></p> <p>O uso de guias com casquilhos é corrente nos moldes providos de guiamento das placas, principalmente nas duas metades que contêm as cavidades do molde.</p> <p>Apresentam uma dureza entre 58/62 HRC devido ao elevado desgaste a que estão sujeitos.</p> <p>O conjunto guia + casquilho tem uma folga de ajuste do tipo H7/g6.</p>	 <p><b>Figura 85 - Posicionamento da guia e do casquilho (Moldes injeção plásticos).</b></p>
<p><b>Interlocks</b></p> <p>Elementos que, através de faces cônicas, permitem o ajuste e centramento das duas metades dos moldes.</p> <p>Apresentam uma dureza compreendida entre 58/62 HRC, devido ao elevado desgaste a que estão sujeitos.</p>	 <p><b>Figura 86 - Interlocks (Sutafer).</b></p>

### Elementos móveis

Elementos móveis do molde, usados normalmente na cavidade. Possibilitam a abertura da cavidade para a saída da peça. Uma guia ou pino acciona a gaveta, na qual desliza sobre guias. As guias e faces inclinadas fornecem o ajuste. O aço das guias tem uma menor dureza que a guia ou é fabricada em material auto lubrificante.



**Figura 87 - Elementos móveis (Moldes injeção plásticos).**

### Áreas cónicas

Aplicação de uma geometria de faces cónicas nas placas da cavidade. Permite que a pressão nas cavidades não desalinhe as placas e garanta o perfeito fecho do molde.



**Figura 88 - Faces cónicas (Docstoc).**

### 2.5.2. Análise da geometria da peça injectada

Antes de projectar o molde, deverá ser realizada uma análise crítica acerca da peça a injectar, para identificar os pontos que possam prejudicar o projecto do molde ou melhorar o desempenho de produção, e para que considerados antes das fases de orçamentação e construção. Além de direccionar o projecto do molde e torná-lo o mais simples e robusto possível, esta análise permitirá evitar gastos e atrasos que poderiam ocorrer na fase de construção do molde.

A espessura das paredes tem uma grande influência no desempenho da peça, na aparência, nas condições de processamento, nos custos finais, e espessuras maiores proporcionam maiores tempos de ciclo e maior volume da peça (Figura 89).

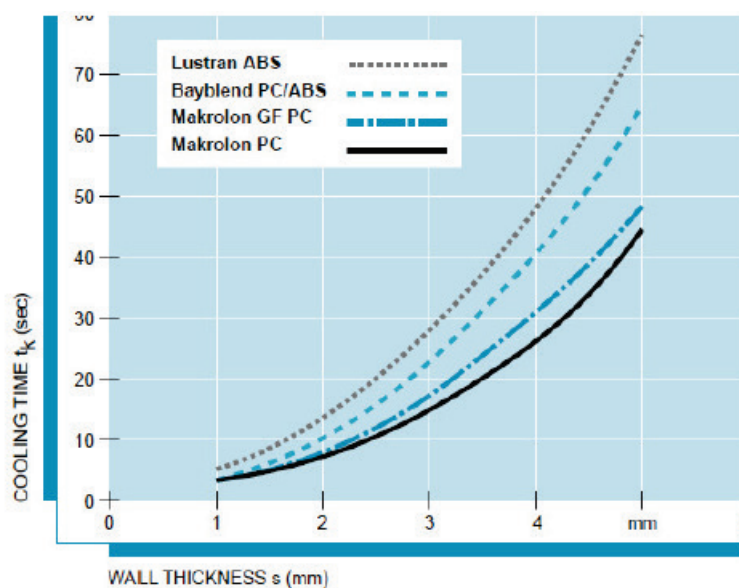


Figura 89 - Tempo de arrefecimento versus espessura de parede (Part and Mold Design - A Design Guide, 2000).

**Espessuras demasiado grossas causam:**

- Aumento do tempo de ciclo (Figura 89);
- Aumento dos custos finais;
- Defeitos nas peças (rechupes, vazios, etc).

**Espessuras demasiado finas causam:**

- Falha de enchimento;
- Diminuição da resistência.

Geralmente, aumentando a espessura da parede, reduz a deflexão durante o impacto e aumenta a energia necessária para iniciação de dano da peça. Em alguns casos, o aumento de espessura da parede pode endurecer a peça de tal forma que a geometria não seja suficientemente flexível para absorver a energia de impacto. Materiais como o policarbonato (Figura 90) perdem resistência ao impacto se a espessura for superior a um limite conhecido como espessura crítica.

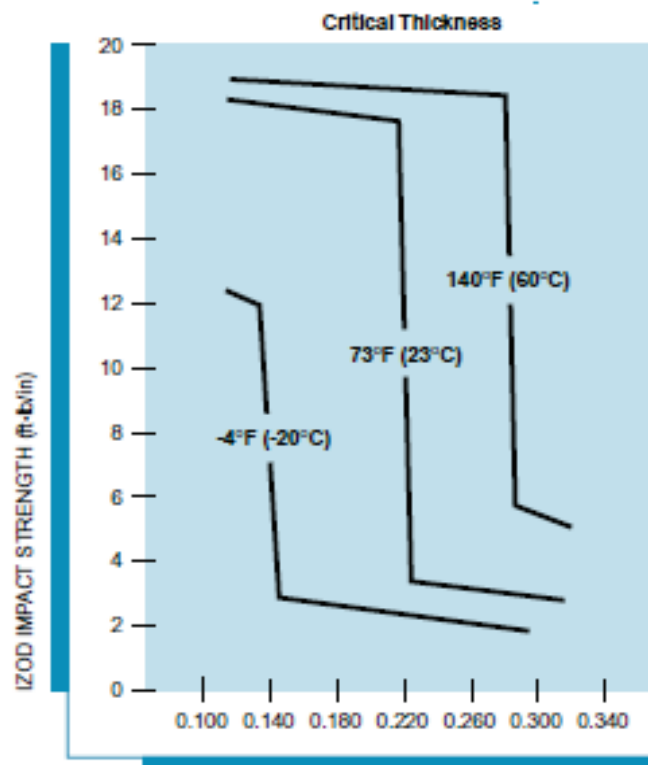
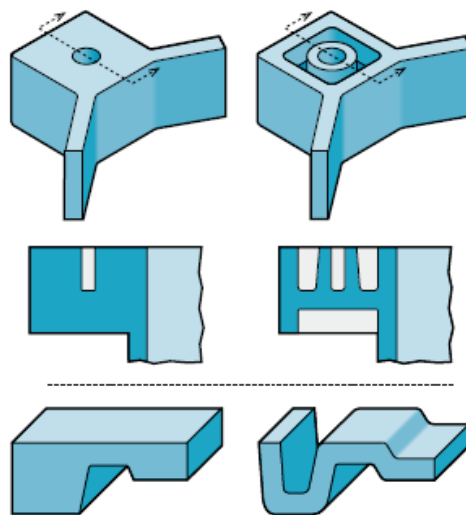


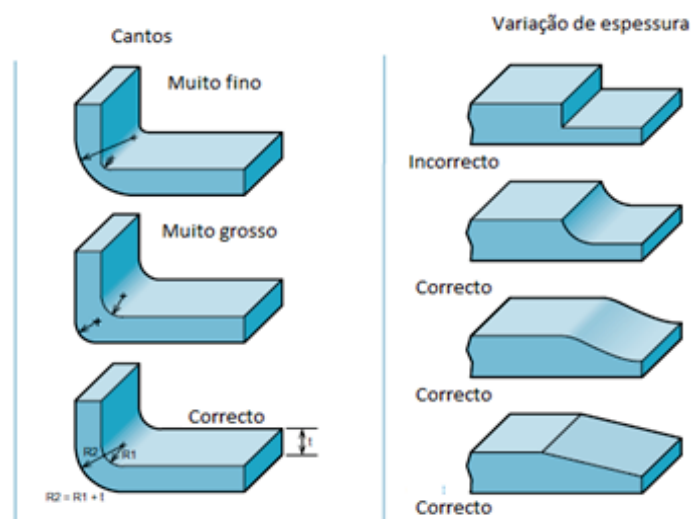
Figura 90 - Resistência ao impacto do policarbonato vs espessura a várias temperaturas (Part and Mold Design - A Design Guide, 2000).

A aplicação de núcleos (Figura 91) ou o redesenho as peças permitem manter um espessura mais constante e diminuir os aspectos negativos ligados a paredes demasiado espessas.



**Figura 91 - Exemplos de alterações para manter uma espessura constante (Part and Mold Design - A Design Guide, 2000).**

Ocasionalmente, são incorporados canais orientadores mais espessos, os quais ajudam ao enchimento de áreas longe do ponto de injeção, equilibrando o enchimento. Para evitar empenamentos, os canais deverão apresentar uma espessura superior em 25% para materiais amorfos e 15% para materiais cristalinos. As mudanças de fluxo do material e as diferenças de espessura podem restringir o fluxo ou provocar falhas de enchimento ou vazios. As figuras seguintes indicam algumas das soluções para evitar estes problemas.



**Figura 92 - Exemplos de alterações para melhorar o fluxo (Part and Mold Design - A Design Guide, 2000).**

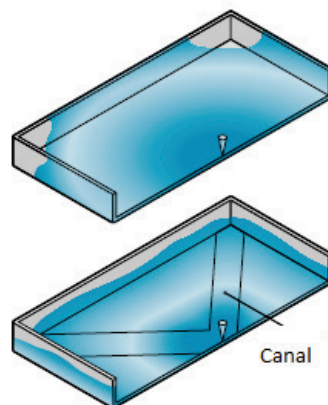


Figura 93 - Exemplo de canal orientado (Part and Mold Design - A Design Guide, 2000).

As nervuras ou pontos de união entre paredes podem tornar-se pontos de acumulação de massa e, pela contracção do material, favorecer a formação de rechupes sobre a superfície da peça injectada (Figura 94).

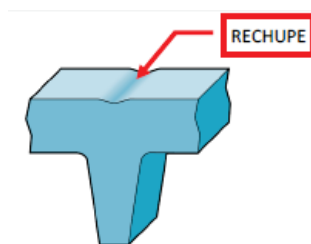


Figura 94 - Exemplo de rechupe causado por nervura mal dimensionada (Part and Mold Design - A Design Guide, 2000) .

Recomenda-se assim que as espessuras de nervuras observem as recomendações demonstradas na figura e tabela abaixo.

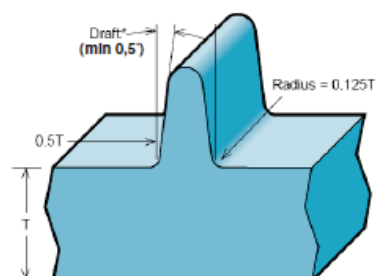
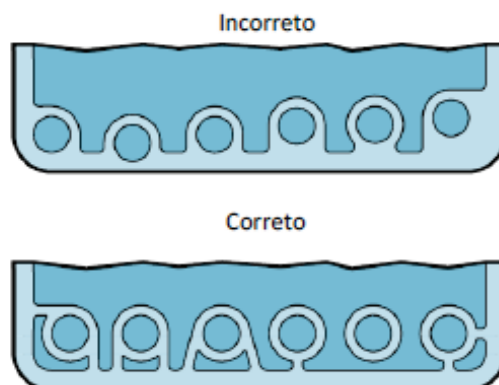


Figura 95 - Recomendações gerais para dimensionamento de nervuras (Part and Mold Design - A Design Guide, 2000).

**Tabela 22 - Percentagens específicas de espessura de nervura versus espessuras de parede (Part and Mold Design - A Design Guide, 2000).**

Resin	Minimal Sink	Slight Sink
PC	50% (40% if high gloss)	66%
ABS	40%	60%
PC/ABS	50%	66%
Polyamide (Unfilled)	30%	40%
Polyamide (Glass-Filled)	33%	50%
PBT Polyester (Unfilled)	30%	40%
PBT Polyester (Filled)	33%	50%

A criação de cavidades para alojamento de parafusos ou buchas de aperto deve evitar a criação de vazios ou rechupes, conforme o indicado na figura abaixo.



**Figura 96 - Exemplo de buchas de fixação junto à parede do produto (Part and Mold Design - A Design Guide, 2000).**

### Ângulos de saída

Na elaboração da peça, é necessária a aplicação de ângulos de saída (Figura 97), para permitir a saída da peça da cavidade.

Podem existir detalhes na peça (Figura 98) que podem impedir que a extracção ocorra pelo simples movimento de avanço e recuo dos elementos de extracção do molde, como pinos ou lâminas. Nestes casos são necessários elementos móveis que se desloquem em sentido diferente ao de abertura e fecho do molde, como gavetas e pinças, o que aumenta a complexidade. A aplicação destes elementos ao molde torna o custo de fabricação maior, devido ao aumento da complexidade do molde. No projecto da peça, sempre que possível, os detalhes negativos à extracção devem ser evitados, para que o molde se torne mais simples e

robusto, permitindo ao produto apresentar menos marcas de fecho e movimentos que se tornam necessários à sua extracção.

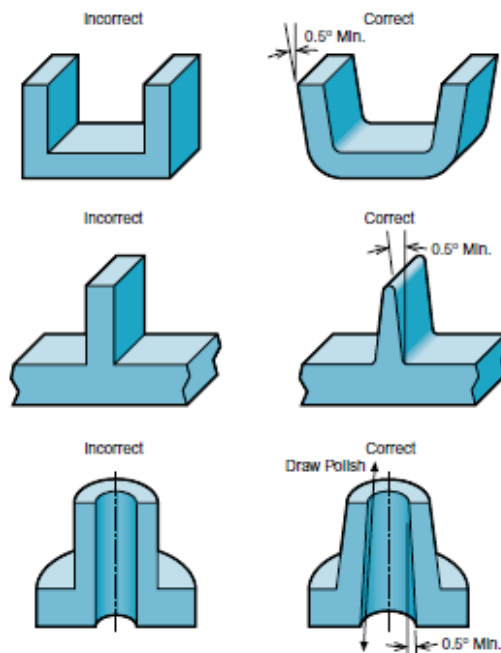


Figura 97 - Exemplos de aplicação de ângulos de saída (Part and Mold Design - A Design Guide, 2000)

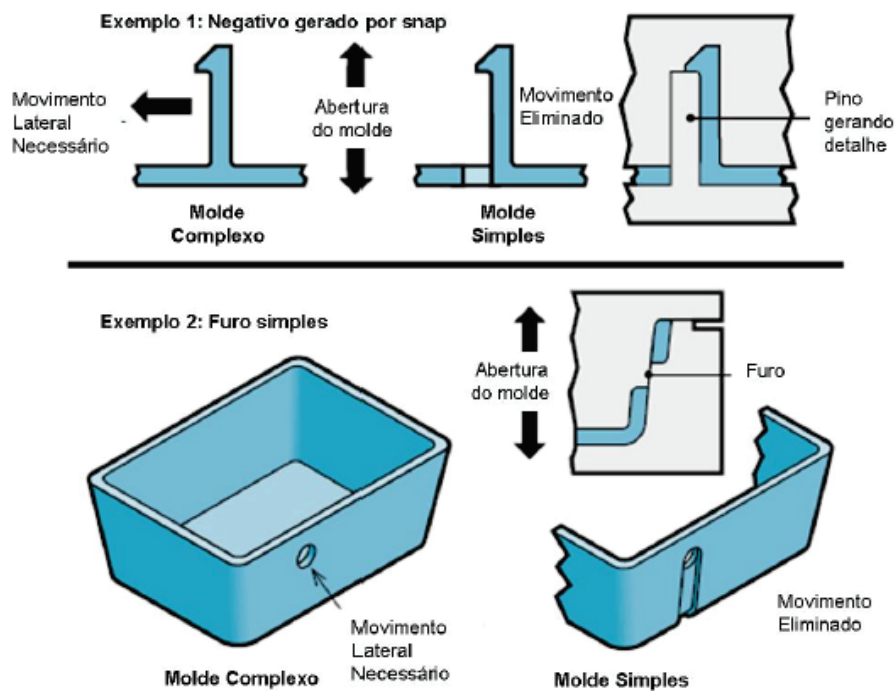


Figura 98 - Exemplos de alterações para simplificar a ferramenta (Part and Mold Design - A Design Guide, 2000).

### 2.5.3. Dimensionamento de moldes para a injeção de plástico

#### 2.5.3.1. Cálculo da força de fecho

A força de fecho poderá ser calculada através da expressão seguinte:

$$F = \frac{A_p \cdot P_m \cdot K_m \cdot N_{cav} \cdot 1.2}{1000} \quad (13)$$

onde:

F - Força de fecho (N)

$A_p$  - Área projectada ( $\text{mm}^2$ )

$P_m$  - Pressão da injeção na cavidade (MPa)

$K_m$  - Constante relativa ao material usado (Tabela 23)

$N_{cav}$  - Numero de cavidades

1.2 - Factor de segurança

Tabela 23 - Valores de  $K_m$ .

PS	PE	PP	ABS	PC	PA	PMMA	POM	CA	PVC-W
1,0	1,0	1,0	1,35	1,80	1,30	1,60	1,30	1,35	1,0

#### 2.5.3.2. Dimensionamento dos calços

A função dos calços é fornecer uma cavidade para o curso da extracção (Figura 99).

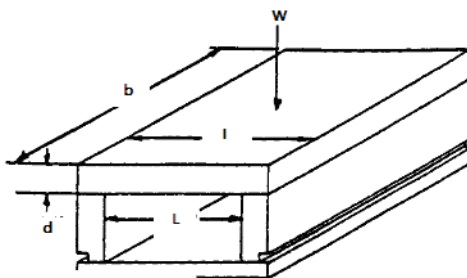


Figura 99 - Cavidade da extracção (Rosato, et al., 2000).

A tensão a que estes são sujeitos pode ser calculada com recurso à expressão seguinte:

$$\sigma_m = \frac{F_c * L}{8 * Z} \quad (14)$$

$$Z = \frac{b * d^2}{6} \quad (15)$$

$$\sigma_m = \frac{F}{A} \quad (16)$$

onde:

$F_c$  - Força aplicada (N)

$\sigma_m$  - Tensão admissível (MPa)

$L$  - Distância entre os calços (mm)

$Z$  - Módulo da resistência a flexão (mm<sup>3</sup>)

$A$  - Área (mm<sup>2</sup>)

$b$  - Largura da placa (mm)

$d$  - Altura da placa (mm)

### **2.5.3.3. Dimensionamento do extractor/guia**

Os extractores poderão ser dimensionados com recurso à expressão seguinte (método da carga crítica de Euler à encurvadura):

$$F = \frac{m * \pi^2 * E * I}{L^2} \quad (17)$$

$$I = \frac{(\pi * r^4)}{4} \quad (18)$$

Onde:

$F$  - Força na coluna/ extractor (N)

$L$  - Comprimento do extractor (mm)

$E$  - Módulo de Young (MPa)

$I$  - Momento de Inércia à flexão (mm<sup>4</sup>)

$m$  - Constante (Figura 100)

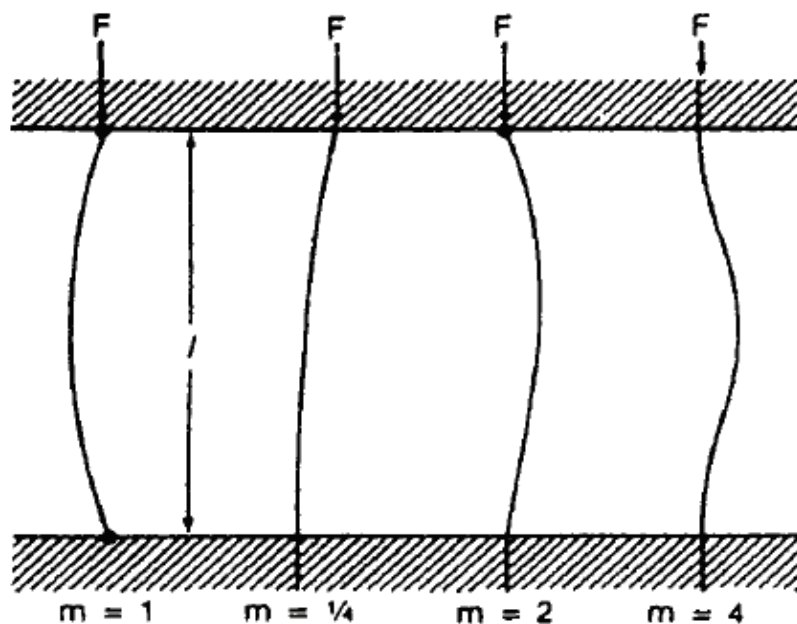


Figura 100 - Constante m (Rosato, et al., 2000).

#### 2.5.3.4. Força de extracção

A força de extracção pode ser obtida com recurso à expressão seguinte:

$$F_e = \frac{St \cdot E \cdot A \cdot U}{d \left( \left( \frac{d}{2t} \right) - \left( \frac{d}{4t} \right) \cdot v \right)} \quad (19)$$

onde:

$F_e$  - Força de injeção [N]

$E$  - Módulo de Young [MPa]

$d$  - Diâmetro equivalente ao perímetro da cavidade [mm]

$U$  - Coeficiente de atrito entre plástico e metal

$v$  - Coeficiente de *Possion*

$St$  - Contração térmica do plástico em relação ao diâmetro = (coeficiente de expansão térmica) x (diferença de temperatura entre o ponto de injeção e extracção da peça) x  $d$  (mm)

### 2.5.3.5 Cálculo do tempo de arrefecimento da peça

O tempo de arrefecimento da peça pode ser calculado através da expressão seguinte:

$$t = \left( \frac{-h^2}{2 \alpha * \pi} \right) * \ln \left[ \left( \frac{\pi}{4} \right) * \frac{(T_e - T_m)}{T_f - T_m} \right] \quad (20)$$

Onde :

t - Tempo de arrefecimento (s)

h - Espessura da peça (m)

$\alpha$  - Difusão térmica do plástico (m<sup>2</sup>/s)

T<sub>f</sub> - Temperatura de fusão do polímero (K)

T<sub>m</sub> - Temperatura do molde (K)

T<sub>e</sub> - Temperatura de extracção (K)

### 2.5.3.6 Dimensionamento da espessura mínima da cavidade

A espessura mínima da cavidade pode ser calculada através da expressão seguinte:

$$t = \left[ \frac{5WL^4}{32Eyh} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (21)$$

$$w = P * h \quad (22)$$

Onde:

W - Carga na parede lateral da cavidade (N/mm)

L - Comprimento da cavidade (mm)

E - Módulo de *Young* do aço (MPa)

y - Deflexão permitida da parede lateral (mm)

h - Altura da cavidade (mm)

P - Pressão na cavidade (MPa)

#### **2.5.4. Materiais para moldes de injeção de plástico**

Na injeção de plásticos são aplicadas altas pressões que podem variar entre 300e 1400 kg/cm<sup>2</sup>, com elevadas forças de fecho. Os materiais do molde devem ser tenazes e resistentes às tensões de compressão, flexão e fadiga. As elevadas séries de produção, juntamente com os efeitos de erosão do plástico, implica um grande desgaste, que deve ser atenuado com uma dureza superficial adequada. Os materiais têm uma grande influência no tempo de fabrico e no acabamento final. Materiais difíceis de maquinar aumentam o tempo de fabrico e o desgaste das ferramentas utilizadas. Contudo, a dureza é necessária para o desgaste e para o acabamento final. Os materiais usados nos moldes de injeção de plástico são variados e a sua aplicação depende de inúmeros factores, dos quais podemos destacar [ (Moldes Injeção plásticos)]:

- Resistência ao desgaste (dureza);
- Resistência a esforços (compressão, flexão, fadiga);
- Processo de fabrico;
- Qualidade superficial.

#### **Resistência ao desgaste**

O molde é uma ferramenta sujeita a elevado desgaste em muito dos seus componentes, assim como nas cavidades, tornando o desgaste num parâmetro muito importante para a vida útil do molde. As principais fontes de desgaste do molde são:

- Os elementos móveis, que implicam contactam metal/metal ou metal/plástico (guias, movimentos, gavetas). O uso de materiais resistentes ao desgaste e que possibilitam tratamentos térmicos é vivamente aconselhado;
- Corrosão provocada por polímeros clorados como o PVC. No processamento do PVC existe a libertação de ácido clorídrico, o qual ataca a superfície do molde. Neste caso, a aplicação de aços inoxidáveis martensíticos para resistir a corrosão é altamente aconselhada;
- No processamento de materiais com cargas abrasivas como fibra de vidro, minérios, etc;

- O efeito *diesel*, resultante da detonação brusca de gases comprimidos, pode conduzir à queima da superfície do molde.

### **Resistência aos esforços (compressão, flexão, fadiga)**

O molde deve suportar esforços que surgem devido às altas pressões a que é sujeito, principalmente no seu interior, esforços esses que são principalmente de compressão, mas que também poderão ser de flexão e fadiga.

### **Processo de fabrico**

No fabrico do molde, a maquinação é o processo mais usado, sendo também aplicada a electro-erosão e soldadura. Tendo em conta que se deseja que o tempo de fabrico seja o menor possível, a aplicação de materiais favoráveis aos processos de fabrico a aplicar é vantajosa.

### **Qualidade superficial**

A qualidade superficial assume uma maior importância na cavidade. Para obtenção de peças com bom acabamento superficial, é necessário o polimento da cavidade. A qualidade do polimento depende:

- Do material. É essencial a limpeza e homogeneidade do material. Sem porosidade e inclusões que limitem o polimento;
- Dureza adequada. É um factor que influencia directamente o polimento. Para conseguir um melhor polimento, deverão usar-se aços de superfície endurecida;
- Tratamentos térmicos aplicados. Se o material for tratado por um processo de cementação incorrecto, pode originar no aço pequenas partículas de óxido que dificilmente saem no polimento. A descarbonização e recarbonizações no processo térmico causam variações de dureza que tornam o polimento difícil.

A qualidade superficial é também necessária para elementos móveis como os extractores de guias, onde exista deslizamento entre metal/metal.

### Fadiga térmica

O molde é uma ferramenta que está sujeita a tensões cíclicas induzidas por diferentes gradientes térmicos e pressão durante a injeção. Estas tensões podem causar fissuras na superfície, chamadas fendas térmicas, que levam à deterioração da qualidade superficial das peças, e podem levar também à origem de fendas catastróficas. A aplicação de materiais com elevada tensão de cedência, tenacidade, ductilidade a altas temperaturas, e uma microestrutura homogénea, permite diminuir o risco de aparecimento de fendas térmicas.

A temperatura da superfície influencia a vida útil do molde devido ao surgimento de tensões térmicas. Uma diferença de temperatura de  $\pm 20^{\circ}\text{C}$  pode diminuir a vida útil do molde entre 30 e 50 %. Na tabela abaixo são mostrados os resultados para moldes de fundição, o número de ciclos obtidos com diferentes temperaturas.

**Tabela 24 - Número de ciclos obtido para diferentes temperaturas (Vendramim, et al.).**

<b>Profundidade da fenda 0.15mm</b>	<b>Dureza do aço 44/46 HRC</b>
Número de ciclos	Temperatura $^{\circ}\text{C}$
400	690
2500	620
7000	550

Na tabela abaixo é indicado alguns dos materiais em moldes e a sua aplicação.

**Tabela 25 - Alguns materiais para moldes e a sua aplicação (Simoldes, 2012).**

<b>Material</b>	<b>Aplicação</b>	<b>Observações</b>
1.1730 (F10)	Estrutura.	Resistência mecânica superior à dos aços de baixo carbono convencionais.
1.2312	Placas de extracção. Estrutura.	
1.2738 (P20)	Cavidade. Câmaras quentes.	Para PP e PE sem cargas de fibras. Não recomendável para aplicações de alta tenacidade. Adequado para injeção de plásticos não clorados e câmaras, quando não é exigida elevada resistência à corrosão.
1.2711	Cavidade. Postiços.	Para elevadas produções e/ou injeção de plásticos não clorados.
1.2083	Cavidade. Injetor de molde. Postiços.	Para materiais corrosivos.
1.2344 (H13)	Cavidade. Injetor de molde.	Para materiais abrasivos.
1.2311	Cavidade. Guias prismáticas. Réguas de ajuste. Almofadas.	Moldes para injeção de plásticos não clorados. Não é recomendada a aplicação em moldes com espessura superior a 600 mm.
1.7147	Guias. Casquilhos.	
AMPCO 18	Réguas de deslize. Corrediças.	
AMPCO 97	Postiços.	Remoção de calor.

### **2.5.5. Componentes normalizados para aplicação em moldes**

A aplicação de componentes normalizados permite a diminuição do tempo de fabrico do molde, assim como o seu custo. Existe uma vasta oferta de acessórios e componentes, nos quais podemos destacar:

- Estruturas;
- Guiamento /centragem;
- Injecção;
- Extracção.

Nas figuras seguintes são mostrados alguns exemplos dos componentes normalizados mais comuns na fabricação de moldes para a injeção de plástico.

#### **Estruturas**



**Figura 101 - Placas para moldes (Hasco).**

### Elementos de extracção



Figura 102 - Extractores (Hasco).

### Elementos de centramento



Figura 103 - Componentes de centramento (Hasco).

### Elementos de guiamento

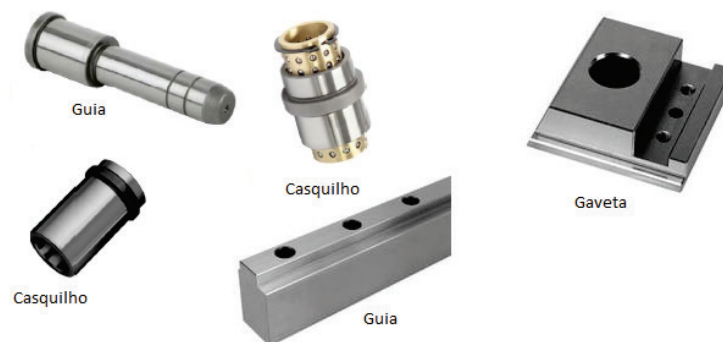


Figura 104 - Componentes de guiamento (Hasco).

## Elementos de refrigeração



Figura 105 - Componentes de refrigeração (Sutafer).

## Elementos de injeção



Figura 106 - Componentes de injeção (Hasco).

### **2.5.6. Processos de fabrico associados à produção de moldes**

Os processos de fabrico mais utilizados na produção dos moldes são (Moldes injeção plásticos):

- Fresagem;
- Torneamento;
- Furação;
- Rectificação;
- Electro - erosão.

#### **Fresagem**

A fresagem é um processo de maquinação, que consiste no arranque de aparas através de um movimento rotacional de uma ferramenta (fresa). A fresagem:

- Permite geometrias complexas;
- É indicada para peças com áreas planas;
- Permite boa tolerância geométrica;
- Possibilita bom acabamento superficial.

Para obtenção da geometria final é constituída 3 etapas, que são:

- Desbaste – Remoção da grande parte do material, deixando ficar uma sobre espessura de material para garantir a tolerância geométrica e melhorar o acabamento final;
- Pré-acabamento – Remoção dos excedentes de material deixados na etapa de desbaste;
- Acabamento – Remoção do material deixado pelas etapas anteriores, permitindo um bom acabamento, dentro da tolerância geométrica exigida.

### Tipos de fresagem

- Convencionais – As máquinas são operadas exclusivamente pelos recursos humanos, sem auxílio de computadores ou outro tipo automação;
- CNC – Comando numérico computadorizado. O operador insere instruções na máquina, através de um código de comandos que a máquina efectua;
- CAM/CAD/CNC - Através de desenhos CAD, aplica-se *software* CAM que fornece programas com estratégias de fresagem para inserir na máquina de CNC. Permite a elaboração de geometrias complexas.

Os moldes têm uma geometria plana nas placas, na qual a fresagem é adequada para criar perfis e cavidades para o alojamento de componentes (guias, anéis elásticos, casquilhos), obtendo as tolerâncias apertadas necessárias para esses componentes.

### Torneamento

O torneamento é um processo de maquinagem que consiste no arranque de aparas através de um movimento rotativo da peça, enquanto a ferramenta (buril) só produz movimentos longitudinais, transversais e de penetração. O torneamento:

- Permite elevada produção;
- É indicado para peças circulares/cónicas (guias e postigos);
- Possibilita bom acabamento superficial;
- Permite tolerâncias geométricas apertadas.

O torneamento aplica-se às etapas de desbaste, pré-acabamento e acabamento. Na produção de moldes, o torneamento é essencial para a obtenção de peças com secções cilíndricas (guias e casquilhos) ou peças cónicas (*interlocks*, anilhas e postigos cónicos).

## Furação/Mandrilamento

Caracteriza-se pela acção de uma ferramenta que gira sobre o seu eixo e penetra na superfície da peça (Figura 107).

Permite:

- Obtenção de furos para passagem de parafusos e rebites;
- Abertura de roscas;
- Escareamento do bordo de furos ou caixas;
- Alargamento furos.

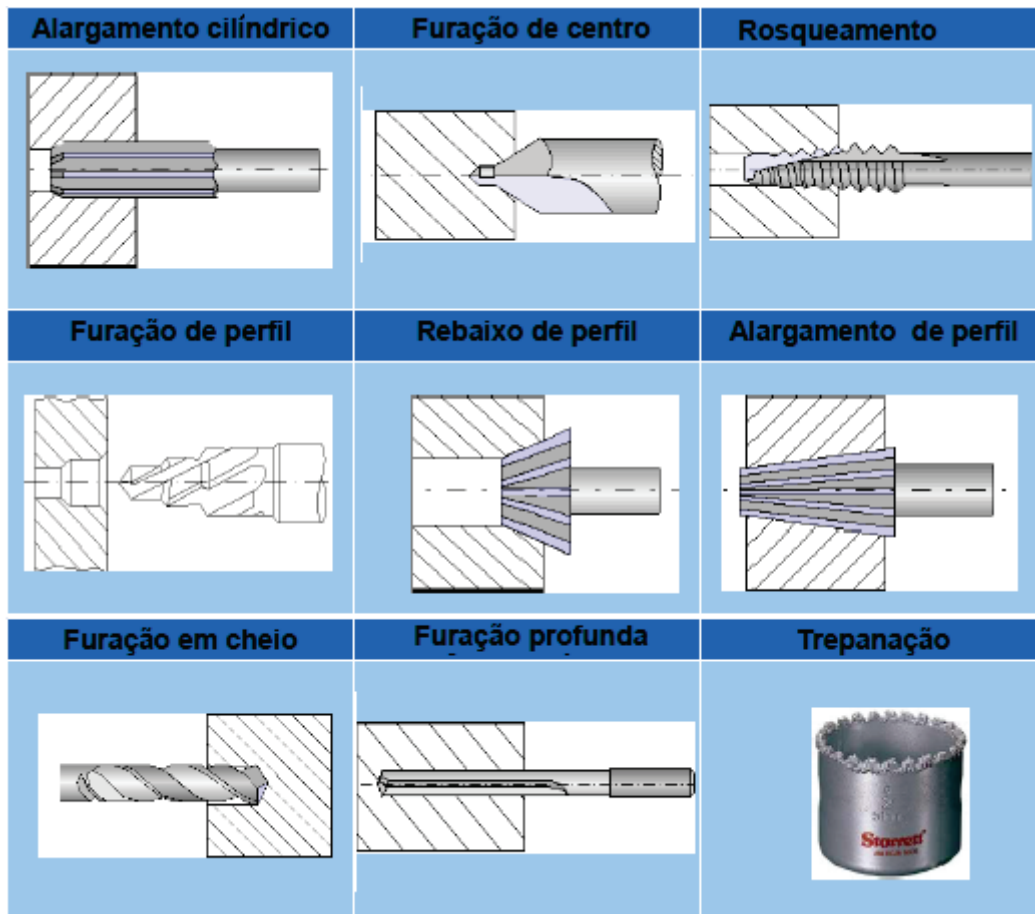


Figura 107 - Operações de furação (Stoeterau).

## Furação profunda

A furação profunda diz respeito a uma relação em que o comprimento da broca é, no mínimo, 5 vezes superior ao diâmetro da broca. É usada para realização de canais de refrigeração e furações para extractores. Envolve maior complexidade e severidade do que a furação convencional, devido à dificuldade acrescida para extracção dos cavacos de material, ao aumento da temperatura na região de corte e ao fluido de corte não chegar com facilidade à zona de corte.

Para relações  $L/D > 5$  pode usar-se brocas helicoidais mas com ciclos de reversão do avanço(ciclo pica-pau) para saída das aparas. Para relações  $L/D \gg 5$  são necessárias brocas especiais (Figura 108) do tipo:

- Broca-canhão, com remoção externa de cavaco, aplicadas em furos de 3 a 20 mm cujo comprimento pode ter uma relação  $L/D$  até 125;
- Brocas-canhão com remoção interna de cavaco (broca BTA), que permite furos de 18 a 64mm e o seu comprimento só é limitado pelo equipamento.

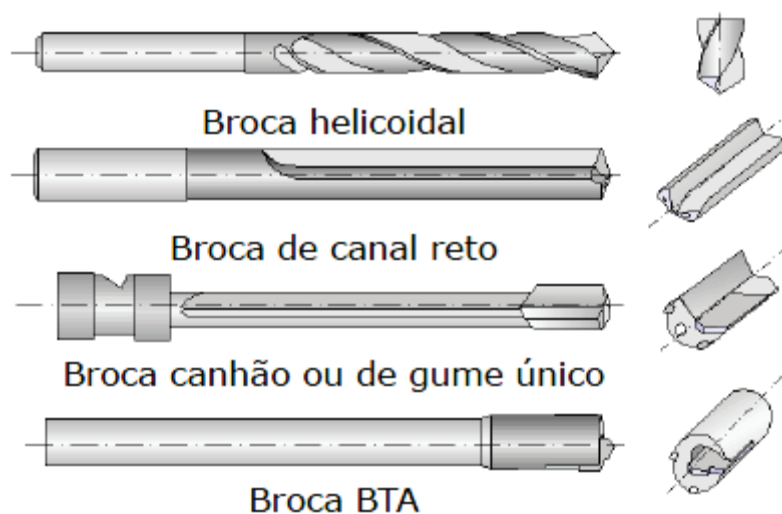


Figura 108 - Tipos de brocas (Stoeterau).

## Rectificação

A rectificação é um processo de maquinação por abrasão que rectifica a superfície de uma peça plana ou cilíndrica. A rectificação permite:

- Reduzir a rugosidade ou saliências e rebaixo de superfícies fresadas e torneadas;
- Aproximar as medidas aos valores desejados;
- Corrigir peças que tenham sido ligeiramente deformadas pelo tratamento térmico;
- Remover camadas superficiais de material endurecido pela têmpera, cementação ou nitruração.

## Tipo de rectificadoras

Existem essencialmente dois tipos de rectificadoras (Figura 109) que são úteis para a fabricação de moldes para a injeção de plásticos, nomeadamente as rectificadoras cilíndricas e as planas.

- Plana - Para superfícies planas, inclinadas, paralelas ou perpendiculares;
- Cilíndrica - Para superfícies cilíndricas, externas ou internas.

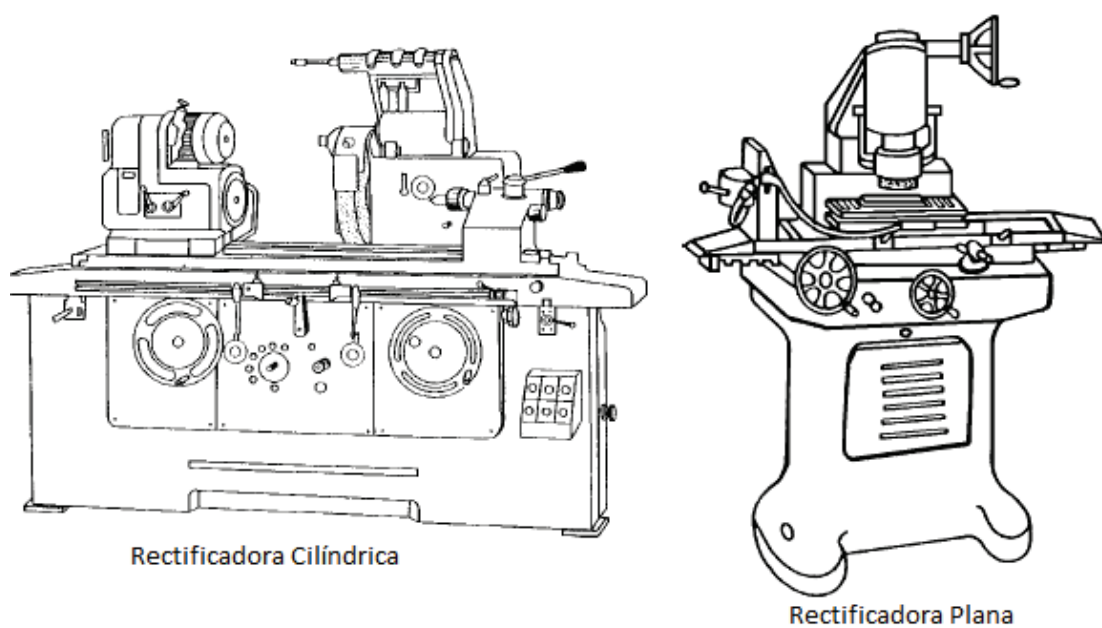


Figura 109 - Rectificadoras cilíndrica e plana (ESSEI).

Na produção dos moldes, a rectificação torna-se necessária para conseguir um bom acabamento nas peças, diminuindo os defeitos originados pela fresagem e torneamento e ajustando as peças planas, circulares e cónicas (placas, anilhas, postiços) para as cotas funcionais, que existem em deslizamentos justos e acoplamentos cónicos.

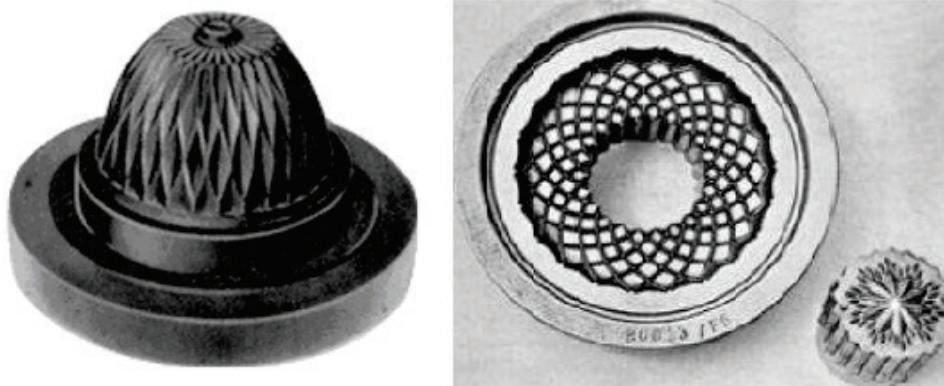
### **Electro - erosão**

A electro-erosão é um processo térmico que remove material com sucessivas descargas eléctricas através de um eléctrodo/fio. A electro - erosão é caracterizada por:

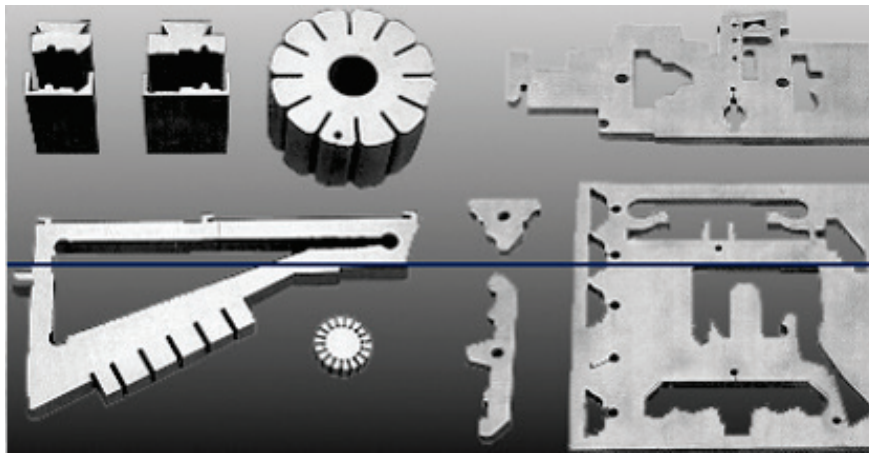
- Ser mais indicada para pequenas séries;
- Não deixa tensões de corte comuns na fresagem ou torneamento;
- Pode ser aplicada em materiais muito duros, em que os processos comuns tinham dificuldade;
- Permite criar perfis complexos;
- Não pode ser usada em materiais com baixa condutividade eléctrica;
- Consome mais tempo de fabrico, em comparação com os processos comuns.

A electro - erosão pode assumir duas configurações diferentes:

- Por penetração - Caracteriza-se pela utilização de um eléctrodo (grafite ou cobre) que possui geometria que vai gravar na peça (Figura 110);
- Por fio - Caracteriza-se pela utilização de um fio de latão ionizado que atravessa a peça e percorre um caminho programado, cortando o material durante a trajectória (Figura 111).



**Figura 110 - Eléctrodo e respectiva peça, produzida por electro-erosão por penetração (Moldes Injecção plásticos)**



**Figura 111 - Componentes obtidos por electro - erosão por fio (Moldes Injecção plásticos)**

O processo de electro - erosão permite obter peças com formas complexas que não era possível obter nos processos de fresagem ou torneamento, obter um bom acabamento superficial e trabalhar com materiais muito duros, inclusive já tratados termicamente.

### **2.5.7. Tratamentos térmicos**

O molde é uma ferramenta que está sujeita a um elevado desgaste, pelo que a aplicação de tratamentos térmicos é essencial com vista a aumentar a dureza e resistência ao desgaste da superfície, ao mesmo tempo que o seu núcleo se mantém dúctil.

Alguns processos usados na indústria de moldes são:

- Envelhecimento;
- Têmpera em vácuo;
- Cementação;
- Nitruração.

### **Envelhecimento**

É um tratamento de endurecimento que é aplicado a algumas classes de aços, que tem como característica ser efectuado a temperaturas relativamente moderadas (480°C a 570°C).

As deformações são consideravelmente menores quando comparado com a têmpera, sendo que as temperaturas utilizadas se situam abaixo da temperatura crítica, não ocorrendo transformações da microestrutura e ficando só as deformações causadas pelo efeito da temperatura (Yoshida).

### **Têmpera em vácuo**

Na indústria dos moldes, a têmpera por vácuo é a mais recomendada, devido à ausência de dano na superfície, já que a ausência de oxigénio leva a que não ocorra oxidação das superfícies. Além da qualidade superficial, apresenta uma melhor homogeneidade, no aquecimento e arrefecimento, permitindo melhorar a microestrutura após têmpera, o que influencia directamente o desempenho da ferramenta (Yoshida).

### **Cementação**

Tratamento termoquímico que promove o enriquecimento da superfície com carbono. Vai apresentar uma maior dureza superficial após este tratamento termoquímico. Permite a combinação de uma superfície de elevada dureza, mantendo um núcleo tenaz. Normalmente é aplicado a aços com teor em C inferiores a 0.3% e utilizando temperaturas entre 815°C e 950°C. É normalmente aplicado em guias e casquilhos em aço 8640, permitindo obter durezas finais na casa dos 58/60 HRC (Moldes injecção plásticos).

## Nitruração

É um processo que consiste na introdução de azoto, sob a forma de nitretos de ferro, numa camada superficial do aço, obtendo-se uma elevada dureza superficial. No entanto, somente os aços que contêm quantidades suficientes de elementos capazes de formar nitretos especiais (alumínio, cromo, molibdénio, tungsténio ou vanádio) obterão as durezas superficiais máximas. Os aços que apresentam uma percentagem mínima desses elementos apresentam somente um pequeno aumento de dureza superficial, sendo esta nitruração chamada de nitruração macia. Num grande número de casos, a nitruração aumenta consideravelmente a duração das ferramentas ou dos elementos de construção. A nitruração melhora a resistência ao desgaste, diminuindo o perigo de "gripagem" nas superfícies de deslizamento (Moldes injeção plásticos). Este tratamento termoquímico utiliza temperaturas entre os 500 e 570°C para formar uma camada dura de nitretos. Ao usar temperaturas menores que a cementação o tratamento provoca menores deformações, o que diminui o risco de formar fissuras.

### 2.5.8. Texturização

A texturização consiste num processo fotoquímico utilizado para obter desenhos e relevos característicos nas superfícies (Figura 112).



Figura 112 - Exemplo de uma superfície texturada de um molde (Notícia Revista Ferramental).

Devido a sigilo por parte das empresas que realizam a texturização, não existe um processo padrão. Pequenas variações em termos de escolha do ácido, dosagem, frequência de luz e tempos de exposição resultam em diferenças significativas no resultado e constituem o *know-how* de cada empresa.

O desenho solicitado é transferido para a superfície do metal usando um processo fotográfico. O desenho é gravado na profundidade requerida por meio da aplicação de um ácido apropriado, em condições estritamente controladas. Basicamente, é aplicado um material resistente numa parte da superfície, deixando outra parte exposta e obtendo assim o relevo. Geralmente, o processo de texturização inclui as seguintes fases:

- Planeamento - Estabelecer as fases fundamentais do processo e identificação do material que forneça os melhores resultados, dependendo do desenho da textura (Figura 113);



**Figura 113 - Planeamento da texturização (Notícia Revista Ferramental).**

- Processamento - Tratamento e optimização dos desenhos do cliente através de CAD (Figura 114);



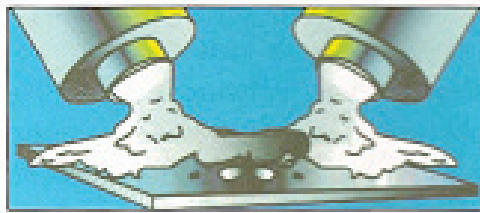
**Figura 114 - Processamento (Notícia Revista Ferramental).**

- Impressão - O desenho é impresso usando uma *plotter* de alta velocidade e alta resolução (Figura 115);



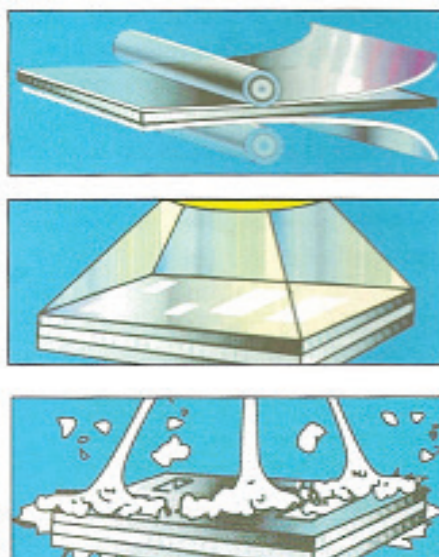
**Figura 115 - Impressão (Notícia Revista Ferramental).**

- Preparação - Limpeza cuidadosa da superfície da peça para remover todo o óleo ou impurezas (Figura 116);



**Figura 116 - Preparação (Notícia Revista Ferramental).**

- Revestimento – Cobertura da peça com camadas de material fotossensível, geralmente um polímero sensível à luz ultravioleta (Figura 117);
- Exposição - Os raios UV da película na qual o desenho foi transferido;
- Desenvolvimento e fixação - Da imagem gravada na película;
- Gravação - Ataque químico do polímero de revestimento não exposto previamente;



**Figura 117 - Etapas de revestimento, exposição e remoção (Notícia Revista Ferramental).**

- Remoção - Remoção e limpeza da camada fotossensível deixada sobre a peça, possivelmente expondo-a mais uma vez aos raios UV e repetindo o processo de ataque químico (soda cáustica);
- Inspeção - Verificação da peça para assegurar que está de acordo com os requisitos de projecto apontados na primeira etapa. Existem resinas fotossensíveis, positivas e negativas: é positiva quando a parte não protegida pelos raios UV é removida no banho ácido. É negativa se a parte removida for a protegida.

## Factores que influenciam a texturização

A escolha do reagente químico depende de:

- Tipo de material de base;
- Nível de dureza;
- Tipo de texturização.

A texturização também depende de:

- Inclusões e porosidades;
- Duração da aplicação dos ácidos;
- Tratamentos térmicos;
- Aplicação da soldadura;
- Aplicação de electro – erosão.

## Vantagens

- A texturização possibilita a fabricação de peças com um alto grau de precisão de acabamento, difícil de obter usando métodos convencionais;
- A tolerância geralmente está situada em torno de  $\pm 0.025$  mm;
- As peças submetidas a texturização não apresentam distorções, tensões residuais e rebarbas, já que não sofrem esforços mecânicos;
- É mais rápido e mais económico fazer uma peça por texturização do que por meio de processos de maquinagem;
- Uma soldadura pode ser disfarçada por meio de texturização, se os parâmetros recomendados pelo fabricante do aço forem respeitados.

## Desvantagens

- A texturização é sensível a segregações e variações na dureza, assim como ao estiramento;
- Somente pode ser aplicada a superfícies maquinadas por electro – erosão após realizado o tratamento apropriado;
- Tratamentos termoquímicos (nituração) e de deposição (PVD) devem ser efectuados posteriormente à texturização.

### **2.6. Estudo do fluxo de enchimento em moldes de injeção de plástico**

Ao longo dos tempos, os moldes têm ficado mais complexos e simultaneamente, começaram a surgir programas de simulação (CAE – *Computer Aided Engineering*) que permitem prever o comportamento do material durante a injeção. Com esta informação, torna-se possível detectar possíveis falhas no projecto. Desta forma, assegura-se a produtividade necessária e a qualidade das peças. Alguns dos *softwares* CAE mais utilizados são o *Moldflow*, *Moldex 3D* e *Solidworks® plastics*.

O principal objectivo destes programas é prever e antecipar possíveis problemas numa fase inicial do projecto, onde o custo de modificação do projecto é baixo, redução dos custos de fabrico, aumento da produtividade e redução de trabalhos após o ensaio do molde [ (Miranda, 07/2005)].

Os sistemas de CAE necessitam dos seguintes dados iniciais:

- Material da peça;
- Modelo CAD;
- Sistema de alimentação – ponto de injeção e respectivos canais de distribuição;
- Sistema de refrigeração – caudal do fluido, temperatura do fluido e canais de refrigeração;
- Condições de processamento (temperatura de molde e do fundido, pressão de injeção).

Alguns dos dados de saída que o CAE disponibiliza:

- Selecção da melhor zona de injeção;
- Injectabilidade da peça;
- Indicador de qualidade;
- Tempo e padrão de preenchimento;
- Pressão de injeção;
- Temperatura da frente de avanço;
- Posição das linhas de solda;
- Localização dos aprisionamentos de ar;
- Volume de injeção;
- Estimativa de tempo de ciclo;
- Qualidade para arrefecimento da peça;
- Previsão da ocorrência de rechupe.

## **3. Desenvolvimento**

### **3.1. Objectivos do trabalho prático**

O presente trabalho teve como objectivo principal proceder ao estudo e projecto de um molde para a injeção de uma peça plástica, destinada à indústria automóvel.

### **3.2. Caracterização da empresa que acolheu o projecto**

A HONP- Moldes, Lda. é uma pequena empresa de cariz familiar, localizada na zona industrial de Espinho, que começou a sua laboração no final dos anos 50, tendo como seu fundador Hamilton de Oliveira Neto Pinhal, que ainda hoje permanece como Sócio-Gerente, juntamente com o seu filho, Jorge Pinhal. A empresa caracteriza-se por ser uma sociedade por quotas com 2 sócios gerentes e 8 funcionários. Iniciou a sua actividade com o fabrico moldes de injeção de plástico para o sector de brinquedos e, com o decorrer dos anos, diversificou o seu mercado, abrangendo actualmente também a área automóvel, electrodomésticos e utilidades domésticas, etc. Além dos moldes, uma parte importante da sua actividade é a gravação de cunhos e marcas, especialmente para a indústria da cortiça e outros, tais como ferramentas para torneiar madeira.

### 3.3. Definição da peça injectada pretendida

A peça é basicamente uma caixa (Figura 118 e Figura 119) para sistema *Isofix*, que forma um único componente. O componente tem a designação de “Abdeckkappe”.



Figura 118 - Peça aberta.

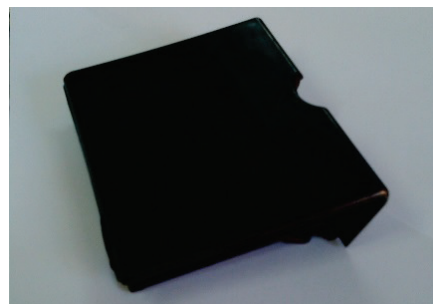


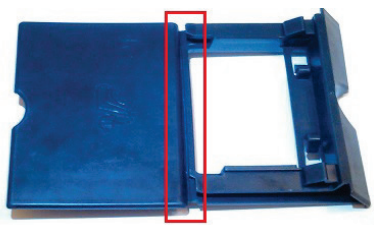


Figura 119 - Peça fechada.

Tabela 26 - Aspectos da peça.

Aspectos da peça	
<p>Devido à geometria da peça, é necessária a aplicação de movimentos laterais para permitir a remoção da mesma</p>	 <p>Figura 120 - Localização dos movimentos na peça.</p>
<p>O sistema de fecho da peça obriga a um movimento de extracção para permitir a extracção da mesma.</p>	 <p>Figura 121 - Localização do sistema de fecho.</p>
<p>Na zona onde existe a charneira da peça, a espessura é importante para permitir um funcionamento correcto. É recomendada a aplicação de um postigo (charneira) para facilitar alguma alteração que seja necessária.</p>	 <p>Figura 122 - Localização da charneira na peça.</p>

### **3.4. Elencagem dos requisitos emanados pelo cliente**

A utilização do molde depende, em muitos casos, das condições de trabalho e das perspectivas de utilização do mesmo. Por isso, o cliente fornece informações e especificações para a concretização do molde. As especificações mais relevantes são desenvolvidas seguidamente.

#### **3.4.1. Características da injectora**

A injectora onde o molde será montado possui 60 toneladas de força de fecho e uma área entre colunas de 370 x 320mm<sup>2</sup>. O cliente, ao referir a área entre colunas que tem disponível na injectora, vai condicionar o tamanho do molde. O cliente indica que a encomenda será de 200.000 peças.

#### **3.4.2. Características do molde**

A definição dos requisitos do molde, por parte do cliente, conduziu a uma série de indicações que seguidamente se descrevem.

#### **Materiais**

- Deverá ser usado o aço AISI1045 (Wn. 1.1730) na estrutura do molde;
- Para a cavidade deverá ser usado o aço P20 (Wn. 1.2738);
- O aço indicado para os mecanismos é o P20 nitrurado ou AMPCO 83.

#### **Injecção**

- Deverá ser usada injecção directa;
- Bloco quente. Existe uma câmara quente no bico, que mantém o material a uma temperatura constante;
- Localização da injecção;
- Uma cavidade.

## Caderno de Encargos de Moldes – CEM

Normalmente, o cliente fornece um caderno de encargos no qual impõe especificações na elaboração do molde. Independente das especificações do CEM, o fornecedor é responsável pela qualidade e bom funcionamento do molde, podendo introduzir alterações às especificações previamente indicadas. O CEM pode não indicar o melhor processo ou a melhor prática para a sua construção, mas tem o intuito de garantir uma normalização.

Foram retiradas do CEM as especificações mais relevantes para construção do molde, dentro das quais poderão ser destacadas as que seguidamente se exploram.

### Extracção

Em moldes para injeção de materiais como PC, PMMA, PA ou PS não se devem utilizar extractores em lâmina com espessuras inferiores a 1 mm. Deverão ser aplicados sempre extractores normalizados niturados ou temperados. Os pilares devem ter todos furos roscados. O comprimento da rosca deverá ser, no mínimo, 1.5 vezes a dimensão da rosca. Contudo, não podem colocar em causa a rigidez da placa ou provocar interferência com mecanismos ou apoios.

### Mecanismos

Nos mecanismos em que seja necessária a aplicação de uma guia inclinada, o CEM indica os ângulos especificados para os movimentos de extracção e movimentos mecânicos. O fornecedor requer que, se possível, os movimentos possam ser desmontados sem ser necessário desmontar totalmente o molde (Tabela 27).

**Tabela 27 - Valores dos ângulos correspondentes aos movimentos.**

	Ângulo	Classificação
Movimentos à extracção	$\leq 12^\circ$	ok
	$12^\circ$ a $15^\circ$	Excepcional
Movimentos Mecânicos	$\leq 20^\circ$	ok
	$20^\circ$ a $25^\circ$	Excepcional

As guias dos movimentos devem permitir a sua desmontagem pela frente. Regra geral, as peças em aço sujeitas a movimentos devem ser nitridadas; na impossibilidade do cumprimento desta especificação, estas peças deverão ser em aço de dureza diferente da do bloco, e com ângulos de ajustamento inferiores ao travamento do molde.

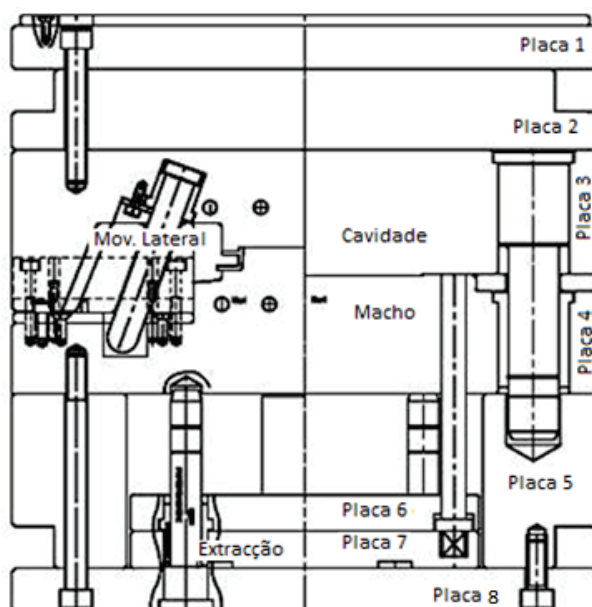
### **3.4.3. Características da peça**

Relativamente à peça injectada a obter, deverá ser especificado o material, a sua contracção, o acabamento exigido e a eventual necessidade de aplicação de textura. O desenho 3D é também uma ferramenta de trabalho essencial ao projectista e fabricante do molde.

### **3.5. Soluções prévias: Anteprojecto do molde**

Considerando os parâmetros estipulados pelo cliente, procedeu-se à elaboração de um desenho preliminar em 2D do molde, que é posteriormente aprovado pelo cliente. Após a aprovação do desenho preliminar, prosseguimos com uma modelação 3D do molde. Os factores que influenciam a construção da ferramenta são:

- Separação da peça em macho e cavidade;
- Contracção da peça;
- Geometria do molde, número de placas e posicionamento da peça;
- Sistema de extracção da peça;
- Sistema de guiamento do molde/alinhamento;
- Sistema de refrigeração do molde.



**Figura 123 - Corte do molde evidenciando os componentes da extracção guiamento e aperto.**

A figura acima facilita a explicação da elaboração do molde. Esta indica a disposição dos componentes do molde, onde poderemos ver o sistema de extracção, os movimentos, a injeção etc.

### **3.5.1. Separação da peça em macho e cavidade**

A elaboração da ferramenta depende do tipo de peça e sua geometria. O mais lógico é iniciar o projecto com a aplicação de uma linha de divisão da peça em relação à abertura da ferramenta. Essa linha vai dividir as superfícies da peça, entre cavidade e macho. Nessa divisão, estão envolvidas algumas considerações:

- É delineada a cavidade no lado da injeção e macho no lado da extracção;
- Normalmente, na linha de separação, o material penetra entre as duas faces da ferramenta, o que vai deixar uma linha testemunha. Isto pode ser indesejável em partes visíveis da peça;
- A peça deve sair da ferramenta com o mínimo de interferências, isto é, conseguindo ângulos favoráveis à saída da peça;
- A linha de separação deve permitir uma maior facilidade no fabrico da ferramenta;
- A extracção da peça é realizada do lado em que se deseja que fiquem as marcas dos extractores.

A aplicação de um *software* de modelação ajuda na separação das superfícies, através da evidência das superfícies favoráveis. Contudo, a divisão trata-se apenas de um passo inicial. É necessário proceder à criação das juntas de vedação, que vão sofrer alterações à medida que se avança com a modelação. As juntas de vedação são o ponto de início da formação do molde, a partir do qual se criam as placas macho e a cavidade, movimentos, guias, etc. Contudo, devemos considerar que, apesar do *software* nos proporcionar muitas opções, devemos ter em consideração as especificidades requeridas pelo fabrico. O que é possível fazer com o equipamento que temos disponível, a diminuição do tempo de fabrico e o custo.

### 3.5.2. Contração da peça

O material a ser injectado trata-se de um polipropileno (PP-T20) que tem uma contração linear de 1%. Esta contração deve ser compensada através da aplicação de um factor de 1.01 às cotas da peça.

### 3.5.3. Geometria do molde e disposição da peça

A disposição da estrutura (Figura 124) da peça no molde inicia a sua elaboração. Na figura abaixo podemos ver que o centro da peça não está coincidente com o centro do molde, pelo que se deve:

- Colocar o ponto de injeção afastado do centro da peça;
- Evitar o sobredimensionamento.

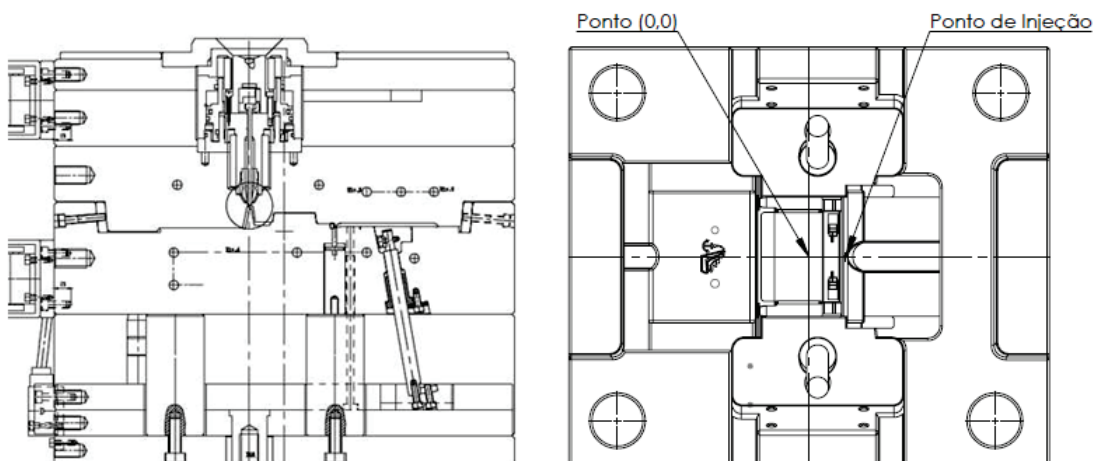
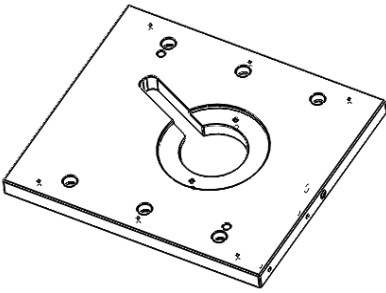
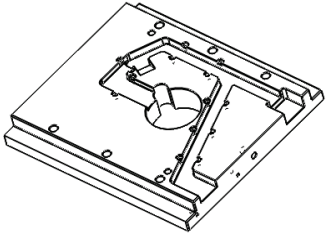
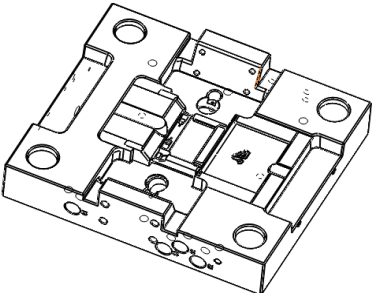
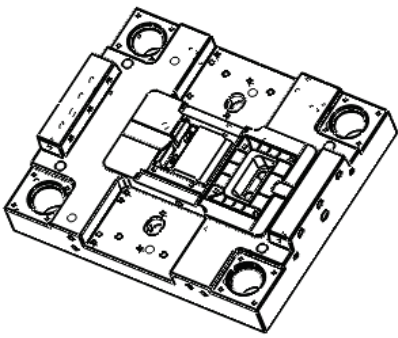
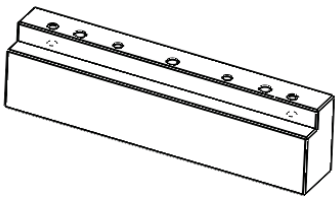
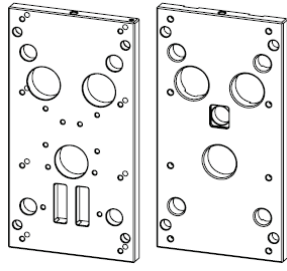
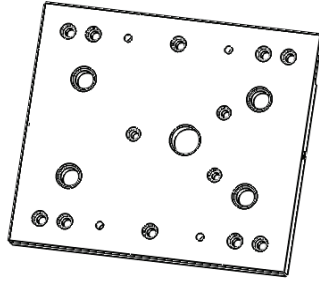


Figura 124 - Localização do ponto de injeção.

O número de placas (Figura 124) a usar depende essencialmente da extracção, verificando-se que o uso de uma configuração de molde de duas placas é o mais adequado. O molde será constituído por um total de 8 placas, nas quais se vão alojar todos os componentes da ferramenta. A tabela a seguir indica algumas das funções das placas.

**Tabela 28 - Componentes que vão ser incorporados no molde.**

Observações	Componente
<p>A placa 1 proporciona:</p> <p>A fixação do molde, através das abas criadas pelos rasgos ou rebaixos na placa 2;</p> <p>A fixação do anel de centragem;</p> <p>Alojamento do bico de injeção;</p> <p>Alojamento para as cabeças dos parafusos que proporcionam a união do molde.</p>	 <p><b>Figura 125 - Placa 1.</b></p>
<p>A placa 2 proporciona:</p> <p>Alojamento do bico de injeção;</p> <p>Alojamento dos fios do bico de injector, através de rasgos realizados na placa.</p>	 <p><b>Figura 126 - Placa 2.</b></p>
<p>A placa 3 proporciona:</p> <p>Parte da cavidade na qual se vai injectar o material;</p> <p>O alojamento e fixação das guias dos movimentos laterais e das guias principais;</p> <p>Fixação da placa de ajuste dos movimentos laterais;</p> <p>Ponto de injeção;</p> <p>Canais de refrigeração.</p>	 <p><b>Figura 127 - Placa 3.</b></p>

<p>A placa 4 proporciona:</p> <p>Parte da cavidade na qual vai injectar o material;</p> <p>Alojamento e fixação dos casquilhos e guias;</p> <p>Fixação das talas de travamento das almofadas;</p> <p>Furos e cavidade para colocação dos extractores;</p> <p>Fixação das corredeiras e placa de deslizamento dos movimentos laterais;</p> <p>Os canais de refrigeração.</p>	 <p><b>Figura 128 - Placa 4.</b></p>
<p>A placa 5 (calços) proporciona:</p> <p>A cavidade na qual se vão alojar as placas de extracção;</p> <p>O curso necessário para a extracção.</p>	 <p><b>Figura 129 - Placa 5.</b></p>
<p>Placas 6 e 7 proporcionam:</p> <p>Alojamento e fixação dos extractores, perno de retorno, pilares e carrinhos do movimento de extracção.</p>	 <p><b>Figura 130 - Placas 6 e 7.</b></p>
<p>A placa 8 proporciona:</p> <p>A fixação do molde, através das abas criadas pelos rasgos ou rebaixo nos calços;</p> <p>Alojamento para as cabeças dos parafusos que proporcionam a união do molde;</p> <p>Alojamento e fixação das guias de extracção.</p>	 <p><b>Figura 131 - Placa 8.</b></p>

### **3.5.4. Sistema de extracção da peça**

O sistema de extracção da peça é constituído por essencialmente por:

- Movimentos laterais;
- Movimento de extracção;
- Extractores;
- Pernos de retorno;
- Placas extractoras.

#### **3.5.4.1. Movimentos laterais**

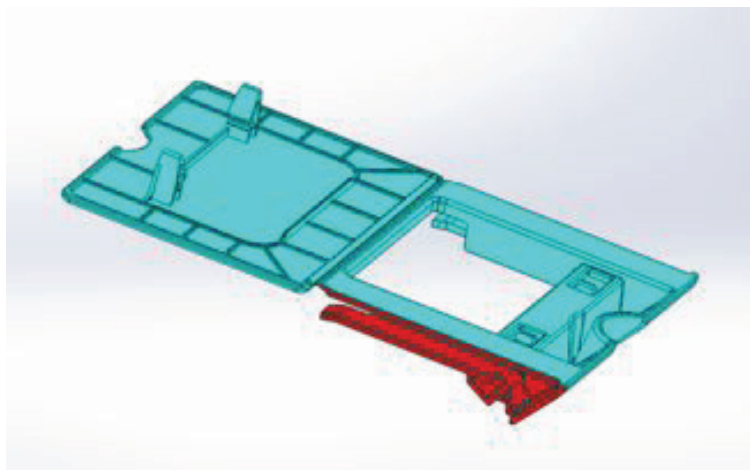
Devido à geometria da peça injectada, foi necessário o uso de movimentos laterais. Estes movimentos são constituídos por duas cunhas posicionadas lateralmente na peça. Na sua elaboração, deveremos ter em conta os seguintes aspectos:

- Faces de união e linhas de apartação;
- O seu accionamento
- O seu processo de fabrico.

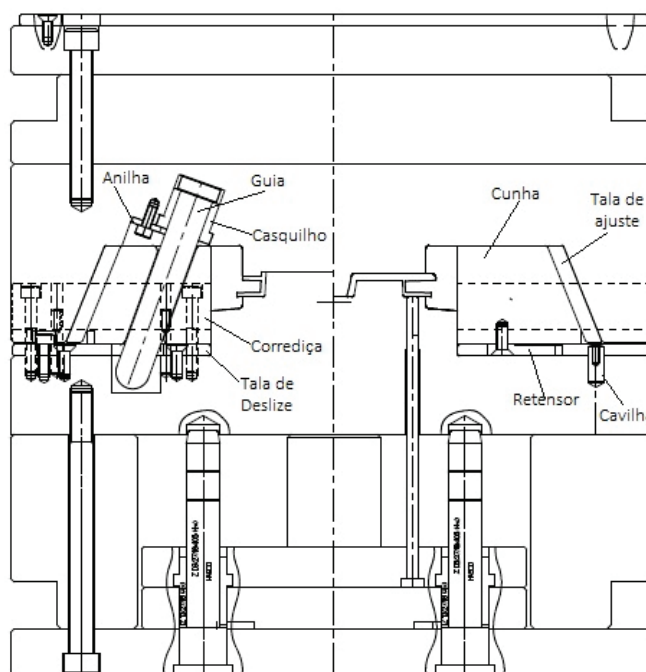
Os movimentos laterais deslizam em talas fixadas à placa 4 (macho) (Figura 133), tendo um deslocamento na abertura e fecho do molde para possibilitar a saída da peça. Os movimentos são constituídos por guias, placas deslizamento, corrediças, talas de ajuste, cunhas e retentores. Nas placas de deslizamento vão assentar os movimentos, enquanto as corrediças mantêm os movimentos na placa macho, permitindo assim o deslizamento e alinhamento. Os retentores têm por função limitar o curso os movimentos. Isto vai garantir que os movimentos estejam na posição correcta no momento do fecho.

O accionamento dos movimentos é realizado por guias fixas na placa da cavidade, que no momento do fecho guiam os movimentos para a posição de fecho do molde.

Tendo a estrutura dos movimentos criada, prosseguimos com a elaboração das juntas de vedação do movimento e adicionamos as superfícies da peça aos movimentos (Figura 132).

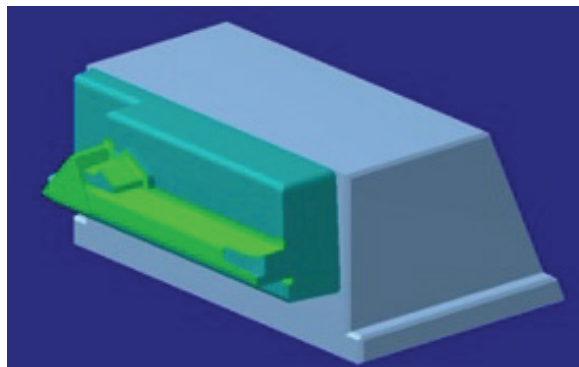


**Figura 132 - Superfícies da peça para o movimento.**

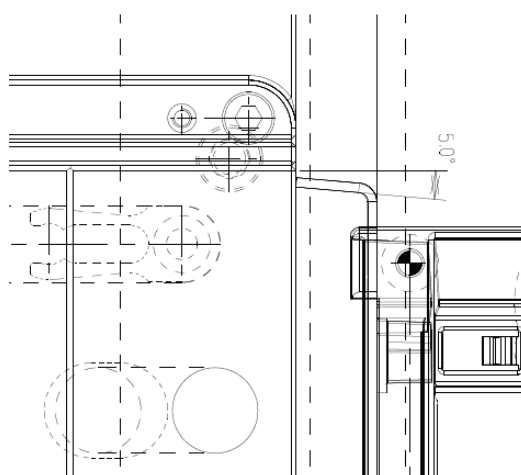


**Figura 133 - Movimentos laterais.**

Na figura abaixo podemos verificar as superfícies da peça num verde mais claro, enquanto num tom azul observa-se as superfícies de vedação, e com a cor cinzento o corpo do movimento. A escolha das superfícies da peça é realizada pela falta de ângulos de saída e pela fronteira dos filetes existentes, passando por evitar arestas vivas e espessuras de metal muito finas (lâminas). A criação das superfícies de vedação está dependente da escolha das superfícies da peça. Para garantir ao ajustamento se aplica um ângulo de 5 graus na direcção do movimento (Figura 135). Se possível, nos contornos da junta de vedação ou mudanças de faces devemos aplicar filetes com raios de 2mm ou mais para diminuir o desgaste e o tempo de fabrico.

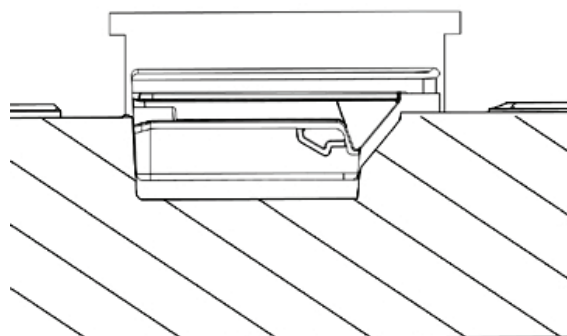


**Figura 134 - Movimento lateral.**



**Figura 135 - Inclinação do ajuste.**

A aproximação do movimento lateral à placa da cavidade descrita na figura seguinte proporciona um melhor ajuste e diminuição do desgaste através de faces com ângulos de saída na direcção do fecho do molde. As superfícies das juntas de vedação do movimento são copiadas no CAD para as placas 3 e 4, para garantir que na vedação sejam exactamente iguais.



**Figura 136 - Faces de vedação do movimento lateral.**

### 3.5.4.2. Movimento de extracção

A peça possui um sistema de fecho. Devido à sua geometria, é necessário aplicar-lhe um extractor (Figura 137) que deverá ter em conta as seguintes considerações:

- A geometria do extractor;
- O extractor incorpora parte da geometria da peça (parte do sistema de fecho);
- No momento da extracção da peça, o extractor deve permitir a saída da peça. Isto leva à necessidade de dois movimentos em simultâneo;
- O accionamento do extractor.

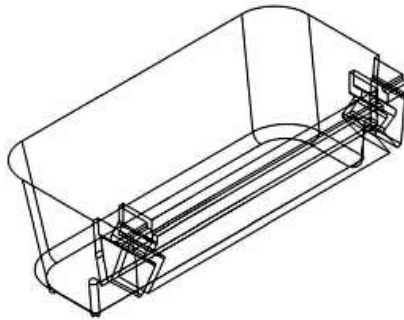


Figura 137 - Vista isométrica do movimento de extracção.

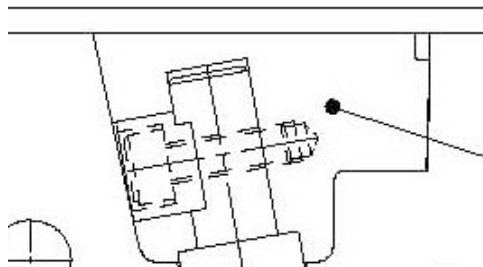


Figura 138 - Vista lateral do movimento de extracção.

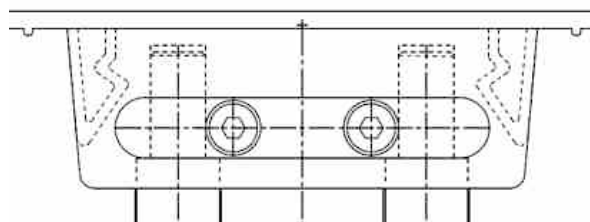


Figura 139 - Vista de frente do movimento de extracção.

Na caracterização do movimento de extracção podemos destacar:

- O extractor é accionado pela placa de extracção, à qual está unido por dois veios inclinados (Figura 138 e Figura 139);
- A inclinação -permite que o extractor tenha dois movimentos em  $XX'$  e em  $ZZ'$  (Figura 140). O extractor fica embutido dentro do plástico ena injeção, este afasta-se da peça através da inclinação dada ao extractor.
- As faces inclinadas vão permitir o seu ajuste no momento do fecho do molde (Figura 139);
- Os carrinhos têm um movimento de deslizamento em  $XX'$  que acompanha a deslocação do extractor;
- O extractor do movimento é guiado por casquilhos normalizados que estão localizados na placa 4.

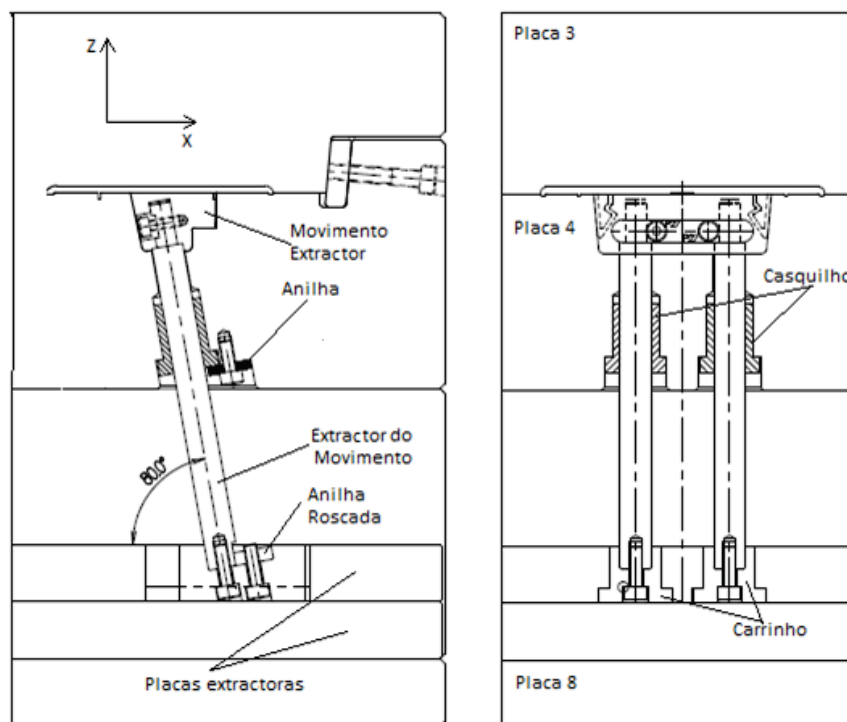


Figura 140 – Esquema do movimento de extracção.

### 3.5.5. Extractores

A aplicação de extractores é necessária para facilitar a saída da peça de dentro da cavidade. A sua aplicação deverá levar em conta as seguintes considerações:

- Os extractores são inseridos na placa 4 e estão fixos às placas extractoras (Figura 142);
- A localização dos extractores em faces planas permite facilitar o processo de fabrico;
- A sua simetria em relação ao eixo tem em vista evitar o empenamento e maiores esforços aplicados;
- A aplicação de 4 e 6 extractores (Figura 141) de cada lado da charneira fica a dever-se ao facto de que nesta, a espessura de material injectado vai ser de apenas 0.2 a 0.5 mm, evitando riscos de ocorrência de defeitos.

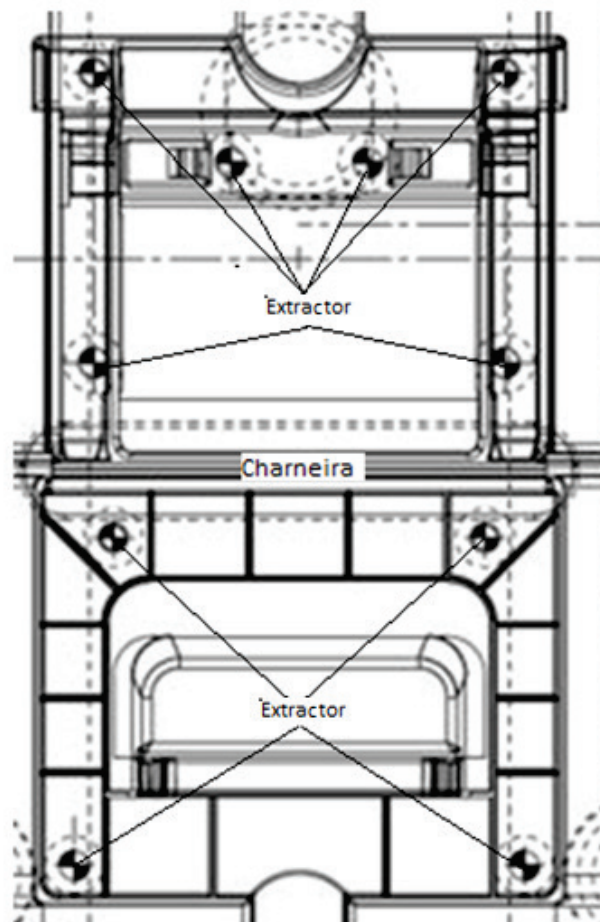


Figura 141 - Posição dos extractores.

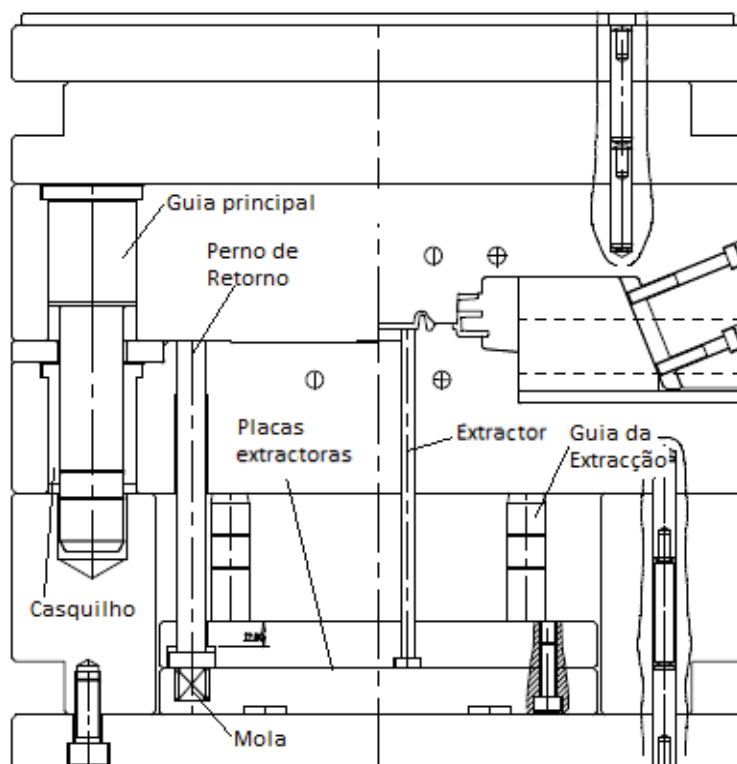


Figura 142 - Esquema e disposição de alguns componentes no molde.

### 3.5.5.1. Pernos de retorno

A aplicação dos pernos de retorno visa garantir que a extracção está toda recuada no momento da injeção. O perno de retorno está alojado na placa extractora (Figura 142), o qual faz actuar/soltar uma mola que no momento da injeção está comprimida. A aplicação da mola evita a danificação do perno no momento do fecho do molde.

### 3.5.5.2. Placas extractoras

As placas extractoras têm por função fixar os extractores e transmitir o movimento do veio da máquina de injeção, estando apertadas entre si. Entre as faces de aperto existem caixas nas quais se alojam as cabeças dos extractores. No guiamento das placas, aplicam-se 4 guias secundárias. Estas guias são alojadas na placa de encosto e deslizam nos casquilhos das placas extractoras (Figura 143).

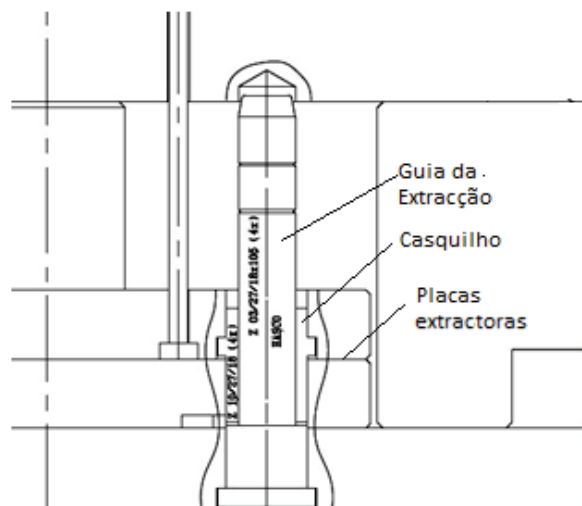


Figura 143 – Guias das placas extractoras

As placas extractoras estão alojadas numa cavidade criada pela altura dos calços, a qual deve permitir o deslocamento da extracção, auxiliando na saída da peça.

O movimento da extracção fica a dever-se à aplicação do KO que está alojado nas placas extractoras, no qual o veio da máquina de injecção aperta (Figura 144).

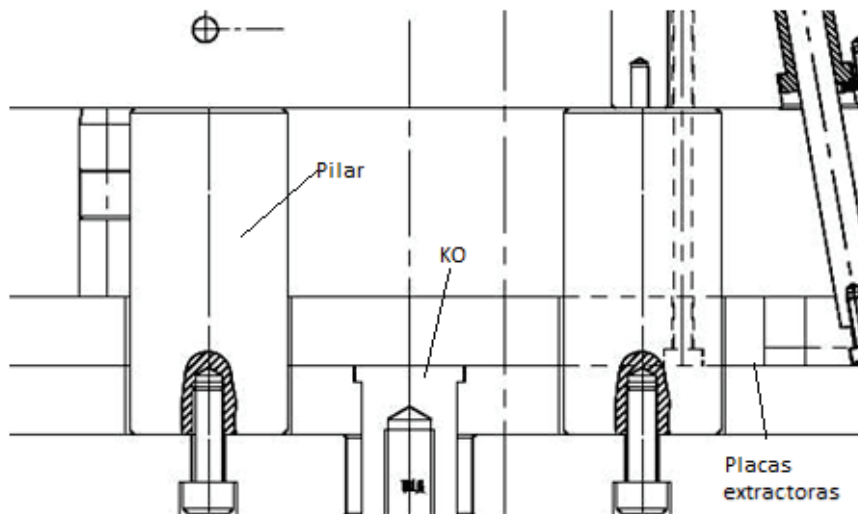


Figura 144 - Disposição dos pilares e KO.

Na figura acima podemos ver os pilares, que conferem mais resistência nos esforços deflexão e compressão a que o molde está sujeito.

### 3.5.6. Guiamento e ajuste

Os aspectos a ter em conta na caracterização do guiamento e ajuste do molde são:

- Aplicação de 4 guias para o guiamento do molde (Figura 145);
- Aplicação de 4 casquilhos nos quais as guias vão deslizar (Figura 142);
- Aplicação de faces inclinadas com talas de travamento para garantir o ajuste no momento do fecho do molde (Figura 146);
- Aplicação de 4 placas (almofadas) para a fixação dos casquilhos;
- As guias principais são fixas pela placa 2 (Figura 142).

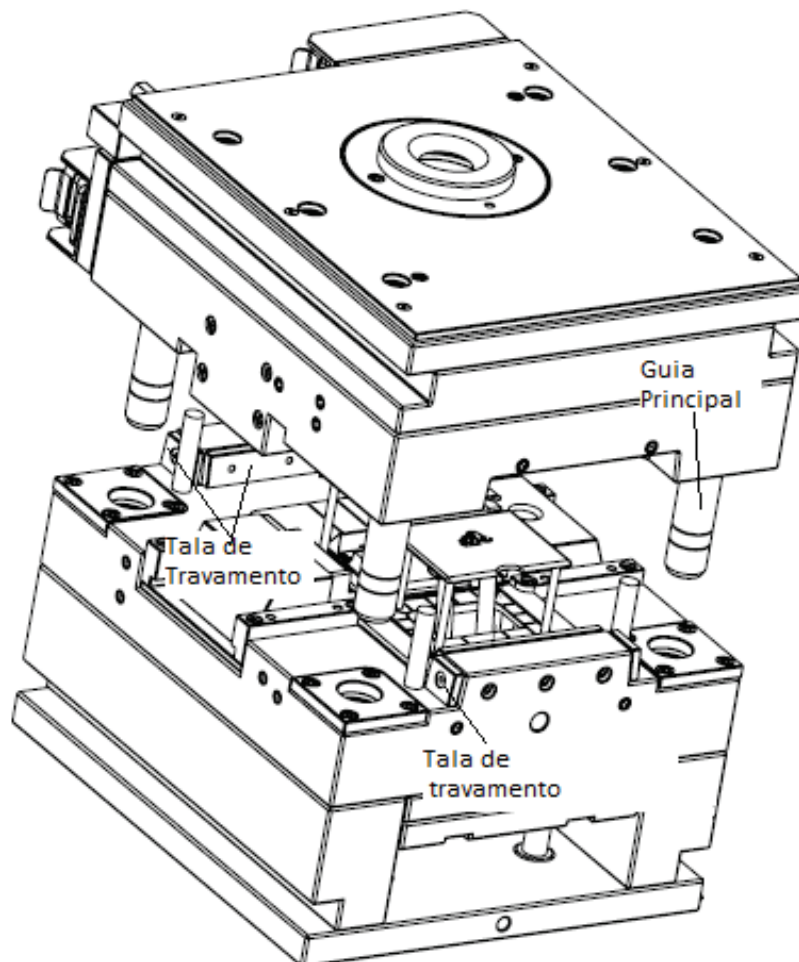


Figura 145 - Componentes de guiamento e ajuste

As almofadas (Figura 147) são posicionadas nos 4 vértices do molde e são fixas à placa 4. Como são fáceis de montar, torna-se possível rectificar a sua espessura numa etapa final do acabamento, garantindo a vedação nas juntas. Este sistema torna-se mais resistente do que o uso de anéis elásticos para fixação dos casquilhos.

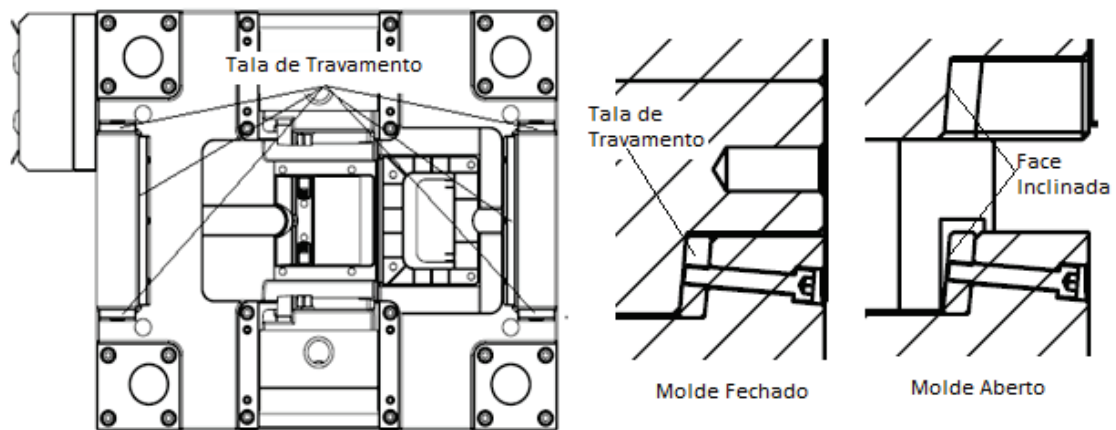


Figura 146 - Disposição das talas de travamento e faces de contacto.

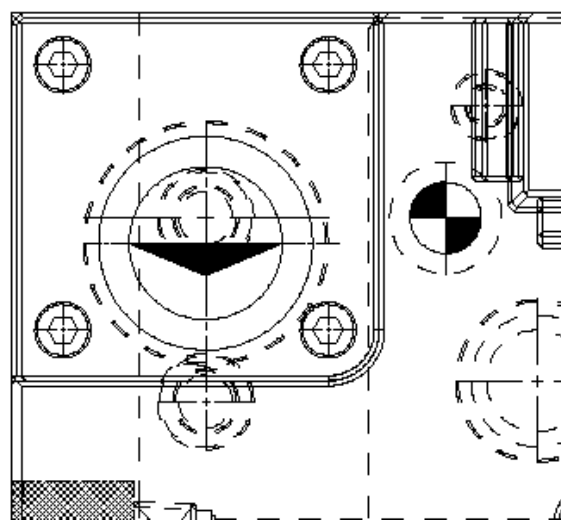


Figura 147 - Almofada.

### 3.5.7. Charneira

Após injeção, a peça é dobrada em torno da charneira e fechada, sendo que a espessura na linha de dobragem deve permitir o seu fecho e ser resistente aos esforços aplicados. Para um possível ajustamento, torna-se necessária a aplicação de um postigo na linha de dobragem. Abre-se uma caixa pelo lado da extracção na placa-macho, centrada nas superfícies em que a dobragem é aplicada. O postigo é composto por uma chapa de 4 mm de espessura, que é fixa a um corpo, que assegura a sua fixação à placa-macho (Figura 148).

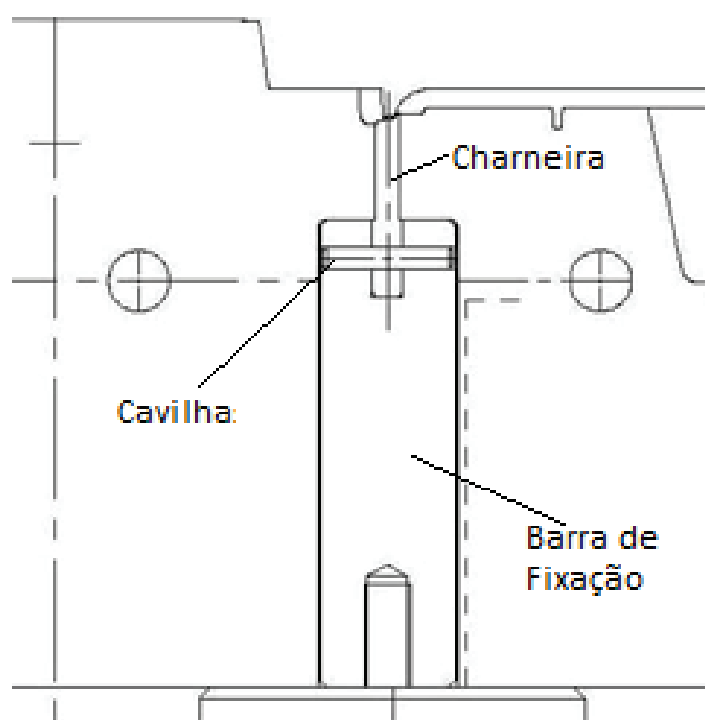


Figura 148 - Corte da Charneira.

### 3.5.8. Sistema de injeção

A injeção de plástico no molde é feita através da anilha, que permite o ajuste do veio de alimentação da máquina ao molde através de um furo cónico. Este furo cónico tem ligação ao injector que vai inserir o plástico na cavidade. A anilha é fixa à placa de encosto, e o injector tem o seu alojamento na placa intermédia, entrando justo na placa da cavidade (Figura 149).

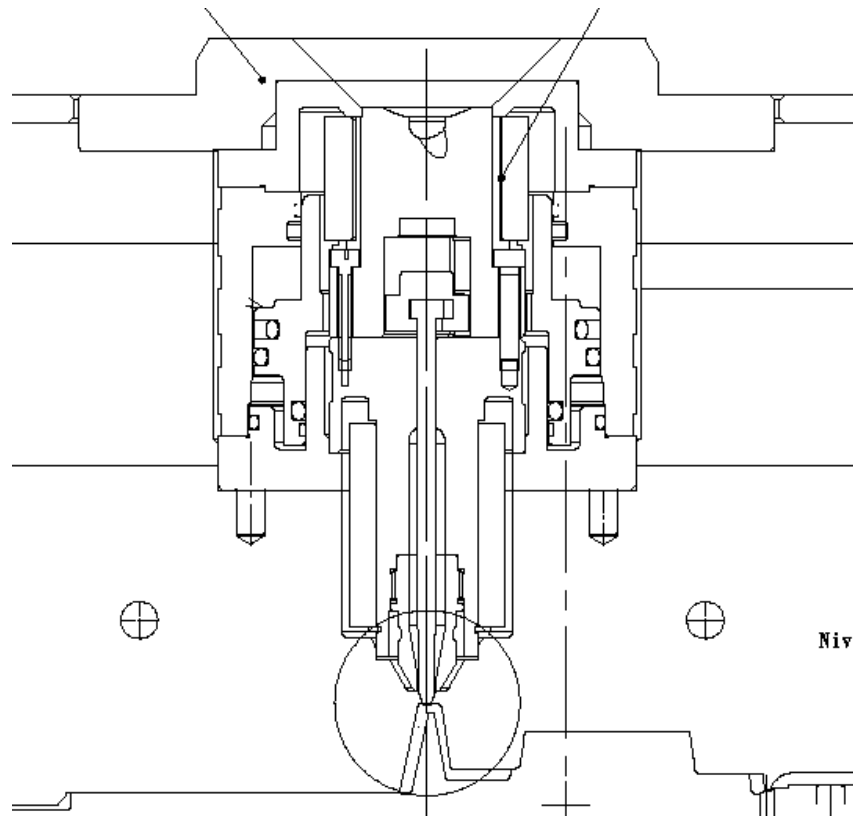


Figura 149 - Bico injector

O injector é uma peça normalizada, pelo que deveremos adequar a altura das placas às características geométricas do injector. O orifício de injeção tem um determinado diâmetro, a respeitar, para evitar anomalias no enchimento e rebarba no ponto de enchimento.

### 3.5.9. Sistema de refrigeração do molde

O sistema de refrigeração do molde vai permitir controlar a temperatura deste. Permite que diminua o ciclo de injeção da peça e evita a degradação do material fundido devido ao excesso de temperatura (Figura 150).

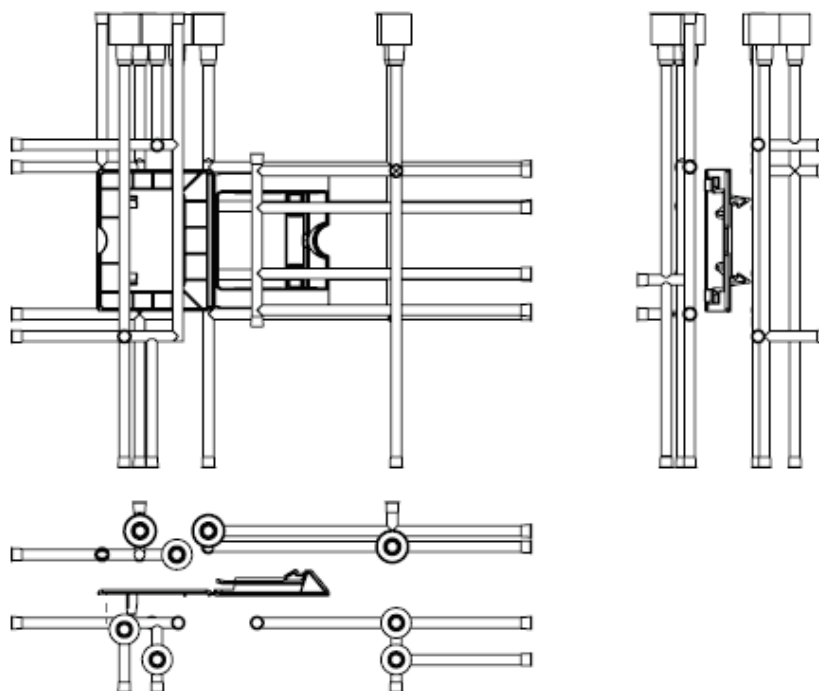


Figura 150 - Disposição dos canais de refrigeração.

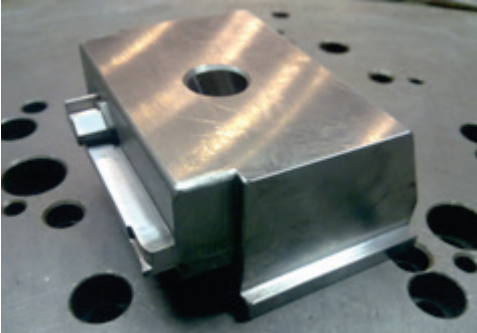

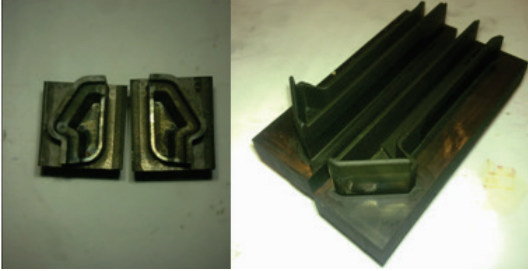
Os aspectos a ter em conta na caracterização do sistema de refrigeração do molde são:



- Deve ser constituído por canais com diâmetro de 8mm, localizados na placa-cavidade e macho, dispostos paralelamente à peça;
- A entrada e saída da água é efectuada paralelamente aos movimentos, prevendo a disposição das mangueiras na máquina de injeção;
- A localização de um postigo (charneira) e componentes leva a que os canais de refrigeração tenham que os contornar;
- Os canais são posicionados o mais próximo possível das superfícies com as quais o plástico vai estar em contacto.

### 3.6. Soluções de fabrico


Seguidamente são descritos os processos de fabrico passíveis de ser utilizados na produção de uma parte dos componentes do molde.

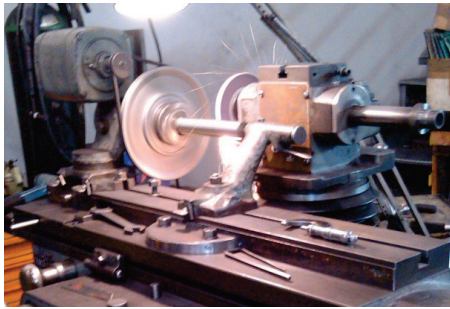

**Tabela 29 - Etapas de fabricação de algumas das peças principais do molde.**

Etapas	Movimentos laterais
<p>Efectua-se a fresagem de desbaste e acabamento a partir de um bloco de aço rectificadado. A furação e roscagem são efectuadas posteriormente. O ponto de centragem é marcado ao centro do bloco, na superfície superior do mesmo.</p>	 <p><b>Figura 151 - Movimento lateral</b></p>
<p>Enviam-se as peças para nitruração para que seja obtida uma dureza na ordem dos 55/60 HRC e, conseqüentemente aumente a resistência ao desgaste.</p>	 <p><b>Figura 152 - Envio das peças para nitruração.</b></p>
<p>Aplica-se o processo de electro-erosão para retirar algum do material que ficou da fresagem. Os eléctrodos utilizados são em grafite e a sua geometria é obtida por fresagem. É utilizado o mesmo referencial para centragem que tinha sido usado na fresagem.</p>	 <p><b>Figura 153 - Eléctrodos de grafite.</b></p>

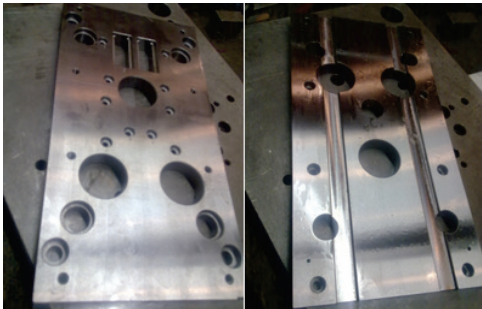

<p>Polimento e acabamento das superfícies, com lixa de diferentes tamanhos de grão até obter o estado superficial requerido.</p>	 <p><b>Figura 154 - Polimento manual.</b></p>
<p>Efectua-se a rectificação plana dos blocos para obtenção das cotas finais requeridas.</p>	 <p><b>Figura 155 - Rectificação.</b></p>

**Tabela 30 - Etapas de fabricação dos componentes ligados ao sistema de extracção.**

Etapas	Movimento de extracção
<p>Efectua-se a fresagem de desbaste e acabamento, a partir de blocos de aço rectificadado. A furação e roscagem são efectuadas em seguida. O ponto de centragem é marcado ao centro do bloco, na superfície superior do mesmo.</p>	 <p><b>Figura 156 - Componentes de extracção.</b></p>
<p>Aplica-se o processo de electro erosão para retirar material que ficou da fresagem. São utilizados eléctrodos em grafite que são obtidos através de fresagem. É utilizado o mesmo referencial para centragem que tinha sido usado na fresagem.</p>	 <p><b>Figura 157 - Eléctrodos de grafite.</b></p>

<p>Efectua-se a maquinação dos blocos por fresagem (acabamento) e, no final, procede-se à rectificação, para obter as cotas finais.</p>	 <p><b>Figura 158 - Rectificação.</b></p>
<p>Polimento e acabamento da superfície da cavidade, com lixa de diferentes tamanhos de grão, até obter o estado superficial requerido.</p>	 <p><b>Figura 159 - Superfícies da cavidade.</b></p>

**Tabela 31 - Etapas de fabricação dos componentes ligados às placas intermédias.**

Etapas	Placas extractoras, de encosto e intermédias
<p>Efectua-se a fresagem de desbaste e acabamento, a partir de placas de aço. A furação e roscagem são efectuadas de seguida. O ponto de centragem é marcado ao centro do bloco, na superfície superior do mesmo.</p>	 <p><b>Figura 160 - Placas extractoras.</b></p>
<p>Efectua-se a maquinação dos blocos por fresagem (acabamento) e, no final, procede-se à rectificação, para obter as cotas finais.</p>	 <p><b>Figura 161 - Rectificação.</b></p>

Seguidamente são descritas as etapas ligadas ao guiamento e ajuste do molde.

**Tabela 32 - Etapas de fabricação de componentes diversos de guiamento e deslizamento.**

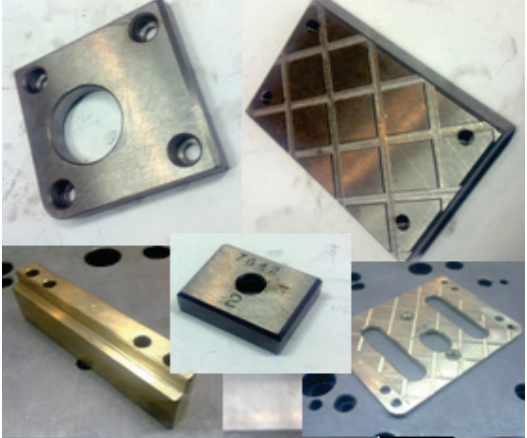


Etapas	Talas deslizamento e guias, casquilhos
<p>Efectua-se a fresagem de desbaste e acabamento, a partir de placas de aço. A maquinação de casquilhos é feita no torno, sendo estes seguidamente rectificadas. A furação e roscagem são efectuadas de seguida. O ponto de centragem é marcado ao centro do bloco, na superfície superior do mesmo.</p>	 <p><b>Figura 162 - Componentes diversos.</b></p>
<p>Enviam-se as peças para nitruração para que seja obtida uma dureza na ordem dos 55/60 HRC e, conseqüentemente aumente a resistência ao desgaste.</p>	 <p><b>Figura 163 - Envio das peças para nitruração.</b></p>
<p>Efectua-se a maquinação dos blocos por fresagem (acabamento) e, no final, procede-se à rectificação para obter a precisão requerida.</p>	 <p><b>Figura 164 - Rectificação.</b></p>

Tabela 33 - Etapas de fabricação dos componentes relativos à charneira.

Etapas	Barra de fixação e charneira
<p>Efectua-se a fresagem de desbaste e acabamento na barra de fixação da charneira, e seguidamente na charneira. A furação é efectuada em seguida. O ponto de centragem é marcado ao centro do bloco, na superfície superior do mesmo.</p>	 <p><b>Figura165 - Charneira.</b></p>
<p>Efectua-se a maquinagem dos blocos por fresagem (acabamento) e, no final, procede-se à rectificação para obter a precisão requerida.</p>	 <p><b>Figura 166 - Rectificação.</b></p>
<p>Monta-se a charneira na barra de fixação e realiza-se a fresagem das superfícies da charneira.</p>	 <p><b>Figura 167 - Maquinação da charneira.</b></p>

Tabela 34 - Etapas de fabricação das placas-macho e cavidade.

Etapas	Placa-macho e cavidade
<p>Efectua-se a fresagem de desbaste e acabamento a partir de um bloco de aço. A furação e roscagem são efectuadas em seguida. A furação vai criar o sistema de arrefecimento através da realização de canais com 8 mm de diâmetro. Neste caso, a relação L/D da broca é elevada.</p> <p>O ponto de centragem é marcado ao centro do bloco, na superfície superior do mesmo.</p>	 <p><b>Figura 168 - Placas 3 e 4.</b></p>
<p>Aplica-se o processo de electro-erosão para retirar material que ficou da fresagem. São utilizados eléctrodos em grafite, que são obtidos através de fresagem. É utilizado o mesmo referencial para centragem que tinha sido usado na fresagem.</p>	 <p><b>Figura 169 - Eléctrodos de grafite.</b></p>
<p>Polimento e acabamento das superfícies com lixa de diferentes tamanhos de grão até obter o estado superficial requerido.</p>	 <p><b>Figura 170 - Polimento manual.</b></p>

Efectua-se a maquinagem dos blocos por fresagem (acabamento) e, no final, procede-se à rectificação para obter a precisão requerida.



**Figura 171 - Rectificação.**

### **3.7. Selecção dos materiais para as diferentes zonas do molde**

Os materiais utilizados no molde dependem da geometria da peça a obter, da matéria-prima a injectar, da cadência de fabrico, do acabamento superficial requerido e dos esforços a que o molde irá estar sujeito. O cliente, ao prever estas condições, já indica normalmente os materiais, com o intuito de normalizar as suas ferramentas, o que se pode traduzir no facto de os materiais escolhidos poderem não ser os melhores, atendendo às suas características mecânicas e químicas, para o tipo de peça a injectar.

Na injeção de plásticos são aplicadas altas pressões, que podem variar entre os 300 e 1400 MPa, com elevadas forças de fecho. Os materiais do molde devem ser tenazes e resistentes às tensões de compressão e flexão existentes, assim como à fadiga. As elevadas séries de produção, juntamente com os efeitos de erosão do plástico, podem implicar um grande desgaste, que pode ser atenuado com uma dureza superficial adequada. Os materiais têm uma grande influência no tempo de fabrico e no acabamento final. Materiais difíceis de maquinar aumentam o tempo de fabrico, mas melhoram o desgaste das ferramentas utilizadas. Podemos destacar ligas com uma elevada dureza ou ligas de aço inoxidável que, devido à presença de carbonetos, dificultam a maquinação. Contudo, a dureza é necessária para minimizar o desgaste e para melhorar o acabamento final, pelo que, no polimento da cavidade, a dureza elevada é fundamental. Aços com estrutura dendrítica mais macia e superfícies com alto teor de carbono ou com inclusões diminuem a qualidade final das peças polidas.

Os materiais usados no molde têm que possuir características que, desde o início, assegurem as propriedades requeridas. Os materiais metálicos, em geral, possuem (Figura 172):

- Boa resistência ao desgaste;
- Elevado ponto de fusão;
- Elevada tenacidade;
- Elevada rigidez;
- Facilidade de obtenção (disponibilidade no mercado);
- Facilidade de processamento.

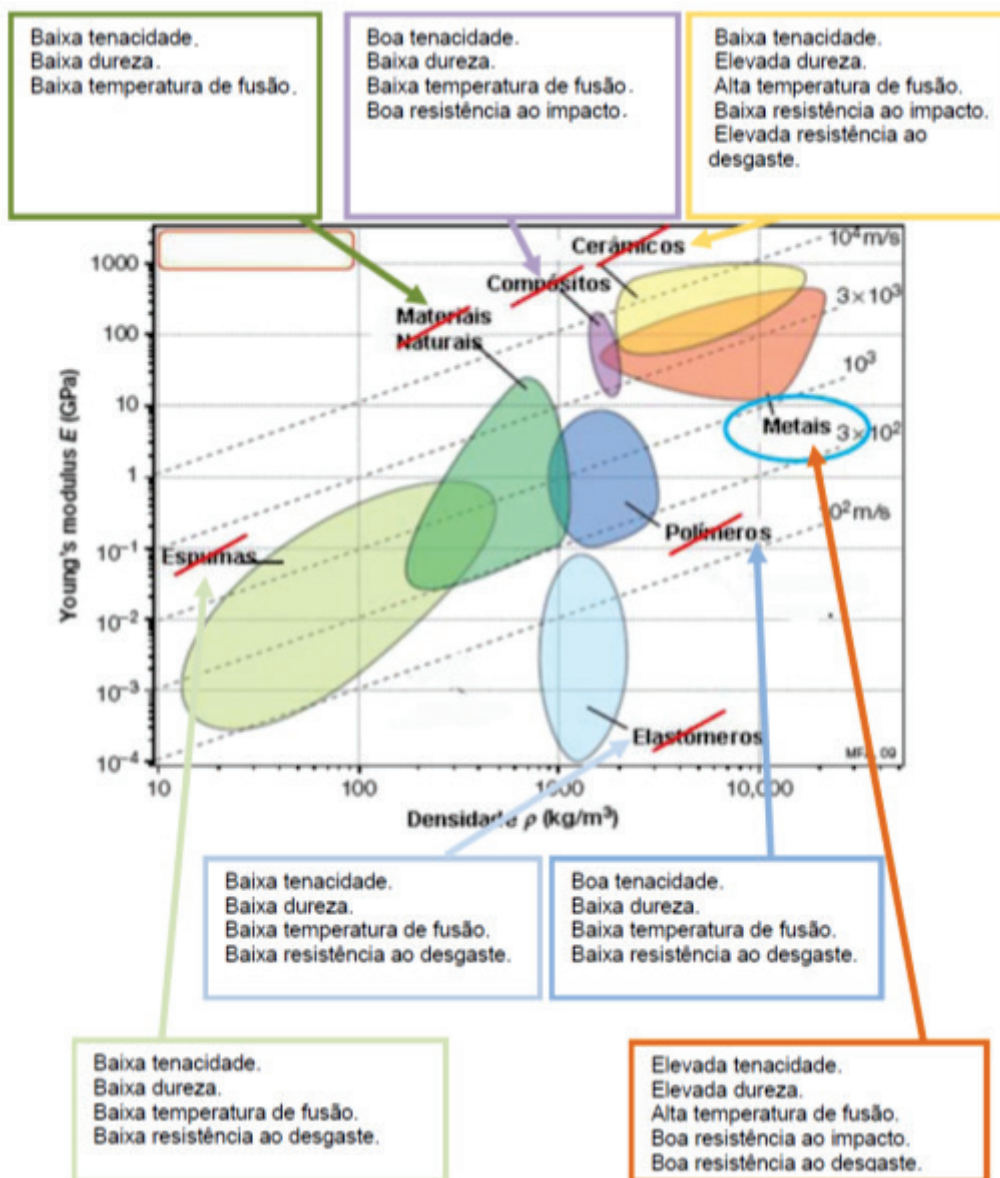


Figura 172 - Gráfico genérico de Ashby.

Os aços são, de longe, o material mais usado para o fabrico de moldes. No entanto, outras ligas como, por exemplo, as ligas cobre - berílio e ligas de cobre, também são usadas com alguma regularidade neste tipo de aplicação. Existe uma grande variedade de aços ligados usados na construção de moldes. Os elementos de liga potenciam ou penalizam as características mecânicas, pelo que esses elementos têm uma forte influência nas propriedades do aço e assumem particular relevância na fase de selecção. Na tabela abaixo indica a influência desses elementos nas propriedades do aço.

Tabela 35 - Efeito dos elementos de liga no aço (MENGES, et al., 2000).

*Tabela 1 – Efeito dos elementos de liga nas características do aço (Menges, 2000).*

Elemento de liga	C	Si	S	P	Cr	Ni	Mn	Co	Mo	V	W	Cu	Ti
→													
Propriedade ↓													
Rigidez	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓	-	↓
Resistência ao impacto	↓	↓	↓	↓	↓	-	-	-	-	-	-	-	-
Resistência ao desgaste	↑	-	-	-	↑	-	↑	-	↑	↑	↑	-	↑
Endurecimento	-	↑	-	-	↑	↑	↑	-	↑	-	-	-	-
Dureza	↑	↑	-	-	↑	↑	-	↑	↑	↑	↑	-	-
Maquinação	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↓	-	-	↓	↓	-	-
Ductilidade	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↓	-	-	↓	-	-
Resistência ao calor	↑	↑	-	↑	↑	-	-	↑	↑	↑	↑	-	-
Retenção de dureza	↑	↑	-	↑	↓	-	↑	↑	↑	↑	↑	-	-
Resistência à corrosão	-	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	-

## **Carbono**

Elemento vital nos aços vai aumentar a dureza e resistência mecânica ao formar carbonetos em conjunto com o ferro. A temperabilidade do aço melhora com o teor em carbono, já que favorece a formação da martensite.

## **Silício**

Possui acção desoxidante na produção do aço, aumentando também o limite elástico, o que é característico nos aços para molas. Nos aços para tratamento térmico, melhora a resistência à tracção e ao desgaste. A sua adição é limitada a 3% em aços refractários, dada a sua dificuldade de maquinação. Torna os aços aptos para têmpera, melhorando a penetração. Aumenta a resistência à corrosão, mas prejudica a soldadura.

## **Crómio**

Parte do teor de crómio que não seja dissolvido na matriz do aço vai combinar-se com o carbono formando carbonetos de crómio, que aumentam o poder de corte e a resistência ao desgaste. Permite que o aço fique apto para têmpera e eleva a penetração da mesma, diminuindo a sua tenacidade. Melhora a resistência à corrosão e, com uma percentagem de 12% de Cr, resiste à acção da água e de vários ácidos. Aços com elevados teores de Cr, como os aços inoxidáveis, são usados em situações em que seja necessária elevada resistência ao desgaste e para a injeção de polímeros de maior propensão a corrosão.

## **Mangânes**

É um desoxidante que forma sulfuretos de ferro, juntamente com o enxofre. Permite compensar a acção desfavorável dos sulfuretos de ferro. Apresenta uma acção mais relevante nos aços de fácil maquinação porque diminui a fissuração a quente. Confere um aumento de resistência mecânica. Diminui a velocidade crítica da têmpera, melhorando assim a penetração da mesma. Com percentagens superiores a 4% dá lugar à formação de martensite frágil. E com teores superiores a 12% de manganês e 1% de carbono, o aço mantém-se num estado austenítico, aumentando a zona gama do diagrama de fases. Mesmo ao arrefecer, a partir dos

1000°C em água, mantém o seu estado, adquirindo elevada dureza superficial e mantendo a tenacidade no núcleo.

### **Molibdénio**

Forma carbonetos, entrando na composição dos aços combinado com outros elementos. Baixa a velocidade crítica de têmpera, permitindo melhorar a temperabilidade dos aços. Diminui a fragilidade pelo revenido nos aços Cr-Ni e ao Mn. Contribui para o afinamento do grão. Melhora a resistência à tracção, a resistência a quente e eleva o limite elástico. Melhora as propriedades de corte dos aços rápidos, podendo substituir o tungsténio. A influência do Mo é o dobro da do tungsténio para um mesmo teor.

### **Vanádio**

O vanádio é um formador de carbonetos muito finos, tendo acção benéfica na resistência ao desgaste, resistência a quente e tempo de duração de corte. Aumenta a estabilidade do revenido e a insensibilidade ao sobreaquecimento. Aumenta o limite elástico, assim como a dureza a temperaturas mais elevadas.

### **Tungsténio**

Forma carbonetos muito duros e melhora a tenacidade, a resistência a quente e a resistência ao revenido. Melhora o aço a esforços de corte, entrando por isso na composição dos aços rápidos. Resiste ao aumento do tamanho do grão. Eleva a força coesiva e a resistência ao desgaste, diminuindo a resistência à oxidação a quente.

### **Níquel**

Não forma carbonetos, sendo dissolvido na matriz do aço. Eleva a penetração da têmpera e a tenacidade dos aços.

### **Fósforo**

Considerado em muitos casos prejudicial, devido a formar segregações primárias, aumenta a sensibilidade à fragilidade por revenido. A fragilização aumenta com o teor de carbono, com a elevação da temperatura de têmpera e com o aumento do tamanho do grão. Nos aços austeníticos, adições de fósforo podem melhorar o limite elástico e produzir efeitos de precipitação.

### **Enxofre**

Origina fortes segregações. Os sulfuretos de ferro provocam fissuras a quente. O enxofre é aplicado nos aços de fácil maquinação, sendo que os sulfuretos finamente dispersos rompem a coesão metálica e facilitam a maquinação. Os sulfuretos originam aparas mais curtas e lubrificam o gume cortante da ferramenta. Aumenta a tendência de fissuração durante a soldadura.

As propriedades dos aços derivam da sua composição e processo de obtenção. As características de um aço, como a sua maquinabilidade, condutividade térmica, e resistência mecânica variam, conforme podemos ver na Tabela 36, onde se podem observar alguns aços utilizados na construção de moldes.

**Tabela 36 - Características de aços para moldes (classificação de 1 (pouco apto) a 10 (muito apto))  
(Rosato, et al., 2000).**

Type	AISI Designation	Recommended Hardness, Rockwell C	Point Ratings, 1 to 10 (10 is Highest)											
			Wear Resistance	Toughness	Compressive Stress	Corrosion Resistance	Hot Hardness	Thermal Conductivity	Hobability	Machinability	Polishability	Heat-treatability	Weldability	Nitriding ability
Prehardened	4130/41040	30-36	2	8	4	3	1	5	1	5	5	10	4	4
Prehardened	P-20	30-36	2	9	4	3	2	5	1	5	8	10	4	5
Prehardened stainless	414 SS	30-35	3	9	4	3	7	2	1	4	9	10	4	6
	420 SS	30-35	3	9	4	3	6	2	1	4	9	10	4	7
Carburizing	P-5	59-61	8	6	6	5	2	3	9	10	7	6	9	8
	P-6	58-60	8	7	6	5	3	3	8	10	7	6	8	8
Oil-hardening	01	58-62	8	3	9	5	1	5	5	8	8	7	2	3
	06	58-60	8	4	8	5	1	5	7	10	5	6	2	3
Air-hardening	H-13	50-52	6	7	7	8	3	4	6	9	8	8	5	10
	S7	54-56	7	5	8	8	3	4	6	9	8	8	3	8
	A2	56-60	9	3	9	7	3	4	4	8	7	9	2	8
	A5	56-60	8	4	8	7	2	5	5	10	7	7	4	7
	A10	58-60	9	5	9	7	2	5	5	8	6	7	2	NA
	D2	56-58	10	3	8	8	4	2	4	4	6	9	1	10
Stainless	420 SS	50-52	6	6	6	8	7	2	4	7	10	8	6	8
	440C	56-58	8	3	8	7	8	2	3	6	9	7	4	NA
	SS													
Maraging	250	50-52	5	10	6	7	4	3	4	4	7	9	5	9
	350	52-54	6	10	7	7	4	3	4	4	7	9	5	9
Maraging stainless	455M	46-48	5	10	5	7	10	2	3	4	8	9	5	NA
High-speed	M2	60-62	10	2	10	10	3	3	2	4	6	8	2	10
	ASP 30	64-66	10	4	10	10	4	3	1	4	7	8	2	NA
Beryllium copper	Be Cu	28-32	1-2	1	2	4	6	10	10	10	8-9	7	7	NA

NA = not available.

### Ligas de cobre e cobre - berílio

As ligas de cobre e cobre-berílio permitem a redução do ciclo de moldação e incremento da competitividade através do melhoramento do arrefecimento do produto, que fica a dever-se a uma melhor condutividade térmica, relativamente aos aços. Pode ainda referir-se que o atrito com o aço é menor do que o contacto aço - aço.

### Ligas cobre - berílio

O berílio é usado para aumentar a resistência mecânica das ligas de cobre, oferecendo uma boa rigidez, maior leveza e estabilidade dimensional. Ligas acima de 1.7% de berílio apresentam melhoria nas propriedades mecânicas e redução das propriedades térmicas, apresentando uma resistência à tracção superior a 1200 MPa e dureza de 440 HB, sendo que uma dureza de 330 a 360 HB é suficiente. Ligas com menos de 1.7% de berílio são usadas para permutadores de calor, podendo ser recobertas com níquel ou crómio, aumentando a sua dureza com um tratamento térmico. Estas ligas podem ser soldadas e maquinadas, sendo muito usadas na indústria de moldes onde se deseja um rápido arrefecimento das peças injectadas.

## Ligas de Cobre

Existem muitos tipos de ligas de cobre e cada uma com propriedades próprias. Com o seu desenvolvimento, surgiram novas ligas que possuem boas propriedades e surgem como opção às ligas cobre-berílio. As ligas de cobre com alumínio são uma dessas opções, como o AMPCO 18 e M4, que apresentam elevada resistência à fadiga, compressão e corrosão, entre outras.

### Aplicação na indústria de moldes

As ligas de cobre são usadas em cavidades, machos, postigos e outros componentes como guias e placas de deslizamento, como se pode ver nos exemplos na figura abaixo.

Devido às suas propriedades de elevada condutividade térmica, elevada resistência mecânica, baixo atrito, possibilidade de maquinação e electro-erosão, torna-se numa mais-valia para melhorar a qualidade do produto e diminuir o tempo de ciclo.



**Figura 173 - Exemplos de peças em Ampco 18 (Moldes injeção plásticos).**

### 3.7.1 Materiais normalmente disponibilizados no mercado

Existe uma elevada oferta de materiais para a construção de moldes, indicados pelos próprios fornecedores. Através de prévia consulta do fornecedor (F. Ramada-Aços), podemos obter uma lista de materiais mais indicados para cada zona do molde (Tabela 37 e

Tabela 38).

**Tabela 37 - Composição química dos aços usados no fabrico de moldes para injeção de plásticos (F. Ramada F. Ramada, Aços e Indústrias S.A.).**

Aço		Composição química								
		C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	Outros
F10 Nº1.1730	AISI 1045	0.45	0.40	0.65						
2738 1.2738	AISI P20	0.40	0.30	1.45	1.95	0.20	1.05			S<0.035 P<0.035
ORVAR 2M Nº1.2344	AISI H13	0.40	1.00	0.40	5.20	1.30		1.00		
STAVAX	AISI 420 modificado	0.38	<1.10	<1	13.60			0.30		
MG 50	H13 PREMIUM	0.40	1.00	0.40		5.20	1.40		1.00	
2311 Nº 1.2311	AISI P20+S	0.36	0.30	1.45	1.95	0.20				
RAMAX LH		0.12	<0.40	1.30	13.40	0.50	1.60	0.20		N<0.20 S<0.2
NIMAX PM400		0.10	0.30	2.50	3.00	0.30	1.00			
MOLDMAX XL								9.00		Sn-6.00 Cu-85.00
MOLDMAX HH										Be-1.90 Co+Ni 25 Cu- 97.85
AMPCO 18	DIN CuAl10Ni									Cu-82 Al-12.5 Fe-3.5

**Tabela 38 - Propriedades dos aços próprios para a fabricação de moldes.**

AÇO	
F10 Nº1.1730	Aço para construção mecânica com boa maquinabilidade, bom acabamento superficial, para a estrutura de moldes, bases, e moldes com vida útil relativamente curta (F. Ramada F. Ramada, Aços e Indústrias S.A.).
2738 1.2738	Aço pré – tratado, tendo já a dureza final pretendida. O Cr leva a que tenha uma melhor resistência à corrosão do que o F10,mas torna mais difícil a sua maquinação.
ORVAR 2M Nº1.2344	Similar ao aço AISI H13, com boa resistência a altas temperaturas e boa resistência à abrasão. Este tipo de aço é muito utilizado em matrizes para extrusão. Utilizado em ferramentas sujeitas a moderados esforços mecânicos e fadiga térmica ( F. Ramada F. Ramada, Aços e Indústrias S.A.)).
STAVAX	Aço inoxidável Premium, indicado para ferramentas de alta <i>performance</i> , visando garantir grão fino e uniforme, baixíssimo nível de inclusões e propriedades mecânicas superiores. É aplicado a todos os tipos de moldes para plásticos devido à boa resistência ao desgaste e facilidade de ser polido. Possibilita baixo custo de manutenção do molde, além de facilitar a troca constante de calor durante a produção ( <i>Uddeholm</i> ).
MG 50	É um aço com propriedades mecânicas e pureza superiores aos aços AISI H13 convencionais. É aplicado em matrizes de injeção de alumínio, magnésio e ligas de cobre. Também pode ser aplicado em moldes para plásticos e em dispositivos para trabalho a frio, devido à sua tenacidade e estado superficial após polimento ( <i>Uddeholm</i> ).
2311 Nº 1.2311	Aço de baixa liga com boa maquinabilidade e temperabilidade. Indicado para moldes para injeção de plásticos e fundição de ligas leves, sob pressão ( F. Ramada F. Ramada, Aços e Indústrias S.A.)).

AÇO	
RAMAX LH	Usado para o fabrico de bases e porta-matrizes para plásticos, moldes para plásticos e borracha com baixa exigência no polimento, assim como matrizes e calibradores para extrusão de plástico. Aplicável em estruturas sujeitas a grande corrosão ( <i>Uddeholm</i> ).
NIMAX PM400	Indicado para o fabrico de moldes para plásticos com baixo teor em carbono. Tem excelente maquinabilidade de e fácil soldabilidade. Reduz o tempo de fabrico e torna a manutenção muito mais fácil. A alta dureza combinada com alta tenacidade, resulta num molde com boa resistência à nucleação de fissuras e fracturas, com um risco mínimo de falha inesperada, levando a um molde seguro e com vida útil longa ( <i>Uddeholm</i> ).
MOLDMAX XL	Usado para elementos e zonas moldantes. Aplicado em moldes de grande dimensão onde se deseja a diminuição do tempo de ciclo e número de peças rejeitadas. Tem uma condutividade térmica duas vezes superior ao aço pré-tratado. É adequado para a electro-erosão (Moldes injeção plásticos).
MOLDMAX HH	Usado normalmente para insertos em pontos críticos (quentes) e extractores. Tem uma condutividade térmica 3 a 4 vezes superior aos aços comuns, com uma boa resistência mecânica e dureza. Devido à sua elevada transferência de calor, permite uma redução do tempo de ciclo. Apresenta um baixo coeficiente de fricção e boa maquinabilidade, permitindo um excelente polimento e texturização (Moldes injeção plásticos).
AMPCO 18	Apresenta elevada resistência ao desgaste e à deformação sob cargas elevadas (Moldes injeção plásticos).

### **3.7.2.Requisitos para o material das placas**

Os milhares de ciclos que esta ferramenta vai realizar efectuando a força de fecho irão reflectir-se em esforços consideráveis para as placas a nível da tensão aplicada, de flexão e fadiga. As placas da cavidade são exigentes ao nível das propriedades que devem patentear. A dureza é um importante factor, devido ao desgaste e ao grau de polimento que a cavidade deve apresentar. A resistência à corrosão é também um factor importante, devido aos canais de água que atravessam as placas da cavidade, a factores atmosféricos e aos gases que se libertam durante e após a injeção. A condutividade térmica é também muito importante para que a transferência da energia acumulada na forma de calor, providente da injeção do plástico, saia da zona, permitindo reduzir o tempo de ciclo. A capacidade de ser sujeito a tratamentos térmicos como têmpera e revenidos é fundamental, assim como permitir texturização da sua superfície.

O molde é constituído por várias placas. Estas são adjacentes às placas das cavidades e têm por função fornecer ao molde uma maior resistência e permitir a criação de alojamentos para muitos dos componentes (extractores, postigos, cavilhas, guias, etc.) necessários ao correcto funcionamento do mesmo. As propriedades requeridas (Tabela 39) são menos exigentes do que as da cavidade, sendo mais relevantes aquelas que garantem a resistência aos esforços a que a ferramenta está sujeita.

Sendo a maquinagem o processo mais usado na obtenção da geometria, o material escolhido deve ter a capacidade de ser facilmente maquinado.

O processo de fabrico de um componente vai influenciar o seu custo e tempo de fabrico por isso o processo de fabrico é um requisito importante.

Um dos aspectos importantes é o custo (deve ser o mais baixo) da matéria-prima que deve estar ligado à selecção do material. Na tabela abaixo podemos verificar os requisitos mais importantes para a selecção do material.

**Tabela 39 - Propriedades requeridas a cada parte do molde.**

REF.	Descrição	Propriedades	Observações
1	Placa de encosto	Resistência mecânica Tenacidade Processo de fabrico Custo	Solicitações ao nível de compressão, flexão e fadiga. A maquinagem será o processo usado para a obtenção da geometria final.
2	Placa intermédia	Resistência mecânica Tenacidade Processo de fabrico Custo	Solicitações ao nível de compressão, flexão e fadiga. A maquinagem será o processo para obtenção da geometria final.
3	Placa cavidade	Resistência mecânica Tenacidade Dureza Resistência à corrosão Processo de fabrico Custo	Solicitações ao nível de compressão, flexão e fadiga. A maquinagem e electro - erosão são os processos a usar para a obtenção da geometria final. A microestrutura do aço deve ser homogénea, assim como possuir dureza adequada para o polimento e desgaste.
4	Placa macho	Resistência mecânica Tenacidade Dureza Resistência à corrosão Processo de fabrico Custo	Solicitações ao nível de compressão, flexão e fadiga. A maquinagem e electro - erosão são os processos usados para obtenção da geometria final. A microestrutura do aço deve ser homogénea, assim como possuir dureza adequada para o polimento e desgaste.
5	Calços	Resistência mecânica Tenacidade Processo de fabrico Custo	Solicitações ao nível de compressão, flexão e fadiga. A maquinagem será o processo usado para obtenção da geometria final.
6	Placa extractora	Resistência mecânica Tenacidade Processo de fabrico Custo	Solicitações ao nível de compressão, flexão e fadiga. A maquinagem será o processo usado para obtenção da geometria final.
7	Placa de aperto da extracção	Resistência mecânica Tenacidade Processo de fabrico Custo	Solicitações ao nível de compressão, flexão e fadiga. A maquinagem será o processo usado para obtenção da geometria final.
8	Placa de encosto	Resistência mecânica Tenacidade Processo de fabrico Custo	Solicitações ao nível de compressão, flexão e fadiga. A maquinagem será o processo para obtenção da geometria final.

A rigidez do material é dada pelo valor de módulo de Young. A rigidez é um factor importante, que nos vai indicar qual a resistência que o material oferece para se deformar elasticamente. Juntamente com a tenacidade, que indica a capacidade do material resistir à progressão de uma fenda, são características que indicam a forma como o material irá resistir aos esforços aplicados.

### **3.7.2.1. Requisitos para a placa - cavidade e placa - macho**

Nas placas – cavidade, as propriedades requeridas de maior importância são:

- Resistência mecânica (Rm);
- Dureza
- ; Resistência à corrosão;
- Dureza a quente;
- Processo de fabrico;
- Polimento;
- Custo.

De seguida é apresentada uma tabela que resume os índices de mérito atribuídos a cada material anteriormente apresentado, em função da sua aptidão para cumprir com as propriedades acima listadas.

Tabela 40 - Valores atribuídos a cada material, em função das suas características e aptidões ao uso.

<b>Aço</b>	F10 1.1730	2738 1.2738	ORVAR 2M 1.2344	STAVAX	MG 50	2311 1.2311	RAMAX LH	NIMAX PM400	MOLDMAX XL	MOLDMAX HH	AMPCO 18
<b>Norma</b>	AISI 1045	AISI P20	AISI H13	AISI 420	H13	AISI P20					DIN CuAl10Ni
<b>Resistência mecânica (MPa)</b>	560	993	1420	1780	1420	990	1010	1265	760	1280	700
<b>Dureza (HV)</b>	205	320	440	430	440	310	290	380	301	295	160
<b>Resistência a corrosão</b>	0	2	2	3	2	1	7	2	10	10	10
<b>Processo de fabrico</b>	6	7	4	3	4	7	8	5	8	6	6
<b>Polimento</b>	0	7	7	9	8	7	4	7	8	8	6

Tabela 41 - Índices de mérito dos diferentes materiais, em função das diversas propriedades requeridas no molde.

Aço		F10 1.1730	2738 1.2738	ORVAR 2M	STAVAX	MG 50	2311 1.2311	RAMAX LH	NIMAX PM400	MOLDMAX XL	MOLDMAX HH	AMPCO 18
Resistência mecânica	Wi	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
	M1	0.31	0.56	0.80	1.00	0.80	0.56	0.57	0.71	0.43	0.72	0.39
Dureza	Wi	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
	M2	0.47	0.73	1.00	0.98	1.00	0.70	0.66	0.86	0.68	0.67	0.36
Resistência a corrosão	Wi	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	M3	0.00	0.20	0.20	0.30	0.20	0.10	0.70	0.20	1.00	1.00	1.00
Processo de fabrico	Wi	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
	M4	0.75	0.88	0.50	0.38	0.50	0.88	1.00	0.63	1.00	0.75	0.75
Polimento	Wi	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	M5	0.00	0.78	0.78	1.00	0.89	0.78	0.44	0.78	0.89	0.89	0.67
Custo baixo	Wi	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	M6	1.00	0.43	0.24	0.13	0.16	0.58	0.15	0.32	0.03	0.03	0.09
Tenacidade	Wi	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
	M7	0.70	0.90	0.60	0.50	0.60	0.70	0.30	1.00	0.40	0.40	0.40
Índice de mérito (Q)		15.60	19.33	17.29	17.50	17.21	18.73	15.65	19.35	15.95	16.46	13.02

O aço AISI 1045 não é aplicado nas placas-cavidade devido à sua baixa dureza, o que diminui a sua resistência ao desgaste e a capacidade de polimento (Tabela 40). Como se trata de um aço com baixa resistência à oxidação, evita-se a sua utilização em placas com canais de água.

O índice de mérito de maior valor é atribuído ao aço 2738, que corresponde a uma melhor relação entre os diferentes requisitos do material a aplicar (Tabela 41).

O requisito de maior peso é a resistência mecânica com o valor de 7. Este foi escolhido como de maior importância devido à resistência que o material deve demonstrar para aguentar os esforços.

O processo de fabrico é a facilidade da obtenção da peça, o que se traduz pelo número de etapas e a distância temporal necessária na concretização do componente. Torna-se o segundo índice mais importante devido ao facto do tempo ser essencial na diminuição do custo e prazo de entrega. O custo é essencial para que o molde tenha um preço concordante com o mercado

### ***3.7.2.2 Requisitos para as placas de encosto e de extracção***

Nas placas que não sejam a da cavidade os requisitos são (Tabela 42):

- Resistência mecânica do material aos esforços,  $R_m$ ;
- Tenacidade;
- O processo de fabrico é facilidade na obtenção da geometria final. O material nestas placas não necessita de tratamento para obter uma dureza final mais elevada, o que torna mais difícil o processo da obtenção da geometria final nos aços pré-tratados;
- Custo: o orçamento da ferramenta está ligado directamente ao custo da matéria-prima a usar. O facto de as placas utilizarem grande parte desta matéria-prima é essencial para controlar o custo da matéria-prima, para obtenção de um custo final adequado.

Tabela 42 - Valores atribuídos aos requisitos.

NORMA	AISI 1045	AISI P20	AISI H13	AISI 420 modified	H13 premium	AISI P20					DIN CuAl10Ni
<b>RESISTÊNCIA MECÂNICA (MPa)</b>	560	993	1420	1780	1420	990	1010	1265	760	1280	700
<b>PROCESSO DE FABRICO</b>	6	7	4	3	4	7	8	5	8	6	6
<b>CUSTO (€)</b>	1,3	3	5,5	10	8	2,24	8,51	4,08	39	39	15
<b>TENACIDADE</b>	7	9	6	5	6	7	3	10	4	4	4

Tabela 43 - Valores do índice de mérito para placas de encosto e extração.

Aço		F10 1.1730	2738 1.2738	ORVAR 2M 1.2344	STAVAX	MG 50	2311 1.2311	RAMAX LH	NIMAX PM400	MOLDMAX XL	MOLDMAX HH	AMPCO 18
<b>Resistência mecânica</b>	<b>Wi</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	<b>M1</b>	0.31	0.56	0.80	1.00	0.80	0.56	0.57	0.71	0.43	0.72	0.39
<b>Processo de fabrico</b>	<b>Wi</b>	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
	<b>M2</b>	1.00	1.17	0.67	0.50	0.67	1.17	1.33	0.83	1.33	1.00	1.00
<b>Custo</b>	<b>Wi</b>	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
	<b>M3</b>	1.00	0.43	0.24	0.13	0.16	0.58	0.15	0.32	0.03	0.03	0.09
<b>Tenacidade</b>	<b>Wi</b>	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	<b>M4</b>	0.70	0.90	0.60	0.50	0.60	0.70	0.30	1.00	0.40	0.40	0.40
<b>Índice de mérito (Q)</b>		7.71	7.16	4.71	3.89	4.49	7.20	5.63	6.17	5.33	4.62	4.45

O índice de mérito de maior valor é atribuído ao aço F10, que corresponde a uma melhor relação entre os diferentes requisitos do material a aplicar, o que pode observar na tabela acima.

### 3.7.3. Requisitos para os componentes mecânicos

A função de cada componente vai definir os requisitos de cada material a aplicar. Na tabela abaixo são indicados os requisitos dos componentes mecânicos não normalizados.

**Tabela 44 - Requisitos dos componentes.**

REF.	Designação	Propriedades	Observações
9	Pilar	Resistência mecânica Tenacidade Processo de fabrico Custo baixo	Está sujeito a esforços de compressão e diga. O seu processo de fabrico passa unicamente pela maquinação e sua rectificação.
10	Anilha central	Resistência mecânica Tenacidade Processo de fabrico Custo baixo	Está sujeito a esforços de compressão. O seu processo de fabrico passa unicamente pelo torno e sua rectificação.
17	Perno de retorno	Resistência mecânica Processo de fabrico Custo Dureza Nitruração	Sujeito a desgaste devido a deslizamento no qual a dureza final se assume como fundamental na resistência ao desgaste. Esforços de compressão e de fadiga.
18	Extractor	Resistência mecânica Processo de fabrico Custo baixo Dureza Nitruração	Sujeito a desgaste devido a deslizamento no qual a dureza final assume como fundamental na resistência ao desgaste. Esforços de compressão de fadiga.
19	Movimento	Resistência mecânica Tenacidade Processo de fabrico Custo baixo Nitruração Dureza Polimento	Sujeito a elevado desgaste devido a deslizamento. Sujeito a esforços de compressão.
20	Corrediças	Resistência ao desgaste Baixo atrito Resistência mecânica Resistência à compressão	Sujeito a elevados esforços de compressão. Com elevado desgaste devido ao deslizamento do movimento lateral.
21	Tala de deslize do movimento	Resistência ao desgaste Baixo atrito Resistência mecânica Resistência à compressão	Sujeito a elevados esforços de compressão. Com elevado desgaste devido ao deslizamento do movimento lateral.
22	Tala de ajuste do movimento	Resistência mecânica Tenacidade Processo de fabrico Custo baixo Nitruração	Sujeito a desgaste. Sujeito a esforços de compressão.
23	Tala de travamento	Resistência mecânica Tenacidade Processo de fabrico Custo baixo Nitruração	Sujeito a desgaste. Sujeito a esforços de compressão.

24	Tala de travamento	Resistência mecânica Tenacidade Processo de fabrico Custo baixo Nitruração	Sujeito a desgaste. Sujeito a esforços de compressão.
25	Almofada	Resistência mecânica Tenacidade Processo de fabrico Custo baixo Nitruração	Sujeito a desgaste. Sujeito a esforços de compressão.
28	Veio de extracção do movimento	Resistência mecânica Processo de fabrico Custo baixo Dureza Nitruração	Sujeito a desgaste devido a deslizamento no qual a dureza final assume papel fundamental na resistência ao desgaste. Esforços de compressão e fadiga.
29	Carrinho	Resistência ao desgaste Baixo atrito Resistência mecânica Resistência à compressão	Sujeito a elevados esforços de compressão. Com elevado desgaste devido ao deslizamento do movimento lateral.
30	Movimento de extracção	Permitir a electro-erosão Tenacidade Processo de fabrico Polimento	Sujeito a esforço de compressão e a elevado desgaste. A peça vai ser maquinada e sujeita a electro-erosão. Vai ser necessário um polimento adequado devido a constituir parte da superfície da peça.
31	KO	Resistência mecânica Tenacidade Processo de fabrico Custo baixo	Sujeito a esforços de compressão. O seu processo de fabrico passa unicamente pela maquinação e sua rectificação.
36	Limitador de curso	Resistência mecânica Tenacidade Processo de fabrico Custo baixo	Sujeito a elevado desgaste devido a deslizamento. Sujeito a esforços de compressão
37	Fixador de micro	Resistência mecânica Tenacidade Processo de fabrico Custo baixo	Sujeito a esforços de compressão. O seu processo de fabrico passa unicamente pela maquinação e sua rectificação.
44	Barra de fixação da charneira	Resistência mecânica Tenacidade Processo de fabrico Custo baixo	Sujeito a esforços de compressão. O seu processo de fabrico passa unicamente pela maquinação e sua rectificação.
45	Charneira	Resistência mecânica Tenacidade Dureza Resistência à corrosão Processo de fabrico Polimento Custo baixo	Sujeito a elevado desgaste devido a deslizamento. Sujeito a esforços de compressão
46	Placa de fixação da ficha eléctrica	Resistência mecânica Tenacidade Processo de fabrico Custo baixo	Está sujeito a esforços de compressão. O seu processo de fabrico passa unicamente pela maquinação e sua rectificação.
47	Placa de fixação da ficha eléctrica	Resistência mecânica Tenacidade Processo de fabrico Custo baixo	Sujeito a esforços de compressão. O seu processo de fabrico passa unicamente pela maquinação e sua rectificação.

### 3.7.4. - Selecção de materiais

Na escolha do material as propriedades necessárias são idênticas em muitos dos componentes, o que permite proceder ao seu agrupamento. Podemos observar no quadro abaixo os conjuntos de componentes relativamente às propriedades do material.

**Tabela 45 - Componentes com os mesmos requisitos.**

Grupo	Propriedades	Componentes
1	Resistência mecânica Tenacidade Processo de fabrico Custo baixo	9 -Pilar 10 -Anilha central 31 -KO 37 -Fixador do micro 44 -Barra de fixação da charneira 46 - Placa de fixação da ficha eléctrica 47 -Placa de fixação da ficha eléctrica
2	Resistência mecânica Processo de fabrico Custo baixo Dureza Nitruração	17 -Perno de retorno 18 -Extractor 28 -Veio de extracção do movimento
3	Resistência mecânica Tenacidade Processo de fabrico Custo baixo Nitruração	22 -Tala de ajuste do movimento 23 - Tala de travamento 24 -Tala de travamento 25 - Almofada
4	Resistência mecânica Tenacidade Dureza Processo de fabrico Polimento Custo baixo	19 -Movimento 36 - Limitador de curso 45 - Charneira
5	Processo de fabrico (electro-erosão) Tenacidade Processo de fabrico Polimento Baixo atrito Dureza	30 -Movimento de extracção
6	Baixo atrito Resistência mecânica Resistência à compressão	29 -Carrinho 21 -Tala de deslize do movimento 20 -Corrediças

Começamos pelo primeiro grupo, que abrange as seguintes propriedades (Tabela 46):

- Resistência mecânica do material aos esforços,  $R_m$ ;
- Tenacidade e capacidade de o material resistir à fractura;
- O processo de fabrico é a facilidade na obtenção da geometria final. O material nestas placas não necessita de tratamento para obter uma dureza final mais elevada, o que torna mais difícil o processo da obtenção da geometria final nos aços pré-tratados;
- Custo: o orçamento da ferramenta está ligado directamente ao custo da matéria-prima a usar. As placas utilizam grande parte desta matéria-prima, pelo que é essencial controlar o custo da matéria-prima, para obtenção do custo final adequado.

Sendo que se trata de componentes com baixa exigência e que unicamente devem suportar a solicitações dos esforços, o custo da matéria-prima e o processo de fabrico surgem como da maior importância na obtenção de componentes com um custo adequado. A tenacidade e resistência mecânica surgem seguidamente, visto ser necessário o material resistir aos esforços. O material seleccionado foi o aço F10, tendo o índice de mérito o mais elevado (Tabela 47).

Tabela 46 - Valores das propriedades para os requisitos do grupo 1.

Aço	F10 1.1730	2738 1.2738	ORVAR 2M 1.2344	STAVAX	MG 50	2311 1.2311	RAMAX LH	NIMAX PM400	MOLMAX XL	MOLMAX HH	AMPCO 18
Norma	AISI 1045	AISI P20	AISI H13	AISI 420 modified	H13 Premium	AISI P20					DIN CuAl10Ni
Resistência mecânica (MPa)	560	993	1420	1780	1420	990	1010	1265	760	1280	700
Processo de fabrico	9	5	9	8	9	5	6	5	9	9	9
Custo baixo	1,3	3	5.5	10	8	2.24	8.51	4.08	39	39	15
Tenacidade	7	9	6	5	6	7	3	10	4	4	4

Tabela 47 - Valores de índice de mérito para o grupo 1.

Aço	F10 1.1730	2738 1.2738	ORVAR 2M 1.2344	STAVAX	MG 50	2311 1.2311	RAMAX LH	NIMAX PM400	MOLDMAX XL	MOLDMAX HH	AMPCO 18
Norma	AISI 1045	AISI P20	AISI H13	AISI 420	H13 PREMIUM	AISI P20					DIN CuAl10Ni
Resistência mecânica (MPa)	Wi	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	M1	0.31	0.56	0.80	1.00	0.80	0.56	0.57	0.71	0.43	0.72
Processo de fabrico	Wi	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
	M2	1,00	0.56	1.00	0.89	1.00	0.56	0.67	0.56	1.00	1.00
Custo baixo	Wi	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
	M3	1.00	0.43	0.24	0.13	0.16	0.58	0.15	0.32	0.03	0.03
Tenacidade	Wi	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	M4	0.70	0.90	0.60	0.50	0.60	0.70	0.30	1.00	0.40	0.40
Indicie de mérito (Q)	7.71	5.32	5.71	5.06	5.49	5.36	3.63	5.33	4.33	4.62	4.45

Quanto ao segundo grupo, as propriedades seleccionadas são (Tabela 48):

- Resistência mecânica,  $R_m$ . Capacidade do material resistir aos esforços;
- Processo de fabrico é a facilidade na obtenção da geometria final. O material a utilizar deve ter uma dureza adequada, o que torna necessários tratamentos. Isto eleva o tempo necessário ao seu fabrico;
- Custo;
- Dureza, um factor essencial para o bom funcionamento dos componentes devido ao elevado desgaste a que serão sujeitos;
- Nitruração, com o intuito de diminuir o risco de “gripagem”.A utilização da nitruração eleva a dureza superficial através da formação de nitretos de ferro.

Neste grupo, os componentes, além das solicitações dos esforços, sofrem também um elevado desgaste, daí a extrema importância da dureza do material, o que coloca a dureza como factor primordial.

A resistência mecânica é essencial para os esforços que os componentes sofrem, de compressão e flexão. Para que não exista ruptura, a resistência mecânica do material é de elevada importância, tendo sido atribuído factor 5.

As ligas de cobre não necessitam de tratamentos como a nitruração, mas o seu preço elevado leva que a sua utilização seja racionada. Os aços apresentam um preço mais convidativo, mas a nitruração nestes componentes torna-se obrigatória. O aço tem, em geral, uma boa capacidade de nitruração.

A tenacidade torna-se um factor a ter em contas e considerarmos os esforços.

O custo e processo de fabrico surgem com menor nível de importância, permitindo que a escolha do material seja sensata, em termos de custos e tempo de fabrico. As ligas de cobre-berílio têm boas propriedades e, se não se tivesse em consideração o custo, podia-se estar a escolher um material demasiado dispendioso para sua função.

A escolha do material incidiu no ORVAR 2M, devido a ter o maior índice de mérito. O ORVAR 2M caracteriza-se pela sua elevada dureza e resistência mecânica, com uma boa capacidade de nitruração e boa tenacidade. O seu custo mais baixo, relativamente às ligas de cobre, tornam-no mais interessante (Tabela 49).

Tabela 48 - Valores das propriedades para os requisitos do grupo 2.

<b>Aço</b>	F10 1.1730	2738 1.2738	ORVAR 2M 1.2344	STAVAX	MG 50	2311 1.2311	RAMAX LH	NIMAX PM400	MOLDMAX XL	MOLDMAX HH	AMPCO 18
<b>Norma</b>	AISI 1045	AISI P20	AISI H13	AISI 420 modified	H13 PREMIUM	AISI P20					DIN CuAl10Ni
<b>Dureza HV</b>	205	320	440	430	440	310	290	380	301	295	160
<b>Resistência mecânica (MPa)</b>	560	993	1420	1780	1420	990	1010	1265	760	1280	700
<b>Processo de fabrico</b>	6	7	4	3	4	7	8	5	8	6	6
<b>Custo baixo</b>	1.3	3	5.5	10	8	2.24	8.51	4.08	39	39	15
<b>Nitruração</b>	5	6	10	0	10	6	0	5	0	0	0
<b>Tenacidade</b>	7	9	6	5	6	7	3	10	4	4	4

Tabela 49 - Valores de índice de mérito para o grupo 2.

Aço		F10 1.1730	2738 1.2738	ORVAR 2M 1.2344	STAVAX	MG 50	2311 1.2311	RAMAX LH	NIMAX PM400	MOLDMAX XL	MOLDMAX HH	AMPCO 18
Norma		AISI 1045	AISI P20	AISI H13	AISI 420	H13 PREMIUM	AISI P20					DIN CuAl10Ni
Resistência mecânica (MPa)	Wi	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
	M1	0.31	0.56	0.80	1.00	0.80	0.56	0.57	0.71	0.43	0.72	0.39
Dureza (HV)	Wi	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
	M2	0.47	0.73	1.00	0.98	1.00	0.70	0.66	0.86	0.68	0.67	0.36
Processo de fabrico	Wi	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	M3	0.75	1.00	0.50	0.38	0.50	0.88	1.00	0.63	1.00	0.75	0.75
Custo	Wi	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	M4	1.00	0.43	0.24	0.13	0.16	0.58	0.15	0.32	0.03	0.03	0.09
Tenacidade	Wi	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
	M5	0.70	0.90	0.60	0.50	0.60	0.70	0.30	1.00	0.40	0.40	0.40
Nitruração	Wi	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	M6	0.50	0.60	1.00	0.00	1.00	0.60	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00
Índice de mérito (Q)		11.22	14.12	16.76	13.00	16.61	13.54	9.00	15.00	8.51	9.63	6.27

No que toca ao terceiro grupo, as propriedades seleccionadas são (Tabela 50):

- Resistência mecânica;
- Tenacidade;
- Processo de fabrico;
- Dureza;
- Custo;
- Nitruração.

Os componentes deste grupo têm esforços essencialmente de compressão e desgaste por adesão, devido ao contacto de curto deslizamento, mas sujeito a fortes pressões. É necessária a realização de tratamento de nitruração para evitar a adesão e conseguir a dureza adequada. Como, comparativamente como grupo dois, o terceiro grupo efectua menor distância de deslizamento, a dureza neste grupo é de menor importância, tendo a resistência mecânica ganho maior destaque. A resistência mecânica, aliada à tenacidade, vai permitir obter as propriedades necessárias para resistir aos esforços de compressão e flexão em causa.

O custo surge como um factor com menor importância, já que facilmente poderemos obter um material com as propriedades mínimas necessárias abaixo preço.

O processo de fabrico é importante para que os componentes possam ser fabricados no menor tempo possível. Mas, mesmo assim, tem o menor factor de importância (Tabela 51).

Para este grupo, o material seleccionado foi o 1.2378, que apresentou a melhor ponderação, tendo em conta os requisitos avaliados

Tabela 50 - Valores das propriedades para os requisitos do grupo 3.

<b>Aço</b>	F10 1.1730	2738 1.2738	ORVAR 2M 1.2344	STAVAX	MG 50	2311 1.2311	RAMAX LH	NIMAX PM400	MOLDMAX XL	MOLDMAX HH	AMPCO 18
<b>Norma</b>	AISI 1045	AISI P20	AISI H13	AISI 420 modified	H13 premium	AISI P20					DIN CuAl10Ni
<b>Dureza (HV)</b>	205	320	440	430	440	310	290	380	301	295	160
<b>Resistência mecânica (MPa)</b>	560	993	1420	1780	1420	990	1010	1265	760	1280	700
<b>Processo de fabrico</b>	6	7	4	3	4	7	8	5	8	6	6
<b>Custo (€)</b>	1.3	3	5.5	10	8	2.24	8.51	4.08	39	39	15
<b>Nitruração</b>	5	6	10	0	10	6	0	5	0	0	0
<b>Tenacidade</b>	7	9	6	5	6	7	3	10	4	4	4

Tabela 51 - Valores de índice de mérito para grupo 3.

Aço		F10 1.1730	2738 1.2738	ORVAR 2M 1.2344	STAVAX	MG 50	2311 1.2311	RAMAX LH	NIMAX PM400	MOLDMAX XL	MOLDMAX HH	AMPCO 18
Norma		AISI 1045	AISI P20	AISI H13	AISI 420	H13 premium	AISI P20					DIN CuAl10Ni
Resistência mecânica	Wi	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
	M1	0.31	0.56	0.80	1.00	0.80	0.56	0.57	0.71	0.43	0.72	0.39
Dureza	Wi	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	M2	0.47	0.73	1.00	0.98	1.00	0.70	0.66	0.86	0.68	0.67	0.36
Processo de fabrico	Wi	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
	M3	0.75	0.88	0.50	0.38	0.50	0.88	1.00	0.63	1.00	0.75	0.75
Custo baixo	Wi	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
	M4	1.00	0.43	0.24	0.13	0.16	0.58	0.15	0.32	0.03	0.03	0.09
Tenacidade	Wi	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
	M5	0.70	0.90	0.60	0.50	0.60	0.70	0.30	1.00	0.40	0.40	0.40
Nitruração	Wi	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	M6	0.50	0.60	1.00	0	1.00	0.60	0	0.50	0	0	0
Índice de mérito (Q)		12.84	12.95	12.5	10.25	12.1	13.04	8.82	12.76	7.86	8.54	6.57

Relativamente ao quarto grupo, as propriedades seleccionadas foram as seguintes (Tabela 52).

- Resistência mecânica;
- Tenacidade;
- Dureza;
- Processo de fabrico;
- Polimento;
- Custo.

Os componentes inseridos neste grupo estão sujeitos a desgaste por adesão entre as superfícies de encosto, pelo que é essencial que os componentes sejam nitrurados e tenham uma boa resistência ao desgaste.

A dureza é a propriedade que mais preponderância tem na resistência ao desgaste.

Como estes componentes estão sujeitos a elevados esforços de compressão e flexão, a resistência mecânica e a tenacidade são propriedades necessárias para evitar o colapso dos componentes.

O polimento é uma propriedade que se torna necessária devido ao facto de algumas das superfícies destes componentes formarem a cavidade de injeção. Mas, como o polimento final é efectuado por lixa, torna-se uma propriedade com menor importância.

O processo de fabrico deve ser tido em consideração, com vista ao incremento da produtividade. Com a redução do tempo de fabrico, podemos obter peças com custo de fabrico mais favorável.

Para este grupo, o material seleccionado foi o 1.2378, que apresentou a melhor ponderação, tendo em conta os requisitos avaliados (Tabela 53).

Tabela 52 - Valores das propriedades para os requisitos do grupo 4.

Aço	F10 1.1730	2738 1.2738	ORVAR 2M 1.2344	STAVAX	MG 50	2311 1.2311	RAMAX LH	NIMAX PM400	MOLDMAX XL	MOLDMAX HH	AMPCO 18
Norma	AISI 1045	AISI P20	AISI H13	AISI 420 modified	H13 PREMIUM	AISI P20					DIN CuAl10Ni
Dureza (HV)	205	320	440	430	440	310	290	380	301	295	160
Resistência mecânica (MPa)	560	993	1420	1780	1420	990	1010	1265	760	1280	700
Processo de fabrico	6	7	4	3	4	7	8	5	8	6	6
Polimento	0	7	7	9	8	7	4	7	8	8	6
Custo (€)	1.3	3	5.5	10	8	2.24	8.51	4.08	39	39	15
Nitruração	5	6	10	0	10	6	0	5	0	0	0
Tenacidade	7	9	6	5	6	7	3	10	4	4	4

Tabela 53 - Valores de índice de mérito para o grupo 4.

Aço		F10 1.1730	2738 1.2738	ORVAR 2M 1.2344	STAVAX	MG 50	2311 1.2311	RAMAX LH	NIMAX PM400	MOLDMAX XL	MOLDMAX HH	AMPCO 18
Resistência mecânica	Wi	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
	M1	0.31	0.56	0.80	1.00	0.80	0.56	0.57	0.71	0.43	0.72	0.39
Dureza	Wi	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	M2	0.47	0.73	1.00	0.98	1.00	0.70	0.66	0.86	0.68	0.67	0.36
Processo de fabrico	Wi	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
	M3	0.75	0.88	0.50	0.38	0.50	0.88	1.00	0.63	1.00	0.75	0.75
Polimento	Wi	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	M4	0.00	0.78	0.78	1.00	0.89	0.78	0.44	0.78	0.89	0.89	0.67
Custo baixo	Wi	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	M5	1.00	0.60	0.43	0.33	0.38	0.75	0.43	0.43	0.30	0.30	0.30
Tenacidade	Wi	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
	M6	0.70	0.90	0.60	0.50	0.60	0.70	0.30	1.00	0.40	0.40	0.40
Nitruração	Wi	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
	M7	0.50	0.60	1.00	0.00	1.00	0.60	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00
Índice de mérito (Q)		15.57	20.34	20.22	17.33	20.22	19.54	15.41	20.31	15.21	15.70	11.97

Tendo agora em atenção o quinto grupo, as propriedades necessárias são (Tabela 54):

- Dureza;
- Resistência mecânica,  $R_m$ ;
- Tenacidade;
- Processo de fabrico;
- Polimento,
- Atrito.

Os componentes deste grupo funcionam como um extractor, com uma geometria única, dos quais algumas partes pertencem à cavidade de moldação, o que implica que o material a usar esteja apto a ser cortado/retirado por electro-erosão. Possuem uma geometria complexa, que no fecho do molde se vai ajustar numa cavidade na placa-macho, durante cada injeção. Este componente sofre elevado desgaste por adesão e pode estar sujeito a “gripagem”. O uso de um material com baixo atrito, em contacto com o material da cavidade, permite diminuir o risco de adesão e diminuir o tempo de ciclo. O atrito torna-se a propriedade mais importante para a selecção deste material.

O processo de fabrico assume grande importância devido à capacidade que o material deve oferecer para ser maquinado por electro-erosão. Existem materiais que têm melhores propriedades para electro-erosão comparativamente a outros, pelo que a escolha deve ter em atenção esta necessidade.

A dureza deverá ser adequada, para permitir que o componente resista ao desgaste.

A resistência mecânica e tenacidade são propriedades importantes para se obter um componente que resista aos elevados esforços de compressão.

O polimento é uma propriedade que se torna necessária, neste caso, devido ao facto de algumas das superfícies destes componentes formarem a cavidade de injeção de material. Mas, como o polimento final é efectuado por lixa, é uma propriedade menos relevante.

O material seleccionado é o MOLDMAX XL, tendo o maior índice de mérito (Tabela 55).

Tabela 54 - Valores das propriedades para os requisitos do grupo 5

<b>Aço</b>	F10 1.1730	2738 1.2738	ORVAR 2M 1.2344	STAVAX	MG 50	2311 1.2311	RAMAX LH	NIMAX PM400	MOLDMAX XL	MOLDMAX HH	AMPCO 18
<b>Norma</b>	AISI 1045	AISI P20	AISI H13	AISI 420 modified	H13 premium	AISI P20					DIN CuAl10Ni
<b>Dureza (HV)</b>	205	320	440	430	440	310	290	380	301	295	160
<b>Resistência mecânica (MPa)</b>	560	993	1420	1780	1420	990	1010	1265	760	1280	700
<b>Processo de fabrico</b>	6	8	4	3	4	7	8	5	8	6	6
<b>Polimento</b>	0	7	7	9	8	7	4	7	8	8	6
<b>Tenacidade</b>	7	9	6	5	6	7	3	10	4	4	4
<b>Atrito</b>	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.18	0.18	0.18

Tabela 55 - Valores de índice de mérito para o grupo 5.

Aço		F10 1.1730	2738 1.2738	ORVAR 2M 1.2344	STAVAX	MG 50	2311 1.2311	RAMAX LH	NIMAX PM400	MOLDMAX XL	MOLDMAX HH	AMPCO 18
Resistência mecânica	Wi	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	M1	0.31	0.56	0.80	1.00	0.80	0.56	0.57	0.71	0.43	0.72	0.39
Dureza	Wi	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
	M2	0.47	0.73	1.00	0.98	1.00	0.70	0.66	0.86	0.68	0.67	0.36
Processo de fabrico	Wi	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
	M3	0.75	1.00	0.50	0.38	0.50	0.88	1.00	0.63	1.00	0.75	0.75
Polimento	Wi	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	M4	0.00	0.78	0.78	1.00	0.89	0.78	0.44	0.78	0.89	0.78	0.67
Tenacidade	Wi	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	M5	0.70	0.90	0.60	0.50	0.60	0.70	0.30	1.00	0.40	0.40	0.60
Atrito	Wi	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
	M6	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	1.00	1.00	1.00
Índice de mérito (Q)		10.78	15.75	15.24	15.31	15.35	14.58	13.84	15.50	19.50	19.23	16.37

Quanto ao sexto grupo, as propriedades necessárias são as seguintes (Tabela 56):

- Baixo atrito;
- Resistência mecânica;
- Resistência à compressão.

Os componentes deste grupo sofrem de elevado desgaste por adesão que causa gripagem. O uso de um material com baixo coeficiente de atrito permitirá diminuir o risco de adesão e diminuir o tempo de ciclo.

A resistência mecânica e tenacidade são propriedades importantes para se obter um componente que resista aos elevados esforços de compressão em questão.

O material seleccionado será assim o AMPCO 18, visto apresentar o maior índice de mérito (Tabela 57).

Tabela 56 - Valores das propriedades para os requisitos do grupo 6.

Aço	F10 1.1730	2738 1.2738	ORVAR 2M 1.2344	STAVAX	MG 50	2311 1.2311	RAMAX LH	NIMAX PM400	MOLDMAX XL	MOLDMAX HH	AMPCO 18
Norma	AISI 1045	AISI P20	AISI H13	AISI 420 modified	H13 premium	AISI P20					DIN CuAl10Ni
Dureza (HV)	205	320	440	430	440	310	290	380	301	295	160
Resistência mecânica (MPa)	560	993	1420	1780	1420	990	1010	1265	760	1280	700
Processo de fabrico	6	7	4	3	4	7	8	5	8	6	6
Tenacidade	7	9	6	5	6	7	3	10	4	4	4
Atrito	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.18	0.18	0.18

Tabela 57 - Valores de índice de mérito para o grupo 6.

Aço		F10 1.1730	2738 1.2738	ORVAR 2M Nº1.2344	STAVAX	MG 50	2311 1.2311	RAMAX LH	NIMAX PM400	MOLDMAX XL	MOLDMAX HH	AMPCO 18
Resistência mecânica	Wi	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	M1	0.31	0.56	0.80	1.00	0.80	0.56	0.57	0.71	0.43	0.72	0.39
Dureza HV	Wi	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	M2	0.47	0.73	1.00	0.98	1.00	0.70	0.66	0.86	0.68	0.67	0.36
Processo de fabrico	Wi	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	M3	0.86	1.00	0.57	0.43	0.57	1.00	1.14	0.71	1.14	0.86	0.86
Tenacidade	Wi	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
	M4	0.70	0.90	0.60	0.50	0.60	0.70	0.30	1.00	0.40	0.40	0.60
Atrito	Wi	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
	M5	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	1.00	1.00	1.00
Índice de mérito (Q)		7.28	9.37	7.89	7.53	7.89	8.14	5.86	10.12	10.08	10.37	10.61

### 3.8. Selecção de componentes normalizados para o molde

De seguida, serão indicados os componentes mais adequados para cada uma das partes do molde, tendo em atenção os requisitos anteriormente e agora enunciados.

#### Injector YUDO SAS-22-VC-119-R19



Figura 174 - Injector YUDO SAS-22-VC-119-R19 (Yudo).

Considerações na selecção do bico injector (Figura 174):

- Minimização da marca de injeção;
- Adequado para a injeção de PP;
- Melhor produtividade;
- Melhor qualidade da peça (maior homogeneização do material);
- Redução do tempo de ciclo de injeção.

Nas tabelas abaixo (Tabela 58 e Tabela 59) podemos observar algumas características do bico.

Tabela 58 - Volume de injeção (Yudo).

Unit : gram

SIZE	GATE SYSTEM	VISCOSITY			PRODUCT THICKNESS		MATERIALS	
		HIGH (Low MI)	MEDIUM	LOW (High MI)	THIN (<2mm)	THICK (>2mm)	ENGINEERING	GENERAL
22	VALVE	~ 70	~120	~ 240	~120	~ 240	~ 70	~120





Tabela 59 - Compatibilidade de material (Yudo).



MATERIAL Gate Type	CRYSTALLINE										
	PP	PE	PBT	PET	POM	PA	PPS	LCP			
VC	★	★	○	○	○	○	○	○			
MATERIAL Gate Type	AMORPHOUS								ADDITIVES		
	PS	ABS	PPO	PC	SAN	PUR	PVC	PMMA	FR	GF	ST
VC	★	★	★	○	○	○	○	★	○	○	○

## Guias e casquilhos

Na tabela abaixo é indicado alguns componentes normalizados aplicados no molde.

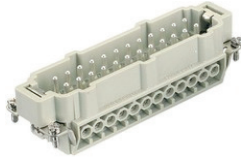
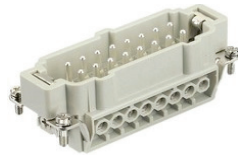
Tabela 60 - Componentes normalizados necessários.

Descrição	Observações	
Guia principal HASCO Z03/56/30X11 5	Promove o guiamento do molde.  Peça cementada que diminui o desgaste devido ao deslizamento.	 <b>Figura 175 - Guia (Hasco).</b>
Casquilho principal HASCO Z11/56/30	Promove o guiamento do molde.  Peça cementada que diminui o desgaste devido ao deslizamento.	 <b>Figura 176 - Casquilho (Hasco).</b>
Guia de extracção HASCO Z03/27/18X10 5	Promove o guiamento das placas de extracção.  Peça cementada que diminui o desgaste devido ao deslizamento.	 <b>Figura 177 - Guia (Hasco).</b>
Casquilho de extracção HASCO Z 10/27/18	Promove o guiamento das placas de extracção.  Peça cementada que diminui o desgaste devido ao deslizamento.	 <b>Figura 178 - Casquilho (Hasco).</b>

<p>Casquilho de guia do movimento HASCO Z11/22/18</p>	<p>Promove o ajuste e fixação da guia do movimento.</p> <p>Peça cementada que diminui o desgaste.</p>	 <p><b>Figura 179 - Casquilho (Hasco).</b></p>
<p>Guia do movimento HASCO Z01/18X120</p>	<p>Vai actuar sobre o movimento, proporcionado o movimento necessário para saída da peça.</p> <p>Peça cementada que diminui o desgaste.</p>	 <p><b>Figura 180 - Guia (Hasco).</b></p>




### Fichas Eléctricas

Tabela 61 - Fichas eléctricas.

Descrição	Observações	
<p>Ficha eléctrica HARTING Refª.093302 42601</p>	<p>Ficha eléctrica de 24 pinos para ligação do bico injector.</p>	 <p><b>Figura 181 - Ficha eléctrica 24 pins (Harting).</b></p>
<p>Ficha eléctrica HARTING Refª.093301 62601</p>	<p>Ficha de 16 pinos para a ligação eléctrica dos 'microswitchs' da válvula e da electro - válvula</p>	 <p><b>Figura 182 - Ficha eléctrica 16 pins (Harting).</b></p>

## Cavilhas

Tabela 62 - Cavilhas.

Descrição	Observações	
Cavilha maciça H6 $\varnothing 10 \times 50$	Proporciona o alinhamento dos componentes na montagem.	 <p>Figura 183 - Cavilha maciça H6 <math>\varnothing 10 \times 50</math></p>
Cavilha maciça $\varnothing 6 \times 35$	Proporciona o alinhamento dos componentes na montagem.	 <p>Figura 184 - Cavilha maciça H6 <math>\varnothing 6 \times 35</math></p>
Cavilha maciça $\varnothing 8 \times 20$	Proporciona o alinhamento dos componentes na montagem.	 <p>Figura 185 - Cavilha maciça H6 <math>\varnothing 8 \times 20</math></p>

## Retentor da corredeia CUMSA RC164008

O retentor da corredeia tem por função manter os movimentos internos devidamente bloqueados durante os ciclos de abertura e fecho do molde (Figura 186).



Figura 186 - Retentor (CUMSA).

**Microswitch BALLUFF BNS-819-100-R-11**

O 'microswitch' indica se a extracção está totalmente recuada no momento de fecho do molde (Figura 187).



Figura 187 - 'Microswitch' BALLUFF (Balluf).

**Mola BORDIGNOM LIS16025**

A aplicação de molas na cabeça dos pernos de retorno é efectuada para manter a extracção recuada e evitar possíveis danos nos pernos (Figura 188).



Figura 188 - Mola de elastómero (Fibro).

## Electroválvula

A aplicação de uma electroválvula 5/2 é efectuada para controlar a passagem do polímero através do bico (Figura 189).

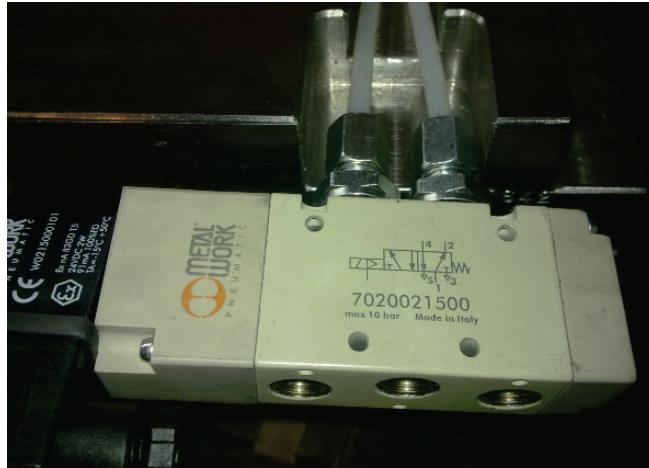


Figura 189 –Electro-válvula Metalwork 5/2 70 SOV35SESOO (Metalwork).

## Raccords STAUBLI RPL 08-1151

Os 'raccords' são conectores que ligam canais de refrigeração do molde ao circuito de água da máquina (Figura 190).



Figura 190 - 'Raccords' (Tech, Ria Food)

### 3.9. Dimensionamento do molde

As abaixo tabelas indicam parâmetros para variáveis para os cálculos.

**Tabela 63 - Parâmetros do PP A382 indicado no Moldflow.**

Propriedades do A-382	Valores	Unidades
Densidade	1.05	g/cm <sup>3</sup>
Módulo de Young	1530	MPa
Calor específico (230°C)	1925	J/kg.K
Coefficiente de expansão térmica	150E-6	1/K
Difusão térmica	0.096	mm <sup>2</sup> /s
Tensão de ruptura	130	MPa

**Tabela 64 - Propriedades da água.**

Propriedades da água	Valores	Unidades
Densidade	998	Kg/m <sup>3</sup>
Calor específico (25°C)	4200	J/Kg.k
Viscosidade	855e-6	Kg.m/s
Coefficiente condutibilidade térmica k	0,6	w/m.k

### 3.10. Dimensionamento das placas e guias

A força de fecho seguidamente calculada é obtida através da consulta do manual de injeção de SANDRETTO.

**Tabela 65 - Valores de variáveis para cálculo força de fecho.**

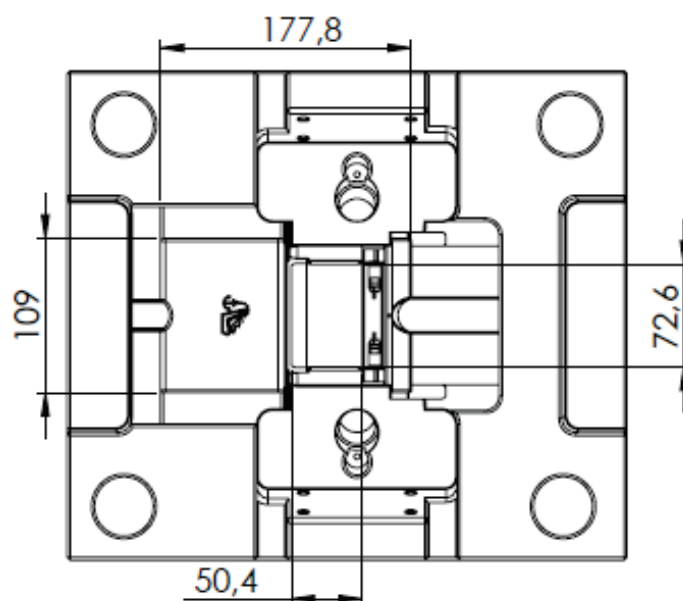
Variáveis		Valores
Área projectável	Ap	19358 mm <sup>2</sup>
Pressão de máxima de injeção	PM	18 MPa
Constante	KM	1
Número de Cavidades	Ncav	1

$$F = \frac{Ap \cdot PM \cdot KM \cdot Ncav \cdot 1.2}{1000} \quad (23)$$

$$F = \frac{19358 \cdot 18 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1.2}{1000} = 418.13 \text{ kN} \quad (24)$$

$$Ap = (177.8 \cdot 109) - (72.6 \cdot 50.4) = 19358 \text{ mm}^2 \quad (25)$$

Na figura abaixo indica os valores considerados para o cálculo aproximado da área da cavidade.



**Figura 191 - Área da cavidade.**

### Área de contacto

Seguidamente, vai ser efectuado o cálculo da área de contacto, sendo obtida através das expressões recolhidas no livro (Harada, 2004) "Moldes para Injecção de Termoplásticos".

A área de contacto refere-se à área das faces de fecho que vão distribuir os esforços, sendo principalmente de compressão.

A injectora escolhida tem uma força de fecho de 60 t (588.6 kN). O cálculo será efectuado com base nas seguintes variáveis:

$F_c$  - Força de compressão, igual à força de fecho (N)

$A$  - Área de contacto ( $\text{mm}^2$ )

$R_m$  - Tensão de ruptura (MPa)

$\sigma_m$  - Tensão admissível (MPa)

$C_s$  - Coeficiente de segurança

#### Considerando o Aço 1.2738:

$$\sigma_m = R_m / C_s \quad (26)$$

$$\sigma_m = \frac{996}{5} = 199.2 \text{ MPa} \quad (27)$$

$$F_c = A * \sigma_m \quad (28)$$

$$A = \frac{588.6E3}{199.2} = 2954.82 \text{ mm}^2 \quad (29)$$

#### Considerando o Aço F10:

$$\sigma_m = R_m / C_s \quad (30)$$

$$\sigma_m = \frac{560}{5} = 112 \text{ MPa} \quad (31)$$

$$F_c = A * \sigma_m \quad (32)$$

$$A = \frac{588.6E3}{112} = 5255.36 \text{ mm}^2 \quad (33)$$

#### Dimensionamento para calços e placa 4

Seguidamente efectua-se o cálculo do dimensionamento dos calços e placa 4, sendo obtido através das expressões retiradas do livro (Harada, 2004) “Moldes para Injecção de Termoplásticos”. A figura abaixo indica algumas dimensões necessárias para o dimensionamento dos calços.

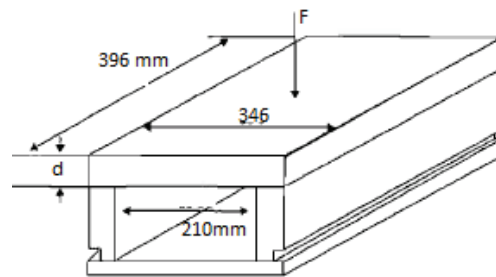


Figura 192 - Esquema da posição dos calços.

Fc - Força aplicada (N)

$\sigma_m$  - Tensão admissível (MPa)

L - Distancia entre os calços (mm)

Z - Módulo de resistência à flexão (mm<sup>3</sup>)

A - Área (mm<sup>2</sup>)

b - Largura da placa (mm)

d - Altura da placa (mm)

A tensão admissível para a placa é de 199.5 MPa com um Cs de 5.

$$\sigma_m = \frac{F_c \cdot L}{8 \cdot Z} \quad (34)$$

$$199.5 = \frac{588.6 \text{E}3 \cdot 210}{8 \cdot Z}$$

$$Z = 77564 \text{ mm}^3$$

$$Z = \frac{b \cdot d^2}{6} \quad (35)$$

$$77564 = \frac{396 \cdot d^2}{6}$$

$$d = 34.28 \text{ mm}$$

A espessura mínima da placa 4 é de 34.28 mm. A tensão de cedência dos calços é de 112 MPa com um Cs de 5.

$$\sigma_m = \frac{F}{A} \quad (36)$$

$$112 = \frac{588.6E3}{A}$$

$$A = 5255.36 \text{ mm}^2$$

Cada calço deve ter uma área mínima de  $A/2$ , ou seja,  $2627.68 \text{ mm}^2$ .

### Dimensionamento da espessura mínima da cavidade

Para simplificação dos cálculos devido à complexidade geométrica, a peça é considerada um bloco sólido que tem as dimensões da cavidade do lado da injeção (Figura 193).

O cálculo do dimensionamento da espessura mínima é obtido através das expressões retiradas do livro (Harada, 2004) "Moldes para Injeção de Termoplásticos".

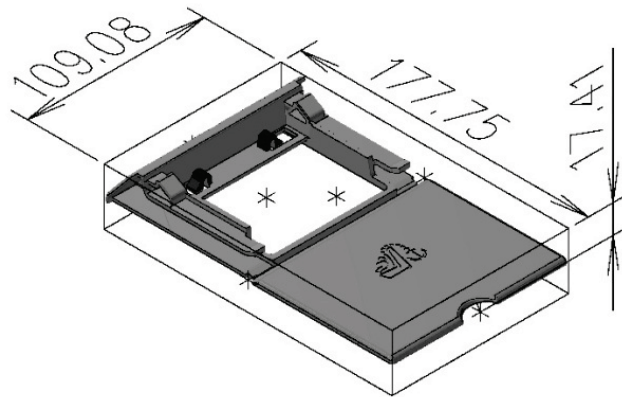


Figura 193 - Dimensões da cavidade para o cálculo da espessura.

No cálculo da espessura mínima assume-se os lados da cavidade como vigas livremente apoiadas.



### Diâmetro mínimo das guias principais

$F_c$  - Força de fecho (N)

$E$  - Módulo de Young (210 GPa)

$L$  - Comprimento da guia (mm)

$I$  - Momento de inércia à flexão ( $\text{mm}^4$ )

$m$  - Constante aplicada conforme as condições (Figura 100)

As 60 toneladas (588.6kN) de força de fecho só divididas pelas guias existentes.

$$F = \frac{588.6E3}{4} = 147150 \text{ N}$$

$$F = \frac{m \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} \quad (39)$$

$$147150 = \frac{1 \cdot \pi^2 \cdot 210E3 \cdot I}{115^2}$$

$$I = 938.94 \text{ mm}^4$$

$$I = \frac{\pi \cdot r^4}{4} \quad (40)$$

$$2.39 = \frac{\pi \cdot r^4}{4}$$

$$r = 5.88 \text{ mm}$$

As guias têm um diâmetro de 30 mm, que é um valor muito superior que obtido pelo cálculo, estão assim sobredimensionadas.

### Comprimento das guias principais

O comprimento das guias depende da posição da peça no momento de extracção. Neste momento, como indica a figura seguinte, a peça está a 82.9 mm de altura da face de fecho do molde, pelo que devemos aplicar mais 50 a 100 mm para que se assegure a saída da peça sem dificuldades. O molde tem um curso de 160 mm de abertura (Figura 194). Seleccionando a guia com o  $L$  descrito na Tabela 67 de 115 mm, fica a 62 mm da superfície de fecho do molde, o que permite que a guia principal entre primeiramente no seu alojamento, antes da guia do movimento.

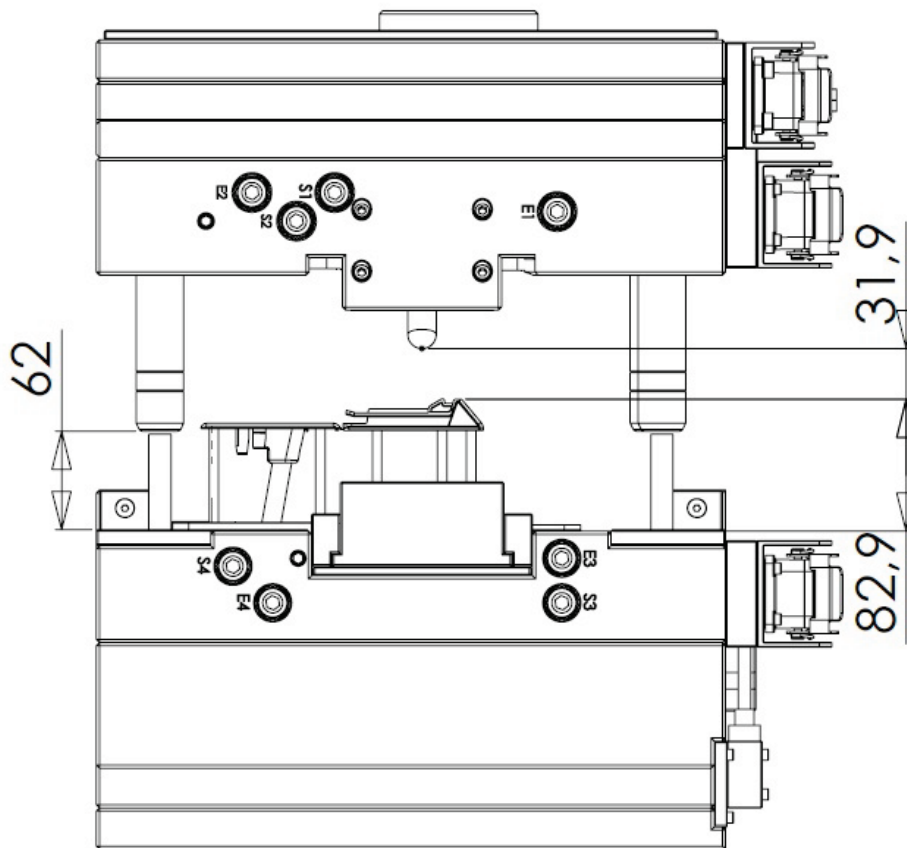
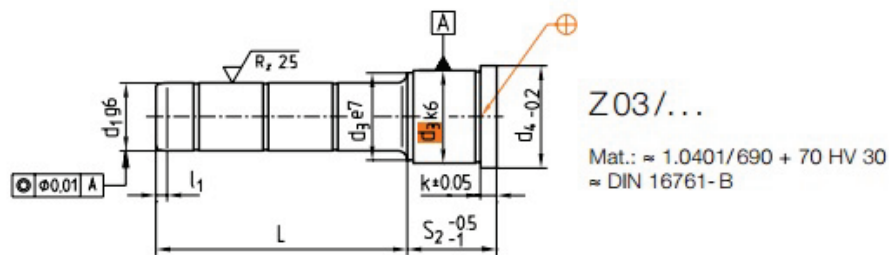


Figura 194 - Molde aberto para extracção da peça.

Tabela 67 - Guia Z03 (Hasco).



$l_1$	$k$	$d_3$	$d_4$	$S_2$	$d_1$	$L$	Nr./No.	$d_1$	Nr./No.
7	6	42	47	56	30	55	Z03/ 56/30x 55	32	Z03/ 56/32x 55
						75	75		75
						95	95		95
						115	115		115
						135	135		135

### 3.11. Estudo do enchimento do molde e modo de arrefecimento

Para efectuar o estudo através da ferramenta informática 'Moldflow', foi necessário inserir determinados dados essenciais, tais como:

- Características da injectora;
- Parâmetros recomendados de processamento do polímero;
- Caudal de enchimento (*flow rate*).

#### Injectora



Figura 195 - Injectora 600H-110 60 t

Tabela 68 - Características da injectora.

600H-110 60 t 1.66 oz (32 mm)					
Unidade de injeção		Unidade hidráulica		Unidade de fecho	
Curso máximo de injeção	100 mm	Pressão máxima hidráulica	24.23 MPa	Força máxima de fecho	61 t
Fluxo de injeção máximo	491 cm <sup>2</sup> /s	Rácio de intensificação	10	Diâmetro da rosca	32 mm

## Parâmetros recomendados de processamento do polímero

**Tabela 69 - Parâmetros de processamento recomendados para o PP (*Moldflow*).**

Propriedades			
Descrição			
Família	PP	Nome	A382
Estrutura	Cristalino	Enchimento	20% Talco
Processamento			
		Mínimo	Máximo
Temp. molde	50°C	20°C	80°C
Temp. injeção	230°C	200°C	280°C
Temp. extracção	93°C		
Tensão de corte máxima		0.26 MPa	
Taxa de corte máxima		24000 1/s	
Propriedades térmicas (254.5°C)			
Calor específico (Cp)	3000 J/kg.C	Coefficiente condutibilidade térmica	0.15 W/m C
Propriedades mecânicas			
Módulo de Young	1530 MPa	Densidade (sólido)	0.92889 g/m <sup>3</sup>
Coef. de <i>Possion</i>	0.38	Densidade (fundido)	0.7751 g/m <sup>3</sup>
G	552.33 MPa		

Parâmetros utilizados no *Moldflow* foram:

- Uso da peça num formato 3D, neste caso IGS. A este formato adicionou-se os canais de água para estudo do arrefecimento;
- A geração de uma malha seleccionando *midplane mesh*, (Figura 196);
- Selecciona-se a selecção da análise. A análise do estudo vai incidir no arrefecimento, enchimento, período de recalque e análise da peça (tensões residuais e empeno) (Figura 197);
- Seleccionar o local de injeção e seu orifício de injeção que é de 2 mm de diâmetro. Proceder-se escolha de injector;
- A caracterização do canais de arrefecimento que passa por indicar a disposição dos canais na peça, a entrada e saída do fluido, diâmetro do canais, o tipo de fluido e temperatura deste (Figura 200 e Figura 201);
- Definição dos parâmetros do processo, nesta etapa define-se à injectora, a temperatura do molde, temperatura de injeção do fundido, e a temperatura de injeção da peça (Figura 202, Figura 203 e Figura 204);
- Definição do tamanho do bloco molde e a sua posição (Figura 205).

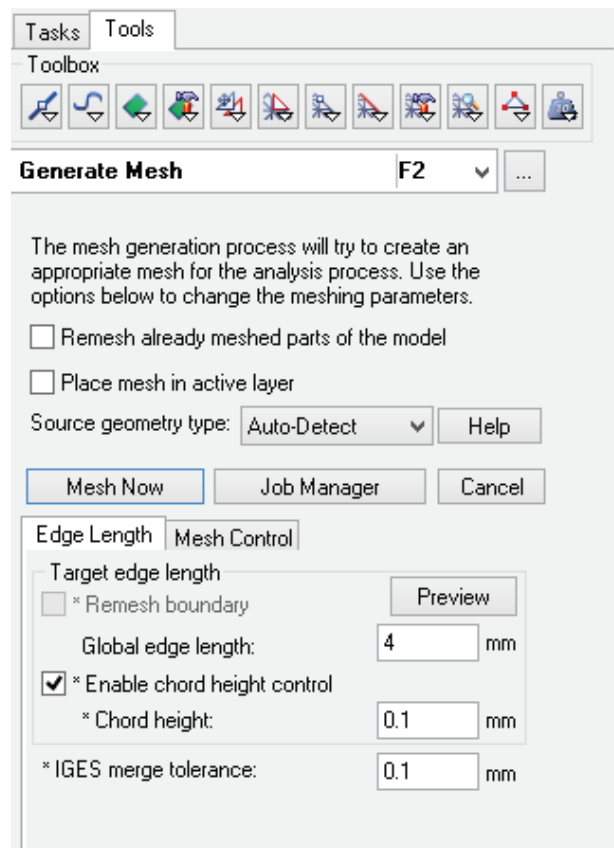


Figura 196 - Parâmetros da malha no 'Moldflow'.

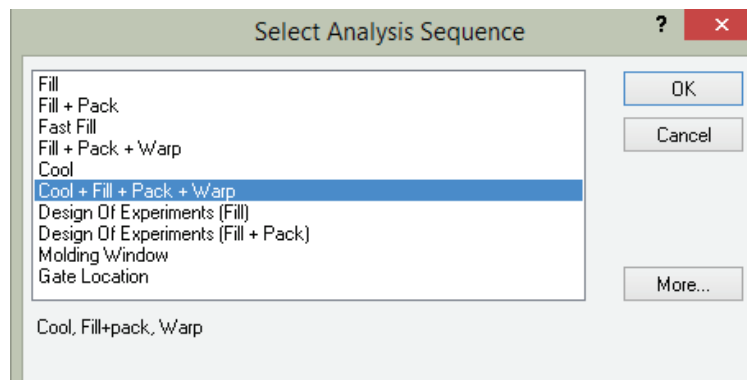


Figura 197 - Selecção da análise no 'Moldflow'.

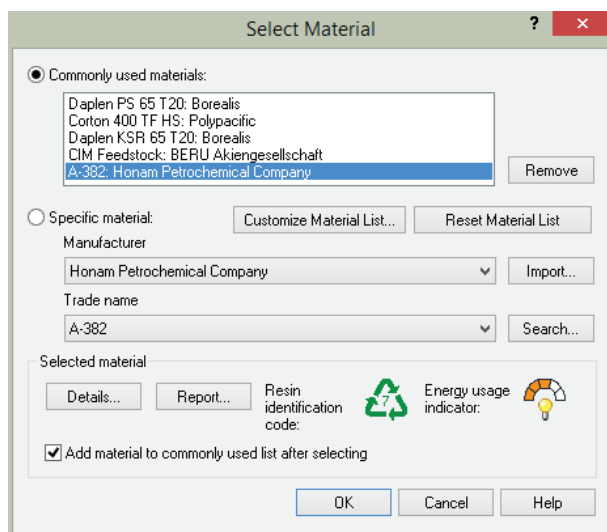


Figura 198 - Seleção do material no 'Moldflow'.

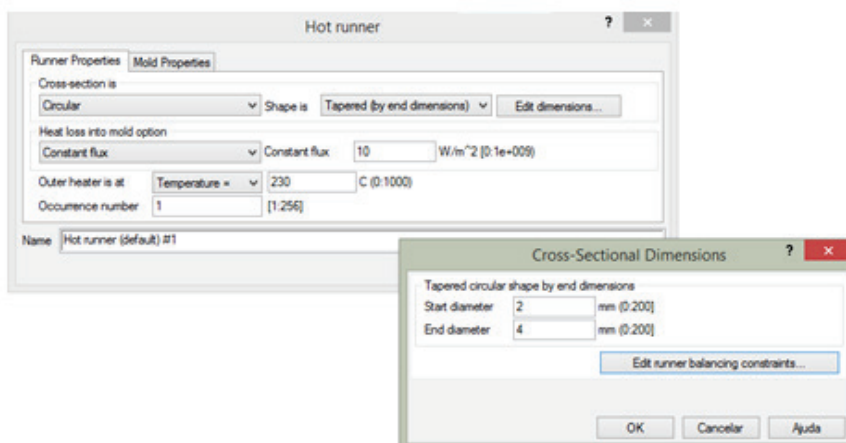


Figura 199 - Definição do local de injeção e tipo de injeção no 'Moldflow'.

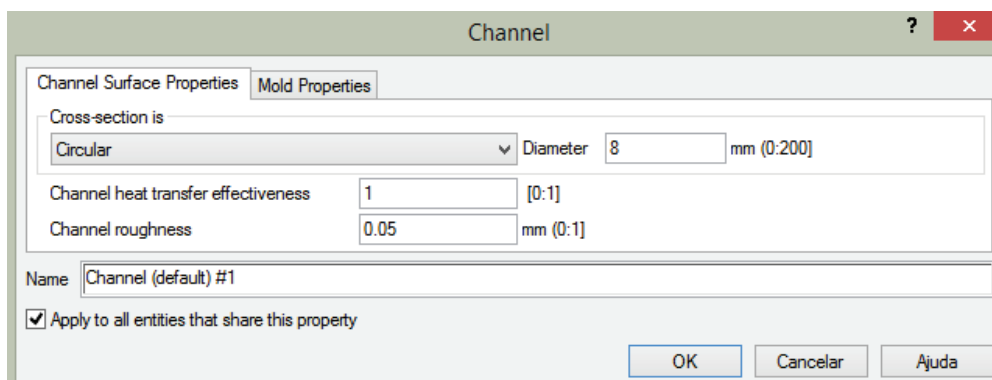


Figura 200 - Definição dos canais de arrefecimento no 'Moldflow'.

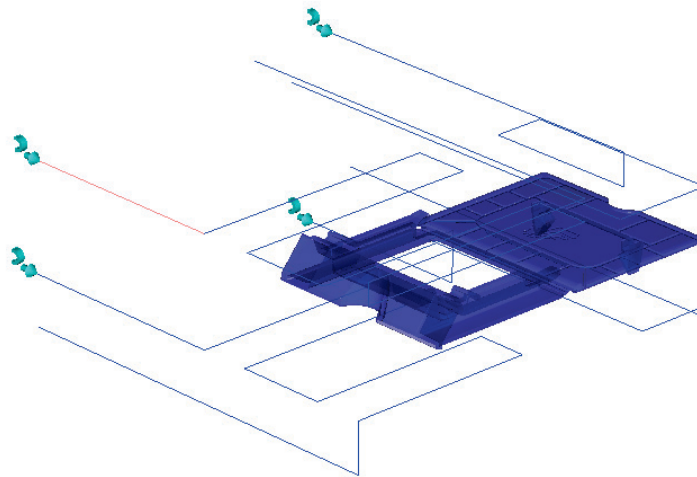


Figura 201 - Definição da disposição dos canais de arrefecimento no 'Moldflow'.

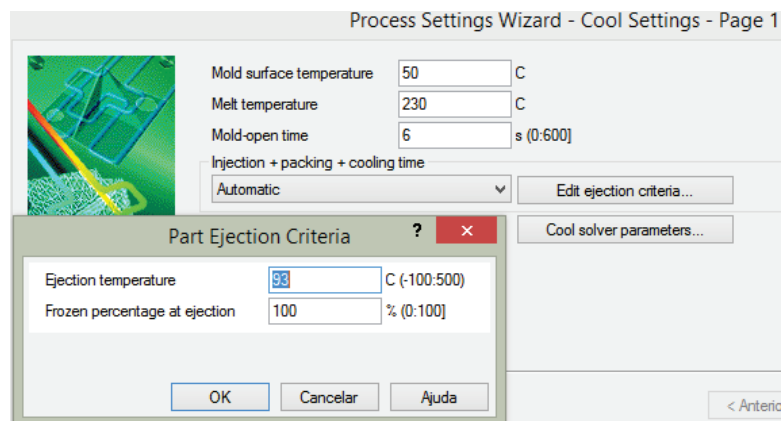


Figura 202 - Definição dos parâmetros do processo no 'Moldflow'.

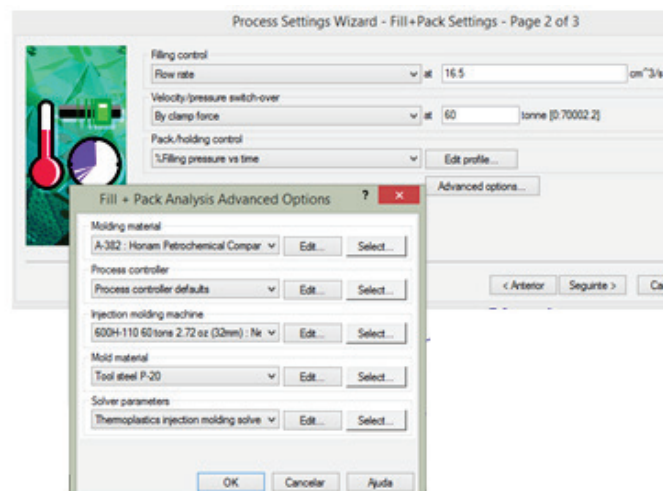


Figura 203 - Definição dos parâmetros do processo no 'Moldflow'.

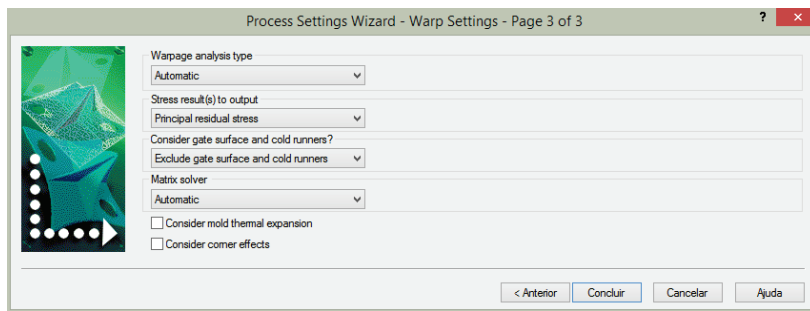


Figura 204 - Definição dos parâmetros do processo no 'Moldflow'.

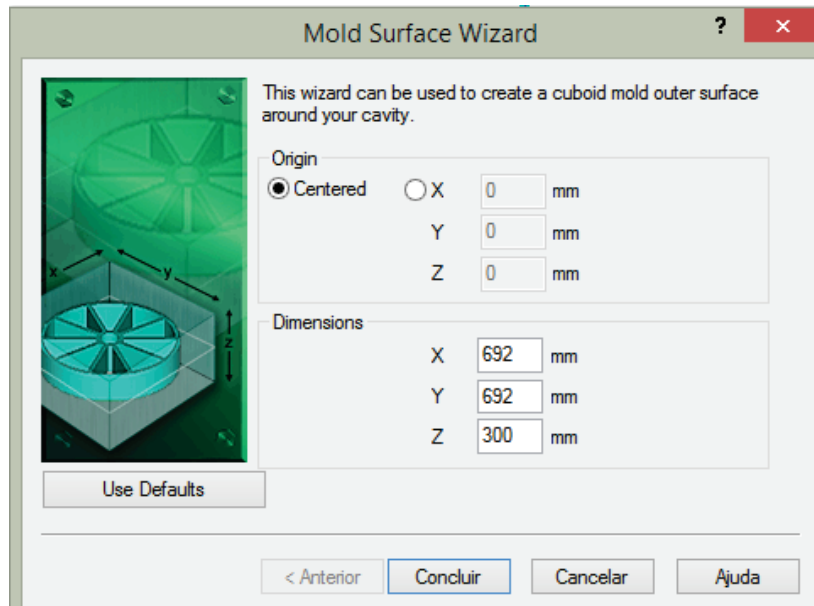


Figura 205 - Definição das dimensões do molde no 'Moldflow'.

## Estudo prévio

Na tabela abaixo observamos os parâmetros de relevância no estudo efectuado no *Moldflow*.

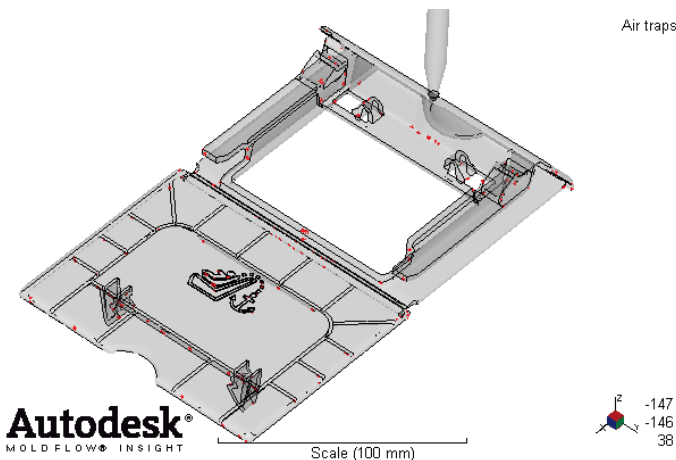
**Tabela 70 - Valores de parâmetros de injeção do primeiro estudo.**

Variáveis de entrada	Valores
Temperatura de injeção do polímero	230°C
Temperatura do molde	50°C
Temperatura de extracção da peça	93°C
Caudal de enchimento ( <i>flow rate</i> )	16.5cm <sup>3</sup> /s
Tempo de abertura de molde	6s
Temperatura ambiente	25°C

## Resultados

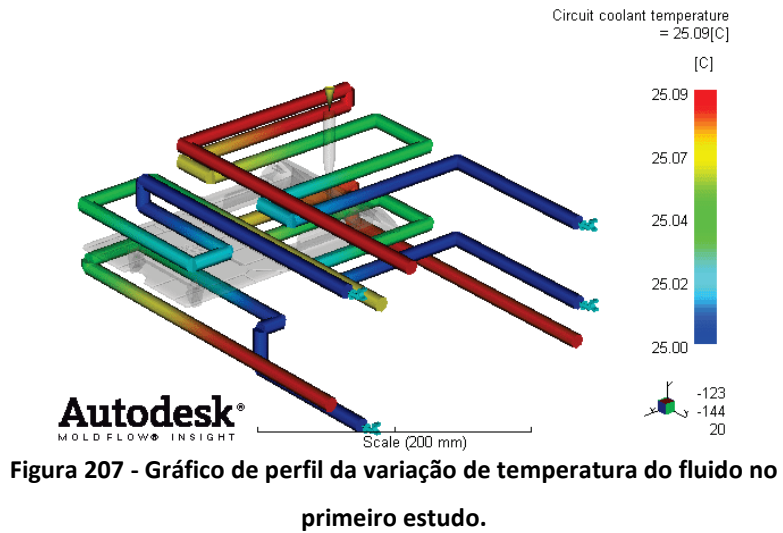
Na tabela abaixo podemos observar alguns dos resultados do estudo prévio no *Moldflow*.

**Tabela 71 - Caracterização dos resultados correspondentes ao primeiro estudo prévio.**

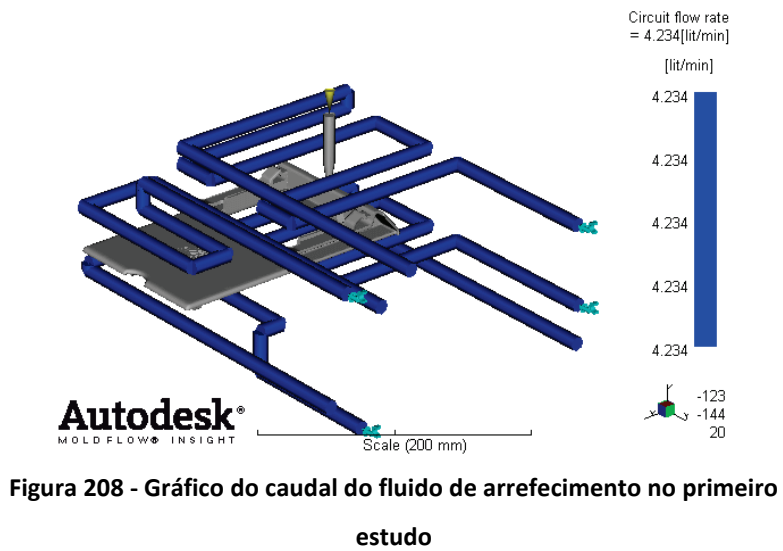
Outputs	
<p>A acumulação de gases no enchimento pode provocar defeitos no produto como vazios e áreas queimadas. Verificamos no gráfico áreas a vermelho correspondentes a possíveis sítios de acumulação de gases.</p>	 <p><b>Autodesk</b> MOLD FLOW INSIGHT</p> <p>Scale (100 mm)</p> <p>Air traps</p> <p>-147 -146 38</p>

**Figura 206 - Gráfico de perfil da acumulação de gases no primeiro estudo.**

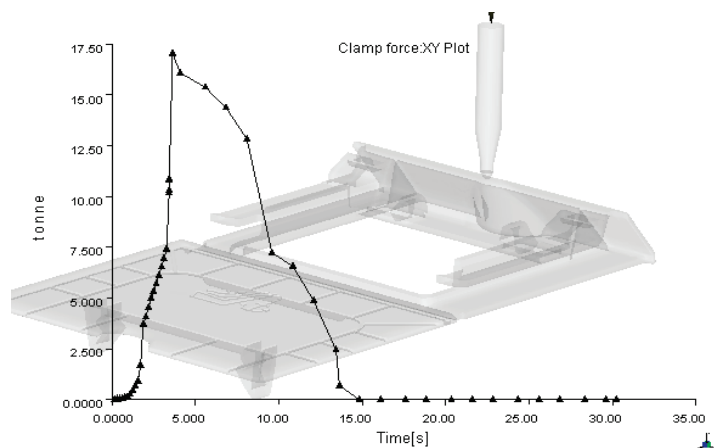
Verificamos no gráfico a possível variação da temperatura do fluido de refrigeração. O fluido entra a 25°C e sai a 25.09°C.



O *Moldflow* indica que o caudal necessário para o fluido de refrigeração é de 4.234 l/min.



A força de fecho máxima obtida é de aproximadamente 18.35 toneladas, sendo atingida no final da injeção do material.



O *Moldflow* indica que vai ocorrer uma distorção da peça na direcção ZZ' com um valor máximo de 1.198mm, o que pode influenciar a montagem do produto.

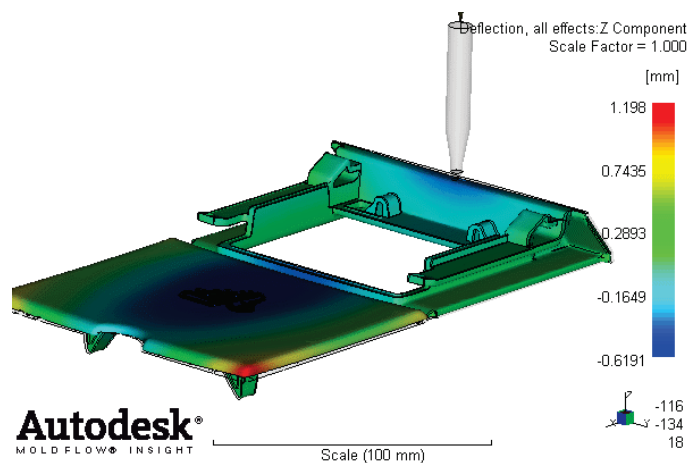


Figura 210 - Gráfico da distorção da peça na direcção Z no primeiro estudo.

O tempo de enchimento previsto com um fluxo de  $16.5\text{cm}^3/\text{s}$  é de 3.429 segundos.

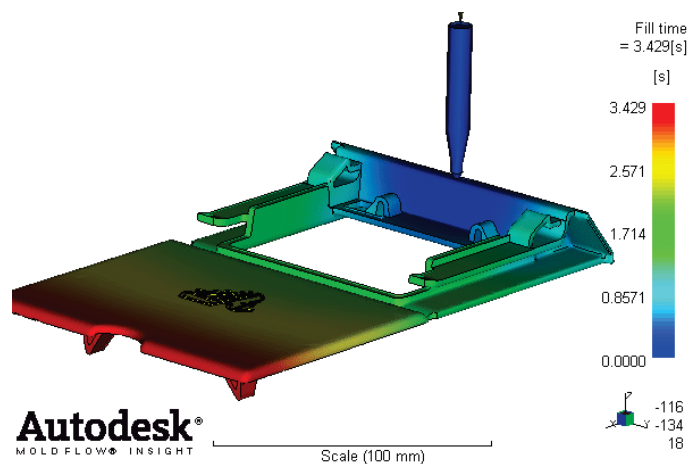


Figura 211 - Gráfico do tempo de enchimento no primeiro estudo.

As tensões residuais da peça pode ser visualizado no gráfico, no qual são indicadas a vermelho as zonas com mais tensões.

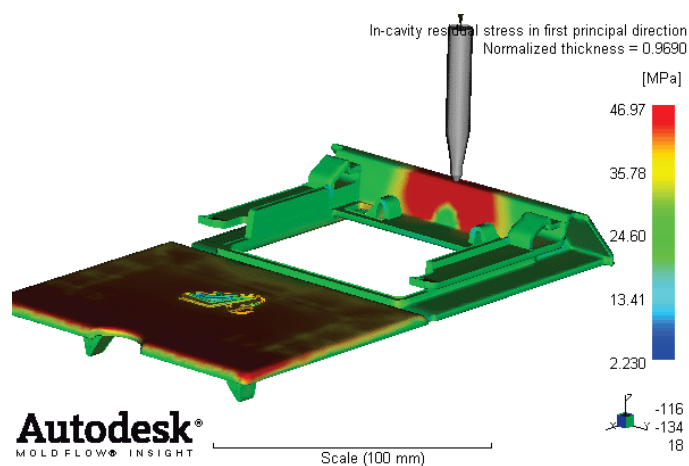


Figura 212 - Gráfico das tensões residuais no primeiro estudo.

A orientação do fluxo da peça pode ser indicada pelo gráfico, o que pode ser importante para a resistência da peça em diferentes direcções.

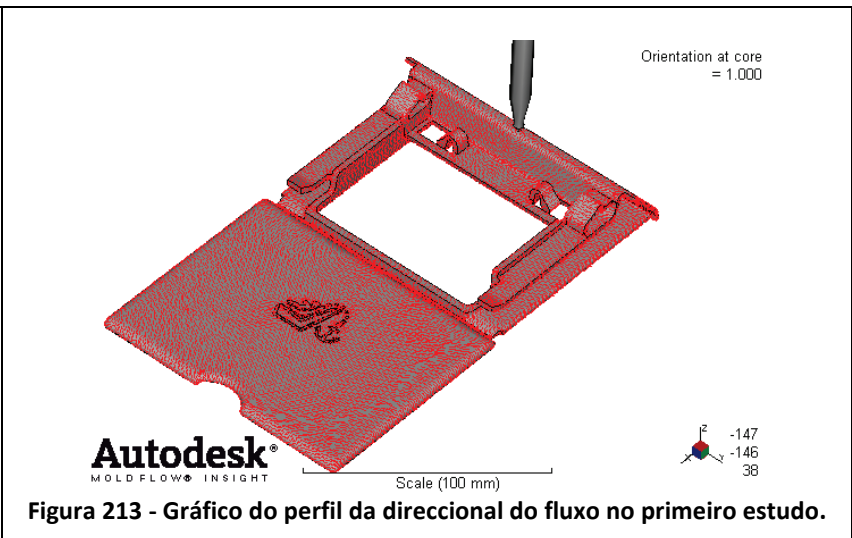


Figura 213 - Gráfico do perfil da direcional do fluxo no primeiro estudo.

O perfil da pressão de injeção indica que existe um aumento de pressão até ao valor de 13.79 MPa, sendo que diminui e se mantém constante até uma nova diminuição de pressão.

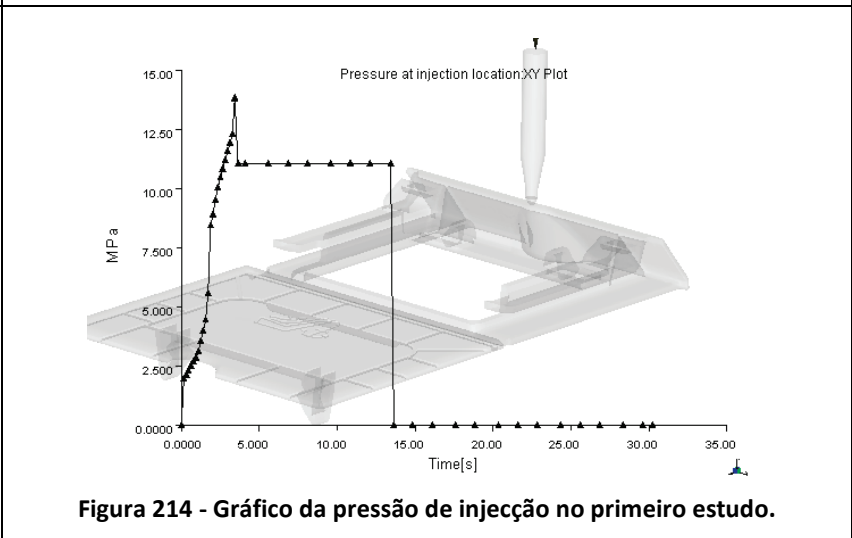


Figura 214 - Gráfico da pressão de injeção no primeiro estudo.

O perfil de temperaturas das paredes do molde indica que na zona de injeção e dos movimentos laterais terão lugar temperaturas mais elevadas.

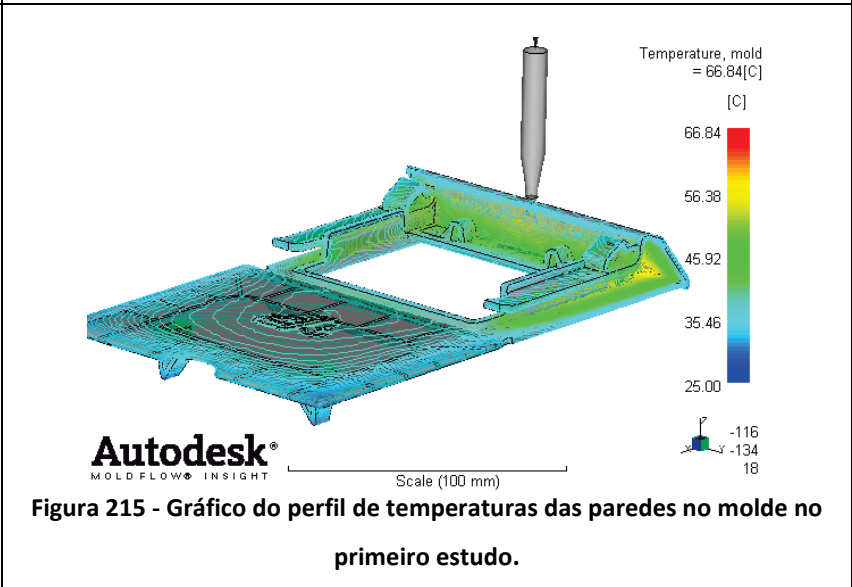


Figura 215 - Gráfico do perfil de temperaturas das paredes no primeiro estudo.

O perfil de temperaturas da peça indica que na zona de injeção e dos movimentos laterais terão lugar temperaturas mais elevadas.

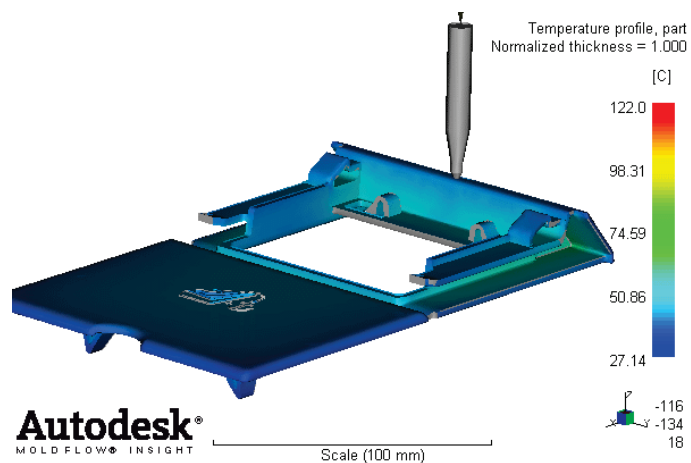


Figura 216 - Gráfico do perfil de temperaturas da peça no primeiro estudo.

O tempo de até a temperatura de extracção é indicado como 32.06 s.

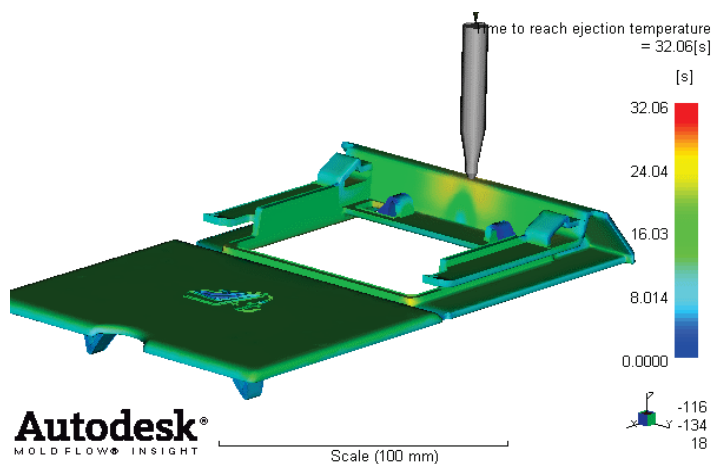


Figura 217 - Gráfico de temperaturas até temperatura de extracção no primeiro estudo.

Neste gráfico podemos verificar as possíveis linhas de união.

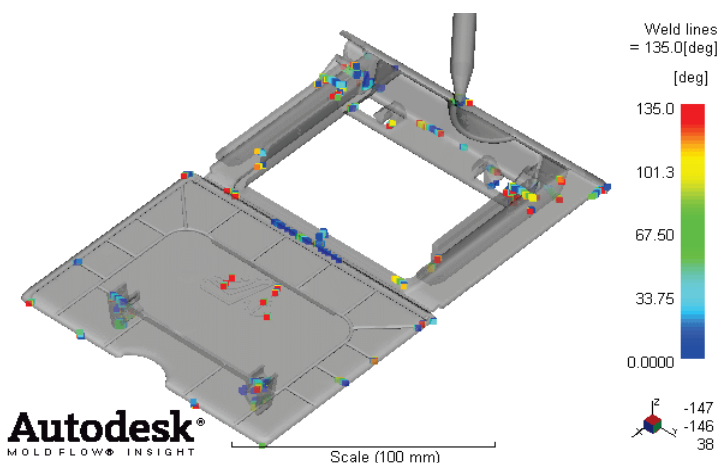


Figura 218 - Gráfico do perfil das linhas de união no primeiro estudo.

### Segundo estudo

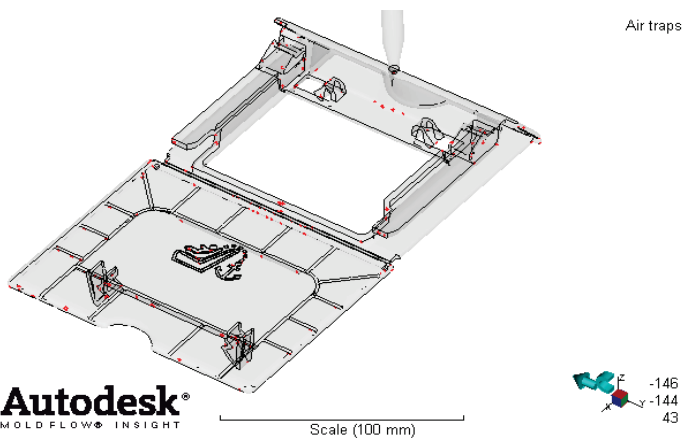
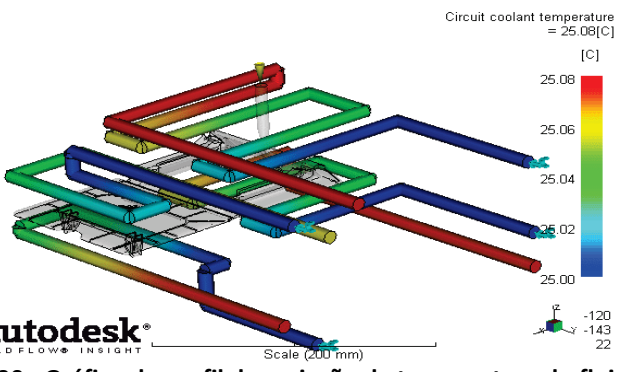
Na tabela abaixo observamos os parâmetros de relevância no estudo efectuado no *Moldflow*. Alterou-se a temperatura do molde para 45°C, mantendo-se o resto dos parâmetros.

**Tabela 72 - Valores de parâmetros de injeção para o segundo estudo.**

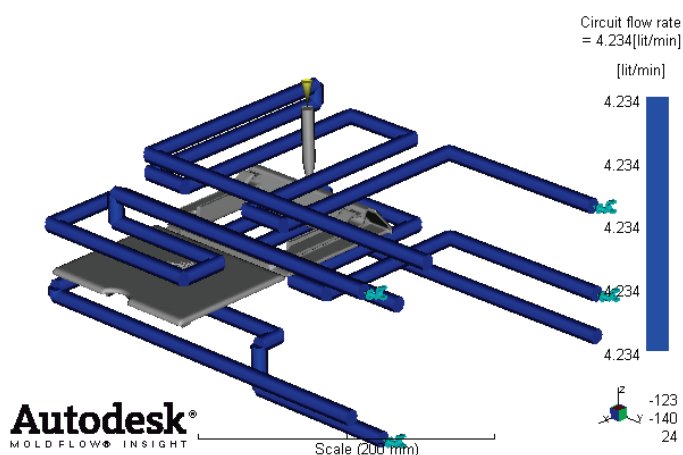
Variáveis de entrada	Valores
Temperatura de injeção do polímero	230°C
Temperatura do molde	45°C
Temperatura de extracção da peça	93°C
Caudal de enchimento ( <i>flow rate</i> )	16.5 cm <sup>3</sup> /s
Tempo de abertura de molde	6 s

### Resultados

**Tabela 73 - Caracterização dos resultados do segundo estudo.**

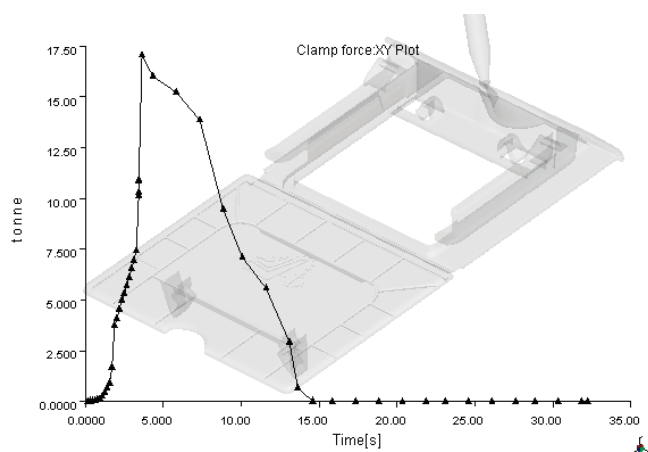
<p><b>Outputs</b></p> <p>A acumulação de gases no enchimento pode provocar defeitos no produto como vazios e áreas queimadas. Verificamos no gráfico áreas a vermelho correspondentes a possíveis sítios de acumulação de gases.</p>	 <p><b>Figura 219 - Gráfico do perfil da acumulação de gases no segundo estudo.</b></p>
<p>Verificamos no gráfico a possível variação da temperatura do fluido de refrigeração. O fluido entra a 25°C e sai a 25.08°C.</p>	 <p><b>Figura 220 - Gráfico do perfil da variação de temperatura do fluido no segundo estudo.</b></p>

O *Moldflow* indica que o caudal necessário para o fluido de refrigeração é de 4.234 l/min.



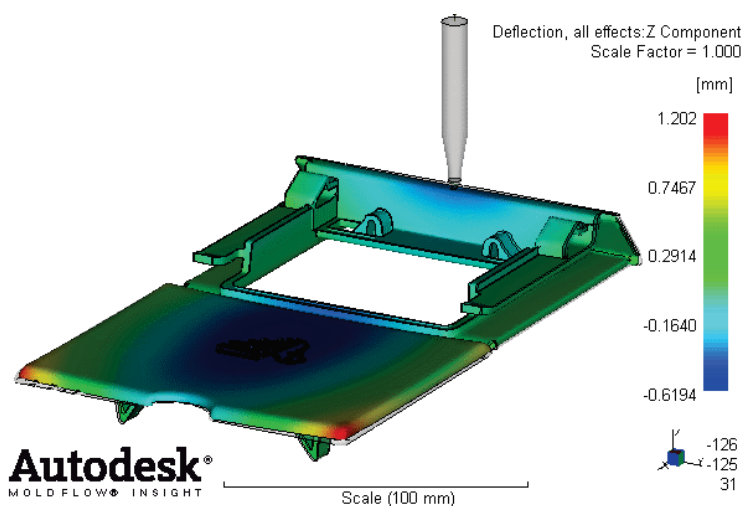
**Figura 221 - Gráfico do caudal do fluido de arrefecimento no segundo estudo.**

A força de fecho máxima obtida é de aproximadamente 18.38 toneladas, sendo atingida no final da injeção do material.

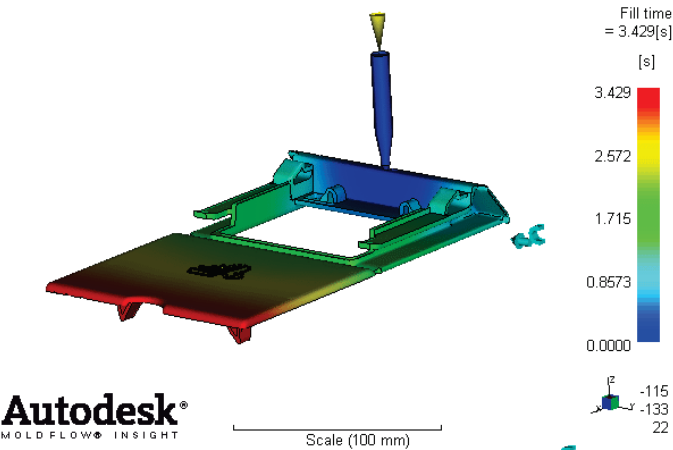
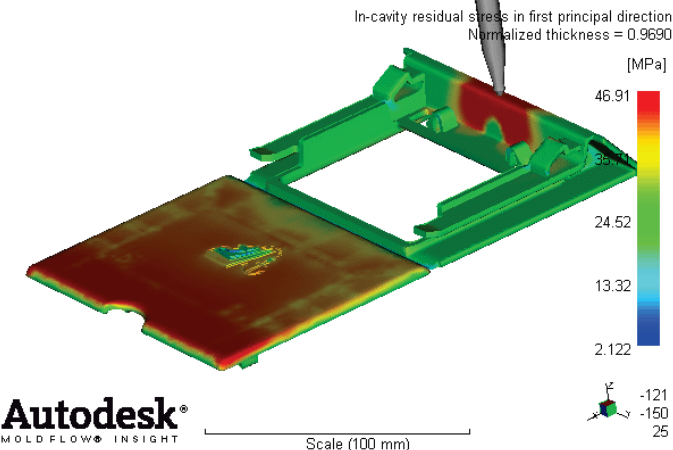
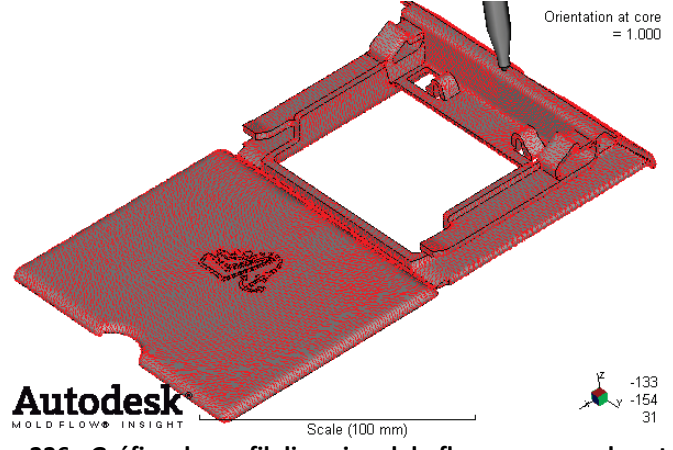


**Figura 222 - Gráfico da força de fecho no segundo estudo.**

O *Moldflow* indica que vai ocorrer uma distorção da peça na direcção ZZ' com um valor máximo de 1.202mm, o que pode influenciar a montagem do produto.



**Figura 223 - Gráfico da distorção da peça na direcção Z no segundo estudo.**

<p>O tempo de enchimento previsto com um fluxo de <math>16.5 \text{ cm}^3/\text{s}</math> é de 3.429 segundos.</p>	 <p><b>Autodesk</b> MOLD FLOW INSIGHT</p> <p>Scale (100 mm)</p> <p>Fill time = 3.429[s] [s]</p> <p>3.429 2.572 1.715 0.8573 0.0000</p> <p>-115 -133 22</p> <p><b>Figura 224 - Gráfico do tempo de enchimento no segundo estudo.</b></p>
<p>As tensões residuais da peça pode ser visualizado no gráfico ao lado, no qual são indicadas a vermelho as zonas com mais <i>tensões</i>.</p>	 <p><b>Autodesk</b> MOLD FLOW INSIGHT</p> <p>Scale (100 mm)</p> <p>In-cavity residual stress in first principal direction Normalized thickness = 0.9690 [MPa]</p> <p>46.91 35.17 24.52 13.32 2.122</p> <p>-121 -150 25</p> <p><b>Figura 225 - Gráfico das tensões residuais no segundo estudo.</b></p>
<p>A orientação do fluxo da peça pode ser indicada pelo gráfico, o que pode ser importante para a resistência da peça segundo diferentes direcções.</p>	 <p><b>Autodesk</b> MOLD FLOW INSIGHT</p> <p>Scale (100 mm)</p> <p>Orientation at core = 1.000</p> <p>-133 -154 31</p> <p><b>Figura 226 - Gráfico do perfil direccional do fluxo no segundo estudo.</b></p>

O perfil da pressão de injeção indica que existe um aumento de pressão até ao valor de 13.82MPa, sendo que diminui e se mantém constante até uma nova diminuição de pressão.

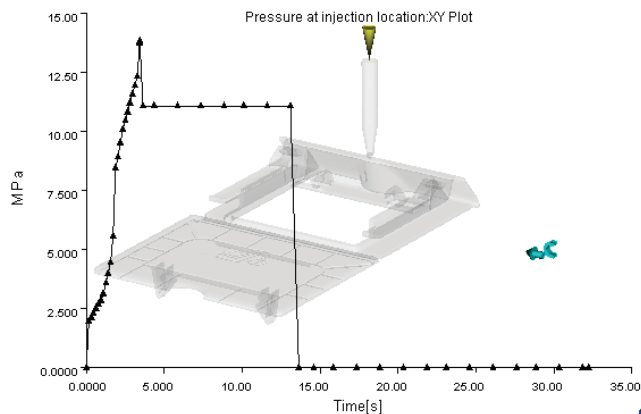


Figura 227 - Gráfico da pressão de injeção no segundo estudo.

O perfil de temperaturas das paredes do molde indica que na zona de injeção e dos movimentos laterais terão lugar temperaturas mais elevadas.

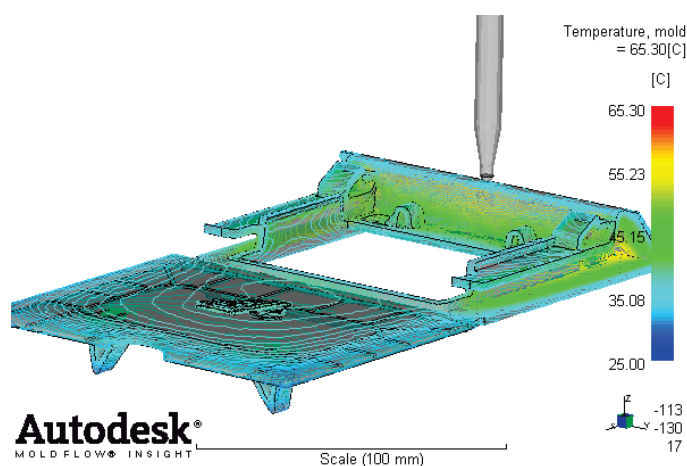


Figura 228 - Gráfico do perfil de temperaturas das paredes do molde no segundo estudo.

O perfil de temperaturas da da peça indica que na zona de injeção e dos movimentos laterais terão lugar temperaturas mais elevadas.

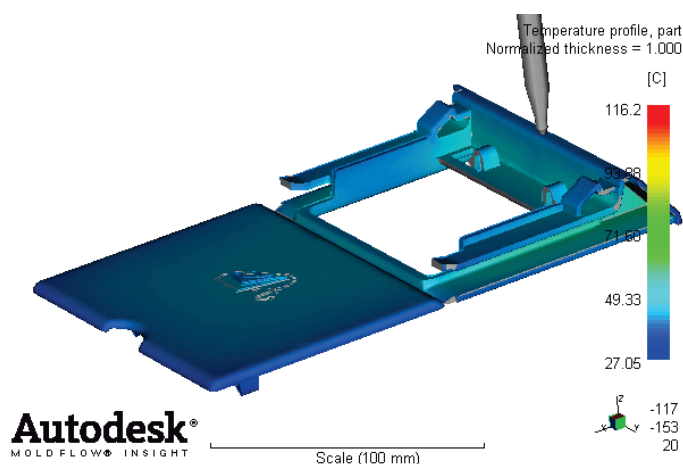
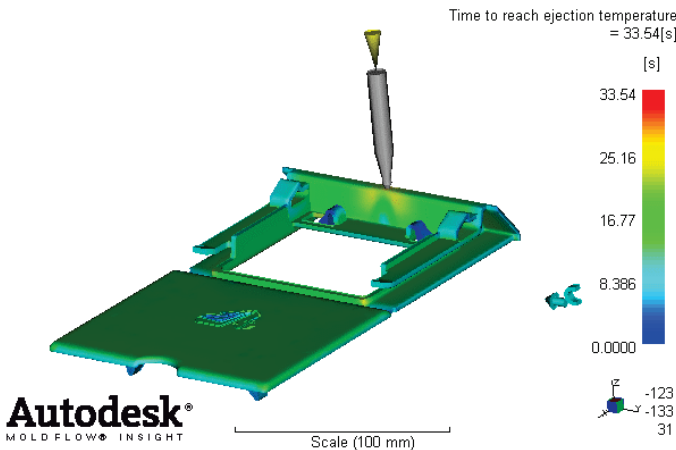
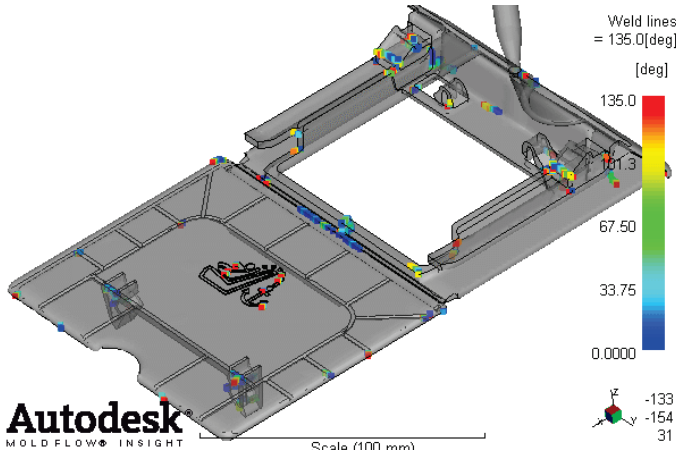


Figura 229 - Gráfico do perfil de temperaturas da peça no segundo estudo.

<p>O tempo até ser atingida a temperatura de extracção é indicado como sendo de 33.54 s.</p>	 <p>Time to reach ejection temperature = 33.54[s]</p> <p>[s]</p> <p>33.54</p> <p>25.16</p> <p>16.77</p> <p>8.386</p> <p>0.0000</p> <p>Autodesk® MOLD FLOW INSIGHT</p> <p>Scale (100 mm)</p> <p>Z -123 -133 31</p> <p><b>Figura 230 - Gráfico de temperaturas até temperatura de extracção no segundo estudo.</b></p>
<p>Neste gráfico podemos verificar as possíveis linhas de união.</p>	 <p>Weld lines = 135.0(deg)</p> <p>[deg]</p> <p>135.0</p> <p>101.3</p> <p>67.50</p> <p>33.75</p> <p>0.0000</p> <p>Autodesk® MOLD FLOW INSIGHT</p> <p>Scale (100 mm)</p> <p>Z -133 -154 31</p> <p><b>Figura 231 - Gráfico do perfil das linhas de união no segundo estudo.</b></p>

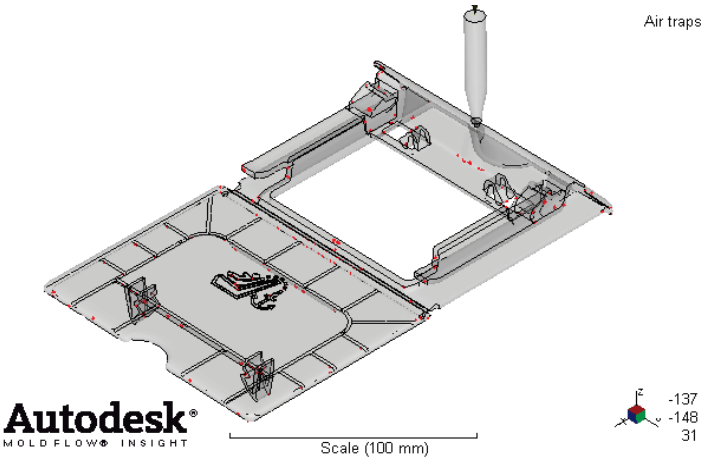
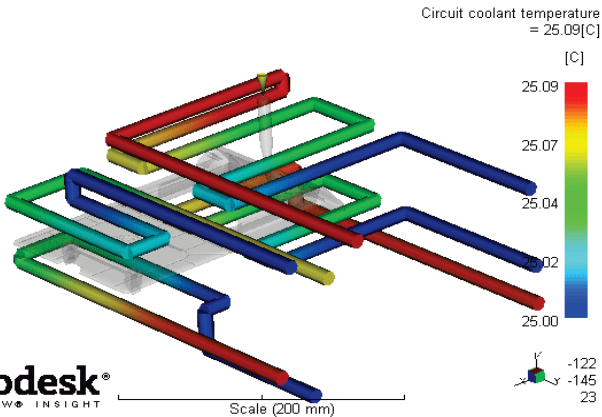
**Terceiro estudo**

Na tabela abaixo observamos os parâmetros de relevância no estudo efectuado no *Moldflow*. Alterou-se o caudal de enchimento para 30 cm<sup>3</sup>/s, mantendo-se o resto dos parâmetros

**Tabela 74 - Valores de parâmetros de injeção do terceiro estudo.**

Inputs	Valores
Temperatura de injeção do polímero	230°C
Temperatura do molde	50°C
Temperatura de extracção da peça	93°C
Caudal de enchimento ( <i>flow rate</i> )	30cm <sup>3</sup> /s
Tempo de abertura de molde	6 s

**Tabela 75 - Caracterização dos resultados do terceiro estudo.**

<p><b>Outputs</b></p> <p>A acumulação de gases no enchimento pode provocar defeitos no produto como vazios e áreas queimadas. Verificamos no gráfico áreas a vermelho de possíveis sítios de acumulação de gases.</p>	 <p><b>Figura 232 - Gráfico do perfil da acumulação de gases no terceiro estudo.</b></p>
<p>Verificamos no gráfico a possível variação da temperatura do fluido de refrigeração. O fluido entra a 25°C e sai a 25.09°C.</p>	 <p><b>Figura 233 - Gráfico do perfil da variação de temperatura do fluido no terceiro estudo.</b></p>

O *Moldflow* indica que o caudal necessário para o fluido de refrigeração é de 4.234 l/min.

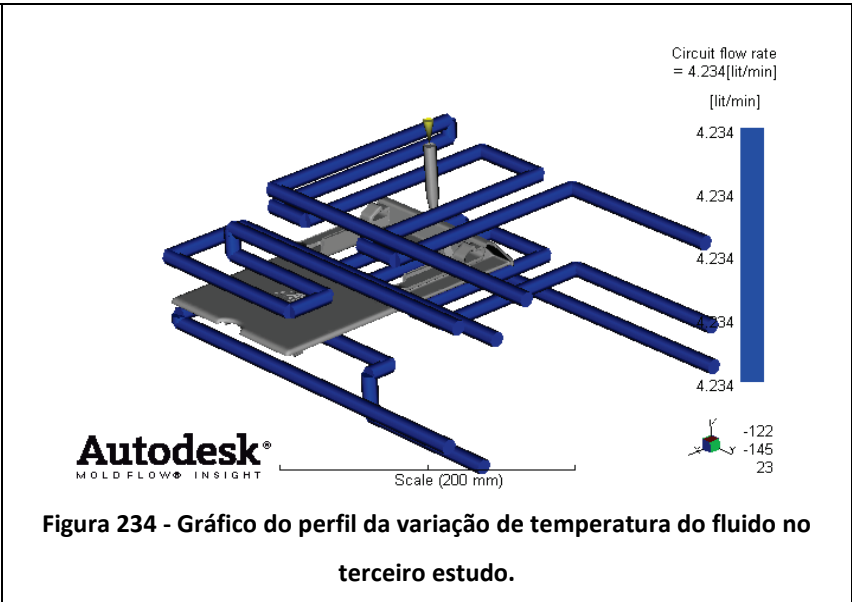


Figura 234 - Gráfico do perfil da variação de temperatura do fluido no terceiro estudo.

A força de fecho máxima obtida é de aproximadamente 20.59 toneladas, sendo atingida no final da injeção do material.

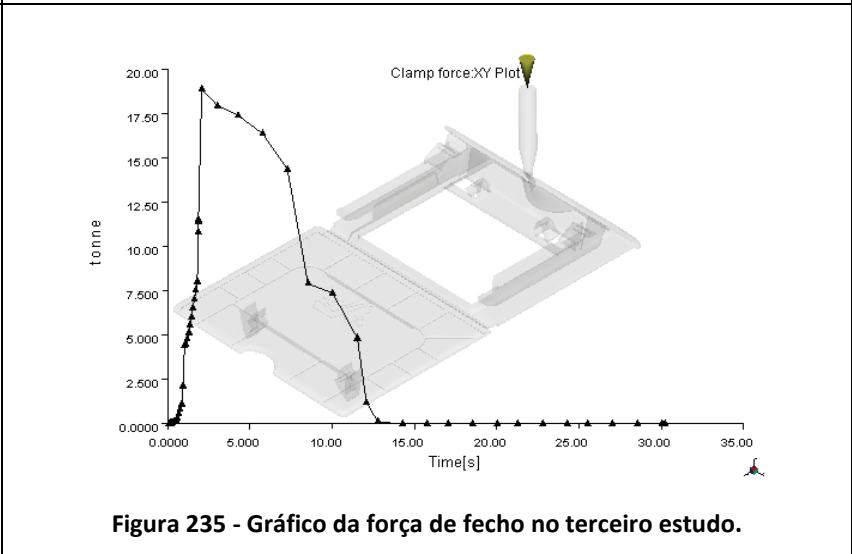


Figura 235 - Gráfico da força de fecho no terceiro estudo.

O *Moldflow* indica uma distorção da peça na direcção ZZ' com um valor máximo de 1.256 mm, o que pode influenciar a montagem do produto.

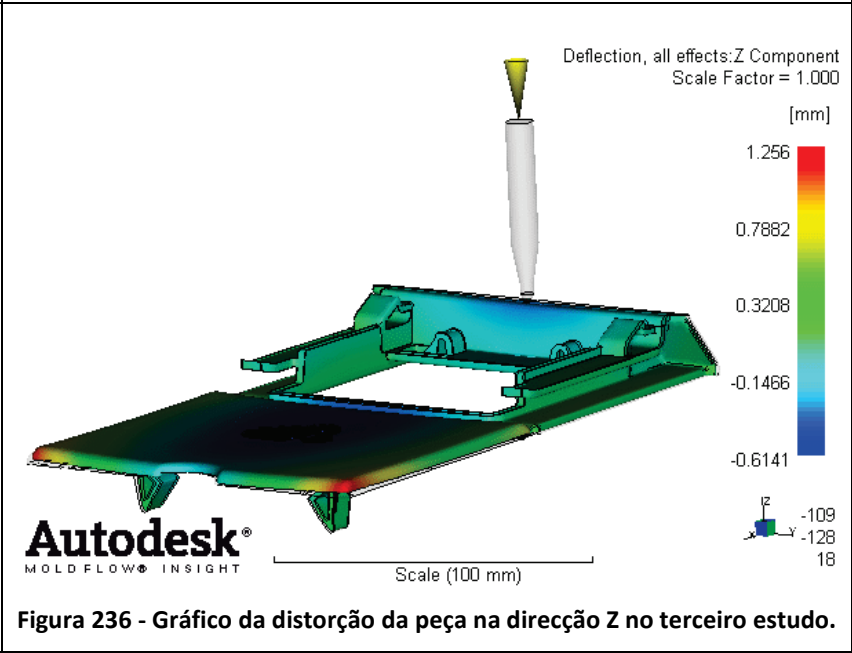


Figura 236 - Gráfico da distorção da peça na direcção Z no terceiro estudo.

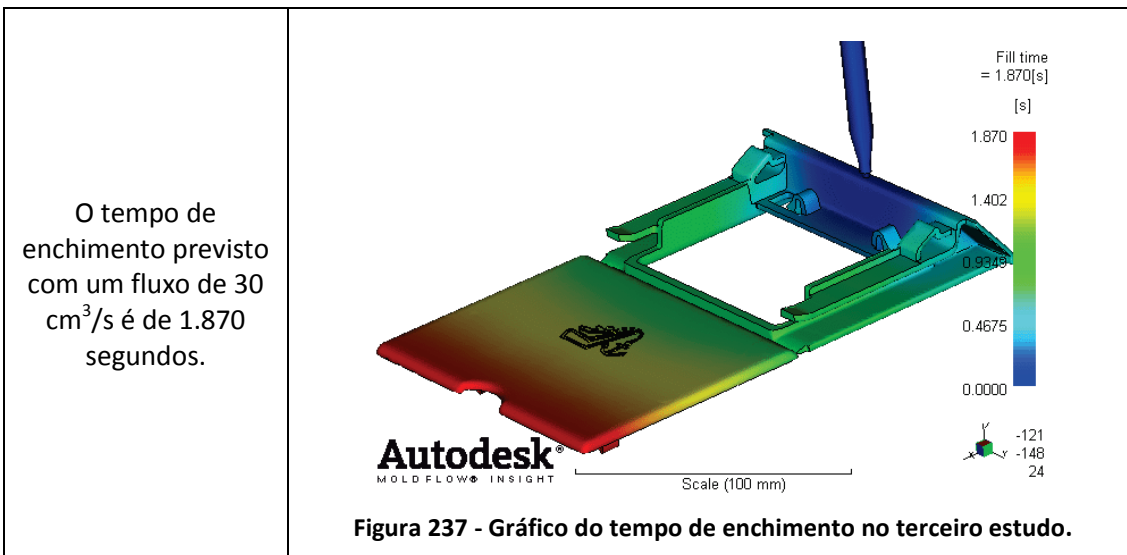


Figura 237 - Gráfico do tempo de enchimento no terceiro estudo.

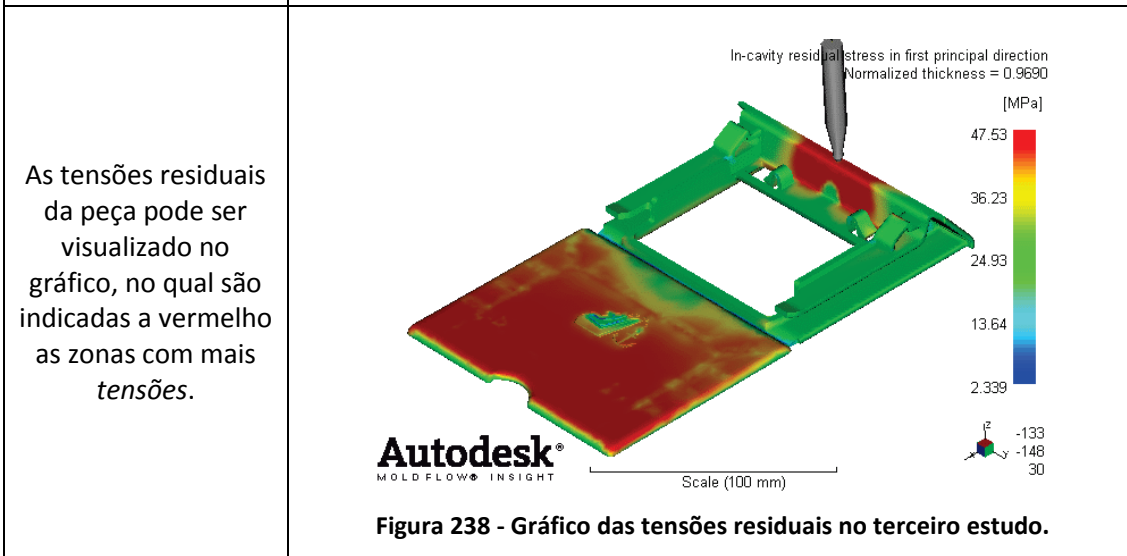


Figura 238 - Gráfico das tensões residuais no terceiro estudo.

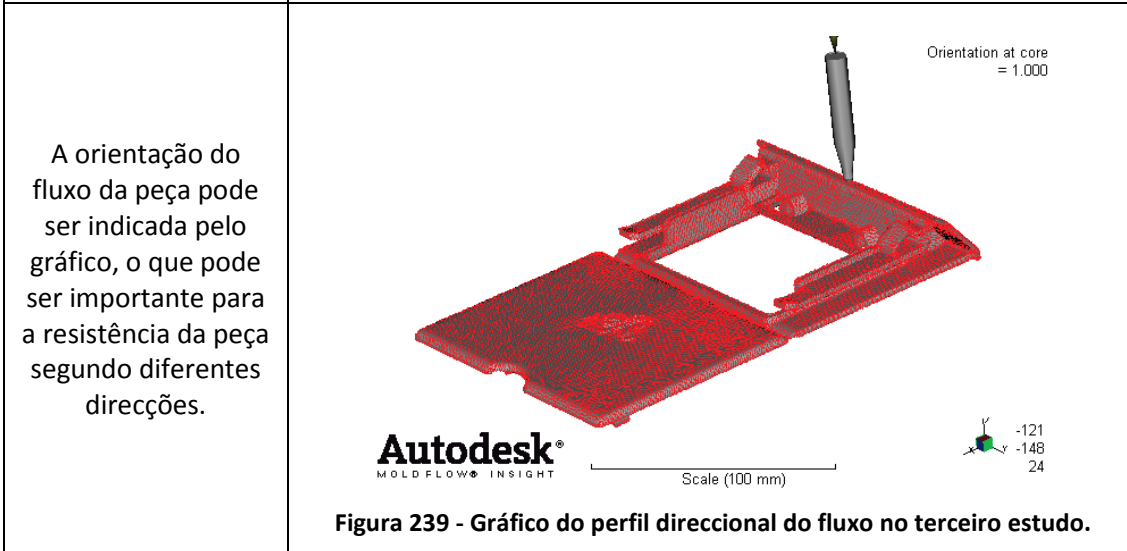


Figura 239 - Gráfico do perfil direccional do fluxo no terceiro estudo.

O perfil da pressão de injeção indica que existe um aumento de pressão até ao valor de 15.03 MPa, sendo que diminui e se mantém constante até uma nova diminuição da pressão.

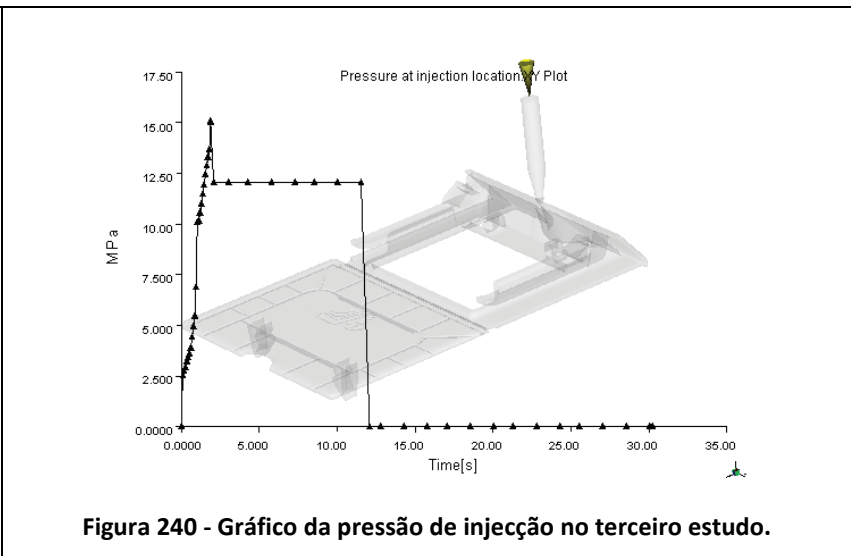


Figura 240 - Gráfico da pressão de injeção no terceiro estudo.

O perfil de temperaturas das paredes do molde indica que na zona de injeção e dos movimentos laterais terão lugar temperaturas mais elevadas

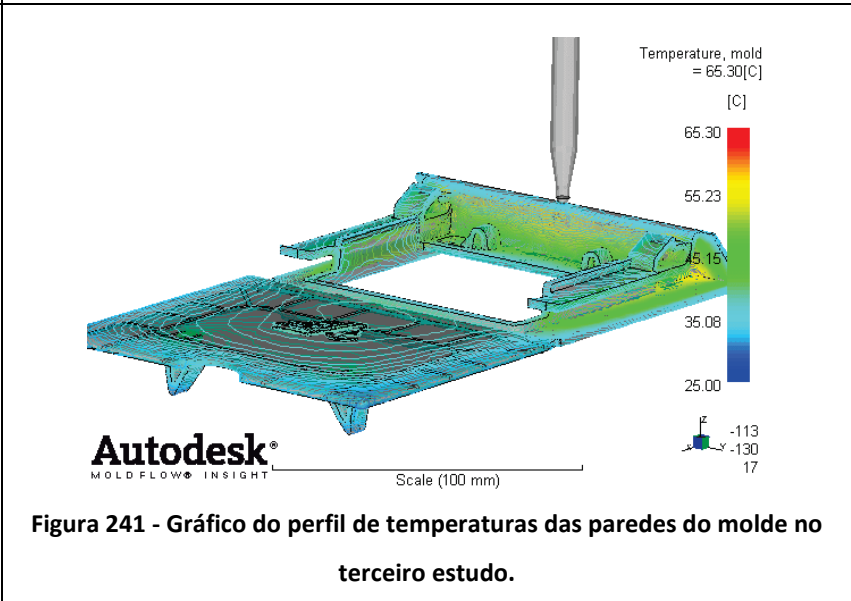


Figura 241 - Gráfico do perfil de temperaturas das paredes do molde no terceiro estudo.

O perfil de temperaturas da peça indica que na zona de injeção e dos movimentos laterais terão lugar temperaturas mais elevadas.

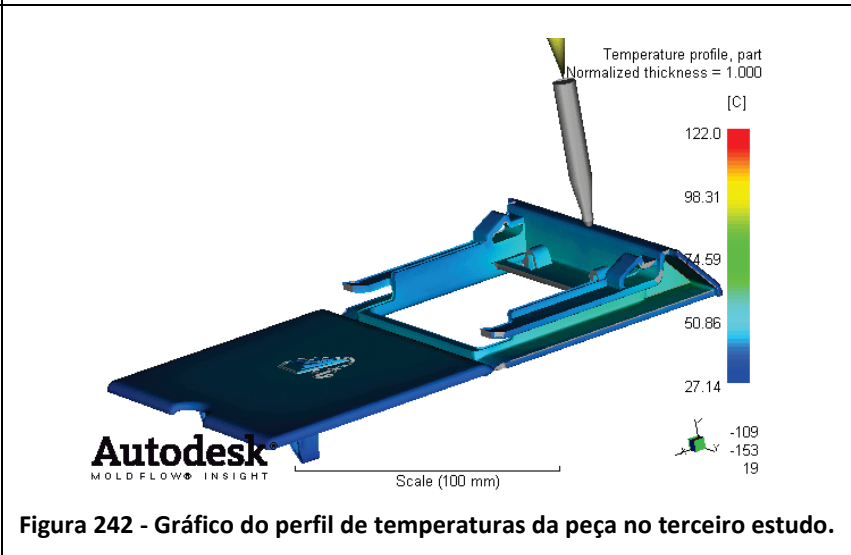


Figura 242 - Gráfico do perfil de temperaturas da peça no terceiro estudo.

O tempo até à temperatura de extracção é indicado como sendo de 33.36 s.

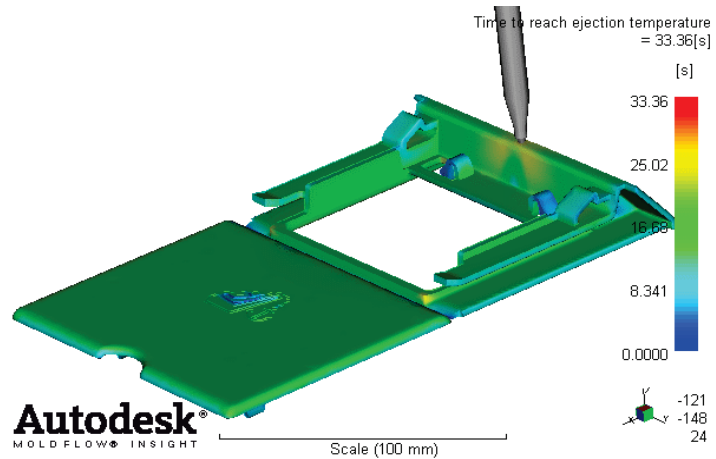


Figura 243 - Gráfico de temperaturas até temperatura de extracção no terceiro estudo.

Neste gráfico podemos verificar as possíveis linhas de união.

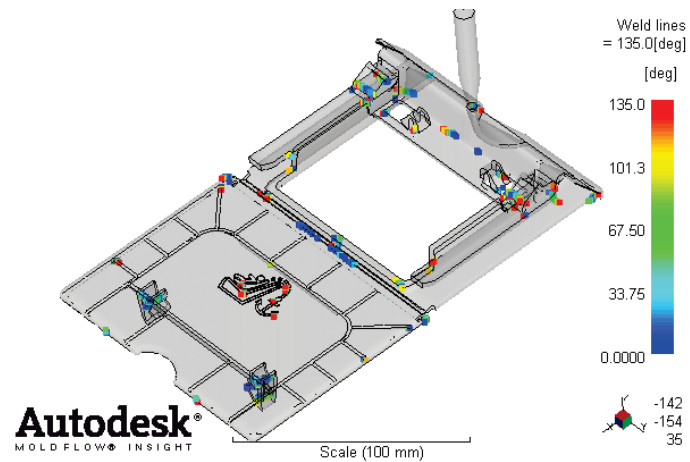


Figura 244 - Gráfico do perfil das linhas de união no terceiro estudo.

## Comparativo de resultados

Na tabela abaixo podemos observar os valores obtido pelo *Moldflow* para diferentes fases da injeção. Os valores de 95% e 5% referem-se à percentagem em falta para o preenchimento da cavidade nas diferentes fases do processo.

**Tabela 76 - Valores obtidos no *Moldflow* para as diferentes fases de injeção.**

<b>Resultados</b>	<b>Simulação 1</b>	<b>Simulação 2</b>	<b>Simulação 3</b>
Tempo de enchimento	3.4286 s	3.4294s	1.87s
Tempo previsto de ciclo	36.2325 s	38.2189s	36.2325s
Tempo de arrefecimento	16.8065 s	18.7922s	18.3642s
Máxima força de fecho	18.3515 t (3.531 s)	18.3768 t (3.532 s)	20.5914 t (1.972 s)
Pressão máxima	13.7939MPa (3.531 s)	13.8219 MPa (3.532 s)	15.0337 MPa (1.972 s)
<b>Fase de enchimento da peça, resumo dos resultados:</b>			
Temperatura máxima do fundido	231.8871°C (3.428 s)	231.8898°C (3.429 s)	232.101°C (1.870 s)
Temperatura do fundido 95%	33.1706°C (0.157 s)	230.2687°C (0.157 s)	230.3838°C (0.086 s)
Temperatura do fundido 5%	200.9202°C (3.426 s)	200.8772°C (3.424s)	215.8407°C (1.868 s)
Temperatura mínima do fundido	33.1706°C (3.424 s)	32.8430°C (3.424 s)	38.1706°C (1.868 s)
Tensão de corte máxima da parede	0.3557 MPa (2.338 s)	0.3541MPa (2.338 s)	0.4131 MPa (1.027s)
Tensão de corte da parede 95%	0.1545 MPa (0.157 s)	0.1569 MPa (0.157 s)	0.1864 MPa (0.086 s)
Taxa de corte máxima	9.2946E+04 1/s (2.338 s)	9.2590E+04 1/s (2.338 s)	2.1057E+05 1/s (1.800 s)
Taxa de corte 95%	1.7846E+04 1/s (0.157 s)	1.8091E+04 1/s (0.157 s)	3.2897E+04 1/s (0.086 s)
<b>Fim da fase de enchimento da peça, resumo dos resultados:</b>			
Massa total	38.1390 g	38.1463 g	37.6505 g
Temperatura máxima do fundido	231.8859°C	231.8898°C	232.1009°C
Temperatura do fundido 95%	228.8043°C	228.8032°C	230.0427°C
Temperatura massa 5%	201.0457°C	200.9985°C	215.9862°C
Temperatura mínima do fundido	33.1866°C	32.8604°C	38.1739°C
Temperatura média do fundido	211.9773°C	211.9492°C	221.5661°C
RMSD – (root-mean-square deviation)	10.4854°C	10.5128°C	5.5893°C
Tensão máxima de corte da parede	0.3291 MPa	0.3310 MPa	0.3769 MPa
Tensão de corte da parede 95%	0.0473 MPa	0.0474 MPa	0.0555 MPa
Tensão média de corte da parede	0.0261 MPa	0.0261 MPa	0.0309 MPa
RMSD- root-mean-square	0.0143 MPa	0.0143 MPa	0.0165 MPa

deviation			
Taxa máxima de corte	8.1889E+04 1/s	8.2092E+04 1/s	1.9088E+05 1/s
Taxa de corte 95%		357.9633 1/s	620.3400 1/s
Taxa media de corte	140.0405 1/s	140.0072 1/s	245.8492 1/s
RMSD - root-mean-square deviation	392.4141 1/s	392.6935 1/s	721.9824 1/s
<b>Fase de recalque e solidificação, resumo dos resultados:</b>			
Massa total	40.8695 g (13.426 s)	40.8591 g (15.836 s)	40.7990 g (11.529 s)
Pressão Mínima (0.000 s)	0.0000 MPa	0.0000 MPa	0.000MPa
Máxima força de fecho	18.3515 t (3.531 s)	18.3768 t (3.532 s)	20.5914 t (1.972 s)
<b>Fase final de recalque e solidificação, resumo dos resultados:</b>			
Massa total	40.8507 g	40.8591 g	40.7964 g
Tempo até ao fim da fase	30.2326 s	32.2190 s	30.2326 s
<b>Fase de recalque e solidificação da peça, resumo dos resultados:</b>			
Massa total	40.8695 g (13.426 s)	40.8591 g (15.836 s)	40.7990 g (11.529 s)
Temperatura máxima do fundido	231.8846°C (3.429 s)	231.8872°C (3.430 s)	232.1009°C (1.870 s)
Temperatura do fundido 95%	228.8031°C (3.429 s)	228.8006°C (3.430 s)	230.0427°C (1.870 s)
Temperatura do fundido 5%	39.5324°C (30.233 s)	38.5483°C (32.219 s)	230.0427°C (30.233 s)
Temperatura mínima do fundido	31.5199°C (30.233 s)	31.0296°C (32.219 s)	31.3598°C (30.233 s)
Tensão de corte máxima da parede	3.2821 MPa (3.429 s)	2.8749 MPa (7.339 s)	4.1278 MPa (5.779 s)
Tensão de corte da parede 95%	3.2821 MPa (3.429 s)	2.8749 MPa (3.430 s)	0.0540 MPa (1870 s)
<b>Fase final de recalque e solidificação da peça, resumo dos resultados:</b>			
Massa total	40.8507 g	40.8591 g	40.7964 g
Temperatura máxima do fundido	117.6659°C	114.5630°C	115.4845°C
Temperatura do fundido 95%	65.8592°C	62.4032°C	64.3985°C
Temperatura do fundido 5%	39.5324°C	38.5483°C	39.3677°C
Temperatura mínima do fundido	31.5199°C	31.0296°C	31.3598°C
Temperatura média do fundido	54.0901°C	51.5727°C	53.3544°C
Temperatura do fundido - root-mean-square deviation	7.3340°C	6.7181°C	6.9728°C

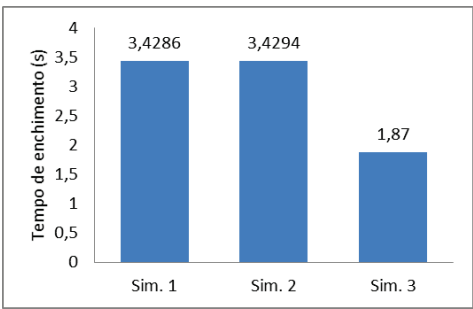
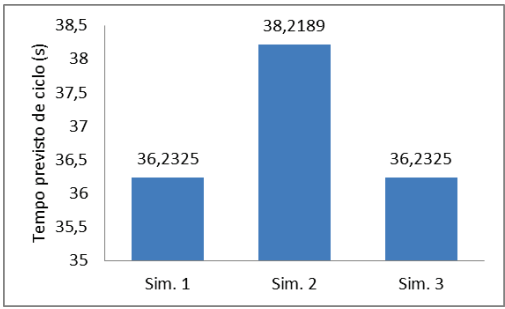
Na tabela abaixo podemos observar os valores obtidos pelo *Moldflow* relativamente ao sistema de arrefecimento.

**Tabela 77 - Valores dos parâmetros do sistema de arrefecimento.**

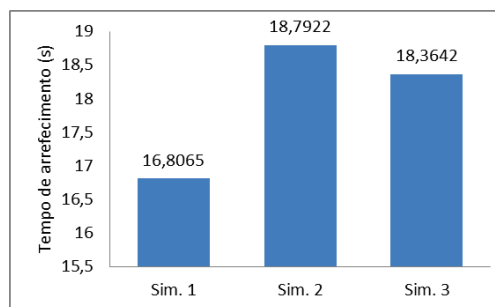
Sistema de arrefecimento			
Resultados	Simulação 1	Simulação 2	Simulação 3
Caudal	4.23 l/m	4.23 l/m	4.23 l/m
Nº de Reynolds	10000	10000	10000
Temperatura máxima da superfície da peça	70.07°C	68.49°C	70.07°C
Temperatura mínima da superfície da peça	27.14°C	27.05°C	27.14°C
Temperatura média da superfície da peça	43.97°C	43.20°C	43.98°C
Temperatura máxima da superfície da cavidade	66.83°C	65.30°C	66.83°C
Temperatura mínima da superfície da cavidade	25°C	25°C	25°C
Temperatura média da superfície da cavidade	38.69°C	38.14°C	38.69°C

Na tabela abaixo podemos observar gráficos com os valores de maior relevância.

**Tabela 78 - Gráficos dos valores de maior relevância nos 3 estudos.**

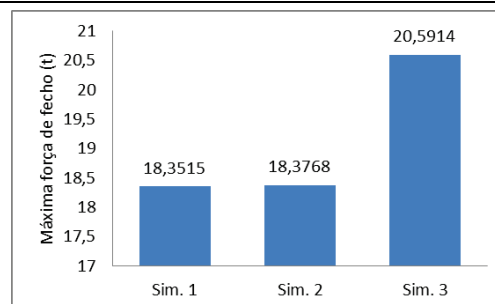
Observações	Gráficos
<p>A simulação 3 apresenta o menor tempo de enchimento, correspondendo ao ensaio com maior velocidade de enchimento.</p>	 <p><b>Figura 245 - Comparativo do tempo de enchimento.</b></p>
<p>A simulação 2 apresenta o maior tempo de ciclo, que corresponde ao molde com a menor temperatura. É possível que a diminuição de temperatura afecte a fluidez do material, elevando o tempo de ciclo e aumentando as tensões residuais. Na simulação 3, apesar de uma maior velocidade de injeção, o tempo é igual à simulação 1, verificando-se um aumento da temperatura do material na injeção.</p>	 <p><b>Figura 246 - Comparativo do tempo previsto de ciclo.</b></p>

A simulação 1 foi aquela que apresentou tempo de arrefecimento do material injectado mais baixo.



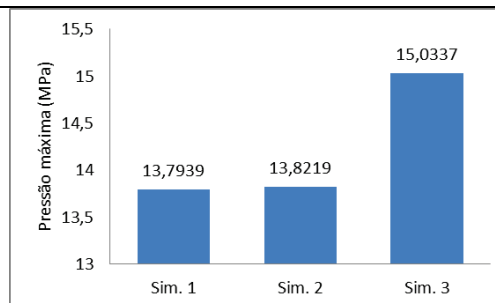
**Figura 247 - Comparativo do tempo de arrefecimento.**

A simulação 3 apresenta a maior força de fecho. A variação do valor é justificada pelo aumento do fluxo de material a injectar.



**Figura 248 - Comparativo da força máxima de fecho.**

A simulação 3 apresenta a pressão máxima mais elevada. A variação de valor é justificada pelo aumento do fluxo de material a injectar.


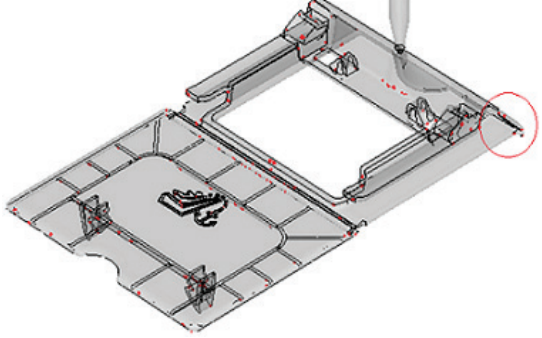


**Figura 249 - Comparativo da pressão máxima.**

### Comparativo entre o estudo e defeitos no produto

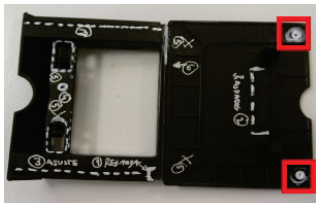
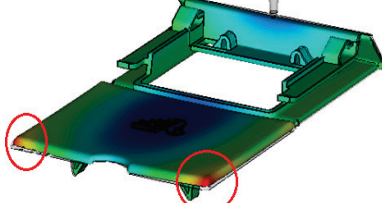
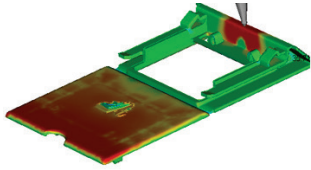
Na tabela abaixo indica um comparativo do defeito que aparece na peça devido a acumulação de gases, com o estudo do *Moldflow*.

**Tabela 79 - Acumulação de gases.**

Acumulação de gases	
	
<p><b>Figura 250 - Localização dos queimados.</b></p>	<p><b>Figura 251 - Indicação do <i>Moldflow</i>.</b></p>
<p>Verifica-se que aparecem zonas queimadas nas peças injectadas, o que indica acumulação de gases. O <i>Moldflow</i> indica nessa área acumulação de gases, o que se confirma na prática (Figura 250 e Figura 249).</p>	

Na tabela abaixo indica um comparativo do defeito que aparece na peça devido as tensões residuais, com o estudo do *Moldflow*

**Tabela 80 - Empeno da peça.**

Empeno da peça		
 <p><b>Figura 252 - Área de empenamento da peça.</b></p>	 <p><b>Figura 253 - Área de empenamento da peça.</b></p>	 <p><b>Figura 254 - Tensões residuais da peça.</b></p>
<p>Verifica-se que aparece um empenamento nas peças (Figura 252).</p> <p>O <i>Moldflow</i> indica nessa área uma distorção que é possível observar (Figura 253), a qual possivelmente é causada por tensões residuais, conforme indicado pelo <i>Moldflow</i> (Figura 254).</p> <p>É possível que o arrefecimento mais rápido do lado da gravura, juntamente à zona mais afastada do orifício de injeção, provoque esta distorção.</p>		

O estudo realizado através destas 3 simulações teve por objectivo seleccionar os parâmetros que melhor se adequam a esta ferramenta e ao material com o qual vai trabalhar. Os parâmetros da simulação 1 são os mais favoráveis para o funcionamento da ferramenta, sendo a escolha baseada nos seguintes factores:

- O tempo de ciclo previsto é menor na simulação 1 do que na simulação 3;
- O tempo de arrefecimento do material na simulação 1 é menor, do que nas 2 e 3;
- A força máxima de fecho da simulação 1 é menor que na simulação 3;
- A pressão máxima na simulação 1 é menor do que nas simulações 2 e 3.

### 3.11.1. Enchimento do molde

Seguidamente será efectuado cálculo da variação de pressão na injeção, sendo que às expressões foram extraídas da bibliografia (Rosato, et al., 2000) “*Injection Molding Handbook*”.

Na maioria dos casos, os tempos de injeção utilizados estão dentro do limite de 1 a 3s, o que pode ser utilizado como referência para uma programação básica

Considerações:

- Volume da peça de 50 cm<sup>3</sup>;
- Taxa de corte de processamento na moldação por injeção entre 10<sup>2</sup> e 10<sup>4</sup> s<sup>-1</sup>;
- Diâmetro do orifício de injeção de 2 mm;
- Espessura da peça de 2.5 mm.

S<sub>r</sub> - Taxa de corte (“*Shear rate*”);

Q - Caudal do fundido (m<sup>3</sup>/s);

T<sub>i</sub> - Tempo de injeção (s);

H - Viscosidade do material (Pa·S);

h - Diâmetro do orifício de injeção (m);

V - Volume do produto (m<sup>3</sup>);

ΔP - Variação de pressão (Pa).

$$T_i = \frac{V}{Q} \quad (41)$$

$$Q = \frac{50}{3} = 16.65 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1} = 16.65\text{E} - 6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\Delta P = \frac{12 \cdot Q \cdot \eta \cdot L}{W \cdot h^3} \quad (42)$$

$$\Delta P = \frac{12 \cdot 16.65\text{E} - 6 \cdot 44.29 \cdot 0.1778}{0.109 \cdot 0.002^3} = 1.80\text{E}6 \text{ Pa} = 1.80 \text{ MPa}$$

A taxa de corte está entre 10<sup>2</sup> e 10<sup>4</sup> s<sup>-1</sup> para o processamento dos polímeros por injeção. Selecciona-se o valor de 10<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> para obtenção do valor da viscosidade, que é de 44.29 Pa·s.

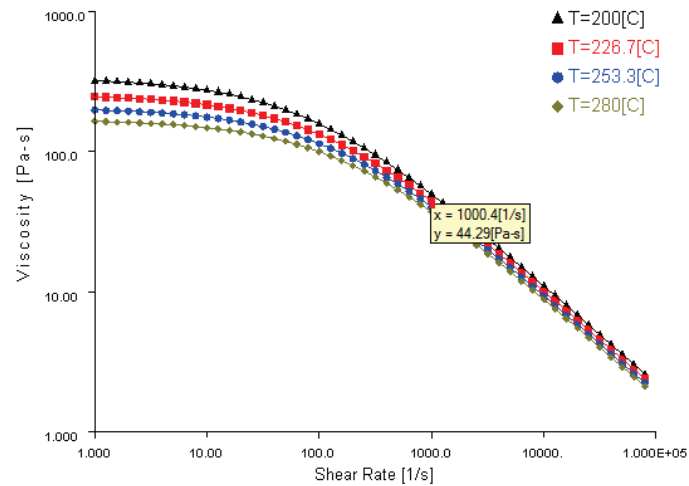


Figura 255- Digrama da viscosidade versus taxa de corte (*Moldflow*).

No diagrama da figura abaixo obtemos uma pressão do molde aproximada de 180 bar para uma espessura de 2.5 mm.

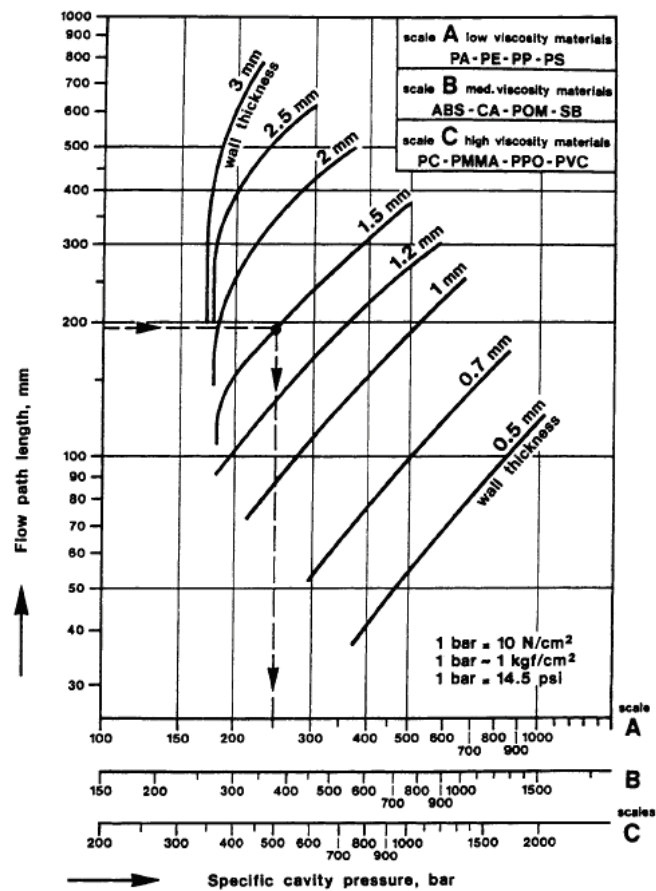


Figura 256 - Digrama para o cálculo da pressão do molde pela espessura da peça (Rosato, et al., 2000).

### 3.12. Dimensionamento dos sistemas móveis

#### Movimentos laterais

Considerações:

- O movimento lateral vai entrar na peça cerca de 17 mm (Figura 258);
- É necessária a aplicação de guias com uma inclinação de 30 graus;
- O curso é de 22 mm (Figura 257).

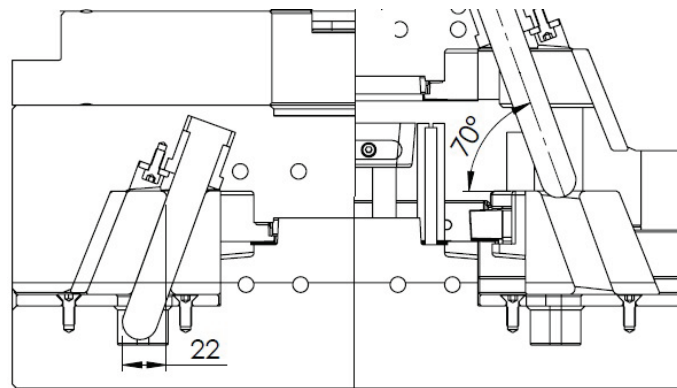


Figura 257 - Corte mostrando os movimentos no molde fechado e aberto.

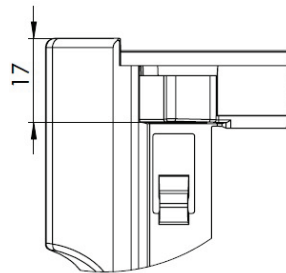


Figura 258 - O comprimento no qual o movimento sai da peça injectada.

#### Movimento de extracção

Considerações:

- O movimento vai entrar na peça cerca de 8.1 mm (Figura 259);
- É necessária a aplicação de guias com uma inclinação 20 graus;
- O curso deverá ser de 10.6 mm (Figura 259).

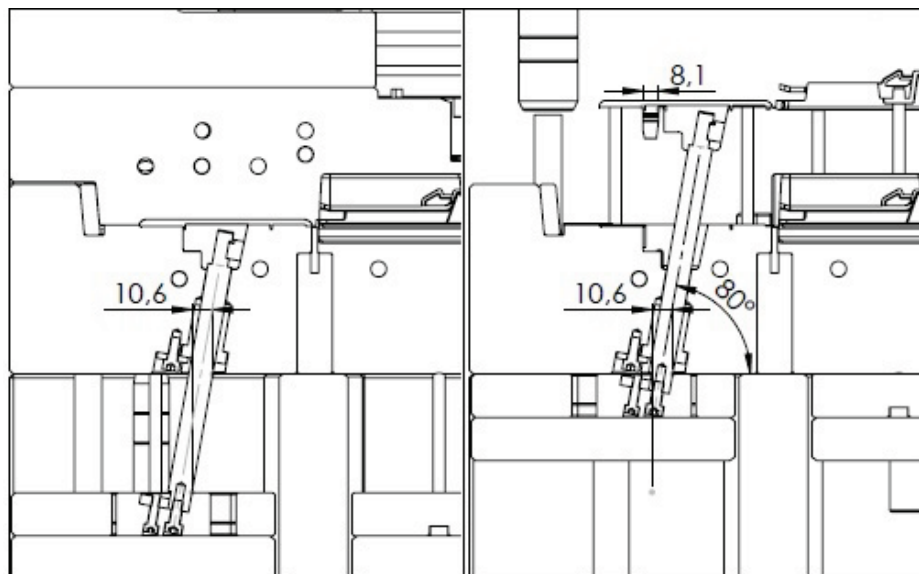


Figura 259- O movimento à extracção com o molde fechado e aberto.

### Dimensionamento da mola

A aplicação de molas debaixo das cabeças dos pernos de retorno permite que exista uma força que esteja constantemente aplicada, evitando alguma folga que exista na caixa de alojamento da cabeça do perno. Evita que o perno que danifique com o fecho do molde. Na Tabela 81 é indicado as características da mola.

Tabela 81 - Dados técnicos da mola LS16025.

Modelo	Ø do fio (mm)	D		L0	R	25,00% (ideal)		50% (máximo)	
		Alojamento Ø (mm)	Ø interno (mm)			Curso (mm)	Carga (N)	Curso (mm)	Carga (N)
LS16025	3.5x1.5	16	8.5	25	22.8	6.2	142	12.5	285

Considerações iniciais:

- A cabeça do perno de retorno deverá possuir 22 mm de diâmetro;
- O diâmetro do alojamento da mola terá que ser menor do que a cabeça do perno de retorno;
- A altura da placa 7 (extractora) deverá possuir 22 mm, na qual a altura do alojamento da mola comprimida terá que ser menor.

### Molde fechado

C<sub>fm</sub> - Comprimento da mola com o molde fechado (mm);

C<sub>am</sub> - Comprimento da mola com molde aberto (mm);

F<sub>fm</sub> - Força da mola com molde fechado (N);

F<sub>am</sub> - Força da mola com molde aberto (N).

$$C_{fm} = L_o - 10 = 25 - 10 = 15 \text{ mm}$$

$$F_{fm} = \text{Racio} * (L_o - C_{fm}) = 22.8 * 10 = 228 \text{ N}$$

Então, a altura do alojamento da mola na placa vai ser de 715 mm.

A força total das molas será 4 x 228 N, ou seja, 912 N.

### Molde aberto

- A altura da cabeça do extractor será de 7 mm;
- O alojamento da cabeça do extractor será de 10 mm.

$$C_{am} = C_{fm} + (10 - 7) = 15 + (10 - 7) = 18 \text{ mm}$$

$$F_{am} = \text{racio} * (L_o - C_{am}) = 22.8 * (25 - 18) = 156.9 \text{ N}$$

A força total das molas será 4 x 156.9 N, ou seja, 638.4 N.

### 3.13. Dimensionamento do sistema de arrefecimento

Seguidamente será efectuado o cálculo do tempo de arrefecimento da peça, sendo que às expressões foram extraídas da bibliografia (Rosato, et al., 2000) *“Injection Molding Handbook”*.

### Tempo de arrefecimento da peça

t - Tempo de arrefecimento (s);

h - Espessura da peça (m);

$\alpha$  - Difusão térmica do plástico (m<sup>2</sup>/s);

T<sub>f</sub> - Temperatura de fusão (K);

T<sub>m</sub> - Temperatura do molde (K);

T<sub>f</sub> - Temperatura de fusão (K);

T<sub>e</sub> - Temperatura de extracção (K).

$$t = \left( \frac{-h^2}{2 \alpha \pi} \right) * \ln \left[ \left( \frac{\pi}{4} \right) * \frac{(T_e - T_m)}{T_f - T_m} \right] \quad (43)$$

$$t = \left( \frac{-(2.5E - 3)^2}{0.096E - 6 * \pi^2} \right) * \ln \left[ \left( \frac{\pi}{4} \right) * \left( \frac{93 - 50}{230 - 50} \right) \right] = 17.34 \text{ s}$$

### Cálculo do caudal do fluido de arrefecimento

O cálculo do caudal do fluido de arrefecimento é obtido pelas fórmulas sendo que às expressões foram extraídas da bibliografia (Harada, 2004) “Moldes para injeção de termoplásticos”.

$$q = m[Cp * (t_1 - t_2) + L] \quad (44)$$

Onde:

q - Quantidade de calor a ser retirada (kcal/s);

m - Quantidade de material injectado por hora (kg/s);

C<sub>p</sub> - Calor específico do material plástico (kcal/kg °C);

t<sub>1</sub> - Temperatura de injeção do material (°C);

t<sub>2</sub> - Temperatura da ferramenta (°C);

L - Calor latente de fusão (kcal/kg).

Onde:

A quantidade de água para o arrefecimento é dada por:

$$m = \frac{q}{K*(t_s - t_e)} \quad (45)$$

Onde:

Q - Quantidade de água (kg/s);

t<sub>e</sub> - Temperatura de entrada (°C);

t<sub>s</sub> - Temperatura de saída (°C);

K - Coeficiente de eficiência.

Valores de K:

K = 0,64 (para circulação feita na cavidade ou no núcleo do macho)

M = 1.5x10<sup>-3</sup> kg/s

C<sub>p</sub> = 0.46 kcal/kg·°C

t<sub>1</sub> = 230°C

t<sub>2</sub> = 40°C

L = 23.9 kcal/kg

$$q = 1.5 \times 10^3 * (0.46 * (230 - 40) + 23.9) = 0.166 \text{ kcal/s (aprox. 695 J/s)}$$

$$Q = \frac{0.166}{0.64 * (27.5 - 25)} = 0.103 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 6.225 \text{ l/min}$$

### **3.14. Dimensionamento do sistema de ejeção das peças injectadas**

#### **Força de extracção**

Seguidamente é efectuado o cálculo da força de extracção, sendo que às expressões foram extraídas da bibliografia (DSM, 2005) da DSM.

Fe - Força de extracção (N);

St – Coeficiente de contracção térmica do plástico (mm);

U - Coeficiente de fricção entre plástico e metal;

D - Diâmetro do perímetro equivalente da área da cavidade (mm);

v - Coeficiente de *Poisson* do plástico;

t - Espessura da moldação (mm);

T<sub>1</sub> - Temperatura do fundido (K);

T<sub>2</sub> - Temperatura de extracção (K);

α - Coeficiente de expansão térmica (1/K);

A - Área da peça paralela à saída de extracção (valor obtido pelo *Solidworks*<sup>®</sup>) (mm<sup>2</sup>).

$$Fe = \frac{St * E * A * U}{d \left( \left( \frac{d}{2t} \right) - \left( \frac{d}{4t} \right) * v \right)} \quad (46)$$

$$P = 2 * (177.8 + 109) = 573.6 \text{ mm}$$

O valor do perímetro de 573.6mm é obtido pelo comprimento e largura da cavidade.

$$d = \frac{573.6}{\pi} = 182.7 \text{ mm}$$

$$St = \alpha * (T_1 - T_2) * d \quad (47)$$

$$St = 150E10^{-6} * (503 - 366) * 182.7 = 3.754 \text{ mm}$$

$$Fe = \frac{3.754 * 1530 * 3800 * 0.3}{182.7 \left( \left( \frac{182.7}{2t} \right) - \left( \frac{182.7}{4t} \right) * 0.385 \right)} = 1214.62 \text{ N}$$

Este será um valor de referência para o cálculo do dimensionamento dos extractores.

### Cálculo do diâmetro mínimo dos extractores

Seguidamente é efectuado o cálculo para o dimensionamento dos extractores, sendo que às expressões foram extraídas da bibliografia (Rosato, et al., 2000) “*Injection Molding Handbook*”.

$F_x$  - Força aplicada em cada extractor (N);

$E$  - Módulo de *Young* (210 GPa);

$L$  - Comprimento do extractor (mm);

$I$  - Momento de inércia à flexão ( $\text{mm}^4$ );

$m$  - Constante aplicada conforme as condições (Figura 100).

$$F_x = \frac{1546.73}{8} = 193.34 \text{ N}$$

$$F_x = \frac{m \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} \quad (48)$$

$$193.34 = \frac{1 \cdot \pi^2 \cdot 210E3 \cdot I}{160^2}$$

$$I = 2.39 \text{ mm}^4$$

$$I = \frac{\pi \cdot r^4}{4} \quad (49)$$

$$2.39 = \frac{\pi \cdot r^4}{4}$$

$$r = 1.32 \text{ mm}$$

Por questões funcionais e de fabricação, os extractores deverão ter um diâmetro mínimo de 6 mm, o que representa um valor bastante superior ao obtido pelo cálculo.

A peça vai ser sujeita a um esforço de corte por parte dos extractores. Então, vamos seguidamente verificar se a área da secção do extractor é suficiente para permitir a saída da peça sem a danificar.

- $A_c$  - Área de corte (mm);  
 $\sigma_r$  - Tensão de rotura do material (MPa);  
 $F_x$  - Força aplicada em cada extractor (N);  
 $H$  - Espessura da peça (mm);  
 $d$  - Diâmetro do extractor (mm).

$$A_c = d * \pi * h \quad (50)$$

$$A_c = 6 * \pi * 2.5 = 47.12 \text{ mm}^2$$

$$F_c = A_c * \sigma_r \quad (51)$$

$$F_c = 47.12 * 131 = 6172.72 \text{ N}$$

$$C_s = \frac{6172}{257.67} = 23.95$$

$$F_x (193.3 \text{ N}) \ll F_c (6172 \text{ N})$$

### Pernos de retorno

Seguidamente será efectuado o cálculo do dimensionamento dos pernos de retorno, sendo que às expressões foram extraídas da bibliografia (Rosato, et al., 2000) "*Injection Molding Handbook*".

- $F$  - Força (N);  
 $E$  - Módulo de Young (210 GPa);  
 $L$  - Comprimento do perno de retorno (mm);  
 $I$  - Momento de inércia à flexão ( $\text{mm}^4$ );  
 $m$  - Constante aplicada conforme as condições (Figura 100).

O cálculo será realizado assumindo a força máxima da mola, 285 N.

$$F = \frac{m \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} \quad (52)$$

$$285 = \frac{1 \cdot \pi^2 \cdot 210E3 \cdot I}{143^2}$$

$$I = 2.815 \text{ mm}^4$$

$$I = \frac{\pi \cdot r^4}{4} \quad (53)$$

$$2.815 = \frac{\pi \cdot r^4}{4}$$

$$r = 1.53 \text{ mm}$$

### 3.15. Processos de fabrico utilizados e respectiva seqüência de fabricação

A seqüência de fabricação a adoptar na produção do molde poderá ser analisada no fluxograma seguinte (Figura 260).

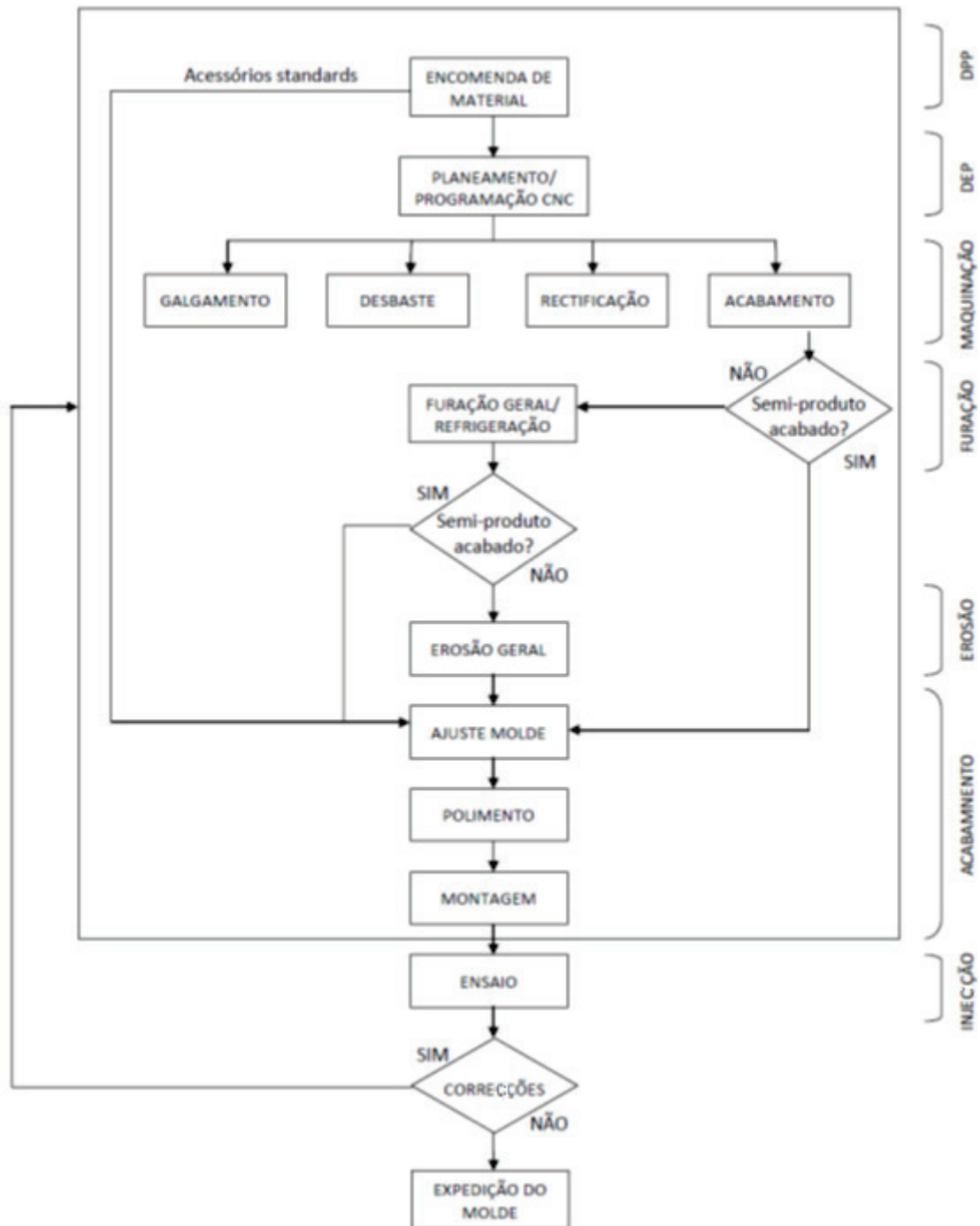
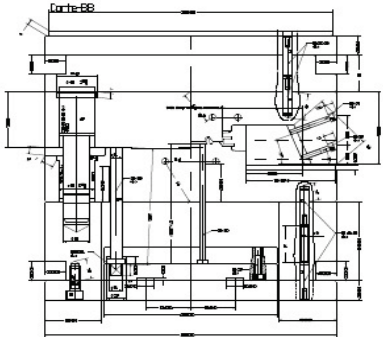
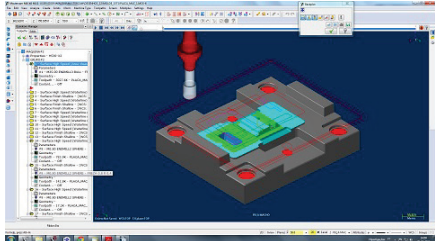



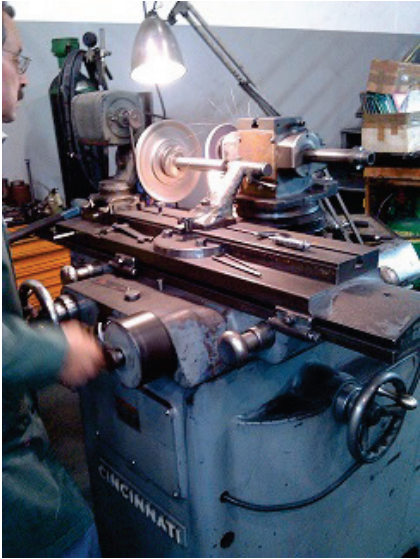



Figura 260 - Fluxograma do processo de fabrico.

Tabela 82 - Funções das secções envolvidas nas etapas de fabrico.

Secções	Observações	
DPP	No departamento de planeamento e produção, realiza-se um estudo do produto elabora-se o orçamento, elabora-se o desenho técnico da ferramenta e encomenda-se das matérias-primas e componentes normalizados, e é realizado o encadeamento do processo de fabrico.	 <p data-bbox="895 741 1358 770"><b>Figura 261 - Desenho da secção do molde</b></p>
DEP	No departamento de programação elabora-se a programação para fresagem e torneamento de eléctrodos, cavidades e todas as operações que sejam necessárias.	 <p data-bbox="970 1093 1278 1122"><b>Figura 262 - Mastercam CAE</b></p>
Maquinação	Nesta secção realizam-se todas as operações de maquinação como fresagem e torneamento para postigos, cavidades, eléctrodos, alojamentos etc.	 <p data-bbox="975 1480 1273 1509"><b>Figura 263 - Fresadora CNC</b></p>
Furação	Nesta secção realizam-se os furos, roscagem e escareamento para o alojamento de parafusos, canais de água e etc.	 <p data-bbox="959 2018 1292 2047"><b>Figura 264 - Furadora vertical.</b></p>

<p>Erosão</p>	<p>Nesta secção realizam-se as operações de erosão nas cavidades e em todos os elementos em que seja necessário este tipo de maquinação.</p>	 <p><b>Figura 265 - Máquina de electro-erosão.</b></p>
<p>Acabamento</p>	<p>Nesta secção realiza-se a rectificação de componentes e o polimento de cavidades, assim como o fecho e a montagem do molde.</p>	 <p><b>Figura 266 - Máquina de rectificação.</b></p>
<p>Injecção</p>	<p>Nesta secção realizam-se os ensaios para obtenção de produtos, com vista a detectar determinados defeitos no produto ou funcionamento da ferramenta.</p>	 <p><b>Figura 267 - Injectora 600H-110 60T.</b></p>

### 3.16. Estimativa de custos para o molde

O quadro seguinte pretende resumir a informação relativa ao custo de elaboração do molde em causa.

Tabela 83 - Estimativa do custo do molde.

Ref.	Descrição	Qtd	Dimensões (mm)			Material	Obs.	Peso (kg)	Custo uni. (€)	Custo (€)
1	Placa de encosto	1	346	26	396	1.1730		27,79	2,2	61,1311
2	Placa intermédia	1	346	48	396	1.1730		51,30	2,2	112,857
3	Placa cavidade	1	346	96	396	1.2738		102,60	5,5	564,287
4	Placa macho	1	346	96	396	1.2738		102,60	5,5	564,287
5	Calço	2	68	104	396	1.1730		21,84	2,2	96,1136
6	Placa extractora	1	206	22	394	1.1730		13,93	2,2	30,641
7	Placa aperto extractor	1	206	22	394	1.1730		13,93	2,2	30,641
8	Placa de encosto	1	346	26	396	1.1730		27,79	2,2	61,1311
9	Pilar	3		50	104	1,173		1,59	2,2	10,5071
10	Anilha central	1		125	25	1.1730		2,39	2,2	5,26196
11	Injector	1	SAS-22-VC-119-R19				Yudo		4500	4500
12	Guia principal	4	Z03/56/30X115				Hasco		11,45	45,8
13	Casquilho principal	4	Z11/56/30				Hasco		9,7	38,8
14	Guia extracção	4	Z03/27/18X105				Hasco		11,45	45,8
15	Casquilho extracção	4	Z10/27/18				Hasco		9,7	38,8

Ref.	Descrição	Qtd	Dimensões (mm)			Material (mm)	Obs.	Peso (kg)	Custo uni.(€)	Custo (€)
16	Casquilho guia do movimento	2	Z11/22/18				Hasco		9,2	18,4
17	Perno de retorno	4		14	160	1.2344	Nitr. 55/60	0,19	9	6,91262
18	Extractor	10		6	160	1.2344	Nitr. 55/60		1,9	19
19	Movimento	2	95	53	113	1.2738	Nitr. 55/60	4,44	4,2	37,2779
20	Corrediças	4	33	18	140	Ampco 18		0,62	20	49,5634
21	Tala deslize do movimento	2	106	6	139	AMPCO 18		0,66	20	26,3444
22	Tala ajuste do movimento	2	59	8	92	1.2311	Nitr. 55/60	0,34	4,2	2,85961
23	Tala travamento	4	27	8	32	1.2311	Nitr. 55/60	0,05	4,2	0,89904
24	Tala travamento	2	27	8	140	1.2311	Nitr. 55/60	0,23	4,2	1,96665
25	Almofada	4	72	10	72	1.2311		0,40	4,2	1,69828
26	Ficha eléctrica	1				9330242601	Harting		29	29
27	Ficha eléctrica	2				9330162601	Harting		24	48
28	Extractor movimento	2		12	125	Varão INA			1,4	2,8
29	Carrinho	2	28	22	48	Ampco 18		0,14	20	5,43466
30	Movimento à extracção	1	68	33	23	Molmax XL		0,17	45	7,78215
31	ko	1		53	48	1.1730		0,83	5,5	4,54067

Ref.	Descrição	Qtd	Dimensões (mm)			Material (mm)	Obs.	Peso (kg)	Custo uni.(€)	Custo (€)
32	Mola LIS16025	4					Bordignon	10	40	
33	Raccords RPL 08-1151	8					Staubli	2	16	
34	Retensor RC164008	4					Cumsa	11	44	
35	microswicth BNS-819-100-R-11	1					Balluff	30	30	
36	Limitador curso	1	43	20	20	1.2738		0,13	5,5	0,74
37	Fixação do microswicth	1	54	8	66	1.1730		0,22	2,2	0,5
38	Cavilha maciça	16	H6 Ø10X50			C1/C2	c/ rosca		1,75	28
39	Cavilha maciça	8	Ø6X35			C4	c/ rosca		0,6	4,8
40	Cavilha maciça	4	Ø8X20			C3	c/rosca		0,7	2,8
41	Guia do movimento.	2	Z 01/18X120				Hasco			0
42	Casquilho	2		23	27	Bronze		0,08	20	3,3
43	Tampão	24	1/8 BSPT						0,25	6
44	Barra fixação charneira.	1	112	61	18	1,173		0,95	2,2	2,2
45	Charneira	1	24	4	101	1.2738		0,08	5,5	0,41
46	Placa fixação ficha eléctrica.	1	150	12	67	1.1730		0,94	2,2	2,06
47	Placa fixação ficha eléctrica.	1	130	12	67	1.1730		0,82	2,2	1,79
48	Electroválvula 70 SOV35SESOO	1				1/ 4	Metalwork		70	70

Ref.	Descrição	Qtd	Dimensões (mm)			Material (mm)	Obs.	Peso (kg)	Custo uni.(€)	Custo (€)
49	Placa isolante	1						50	50	
50	Fixadores	7	10	5	54			0,02	2,2	0,32
51	Anilha do movimento.	4		16	3			0,005	2,2	0,041
52	Placa de protecção ficha eléctrica 24	1	150	44	67			3,45	2,2	7,59
53	Placa de protecção ficha eléctrica 16	1	130	42	67			2,85	2,2	6,28
54	Placa de protecção ficha eléctrica 16	1	150	42	67			3,29	2,2	7,24
52	Anilha do movimento à extracção	2		16	3			0,005	2,2	0,02
53	Placa fixação do extractor do mov.	1	10	8	54			0,03	2,2	0,074
54	Cavilha elástica	3	Ø3X						0,15	0,45
55	Tampão água	4	Z942/8				Hasco		2,5	10

Ref.	Descrição	Qtd	Dimensões (mm)	Material (mm)	Obs.	Peso (kg)	Custo uni.(€)	Custo (€)
P8	Parafuso cab/ cilíndrica	8	M8X25				0,16	1,28
P9	Parafuso cab/ cilíndrica	4	M6X16				0,1	0,4
P10	Parafuso cab/ cilíndrica.	6	M12X140				0,96	5,76
P11	Parafuso cab/ cilíndrica	4	M12X30				0,45	1,8
P12	Parafuso cab/ cilíndrica.	16	M6X12				0,1	1,6
P13	Parafuso cab/ cilíndrica	4	M6X16				0,1	0,4
P14	Parafuso cab/ cilíndrica	4	M4X16				0,1	0,4
P15	Parafuso cab/ cilíndrica	2	M4X16				0,1	0,2
P16	Parafuso cab/ cilíndrica	1	M6X25				0,1	0,1
P17	Parafuso cab/ cilíndrica	2	M4X25				0,1	0,2
P18	Parafuso cab/ cilíndric	6	M6X35				0,11	0,66
P19	Parafuso cab/ cilíndrica	4	M6X20				0,1	0,4
P20	Parafuso cab/ cilíndrica	4	M6X50				0,12	0,48
P21	Parafuso cab/ cilíndrica.	4	M6X35				0,11	0,44
P22	Parafuso cab/ cilíndrica	2	M5X16				0,1	0,2
P23	Parafuso cab/ cilíndric.	2	M4X16				0,1	0,2

Ref.	Descrição	Qtd	Dimensões (mm)			Material (mm)	Obs.	Peso (kg)	Custo uni.(€)	Custo (€)
P24	Parafuso cab/ cilíndrica	4	M5X12						0.1	0.4
P25	Parafuso cab/ cilíndrica	4	M6X16						0.1	0.4
P26	Parafuso cab/ cilíndrica	2	M6X16						0.1	0.2
P27	Parafuso cab/ cilíndrica	2	M4X12						0.1	0.2
P28	Parafuso cab/ cilíndrica	2	M6X25						0.1	0.2
P29	Parafuso cab/ cilíndrica	4	M4X16						0.1	0.4
P30	Parafuso cab/ cilíndrica	2	M4X35						0.1	0.2
P31	Parafuso cab/embutir	2	M4X12							0.2
	Grafite	1	346	346	50			10,77	50 €	538,7

**Custo da mão-de-obra associada à fabricação****Tabela 84 - Custo da mão-de-obra associada à fabricação.**

Ref.	Descrição	Qty	Dimensões (mm)			Material (mm)	Obs.	Tempo (horas)	Custo uni.(€)	Custo (€)
	Desenho						80	25	2000	
	Fresagem						80	25	2000	
	Torneamento						50	25	1250	
	Furação						40	25	2000	
	Rectificação						80	25	2000	
	Gravação						40	25	1000	
	Electro erosão						40	35	1400	
	CNC						120	40	4800	
	Bancada						140	25	3500	
	Tratamentos térmicos								300	
	Texturização								3000	
	Ensaio								500	
	Outros									
								Matérias-primas		7366
								Mão-de-obra		20950
								Subcontratação		3800
		Tempo	750	Horas						
			94	Dias						
								Valor Final	<b>EUR</b>	<b>25189</b>

### 3.17. Montagem final do molde

Na figura abaixo podemos observar uma vista explodida com todos os componentes do molde.

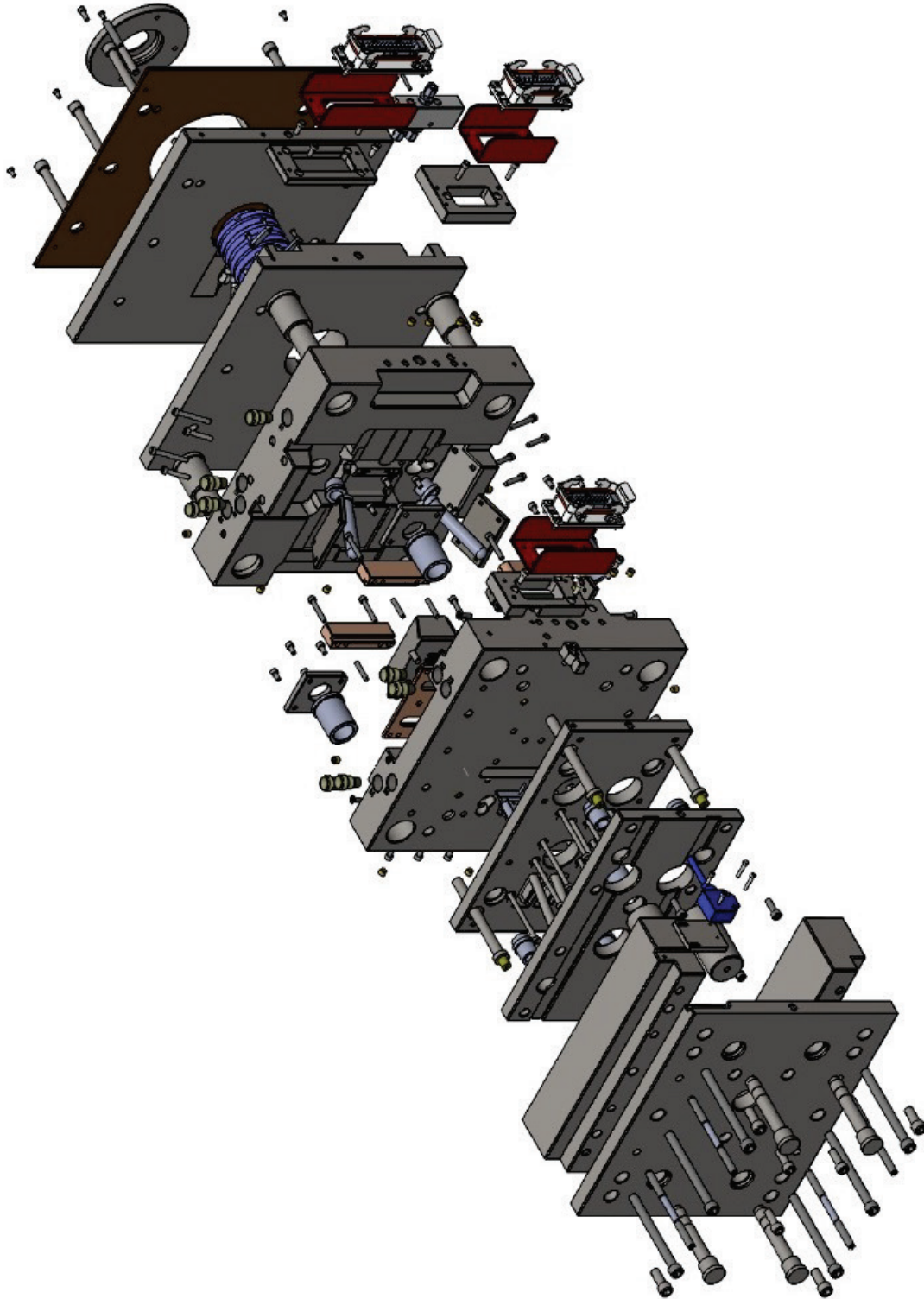
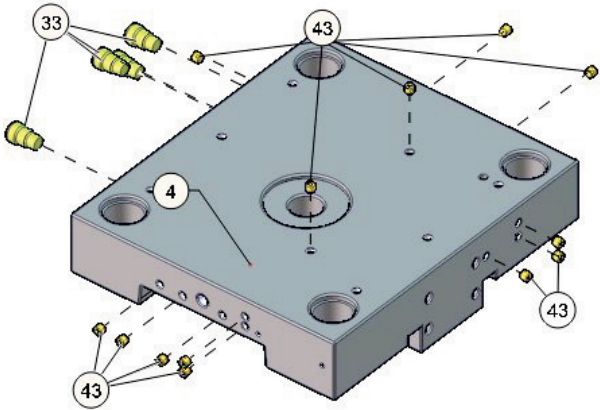
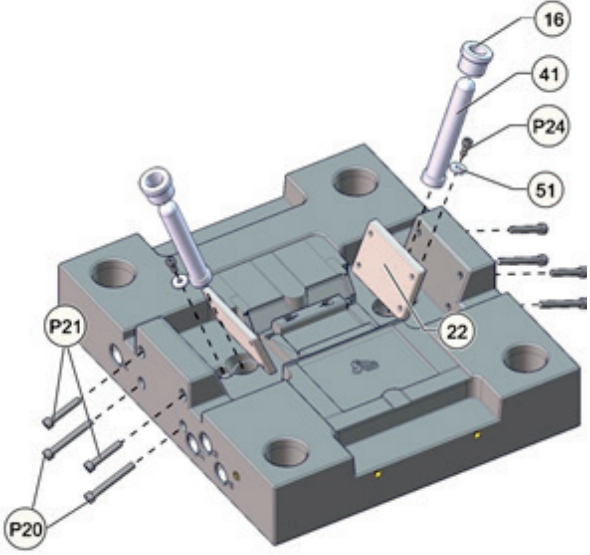


Figura 268 - Vista explodida do molde.

O molde é uma ferramenta constituída por um elevado conjunto de componentes que devem ser montados correctamente. Para facilitar esta montagem, podemos dividir o molde em duas partes, do lado da injeção e do lado da extracção. Seguidamente a Tabela 85 e Tabela 86 indicam essa montagem.

### Montagem do lado da injeção

Tabela 85 - Montagem do lado da injeção.

Montagem do lado da injeção	
<p>Colocar os tampões no interior dos canais de refrigeração da placa cavidade (3).</p> <p>Colocar os tampões nos terminais dos canais de água (43).</p> <p>Colocar os 'raccords' para as entradas e saídas de água (33).</p>	 <p><b>Figura 269 - Montagem do lado da injeção.</b></p>
<p>Colocar as duas talas de ajuste do movimento (22) na placa cavidade (3), as quais são fixas por parafusos (P20 e P21).</p> <p>Colocar as duas guias do movimento (41), seguidas dos casquilhos (16).</p> <p>Colocar duas anilhas (51) que são fixas por dois parafusos (24).</p>	 <p><b>Figura 270 - Montagem do lado da injeção.</b></p>

Colocar as 4 guias principais (12) na placa cavidade (3).

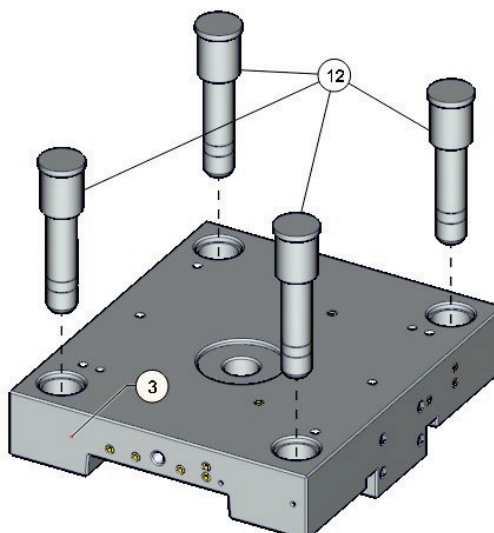


Figura 271 - Montagem do lado da injeção.

Colocar a placa intermédia (2) sobre a placa cavidade (3) e colocar duas cavilhas (C1).

Colocar o bico injetor (11) juntamente com os fios e tubos de ar nos rasgos da placa intermédia (2).

Colocar os fixadores que prendem os fios e os tubos de ar, que são fixos por parafusos (P31).

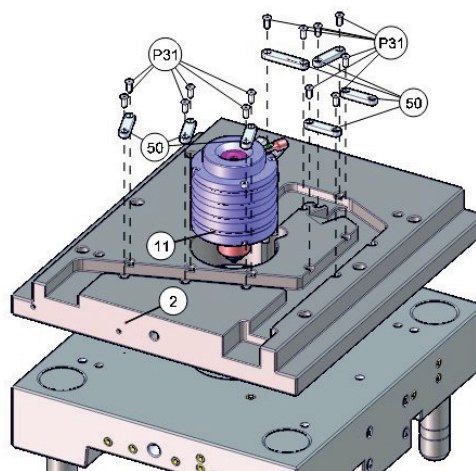


Figura 272 - Montagem do lado da injeção.

Colocar a placa de encosto (1) sobre a placa intermédia (2).

Colocar duas cavilhas C1.

Apertar as placas (1,2 e3) com os parafusos P2.

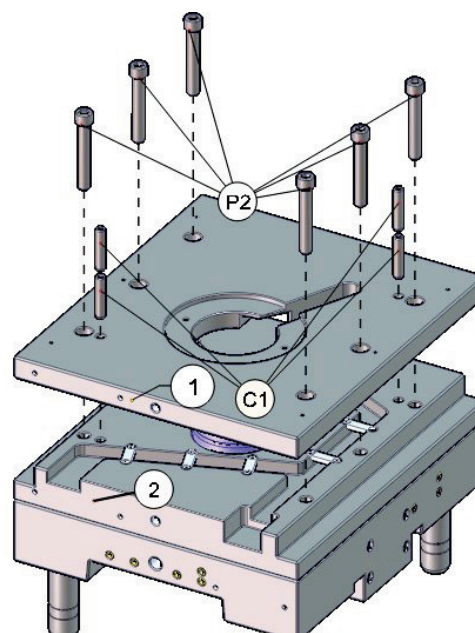


Figura 273 - Montagem do lado da injeção.

Colocar a anilha central (10) na placa de encosto (1), sendo apertada por parafusos (P1).

Colocar a placa de isolamento (49) sobre a placa de encosto (1), apertada por parafusos (P2).

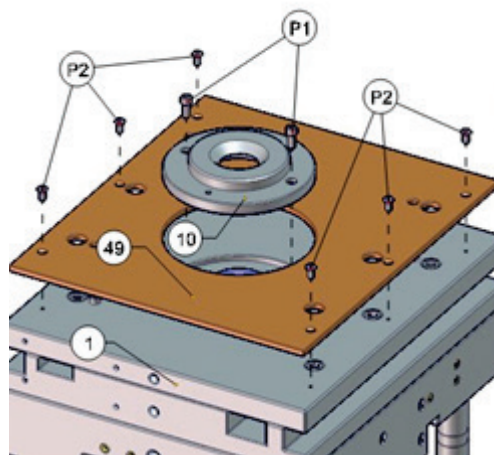


Figura 274 - Montagem do lado da injeção.

Colocar as placas 46 e 47 apertadas por parafusos P4 e P28, respectivamente.

Colocar as placas de protecção 52 e 53, juntamente com as fichas eléctricas 26 e 27 (com as ligações), que são fixas pelos parafusos P5 e P29, respectivamente.

Efectuar as ligações dos tubos de ar à válvula (48), e fixar a placa 47 por dois parafusos P30.

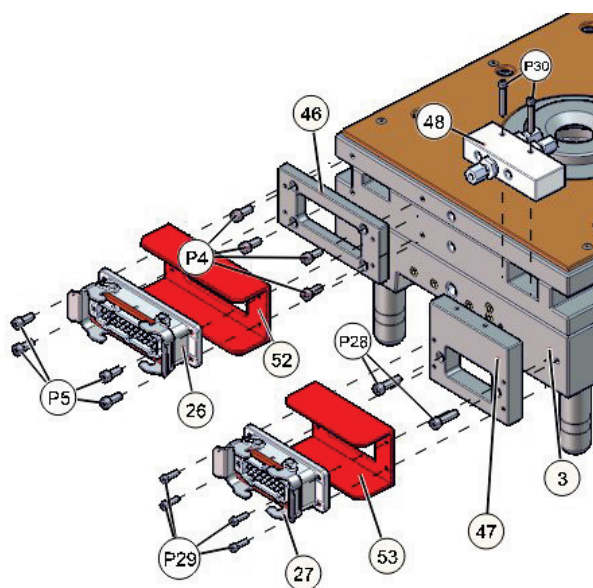
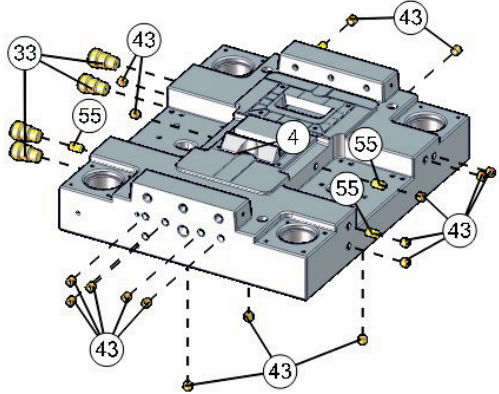
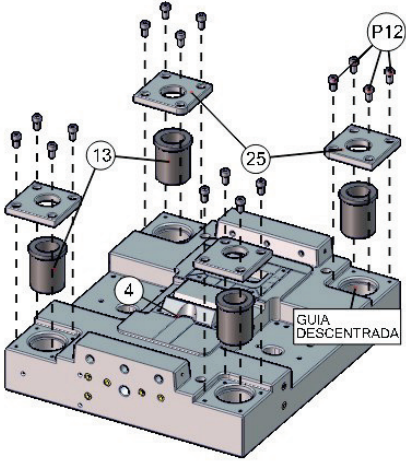
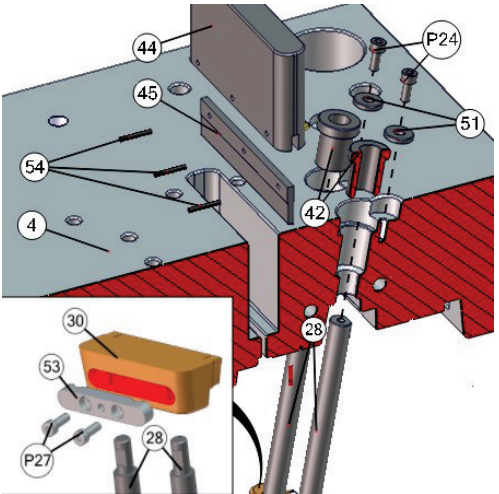


Figura 275 - Montagem do lado da injeção.

Tabela 86 - Montagem do lado da extracção.

Montagem do lado da extracção	
<p>Colocar os tampões no interior dos canais de refrigeração da placa macho (4).</p> <p>Colocar os tampões nos terminais dos canais de água (43).</p> <p>Colocar os 'raccords' para as entradas e saídas de água (33).</p>	 <p><b>Figura 276 - Montagem do lado da extracção.</b></p>
<p>Colocar os casquilhos (13) na placa-macho (4).</p> <p>Colocar as almofadas e fixá-las à placa-macho (4) através dos parafusos P12.</p>	 <p><b>Figura 277 - Montagem do lado da extracção.</b></p>
<p>Montar o movimento de extracção (30) nos dois extractores de movimento (28).</p> <p>Colocar a placa de aperto (53) no movimento de extracção (30) e fixá-la através de parafusos (P27).</p> <p>Colocar os casquilhos (42), seguidos das anilhas (51).</p> <p>Colocar os extractores de movimento nos casquilhos (42).</p> <p>Colocar a charneira (45) na barra de fixação (45). Inserir as cavilhas elásticas (54) na charneira (45) e barra de fixação (44).</p>	 <p><b>Figura 278 - Montagem do lado da extracção.</b></p>

Apertar os carrinhos (29) aos extractores (28) através de parafusos (P22).

Colocar as anilhas (52) nos carrinhos apertadas por parafusos (P23).

Colocar os pernos de retorno (17) na placa extractora e placa macho (4).

Colocar os extractores (18).

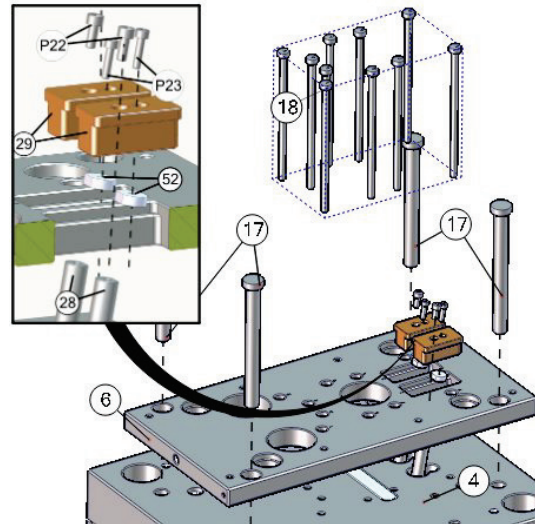


Figura 279 - Montagem do lado da extracção.

Colocar as molas (32), os casquilhos (15) e KO (31) na placa de aperto de extracção (7).

Juntar a placa de aperto de extracção à placa de extracção (7) e apertá-las com parafusos (P8).

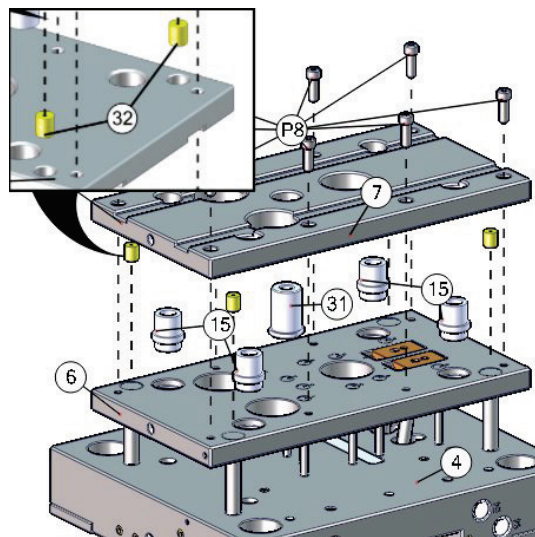


Figura 280 - Montagem do lado da extracção.

Posicionar calços (5) e pilares (9) com a placa-macho (4).

Colocar as cavilhas (C2 e C5).

Posicionar a placa-encosto (8) com os calços (5).

Apertar os pilares (9) à placa de encosto (8) através de parafusos (P7).

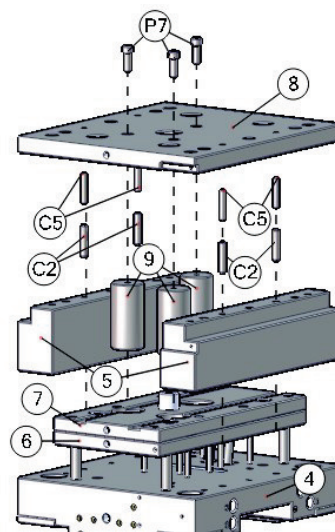


Figura 281 - Montagem do lado da extracção.

Colocar as cavilhas (C2) na placa de encosto (8).

Colocar as guias da extracção (14) nas placas de encosto (8) e de extracção (6 e 7).

Apertar os calços (5) à placa de encosto (8) com parafusos (P11).

Apertar calços (5) e placa de encosto (8) com parafusos (10).

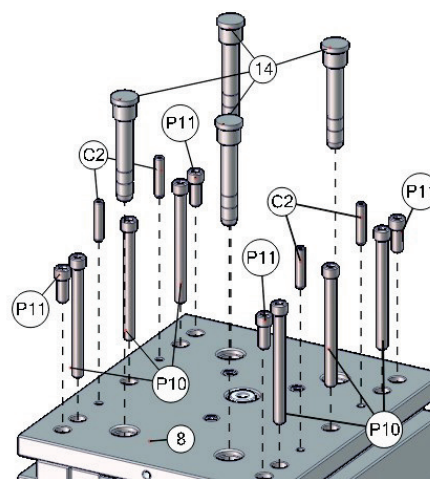


Figura 282 - Montagem do lado da extracção

Fixar talas de travamento (24) à placa-macho (4) com parafusos (P18).

Fixar talas de travamento (23) à placa-macho (4) com parafusos (P19).

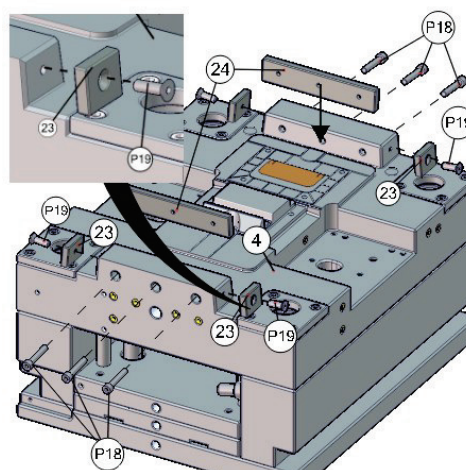


Figura 283 - Montagem do lado da extracção.

Colocar as cavilhas (C3) na placa-macho (4).

Fixar as talas de deslizamento (21) através dos parafusos (P25).

Fixar os retentores (34) aos movimentos (19) com os parafusos P9.

Colocar os movimentos (19) na placa-macho (4).

Posicionar as corrediças (20) na placa-macho (4) e nos movimentos.

Colocar as cavilhas (C4) nas corrediças (20) e placa-macho (4).

Fixar as corrediças (20) com os parafusos P6 a placa-macho (4).

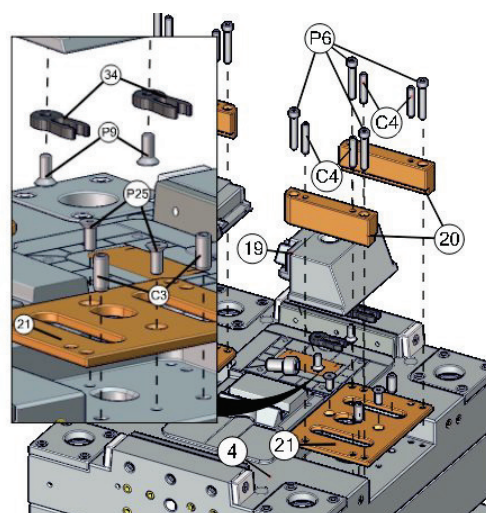


Figura 284 - Montagem do lado da extracção.

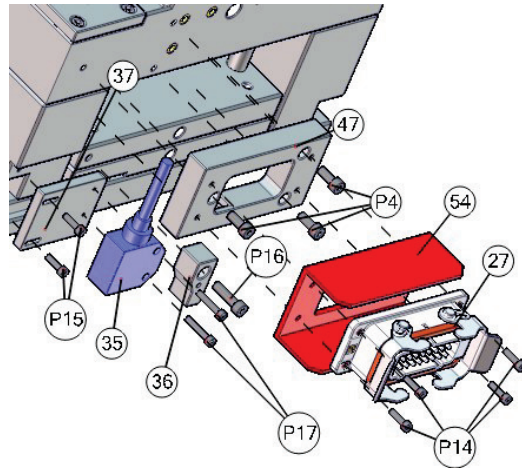
Fixar a placa 37 ao calço (5) com os parafusos P15.

Fixar 'microswitch' (35) à placa (37) com os parafusos P17.

Fixar limitador de curso (36) à placa extractora (6) com os parafusos P16.

Fixar placa (47) com os parafusos P4.

Fixar a placa de protecção (54) e ficha eléctrica (27) com os parafusos P14.



**Figura 285 - Montagem do lado da extracção.**

### Fecho do molde

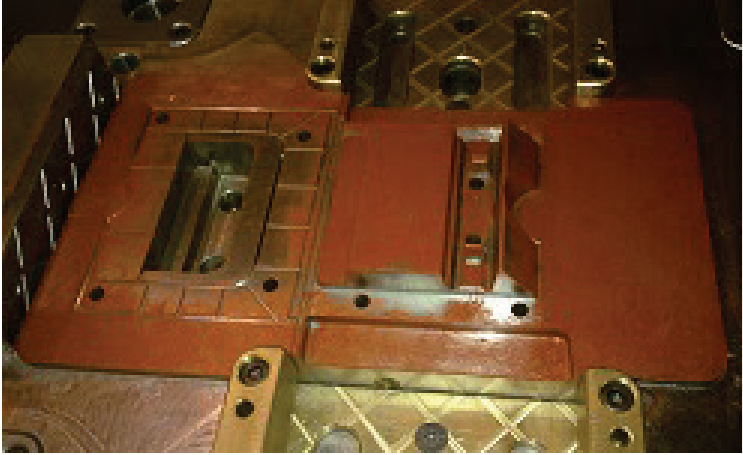
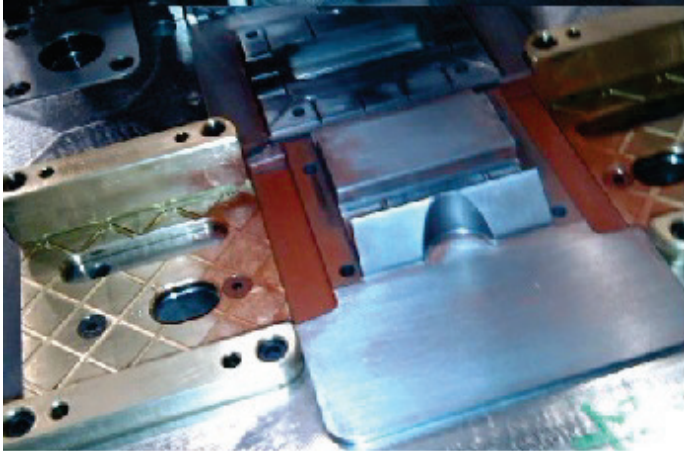

O fecho de molde é uma das fases mas demoradas na montagem do molde, na qual se procede aos ajustes necessários para o bom funcionamento da ferramenta, de forma a evitar rebarbas e defeitos na peça. Esta etapa é caracterizada por ser muito minuciosa e efectuada exclusivamente de forma manual, sendo que algum erro nesta etapa pode induzir defeitos na peça (aumento de rebarbas ou desencontros), o que implicará e elevados custos de reparação do molde.

Nesta fase:

- Verificam-se possíveis desencontros entre cavidades e procede-se às alterações necessárias;
- Verificam-se as superfícies de vedação e procede-se às alterações necessárias.

Na tabela abaixo é indicado algumas das etapas para o fecho do molde.

**Tabela 87 - Aspectos gerais do fecho do molde.**

<b>Aspectos gerais</b>	
<p>Colocação de tinta nas superfícies de vedação do lado da extracção proceder ao fecho do molde e verificar se está pintado uniformemente nas placas da cavidade.</p>	 <p><b>Figura 286 - Colocação de tinta.</b></p>
<p>Colocação de tinta nas superfícies de vedação dos movimentos e verificar se está pintado uniformemente.</p>	 <p><b>Figura 287 - Colocação de tinta.</b></p>
<p>A rectificação de alguns componentes do molde (talas de deslizamento e travamento, almofadas, etc.) permitirá o adequado contacto entre as superfícies.</p>	 <p><b>Figura 288 - Rectificação.</b></p>

Rectificação manual para retirar algum material que ficou da fresagem.



**Figura 289 - Rectificação manual.**

Polimento da cavidade do molde que é realizada através de pedras abrasivas e lixa de diferentes graus para diminuir drasticamente a rugosidade final.



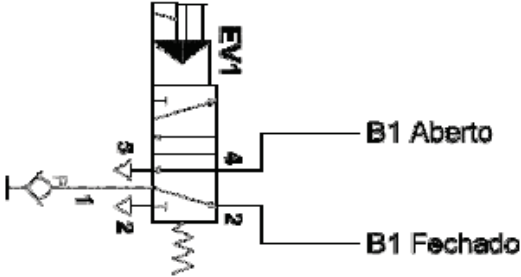

**Figura 290 - Polimento manual.**

### 3.18. Ligações eléctricas do molde

Seguidamente é mostrado o esquema eléctrico do molde.

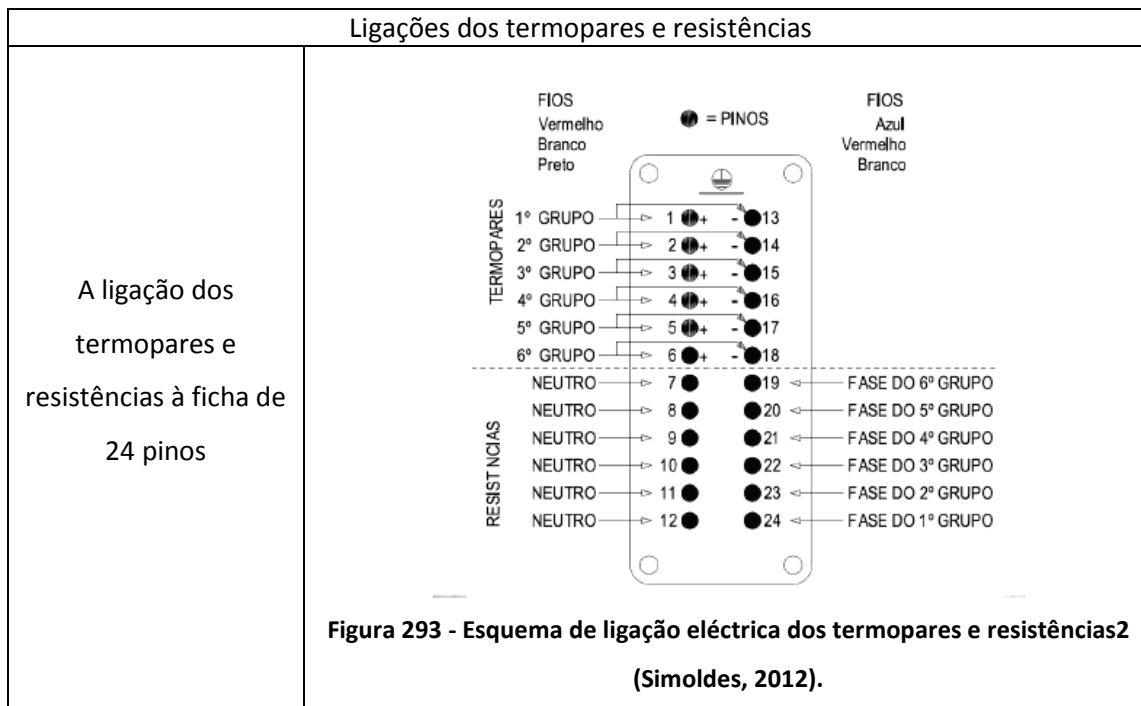
O bico injector é ligado à uma válvula para ser controlado a sua abertura. A válvula por sua vez é liga a uma ficha eléctrica para ser controlada pela injectora (Tabela 88).

**Tabela 88 - Ligações do bico valvulado.**

Ligações do bico valvulado.	
<p>Electroválvula tipo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 posições e 5 vias</li> <li>- Bobine de 24 DC</li> </ul>	 <p>Figura 291 - Esquema de ligação da válvula 5/2 (Simoldes, 2012).</p>
<p>Ficha <i>Harting</i> de 16 pinos</p> <p>Vista do lado da fêmea</p>	 <p>Figura 292 - Esquema de ligação eléctrica da válvula2 (Simoldes, 2012).</p>

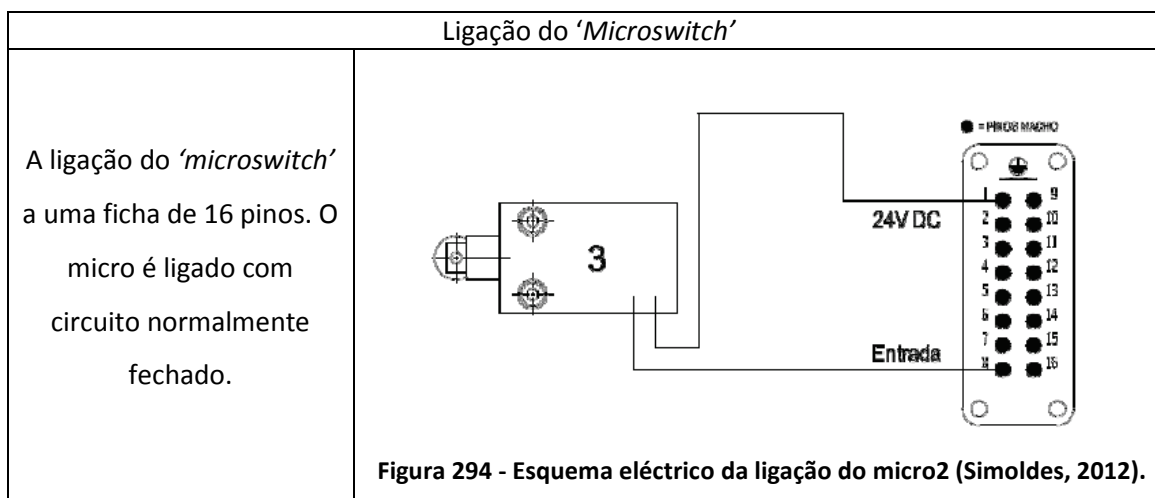
As resistências eléctricas e termopares do bico são ligados a uma ficha para ser controlado pela injectora (Tabela 89).

**Tabela 89 - Ligações dos termopares e resistências.**



O ‘Microswitch’ é ligado a uma ficha eléctrica de 16 pinos, para que a injectora receba o sinal deste (Tabela 90).

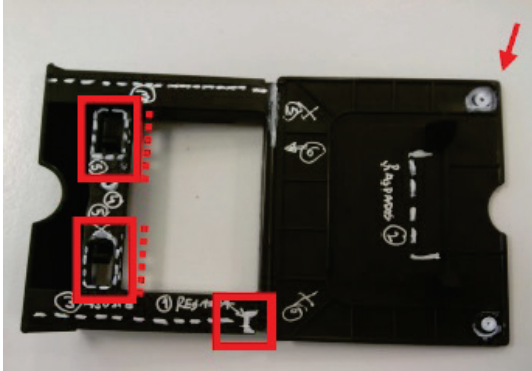
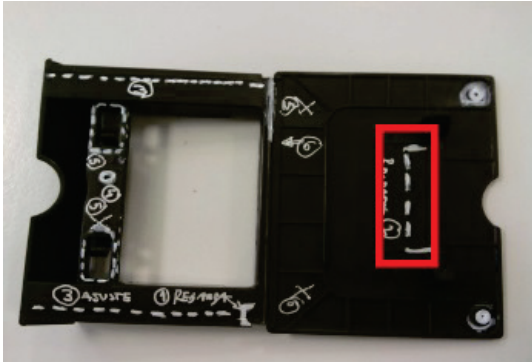
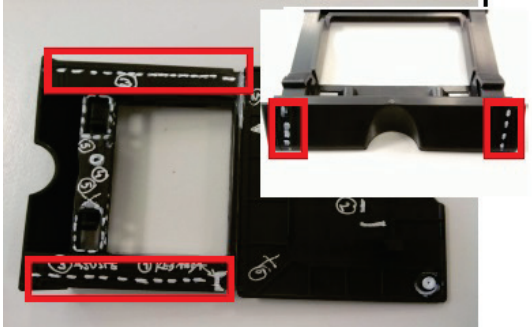
**Tabela 90 - Ligação do ‘Microswitch’.**

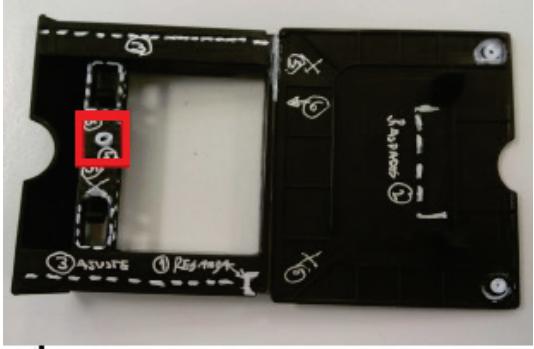
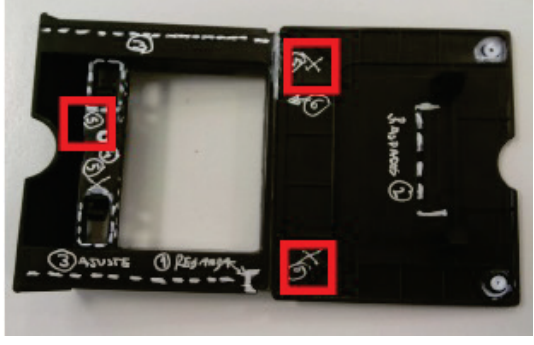
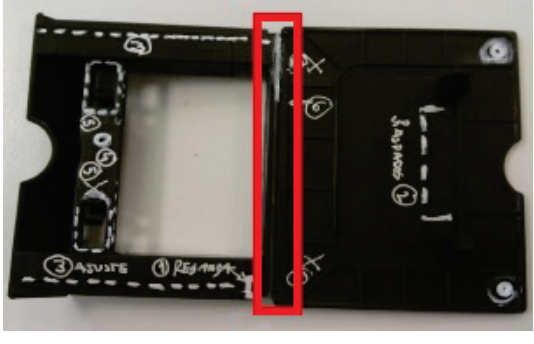
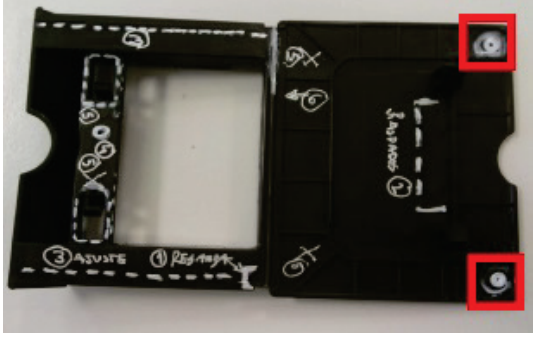




### 3.19. Teste do molde

O molde é ensaiado após a sua montagem. Este ensaio pretende verificar possíveis defeitos, localizando-os para posterior correcção. Seguidamente, a Tabela 91 indica esses defeitos.

**Tabela 91 - Considerações retiradas do teste do molde.**

	Observações	
1	Rebarba na junta e aberturas.	 <p data-bbox="836 1003 1331 1032">Figura 295 - Localização de rebarba na peça.</p>
2	Raspados devido ao movimento de extracção.	 <p data-bbox="836 1460 1331 1489">Figura 296 - Localização de raspados na peça.</p>
3	Falta de ajuste do molde com elementos móveis.	 <p data-bbox="836 1883 1331 1962">Figura 297 - Localização de desencontros na peça.</p>

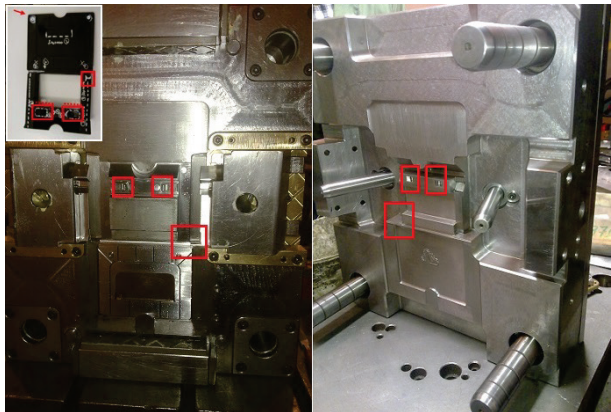
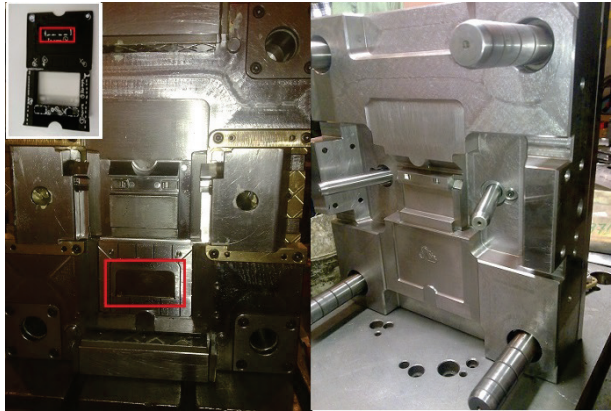
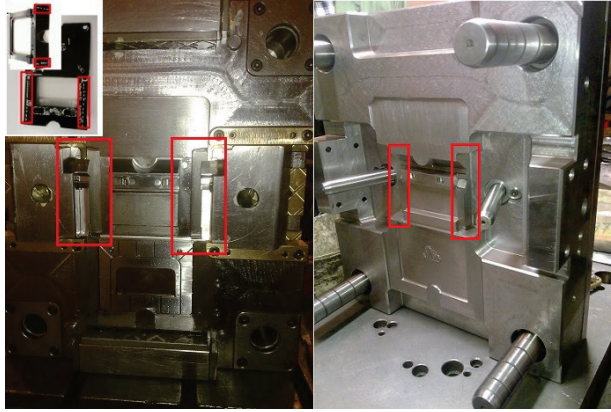
4	Presença de uma marca.	 <p>Figura 298 - Localização da marca na peça.</p>
5	Extractores ligeiramente enterrados (Figura 299).	 <p>Figura 299 - Localização dos extractores enterrados na peça.</p>
6	A espessura da charneira é demasiado fina. Problemas de quebra ou falta de enchimento.	 <p>Figura 300 - Localização da espessura da charneira na peça.</p>
7	Distorção depois da montagem da peça.	 <p>Figura 301 - Localização da distorção na peça.</p>

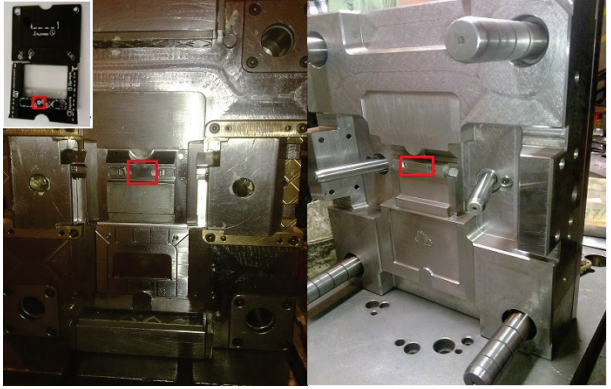
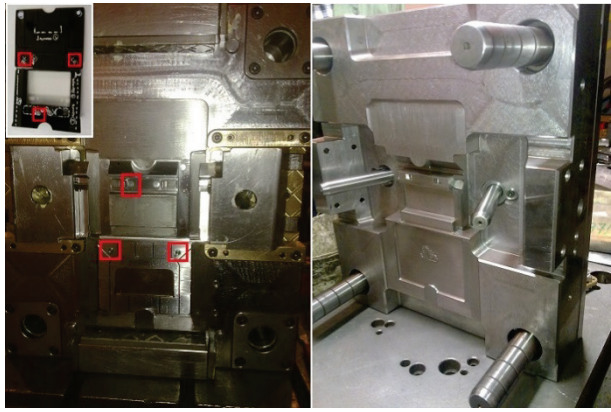
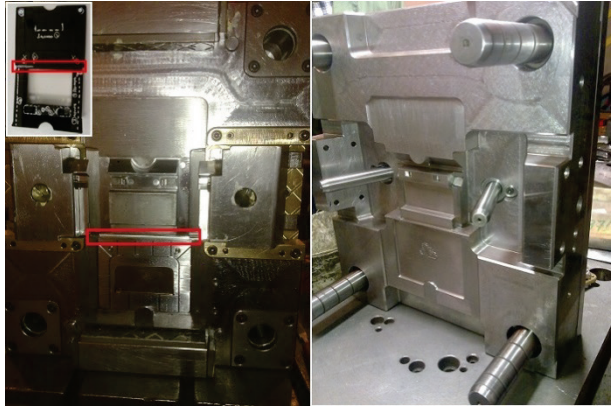

8	Queimados/acumulação de gases.	 <p>Figura 302 - Localização de queimados na peça.</p>
9	Falta de polimento na zona visível.	 <p>Figura 303 - Localização da falta de polimento.</p>
10	Ficar presa do lado da injeção.	 <p>Figura 304 - Localização onde fica presa a peça</p>

### 3.20. Acções de correcção implementadas e respectivos resultados

O molde, após o ensaio, é desmanchado e efectuam-se as alterações e correcções que são descritas na Tabela 92.

Tabela 92 - Acções correctivas.

	Acções correctivas	
1	Melhorar o ajuste através de uma conformação plástica do material (encalcamento) e remoção de algum excesso de material.	 <p data-bbox="758 981 1315 1014">Figura 305 - Localização das correcções no molde.</p>
2	Remoção de algum excesso de material que impeça o ajuste do movimento à extracção, e polimento do mesmo.	 <p data-bbox="758 1489 1315 1523">Figura 306 - Localização das correcções no molde.</p>
3	Esta etapa correctiva exige a alteração da geometria dos elementos móveis. Efectua-se a transferência de superfícies dos elementos móveis para a placa cavidade. Seguidamente vão ser descritos os passos dessa alteração na Tabela 93.	 <p data-bbox="758 1998 1315 2031">Figura 307 - Localização das correcções no molde.</p>

4	<p>Reparação das causas que levam ao aparecimento de uma marca.</p>	 <p><b>Figura 308 - Localização das correcções no molde.</b></p>
5	<p>Rectificação dos extractores.</p>	 <p><b>Figura 309 - Localização das correcções no molde.</b></p>
6	<p>Fresar a charneira com o objectivo de aumentar a espessura em 0.2mm.</p>	 <p><b>Figura 310 - Localização no molde das correcções.</b></p>
7	<p>Remover temporariamente dois extractores localizados na área assinalada.</p>	 <p><b>Figura 311 - Localização das correcções no molde.</b></p>

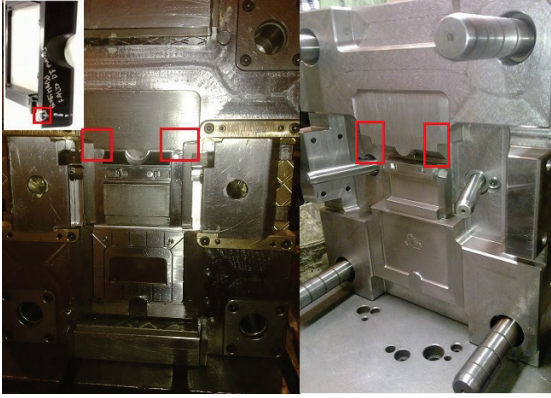

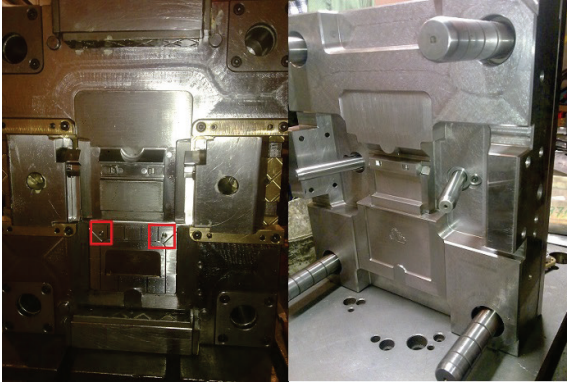
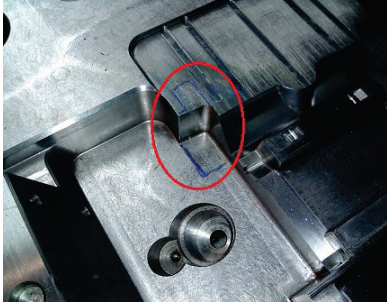
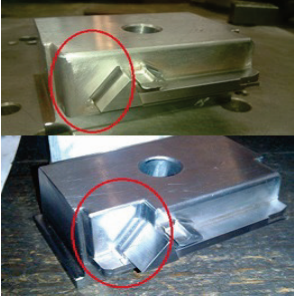
8	Colocar fugas de gases mais próximos da área queimada.	 <p>Figura 312 - Localização das correcções no molde.</p>
9	Melhorar o polimento geral da cavidade.	 <p>Figura 313 - Polimento manual.</p>
10	Aplicação de golas, nas cabeças dos extractores.	 <p>Figura 314 - Localização das correcções no molde.</p>

Tabela 93 - Alteração da geometria dos movimentos.

Observações	
<p>A alteração dos movimentos implica a sua alteração na placa 3 da ferramenta, na zona indicada.</p>	 <p><b>Figura 315 - Localização das correcções no molde.</b></p>
<p>Maquiagem do alojamento dos postigos na placa 3, um para cada elemento móvel. Este elemento vai entrar justo, sendo soldado a laser nas arestas de contacto das superfícies.</p>	 <p><b>Figura 316 - Localização das correcções no molde.</b></p>
<p>Através da fresagem, cria-se a geometria necessária.</p>	 <p><b>Figura 317 - Localização das correcções no molde.</b></p>
<p>Os elementos móveis são alterados através do processo de fresagem, no qual retiramos material que está a mais, e cria-se as juntas de vedação e as superfícies da cavidade.</p>	 <p><b>Figura 318 - Localização das correcções no movimento lateral.</b></p>

## 4. Conclusões

A elaboração de um molde de injeção é necessária para a obtenção de uma elevada cadência de peças plásticas a um custo reduzido. Esta cadência depende da complexidade da geometria, do seu volume, do material a injectar e da qualidade exigida.

Na elaboração do molde, a geometria da peça define a estrutura do mesmo, o seu tamanho, aplicação de elementos móveis e de extracção. Contudo, devemos respeitar os parâmetros e requisitos do cliente. Neste caso, o uso de elementos móveis e de extracção aumenta o custo da ferramenta, devido ao aumento de componentes e tempo de fabrico. Os requisitos do cliente acompanham toda a elaboração da ferramenta, a esta já está atribuída a uma dada injectora, a qual tem uma distância entre colunas de 320 x 370 mm<sup>2</sup> e uma força de fecho de 60 toneladas, que deverá ser respeitada, assim como o local da injeção e características de alguns componentes. Os processos de fabrico influenciam a construção da ferramenta, tendo em conta as limitações e disponibilidade dos mesmos. Os esforços e desgaste limitam a vida útil do molde. No entanto, a aplicação de uma concepção que seja resistente aos esforços beneficia o funcionamento da ferramenta e evita defeitos que possam aparecer na peça. Contudo, o molde deve ser conjugado com o controlo de custos, pelo que se torna necessária a aplicação de uma multiplicidade de materiais, com diferentes custos, mas que apresentam as propriedades requeridas. No fabrico do molde, a aplicação de uma multiplicidade de processos de fabrico como a fresagem, torneamento, furação e electro-erosão, torna-se necessária para a obtenção da geometria final da peça e da ferramenta. Mas, no final, torna-se sempre necessário um trabalho de bancada para fechar o molde e diminuir o aparecimento de rebarbas ou defeitos na peça.

O estudo através do *'Modflow'* previne defeitos no produto e define os parâmetros de injeção, o que permite um maior controlo e diminuição do custo do molde, assim como melhorar a produção. No início do estudo, são necessárias informações e parâmetros de injeção do material a as características da máquina injectora, entre outras. Com estas informações, definimos os parâmetros iniciais de trabalho no *'Moldflow'*. Ao fazer o comparativo entre as três simulações e usada a simulação 1 como referência, com um tempo de enchimento de 3.5 segundos, a temperatura do molde é de 50°C e temperatura de injeção de 230°C. O *'Moldflow'* estima um tempo de ciclo de aproximadamente 36 segundos, com uma pressão máxima de 13.8 MPa. Para a simulação 2 foi estipulada uma temperatura para o molde de 45°C e na simulação o caudal de enchimento passou de 16.5 cm<sup>3</sup>/s para 30 cm<sup>3</sup>/s. Na

simulação 2 verificou-se um aumento do tempo de ciclo e na simulação 3 o tempo de ciclo pouco variou em relação à simulação 1, mas a força de fecho aumentou. A alteração dos dois parâmetros provoca um aumento do consumo de energia e um ciclo de trabalho mais longo, o qual é prejudicial para a produtividade.

O orçamento do molde visou o custo dos materiais (aços, ligas de cobre e grafite), componentes normalizados (bico, guias e casquilhos), custo/hora das máquinas e custo laboral. A estimativa do custo/hora das máquinas e laboral não são exactos e estão ligados directamente ao tamanho e complexidade que apresenta o molde. A experiência e uma análise comparativa com outros projectos permitem uma aproximação a este custo. No final, o valor do orçamento não deve estar muito desfasado, para não ter um valor demasiado alto e perder a encomenda, ou não ser demasiado baixo e provocar prejuízo no fabricante do mesmo.

No que respeita ao ensaio efectivo do molde, as primeiras peças obtidas apresentavam defeitos (raspados, marcas e rebarbas), o que levou a um conjunto de modificações e rectificações. Estas aumentam o tempo de fabrico do molde e, conseqüentemente, o seu custo.

O projecto de um molde de injeção começa pela peça/desenho fornecido pelo cliente e termina com a obtenção de peças idênticas à fornecida. Mas a sua fabricação apresenta inúmeras etapas e ao longo destas a relação entre os custos, qualidade e requisitos do cliente tem que estar sempre presente.

## 5. Bibliografia e outras fontes de informação

### 5.1. Bibliografia

**Albuquerque, Jorge A.C. 1990.** *O plástico na prática*. Porto Alegre: Sagra, 1990.

**Amato, Mario. 2004.** *Ferramenteiro de Moldes para Plástico*.: SENAI.

**Barra, Guilherme. 2012.** Parte 1: Fundamentos de Reologia de Materiais Poliméricos.

**Bayer. 2000.** *Part and Mold Design - A Design Guide*.

**Canevarolo Jr., Sebastião V. 2006.** *Ciência dos Polímeros*. São Paulo: Artliber Editora, Ltda.

**Cavaco, Ismael e Ávila, Paulo. 2009.** Capítulo 1 - Tipologia dos Sistemas de Produção. *Planeamento e Programação da Produção*.

**Cruz, Sérgio. 2002.** *Moldes de Injecção - Termoplásticos, Zamak, Alumínio e Sopro*. 2ª Edição. Curitiba: Hemus.

**Domingues, Rafael Ulysses. 2012.** Especificação Técnica para Orçamento, Projeto e Construção de Moldes de Injecção de Termoplásticos, Sorocaba: Faculdade de Tecnologia de Sorocaba.

**DSM. 2005.** *Design Guide - Performance and Value With Engineering Plastics*.

**Glanvill, A.B. e Denton, E.N. 1994.** *Princípios Básicos e Projectos - Moldes de Injecção*. São Paulo: Edgard Blucher Ltda.

**László, Bardócz, László, Sors e István, Radnóti. 2002.** *Plásticos Moldes & Matrizes*. 2ª Edição. São Paulo: Hemus.

**Mano, Eloisa Biasotto. 1991.** *Polímeros como Materiais de Engenharia*. 2ª Edição. São Paulo: Edgard Blucher Ltda.

**Marczak, Prof. Rogério José. 2004.** *Polímeros como Materiais de Engenharia*. Porto Alegre.

**Menges, Georg; Michaeli, Walter; Mohren, Paul. 2000.** *How to make injection molds*. 3ª Edição, Hanser. Munich.

**Miranda, Jackson Roberto de. 2005.** *Simulação de injeção - Moldflow.*: SOCIESC – ESCOLA TÉCNICA TUPY.

**Petry, André. 7/2011.** *Mercado Brasileiro de Polipropileno com Ênfase no Sector Automobilístico*. Porto Alegre: UFRGS.

**Reis, António. 2013.** *Fundamentos de Reologia de Polimeros de Processamento - Moldação por injeção*.

**Rosato, Dominick V., Rosato, Donald V. e Rosato, Marlene G. 2000.** *Injection molding handbook - 3rd ed.* 2ª Edição. Norwell, Massachusetts: Kluwer Academic Publishers. ISBN 0-7923-8619-1.

**Silva, Sérgio Luis. 2009.** *Sistémica para o Projeto do Sistema de Refrigeração de Moldes para a Injeção de Polímeros*. Florianópolis.

**Simoldes. 2012.** *CEM - Caderno de Encargos de moldes*. 2012.

**Stoeterau, Rodrigo Lima. 2007.** *Usinagem com Ferramentas de Geometria Definida*. São Paulo: EPUSP.

**Teixeira, João, et al. 2011.** *Aplicação de OPT na Indústria de fabrico de moldes para injeção de plásticos*. Porto.

**Vendramim, J.C. e Enokibara, F. 2008.** *Considerações sobre a vida útil de moldes para fundição de alumínio sob pressão*.

**Vieira, Francisco, et al. 2010.** *Materiais usados na concepção de um automóvel*. FEUP, Porto.

**Yoshida, Shun. 2004.** *Seleção de aços, tratamentos térmicos e tratamentos de superfície para moldes de injeção de plásticos*, s.l.: BRASIMET.

## 5.2. Outras fontes de informação

**Alibaba.** [Online] [Citação: 6 de 5 de 2013.] <http://portuguese.alibaba.com/products/auto-fuel-tank.html>.

**Alibaba.** smc heavy duty truck painel frontal. [Online] [Citação: 6 de 4 de 2013.] <http://portuguese.alibaba.com/product-gs/smc-heavy-duty-truck-front-panel-512193687.html>.

**Balluf.** Posicionamento, identificação, inspeção e medição. [Online] [Citação: 10 de 10 de 2013.] <http://www.la2p.pt/engine.php?cat=92>.

**Blog do Plástico. 2013.** Poliamida da BASF é usada pela primeira vez em suporte de motor automotivo. [Online] 26 de 03 de 2013. <http://blogdoplastico.wordpress.com/2013/03/26/poliamida-da-basf-e-usada-pela-primeira-vez-em-suporte-de-motor-automotivo/>.

**Blog do Plástico. 2013.** Resina de Polieterimida da SABIC é usada em faróis de neblina do Novo Golf na Europa. [Online] 11 de 9 de 2013. <http://blogdoplastico.wordpress.com/2013/09/11/resina-de-polieterimida-da-sabic-e-usada-em-de-farois-de-neblina-do-novo-golf-na-europa/>.

**Chasque.** Aplicações da Reologia no Processamento de Polímeros. [Online] [Citação: 8 de 5 de 2013.] <http://www.chasqueweb.ufrgs.br/~ruth.santana/reologia/P%C3%A1ginas/10.%20Aplicacao.html>.

**CUMSA.** Slide Retainer. [Online] <http://www.cumsa.com/productos.asp?col=2&col2=4&code=139>.

**Docstoc.** Moldação-injecção. [Online] [Citação: 3 de 2 de 2013.] <http://www.docstoc.com/docs/111446873/moldagem-injecao>.

**Ebah.** Fundamentos de projetos de ferramentas . [Online] [Citação: 10 de 10 de 2013.] <http://www.ebah.com.br/content/ABAAe1RMAK/apostila-moldes-cefet-rs>.

**Ebah.** Polímeros. *Ebah.* [Online] [Citação: 15 de 3 de 2013.]  
<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABg8oAL/polimeros>.

**Ebah.** Sistemas de alimentação de molde. [Online]  
<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAenyQAG/canais-injecao?part=2>.

**ENGEPLAS.** Moldação por injeção. [Online] [Citação: 01 de 10 de 2013.]  
<http://www.engeplas.com.br/solucoes/moldagem.asp>.

**Engineer's Handbook.** Manufacturing Processes - Blow Molding Plastics. *Engineer's Handbook.*  
[Online] [Citação: 11 de 10 de 2012.]  
<http://www.engineershandbook.com/MfgMethods/blowmolding.htm>.

**Equistar.** Injection Molding Start-Up for Polypropylene. [Online] [Citação: 1 de 10 de 2013.]  
<http://www.lyondellbasell.com/techlit/techlit/Tech%20Topics/Injection%20Molding/Tech%20Tips/PP%20Start-Up.pdf>.

**ESSEI.** Retificação: conceitos e equipamentos. [Online] [Citação: 12 de 11 de 2013.]  
<http://www.essel.com.br/cursos/material/01/ProcessosFabricacao/54proc3.pdf>.

**F. Ramada F. Ramada, Aços e Indústrias S.A.** Aços para moldes. [Online] [Citação: 15 de 10 de 2013.]  
<http://www.ramada.pt/index.php?cat=42&eb=13>.

**Fibro.** Springs. [Online] [Citação: 3 de 2 de 2013.]  
[http://www.fibro.de/fileadmin/data/FIBRO/Kapitel\\_F/en/2.1500.07.0111.01000\\_1.pdf](http://www.fibro.de/fileadmin/data/FIBRO/Kapitel_F/en/2.1500.07.0111.01000_1.pdf).

**Gorni, Antonio Augusto.** Introdução aos plásticos. [Online] [Citação: 11 de 10 de 2013.]  
<http://www.gorni.eng.br/intropol.html>.

**Harting.** Industrial connectors. [Online] [Citação: 11 de 10 de 2013.]  
<https://b2b.harting.com/ebusiness/en/industrial-connectors-han/100382>.

**Hasco.** [Online] [Citação: 13 de 12 de 2013.] [www.hasco.pt](http://www.hasco.pt).

**Indústria Hoje.** Moldação por sopro. [Online] <http://www.industriahoje.com.br/moldagem-sopro>.

**Júnior, Wolney Netto.** Moldação por sopro. [Online] [Citação: 5 de 5 de 2013.]  
<http://dc336.4shared.com/doc/dGuEeOdM/preview.html>.

**LEPCOM.** Introdução - Processamento de polímeros. [Online] [Citação: 5 de 4 de 2013.] <http://lepcom.demet.ufmg.br/website/index.php/pt/cursos/processamento-de-polimeros/83-conceitos/78-introducao-processamento-de-polimeros>.

**LGMT.** Conjunto de plástificação. [Online] [Citação: 13 de 5 de 2013.] <http://www.lgmt.com.br/produtos/conjunto-de-plasticacao/construcao/>.

**Metalwork.** [Online] [Citação: 10 de 11 de 2013.] <http://www.metalwork.it/eng/index.html>.

**Moldes Injecção plásticos.** A influência das cargas na composição da matéria prima plástica. [Online] [Citação: 15 de 9 de 2013.] <http://www.moldesinjecaoplasticos.com.br/influenciadecargasnacompisicao.asp>.

**Moldes injecção plásticos.** Colunas e Buchas. [Online] [Citação: 11 de 10 de 2013.] <http://www.moldesinjecaoplasticos.com.br/colunasebuchas.asp>.

**Moldes injecção plásticos.** Estudo da fase de recalque no processamento por injecção de polímeros termoplásticos. [Online] [Citação: 10 de 7 de 2013.] <http://www.moldesinjecaoplasticos.com.br/recalque.asp>.

**Moldes injecção plásticos.** Estudo do contacto ferramenta peça. [Online] [Citação: 10 de 9 de 2013.] <http://www.moldesinjecaoplasticos.com.br/geometricas.asp>.

**Moldes Injecção plásticos.** Princípios e Processos da Eletroerosão. [Online] [Citação: 12 de 10 de 2012.] <http://www.moldesinjecaoplasticos.com.br/proeletroerosao.asp>.

**Moldes injecção plásticos.** Saídas de gases. [Online] [Citação: 15 de 6 de 2013.] <http://www.moldesinjecaoplasticos.com.br/saidas.asp>.

**Moldes injecção plásticos.** Tratamento Térmico Aplicado - Tratamentos termoquímicos. [Online] [Citação: 01 de 01 de 2014.] <http://www.moldesinjecaoplasticos.com.br/sistemtratamentotermoquimico.asp>.

**Moldes injecção plásticos.** Uso de ligas cobre-berílio ampcoloy em moldes de injecção de plástico. [Online] [Citação: 10 de 12 de 2012.]

**Notícia Revista Ferramental.** Texturização de aços ferramenta. [Online] [Citação: 10 de 11 de 2012.] [http://www.moldesinjecaoplasticos.com.br/texturizacao\\_acos\\_ferramenta.asp](http://www.moldesinjecaoplasticos.com.br/texturizacao_acos_ferramenta.asp).

**Sutafer.** Elementos Centramento. [Online] [Citação: 01 de 10 de 2013.] [http://www.sutafer.com/cms\\_imgs/e48c633594370bc18e9c5160044b1843.pdf](http://www.sutafer.com/cms_imgs/e48c633594370bc18e9c5160044b1843.pdf).

**Tech, Ria Food.** Raccords rapides. [Online] [Citação: 15 de 01 de 2014.]  
<http://www.riafoodtech.fr/raccord-rapide-thermoregulation-staubli-rpl.html?ent=57>.

**Tudo sobre plásticos.** Entradas em molde para plásticos. [Online] [Citação: 22 de 10 de 2012.]  
<http://www.tudosobreplasticos.com/moldes/entradas.asp>.

**Tudo Sobre plásticos.** Roscas para extrusoras. [Online] [Citação: 6 de 8 de 2012.]  
<http://www.tudosobreplasticos.com/perifericos/roscas.html>.

**Uddeholm.** Aços para moldes. [Online] [Citação: 10 de 12 de 2013.]  
<http://www.uddeholm.com.br/br/90.htm>.

**Universidade Técnica de Lisboa.** [Online] [Citação: 10 de 2 de 2013.]  
<http://in3.dem.ist.utl.pt/mscdesign/01tecmecc/notas6.pdf>.

**Voigt, Vilson.** Problemas e soluções no processo de injeção. *4Saherd*. [Online] [Citação: 13 de 10 de 2013.] [http://dc315.4shared.com/doc/FqdzH\\_6S/preview.html](http://dc315.4shared.com/doc/FqdzH_6S/preview.html).

**Volastic.** Manifold. [Online] [Citação: 2 de 10 de 2013.] <http://www.volastic.com/?id=9>.

**Yudo.** Hot Runner System. [Online] [Citação: 10 de 08 de 2012.]  
[http://www.yudo.co.kr/eng\\_yudo/system/hotRunner\\_04.asp](http://www.yudo.co.kr/eng_yudo/system/hotRunner_04.asp).