



# PROJETO DE MOLDE SANDWICH PARA A INJEÇÃO DE DUAS PEÇAS PARA A INDÚSTRIA AUTOMÓVEL

VÍTOR ABEL MARQUES PAIS

Outubro de 2016

## **PROJETO DE MOLDE SANDWICH PARA A INJEÇÃO DE DUAS PEÇAS PARA A INDÚSTRIA AUTOMÓVEL**

Vítor Abel Marques Pais

**2016**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO  
DO PORTO

isep

## **PROJETO DE MOLDE SANDWICH PARA A INJEÇÃO DE DUAS PEÇAS PARA A INDÚSTRIA AUTOMÓVEL**

Vítor Abel Marques Pais  
1101542

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 e co-orientação do Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho.

**2016**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica

POLITÉCNICO  
DO PORTO

isep

À minha mãe, à minha família e amigos.

POLITÉCNICO  
DO PORTO

isep

# JÚRI

## **Presidente**

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>

## **Orientador**

Doutor Francisco José Gomes da Silva

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

## **Co-orientador**

Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

## **Arguente**

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>



*“Give me six hours to chop down a tree and  
I will spend the first four sharpening the axe”*

(Abraham Lincoln)



## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, o Engenheiro Francisco Silva, pelo suporte e disponibilidade que apresentou em todas as fases da realização desta tese.

Ao meu coorientador, Engenheiro Raul Campilho, pelo auxílio prestado na revisão deste documento.

À MDA, na pessoa do Dr. Rui Paulo Costa, que me deu a oportunidade de realizar esta tese nas suas instalações.

Ao Diretor Técnico da MDA e meu chefe, José Costa, pela abertura de ter um colaborador a perder horas laborais para realizar um projeto pessoal.

Ao meu colega de empresa Ricardo Casimiro, pela enorme ajuda na recolha de todos os dados para esta tese, assim como à transmissão de conhecimentos sobre moldes.



## **PALAVRAS CHAVE**

Conceção do molde, caderno de encargos do molde, projeto de moldes, injeção “sandwich”, qualidade, cliente.

## **RESUMO**

Os moldes para a injeção de plástico são uma das principais cavidades na área da metalomecânica em Portugal, sendo a sua qualidade reconhecida mundialmente. Na última década, a injeção multimaterial tem assumido uma importância crescente.

Na génese deste trabalho esteve a necessidade de projeto e construção de um molde para duas peças com características especiais, o que permitiu o desenvolvimento deste trabalho e acompanhamento no terreno das diferentes operações de produção.

Tendo sempre em atenção o caderno de encargos do molde, iniciou-se o projeto com a definição de machos, cavidades e movimentos e dos respetivos materiais e seleção de componentes normalizados.

Após realização de ensaios e deteção de problemas com o molde, estes foram devidamente corrigidos e, no final, com o molde afinado, obteve-se as peças com a qualidade exigida pelo cliente.



**KEYWORDS**

Mold conception, mold specifications, mold design, sandwich injection, quality, customer.

**ABSTRACT**

The production of molds for plastic injection is one of the most important activities regarding the metalworking Portuguese industry, being its quality recognized worldwide. In the last decade, multi-material injection has assumed an increasingly importance.

In the genesis of this this work was the necessity to design and manufacture one mould for two parts with special characteristics, which allow de development of this project and corresponding attention to the production operations on the shop floor.

Bearing in mind the mold specifications, began the project with the definition of the cores, cavities and movements and the respective materials and selection of standard components.

After testing and detecting the problems with the mold, they were duly corrected and at the end, with the refined mold, we achieved the quality required by the customer.



## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

3D	Três dimensões
€	Euro
$\rho$	Massa volúmica
$\varnothing$	Diâmetro
$\sigma$	Tensão admissível
ABS	Acrilonitrilo Butadieno Estireno
BVQI	<i>Bureau Veritas Quality International</i>
CA	Acetato de celulose
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Aided Manufacturing
CEM	Caderno de encargos do molde
CNC	Controlo numérico computadorizado
DC	Departamento comercial
DPM	Departamento de projeto de molde
DPP	Departamento de planeamento e produção
E	Módulo de Young
HDPE	Polietileno de alta densidade
LDPE	Polietileno de baixa densidade
PA	Poliamida
PC	Policarbonato
PE	Polietileno
PMMA	Polimetacrilado de Metilo
POM	Poliacetal
PP	Polipropileno
PPO	Óxido de Polifenileno
PS	Poliestireno
PVC	Policloreto de Vinilo
Rm	Tensão rotura
SAN	Acrilonitrilo Estireno
SB	Butadieno-Estireno
UV	Ultra violeta

## LISTA DE UNIDADES

°C	Graus Celsius
°	Grau
%	Porcentagem
"	Polegada
cal	Caloria
cm	Centímetro
cm <sup>2</sup> /s	Centímetro quadrado por segundo
daN	decaNewton
g	Gramma
GPa	Giga Pascal
g/cm <sup>3</sup>	Gramas por centímetro cúbico
g/s	Gramas por segundo
h	Horas
HRC	Dureza Rockwell C
HV	Dureza Vickers
J	Joule
K	Graus Kelvin
kcal	Quilocalorias
kg	Quilograma
kN	QuiloNewton
kcal/s	Quilocaloria por segundo
kcal/Kg°C	Quilocaloria por Quilograma Celcius
kg/s	Quilograma por segundo
kg/m <sup>3</sup>	Quilograma por metro cúbico
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
MPa	MegaPascal
mm	Milímetro
N/mm	Newton por milímetro
N	Newton
Pa	Pascal
s	Segundo
ton	Tonelada
W	Watt

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UM MOLDE DE INJEÇÃO (CENTIMFE, 2003)	44
FIGURA 2 - MOLDE DE DUAS PLACAS (CENTIMFE, 2003)	45
FIGURA 3 - CENTRAGEM POR CAIXA (CENTIMFE, 2003)	46
FIGURA 4 - CENTRAGEM POR GUIAMENTO (CENTIMFE, 2003)	47
FIGURA 5 - CENTRAGEM POR RÉGUAS (CENTIMFE, 2003)	47
FIGURA 6 - CENTRAGEM POR CANTOS (CENTIMFE, 2003)	48
FIGURA 7 - TRAVAMENTO DIRETO CAVIDADE – MACHO (CENTIMFE, 2003)	49
FIGURA 8 - TRAVAMENTO CAVIDADE - MACHO COM BLOCOS DE TRAVAMENTO ( <i>LOCKS</i> ) (CENTIMFE, 2003)	49
FIGURA 9 - MOLDE DE TRÊS PLACAS COM O BICO DA MÁQUINA A IR DENTRO DO MOLDE (CENTIMFE, 2003)	50
FIGURA 10 - MOLDE 3 PLACAS COM BICO QUENTE (CENTIMFE, 2003)	50
FIGURA 11 - MOLDE DO TIPO MINIJITO (CENTIMFE, 2003)	51
FIGURA 12 - MOLDE TIPO SANDWICH A) MOLDE FECHADO; B) ABERTURA DO MOLDE; C) ABERTURA E CORTE DO MOLDE (CENTIMFE, 2003)	52
FIGURA 13 - MOLDE BI-MATERIAL (CENTIMFE, 2003)	54
FIGURA 14 - ESTRUTURA DE UM MOLDE DE DUAS PLACAS (CENTIMFE, 2003)	56
FIGURA 15 - ABERTURAS PARA SEPARAÇÃO DAS PLACAS E CALÇOS DAS ESTRUTURAS (CENTIMFE, 2003)	57
FIGURA 16 - GRAMPO DE APERTO MANUAL (STAUBLI)	58
FIGURA 17 - GARRA HIDRÁULICA (STAUBLI)	58
FIGURA 18 - DISPOSIÇÃO DAS GARRAS HIDRÁULICAS EM MONTAGENS VERTICAIS (CENTIMFE, 2003)	59
FIGURA 19 - PRATO MAGNÉTICO	60
FIGURA 20 - SISTEMA DE EXTRAÇÃO (CENTIMFE, 2003)	61
FIGURA 21 - TIPOS DE EXTRATORES MAIS COMUNS: A) CILÍNDRICO; B) REBAIXADO; C) LÂMINA; D) TUBULAR. (CENTIMFE, 2003)	62
FIGURA 22 - EXTRAÇÃO COM EXTRATORES CILÍNDRICOS (CENTIMFE, 2003)	63
FIGURA 23 - PEÇAS COM NERVURAS ESTREITAS (CENTIMFE, 2003)	63
FIGURA 24 - MONTAGEM DOS EXTRATORES EM LÂMINA:	64
FIGURA 25 - EXTRAÇÃO DA PEÇA COM EXTRATORES TUBULARES (CENTIMFE, 2003)	65
FIGURA 26 - EXTRAÇÃO COM PLACA EXTRATORA (CENTIMFE, 2003)	66
FIGURA 27 - EXTRAÇÃO COM ARO EXTRATOR (CENTIMFE, 2003)	67
FIGURA 28 - EXTRAÇÃO COMBINADA (COM AUXÍLIO DE AR COMPRIMIDO) (CENTIMFE, 2003)	67
FIGURA 29 - BOAS PRÁTICAS NA COLOCAÇÃO DE EXTRATORES (CENTIMFE, 2003)	68
FIGURA 30 - EXTRAÇÃO FORÇADA: A) COM PLACA EXTRATORA; B) COM EXTRATORES; A) BASE PLANA (CORRETO); B) BASE ARREDONDADA (INCORRETO); C) ENTALHE RETO (INCORRETO); D) ENTALHE COM CHANFRO (CORRETO) (CENTIMFE, 2003)	69
FIGURA 31 - EXTRATOR EM AÇO MOLA: A) POSIÇÃO RECUADA; B) POSIÇÃO AVANÇADA (CENTIMFE, 2003)	69

FIGURA 32 - EXTRAÇÃO COM BALANCÉ: A) FUNCIONAMENTO DO BALANCÉ; B) BALANCÉ (CENTIMFE, 2003)	70
FIGURA 33 - DETALHE DE MOLDE DE CANAIS QUENTES:	71
FIGURA 34 - CONFIGURAÇÃO TÍPICA DE DISTRIBUIDORES (CENTIMFE, 2003)	72
FIGURA 35 - RESISTÊNCIA DE CARTUCHO: A) RESISTÊNCIA; B) DETALHE (CENTIMFE, 2003)	73
FIGURA 36 - RESISTÊNCIA TUBULAR (CENTIMFE, 2003)	73
FIGURA 37 - CONSTITUIÇÃO DO SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO (CENTIMFE, 2003)	74
FIGURA 38 - PUXADOR DE JITO (CENTIMFE, 2003)	74
FIGURA 39 - POÇOS FRIOS (CENTIMFE, 2003)	75
FIGURA 40 - SECÇÃO TRANSVERSAL DOS ALIMENTADORES (CENTIMFE, 2003)	76
FIGURA 41 - DIÂMETRO DO ATAQUE EM FUNÇÃO DO CAUDAL (CENTIMFE, 2003)	77
FIGURA 42- INFLUÊNCIA DA LOCALIZAÇÃO DO PONTO DE INJEÇÃO NA HESITAÇÃO: A) FRENTE DE FUNDIDO; B) TEMPERATURA; C) MAU PROJETO; D) BOM PROJETO (CENTIMFE, 2003)	78
FIGURA 43 - EFEITO DE JATO: A) EFEITO DE JATO; B) PADRÃO DE ENCHIMENTO NORMAL (CENTIMFE, 2003)	78
FIGURA 44 - JITO DIRETO (CENTIMFE, 2003)	79
FIGURA 45 - ATAQUE LATERAL OU À JUNTA (CENTIMFE, 2003)	80
FIGURA 46 - ATAQUE EM LÂMINA (CENTIMFE, 2003)	80
FIGURA 47 - INJEÇÃO SUBMARINA: A) INJEÇÃO SUBMARINA; B) INJEÇÃO SUBMARINA COM CANAL TRONCO-CÓNICO (CENTIMFE, 2003)	81
FIGURA 48 - MOLDE COM CANAIS ISOLADOS (CENTIMFE, 2003)	82
FIGURA 49 - ESCAPE DE GASES (CENTIMFE, 2003)	83
FIGURA 50 - COLOCAÇÃO DE EXTRATOR NAS NERVURAS PARA ESCAPE DE GASES (CENTIMFE, 2003)	85
FIGURA 51 - UTILIZAÇÃO DE POSTIÇOS ESPECIAIS PARA O ESCAPE DE GASES (CENTIMFE, 2003)	85
FIGURA 52 - CILINDRO DE AÇO POROSO E EXEMPLO DE APLICAÇÃO (CENTIMFE, 2003)	86
FIGURA 53 - CIRCUITO EM U: A) POR MANGUEIRA; B) CRUZADA (CENTIMFE, 2003)	88
FIGURA 54 - PLACAS DE CONEXÃO: A) PLACA EMBUTIDA NA PLACA DE ESTRUTURA; B) PLACA À FACE DA PLACA DE ESTRUTURA (CENTIMFE, 2003)	88
FIGURA 55 - ESQUEMA DE UM CIRCUITO EM Z (ZIG-ZAG) (CENTIMFE, 2003)	89
FIGURA 56 - CIRCUITO COM CONFIGURAÇÃO EM Z: A) SIMÉTRICO ESPELHADO; B) SIMÉTRICO (CENTIMFE, 2003)	89
FIGURA 57 - CIRCUITO RETANGULAR (CENTIMFE, 2003)	90
FIGURA 58 - CIRCUITO RETANGULAR DISPOSTO EM DIFERENTES NÍVEIS (CENTIMFE, 2003)	90
FIGURA 59 - SISTEMA DE CONTROLO DE TEMPERATURA PARA CAVIDADES CIRCULARES (PEÇA MAQUINADA NUM POSTIÇO) (CENTIMFE, 2003)	91
FIGURA 60 - PERCURSO DA ÁGUA EM CANAIS CIRCULARES: A) PERCURSO DIVERGENTE; B) PERCURSO CONTÍNUO (CENTIMFE, 2003)	91
FIGURA 61 - SISTEMA DE CONTROLO DE TEMPERATURA ALTERNATIVA (CENTIMFE, 2003)	92
FIGURA 62 - PLACAS DE REFRIGERAÇÃO (CENTIMFE, 2003)	92
FIGURA 63 - CIRCUITO DE ÁGUA INCLINADO (CENTIMFE, 2003)	93
FIGURA 64 - CIRCUITO DE ÁGUA EM CASCATA COM PALHETAS: A) PALHETA COM CABEÇA ROSCADA; B) PALHETA SIMPLES; C) MONTAGEM CORRETA E INCORRETA DA LÂMINA SEPARADORA (CENTIMFE, 2003)	93

FIGURA 65 - PALHETA EM ESPIRAL (CENTIMFE, 2003)	94
FIGURA 66 - ANÉIS DE CENTRAGEM: A) DOIS CORPOS; B) CORPO SIMPLES (CENTIMFE, 2003)	95
FIGURA 67 - DIFERENTES TIPOS DE GUIAS: A) GUIA; B) GUIA DE CORPO RESPIGADO; C) GUIA RESPIGADA COM CABEÇA DE CENTRAGEM (CENTIMFE, 2003)	95
FIGURA 68 - GUIA DESLOCADA EM POSIÇÃO (CENTIMFE, 2003)	96
FIGURA 69 - ALTERAÇÃO DO DIÂMETRO DA GUIA (CENTIMFE, 2003)	96
FIGURA 70 - GUIAMENTO RETANGULAR ("GUIAS PRISMÁTICAS") (CENTIMFE, 2003)	97
FIGURA 71 - BLOCOS DE TRAVAMENTO A) RETANGULAR TIPO A; B) RETANGULAR TIPO B; C) CIRCULAR TIPO B; D) CIRCULAR TIPO A (CENTIMFE, 2003)	97
FIGURA 72 - TRAVAMENTO RETANGULAR PARA MOLDES DE MÉDIA/GRANDE DIMENSÃO (CENTIMFE, 2003)	98
FIGURA 73 - PLACAS DE AJUSTE FINO	98
FIGURA 74 - EXEMPLO DE POSTIÇOS	99
FIGURA 75 - REPRESENTAÇÃO DE MOVIMENTO MECÂNICO	100
FIGURA 76 - REPRESENTAÇÃO DE MOVIMENTO HIDRÁULICO	100
FIGURA 77 - REPRESENTAÇÃO DE MOVIMENTO À EXTRAÇÃO	101
FIGURA 78 - REPRESENTAÇÃO DE LEVANTADOR	101
FIGURA 79 - REPRESENTAÇÃO DE MOVIMENTO COM CUNHA	102
FIGURA 80 - REPRESENTAÇÃO DE MOVIMENTO COM CAMES	102
FIGURA 81 - DIMENSIONAMENTO DOS CALÇOS (HARADA, 2004)	104
FIGURA 82 - DIAGRAMA DE CONSTANTES M (ROSATO, 2000)	105
FIGURA 83 – LISTAGEM DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DE ALGUNS POLÍMEROS (GLANVILL & DENTON, 1970)	107
FIGURA 84 - ESTRUTURA (DME)	109
FIGURA 85 - COMPONENTES DE REFRIGERAÇÃO (LIGAÇÃO MÚLTIPLA À ESQUERDA; ENGATE RÁPIDO À DIREITA) (GIACOMINI)	109
FIGURA 86 - COMPONENTES DE INJEÇÃO (BICO DE INJEÇÃO À ESQUERDA; CONTROLO DE TEMPERATURA À DIREITA) (SYNVENTIVE)	110
FIGURA 87 - COMPONENTES DE GUIAMENTO (CASQUILHO À ESQUERDA; GUIA À DIREITA) (DME)	110
FIGURA 88 - COMPONENTES DE CENTRAMENTO (ANEL DE CENTRAMENTO) (DME)	110
FIGURA 89 - COMPONENTES DE EXTRAÇÃO (EXTRATOR À ESQUERDA; CARRINHO À DIREITA) (CUMSA)	111
FIGURA 90 - PEÇA TEXTURIZADA	112
FIGURA 91 - PLANEAMENTO DE TEXTURIZAÇÃO (MOLDES INJEÇÃO PLÁSTICO)	112
FIGURA 92 – PROCESSAMENTO DO DESENHO DE TEXTURIZAÇÃO (MOLDES INJEÇÃO PLÁSTICO)	113
FIGURA 93 – IMPRESSÃO DA TEXTURA NUMA PELÍCULA FOTOSSENSÍVEL (MOLDES INJEÇÃO PLÁSTICO)	113
FIGURA 94 – PREPARAÇÃO/LIMPEZA DA SUPERFÍCIE (MOLDES INJEÇÃO PLÁSTICO)	113
FIGURA 95 - REVESTIMENTO (MOLDES INJEÇÃO PLÁSTICO)	114
FIGURA 96 - EXPOSIÇÃO (MOLDES INJEÇÃO PLÁSTICO)	114
FIGURA 97 - REMOÇÃO (MOLDES INJEÇÃO PLÁSTICO)	115
FIGURA 98 - INSPEÇÃO (MOLDES INJEÇÃO PLÁSTICO)	115
FIGURA 99 - DIAGRAMA DE ASHBY (ASHBY, 2011)	118

FIGURA 100 - ESTRUTURA DO POLIPROPILENO (SMITH, 2008)	120
FIGURA 101 – MDA	125
FIGURA 102 - SIMOLDES (DIVISÃO DE MOLDES) NO MUNDO	126
FIGURA 103 - PEÇAS A PRODUZIR: <i>REAR END PANEL</i> (À ESQUERDA); <i>TRIM LOWER TAILGATE</i> (À DIREITA)	128
FIGURA 104 - LOCALIZAÇÃO PREVISTA DA EXTRAÇÃO	128
FIGURA 105 – LOCALIZAÇÃO PREVISTA DE POSTIÇOS	128
FIGURA 106 - LOCALIZAÇÃO PREVISTA DA EXTRAÇÃO	129
FIGURA 107 - LOCALIZAÇÃO PREVISTA DOS POSTIÇOS	129
FIGURA 108 - PREVISÃO DE MOVIMENTO SUBMARINO	129
FIGURA 109 - ALTERAÇÃO À PEÇA: INVERTER SAÍDA DA ABERTURA	130
FIGURA 110 - ALTERAÇÃO À PEÇA: INSERIR FRISOS DE REFORÇO	130
FIGURA 111 - ALTERAÇÃO À PEÇA: GEOMETRIA	131
FIGURA 112 - ALTERAÇÃO À PEÇA: ÂNGULO DE SAÍDA	131
FIGURA 113 - ALTERAÇÃO À PEÇA: RETIRAR O RAIOS	132
FIGURA 114 - ALTERAÇÃO À PEÇA: RETIRAR O RAIOS	132
FIGURA 115 - ALTERAÇÃO À PEÇA: CORTAR PATELA	133
FIGURA 116 - EXTRATOR EMBUTIDO EM AMBAS AS EXTREMIDADES (CEM)	135
FIGURA 117 – COLOCAÇÃO DOS PINOS DE RETORNO (CEM)	135
FIGURA 118 - LEVANTADOR COM GUIAMENTO DUPLO (CEM)	136
FIGURA 119 - SENSOR DE POSIÇÃO (CEM)	137
FIGURA 120 - SEPARAÇÃO DA PEÇA <i>REAR END PANEL</i> EM MACHO (VERMELHO) E CAVIDADE (VERDE)	138
FIGURA 121 - SEPARAÇÃO DA PEÇA <i>TRIM LOWER TAILGATE</i> EM MACHO (VERDE) E CAVIDADE (VERMELHO)	139
FIGURA 122 – JUNTA (PELE) DO <i>REAR END PANEL</i>	139
FIGURA 123 – JUNTA (PELE) DO <i>TRIM LOWER TAILGATE</i>	139
FIGURA 124 - DIVISÃO DO MOLDE EM <i>FRAMES</i> E MACHO E CAVIDADE	140
FIGURA 125 - PLACA DE ENCOSTO <i>FRAME 2</i> (0017)	141
FIGURA 126 - PLACA INTERMÉDIA DO <i>FRAME 2</i> (0099D)	141
FIGURA 127 - CALÇOS DO <i>FRAME 2</i> (0010)	141
FIGURA 128 - MACHO 2 (0201)	142
FIGURA 129 - CAVIDADE 2 (0101)	142
FIGURA 130 - CAVIDADE 1 (0100)	142
FIGURA 131 - PLACA INTERMÉDIA (0009 E 0018)	143
FIGURA 132 - MACHO 1 (0200)	143
FIGURA 133 - CALÇOS <i>FRAME 1</i> (0005 A 0008)	143
FIGURA 134 - PLACA INTERMÉDIA <i>FRAME 1</i> (0004)	144
FIGURA 135 - PLACA DE ENCOSTO <i>FRAME 1</i> (0001)	144
FIGURA 136 - POSTIÇO DA CAVIDADE 1	145
FIGURA 137 - POSTIÇO DA CAVIDADE 1 NA PEÇA	145
FIGURA 138 - POSTIÇOS DO MACHO 1	146
FIGURA 139 - POSTIÇOS DO MACHO 1 NA PEÇA	146
FIGURA 140 - POSTIÇOS DO MACHO 2	147

FIGURA 141 - POSTIÇOS DO MACHO 2 NO MOLDE	147
FIGURA 142 - SISTEMA DE EXTRAÇÃO DA CAVIDADE 1	148
FIGURA 143 - SISTEMA DE EXTRAÇÃO DO MACHO 1	149
FIGURA 144 - DIAGRAMA REPRESENTATIVO DO CICLO DA PEÇA <i>TRIM LOWER TAILGATE</i>	149
FIGURA 145 - SISTEMA DE EXTRAÇÃO DO MACHO 2	150
FIGURA 146 - DIAGRAMA REPRESENTATIVO DO CICLO DA PEÇA <i>REAR END PANEL</i>	150
FIGURA 147 - MOLDE ABERTO (CADA ABERTURA TEM CAPACIDADE MÁXIMA DE 600 MM)	151
FIGURA 148 - COMPONENTES DE UM MOVIMENTO À EXTRAÇÃO	152
FIGURA 149 - MOVIMENTOS À EXTRAÇÃO DA CAVIDADE 1	152
FIGURA 150 - MOVIMENTO À EXTRAÇÃO 512	153
FIGURA 151 - CINEMÁTICA 512	154
FIGURA 152 - CARRINHO COM INCLINAÇÃO	154
FIGURA 153 - MOVIMENTOS À EXTRAÇÃO DO MACHO 1	155
FIGURA 154 - VISTA ISOMÉTRICA DOS MOVIMENTOS À EXTRAÇÃO DO MACHO 1	155
FIGURA 155 - CINEMÁTICA DOS MOVIMENTOS À EXTRAÇÃO DO MACHO 1	156
FIGURA 156 - MOVIMENTOS À EXTRAÇÃO 500 E 501	156
FIGURA 157 - MOVIMENTOS À EXTRAÇÃO 502 E 503	157
FIGURA 158 - MOVIMENTOS À EXTRAÇÃO 504 E 505	157
FIGURA 159 - MOVIMENTOS À EXTRAÇÃO 506 E 507	158
FIGURA 160 - MOVIMENTO À EXTRAÇÃO 510	158
FIGURA 161 - BICO DE INJEÇÃO LOCALIZADO NO CENTRO DO MOVIMENTO À EXTRAÇÃO	159
FIGURA 162 - MOVIMENTO À EXTRAÇÃO 511	159
FIGURA 163 - MOVIMENTOS À EXTRAÇÃO DO MACHO 2	160
FIGURA 164 - VISTA ISOMÉTRICA DOS MOVIMENTOS À EXTRAÇÃO DO MACHO 2	160
FIGURA 165 - CINEMÁTICA DOS MOVIMENTOS À EXTRAÇÃO DO MACHO 2	161
FIGURA 166 - MOVIMENTOS À EXTRAÇÃO 513 E 514	161
FIGURA 167 - MOVIMENTOS À EXTRAÇÃO 515 E 516	162
FIGURA 168 - MOVIMENTOS À EXTRAÇÃO 517 E 518	162
FIGURA 169 - MOVIMENTO À EXTRAÇÃO 519	163
FIGURA 170 - CONSTITUIÇÃO TIPO DE UM LEVANTADOR	163
FIGURA 171 - LEVANTADORES DO MACHO 1	164
FIGURA 172 - VISTA ISOMÉTRICA DOS LEVANTADORES DO MACHO 1	165
FIGURA 173 - CINEMÁTICA DOS LEVANTADORES DO MACHO 1	165
FIGURA 174 - LEVANTADORES DO MACHO 2	166
FIGURA 175 - VISTA ISOMÉTRICA DOS LEVANTADORES DO MACHO 2	167
FIGURA 176 - CINEMÁTICA DOS LEVANTADORES DO MACHO 2	167
FIGURA 177 - EXTRATORES DO <i>FRAME 2</i>	168
FIGURA 178 - LOCALIZAÇÃO DOS EXTRATORES NA PEÇA (PONTOS CINZENTOS)	168
FIGURA 179 - LOCALIZAÇÃO DOS EXTRATORES QUEBRA-GITOS NOS POSTIÇOS	169
FIGURA 180 - PERNOS DE RETORNO DA CAVIDADE 1	169
FIGURA 181 - PERNOS DE RETORNO DO MACHO 1	170
FIGURA 182 - PERNOS DE RETORNO DO MACHO 2	170
FIGURA 183 - PLACA DE EXTRAÇÃO DA CAVIDADE 1	171

FIGURA 184 - PLACA DE EXTRAÇÃO DO MACHO 1	171
FIGURA 185 - PLACA DE EXTRAÇÃO DO MACHO 2	172
FIGURA 186 - CILINDRO HIDRÁULICO DO <i>FRAME</i> 1	172
FIGURA 187 - CIRCUITO HIDRÁULICO DO <i>FRAME</i> 2	173
FIGURA 188 - COMPONENTES DE GUIAMENTO E AJUSTE DO MOLDE	174
FIGURA 189 - SISTEMA DE AJUSTE DOS MOLDES	175
FIGURA 190 - INCLINAÇÃO DAS PLACAS DE DESLIZE	175
FIGURA 191 - SISTEMA DE INJEÇÃO COM POSTIÇOS DE LIGAÇÃO E LOCALIZAÇÃO NAS PEÇAS	176
FIGURA 192 - POSTIÇOS DE LIGAÇÃO DO SISTEMA DE INJEÇÃO	177
FIGURA 193 – DETALHE DO TRANSFER	177
FIGURA 194 - VISTA ISOMÉTRICA DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DO <i>FRAME</i> 1	178
FIGURA 195 - VISTA DE TOPO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DO <i>FRAME</i> 1	178
FIGURA 196 - VISTA ISOMÉTRICA DO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO 1	179
FIGURA 197 - VISTA DE TOPO DO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO 1	179
FIGURA 198 - VISTA ISOMÉTRICA DO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO 2	179
FIGURA 199 - VISTA DE TOPO DO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO 2	180
FIGURA 200 - VISTA DE TOPO DO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO 3	180
FIGURA 201 - VISTA ISOMÉTRICA DO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO 3	180
FIGURA 202 - VISTA DE TOPO DO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO 4	181
FIGURA 203 - VISTA ISOMÉTRICA DO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO 4	181
FIGURA 204 - VISTA DE TOPO DO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO 5	181
FIGURA 205 - VISTA ISOMÉTRICA DO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO 5	182
FIGURA 206 - VISTA DE TOPO DO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO DO BICO DE INJEÇÃO	182
FIGURA 207 – VISTA ISOMÉTRICA DO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO DO BICO DE INJEÇÃO	182
FIGURA 208 - DETALHE DO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO DO BICO DE INJEÇÃO	183
FIGURA 209 - VISTA ISOMÉTRICA DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DA CAVIDADE 1	183
FIGURA 210 - VISTA DE TOPO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DA CAVIDADE 1	183
FIGURA 211 - VISTA ISOMÉTRICA DO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO 1	184
FIGURA 212 - VISTA DE TOPO DO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO 1	184
FIGURA 213 - VISTA ISOMÉTRICA DO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO 2	184
FIGURA 214 - VISTA DE TOPO DO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO 1	185
FIGURA 215 - VISTA ISOMÉTRICA DO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO 3	185
FIGURA 216 - VISTA DE TOPO DO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO 3	185
FIGURA 217 - VISTA ISOMÉTRICA DO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO 4	186
FIGURA 218 - VISTA DE TOPO DO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO 4	186
FIGURA 21919 - VISTA ISOMÉTRICA DO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO 5	186
FIGURA 220 - VISTA DE TOPO DO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO 5	187
FIGURA 221 - VISTA ISOMÉTRICA DO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO 6	187
FIGURA 222 - VISTA DE TOPO DO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO 6	187
FIGURA 223 - VISTA ISOMÉTRICA DO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO 7	188
FIGURA 224 - VISTA DE TOPO DO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO 7	188
FIGURA 225 - VISTA ISOMÉTRICA DO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO 8	188
FIGURA 226 - VISTA DE TOPO DO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO 8	189

FIGURA 227 - VISTA ISOMÉTRICA DO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO 9	189
FIGURA 228 - VISTA DE TOPO DO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO 9	189
FIGURA 229 - VISTA ISOMÉTRICA DO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO DO POSTIÇO	190
FIGURA 230 - VISTA DE TOPO DO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO DO POSTIÇO	190
FIGURA 231 - CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO INTERNO DO MACHO 2	190
FIGURA 232 - VISTA ISOMÉTRICA DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DO MACHO 2	191
FIGURA 233 - VISTA DE TOPO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DO MACHO 2	191
FIGURA 234 - VISTA ISOMÉTRICA DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DO CIRCUITO 1	191
FIGURA 235 - VISTA DE TOPO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DO CIRCUITO 1	192
FIGURA 236 - VISTA DE TOPO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DO CIRCUITO 2	192
FIGURA 237 - VISTA ISOMÉTRICA DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DO CIRCUITO 2	192
FIGURA 238 - VISTA ISOMÉTRICA DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DO CIRCUITO 3	193
FIGURA 239 - VISTA DE TOPO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DO CIRCUITO 3	193
FIGURA 240 - VISTA ISOMÉTRICA DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DO CIRCUITO 4	193
FIGURA 241 - VISTA DE TOPO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DO CIRCUITO 4	194
FIGURA 242 - VISTA ISOMÉTRICA DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DO POSTIÇO	194
FIGURA 243 - VISTA DE TOPO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DO CIRCUITO 1	194
FIGURA 244 - DETALHE DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DO POSTIÇO	195
FIGURA 245 - VISTA ISOMÉTRICA DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DA CAVIDADE 2	195
FIGURA 246 - VISTA DE TOPO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DA CAVIDADE 2	195
FIGURA 247 - VISTA ISOMÉTRICA DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DO CIRCUITO 1	196
FIGURA 248 - VISTA DE TOPO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DO CIRCUITO 1	196
FIGURA 249 - VISTA DE TOPO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DO CIRCUITO 2	196
FIGURA 250 - VISTA DE TOPO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DO CIRCUITO 2	197
FIGURA 251 - VISTA ISOMÉTRICA DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DO CIRCUITO 3	197
FIGURA 252 - VISTA DE TOPO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DO CIRCUITO 3	197
FIGURA 253 - VISTA ISOMÉTRICA DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DO CIRCUITO 4	198
FIGURA 254 - VISTA DE TOPO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DO CIRCUITO 4	198
FIGURA 255 - VISTA ISOMÉTRICA DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DOS CANAIS DE INJEÇÃO	198
FIGURA 256 - VISTA DE TOPO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DOS CANAIS DE INJEÇÃO	199
FIGURA 257 - BLOCOS DE AÇO MACIÇO	201
FIGURA 258 - OPERAÇÃO DE ACABAMENTO	202
FIGURA 259 - OPERAÇÃO DE DESBASTE	202
FIGURA 260 - OPERAÇÃO DE ACABAMENTO	202
FIGURA 261 - OPERAÇÃO DE FURAÇÃO DOS SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO E HIDRÁULICO	202
FIGURA 262 - MAQUINAGEM DE ELÉTODOS	203
FIGURA 263 - OPERAÇÃO DE ELECTRO EROSÃO	203
FIGURA 264 - POLIMENTO	203
FIGURA 265 - PLACA DE EXTRAÇÃO	204
FIGURA 266 - BLOCOS DE AÇO	204
FIGURA 267 - DESBASTE DE BLOCOS	205
FIGURA 268 - ACABAMENTO DOS MOVIMENTOS	205
FIGURA 269 - FURAÇÃO DE MOVIMENTO	205

FIGURA 270 - MOVIMENTO NITRURADO	206
FIGURA 271 - VARÕES DE AÇO PARA MAQUINAÇÃO DE VEIOS E GUIAS	206
FIGURA 272 - TORNEAMENTO DE COMPONENTES DE EXTRAÇÃO	206
FIGURA 273 - CORREDIÇAS	207
FIGURA 274 - PLACAS DE PRESSÃO	207
FIGURA 275 - SELEÇÃO DE MATERIAIS PARA MACHO/CAVIDADE (THYSSEN)	210
FIGURA 276 – <i>MICRO-SWITCH</i> (TELEMECHANIQUE)	215
FIGURA 277 - DISTRIBUIDOR DE ÁGUA (GIACOMINI)	216
FIGURA 278 - ACESSÓRIO DE LIGAÇÃO (STAUBLI)	216
FIGURA 279 - BASE PARA FICHA ELÉTRICA HARTING REF. 09 30 024 0301	217
FIGURA 280 - FICHA ELÉTRICA REF. 09 33 024 2601	217
FIGURA 281 - BASE PARA FICHA ELÉTRICA HARTING REF. 19 20 003 1250	217
FIGURA 282 - FICHA ELÉTRICA REF. 09 20 004 2711	218
FIGURA 283 - BASE PARA FICHA ELÉTRICA HARTING REF. 19 20 003 1440	218
FIGURA 284 - FICHA ELÉTRICA REF. 09 20 004 2611	218
FIGURA 285 - CASQUILHO CUMSA	219
FIGURA 286 - CARRINHO SANKYO	219
FIGURA 287 - CARRINHO SANKYO	219
FIGURA 288 - PERNO ROSCADO	220
FIGURA 289 - PERNO ROSCADO	220
FIGURA 290 - PERNO	220
FIGURA 291 - CAVILHA TUBULAR	220
FIGURA 292 - CAVILHA	221
FIGURA 293 - CAVILHA	221
FIGURA 294 - PARAFUSOS DIN 912	221
FIGURA 295 - MOLA DE GÁS	221
FIGURA 296 - MOLA	222
FIGURA 297 - VEDANTE	222
FIGURA 298 - VEDANTE	222
FIGURA 299 - BUJÃO	223
FIGURA 300 - TACO	223
FIGURA 301 - EXTRATOR (DME)	223
FIGURA 302 - BOTÕES DE ENCOSTO (DME)	224
FIGURA 303 - POSICIONAMENTO DOS CALÇOS	225
FIGURA 304 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE FABRICO	234
FIGURA 305 - DEPARTAMENTO DE PROJETO DE MOLDE	235
FIGURA 306 - <i>SOFTWARE POWERMILL</i>	235
FIGURA 307 - NAVE DE MAQUINAÇÃO	235
FIGURA 308 - NAVE DE MAQUINAÇÃO	235
FIGURA 309 - MÁQUINA DE FURAÇÕES	236
FIGURA 310 - MÁQUINA DE ELETRO-EROSÃO	236
FIGURA 311 - NAVE DAS BANCADAS	236
FIGURA 312 - MÁQUINA DE INJEÇÃO	237

FIGURA 313 - ORÇAMENTO DE OPERAÇÕES	241
FIGURA 314 - ORÇAMENTO DOS SERVIÇOS	242
FIGURA 315 - ACOPLAMENTO DOS CALÇOS À PLACA INTERMÉDIA	242
FIGURA 316 - ACOPLAMENTO DA PLACA DE EXTRAÇÃO À PLACA INTERMÉDIA	243
FIGURA 317 - ACOPLAMENTO DOS PILARES DE SUPORTE À PLACA INTERMÉDIA	243
FIGURA 318 - ACOPLAMENTO DA PLACA MACHO AOS CALÇOS	243
FIGURA 319 - MONTAGEM DOS COMPONENTES DE EXTRAÇÃO	244
FIGURA 320 - MONTAGEM DO SISTEMA DE INJEÇÃO	244
FIGURA 321 - MONTAGEM DA PLACA DE ENCOSTO	244
FIGURA 322 - MONTAGEM DO SISTEMA DE INJEÇÃO À PLACA INTERMÉDIA CENTRAL	245
FIGURA 323 - ACOPLAMENTO DAS PLACAS INTERMÉDIAS CENTRAIS À CAVIDADE 2	245
FIGURA 324 - ACOPLAMENTO DA PLACA DE EXTRAÇÃO ÀS PLACAS INTERMÉDIAS CENTRAIS	245
FIGURA 325 - ACOPLAMENTO DA CAVIDADE 1 ÀS PLACAS INTERMÉDIAS CENTRAIS	246
FIGURA 326 - MONTAGEM DO MOVIMENTO À EXTRAÇÃO NA CAVIDADE 1	246
FIGURA 327 - ACOPLAMENTO DAS CAVIDADES AO RESTANTE DO FRAME 1	246
FIGURA 328 - ACOPLAMENTO DOS CALÇOS À PLACA INTERMÉDIA	247
FIGURA 329 - ACOPLAMENTO DA PLACA DE EXTRAÇÃO À PLACA INTERMÉDIA	247
FIGURA 330 - ACOPLAMENTO DOS PILARES DE SUPORTE À PLACA INTERMÉDIA	247
FIGURA 331 - ACOPLAMENTO DA PLACA MACHO AOS CALÇOS	248
FIGURA 332 - MONTAGEM DOS COMPONENTES DE EXTRAÇÃO	248
FIGURA 333 - MONTAGEM DA PLACA DE ENCOSTO	248
FIGURA 334 - MONTAGEM DOS FRAMES;	249
FIGURA 335 - MONTAGEM DOS PERIFÉRICOS;	249
FIGURA 336 - MONTAGEM DO SISTEMA DE CONTROLO DO SISTEMA DE INJEÇÃO, REFRIGERAÇÃO, ETC	249
FIGURA 337 - DETERMINAÇÃO DO CENTRO DE MASSA DO <i>FRAME 1</i>	250
FIGURA 338 - LOCALIZAÇÃO DO CM DO <i>FRAME 1</i>	251
FIGURA 339 - DETERMINAÇÃO DO CENTRO DE MASSA DO <i>FRAME 2</i>	251
FIGURA 340 - LOCALIZAÇÃO DO CM DO <i>FRAME 2</i>	252
FIGURA 341 - DETERMINAÇÃO DO CENTRO DE MASSA DO MOLDE	252
FIGURA 342 - LOCALIZAÇÃO DO CM DO MOLDE	253
FIGURA 343 - GANCHO	254
FIGURA 344 - SISTEMA DE IÇAMENTO DO MOLDE	254
FIGURA 345 - LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA DE IÇAMENTO NO MOLDE	255
FIGURA 346 - LIGAÇÕES ELÉTRICAS DO MOLDE	256
FIGURA 347 - LIGAÇÕES ELÉTRICAS <i>TAILGATE</i>	256
FIGURA 348 - LIGAÇÕES ELÉTRICAS <i>REAR END PANEL</i>	257
FIGURA 349 - APLICAÇÃO DE MEDALHÕES DE ALUMÍNIO	258
FIGURA 350 - APLICAÇÃO DO ZARCÃO	258
FIGURA 351 - ZONAS DE CONTACTO A AZUL	259



## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - FATORES QUE INFLUENCIAM A LOCALIZAÇÃO DO ATAQUE (CENTIMFE, 2003)	79
TABELA 2 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS SISTEMAS DE ALIMENTAÇÃO ISOLADOS (CENTIMFE, 2003)	82
TABELA 3 - PROFUNDIDADES TÍPICAS DOS RASGOS DE ESCAPE DE GASES PARA ALGUNS DOS POLÍMEROS MAIS COMUNS (CENTIMFE, 2003)	84
TABELA 4 - VALORES DAS CONSTANTES DE KM (MANRICH, 2005)	103
TABELA 5 - MATERIAIS PARA APLICAÇÃO EM MOLDES (SIMOLDES, 2016)	119
TABELA 6 - PARÂMETROS DE PROCESSAMENTO DO POLIPROPILENO (EQUISTAR,2007)	121
TABELA 7 - PARTICULARIDADES DA PEÇA <i>REAR END PANEL</i>	128
TABELA 8 - PARTICULARIDADES DA PEÇA <i>TRIM LOWER TAILGATE</i>	129
TABELA 9 - ALTERAÇÕES DA PEÇA <i>REAR END PANEL</i>	130
TABELA 10 - ALTERAÇÕES DA PEÇA <i>TRIM LOWER TAILGATE</i>	131
TABELA 11 - CARACTERÍSTICAS RELEVANTES DA MÁQUINA DE INJETAR A USAR	133
TABELA 12 - ESPECIFICAÇÕES GERAIS (CEM)	134
TABELA 13 - MATERIAIS DOS PRINCIPAIS COMPONENTES DO MOLDE (CEM)	134
TABELA 14 - PALETE DE CORES DO PROJETO	140
TABELA 15 - COMPONENTES DO MOLDE	141
TABELA 16 - FORÇAS DESENVOLVIDAS PELOS CILINDROS HPS - VCN NO SEU AVANÇO, EM DAN (HP SYSTEMS)	173
TABELA 17 - FORÇAS DESENVOLVIDAS PELOS CILINDROS HPS - VCN NO SEU RECUO, EM DAN (HP SYSTEMS)	173
TABELA 18 – ANÁLISE DO APROVEITAMENTO/RENDIMENTO DAS FURAÇÕES	199
TABELA 19 - ETAPAS PARA O FABRICO DOS MACHOS E DAS CAVIDADES	201
TABELA 20 - ETAPAS DO FABRICO DAS PLACAS DA ESTRUTURA	204
TABELA 21 - ETAPAS PARA O FABRICO DOS MOVIMENTOS	204
TABELA 22 - ETAPAS PARA O FABRICO DOS COMPONENTES DE EXTRAÇÃO	206
TABELA 23 - ETAPAS DE FABRICO DAS PLACAS DE PRESSÃO E AJUSTE	207
TABELA 24 - CARACTERÍSTICAS NECESSÁRIAS DAS PLACAS DO MOLDE	208
TABELA 25 - VALORES ATRIBUÍDOS ÀS PROPRIEDADES SELECIONADAS	211
TABELA 26 – PONDERAÇÃO DAS PROPRIEDADES	211
TABELA 27 - PONDERAÇÃO DOS MATERIAIS	212
TABELA 28 - ÍNDICES DE MÉRITO	212
TABELA 29 - VALORES ATRIBUÍDOS ÀS PROPRIEDADES SELECIONADAS	213
TABELA 30 - PONDERAÇÃO DAS PROPRIEDADES	214
TABELA 31 - PONDERAÇÃO DOS MATERIAIS	214
TABELA 32 - ÍNDICES DE MÉRITO	214
TABELA 33 - COMPONENTES ELÉTRICOS	217
TABELA 34 – CASQUILHOS E GUIAS NORMALIZADOS	219
TABELA 35 - CARRINHOS NORMALIZADOS	219

---

TABELA 36 - CAVILHAS E PARAFUSOS NORMALIZADOS	220
TABELA 37 - MOLAS NORMALIZADAS	221
TABELA 38 - COMPONENTES NORMALIZADOS DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO	222
TABELA 39 - COEFICIENTE DE EFICÁCIA DOS CANAIS DE ARREFECIMENTO (HARADA,2004)	231
TABELA 40 - DESCRIÇÃO DAS FUNÇÕES DE TODAS AS SECÇÕES ENVOLVIDAS NO FABRICO DO MOLDE	235
TABELA 41 - CUSTOS ASSOCIADOS A MATÉRIAS-PRIMAS	237
TABELA 42 - MONTAGEM DO MOLDE	242
TABELA 43 - AJUSTE FINAL DO MOLDE	258

# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>37</b>
<b>1.1</b>	<b>Enquadramento</b>	<b>37</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos</b>	<b>38</b>
<b>1.3</b>	<b>Metodologia</b>	<b>39</b>
<b>1.4</b>	<b>Estrutura</b>	<b>39</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>43</b>
<b>2.1</b>	<b>Breve introdução às funções de um molde para a injeção de plásticos</b>	<b>43</b>
2.1.1	Tipos de moldes de injeção	44
2.1.2	Estrutura dos moldes	55
2.1.3	Sistemas de fixação da ferramenta	57
2.1.4	Sistema de extração das peças injetadas	60
2.1.5	Sistemas de alimentação	70
2.1.6	Sistema de arrefecimento do molde	86
2.1.7	Sistema de guiamento-centramento	94
2.1.8	Tipos de componentes moldantes	99
<b>2.2</b>	<b>Dimensionamento de moldes para a injeção de plásticos</b>	<b>103</b>
2.2.1	Cálculo da força de fecho	103
2.2.2	Dimensionamento dos calços	104
2.2.3	Dimensionamento do extrator/guia	105
2.2.4	Cálculo da força de extração	106
2.2.5	Cálculo do tempo de arrefecimento	106
2.2.6	Cálculo do caudal do fluido de arrefecimento	107
2.2.7	Dimensionamento da espessura mínima da cavidade	108
<b>2.3</b>	<b>Componentes normalizados para aplicação em moldes</b>	<b>108</b>
<b>2.4</b>	<b>Texturização</b>	<b>111</b>
2.4.1	Operações tipicamente realizadas no processo de texturização	112
<b>2.5</b>	<b>Materiais a empregar no molde</b>	<b>116</b>
<b>2.6</b>	<b>O polipropileno</b>	<b>119</b>
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b>	<b>125</b>
<b>3.1</b>	<b>Objetivos específicos do trabalho prático</b>	<b>125</b>

<b>3.2</b>	<b>Caracterização da empresa</b>	<b>125</b>
3.2.1	O Grupo Simoldes	125
3.2.2	A MDA	127
<b>3.3</b>	<b>Definição da peça injetada pretendida</b>	<b>127</b>
3.3.1	Alterações à peça	130
<b>3.4</b>	<b>Elencagem dos requisitos exigidos pelo cliente</b>	<b>133</b>
3.4.1	Máquina de injeção	133
3.4.2	Características do molde	134
<b>3.5</b>	<b>Anteprojecto do molde: possíveis soluções</b>	<b>138</b>
3.5.1	Contração da peça	138
3.5.2	Separação das peças em macho e cavidade	138
3.5.3	Geometria do molde e disposição da peça	140
3.5.4	Postiços	144
3.5.5	Sistema de extração da peça	148
3.5.6	Extratores	168
3.5.7	Pernos de retorno	169
3.5.8	Placas de extração	171
3.5.9	Cilindros hidráulicos e circuito hidráulico	172
3.5.10	Guiamento e ajuste	174
3.5.11	Sistema de injeção	176
3.5.12	Sistema de refrigeração do molde	178
<b>3.6</b>	<b>Soluções para a fabricação do molde</b>	<b>201</b>
<b>3.7</b>	<b>Seleção dos materiais para as diferentes zonas do molde</b>	<b>207</b>
3.7.1	Requisitos para o material das placas	208
<b>3.8</b>	<b>Seleção de componentes normalizados para o molde</b>	<b>215</b>
<b>3.9</b>	<b>Dimensionamento do molde</b>	<b>224</b>
3.9.1	Dimensionamento das placas e guias do molde	224
3.9.2	Dimensionamento do sistema de arrefecimento	229
3.9.3	Dimensionamento do sistema de ejeção da peça	231
<b>3.10</b>	<b>Processos de fabrico utilizados e respetiva sequência de fabrico</b>	<b>234</b>
<b>3.11</b>	<b>Estimativa de custos para o molde</b>	<b>237</b>
3.11.1	Custos associados a matérias-primas	237
3.11.2	Custos de mão-de-obra associados à conceção e fabrico do molde	241
<b>3.12</b>	<b>Montagem final do molde</b>	<b>242</b>
3.12.1	Determinação da massa do molde e centro de gravidade	250

---

<b>3.13</b>	<b>Ligações elétricas do molde</b>	<b>256</b>
<b>3.14</b>	<b>Ajuste final do molde e teste</b>	<b>258</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>263</b>
<b>5</b>	<b>BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO</b>	<b>267</b>
<b>5.1</b>	<b>Bibliografia</b>	<b>267</b>
<b>5.2</b>	<b>Outras fontes de informação</b>	<b>268</b>
<b>6</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>273</b>



# INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

1.2 Objetivos

1.3 Metodologia

1.4 Estrutura



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento

A indústria automóvel é uma das mais exigentes em termos de qualidade e produtividade no sector da produção metalomecânica e o desenvolvimento de novos componentes dá-se através da interação entre o cliente principal (marca automóvel), os produtores de peças (empresas dedicadas à injeção) e os produtores dos moldes, procurando satisfazer as necessidades ou caprichos do projeto, com garantia de qualidade e baixos custos.

Em Portugal, a indústria dos moldes está em claro desenvolvimento, criando milhares de postos de trabalho e contribuindo para a economia nacional com as suas contínuas exportações. Está distribuída por todo o país, no entanto, existem dois grandes polos de desenvolvimento: Marinha Grande e Oliveira de Azeméis.

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.

Para fazer face ao aumento da exigência na indústria, desenvolveram-se *softwares* de desenho, maquinação e simulação do processo de enchimento e solidificação, que permitem prever possíveis erros futuros, dando a possibilidade de os corrigir na fase de projeto, reduzindo o número de alterações a fazer ao molde à *posteriori*.

Desde o empirismo de outrora, até ao estudo mais técnico e científico da atualidade, o projeto e fabricação de moldes tem conhecido um interessante desenvolvimento, permitindo chegar às soluções finais de uma forma mais célere e com uma maior qualidade.

## 1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal proceder ao projeto 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 correto 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 objetivos anteriormente referidos, tornar-se-á necessário:

- Proceder à correta seleção 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;
- Efetuar o correspondente estudo do processo de fabrico do molde;
- Proceder ao estudo, seleção e otimização de todos os componentes normalizados para o molde;
- Estudar o respetivo processo de montagem;
- Verificar o seu funcionamento;
- Efetuar as correções 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 projeto 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;
- Seleção dos materiais para as diferentes zonas do molde;
- Estudo das placas de fixação do molde à máquina de injeção;
- Realização do projeto final;
- Estudo do processo de produção e montagem do molde;
- Realização dos testes de injeção e verificação de possíveis melhorias a implementar;
- Implementação das correções necessárias;
- Validação final do correto funcionamento do molde;
- Redação 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 projetos desenvolvidos, soluções encontradas, assim como o tratamento e análise crítica dos resultados.



# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Breve introdução às funções de um molde para a injeção de plásticos

2.2 Dimensionamento de moldes para a injeção de plásticos

2.3 Componentes normalizados para aplicação em moldes

2.4 Texturização

2.5 Materiais a empregar no molde

2.6 O polipropileno



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Breve introdução às funções de um molde para a injeção de plásticos

Os moldes de injeção são hoje os mais largamente divulgados no processamento de polímeros. Os primeiros moldes foram concebidos ainda no século XIX, quando os irmãos Hyatt, nos Estados Unidos, patentearam a primeira máquina de injeção para um material celulósico. Ao longo do século XX a injeção teve uma grande evolução, cujos principais marcos foram a máquina hidráulica (anos 40), a máquina de parafuso alternativo (1951) e a máquina elétrica (1988).

Inicialmente desenvolvido para a transformação de resinas termoendurecíveis, nomeadamente as de ureia-formaldeído (comercialmente conhecidas por Bakelite®), o processo teve um enorme desenvolvimento com o advento dos materiais termoplásticos que se verificou após a Segunda Guerra Mundial.

Atualmente, a moldação por injeção é um dos principais processos de transformação de materiais de base polimérica, com enorme importância nos grandes mercados consumidores, nomeadamente, embalagem, construção civil, automóvel e material elétrico e eletrónico.

O grande sucesso desta tecnologia fica a dever-se ao efeito combinado de uma série de vantagens comparativas, entre as quais se salientam: as elevadas cadências de produção, a grande reprodutibilidade e precisão dimensional, a grande flexibilidade em termos de geometria e dimensões das moldações.

Um molde de injeção (figura 1) pode ser visto como um conjunto de sistemas funcionais que permitem que um espaço em que a peça vai ser materializada, definido pela cavidade e pelo macho – a impressão -, seja preenchido com o plástico fundido em condições controladas, pelos outros sistemas que garantem a qualidade dimensional e estrutural das peças produzidas. Estes sistemas funcionais são:

- **Estrutura**, que assegura a solidez estrutural do molde;
- **Guiamento**, que mantém o perfeito alinhamento da cavidade com o macho;
- **Alimentação**, que permite o percurso do fundido, desde o bico da injetora até à impressora;
- **Controlo de temperatura**, que assegura que nas superfícies moldantes a temperatura seja tão uniforme quanto possível e que o arrefecimento se faça de forma rápida e eficiente;
- **Extração**, que faz com que as moldações sejam retiradas do molde.

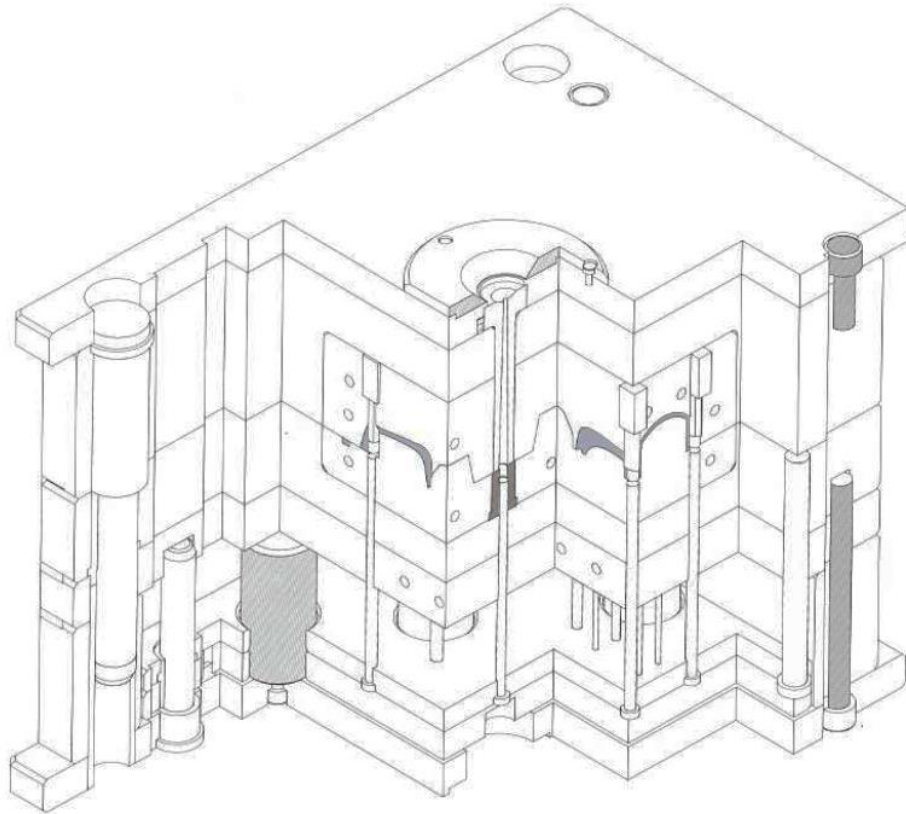


Figura 1 - Representação esquemática de um molde de injeção (CENTIMFE, 2003)

Para além destes sistemas, os moldes de injeção mais elaborados, podem ser dotados de sistemas especiais que asseguram os movimentos, a monitorização da temperatura e de pressão, a extração controlada com robots ou o controlo independente da temperatura no sistema de alimentação.

Hoje, os moldes de injeção de termoplásticos são construídos em variados tipos de materiais, desde os aços de alta liga usados em moldes para séries mais longas e mais exigentes, até aços ao carbono para peças menos críticas e séries mais curtas. Para além disso, para séries protótipo ou séries muito curtas, são usadas ligas de alumínio ou, mais recentemente, materiais não metálicos nas zonas moldantes, dando origem ao que se designa por moldes híbridos (isto é, com materiais metálicos e não metálicos). Também se começam a utilizar moldes em que os machos e cavidades são obtidos quase diretamente por recurso a técnicas de prototipagem rápida, que fazem a sinterização de partículas metálicas.

### 2.1.1 Tipos de moldes de injeção

Existem diferentes nomenclaturas que se podem dar aos moldes com vista a facilitar a generalização de conceitos. Apresentam-se, de seguida, alguns destes tipos de moldes, que são aqueles que mais usualmente se encontram na indústria.

### 2.1.1.1 Moldes de duas placas

Neste tipo de moldes (figura 2), os assuntos mais interessantes a referir prendem-se com:

- Centragem, ligação e encaixe da cavidade e do macho nas placas;
- Travamento Cavidade – Macho.

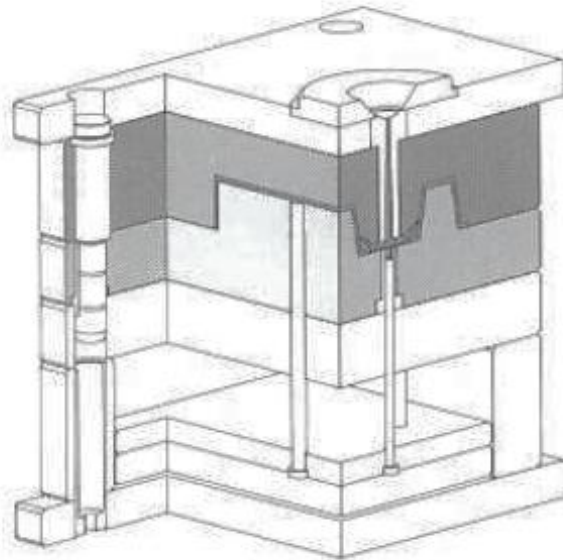


Figura 2 - Molde de duas placas (CENTIMFE, 2003)

#### Centragem Cavidade – Macho

Os moldes de injeção de plásticos são montados nos pratos da máquina de injeção. Durante o ciclo de moldação, os pratos abrem e fecham, procedendo-se assim à remoção das peças do molde. Para garantir esta funcionalidade, existe a necessidade de se recorrer a um sistema de guiamento que permita um correto e rigoroso alinhamento das metades do molde, assim como um fecho preciso e ajustado. A ausência de um tal sistema contribuiria para defeitos e desvio nas espessuras das paredes das peças moldadas. A centragem da cavidade e do macho deve ser feita tendo em conta a produtividade, a resistência e a fiabilidade.

#### Centragem por Caixa (figura 3)

- Não permite retificar o fundo;
- Tem o rigor da fresagem;
- É forte;
- Menos económico;
- Média facilidade de maquinagem.

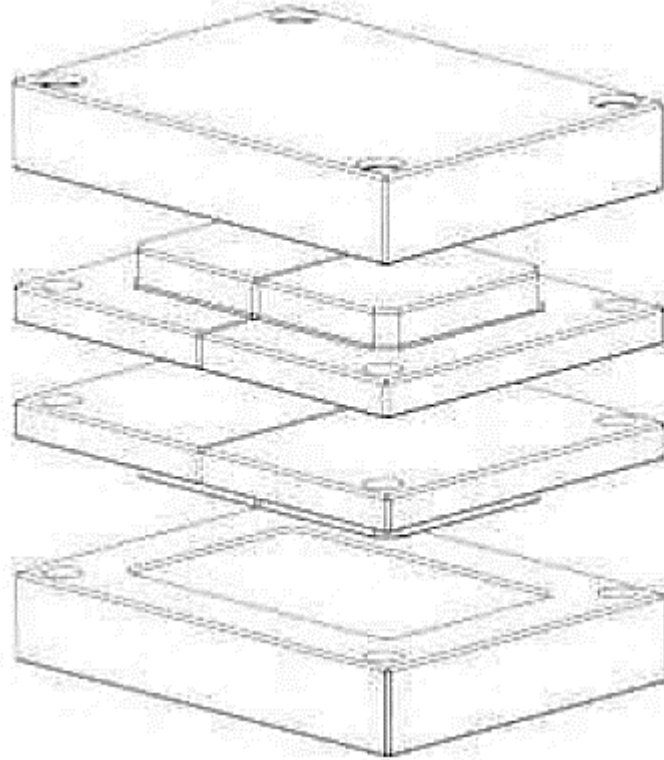


Figura 3 - Centragem por caixa (CENTIMFE, 2003)

#### Centragem por Guiamento (figura 4)

- Permite retificação;
- Tem o rigor da retificação;
- Em alguns casos não é forte;
- É económico;
- Fácil maquinação.

#### Centragem por Réguas (figura 5)

- Permite retificação;
- Tem o rigor da retificação;
- É forte;
- Média economia;
- Fácil maquinação.

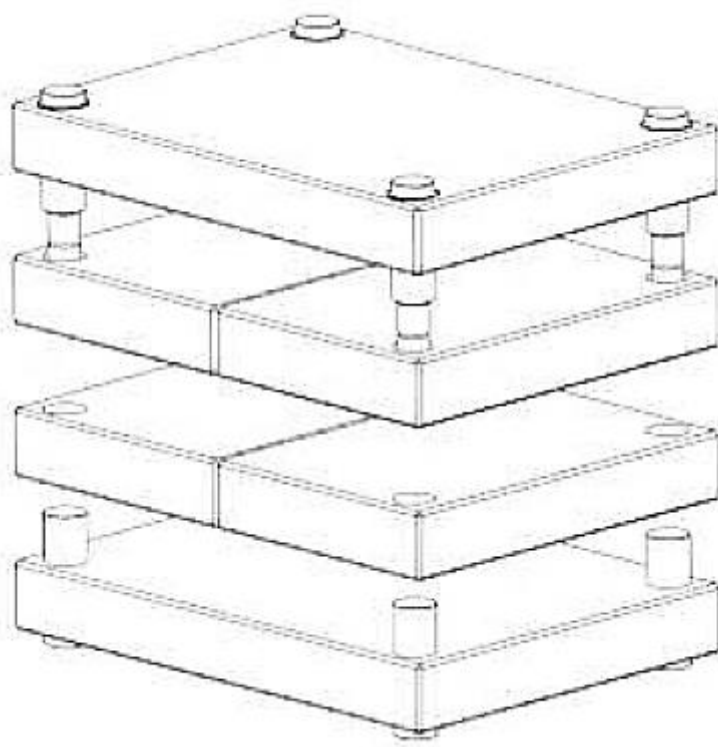


Figura 4 - Centragem por guiamento (CENTIMFE, 2003)

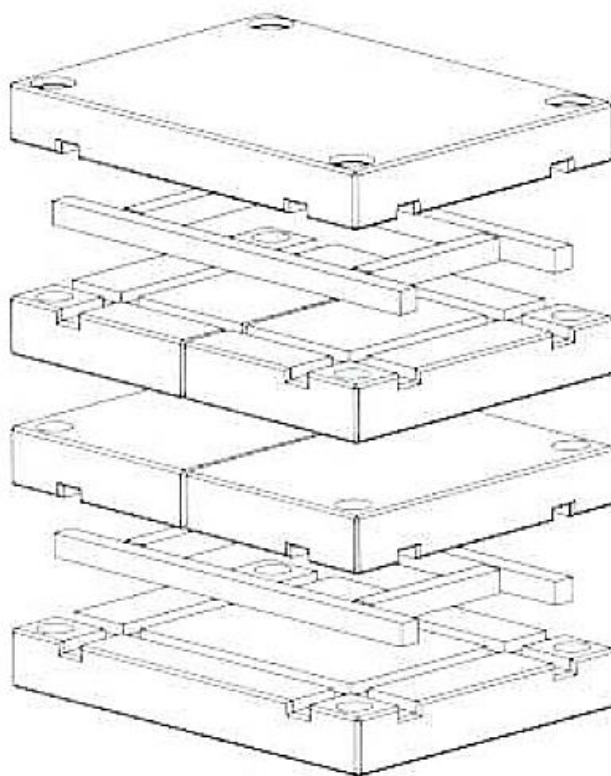


Figura 5 - Centragem por réguas (CENTIMFE, 2003)

### Centragem Cantos (figura 6)

- Permite retificação apenas das placas;
- Tem o rigor da retificação nas placas;
- Tem o rigor da fresa na cavidade e no macho;
- É forte;
- Média economia.

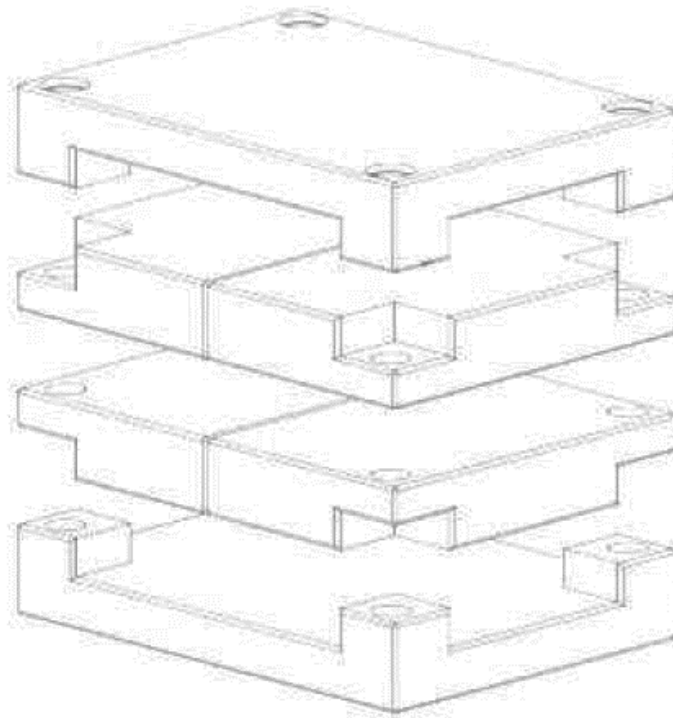


Figura 6 - Centragem por cantos (CENTIMFE, 2003)

Em certas situações, o sistema de centragem não é suficiente para garantir um funcionamento correto do molde e, nesses casos, o projetista terá de introduzir no molde sistemas de travamento. O travamento, para além da finalidade de guiamento e centragem, proporciona também um melhor ajustamento e proteção às metades do molde, particularmente quando se trata de grandes dimensões com cavidades profundas.

### Travamento Cavidade - Macho

O travamento da cavidade – macho pode ser realizado das seguintes formas:

- Travamento direto entre cavidade e macho (figura 7);
- Uso de blocos de travamento (*locks*) quadrados ou redondos, colocados em função da resistência e das dilatações envolvidas (figura 8).

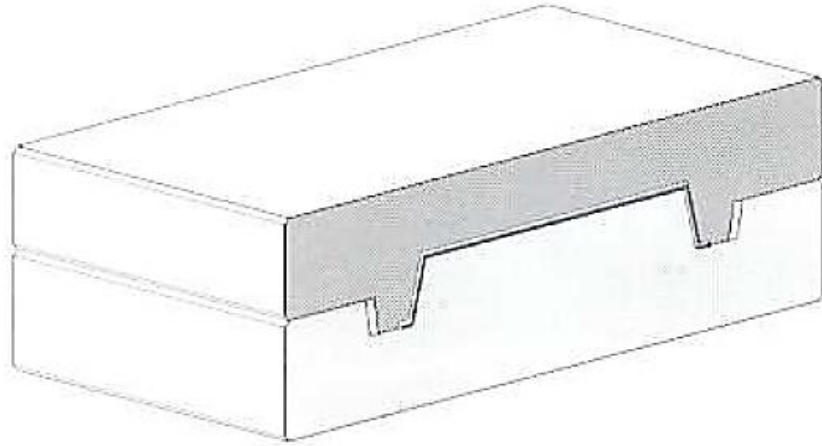


Figura 7 - Travamento direto Cavidade – Macho (CENTIMFE, 2003)

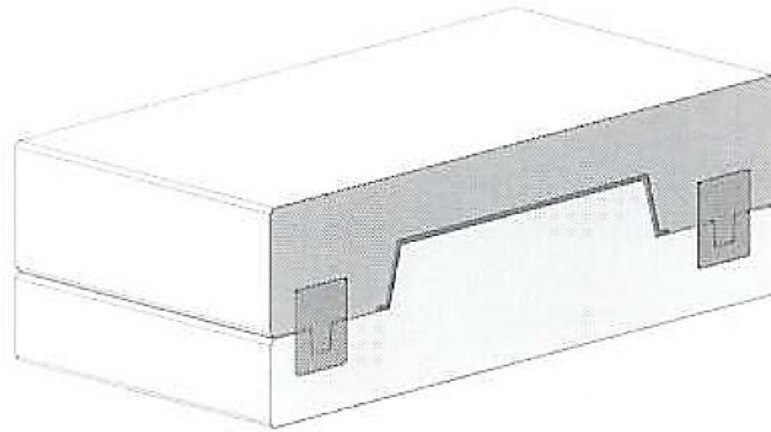


Figura 8 - Travamento Cavidade - Macho com blocos de travamento (*locks*) (CENTIMFE, 2003)

### 2.1.1.2 Moldes de três placas

Relativamente aos moldes de três placas, serão abordados três tipos:

- O molde em que o bico da máquina vai dentro do molde;
- O molde com bico quente;
- O molde minijito.

O funcionamento dos moldes de três placas é o seguinte:

- Extração do jito da cavidade, abertura (A);
- Extração do jito das prisões, abertura (B);
- Abertura do molde, abertura (C);
- Extração das peças (D).

Na figura 9 pode-se ver um molde de três placas em que o bico da máquina vai dentro do molde.

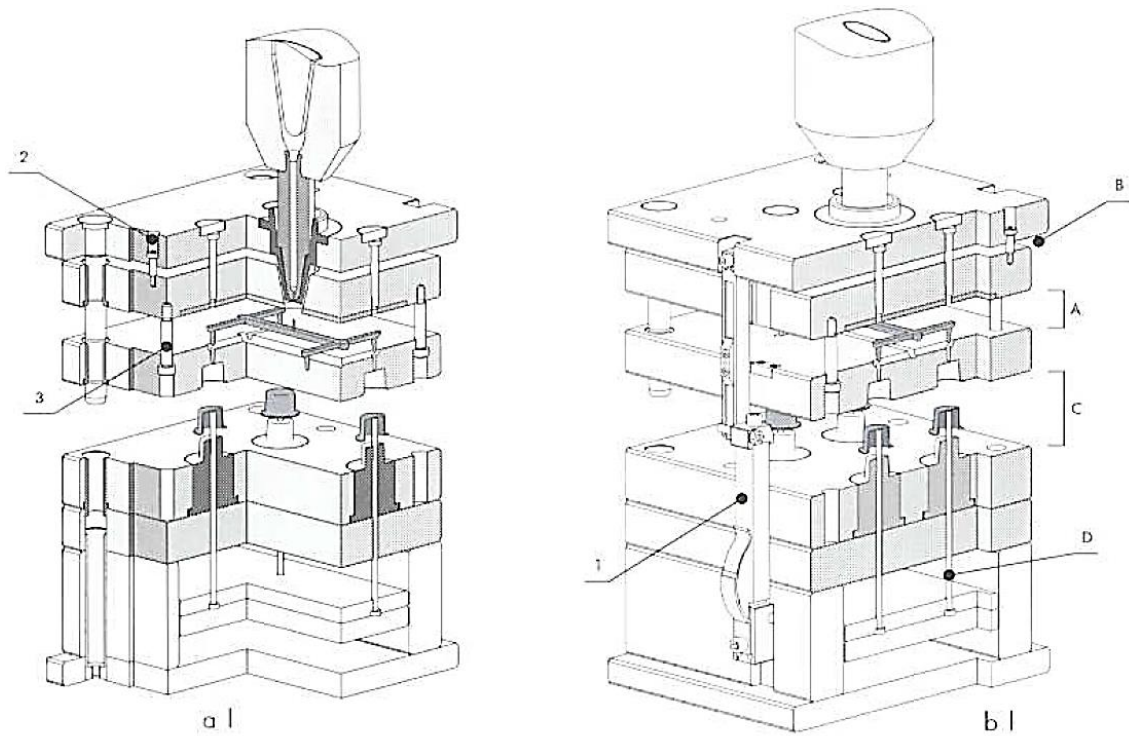


Figura 9 - Molde de três placas com o bico da máquina a ir dentro do molde (CENTIMFE, 2003)

Na figura 10 pode-se ver um molde de três placas com bico quente.

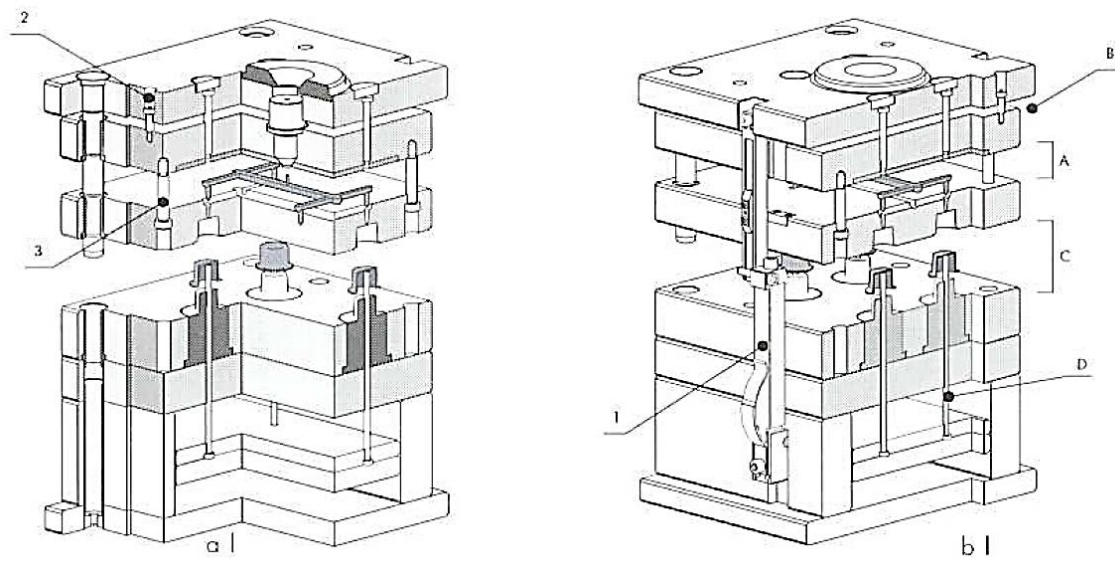


Figura 10 - Molde 3 placas com bico quente (CENTIMFE, 2003)

Na figura 11 pode-se ver um molde do tipo minijito. Este tipo de molde apresenta algumas vantagens relativamente aos anteriores:

- São mais baratos e menos complexos;
- O material dos minijitos pode ser reutilizado e entrar no processo produtivo de forma automática;
- O sistema de controlo de temperatura é mais simples, mais barato e a energia consumida no aquecimento é menor.

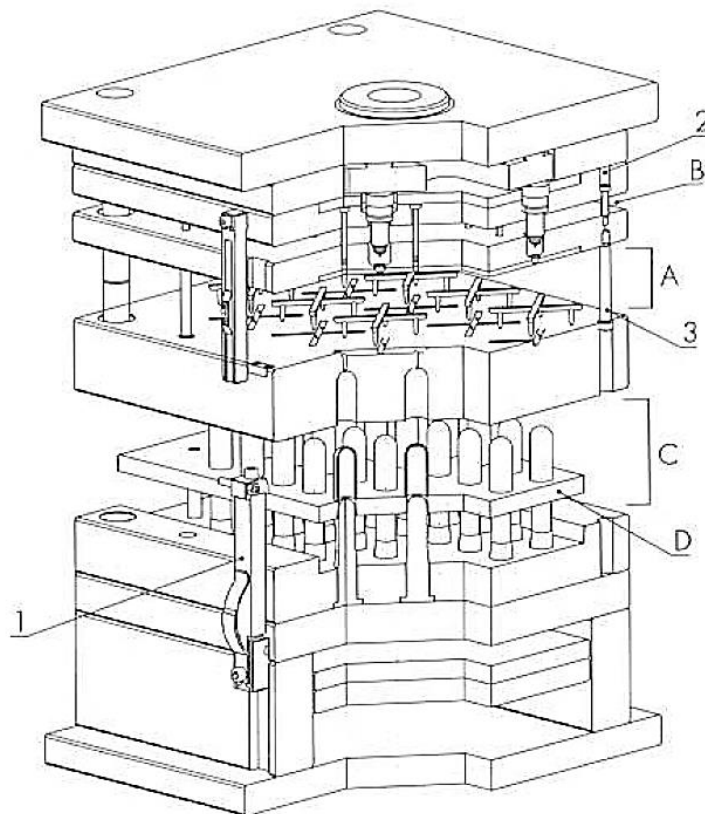


Figura 11 - Molde do tipo minijito (CENTIMFE, 2003)

### 2.1.1.3 Moldes Sandwich

Neste tipo de moldes é possível duplicar o número de peças a moldar utilizando a mesma força de fecho da máquina de injeção (figura 12). A abertura do molde sandwich faz-se com auxílio da abertura da máquina de injeção. O conjunto das cavidades (A) fica a meio dos conjuntos dos machos (B), resultado da aplicação do sistema de cremalheiras.

Durante a abertura e fecho do molde, deve-se ter em atenção que o conjunto de cavidades não saia do guiamento. Para isso, deve-se prever a utilização de barras de apoio no próprio molde ou nas colunas da máquina. A extração deve ser feita através do movimento de abertura da máquina utilizando tirantes (C).

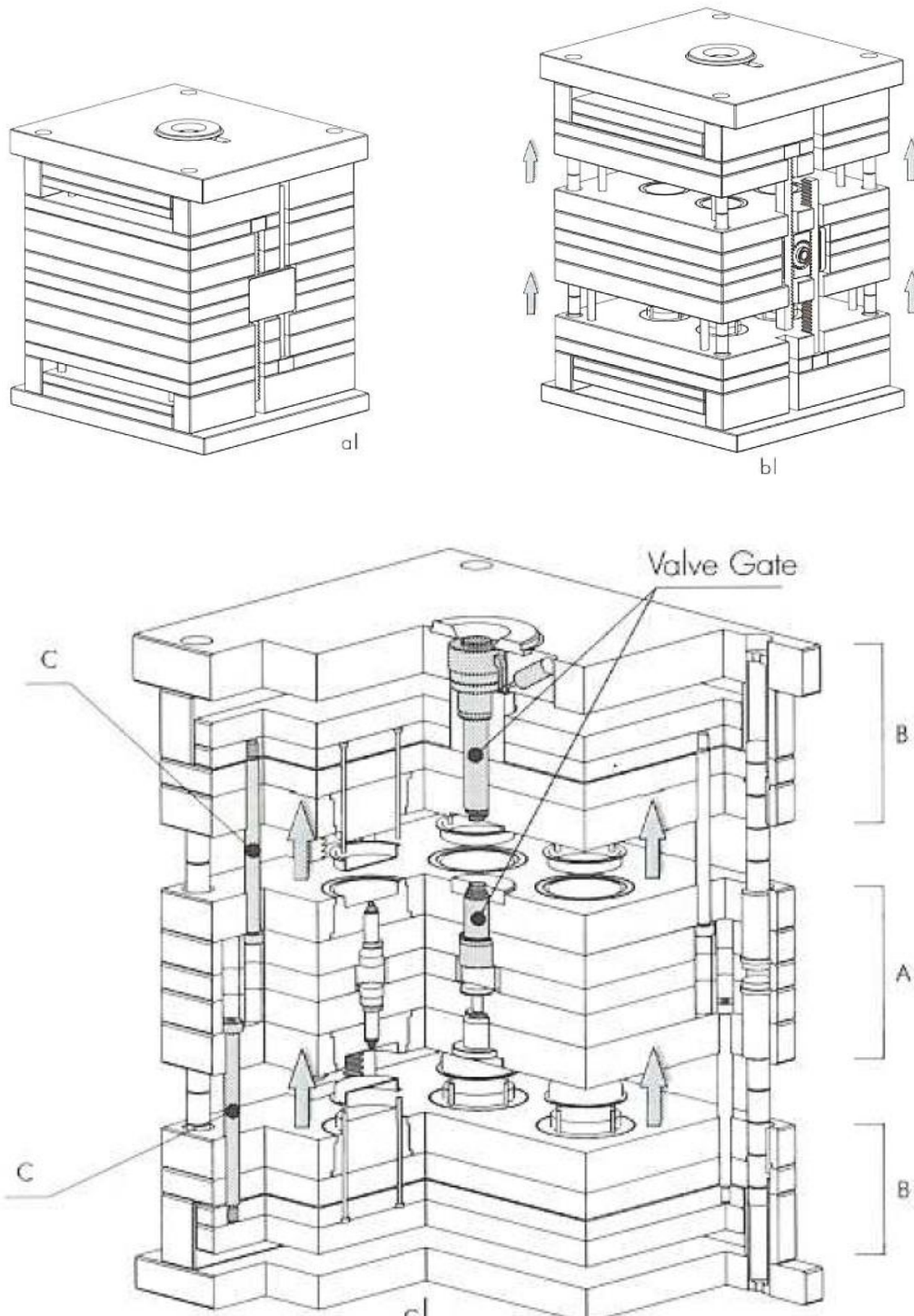


Figura 12 - Molde tipo Sandwich  
a) Molde Fechado; b) Abertura do Molde; c) Abertura e corte do Molde  
(CENTIMFE, 2003)

## Acionamentos

Para que com a abertura da máquina a parte que suporta as cavidades fique a meio, os acionamentos podem ser efetuados através de:

- Cremalheira e roda dentada, como na figura 12;
- Fusos e porcas helicoidais;
- Hidráulica;
- Alavancas;
- Tirantes.

O acionamento mais comum é através de cremalheira e roda dentada. Os sistemas de acionamento devem ser fortes e ajustados às dimensões do molde e à sua complexidade.

## Movimentos

O movimento para a extração das moldações pode ser efetuado através de:

- Tirantes, que corresponde ao exemplo apresentado (figura 12), apesar de ser pouco habitual;
- Hidráulicos, que é o mais utilizado;
- Braços ligados a sistemas de alavancas.

### 2.1.1.4 Moldes Bi-material

O molde para a técnica de injeção bi-material é um tipo de molde que corresponde à moldação de dois ou mais materiais. Os materiais podem ser diferentes (compatíveis ou não) ou o mesmo material, mas com cores diferentes. A moldação bi-material pode ser efetuada através dos seguintes processos:

- Transferindo as moldações de uma máquina para a outra através de robots;
- Transferindo as moldações da 1ª posição de injeção para a 2ª posição, no mesmo molde, através de robots;
- Por rotação incorporada no molde ou no prato da máquina, que tem duas ou mais unidades de injeção.

Os processos indicados são escolhidos de acordo com os seguintes fatores:

- Economia;
- Produtividade;
- Tipo de produto;

- Equipamento disponível.

Na figura 13 apresenta-se um exemplo de um molde bi-material baseado no processo de rotação incorporado no molde.

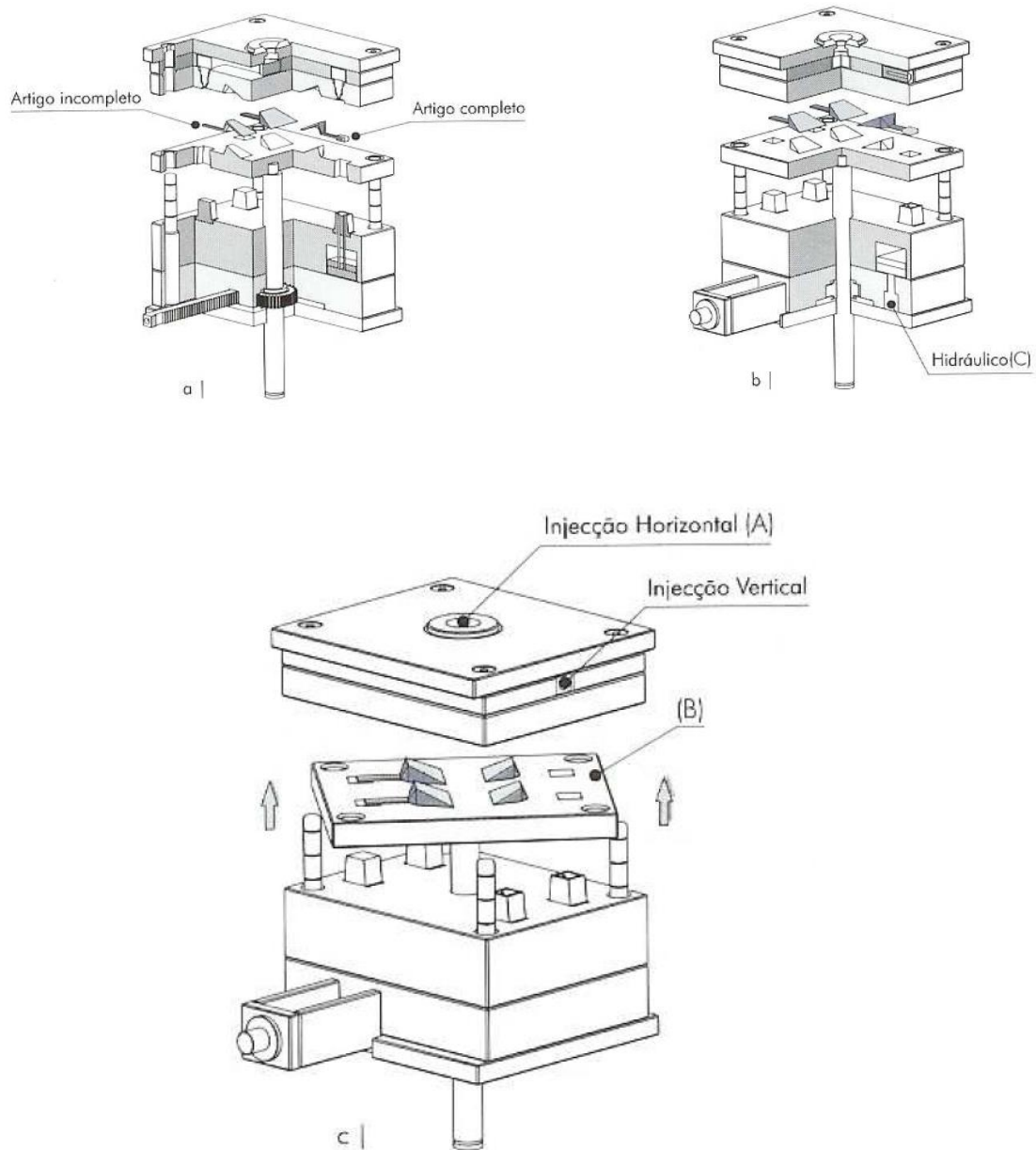


Figura 13 - Molde bi-material (CENTIMFE, 2003)

O funcionamento do molde bi-material pode ser descrito através dos seguintes passos:

- Injeta-se a peça com o bloco de injeção horizontal (A);

- Dá-se a abertura do molde, acionando de seguida a extração central através do sistema da máquina;
- Através da ação de um cilindro hidráulico, cremalheira e roda dentada, roda-se 180° a chapa (B);
- Aciona-se o recuo da extração central através do sistema da máquina e fecha-se o molde;
- Simultaneamente, injeta-se com os dois blocos de injeção horizontal e vertical;
- Abre-se o molde;
- Extraí-se apenas a peça completa com os dois materiais, através do cilindro hidráulico (C);
- Recua o cilindro hidráulico (C);
- Aciona-se novamente a extração central, roda-se a chapa (B) e fecha-se o molde.

Outros tipos de moldes poderiam ser descritos. Por opção, apenas se apresentam aqueles que se consideram como principais.

### 2.1.2 Estrutura dos moldes

A estrutura de um molde é um conjunto de placas e calços, cujo número depende do tipo de molde. Como exemplo (figura 14), apresenta-se uma estrutura típica de um molde de duas placas, que é o tipo de molde mais simples, sendo constituída por uma parte fixa (ou lado de injeção) que é formada por:

- Placa de aperto da injeção;
- Placa das cavidades.

e por uma parte móvel (ou lado da extração), que corresponde a:

- Placa macho (buchas);
- Placa de reforço do macho;
- Calços;
- Placa de aperto da extração.

Na placa da cavidade (ou um postigo montado nessa placa), é maquinada a cavidade – parte fêmea do molde – que define a forma interior da peça.

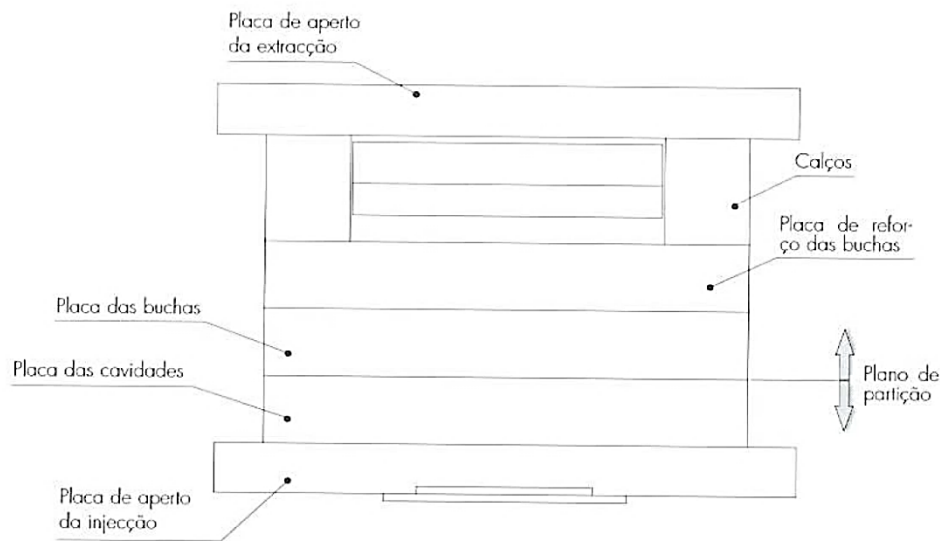


Figura 14 - Estrutura de um molde de duas placas (CENTIMFE, 2003)

Apesar do que foi dito, é de notar que a cavidade e o macho podem estar situados indiferentemente na parte fixa ou na parte móvel do molde. No entanto, é mais comum a configuração descrita em que a cavidade fica na parte fixa e o macho na parte móvel, já que esta configuração facilita a extração das peças.

Os calços permitem definir o espaço necessário aos movimentos do sistema de extração e podem contribuir para a altura mínima do molde, exigível pela máquina onde vai ser montado.

Para dar rigidez ao conjunto, as placas têm de ser aparafusadas e encavilhadas entre si, de forma a criar tantas partes quantas as necessárias ao tipo de molde em questão. Os parafusos não deixam que as placas se separem, mas devido a possíveis esforços de corte existentes nos mesmos, as cavilhas, que entram justas nos furos, impedem estes movimentos, mas não a separação das placas. Assim, estes dois elementos devem andar sempre combinados.

Os parafusos a usar nas estruturas devem ser de cabeça cilíndrica e do tipo *umbrako*. Todas as placas da estrutura de um molde devem ter as arestas chanfradas e zonas rebaixadas, para facilitar a separação entre placas, de acordo com o apresentado na figura 15.

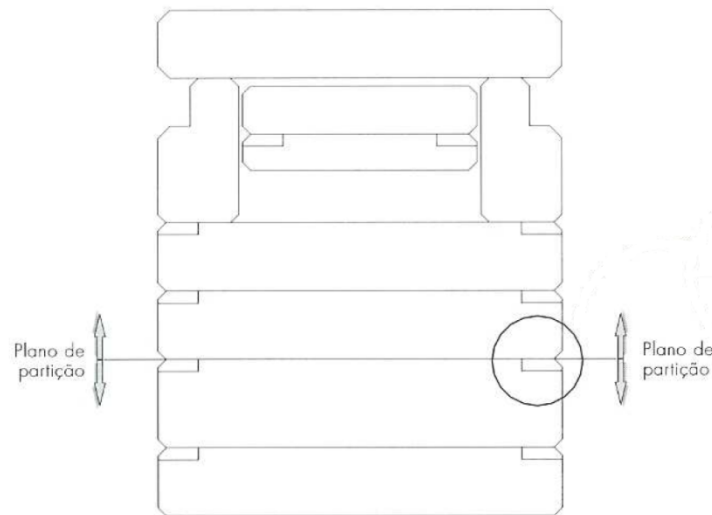


Figura 15 - Aberturas para separação das placas e calços das estruturas (CENTIMFE, 2003)

### 2.1.3 Sistemas de fixação da ferramenta

Para que o molde funcione, tem de ser montado numa máquina de injeção. Esta montagem tem de garantir, por um lado, a firme fixação do molde aos pratos da máquina, de forma a não haver escorregamento do molde, ou mesmo a sua queda e, por outro, o alinhamento do eixo do jito com o bico da unidade de injeção da máquina. Assim, é importante que o projetista do molde saiba, com rigor, quais as especificações do cliente para a montagem do molde. Isto é, se o molde é para ser montado “normalmente”, com a centragem feita por um anel de centragem, e o aperto manual, ou se a máquina tem algum dispositivo especial de montagem que obrigue a soluções especiais ou normalizadas para a sua montagem. Existem alguns tipos comuns de fixação que serão explicados de seguida.

#### **Aperto convencional**

Utiliza uma montagem vertical com o aperto feito manualmente. Nestes casos, para garantir o alinhamento do jito com o bico da máquina, os moldes têm de ter um anel de centragem com um diâmetro igual ao do furo existente no prato fixo da injetora, que fica saliente em relação à placa de aperto da injeção do molde. As placas de aperto da injeção e da extração são apertadas através de grampos de fixação, como, por exemplo, o apresentado na figura 16.



Figura 16 - Grampo de aperto manual (Staubli)

Este sistema de fixação tem a desvantagem de levar normalmente a que a montagem do molde seja bastante demorada, o que gera tempo improdutivo, principalmente quando se tem de trocar o molde com alguma frequência.

### Garras hidráulicas

São elementos que permitem a fixação automática dos moldes nos pratos da máquina, sendo facilmente adaptados a máquinas já existentes. São indicados para máquinas até 50000 kN (5000 ton) de força de fecho.

Este sistema de fixação consiste em elementos que contêm pistões que são acionados hidráulicamente (figura 17). Alguns elementos têm pistões inclinados, garantindo assim que o molde se mantenha fixo aos pratos ainda que não exista pressão hidráulica no circuito.



Figura 17 - Garra hidráulica (Staubli)

Em moldes verticais (figura 18), as garras hidráulicas são colocadas à esquerda e à direita do molde. Para o seu alinhamento são colocadas guias de alinhamento no topo do prato da máquina. Para um posicionamento e centragem mais precisos são utilizados batentes e espigões, colocados na parte inferior dos pratos, o que evita também o escorregamento do molde.

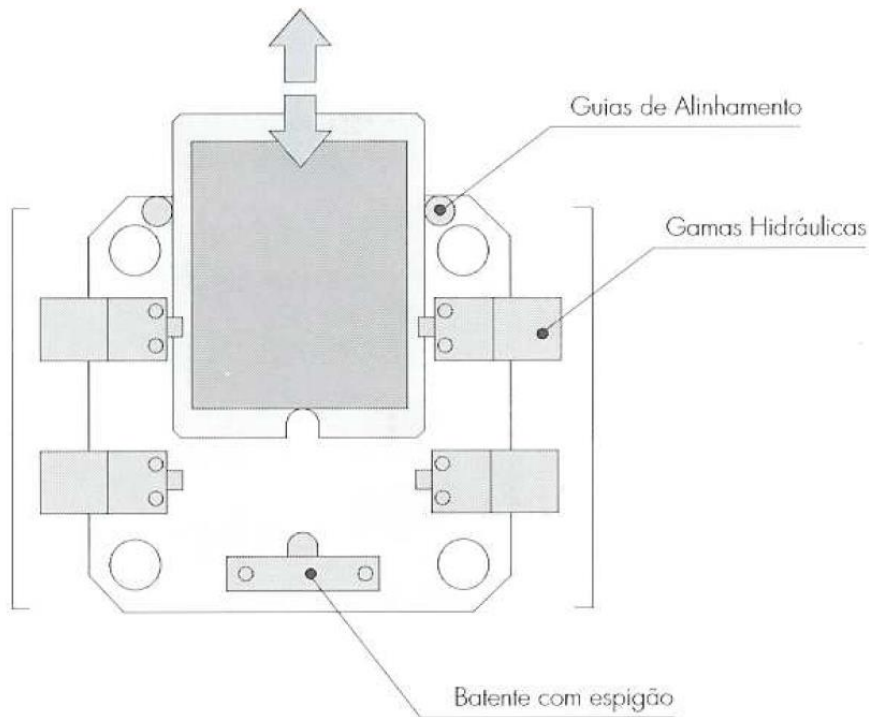


Figura 18 - Disposição das garras hidráulicas em montagens verticais (CENTIMFE, 2003)

### Pratos magnéticos

Consiste em dois pratos magnéticos (figura 19) e uma unidade de controlo que permite a magnetização e desmagnetização dos pratos. Este sistema tem a vantagem de se poder usar em todo o tipo de moldes, com os mais diversos tamanhos, e de se aproveitar todo o espaço disponível do prato da máquina. No entanto, é necessário ter alguns cuidados na limpeza das superfícies do molde e dos pratos magnéticos.



Figura 19 - Prato magnético

A ligação do molde à máquina implica não só a sua fixação, mas também a ligação de circuitos hidráulicos, pneumáticos, elétricos ou sistemas mecânicos. É de realçar que a normalização dos componentes individuais de interface deverão ser um aspeto importante para a mudança rápida de moldes.

#### 2.1.4 Sistema de extração das peças injetadas

Durante o processo de moldação por injeção, o plástico fundido é injetado para o molde fechado, com pressões relativamente elevadas (fase de injeção). As forças elevadas exercidas pela unidade de fecho mantêm o molde fechado, evitando que o material possa sair da impressão. Após a injeção, e para compensar a densificação e consequente contração, é injetado mais material para a impressão a pressão constante (fase de pressurização), até que o ataque solidifique. Depois desta fase, o material arrefece até atingir uma rigidez suficiente (fase de arrefecimento) que permita a extração do molde. Uma vez que a plasticização do material para uma nova moldação leva tempo, na fase final da pressurização o parafuso começa a rodar e o material fundido é transportado para a sua extremidade. Após estas fases, o molde abre. No intervalo entre a abertura e o fecho do molde, a peça é extraída. O ideal seria a seguir à abertura do molde que a peça pudesse cair por gravidade. Contudo, devido à contração e consequente adesão, assim como devido às contra saídas, a peça tende a ficar presa no molde (geralmente no macho) e são necessárias soluções específicas para a extrair. O sistema de extração requer assim um projeto próprio, tanto mais complexo quanto mais longos forem os cursos necessários ou mais elevadas forem as forças de extração devido a uma excessiva rigidez ou contração de alguns termoplásticos.

O sistema de extração (figura 20) é, normalmente, atuado pela máquina de moldação por injeção. Se este método não for possível, o sistema de extração pode ser atuado autonomamente por um sistema hidráulico ou pneumático. Nos casos em que o molde é construído para a produção de grandes séries, o sistema de extração será atuado um elevado número de vezes (tantas quantos os ciclos que o molde fizer). Deste modo, este sistema deve ser fiável, pois as paragens na produção podem implicar custos elevados, especialmente nos casos em que as peças forem incorporadas numa linha de montagem após moldação. De modo a salvaguardar o seu bom funcionamento, os acessórios que o constituem deverão ser dimensionados adequadamente. A crescente utilização de robots para a extração/manipulação das peças pode levar a pensar que este sistema está a cair em desuso. Contudo, isto não corresponde minimamente à verdade já que, por si só, o robot não consegue extrair a peça, devido às elevadas forças necessárias para a extração e às eventuais contra saídas que a peça possa ter. Assim, terá de existir um sistema de extração que, eventualmente, não fará uma extração completa (para que a peça possa cair por gravidade), mas uma extração parcial (libertar as contra saídas e fazer o “descolamento” da peça do macho) para que, então sim, o robot possa agarrar a peça.

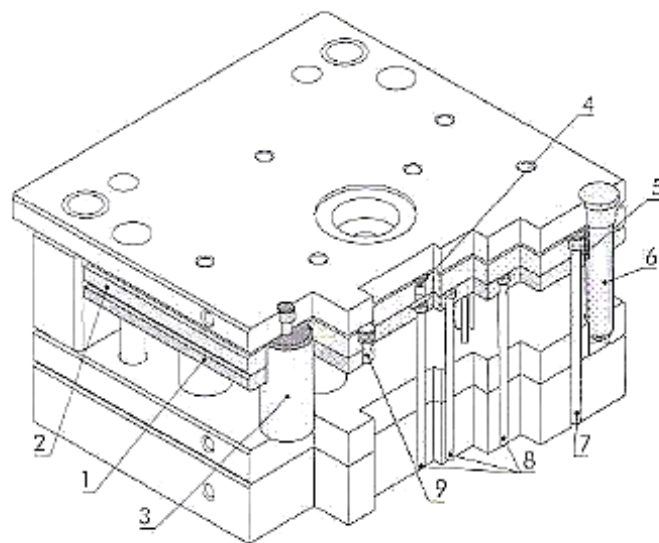


Figura 20 - Sistema de extração (CENTIMFE, 2003)

- (1) (2) – Placas dos extratores
- (3) – Suportes
- (4) – Botões de encosto
- (5) (6) – Casquilhos e guias de extração
- (7) – Pernos de retorno
- (8) – Extratores
- (9) – Parafusos

No entanto, deve-se referir que a maior parte das peças, porque apresentam recessos ou saliências laterais ou têm zonas roscadas, não são possíveis de desmoldar por processos tão simples (uma direção de extração), tendo que ter duas (ou mais) direções de extração. Para isso, é necessário recorrer a extratores especiais (balancés, aço mola, machos retráteis, etc.) ou a elementos móveis (laterais ou rotativos).

### Extração simples

Na extração simples que não apresente contra saídas ou saídas negativas, a extração pode fazer-se simplesmente pelo avanço das placas extratoras que movimentam os dispositivos de extração que assim empurram as peças.

### Extração com extratores

Os extratores, de um modo geral, servem para extrair as peças e, quando necessário, o sistema de alimentação. Estes componentes (figura 21) permitem exercer uma força localizada, sendo muito úteis para a desmoldação de pequenas saliências, nervuras ou encaixes da peça.

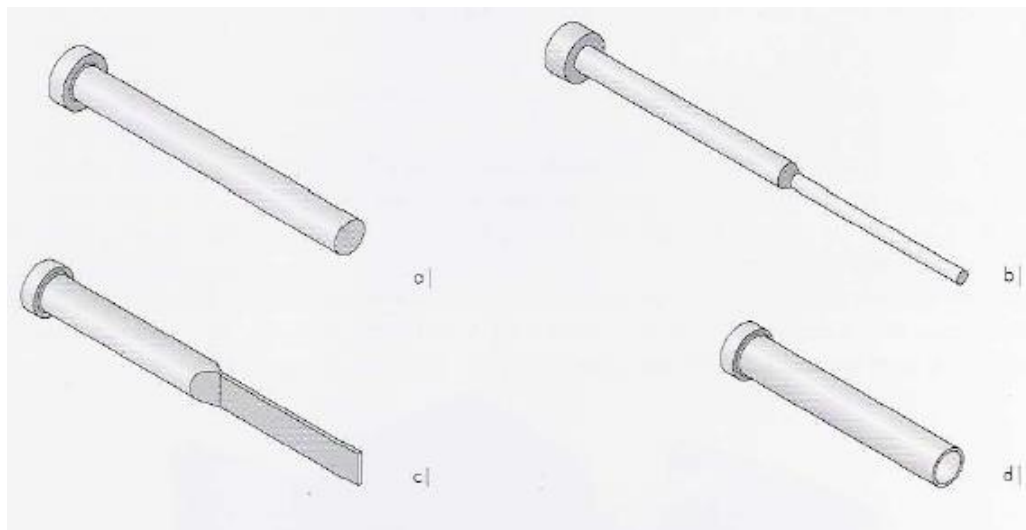


Figura 21 - Tipos de extratores mais comuns:  
a) Cilíndrico; b) Rebaixado; c) Lâmina; d) Tubular.  
(CENTIMFE, 2003)

Os extratores cilíndricos são dos componentes mais utilizados para a extração de peças em plástico. Normalmente, estes componentes são fixos por uma extremidade nas placas de extração, enquanto a outra se encontra em balanço e em contacto com a peça. Quando as placas extratoras avançam pela ação do sistema de ejeção da máquina, os extratores empurram uma ou mais moldações, e por vezes, o sistema de alimentação (figura 22).

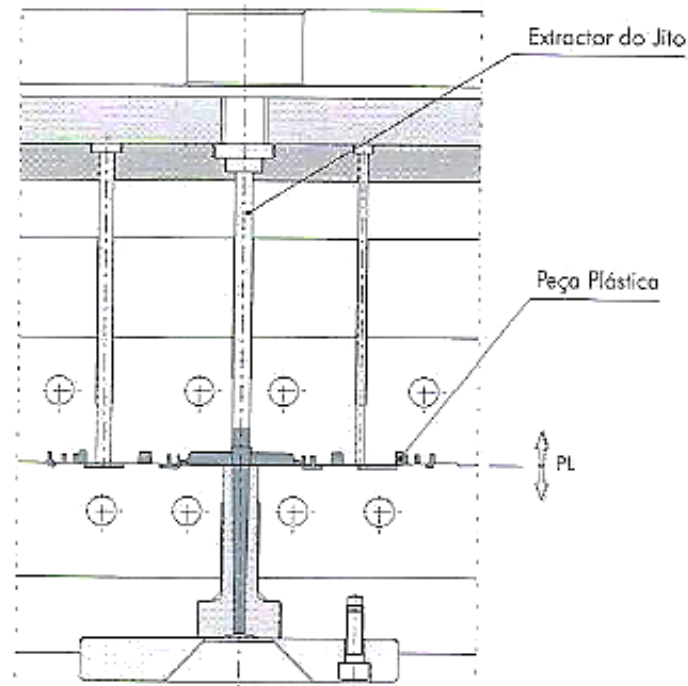


Figura 22 - Extração com extratores cilíndricos (CENTIMFE, 2003)

Os extratores rebaixados são uma variante dos extratores cilíndricos e são utilizados principalmente quando estes têm de ter um pequeno diâmetro (devido ao espaço disponível) e grande comprimento. Nestes casos, a força exercida nos extratores, quer durante a injeção quer durante a extração, poderia provocar a sua encurvadura. Assim, os extratores rebaixados apresentam duas zonas com diâmetros diferentes: junto à peça um pequeno diâmetro, necessário pelo espaço disponível para a atuação do extrator e, um diâmetro maior para lhe conferir resistência.

Os extratores de lâmina, que apresentam uma secção retangular na extremidade em contacto com a moldação, são frequentemente utilizados para extrair peças com contornos ou nervuras estreitas, como ilustrado na figura 23.

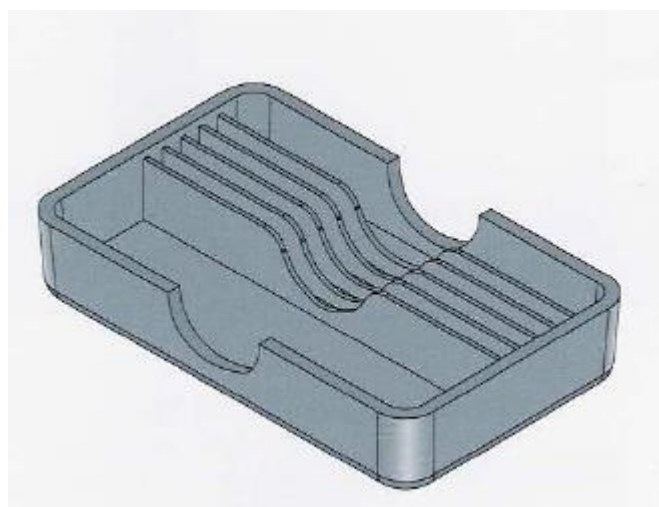


Figura 23 - Peças com nervuras estreitas (CENTIMFE, 2003)

Estes extratores devem ser montados em postigos, de modo a facilitar o processo de maquinação da caixa. Isto também facilita as operações de acabamento e montagem. Dependendo das dimensões, podem ser componentes com alguma fragilidade. Por isso, deverão ser guiados por casquilhos, quer na zona circular, quer na zona retangular do extrator. Apresenta-se, de seguida, um exemplo de montagem deste tipo de extratores na figura 24.

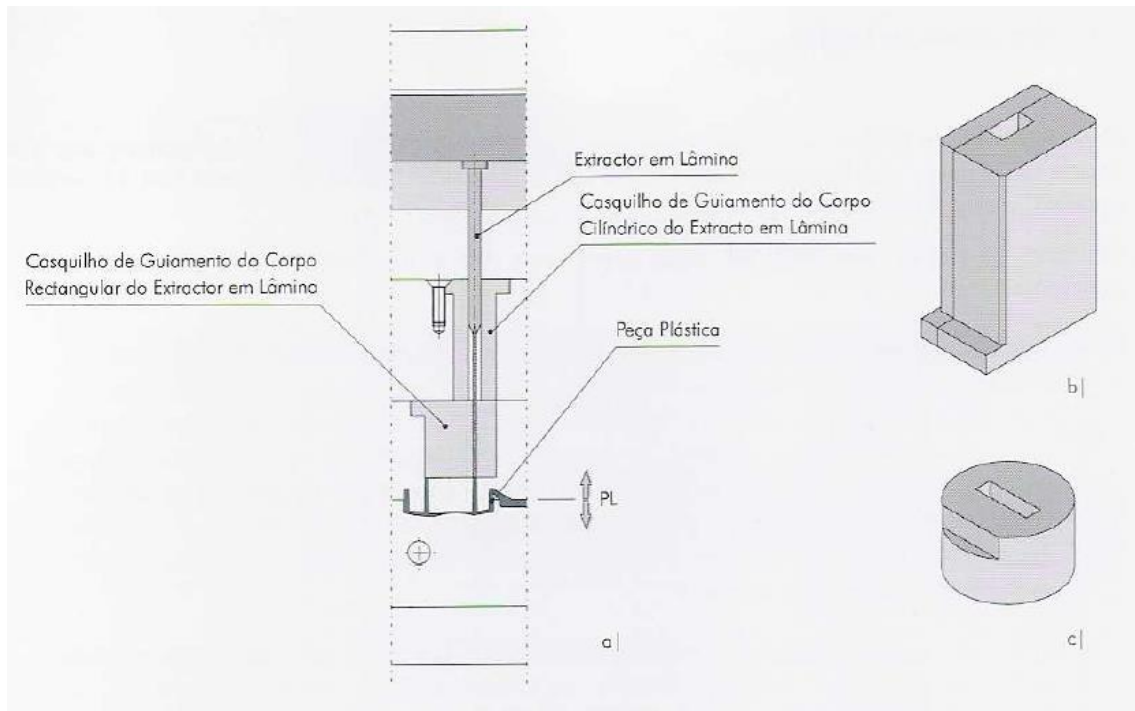


Figura 24 - Montagem dos extratores em lâmina:

- a) Esquema geral; b) Casquilho de guiamento da lâmina (retangular); c) Casquilho de guiamento (cilindro)  
(CENTIMFE, 2003)

Os extratores tubulares servem para extrair secções tubulares (“castelos”, por exemplo) sem necessidade de reforçar a peça, alterando a sua espessura ou colocando nervuras adicionais. Na figura 25 representa-se uma parte de um molde onde são usados extratores tubulares para a extração da peça.

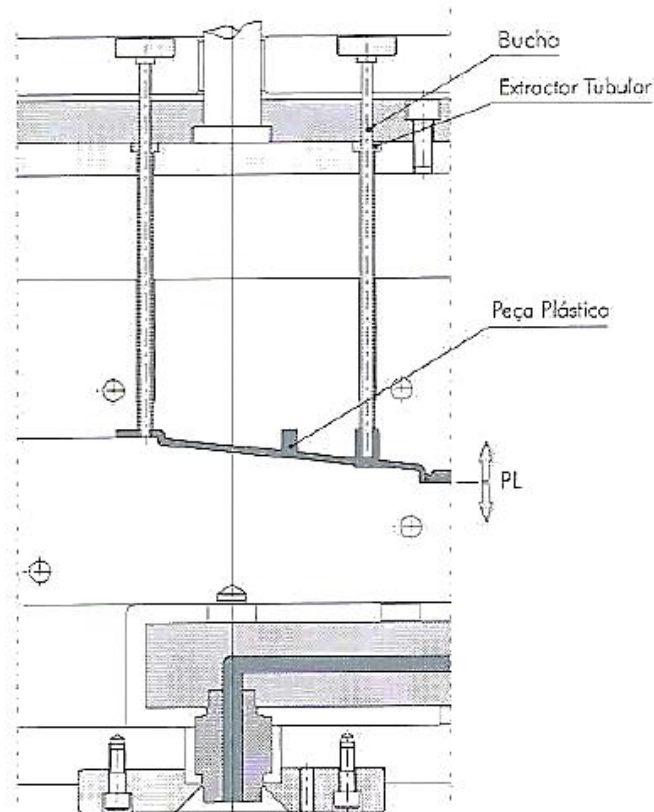


Figura 25 - Extração da peça com extratores tubulares (CENTIMFE, 2003)

Uma outra vantagem deste tipo de extração é a de permitir o escape do ar, que pode passar entre o ajustamento do extrator e as placas, permitindo assim a ventilação natural desta zona, facilitando o seu enchimento.

### **Extração com placa extratora**

A extração com placa extratora é utilizada quando não existe área suficiente para a colocação de extratores ou quando se deseja uma extração com a força uniformemente distribuída. A figura 26 mostra um molde com extração deste tipo. Durante o processo de moldação por injeção, o molde abre segundo o plano de partição A, enquanto a moldação permanece agarrada no macho D. Quando o molde abre o suficiente, o avanço das placas B e C promove o avanço da placa E, originando a extração da peça. A placa extratora deve ser guiada de modo a que se desloque com um movimento contínuo e uniforme. O seu guiamento pode ser assegurado pelas próprias guias do molde, caso estas estejam fixas do lado onde a placa se movimenta. Esta placa não deve entrar em contacto com as superfícies moldantes, pois poderia comprometer a qualidade superficial destas zonas.

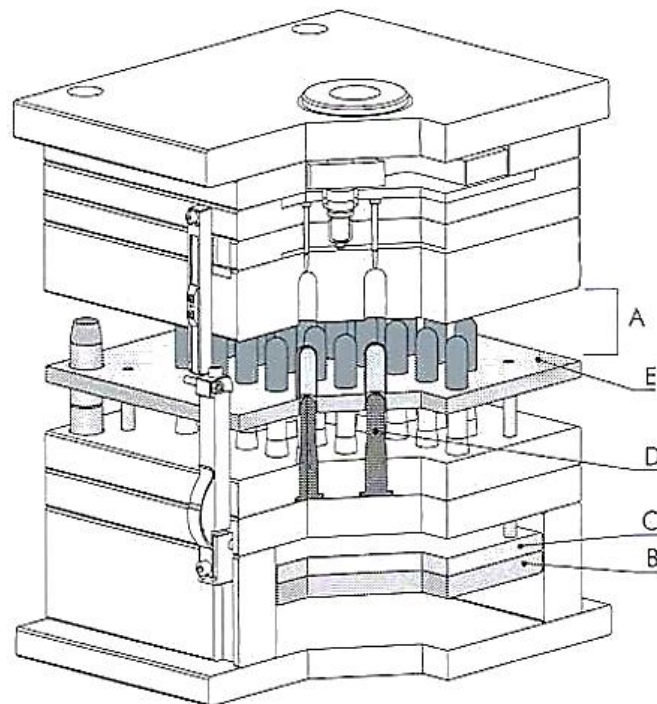


Figura 26 - Extração com placa extratora (CENTIMFE, 2003)

### Extração com aro extrator

O aro extrator tem um funcionamento semelhante ao da placa extratora, mas geralmente tem dimensões menores. Este componente deve ter um ângulo de saída de  $15^\circ$  a  $20^\circ$ , de modo a evitar que haja deslizamento contínuo com a placa do macho, o que poderia conduzir ao seu desgaste. O aro extrator (figura 27) pode ser ligado às placas dos extratores através de quatro pernos cilíndricos. Neste caso, não é necessária a colocação de botões de encosto, pois o movimento é inibido pelo próprio encosto ao aro na placa do macho. O recuo do aro extrator é normalmente assegurado pelo próprio fecho do molde. À medida que o molde fecha, este empurra o aro extrator para a sua posição inicial.

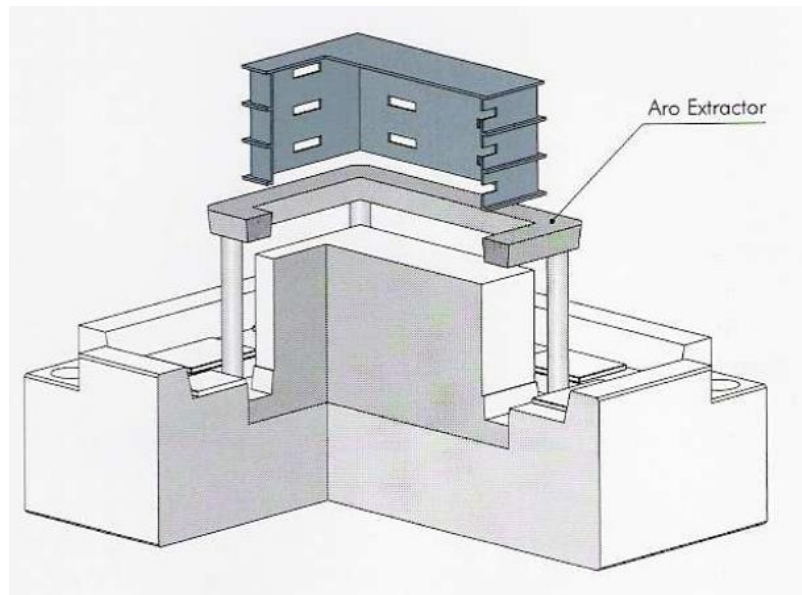


Figura 27 - Extração com aro extrator (CENTIMFE, 2003)

Este método é cada vez mais utilizado para a desmoldação de peças fundas em polietileno. Este material tende a criar zonas de vácuo entre a peça e o macho, o que representa um problema durante a desmoldação. A utilização de ar comprimido permite eliminar o vácuo e facilitar a extração. Na figura 28 está ilustrado um molde com extração combinada. Neste caso, a combinação entra a ação das placas extratoras, do extrator de válvula e da pressão do ar permite a desmoldação da peça. Este tipo de desmoldação é muito utilizado na moldação de recipientes e contentores com paredes finas, que podem deformar-se apreciavelmente durante a extração e tender a aderir ao macho devido à ação indesejável do vácuo.

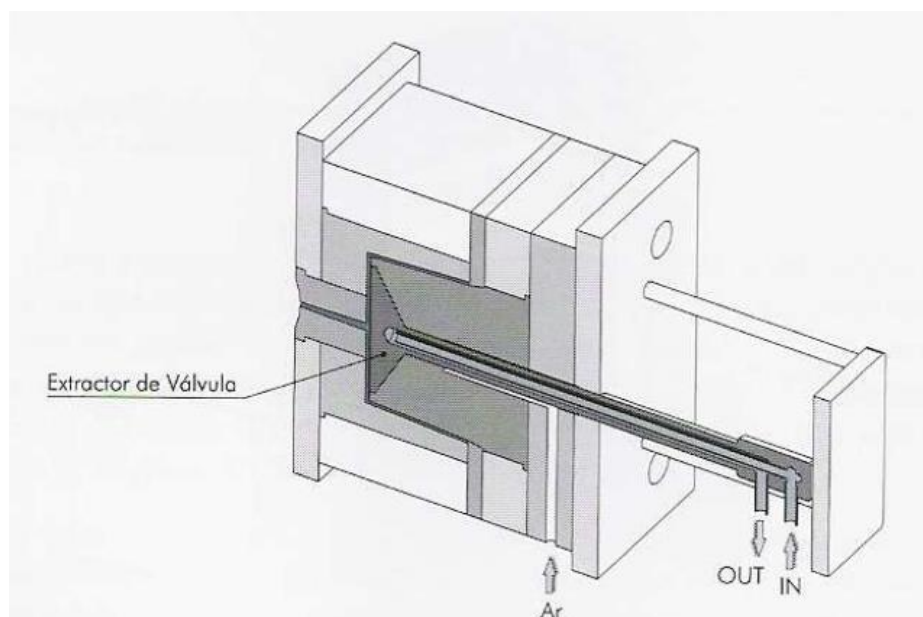


Figura 28 - Extração combinada (com auxílio de ar comprimido)  
(CENTIMFE, 2003)

## Posicionamento dos extratores

Relativamente ao posicionamento dos extratores nas zonas das peças a moldar indicam-se, na figura 29, algumas boas práticas.

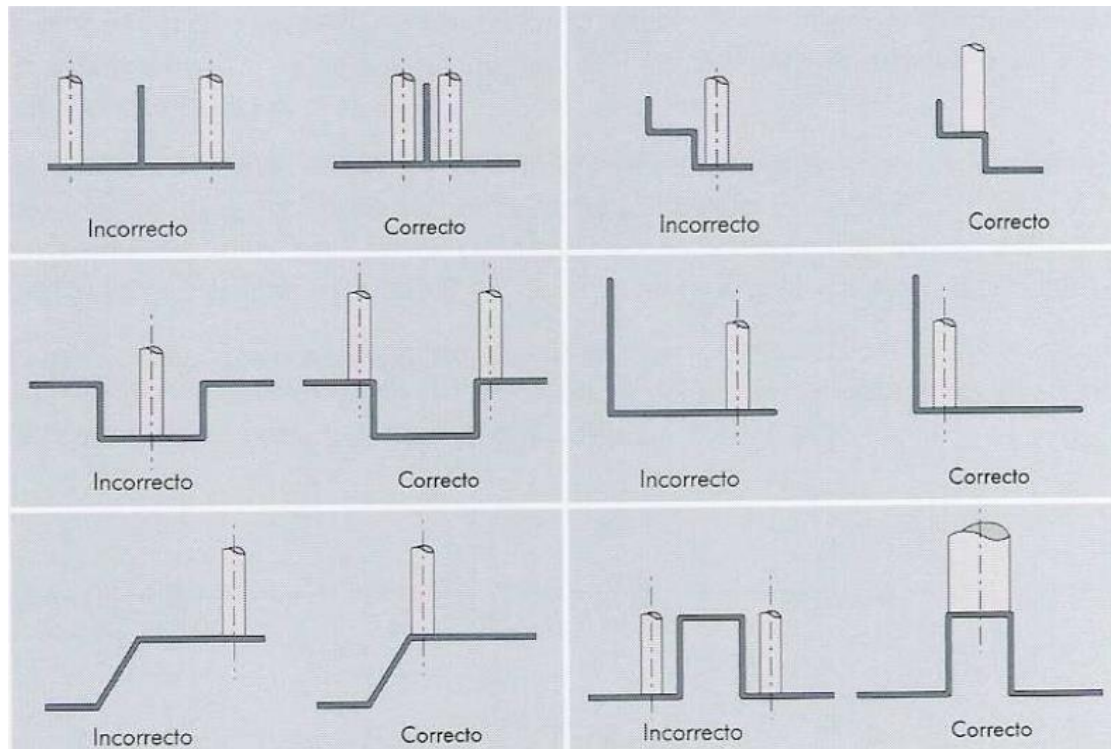


Figura 29 - Boas práticas na colocação de extratores (CENTIMFE, 2003)

## Extração forçada

A extração forçada pode ser utilizada na moldação de peças com pequenas contra saídas produzidas em materiais flexíveis. Uma situação destas é apresentada na figura 30 para a produção de tampas de polietileno de baixa densidade (LDPE). Apesar de a peça apresentar uma contra saída ao longo do seu perímetro junto à base, a grande flexibilidade deste material permite a desmoldação forçada, evitando assim a colocação de um sistema de extração completo. Este tipo de extração é muito utilizado para a desmoldação de peças moldadas em elastómeros.

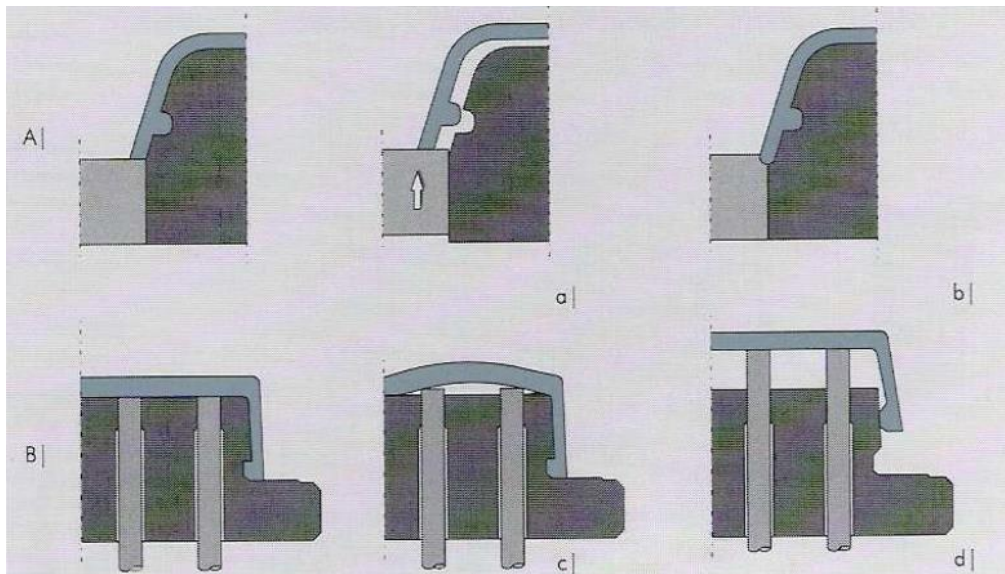


Figura 30 - Extração forçada: A) com placa extratora; B) com extratores;  
 a) Base plana (correto); b) Base arredondada (incorreto); c) Entalhe reto (incorreto); d) Entalhe com chanfro (correto)  
 (CENTIMFE, 2003)

## Extração com componentes flexíveis

### Extratores em aço mola

A utilização de extratores em aço mola permite a moldação de pequenas contra saídas (interiores ou exteriores) da peça, sem que seja necessária a utilização de balancés ou de movimentos laterais. Quando a placa de extração avança, as molas deformam-se devido à sua elasticidade, libertando assim as contra saídas da peça, como ilustrado na figura 31.

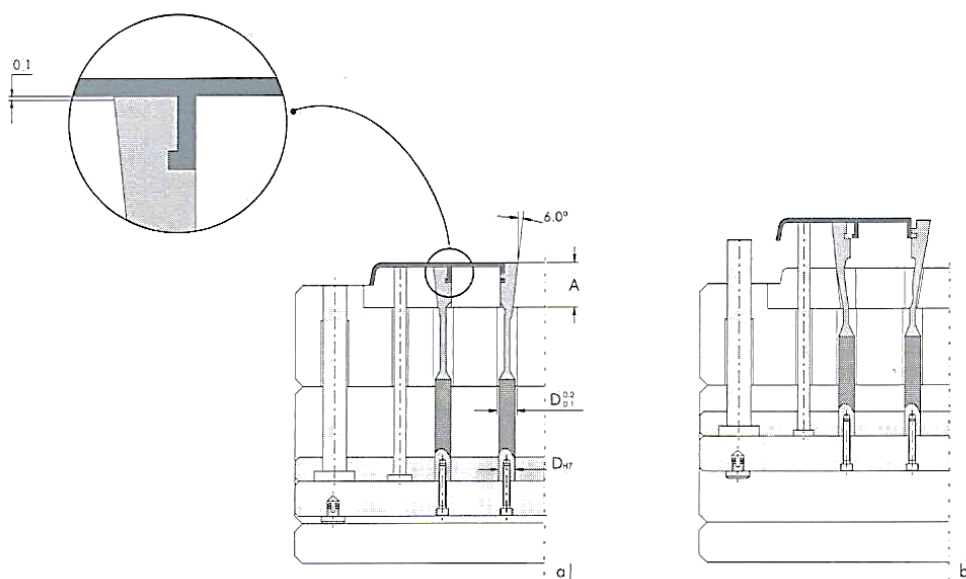


Figura 31 - Extrator em aço mola:  
 a) Posição recuada; b) Posição avançada  
 (CENTIMFE, 2003)

## Extração com balancés

Os balancés são muito utilizados pois são dispositivos simples e podem ser acionados diretamente pelas placas de extração. Os balancés permitem a extração de peças com contra saída sem a necessidade de se utilizarem movimentos laterais. Geralmente são constituídos pelos seguintes componentes: perno extrator, eixo e casquilho de deslize com furo inclinado (figura 32a). O avanço do sistema de extração faz deslocar o perno extrator do balancé (figura 32b) num movimento inclinado em relação ao movimento de abertura/fecho, permitindo, desta forma, a libertação das zonas da peça com saída negativa.

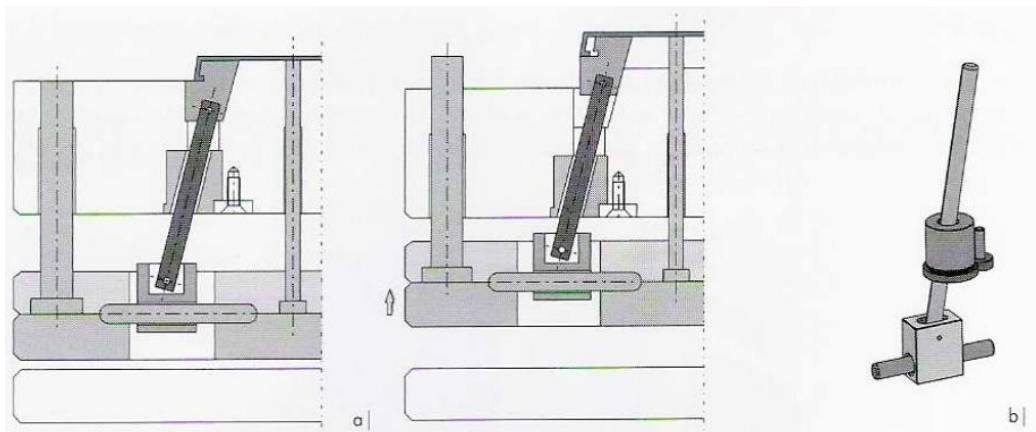
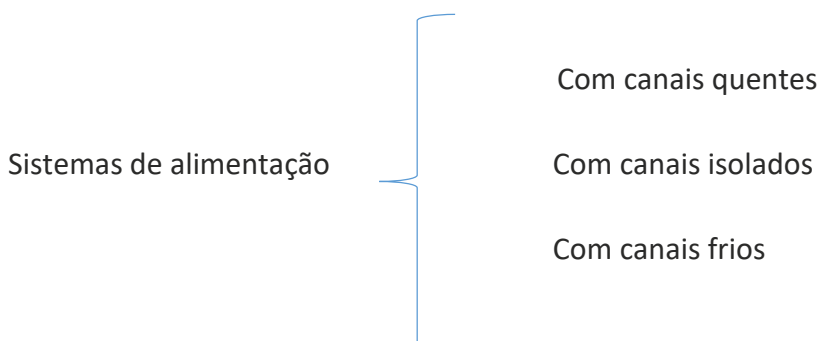


Figura 32 - Extração com balancé:  
a) Funcionamento do balancé; b) Balancé  
(CENTIMFE, 2003)

### 2.1.5 Sistemas de alimentação

Existem diferentes tipos de sistemas de alimentação, os quais podem ser divididos da seguinte forma:



### 2.1.5.1 Sistemas de alimentação com canais quentes

Os sistemas de alimentação de moldes baseados no uso de canais controlados termicamente para o processamento de materiais termoplásticos, são denominados sistemas de canais quentes. A sua função é manter o material no estado fundido desde o bico da injetora até a zona moldante, evitando a solidificação prematura do sistema de alimentação. Os moldes de canais quentes permitem a obtenção de peças sem extração do sistema de alimentação, tendo despertado um interesse crescente nos transformadores de materiais plásticos (principalmente quando se usam moldes de múltiplas impressões) e consequentemente nos fabricantes de moldes de injeção. As vantagens do uso de sistemas de canais quentes relativamente a sistemas de canal frio dependem de um conjunto alargado de fatores, tais como:

- Geometria da peça;
- Número de peças a produzir;
- Material a processar;
- Equipamento auxiliar.

De uma maneira geral, o uso de moldes de canais quentes permite o emprego de máquinas de injeção mais pequenas, devido ao menor volume de dosagem e menor queda de pressão requeridos. Os moldes de canais quentes são bastante mais competitivos para produções elevadas (> 100.000 peças/ano). A estrutura dos moldes de canais quentes é semelhante à dos moldes de três placas. No entanto, por razões de rendimento energético, a zona em que se encontra implementado o sistema de alimentação foi individualizada na forma de um componente que é característico deste tipo de molde. Este componente designa-se por distribuidor e é o elemento que contém o sistema de alimentação permanentemente fundido durante a operação do molde (figura 33).

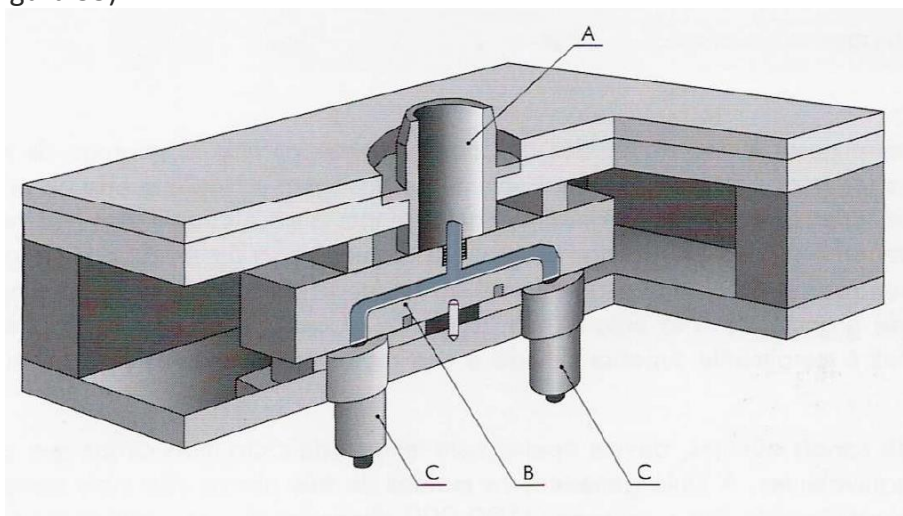


Figura 33 - Detalhe de molde de canais quentes:  
A) Injetor principal; B) distribuidor; C) bicos quentes  
(CENTIMFE, 2003)

O distribuidor possui a função de assegurar o transporte do fundido desde o bico da unidade de injeção até aos bicos quentes. Os canais quentes dentro dos distribuidores devem ter raios de curvatura elevados nas mudanças de direção do fundido, de forma a evitar zonas de estagnação de fundido. Em moldes sandwich, os canais quentes do distribuidor no mesmo plano devem apresentar comprimentos e diâmetros idênticos para que a queda de pressão seja idêntica para cada cavidade do molde. A figura 34 apresenta configurações típicas de distribuidores. A configuração do distribuidor mais adequada e as respetivas dimensões dos canais para uma determinada aplicação, devem ser ajustadas com base em estudos de escoamento. Diâmetros de canais mais reduzidos aumentam a queda de pressão e as tensões de corte, mas reduzem os tempos de injeção. Em contrapartida, diâmetros mais elevados dos canais são adequados a materiais termicamente sensíveis e a situações que requeiram pressões mais elevadas.

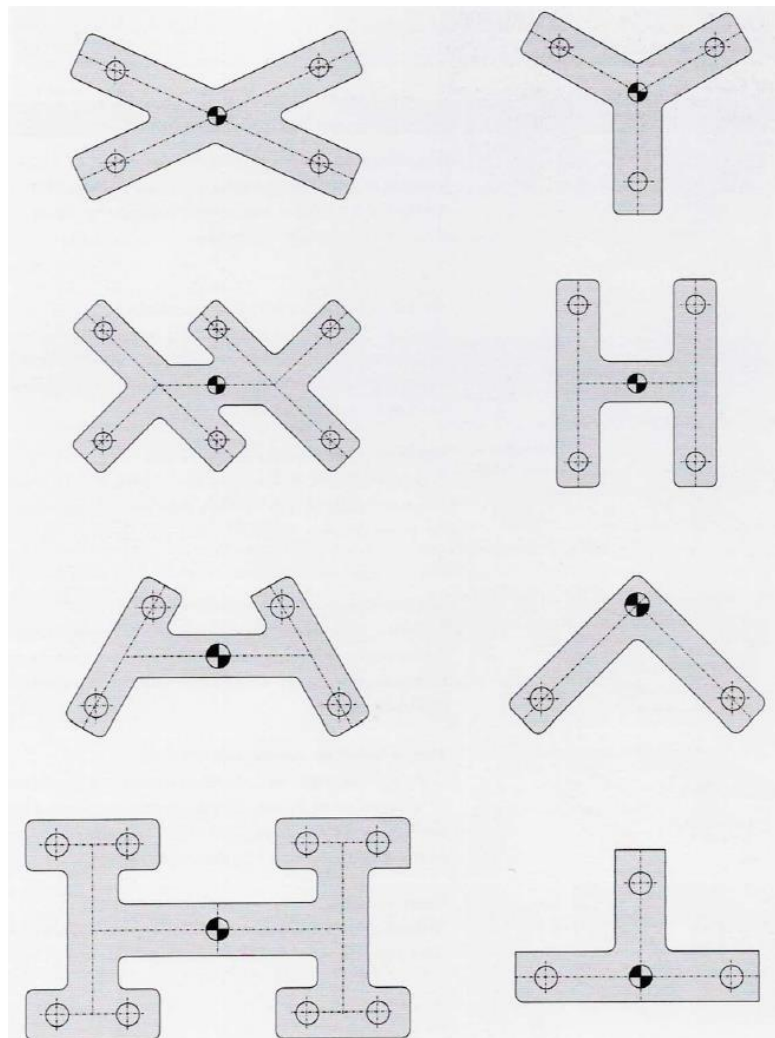


Figura 34 - Configuração típica de distribuidores (CENTIMFE, 2003)

O aquecimento do distribuidor é assegurado por resistências de cartucho (figura 35) ou tubulares (figura 36). As resistências de cartucho permitem o aquecimento individual de zonas específicas do molde e asseguram potências bastante elevadas (até  $130 \text{ W/cm}^2$ ), mas apresentam maior suscetibilidade a avarias e sobreaquecimentos localizados. Os valores máximos recomendados variam entre  $15$  e  $25 \text{ W/cm}^2$ . As resistências tubulares são recomendadas sempre que se pretenda um aquecimento uniforme do distribuidor. A resistência é revestida com um material condutor e inserida nos canais do distribuidor. As resistências tubulares apresentam potências típicas até  $30 \text{ W/cm}^2$ .

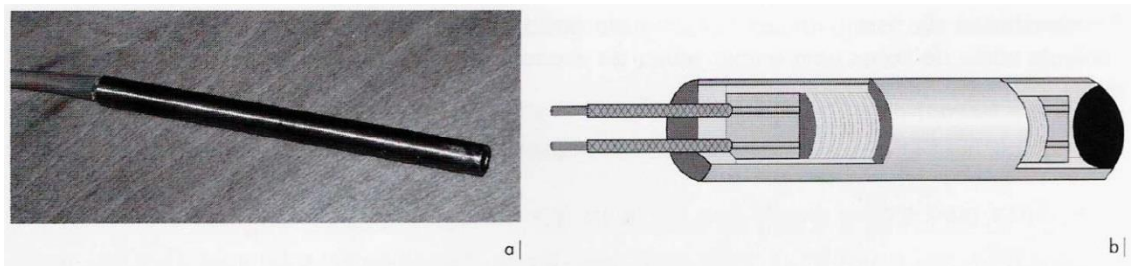


Figura 35 - Resistência de cartucho:  
a) Resistência; b) Detalhe  
(CENTIMFE, 2003)

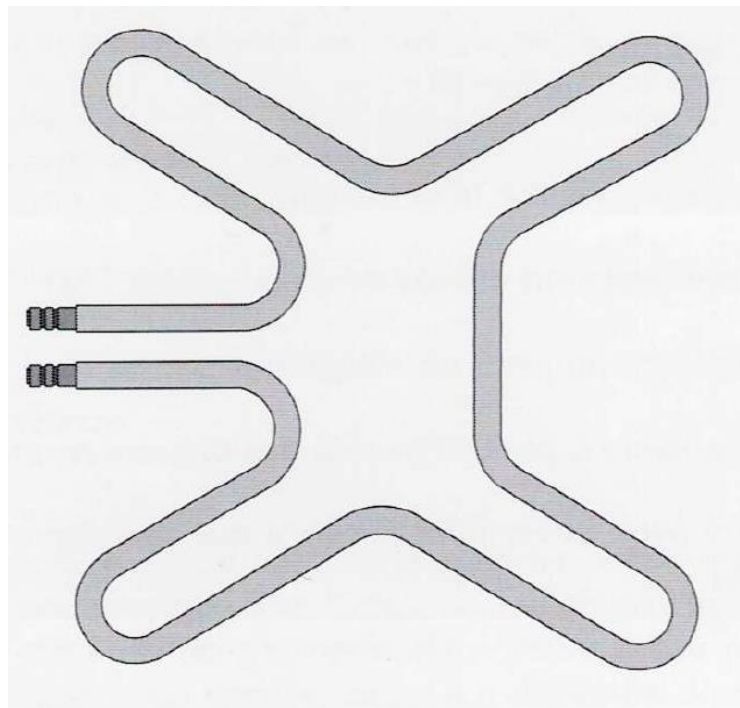


Figura 36 - Resistência tubular (CENTIMFE, 2003)

### 2.1.5.2 Sistemas de alimentação com canais frios

O sistema de alimentação é constituído por uma série de canais geralmente maquinados numa ou mais placas do molde, pelo qual o fundido é transportado desde o bico de injeção até cada zona moldante (impressão). O fundido entra no molde pelo jito que pode comunicar diretamente com a impressão ou ramificar-se num sistema de alimentadores, fazendo a ligação do jito às impressões. A figura 37 mostra as diversas partes constituintes de um sistema de alimentação típico.

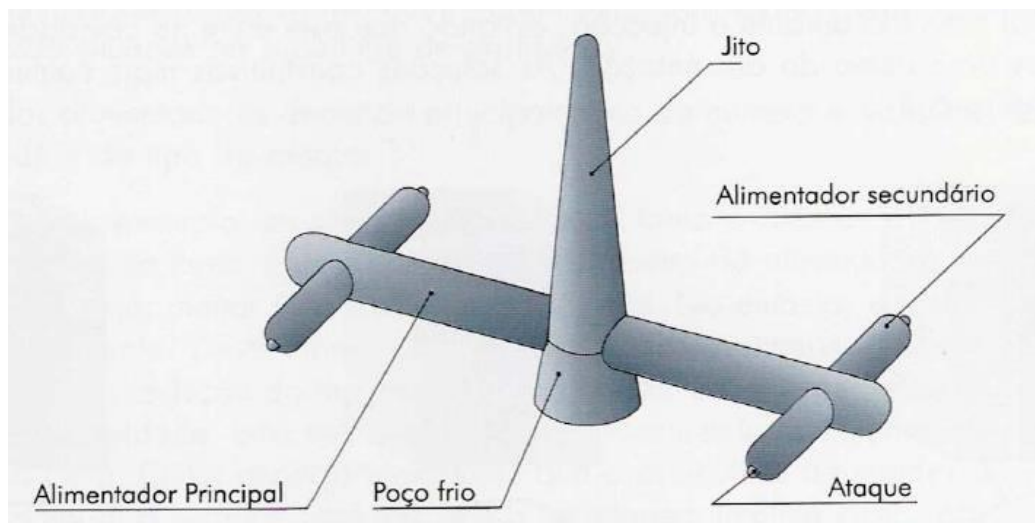


Figura 37 - Constituição do sistema de alimentação (CENTIMFE, 2003)

#### Jito

É um canal troncocónico divergente, com um ângulo de abertura de 2 a 5°, que liga o bico da injetora aos alimentadores ou à própria impressão. Esta conicidade é necessária para facilitar a extração. De forma a garantir a extração do gito, é frequente considerar um puxador de jito no lado da extração (figura 38). Durante a abertura do molde, a contra saída obriga à saída do jito do injetor.

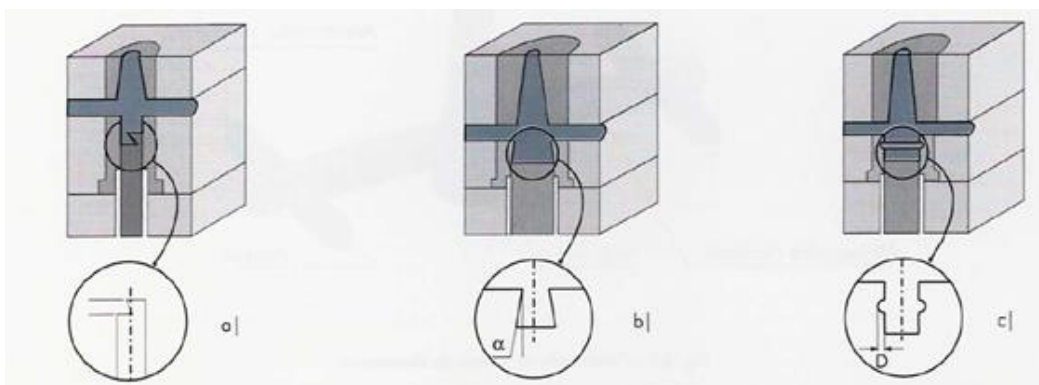


Figura 38 - Puxador de jito (CENTIMFE, 2003)

As soluções a), b) e c) da figura 38 são bastante utilizadas na indústria, pois são adequadas para a maioria dos termoplásticos. As soluções b) e c) pressupõem alguma deformação do material durante a extração do sistema de alimentação. Logo, estas duas soluções são mais adequadas na injeção de materiais com alguma flexibilidade como, por exemplo, o polipropileno (PP) e o polietileno (PE). A solução a) pode ser utilizada para a injeção de materiais mais rígidos, tais como o policarbonato (PC), o poliestireno (PS) ou o acrílico (PMMA).

### Alimentador

Os alimentadores, ou canais de alimentação, ligam o jito aos ataques das impressões e, em moldes simples, estão situados na superfície de partição. A disposição dos alimentadores depende principalmente do número e da forma das impressões, do tipo de molde e do tipo de ataque. Considerando como exemplo um alimentador circular, tanto o diâmetro como o comprimento afetam a resistência ao fluxo. Quanto maior for o diâmetro do alimentador, menor será a resistência ao fluxo, ou seja, menor será a queda de pressão. No entanto, o tempo necessário para o arrefecimento aumenta. Deste modo, deverá existir um compromisso entre a minimização da queda de pressão e a redução do tempo de arrefecimento. Isto é especialmente importante para o aumento da produtividade, uma vez que o tempo de arrefecimento representa, frequentemente, 50 a 75% do tempo de ciclo. Outro aspeto importante que o projetista de moldes deve considerar é a redução do material a reciclar, uma vez que a reciclagem implica custos adicionais. Poderão considerar-se como regras para projeto:

- Nos canais trapezoidais utilizar um angulo de saída entre 5 e 15°;
- O diâmetro mínimo de um alimentador é de 1,5 mm;
- Para a maior parte dos plásticos, os canais de alimentação devem ser polidos de modo a facilitar o fluxo e a extração;
- É recomendada a colocação de extratores ao longo do percurso do sistema de alimentação;
- Todas as interseções dos canais devem ter um poço frio de forma a captar o material mais frio que se encontra na frente do fluxo. O comprimento do poço frio deve ser igual ao diâmetro do canal (figura 39).

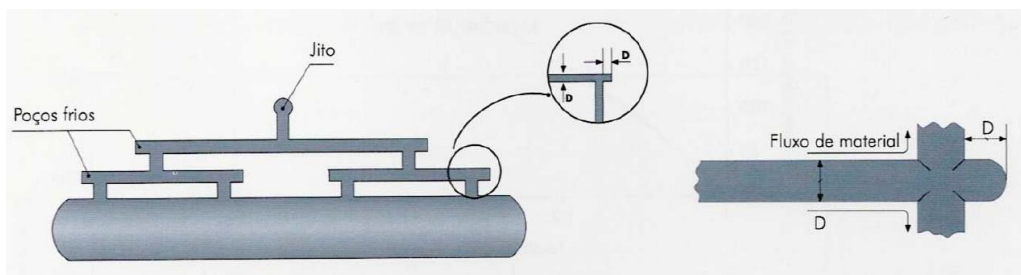


Figura 39 - Poços frios (CENTIMFE, 2003)

Os alimentadores podem ser classificados quanto à secção transversal (figura 40), podendo ser:

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

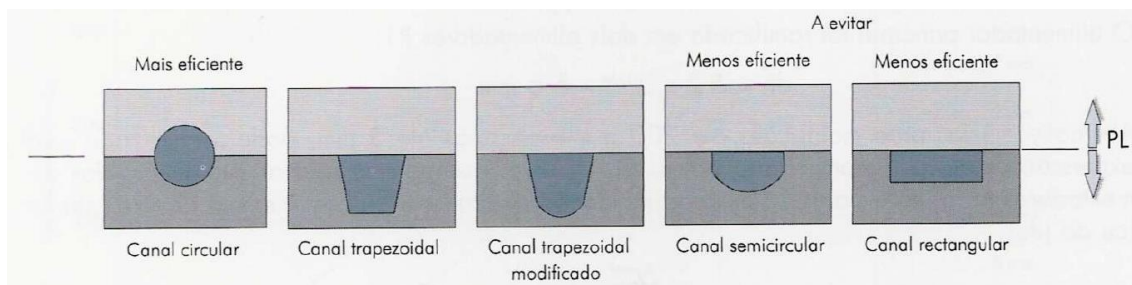


Figura 40 - Secção transversal dos alimentadores (CENTIMFE, 2003)

O canal circular é o tipo de canal mais eficiente. A resistência do fluxo deste tipo de canais é relativamente menor comparada com os outros. A queda de temperatura do fundido durante o enchimento também é menor. A única desvantagem é a necessidade de ser maquinado nas duas metades do molde. Por outro lado, o canal trapezoidal modificado é a melhor aproximação ao canal circular e tem a vantagem de ser maquinado em apenas um dos lados do molde. Deste modo, é bastante utilizado para todos os tipos de moldes, pois tem a melhor relação custo/benefício.

### Ataques

O ataque é uma constrição entre os alimentadores e as impressões, e tem como funcionalidades:

- Sujeitar o fundido a uma taxa de corte suficientemente elevada para que o aquecimento resultante da dissipação viscosa mantenha essa passagem, de pequena secção, aberta durante o enchimento e a fase de pressurização. O ataque deve solidificar a tempo de permitir que o cilindro da injetora possa recuar sem perigo de refluxo de material;
- Facilitar o controlo do enchimento, principalmente em moldes de várias impressões ou de impressões com mais de um ataque;
- Permitir a separação fácil entre a peça e o sistema de alimentação, não deixando uma marca muito profunda.

O diâmetro mínimo do ataque pode ser estimado utilizando o gráfico da figura 41. Este gráfico representa o diâmetro do ataque em função do caudal injetado, considerando as taxas de corte máximas permitidas para cada material.

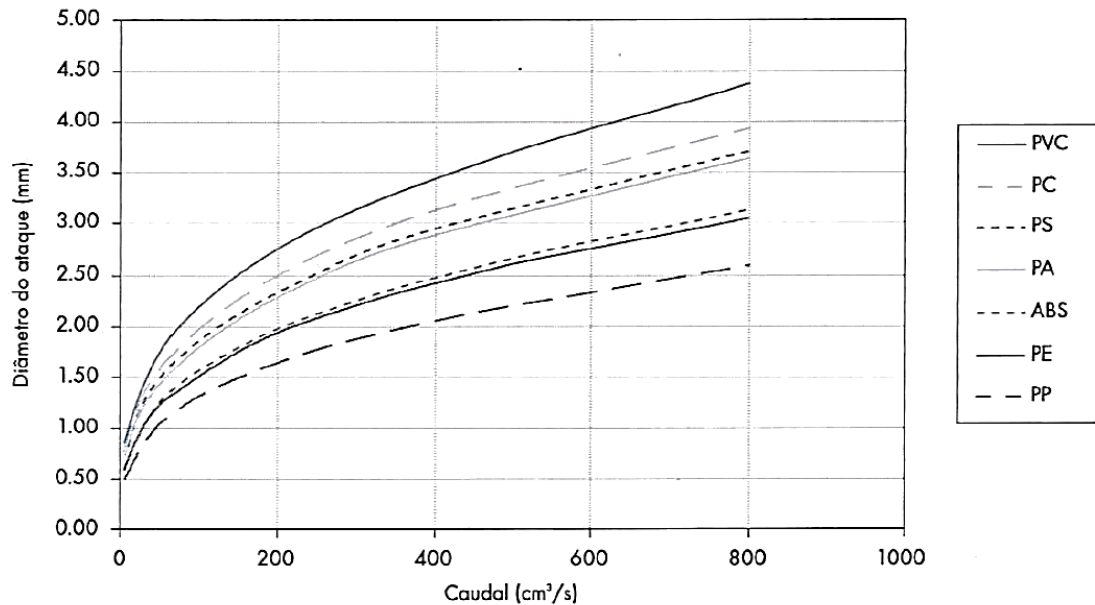


Figura 41 - Diâmetro do ataque em função do caudal (CENTIMFE, 2003)

Poderão assumir-se as seguintes regras de projeto:

A posição dos ataques deve ser tal que permita controlar/minimizar/evitar alguns defeitos de enchimento. O ponto de injeção deve ser localizado:

- Preferencialmente nas zonas mais espessas da peça, de forma a evitar vazios ou chupados nas peças moldadas;
- De modo a garantir um enchimento equilibrado da moldação;
- De modo a evitar ou minimizar a fragilidade das linhas de soldadura;
- De modo a minimizar as prisões de ar;
- O mais afastado das zonas de hesitação devido à diferença de resistência ao fluxo;
- De forma a evitar o efeito de jato.

O efeito de hesitação é um defeito causado pela estagnação do fundido numa zona com variações significativas de resistência ao fluxo. Isto é, quando o fundido é injetado numa cavidade com grandes variações de espessura, tende a encher primeiro as zonas que oferecem menor resistência ao fluxo, ou seja, as zonas mais espessas. Assim, o fluxo pode estagnar nas zonas mais finas, arrefecendo à medida que o fundido enche as restantes zonas da cavidade. No final do enchimento, e dependendo do estado de

solidificação do material, a pressão de injeção pode não ser suficiente para fazer o fundido fluir na zona de hesitação. Mesmo que isto não aconteça, ficará sempre uma marca na superfície da peça devido à hesitação (figura 42).

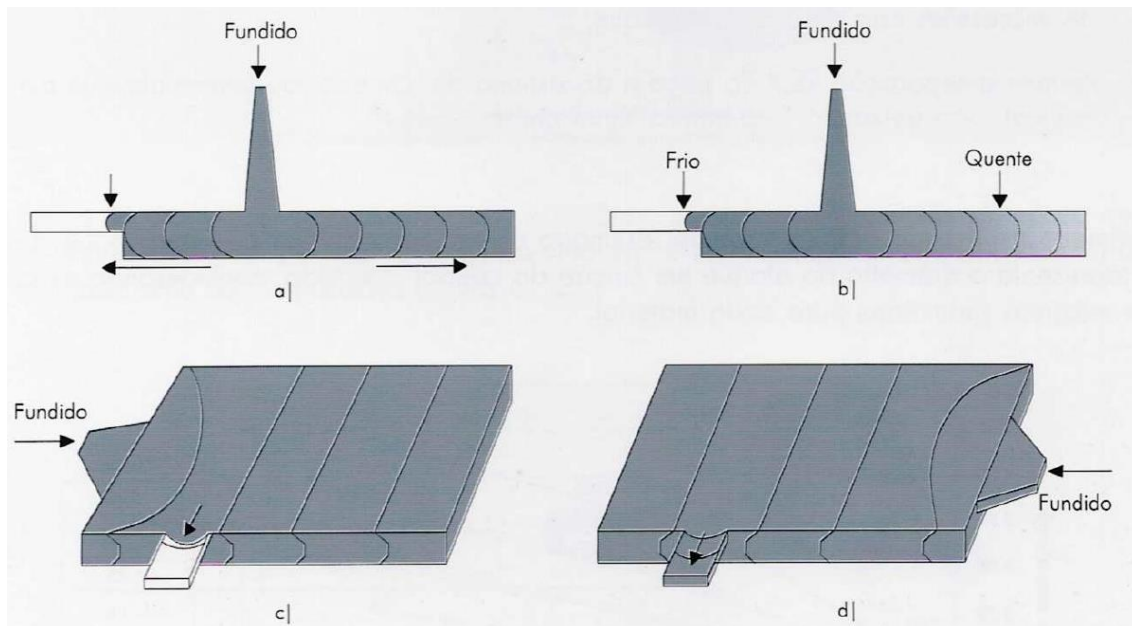


Figura 42- Influência da localização do ponto de injeção na hesitação:  
a) Frente de fundido; b) Temperatura; c) Mau projeto; d) Bom projeto  
(CENTIMFE, 2003)

O efeito de jato (figura 43) ocorre quando o material plástico é injetado a uma grande velocidade através de um ataque para uma zona espessa, sem bater nas paredes próximas do ponto de injeção.

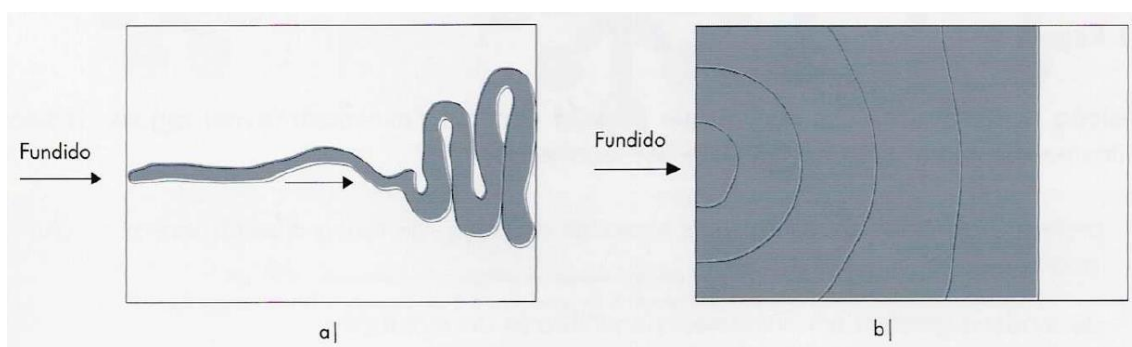


Figura 43 - Efeito de jato:  
a) Efeito de jato; b) Padrão de enchimento normal  
(CENTIMFE, 2003)

Alguns dos fatores que podem influenciar a localização do ponto de injeção são referidos na tabela 1.

Tabela 1 - Fatores que influenciam a localização do ataque (CENTIMFE, 2003)

<b>Peça</b>	Comprimento de fluxo
	Espessura
	Fatores dimensionais
	Aparência
<b>Material a injetar</b>	Viscosidade
	Temperatura
	Características de fluxo
	Cargas
	Contração
<b>Processo</b>	Empeno
	Linhas de soldadura
	Facilidade de desmoldação
	Força de fecho
	Balanceamento
<b>Outros</b>	Custo

Existem diferentes formas de realizar o ataque, conforme seguidamente se descreve:

**Jito direto** – este tipo de ataque (figura 44) pode ser utilizado em moldes de uma só cavidade. Uma das vantagens é a queda de pressão no sistema de alimentação ser relativamente baixa. Além disso, o tempo de compactação normalmente depende do tempo de solidificação da moldação, e não do tempo de solidificação do sistema de alimentação. Por isso, este tipo de injeção deve ser utilizado para a injeção de peças com grande espessura (> 4 mm) de modo a garantir uma compactação adequada. A principal desvantagem é a dificuldade de separação do jito sem deixar marcas significativas na superfície da moldação.

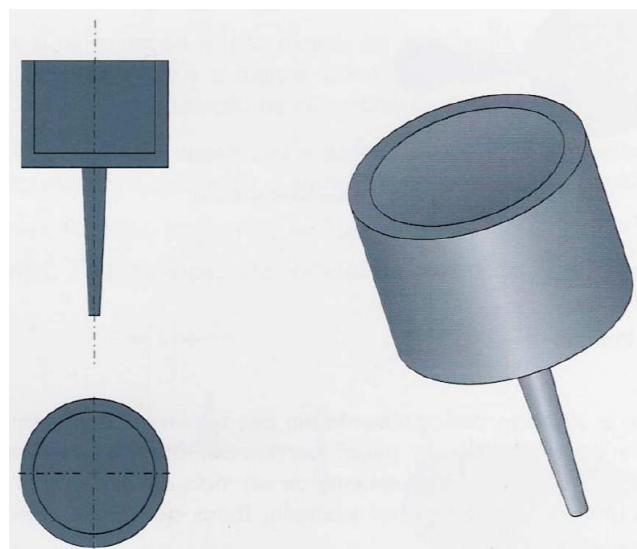


Figura 44 - Jito direto (CENTIMFE, 2003)

**Ataque lateral ou à junta** – este tipo de ataque é mais comum e tem geralmente uma secção retangular. As principais vantagens são a facilidade de maquinagem, o baixo custo, o elevado rigor dimensional e permitir moldar todos os materiais comuns. Tem a desvantagem de deixar uma marca na superfície visível da peça, em particular se a moldação for simplesmente partida pelo ataque sem operações secundárias.

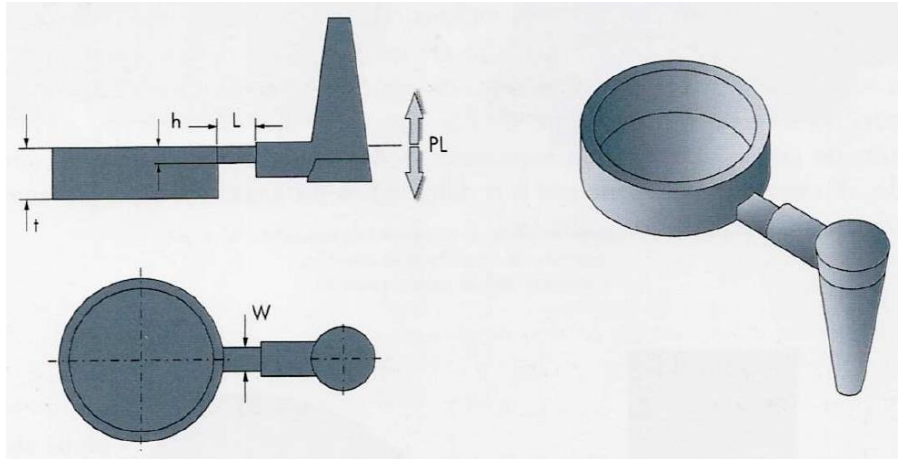


Figura 45 - Ataque lateral ou à junta (CENTIMFE, 2003)

**Ataque em lâmina** – este tipo de injeção é utilizado principalmente em peças planas. A alimentação é feita através de uma fenda ao longo do bordo da peça, permitindo assim, um enchimento uniforme da impressão (figura 46). Tem o inconveniente de ser mais difícil de partir (é comum recorrer-se a dispositivos especiais, como facas quentes) e deixa uma marca visível no bordo da peça.

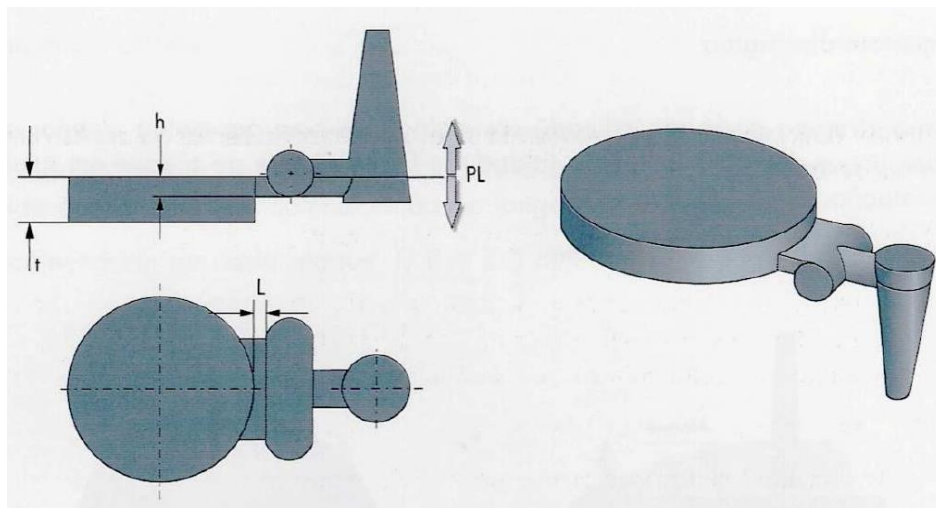


Figura 46 - Ataque em lâmina (CENTIMFE, 2003)

**Submarina** – geralmente de forma circular (figura 47), é uma variante do ataque lateral e é usada em desgitação automática em moldes de duas placas, sem necessidade de recurso ao molde de três placas. Este ataque tem o inconveniente de deixar uma marca muito visível na parte lateral das peças, principalmente em peças coloridas (a deformação plástica que o material sofre quando se remove o jito leva ao aparecimento de uma marca esbranquiçada na zona de ataque), o que em muitos casos pode comprometer a sua utilização.

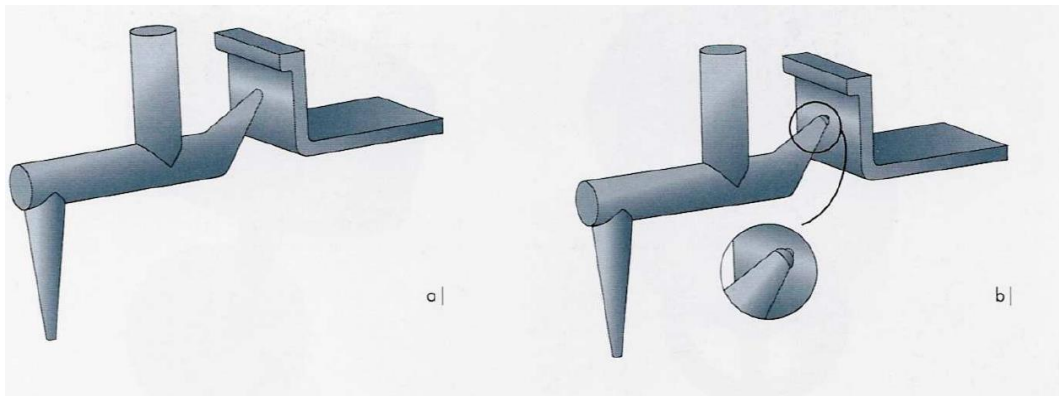


Figura 47 - Injeção submarina:  
a) Injeção submarina; b) Injeção submarina com canal tronco-cônico  
(CENTIMFE, 2003)

Para além dos modelos de ataque referidos anteriormente, existem também tipos de ataques em leque, diafragma, anel, estrela, alfinete ou submarina curva. No entanto, são abordagens menos usuais e as soluções apresentadas são as mais utilizadas na maior parte dos casos.

### 2.1.5.3 *Sistemas de alimentação com canais isolados*

Os moldes com canais frios originam desperdício de material no fim de ciclo, pois para além da peça existem também os canais frios através dos quais se realizou o enchimento das zonas moldantes. Neste caso, a quantidade de material consumido em cada ciclo de injeção corresponde à soma de material necessário para o enchimento das peças e dos respetivos canais frios. Os moldes com canais isolados (figura 48), pelo contrário, não exigem a extração do canal, desde que para isso o tempo de ciclo seja suficientemente curto. Para tal, os canais são de espessura suficientemente elevada, de forma a evitar o arrefecimento do material, de ciclo para ciclo, no centro do canal. Os moldes com canais isolados são adequados para materiais com índice de fluidez elevado e para tempos de ciclo relativamente curtos (menores que 20 s). Um inconveniente deste tipo de molde é a necessidade de pré-aquecimento da ferramenta para aquecimento ou fusão do canal solidificado antes do arranque da produção.

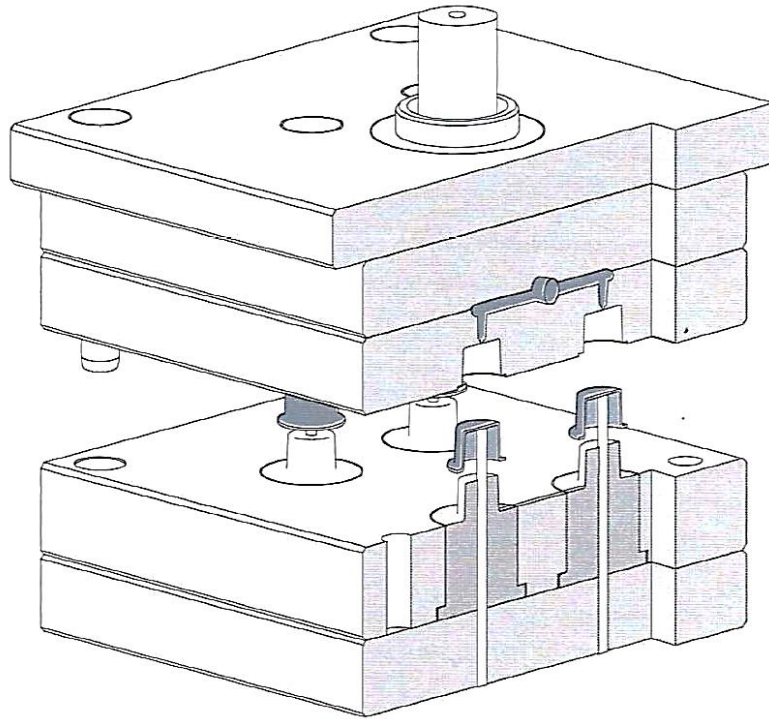


Figura 48 - Molde com canais isolados (CENTIMFE, 2003)

De seguida, são apresentadas as vantagens e desvantagens económicas e tecnológicas da utilização de sistemas de alimentação de canais isolados (tabela 2).

Tabela 2 - Vantagens e desvantagens dos sistemas de alimentação isolados (CENTIMFE, 2003)

<b>Económicas</b>	
<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagem</b>
Baixo custo	Níveis de produtividade baixos durante o arranque da ferramenta.
<b>Tecnológicas</b>	
<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagem</b>
Projeto e fabrico do molde simples	Reduzido controlo térmico sobre os canais. Limitação de utilização de moldes com tempos de ciclo curtos. Tempo de estabilização da ferramenta longos.

#### 2.1.5.4 Sistema de extração de gases

Este sistema, muitas vezes negligenciado, é fundamental para um funcionamento correto do molde. Durante o enchimento do molde, é muito importante que na cavidade do molde existam saídas de gases eficientes, de forma a permitir que o ar saia quando a massa fundida entrar nas zonas moldantes.

As saídas de gases deverão estar localizadas nas direções de fluxo do material. Para isso, o molde deve ser dotado de um sistema de escape de gases que permita não só a eficiente saída do ar, mas também de eventuais elementos voláteis libertados pelo fundido. Saídas ineficientes ou mal localizadas poderão resultar num mau preenchimento da peça, linhas de soldadura e contração irregular da moldação. Esses problemas tornam-se mais críticos em peças de paredes finas, quando se usam velocidades de injeção altas. Na maioria dos casos, o ar pode escapar pelo plano de partição do molde. Contudo, devido à elevada precisão de ajustamento entre as duas partes do molde, o escape de gases por este plano pode não ser eficiente, devendo ser maquinados pequenos rasgos (figura 49) para facilitar a sua saída.

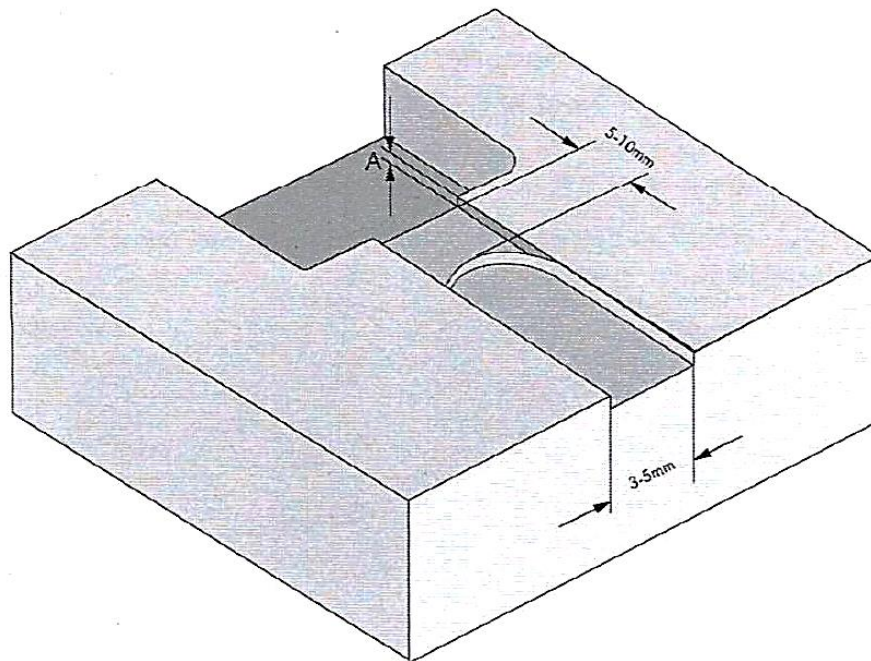


Figura 49 - Escape de gases (CENTIMFE, 2003)

Estes rasgos para escape de gases devem ser colocados ao longo de toda a peça, sendo particularmente importantes nas zonas onde se dá o fim do enchimento ou da confluência das frentes de fluxo. A profundidade do canal deve permitir a saída de ar, mas deve ser suficientemente pequena para que o fundido não possa sair, criando rebarba. Na tabela 3 indicam-se profundidades típicas para alguns dos plásticos mais comuns.

Tabela 3 - Profundidades típicas dos rasgos de escape de gases para alguns dos polímeros mais comuns (CENTIMFE, 2003)

<b>Material</b>	<b>Profundidade (a) [mm]</b>
ABS, SAN	0,051 – 0,076
POM	0,013 – 0,038
PMMA	0,038 – 0,076
PA	0,013 - 0,025
PC	0,025 - 0,076
PE	0,025 – 0,051
PP	0,025 – 0,051
PS	0,025 – 0,076
PVC - Rígido	0,025 – 0,076
PVC - Flexível	0,013 – 0,051

Contudo, em alguns casos, os gases podem ficar presos em áreas onde não é possível fazer o escape dos gases pelo plano de partição da peça. Nestes casos, tem de se recorrer a outras alternativas como, por exemplo, a utilização de:

### **Extratores**

Esta solução é particularmente recomendada em peças com nervuras. Como estas devem ter uma espessura menor que a peça, para evitar chupados, são normalmente as últimas zonas a encher. A colocação de extratores, não só promove o escape de gases devido à folga existente, como também facilita a sua extração (figura 50).

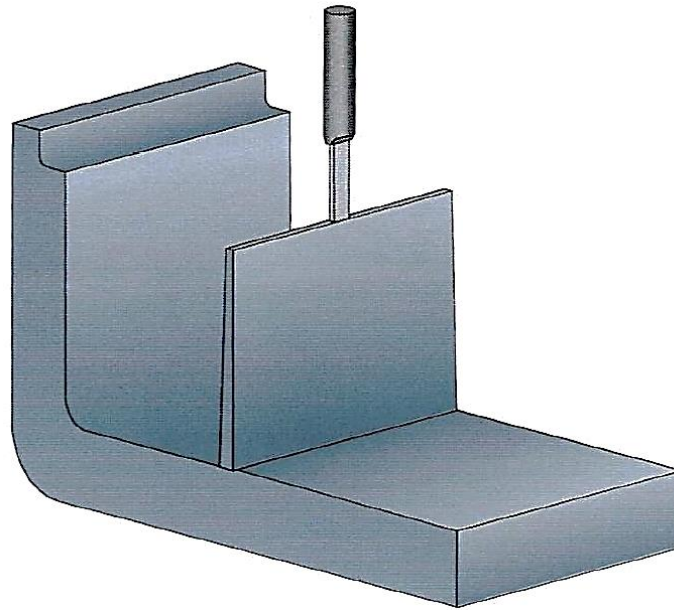


Figura 50 - Colocação de extrator nas nervuras para escape de gases (CENTIMFE, 2003)

### Postiços

Podem ser tipo “falsos extratores” ou terem formas especiais como, por exemplo, serem constituídos por lâminas com fendas para o escape de gases (figura 51).

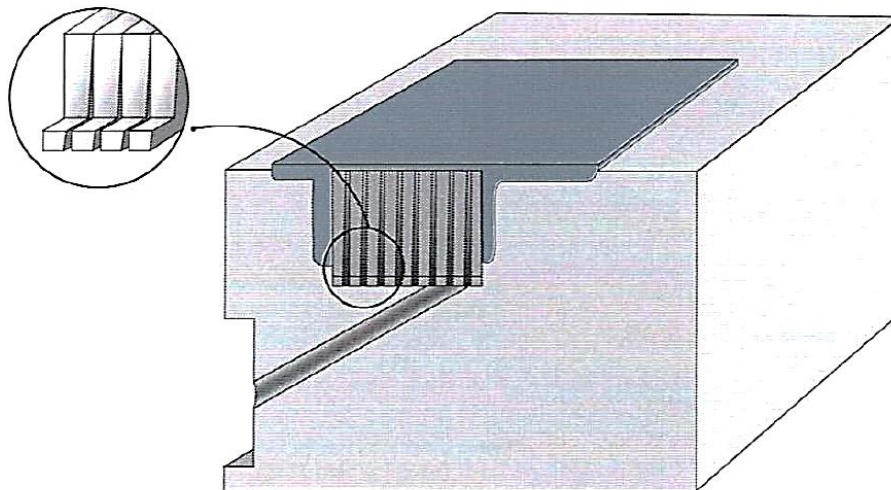


Figura 51 - Utilização de postiços especiais para o escape de gases (CENTIMFE, 2003)

### Materiais especiais

A extração de gases também poderá ser realizada utilizando materiais especiais, como, por exemplo, aço poroso (figura 52).

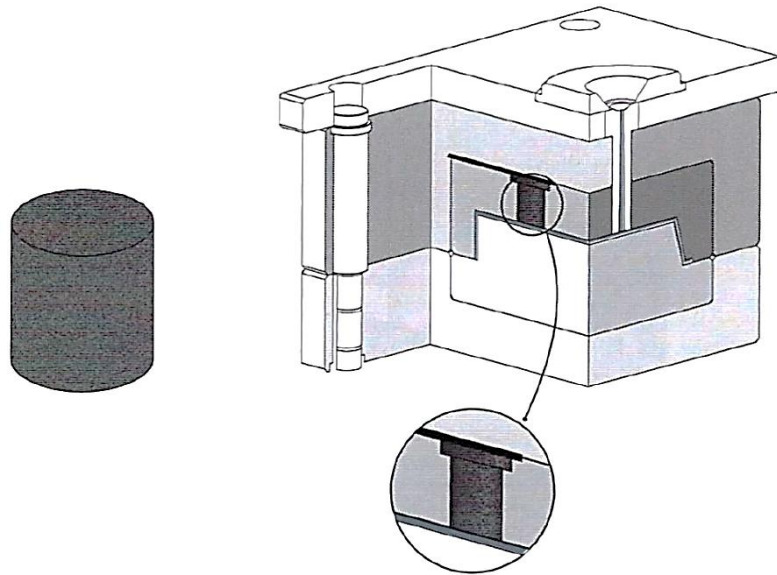


Figura 52 - Cilindro de aço poroso e exemplo de aplicação (CENTIMFE, 2003)

### 2.1.6 Sistema de arrefecimento do molde

O princípio fundamental da moldação por injeção, consiste em forçar o material previamente aquecido a entrar, sob pressão, num molde, onde é arrefecido até uma temperatura que permita que ganhe a rigidez suficiente para que possa ser extraído mantendo a forma da impressão, isto é, da peça que se quer produzir.

Idealmente, na injeção de materiais poliméricos, o molde deveria estar à temperatura do fundido durante a fase de injeção e, no momento da extração, moldes e peças deveriam estar à temperatura ambiente. Nestas condições, seria necessária uma pressão de injeção muito reduzida e as peças seriam isotrópicas, devido ao modo muito lento como se faria o arrefecimento. Ter-se-ia aquilo a que se poderia chamar “peças perfeitas”. Infelizmente, o seu preço seria proibitivo e as empresas seriam inviáveis. Assim, por razões económicas, devem-se produzir as peças à maior cadência possível. Sendo o arrefecimento do polímero fundido um aspeto fundamental no funcionamento do molde, procura-se conjugar a rapidez do ciclo e o melhor nível de propriedades das peças com as especificações técnicas e económicas do produto.

Tipicamente, o tempo de arrefecimento é cerca de 50%, ou mais, da duração total do ciclo de injeção, sendo mais longo no caso de materiais semi-cristalinos que nos materiais amorfos. Isto mostra bem a importância que o sistema do controlo de temperatura tem no correto funcionamento do molde. O arrefecimento do material injetado é feito por transferência de calor para as superfícies moldantes (que estão a uma temperatura bastante inferior) e através da massa do molde.

Para facilitar, acelerar e controlar o processo de transferência de calor são maquinados, perto das zonas moldantes, furos de passagem para um fluido refrigerante. Estes furos, também conhecidos por “linhas de água”, por a água ser o fluido de refrigeração mais frequente (e mais barato), constituem o sistema de controlo de temperatura. As regras gerais para os sistemas de arrefecimento poderão ser consideradas as seguintes:

- Considerar circuitos independentes e simétricos relativamente à zona ou zonas de enchimento do molde;
- O percurso não deve ser tão longo que permita o aquecimento do fluido de refrigeração em mais de 5°C;
- Todos os circuitos devem ser numerados para fácil e clara identificação com marcações de IN e OUT, seguido do número do circuito em questão;
- Deve ser evitada a localização de entradas e saídas no topo do molde, devendo as mesmas ser realizadas na parte oposta ao operador;
- Em média, as linhas de água deverão estar a uma distância mínima de 4 mm dos extratores (ou qualquer furo que lhes seja perpendicular) e a 15 mm das superfícies moldantes.

#### *2.1.6.1 Tipos de circuitos de refrigeração*

Existem diferentes formas para os circuitos de refrigeração, que passam a ser enumeradas de seguida.

#### **Circuito em U**

É vulgarmente usado para a refrigeração de cavidades longas e estreitas. A conexão entre as duas “pernas” do U pode ser feita de três formas:

- **Por mangueira:** solução extremamente económica mas de baixa eficiência e, para além disso, apresenta o problema de a mangueira estar fora do molde, havendo o perigo de danificar a mangueira, quer no transporte, quer na montagem do molde (figura 53a)).
- **Cruzada:** é feita a furação de forma a promover a ligação interna dos canais de refrigeração, e posteriormente fechado com um parafuso tampão. É a solução mais eficiente e aquela que apresenta menores problemas de fugas de água (figura 53b)).
- **Placa de conexão:** é aberta uma caixa para a colocação da placa de conexão na face da placa do molde. A fixação é promovida por parafusos e, para vedar, recorre-se a uma junta de vedação (figura 54a)). O mesmo sistema pode ser integrado sem abertura de uma caixa na placa do molde. Nesta situação, é necessário maquinar o rasgo na placa de conexão (figura 54b)).

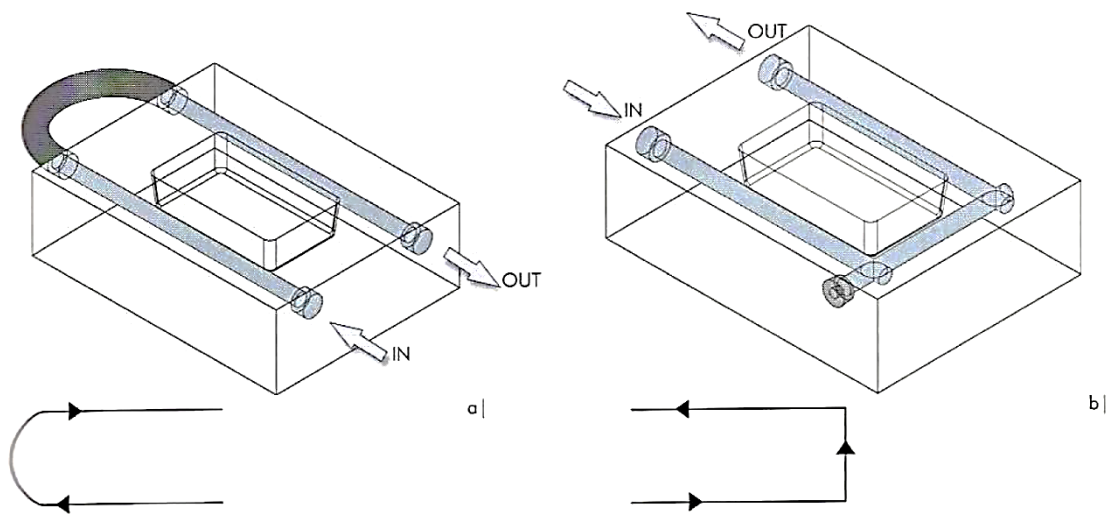


Figura 53 - Circuito em U:  
a) Por mangueira; b) Cruzada  
(CENTIMFE, 2003)

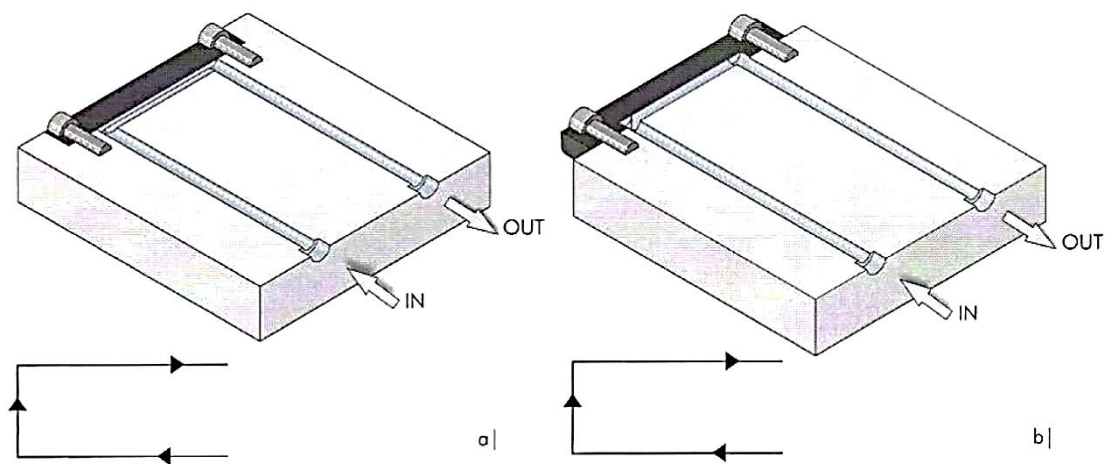


Figura 54 - Placas de Conexão:  
a) Placa embutida na placa de estrutura; b) Placa à face da placa de estrutura  
(CENTIMFE, 2003)

### Circuito em Z (zig-zag)

Este circuito é vulgarmente usado para refrigeração de grandes áreas. O circuito é basicamente uma variação do circuito em U, com várias interligações (figura 55).

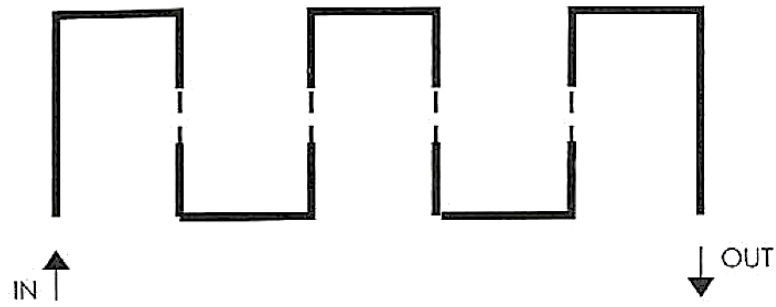


Figura 55 - Esquema de um circuito em Z (zig-zag) (CENTIMFE, 2003)

Neste tipo de circuitos deve-se procurar que o número de canais seja sempre par, para que a entrada e a saída sejam para o mesmo lado. De preferência, como já foi referido, para o lado oposto ao operador. Na figura 56 representa-se um circuito com configuração em Z para um molde com duas impressões. Os circuitos devem ser simétricos (figura 56b)), isto é, com entradas “no centro” e as saídas nos extremos, ou vice-versa, podendo ou não ser espelhados (figura 56a)).

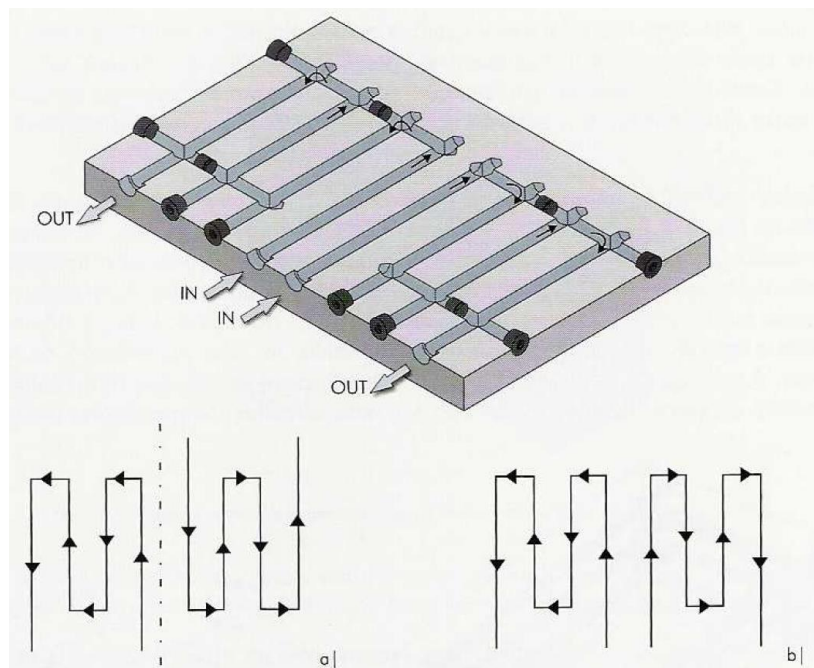


Figura 56 - Circuito com configuração em Z:  
a) Simétrico espelhado; b) Simétrico  
(CENTIMFE, 2003)

### Circuitos para cavidades retangulares

É usado para o arrefecimento das paredes laterais de peças retangulares, permitindo um controlo térmico mais uniforme do que o circuito em U, em que uma das faces não seria refrigerada (figura 57).

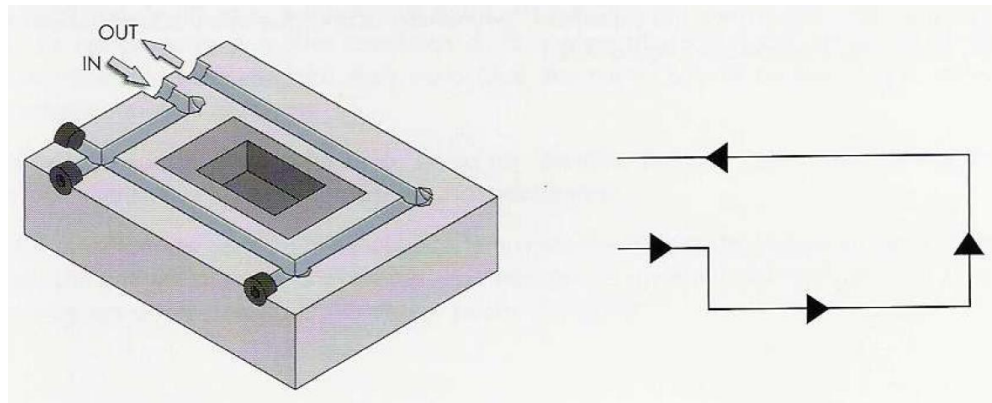


Figura 57 - Circuito retangular (CENTIMFE, 2003)

Para cavidades profundas, há necessidade de dispor os circuitos por diferentes níveis, como representado na figura 58.

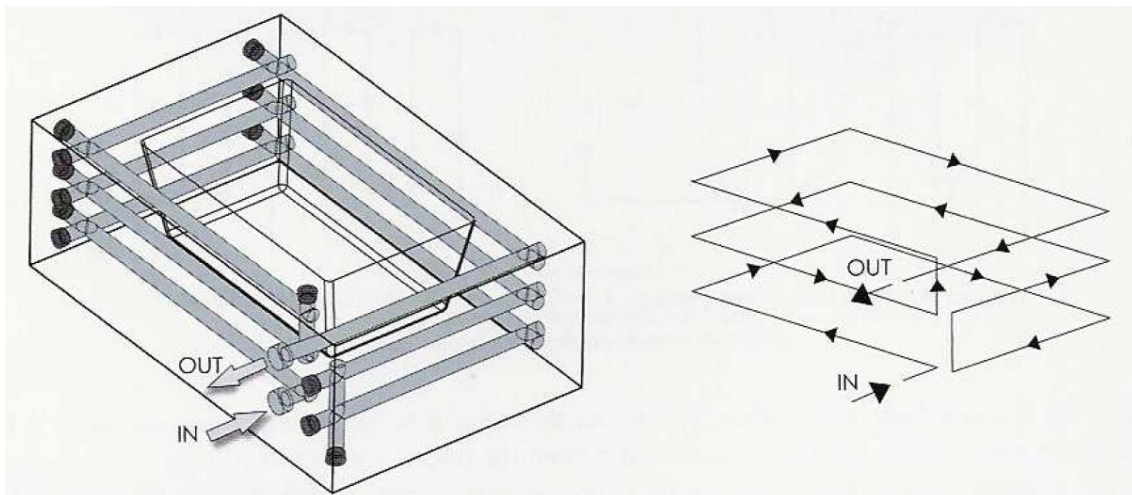


Figura 58 - Circuito retangular disposto em diferentes níveis (CENTIMFE, 2003)

### Circuitos para cavidades circulares

No caso de peças circulares, o arrefecimento com canais “retos” não é aconselhável, já que estes não permitem acompanhar a forma da peça e, portanto, provocam um arrefecimento não uniforme. Assim, uma solução seria a de maquinar as cavidades em posições circulares, sendo os canais de refrigeração maquinados na sua superfície, permitindo assim que estes acompanhem a forma da peça, como representado na figura 59.

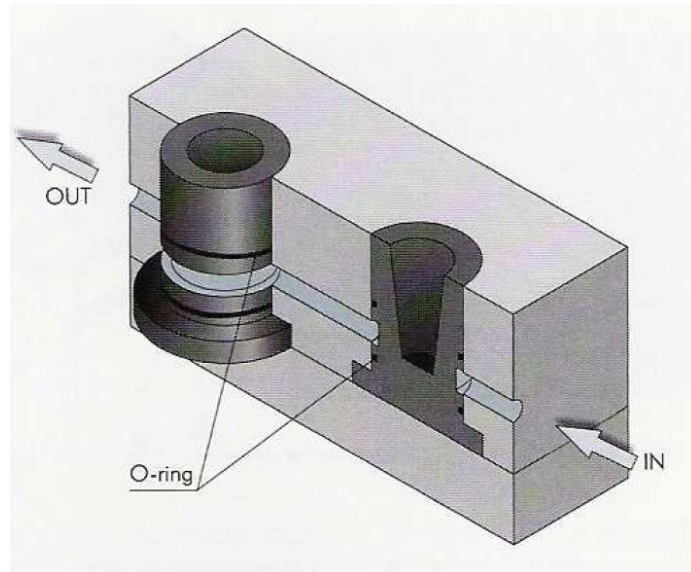


Figura 59 - Sistema de controlo de temperatura para cavidades circulares (peça maquinada num postigo)  
(CENTIMFE, 2003)

Neste tipo de circuito, como os canais estão maquinados na superfície do postigo, há sempre a necessidade de se usarem vedantes (*O-rings*) para fazerem a vedação do fluido de refrigeração. Neste tipo de circuitos, o fluido de refrigeração pode entrar por um lado e sair pelo outro (percurso contínuo), ou divergir, contornando o postigo pelos dois lados, como se pode ver de uma forma esquemática na figura 60.

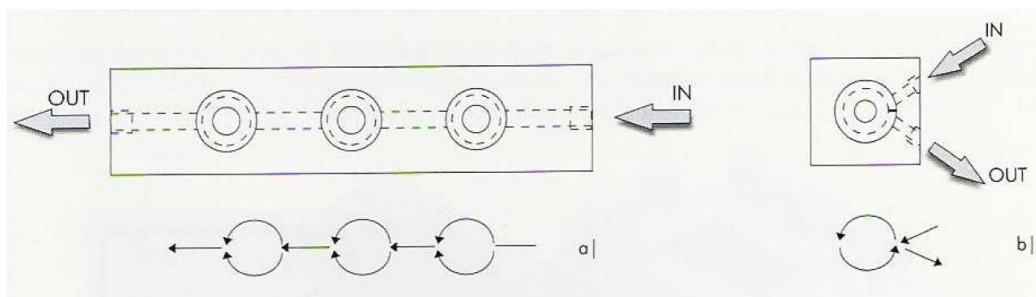


Figura 60 - Percurso da água em canais circulares:  
a) Percurso divergente; b) Percurso contínuo  
(CENTIMFE, 2003)

No caso de cavidades fundas, far-se-ia como foi referido para as cavidades retangulares, um circuito por níveis, que podem ou não ser independentes. Como foi mencionado, este circuito tem o inconveniente de necessitar da utilização de vedantes. Um circuito alternativo pode ser, por exemplo, o apresentado na figura 61, que também permite um arrefecimento uniforme em peças circulares.

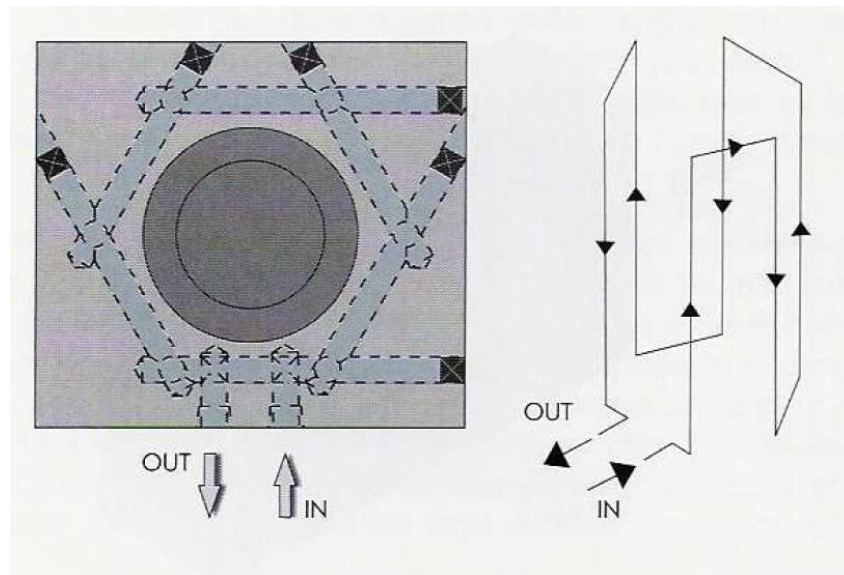


Figura 61 - Sistema de controlo de temperatura alternativa (CENTIMFE, 2003)

### Colocação de placas de refrigeração

Estas placas (figura 62), com o circuito de refrigeração já maquinado, podem ser fixas às placas do molde através de parafusos ou por meio de soldadura. A vedação é promovida por uma junta de vedação, à semelhança das utilizadas nas juntas da cabeça dos motores de combustão ou por vedantes (*O-rings*). Esta solução de refrigeração recomenda-se quando se pretende um controlo de temperatura individual de cada parede da cavidade.

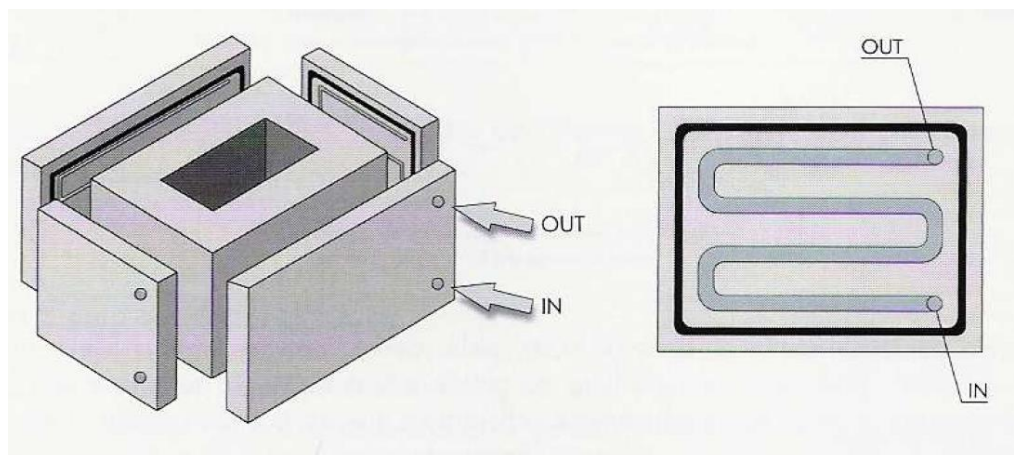


Figura 62 - Placas de refrigeração (CENTIMFE, 2003)

Este tipo de refrigeração, pouco usado em moldes de injeção, é principalmente usado em moldes de moldação sopro.

### Circuito de água inclinado

Outra solução será a de maquinar furos inclinados ligados no topo, como o representado na figura 63 evitando, desta forma, furar a parte lateral do macho e os defeitos na peça.

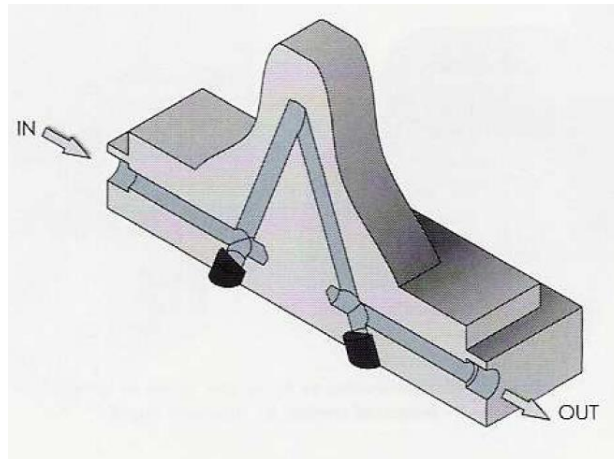


Figura 63 - Circuito de água inclinado (CENTIMFE, 2003)

### Circuitos de águas em cascata com lâmina separadora (palheta)

Uma alternativa ao circuito apresentado anteriormente é a utilização de lâminas separadoras (figura 64).

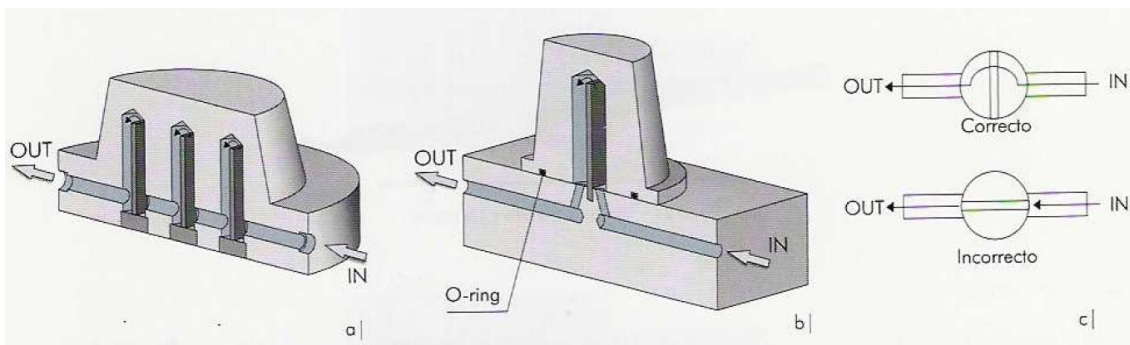


Figura 64 - Circuito de água em cascata com palhetas:

a) Palheta com cabeça roscada; b) Palheta simples; c) Montagem correta e incorreta da lâmina separadora (CENTIMFE, 2003)

Neste tipo de circuitos, tem de se ter particular atenção à montagem da palheta. Esta deve ficar “perpendicular” ao furo de passagem para o obstruir, obrigando o fluido de refrigeração a subir por um lado e a descer pelo outro, e que não fique alinhada como o furo de passagem. As palhetas podem ser planas ou torcidas em espiral, o que as torna mais eficientes devido à maior turbulência induzida, como representado na figura 65.

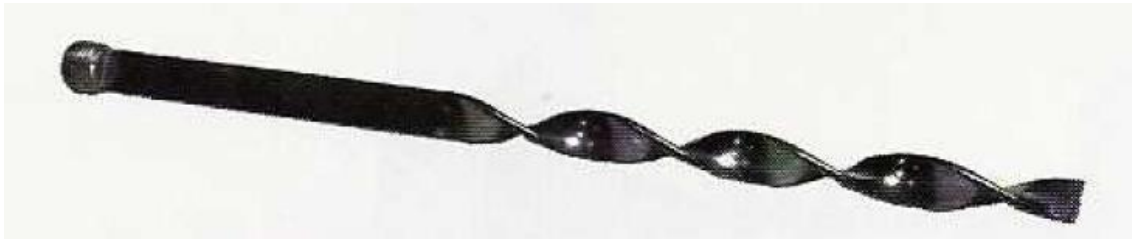


Figura 65 - Palheta em espiral (CENTIMFE, 2003)

### 2.1.7 Sistema de guiamento-centramento

É fundamental promover um perfeito centramento do molde, para assim garantir uma alta fiabilidade de funcionamento do mesmo quando montado na máquina de injeção. O acoplamento das duas metades do molde na unidade de fecho da máquina de injeção, constituída por um prato fixo, um prato móvel, colunas da máquina (ou não, dependendo do tipo de máquina) e os respetivos sistemas de acionamento e fecho do prato móvel, é efetuado com diferentes sistemas de fixação, como aqueles que já foram abordados anteriormente. Por outro lado, o molde é uma ferramenta constituída por duas metades, que montadas na máquina de injeção têm de abrir e fechar durante o ciclo de moldação. Existe assim também a necessidade de promover o guiamento e centramento entre as duas placas do molde. Um mau centramento do molde provoca desvios no processo de injeção, entre ciclos sucessivos de moldação, levando a variações das espessuras das paredes das peças moldadas, não garantindo assim a precisão dimensional requerida para as peças plásticas e, em casos extremos, podendo levar à destruição de componentes internos do molde.

#### Centragem

Para resolver este problema os moldes são equipados com anéis de centragem. Atualmente, estes componentes são disponibilizados por diferentes fabricantes de acessórios normalizados para moldes. Dependendo do tipo de máquina de injeção, existem diferentes dimensões e tipos (figura 66). Normalmente, o anel de centragem encontra-se encastrado numa caixa na face posterior da placa de aperto da injeção e a centragem do molde é promovida pelo ajustamento do mesmo no furo do prato da máquina de injeção. Como boa prática, recomenda-se a colocação de um anel de centragem também do lado da extração (placa de aperto da extração). A colocação de anéis de centragem nas duas placas de aperto garante que o molde não descaia no caso de haver alguma perda de eficiência do sistema de aperto das placas do molde. Para moldes de maiores dimensões, recomendam-se anéis do tipo A, já que nesta situação o anel não sai fora, já que está encaixado na placa e simultaneamente encostado ao prato da máquina de injeção.

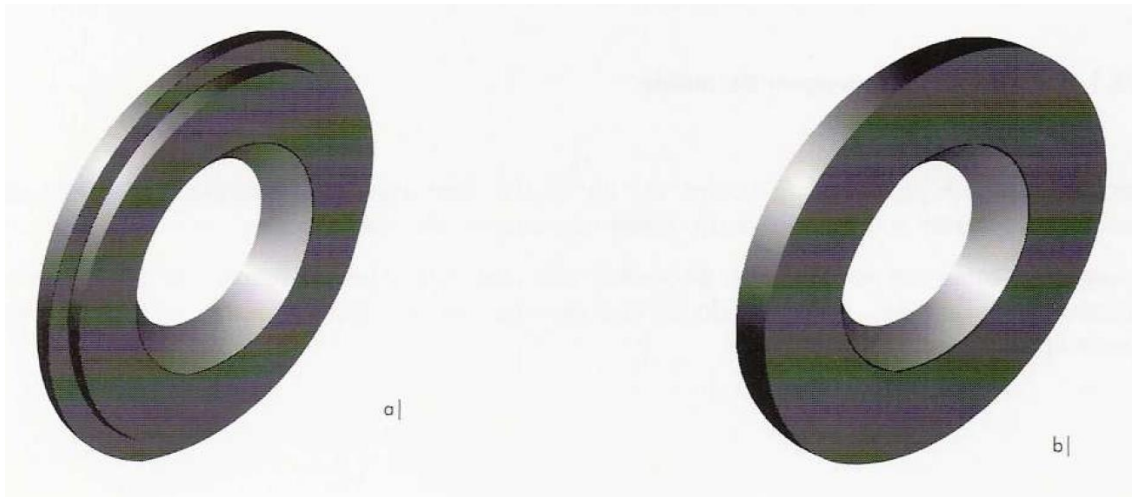


Figura 66 - Anéis de centragem:  
a) Dois corpos; b) Corpo simples  
(CENTIMFE, 2003)

## Guiamento

Para além do guiamento feito pelas colunas da máquina de injeção e pela sua unidade de fecho, há que salientar os próprios sistemas de guiamento interno do molde, podendo estes sistemas ser divididos em dois grupos: guiamento principal e guiamento da unidade de extração. O guiamento é fundamental para o funcionamento de um molde, pois, cada vez que o molde abre, este tem de regressar exatamente para a mesma posição em que se encontrava, de modo a iniciar um novo ciclo. Regra geral, o guiamento de um molde é feito basicamente através de guias e respetivos casquilhos (figura 67).

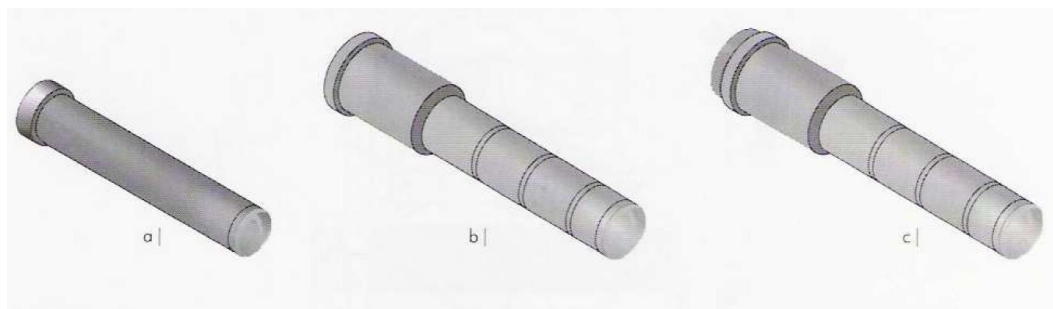


Figura 67 - Diferentes tipos de guias:  
a) Guia; b) Guia de corpo respigado; c) Guia respigada com cabeça de centragem  
(CENTIMFE, 2003)

Para não existirem erros aquando da montagem do molde, é comum desviar uma das guias (figura 68) ou alterar o diâmetro de uma das guias (figura 69). Assim, existe só uma posição de montagem, acabando com montagens erradas.

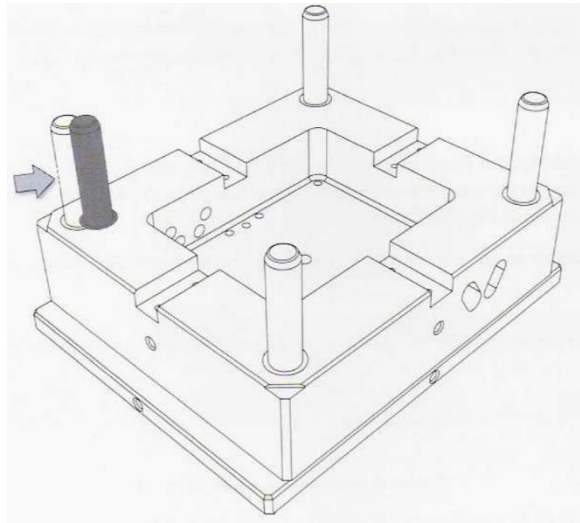


Figura 68 - Guia deslocada em posição (CENTIMFE, 2003)

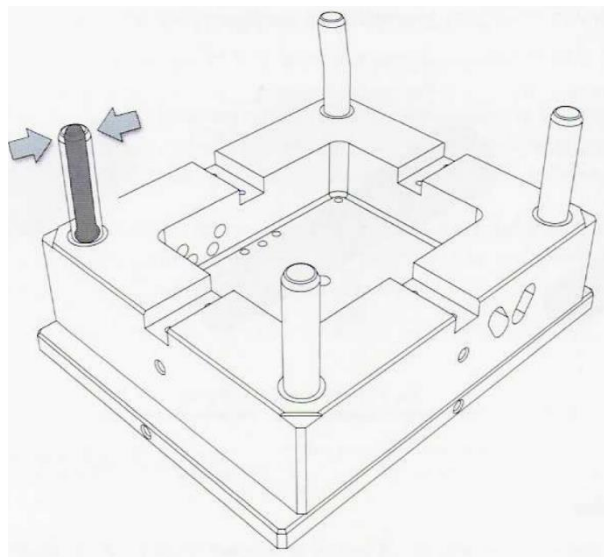


Figura 69 - Alteração do diâmetro da guia (CENTIMFE, 2003)

### Guiamento para moldes muito pesados

Em moldes muito grandes e pesados, não se deve utilizar no guiamento principal as guias e casquilhos descritos anteriormente, pois estes não suportariam os esforços associados a este tipo de moldes, sendo por esse facto recomendável a aplicação de guiamentos retangulares, mais robustos e que podem ser vistos na figura 70.

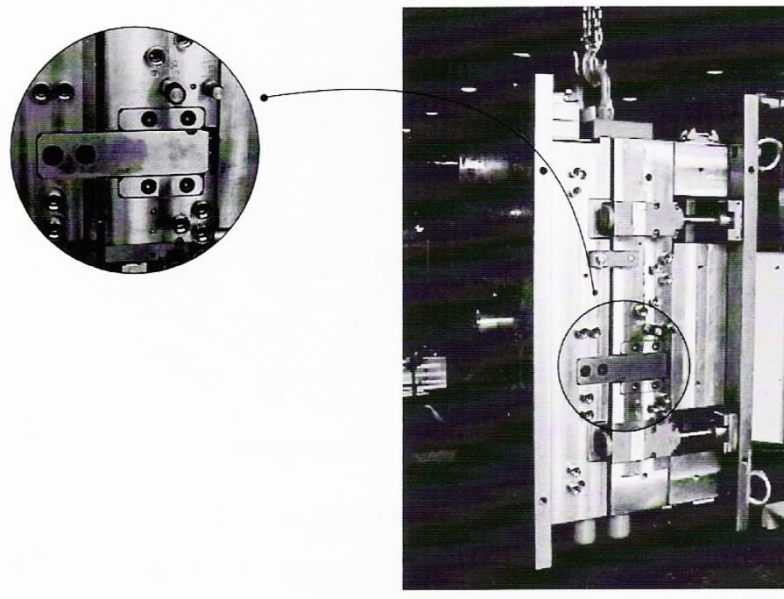


Figura 70 - Guiamento retangular ("guias prismáticas") (CENTIMFE, 2003)

No entanto, como os guiamentos não são suficientemente rigorosos e seguros para centrar e alinhar as duas metades do molde, adaptam-se outras soluções, vulgarmente designadas por travamentos (elementos de guiamento e ajuste mais preciso) (figura 71).

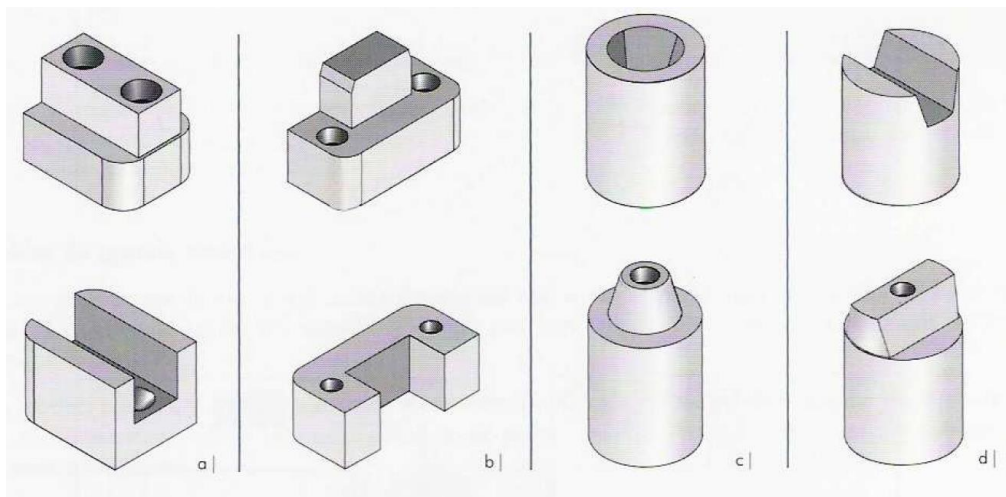


Figura 71 - Blocos de travamento  
a) Retangular tipo A; b) Retangular tipo B; c) Circular tipo B; d) Circular tipo A  
(CENTIMFE, 2003)

Na figura 72 exemplifica-se uma possível disposição dos blocos de travamento retangular para moldes de média/grande dimensão.

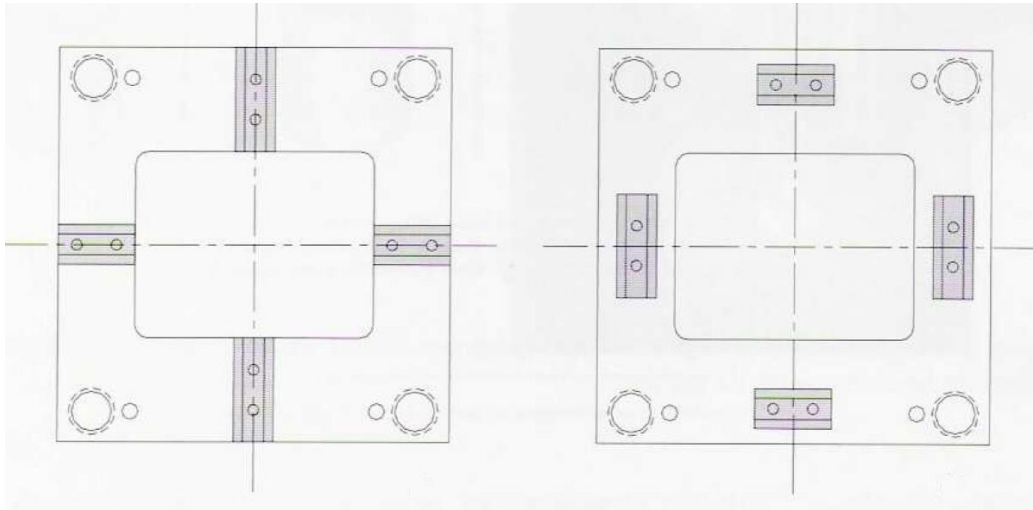


Figura 72 - Travamento retangular para moldes de média/grande dimensão (CENTIMFE, 2003)

### Placas de ajuste fino

Este tipo de travamento simplifica grandemente o fabrico do molde, sendo largamente utilizado no travamento de elementos móveis. Existem diversas formas de colocação destes elementos no molde. As suas maiores vantagens são sem dúvida o facto de serem substituíveis em situações de maior desgaste, a sua facilidade de fabrico e serem uma forma simples de ajustamento que permite um alinhamento mais preciso.

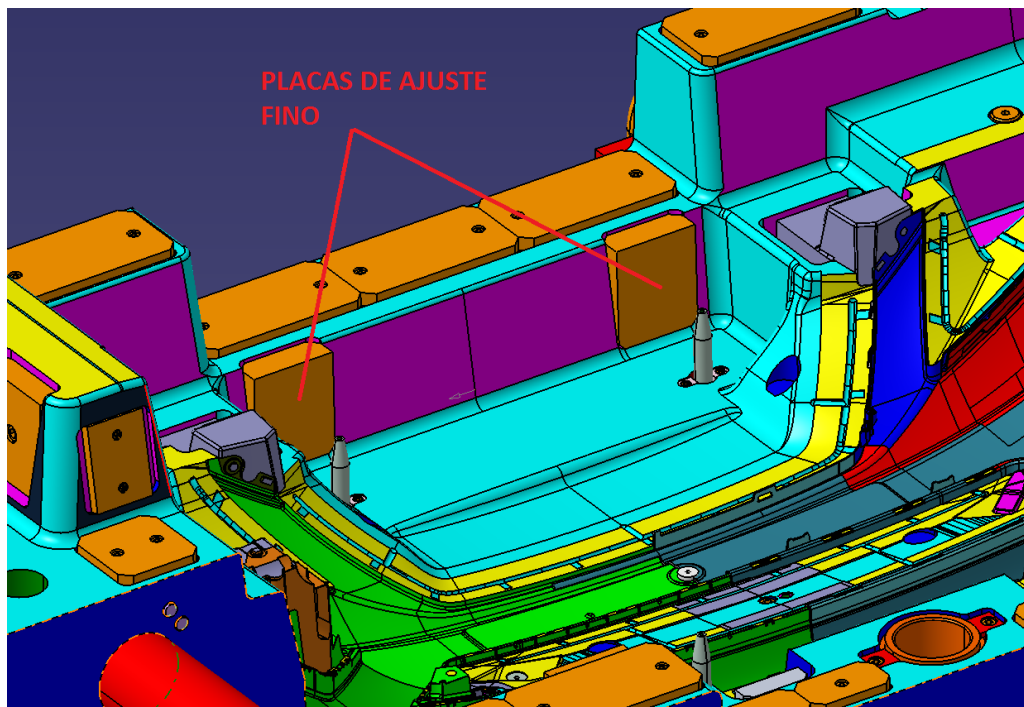


Figura 73 - Placas de ajuste fino

### 2.1.8 Tipos de componentes moldantes

Existe uma vasta variedade de componentes, no entanto, destacam-se:

- Postiços;
- Movimentos mecânicos;
- Movimentos hidráulicos;
- Movimentos à extração;
- Levantadores;
- Movimentos em cunha;
- Movimento com cames.

#### Postiços

Aplicam-se em situações de dificuldades de maquinagem, como sendo a existência de nervuras na peça, evitando-se assim uma maquinação complexa, seja por CNC ou por eletro-erosão. É também frequente utilizar postiços por uma questão de melhoria de refrigeração ou em situações em que a extração dos gases é insuficiente (figura 74).

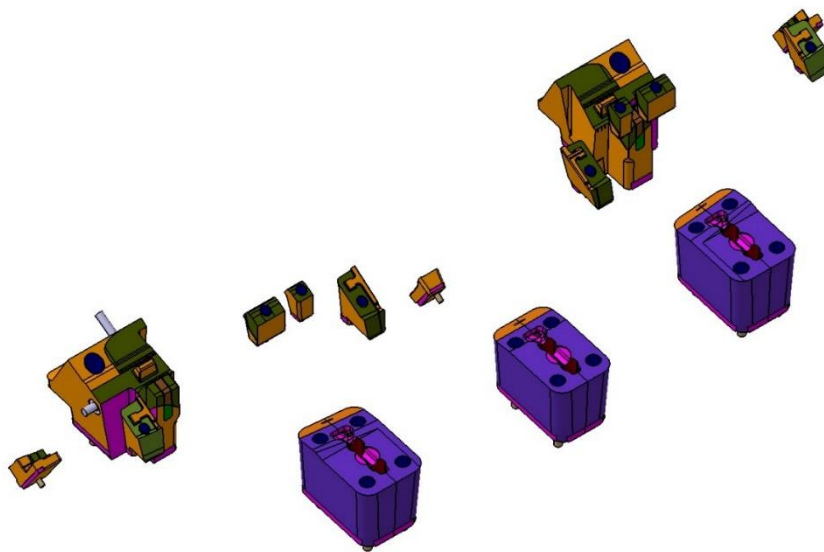


Figura 74 - Exemplo de postiços

#### Movimentos mecânicos

Aquando da abertura do molde, a guia inclinada promove o recuo do movimento, permitindo a desmoldagem da peça (figura 75).

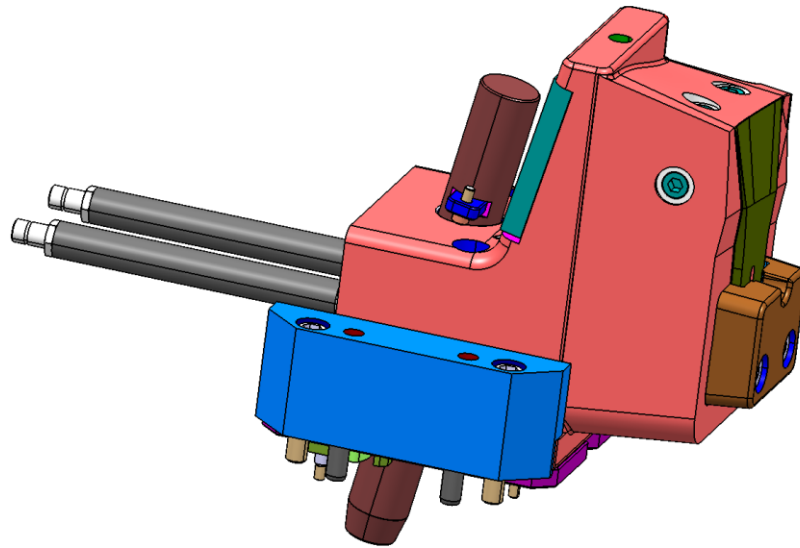


Figura 75 - Representação de movimento mecânico

### Movimentos hidráulicos

São normalmente a última opção a adotar, por requererem a utilização de um sistema hidráulico que representa custos acrescidos ao molde (figura 76).

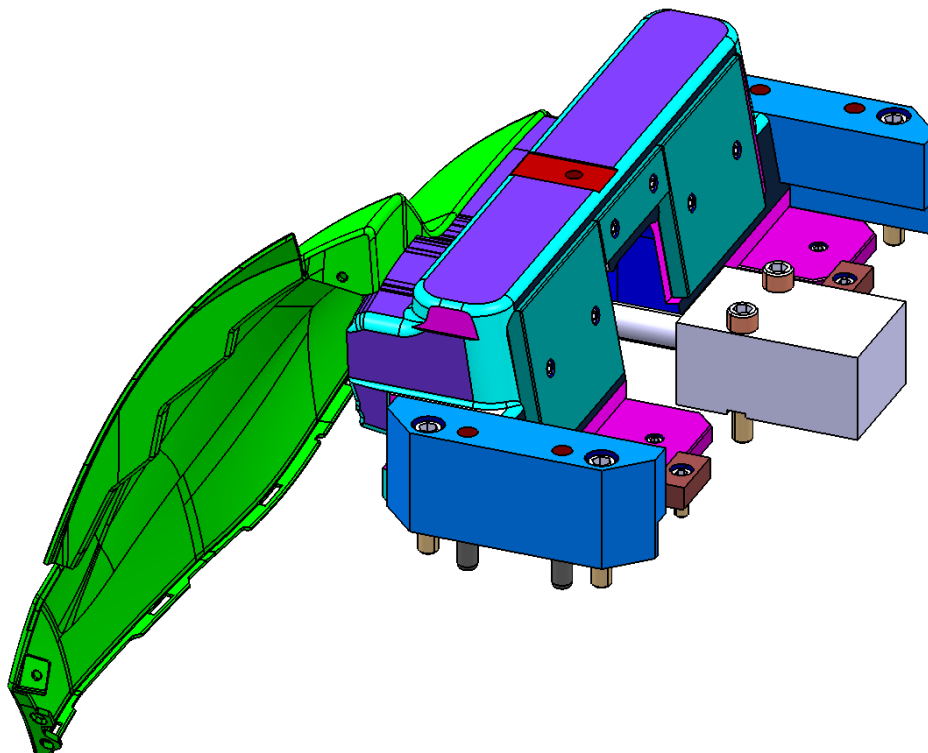


Figura 76 - Representação de movimento hidráulico

### Movimentos à extração

Atuam aquando da extração da peça. A sua inclinação serve para desmoldar contra saídas na peça (figura 77).

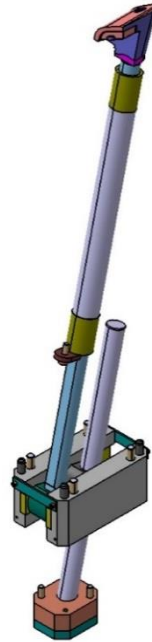


Figura 77 - Representação de movimento à extração

### Levantadores

Atuam linearmente na extração da peça e servem apenas para remover a peça do macho, não para desmoldar contra saídas. São diretamente montados na placa de extração (figura 78).



Figura 78 - Representação de levantador

### Movimentos com cunha

É atuado um cilindro (neste caso hidráulico, mas pode ser atuado mecanicamente) que recua e faz com que recue a pista, desmoldando a peça (figura 79).

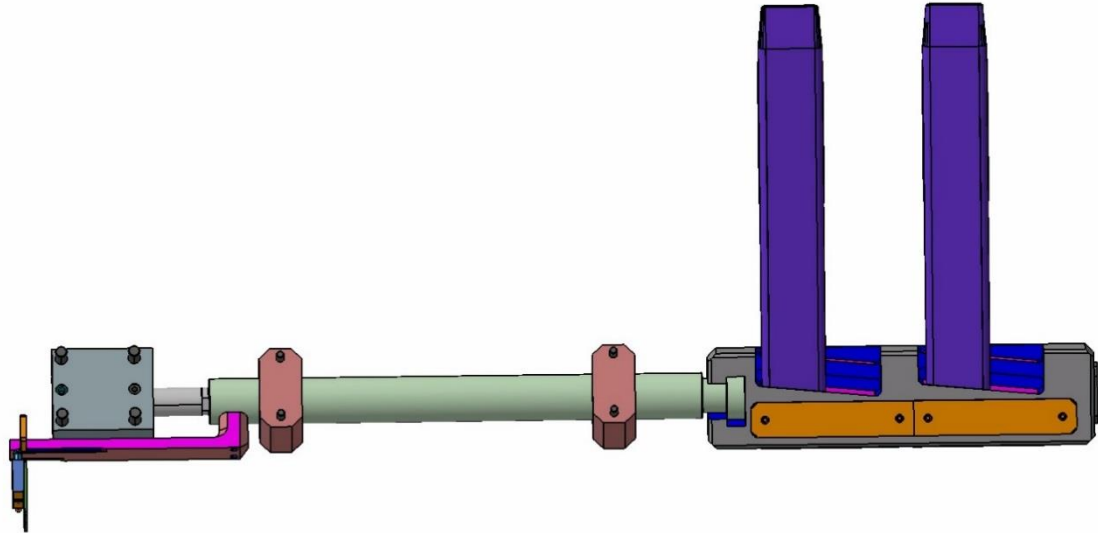


Figura 79 - Representação de movimento com cunha

### Movimentos com cames

São aplicados quando se necessita que o movimento desmolde com duas inclinações diferentes (figura 80).

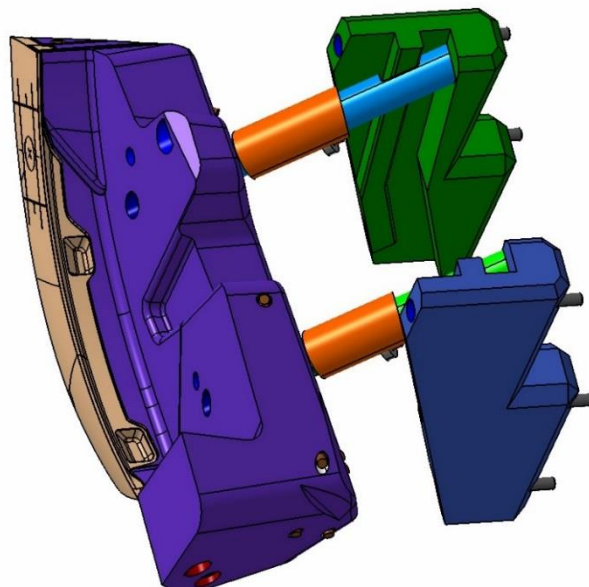


Figura 80 - Representação de movimento com cames

## 2.2 Dimensionamento de moldes para a injeção de plásticos

O dimensionamento de todos os constituintes do molde torna-se bastante importante devido aos custos envolvidos no seu fabrico. A minimização de alterações a realizar em fases finais no molde deve-se, em grande parte, a um bom dimensionamento.

### 2.2.1 Cálculo da força de fecho

O cálculo da força de fecho é de extrema importância para uma correta seleção da capacidade da máquina de injetar. Pode ser determinada através da seguinte expressão (Sandretto):

$$F_f = \frac{AP * PM * KM * Ncav * CS}{1000} \quad (1)$$

Em que:

$F_f$  – Força de fecho [N];

AP – Área projetada [mm<sup>2</sup>];

PM – Pressão média de injeção [MPa];

KM – Constante relativa ao tipo de material (ver tabela 4);

Ncav – Número de cavidades;

CS – Coeficiente de segurança (entre 1,10 e 1,20).

Tabela 4 - Valores das constantes de KM (Manrich, 2005)

Material	Constante KM
PA, PE-HD, PE-LD, PS, PP	1
SAN, ABS, CA, POM, SB	1,5
PC, PMMA, PPO, PVC	2

### 2.2.2 Dimensionamento dos calços

Para dimensionar corretamente os calços (figura 81), é necessário saber quais as tensões a que estes estão sujeitos (Harada, 2004):

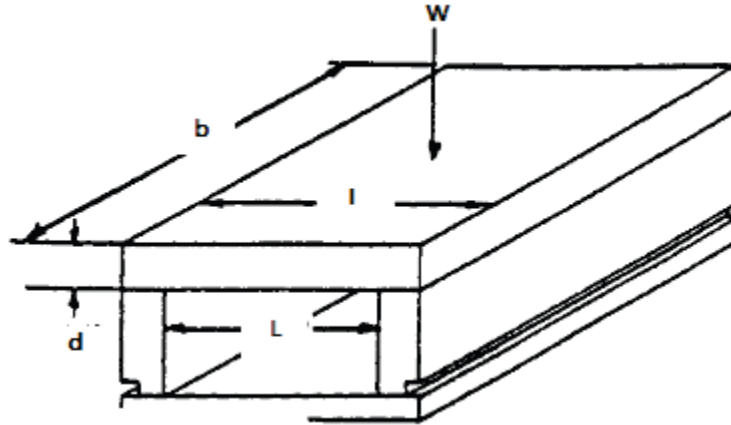


Figura 81 - Dimensionamento dos calços (Harada, 2004)

$$\sigma = \frac{WL}{8Z} \quad (2)$$

$$Z = \frac{Bd^2}{6} \quad (3)$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (4)$$

Em que:

W – Força aplicada [N];

$\sigma$  – Tensão admissível [MPa];

L – Distância entre calços [mm];

Z – Módulo de resistência à flexão [mm<sup>3</sup>];

A – Área [mm<sup>2</sup>];

B – Comprimento da placa [mm];

C – Largura da placa [mm];

d – Espessura da placa [mm].

### 2.2.3 Dimensionamento do extrator/guia

Para o dimensionamento de extratores e guias, aplica-se o critério de *Euler*, que diz (Rosato, 2000):

$$F = \frac{m \pi^2 E I}{L^2} \quad (5)$$

$$I = \frac{\pi r^4}{4} \quad (6)$$

Em que:

F – Força a que o extrator está sujeito [N];

L – Comprimento do extrator [mm];

E – Módulo de *Young* [MPa];

I – Momento Inércia à flexão [mm<sup>4</sup>];

r – raio do extrator [mm];

m – constante (ver diagrama da figura 82).

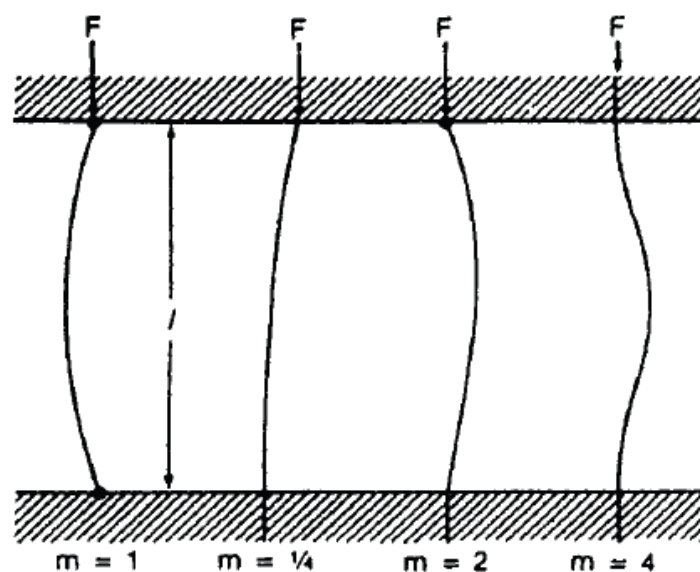


Figura 82 - Diagrama de constantes m (Rosato, 2000)

### 2.2.4 Cálculo da força de extração

Para saber qual a força necessária para o robot tirar a peça do molde, é necessário calcular a força de extração (Rosato, 2000):

$$F_e = \frac{St E A \mu}{d \left( \frac{d}{2t} - \frac{d}{4t} \nu \right)} \quad (7)$$

$$St = (\alpha \Delta T) d \quad (8)$$

Em que:

$F_e$  – Força extração [N];

$St$  – Contração térmica do plástico relativamente ao diâmetro [mm];

$E$  – Módulo de *Young* [MPa];

$A$  – Área de contacto entre peça e molde [mm<sup>2</sup>];

$\mu$  – Coeficiente de atrito entre o plástico e o aço;

$d$  – Diâmetro do circulo equivalente ao perímetro da cavidade [mm];

$t$  – Espessura da peça [mm];

$\nu$  – Coeficiente de Poisson do plástico;

$\alpha$  - Coeficiente de expansão térmica [K<sup>-1</sup>];

$\Delta T$  – Diferença de temperatura entre a injeção e a extração da peça [K].

### 2.2.5 Cálculo do tempo de arrefecimento

Sabendo que o tempo de arrefecimento representa cerca de 50% do tempo de ciclo, é de extrema importância conseguir reduzi-lo ao mínimo, sabendo as propriedades dos materiais (figura 83). Para calcular esse tempo, usa-se a seguinte expressão (Glanvill & Denton, 1970):

$$\theta = \frac{-t^2}{2\pi\alpha} \cdot \log\left[\frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{T_x - T_m}{T_c - T_m}\right)\right] \quad (9)$$

Em que:

$\theta$  – Tempo mínimo arrefecimento [s];

$t$  – Espessura da peça [cm];

$\alpha$  – Difusividade térmica [cm<sup>2</sup>/s];

$T_x$  – Temperatura de extração da peça [°C];

$T_m$  – Temperatura do molde [°C];

$T_c$  – Temperatura cilindro [°C].

	Condutibilidade térmica cal/cm/cm <sup>2</sup> /s/°C <i>k</i>	Densidade g/cm <sup>3</sup> <i>ρ</i>	Calor específico cal/°C/g <i>C<sub>p</sub></i>	Difusividade <sup>2</sup> térmica cm <sup>2</sup> /s/10 <sup>-4</sup> <i>α</i>	Difusividade <sup>2</sup> térmica pol <sup>2</sup> /s/10 <sup>-4</sup> <i>α</i>	Temperatura de dispersão (°C) <i>T<sub>x</sub></i>
Poliestireno para fins gerais	3,0	1,06	0,32	8,86	1,34	90
Poliestireno endurecido	2,0	1,06	0,33	5,72	0,89	80
Politeno – baixa densidade	8,0	0,92	0,55	15,8	2,45	60
Politeno – alta densidade	3,0	0,96	2,0	1,56	0,242	90
Polipropileno	3,3	0,91	0,46	7,9	1,23	90
Acrílico	5,0	1,18	0,35	12,1	1,88	85
Nylon	5,5	1,1	0,4	12,5	1,96	160
Acetato de celulose	6,0	1,3	0,35	13,2	2,05	70
Butirato acetato de celulose	6,0	1,18	0,35	14,5	2,28	70
P.V.C. <sup>1</sup>	3,5	1,3	0,35	7,7	1,2	—
Estireno acrilonitrilo	2,9	1,08	0,35	8,15	1,26	90
A.B.S. <sup>1</sup>	5,0	1,03	12,8	12,8	2,0	98

<sup>1</sup>Propriedades particularmente dependentes da formulação

<sup>2</sup>Valor aproximado, com base em  $\alpha = k\rho C_p$ .

Figura 83 – Listagem das propriedades térmicas de alguns polímeros (Glanvill & Denton, 1970)

### 2.2.6 Cálculo do caudal do fluido de arrefecimento

O cálculo do caudal de fluido necessário ao arrefecimento do molde poderá ser calculado com recurso à seguinte expressão (Harada, 2004):

$$q = m [C_p (T_1 - T_2) + L] \quad (10)$$

Em que:

- q – Quantidade de calor retirada [kcal/s];  
ṁ – Quantidade de material injetado por segundo [kg/s];  
Cp – Calor específico do material plástico [kcal/Kg°C];  
T1 – Temperatura de injeção do material [°C];  
T2 – Temperatura do molde [°C];  
L – Calor latente de fusão [kcal/Kg].

### 2.2.7 Dimensionamento da espessura mínima da cavidade

A espessura da cavidade poderá ser calculada através da expressão (Harada, 2004):

$$t = \frac{5 W L^4}{32 E y h}^{1/3} \quad (11)$$

$$W = P h \quad (12)$$

Em que:

- t – Espessura mínima da cavidade [mm];  
W – Carga na parede lateral da cavidade [N/mm];  
L – Comprimento da cavidade [mm];  
E – Módulo de *Young* [MPa];  
y – Deflexão permitida pela parede da cavidade [mm];  
h – Altura da cavidade [mm];  
P – Pressão na cavidade [MPa].

### 2.3 Componentes normalizados para aplicação em moldes

Para fazer face aos constrangimentos temporais e orçamentais inerentes à construção dos moldes, é cada vez mais comum usar componentes normalizados. Existe hoje em dia uma grande variedade de componentes normalizados para as mais variadas áreas do molde, como sendo:

- Estrutura;
- Refrigeração;
- Injeção;

- Guiamento e centramento;
- Extração.

### Estrutura

Existem estruturas de moldes comercializadas em bloco, onde é quase unicamente necessário maquinar as gravações e movimentos no macho e cavidade (figura 84).



Figura 84 - Estrutura (DME)

### Refrigeração

Existem no mercado componentes normalizados como engates rápidos, palhetas, ligações múltiplas, tacos, bujões ou *O-rings* (figura 85).



Figura 85 - Componentes de refrigeração (Ligação múltipla à esquerda; Engate rápido à direita) (Giacomini)

### Injeção

Existem ainda componentes como bicos de injeção, resistência de aquecimento e termómetros (figura 86).



Figura 86 - Componentes de injeção (Bico de injeção à esquerda; Controle de temperatura à direita)  
(Synventive)

### Guiamento e centramento

Os componentes de guiamento permitem a correta abertura e fecho do molde, como guias e casquilhos (figura 87).



Figura 87 - Componentes de guiamento (Casquilho à esquerda; Guia à direita)  
(DME)

Os componentes de centramento permitem que o macho e a cavidade se ajustem perfeitamente aquando do fecho do molde, como por exemplo, *interlocks* e anéis de centramento (figura 88).



Figura 88 - Componentes de centramento (Anel de centramento)  
(DME)

## Extração

São componentes que auxiliam à correta extração da peça como extratores e carrinhos (figura 89).



Figura 89 - Componentes de extração (Extrator à esquerda; Carrinho à direita)  
(CUMSA)

## 2.4 Texturização

Atualmente, a texturização de ferramentas para a moldação de plásticos assenta essencialmente em cinco tecnologias:

- Texturização química;
- Texturização por electro erosão;
- Texturização por maquinação a laser;
- Texturização por fresagem a alta velocidade;
- Texturização de granalhas abrasivas.

Das tecnologias anteriormente referidas, a mais versátil e mais utilizada é a texturização química (e por isso a que será abordada).

A texturização química é um processo químico utilizado na indústria para obter formatos particulares e gerar desenhos em relevo característicos. Neste último caso, a texturização é largamente aplicada para produzir moldes plásticos de modo a obter superfícies com efeitos especiais. A finalidade da texturização na indústria dos moldes é obter componentes plásticos agradáveis ao olhar, como ocorre com o polimento. No entanto, ao contrário deste último, a texturização reduz significativamente a reflexão da luz, pela superfície. As superfícies dos componentes obtidos por moldes texturados são melhores para se segurar do que aquelas peças lisas ou brilhantes. Além disso, possuem maior resistência à abrasão.



Figura 90 - Peça texturizada

#### 2.4.1 Operações tipicamente realizadas no processo de texturização

Há informações limitadas sobre as técnicas usadas pelas empresas especializadas em texturização. A razão está no facto de não haver um processo padrão. Pequenas variações em termos de escolha do ácido, a sua dosagem, a intensidade da luz e o tempo de exposição, resultam em diferenças significativas no resultado e constituem o *know-how* das empresas.

#### Planeamento

Dependendo do desenho a obter, é identificado o material que forneça os melhores resultados e estabelecem-se as fases fundamentais ao processo (figura 91).



Figura 91 - Planeamento de texturização (Moldes Injeção Plástico)

## Processamento

Utilizando *software* CAD 3D, é feito o tratamento e a otimização dos desenhos enviados pelo cliente (figura 92).



Figura 92 – Processamento do desenho de texturização (Moldes Injeção Plástico)

## Impressão

Os desenhos são impressos (um em cada lado da peça a texturar), usando uma *plotter* de alta velocidade e alta resolução (figura 93).



Figura 93 – Impressão da textura numa película fotossensível (Moldes Injeção Plástico)

## Preparação

São removidas todas as impurezas da peça (óleo ou graxa) através de uma limpeza cuidada (figura 94).



Figura 94 – Preparação/limpeza da superfície (Moldes Injeção Plástico)

## Revestimento

São aplicadas camadas de material fotossensível, o qual é geralmente constituído por um polímero sensível à luz ultra violeta (figura 95).



Figura 95 - Revestimento (Moldes Injeção Plástico)

## Exposição

Expõe-se a película para a qual o desenho foi transferido a raios ultra violeta (figura 96).



Figura 96 - Exposição (Moldes Injeção Plástico)

## Fixação

Fixa-se a imagem gravada à película.

## Gravação

Realiza-se o ataque químico do polímero de revestimento não exposto previamente.

## Remoção

Procede-se à remoção e limpeza da camada fotossensível deixada sobre a peça, possivelmente expondo-a mais uma vez aos raios ultra violeta e repetindo o processo de ataque químico (soda cáustica) (figura 97).



Figura 97 - Remoção (Moldes Injeção Plástico)

## Inspeção

Verificação da peça para assegurar que esteja de acordo com os requisitos de projeto. Existem dois tipos de resina: positiva e negativa. Positiva quando é a parte não protegida pelos raios UV que é removida no banho ácido, e negativa se a parte protegida é que é a removida por esse mesmo banho (figura 98).

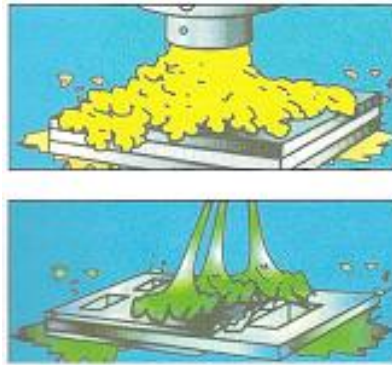


Figura 98 - Inspeção (Moldes Injeção Plástico)

## Fatores que influenciam a texturização

A composição do reagente químico é escolhida de acordo com os seguintes fatores:

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

Contudo, outros parâmetros importantes não devem ser colocados de parte, como:

- Inclusões e porosidades;
- Direção das fibras;
- Tratamentos térmicos;
- Maquinação por electro erosão;
- Aplicação de soldadura;

- Tipo de aço.

### **Vantagens da utilização da texturização**

A texturização apresenta as seguintes vantagens:

- A texturização possibilita o fabrico de peças com um elevado grau de precisão de acabamento, difícil de obter usando métodos convencionais;
- A tolerância geralmente ronda os 0,025 mm;
- As peças submetidas a texturização não apresentam distorções, tensão residual e rebarbas, já que não sofrem esforços mecânicos;
- É mais rápido e económico fazer uma peça por texturização, do que por meio de processos de maquinagem;
- Uma solda pode ser mascarada por meio de texturização se os parâmetros recomendados pelo fabricante do aço forem respeitados.

### **Desvantagens da utilização da texturização**

- A texturização é sensível a segregações e variações de dureza;
- Só pode ser aplicada em peças maquinadas por electro erosão após ser feito um tratamento adequado;
- Processos termoquímicos e de deposição devem ser efetuados após a texturização.

## **2.5 Materiais a empregar no molde**

Num molde para injeção de plástico, é comum existir elevada pressão de injeção e força de fecho. Com vista a combater estes esforços, assim como a repetibilidade desses esforços milhares de vezes, é necessário construir os moldes com materiais apropriados. Estes materiais deverão ser escolhidos criteriosamente para que cumpram os requisitos do cliente, não só do ponto de vista da qualidade da peça a obter, como também serem capazes de suportar o número de ciclos pré-estabelecidos. Para uma correta seleção dos materiais de construção do molde, deve-se ter em conta certos fatores, tais como:

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

## **Resistência ao desgaste**

Nos elementos móveis, onde é comum existir deslizamento de componentes sobre outros componentes, geralmente aço com aço, é vivamente aconselhável a utilização de metais resistentes ao desgaste e que possibilitem o seu tratamento térmico.

Nos componentes moldantes, sujeitos a corrosão por parte do material injetado, principalmente quando se trata de materiais com cargas abrasivas como a fibra de vidro, é igualmente importante uma elevada dureza (resistência ao desgaste).

A dureza é igualmente importante nos componentes moldantes, visto que através da detonação dos gases comprimidos, poderá levar à queima da superfície do molde (efeito *diesel*).

## **Resistência a esforços**

Devido à elevada pressão de injeção e força de fecho, desenvolvem-se esforços no interior do molde, nomeadamente esforços de flexão, compressão e fadiga.

## **Processo de fabrico**

Para a obtenção dos componentes, é necessário que os blocos de aço em bruto sejam sujeitos a processos de fabrico como maquinagem e/ou soldadura. Como estes processos consomem uma grande fatia da construção do molde, é necessário que os materiais escolhidos tenham boas características de maquinabilidade e soldabilidade.

## **Qualidade superficial**

Para obter uma qualidade da peça de acordo com as normas do cliente, é da mais fundamental necessidade que as superfícies de gravação tenham uma qualidade superficial inegável. Para atingir a qualidade superficial pretendida, é obrigatório realizar um polimento meticuloso, principalmente na cavidade, visto ser esta que normalmente fica com o lado visível da peça. Para que o polimento seja corretamente realizado, é necessário:

- Que o material possua homogeneidade, ou seja, não tenha porosidades ou inclusões;
- Que o material possua uma dureza elevada, visto que o polimento apresenta melhorias em superfícies mais duras;
- Que o material não possua tratamentos térmicos que possam afetar a sua superfície, como a cementação, que pode originar pequenas partículas de óxido que dificilmente desaparecerão aquando do polimento.

Os diagramas de Ashby ajudam a ter uma melhor percepção de quais os materiais mais adequados a cada caso, através de confrontação de pares de propriedades (figura 99).

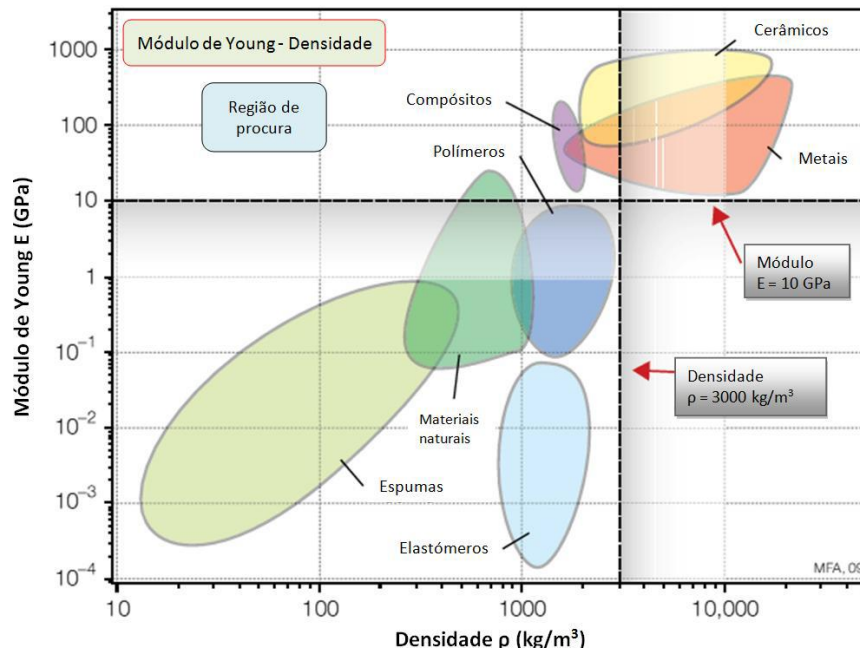


Figura 99 - Diagrama de Ashby (Ashby, 2011)

Da análise do diagrama de Ashby (figura 99), pode-se retirar que se pretender módulos de elasticidade elevados (>10 GPa), deve-se optar por materiais cerâmicos, compósitos ou metais. No entanto, devido ao impacto a que os componentes vão estar sujeitos, tem-se que excluir os cerâmicos e, devido às elevadas temperaturas do molde, deve-se excluir os compósitos. Assim, fica-se confinado à utilização de materiais metálicos. Os materiais metálicos apresentam elevada tenacidade, alta temperatura de fusão, boa resistência ao impacto e elevada dureza, sendo todas elas características indispensáveis aos moldes de injeção de plástico.

Na tabela 5 está sumariado o tipo de material que comumente é usado para cada parte do molde.

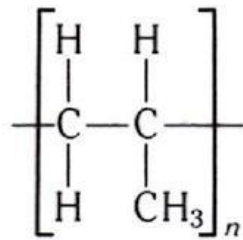
Tabela 5 - Materiais para aplicação em moldes (Simoldes, 2016)

Aplicação	Material	Dureza (HRC)	Observações
Estrutura	1.1730		
Placas de extração	1.2312	± 32	
Cavidade/Macho	1.2738 - 1.2311	31/35 - 33/38 - ± 32	Para PP e PE sem cargas de fibras
	IMPAX HH ou 1.2711	39 / 43	Moldes com cadências superiores a 1.000.000 injeções
	1.2083	Temp. e Reven. a 48/50 ou Tratamento PVD Nitreto Zircónia	Para materiais plásticos corrosivos (exemplo-PVC) e acabamento alto brilho
	1.2343 / 1.2344	Temp. e Reven. a 48/50	Para materiais plásticos abrasivos (por exemplo, com carga de vidro)
Movimentos à extração não refrigerados	Vêr 6.8.1		
Injetor de moldes	1.2083	Temperado	Para materiais plásticos corrosivos
Postiços para injeção tipo "Bayer"	1.2083	Temperado	
Injetor de moldes	1.2343 / 1.2344	Temperado 40±2	Para todos os materiais plásticos não corrosivos
Postiços para injeção tipo "Bayer"	1.2711		
Régua de ajuste	1.2311	Nitrurado 55/60	Rasgos de lubrificação
Almofadas	1.2311		
Régua de deslize e correções	Bronze (tipo Ampco 18)	NA	
Remoção de calor em postiços	Liga de cobre com 2% de berílio (tipo Ampco 97)	NA	
Guias e casquilhos do molde	1.7131 ou 1.5752	Cementado 60±2	Normalizado DME, Hasco ou Rabourdin
Guias e casquilhos da extração	1.7131 ou 1.5752 (preferencial)	Cementado 60±2	Normalizado DME, Hasco ou Rabourdin
	Veio INA / CB 3 conforme a figura 2 do anexo 9		Guias não std conforme a figura 2 do anexo 9
Guias prismáticas	1.2312 / 1.2311		
Régua/correção para guias prismáticas	Liga de bronze CB3		

## 2.6 O polipropileno

O polipropileno, conhecido habitualmente pela abreviatura PP, é um polímero de desenvolvimento relativamente recente, que conseguiu superar as deficiências que apresentava este material no seu início, como eram a sua sensibilidade à ação da luz e ao frio. Isso é possível mediante a adição de estabilizantes e a inclusão de cargas de reforço como o talco ou as fibras de vidro.

O polipropileno obtém-se a partir do propileno extraído do gás do petróleo. É um material termoplástico incolor. Para além disso, é um material duro e está dotado de uma boa resistência ao choque e à tração, apresentando também excelentes propriedades elétricas e uma grande resistência aos agentes químicos e solventes à temperatura ambiente. O diagrama da sua molécula pode ser visto na figura 100.



Polipropileno

Figura 100 - Estrutura do polipropileno (Smith, 2008)

Dentro do considerável lote de propriedades que este material apresenta, devem ser destacadas algumas que são de maior importância, tais como:

### Propriedades físicas

- A densidade do polipropileno está compreendida entre 0,90 e 0,93 g/cm<sup>3</sup>. Por ser tão baixa, permite a fabricação de produtos de baixo peso;
- É um material mais rígido que a maioria dos termoplásticos. Uma carga de 25,5 kg/cm<sup>2</sup>, aplicada durante 24 horas, não produz deformação apreciável à temperatura ambiente e resiste até os 70°C;
- Possui uma grande capacidade de recuperação elástica;
- É um material fácil de reciclar;
- Possui alta resistência ao impacto.

### Propriedades mecânicas

- Tem boa resistência superficial;
- Tem boa resistência química à humidade e ao calor sem se deformar;
- Tem boa dureza superficial e estabilidade dimensional.

### Propriedades químicas

- Tem natureza apolar, e por isto possui grande resistência a agentes químicos;
- Apresenta pouca absorção de água, portanto não apresenta muita humidade;
- Tem grande resistência a soluções de detergentes comerciais;
- O polipropileno tal como os polietilenos tem uma boa resistência química, mas uma resistência débil aos raios UV (salvo estabilização ou proteção prévia).

## Processamento

As condições de processamento dos polímeros estão dependentes da máquina de injeção onde o material vai ser processado, da geometria da peça a injetar e das suas características. Na tabela 6 apresentam-se valores indicativos relativamente aos parâmetros de injeção.

Tabela 6 - Parâmetros de processamento do polipropileno (Equistar,2007)

Polipropileno	
Temperatura na zona de alimentação	204°C
Temperatura na zona de compressão	218°C
Temperatura na zona de dosagem	232°C
Temperatura do bico	232°C
Temperatura do material fundido	216 a 232°C
Temperatura do molde	30°C
Pressão de injeção	4 a 10 MPa
Segunda pressão	75 a 80% pressão injeção

## Aplicações comuns

O Polipropileno poderá ser usualmente aplicado em:

- Embalagem alimentar, copos, tabuleiros;
- Extrusão de fibra;
- Mobiliário: cadeiras e mesas de jardim;
- Utensílios domésticos: recipientes de armazenamento, caixas;
- Embalagem industrial: garrafas para detergentes, baldes;
- Cápsulas e tampas;
- Peças para a indústria automóvel.



# DESENVOLVIMENTO

- 3.1 Objetivos específicos do trabalho prático
  - 3.2 Caracterização da empresa
  - 3.3 Definição da peça injetada pretendida
- 3.4 Elencagem dos requisitos exigidos pelo cliente
  - 3.5 Anteprojeto do molde: possíveis soluções
    - 3.6 Soluções para a fabricação do molde
  - 3.7 Seleção dos materiais para as diferentes zonas do molde
    - 3.8 Seleção de componentes normalizados para o molde
      - 3.9 Dimensionamento do molde
- 3.10 Processos de fabrico utilizados e respetiva sequência de fabrico
  - 3.11 Estimativa de custos para o molde
    - 3.12 Montagem final do molde
    - 3.13 Ligações elétricas do molde
    - 3.14 Ajuste final do molde e teste



## 3 DESENVOLVIMENTO

### 3.1 Objetivos específicos do trabalho prático

O trabalho que se apresenta de seguida tem como principal objetivo o projeto de um molde *sandwich* para a injeção de duas peças plásticas para a indústria automóvel. Ao desenvolver todo o projeto em simuladores 3D, pretende-se prever os possíveis problemas que existiriam no molde, corrigindo atempadamente esses mesmos problemas, minimizando retrabalho no molde e os seus consequentes custos.

### 3.2 Caracterização da empresa

A MDA – Moldes de Azeméis, S.A. (figura 101) é uma empresa que pertence ao grupo Simoldes e que se situa na zona industrial de Santiago da Riba UI, concelho de Oliveira de Azeméis, distrito de Aveiro.



Figura 101 – MDA

#### 3.2.1 O Grupo Simoldes

O Grupo Simoldes, fundado em 1959 e desde 1981 liderado pelo Comendador António da Silva Rodrigues, Maria Aldina Fernandes Valente e Rui Paulo Valente Rodrigues, é atualmente constituído por 20 empresas, cujo negócio é baseado em duas divisões distintas – Moldes e Plásticos. A divisão de Moldes dedica-se à construção de moldes para injeção de termoplástico, com 10 empresas produtoras de moldes (figura 102), 6 das quais em Portugal, num total de 942 colaboradores e a divisão de Plásticos à

injeção de termoplásticos, com 7 empresas produtoras de peças de injeção plástica, 3 das quais em Portugal, na ordem dos 2350 colaboradores.

O grupo Simoldes iniciou a sua atividade como fabricante de moldes de artigos domésticos e de brinquedos.

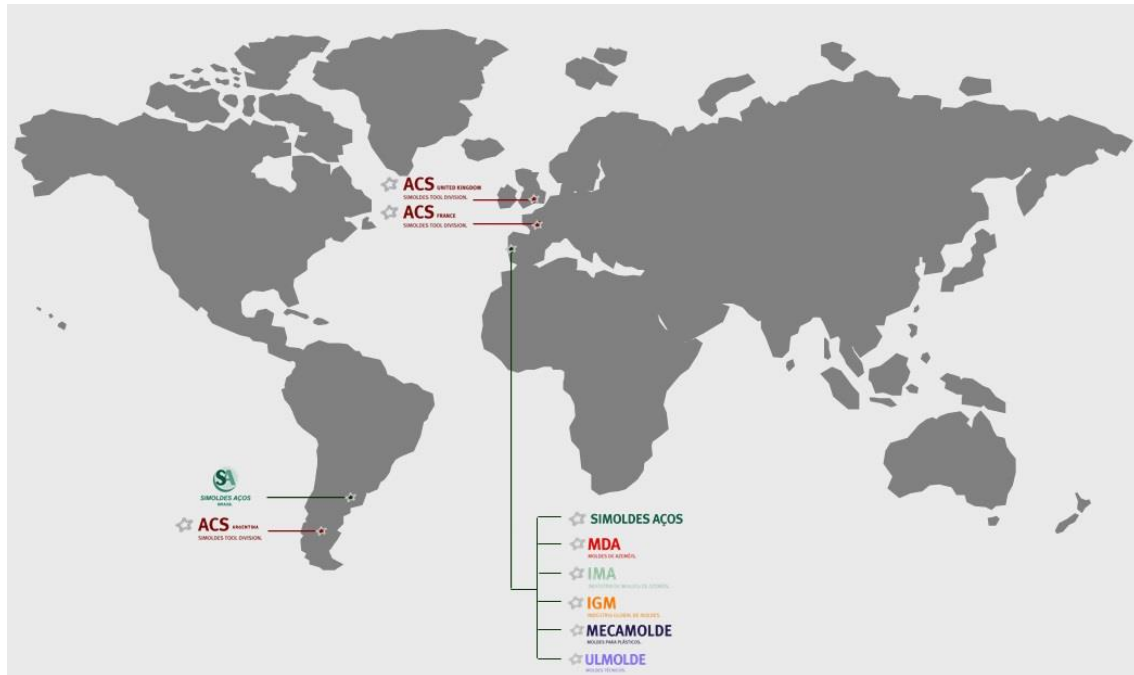


Figura 102 - Simoldes (Divisão de Moldes) no Mundo

De seguida, apresenta-se um resumo histórico do Grupo Simoldes:

- 1959 – Fundação;
- 1966 – Início da exportação indireta para Inglaterra e Estados Unidos;
- 1968 – Primeira exportação direta para Inglaterra;
- 1976/77 – Grande ofensiva em busca de novos mercados com a participação em feiras em Chicago, Birmingham e Gotemburgo e presença em missões comerciais nos Estados Unidos, Canadá, Venezuela, Holanda e Dinamarca;
- É nesta década que o Grupo começa a fabricar moldes para a indústria automóvel europeia, especificamente para países como França e Suécia e clientes como a Volvo, a Saab e a Renault, embora de uma forma indireta, sector de atividade que abrange, ainda hoje, a maior percentagem da sua produção, 99%;
- No início da década de 80, em parte impulsionada pela instalação em Portugal da fábrica da Renault, surgiu a oportunidade de evoluir para o negócio da injeção dos componentes do plástico. O objetivo era fornecer diretamente o cliente final da peça plástica nas suas linhas de produção. É neste contexto que

surge a Simoldes Plásticos, a primeira empresa da Divisão Plásticos do grupo Simoldes;

- A partir dos anos 90, dez anos após o grande salto internacional da empresa, dá-se início à diversificação das atividades, com a abertura de novas empresas, nomeadamente na divisão de moldes, com a constituição da MDA, Moldes de Azeméis e IMA, Industria de Moldes de Azeméis;
- Com os desafios do novo milénio e dando continuidade à estratégia do grupo, são feitos novos investimentos na construção e aquisição de novas unidades de fabrico de moldes, primeiro com a construção da IGM, Industria Global de Moldes e posteriormente com a aquisição da Meca molde - Moldes para Plásticos e Ulmolde, todas em Oliveira de Azeméis.

Aliado a uma equipa jovem e dinâmica, a divisão de moldes do Grupo produz e exporta para mais de 30 países, dos quais se destacam: França, Alemanha, Espanha, Suécia, Bélgica, Reino Unido, Suíça, Irão e Turquia. É considerada atualmente a maior construtora de moldes a nível europeu e um exemplo deste sector de atividade.

### 3.2.2 A MDA

A MDA possui uma área total de 26.026 m<sup>2</sup>. A área coberta tem um total de 13.122 m<sup>2</sup>, fazendo com que seja a maior empresa de moldes a operar em Portugal. A MDA foi fundada a 23 de Janeiro de 1991 e dedica-se à produção de moldes técnicos, de grande rigor e de alto porte, até 100 toneladas. No final de 1996, começou a trabalhar para a certificação de qualidade NP EN ISSO 9001 e obteve-a em Dezembro de 1999 pela BVQI – *Bureau Veritas Quality International*. Integrada num processo de melhoria contínua e orientada pela matriz do *Total Quality Management*, a MDA obteve em Maio de 2001, pela mesma empresa, a certificação do seu sistema de controlo ambiental de acordo com a norma NP EN ISO 14001. Produz principalmente para o sector automóvel, pára-choques, *tabliers*, painéis de porta, *spoilers*, cavas de roda, etc.

### 3.3 Definição da peça injetada pretendida

As peças que se pretendem produzir são ambas integrantes da bagageira de um Opel Meriva (figura 103).

Nas tabelas 7 e 8 (figuras 104 a 108) são apresentadas particularidades da peça, assim como os movimentos previsivelmente necessários para a sua gravação e correta extração. Mais adiante, tanto a gravação como o sistema de extração serão detalhados convenientemente.

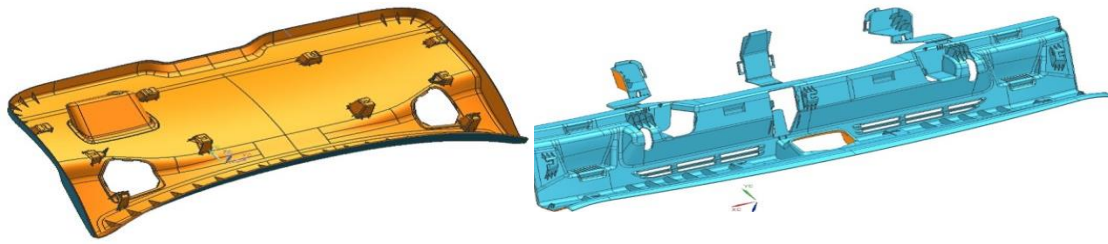


Figura 103 - Peças a produzir:  
Rear End Panel (à esquerda); Trim Lower Tailgate (à direita)

Tabela 7 - Particularidades da peça Rear End Panel

Rear End Panel	
<p>Figura 104 - Localização prevista da extração</p>	<p>Necessários vários levantadores e movimentos para correta extração da peça.</p>
<p>Figura 105 – Localização prevista de postigos</p>	<p>Necessidade de postigos devido a frisos na peça. Nestes postigos serão adicionados levantadores para extração de peça.</p>

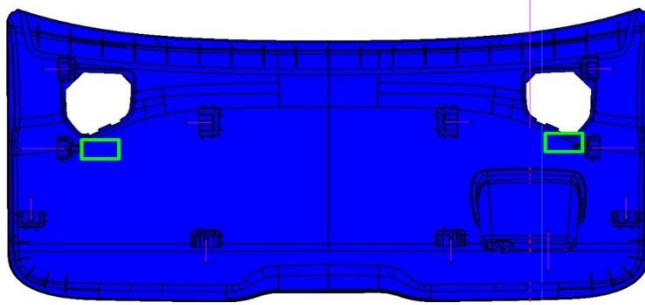
Tabela 8 - Particularidades da peça *Trim Lower Tailgate**Trim Lower Tailgate*

Figura 106 - Localização prevista da extração

Necessários dois levantadores para correta extração da peça.

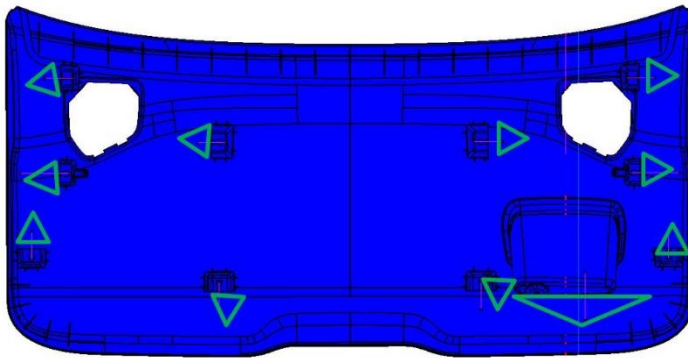


Figura 107 - Localização prevista dos postigos

Necessidade de postigos devido a frisos na peça. Nestes postigos serão adicionados levantadores para extração de peça.

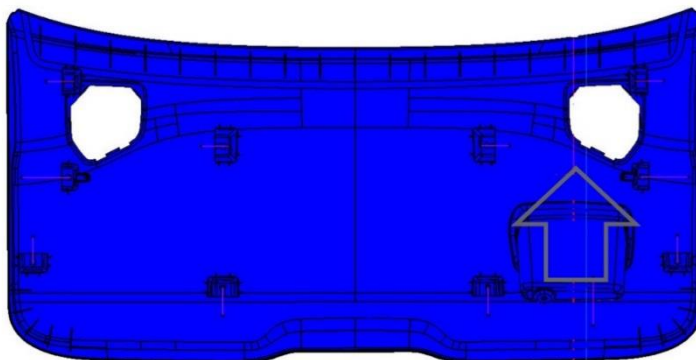


Figura 108 - Previsão de movimento submarino

Previsto movimento submarino para dar formato à peça e desmoldá-la, apesar da contra saída.

### 3.3.1 Alterações à peça

Para se conseguir uma melhor desmoldagem das peças, foram aconselhadas ao cliente algumas alterações às mesmas. Essas alterações são apresentadas nas tabelas 9 e 10 (figuras 109 a 115).

Tabela 9 - Alterações da peça *Rear End Panel*

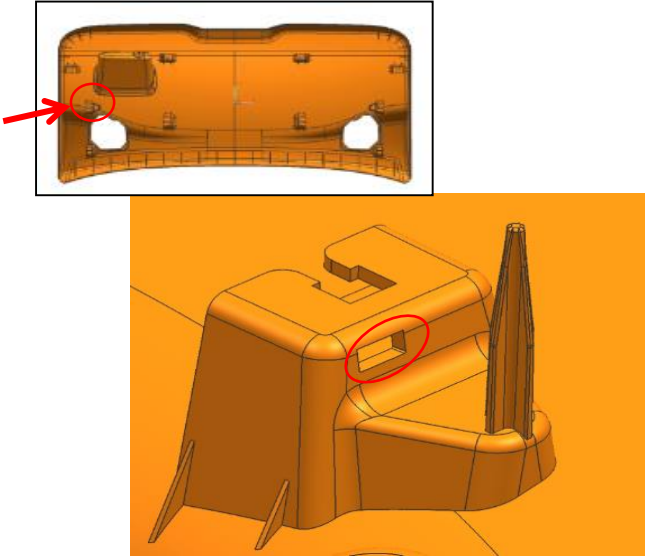
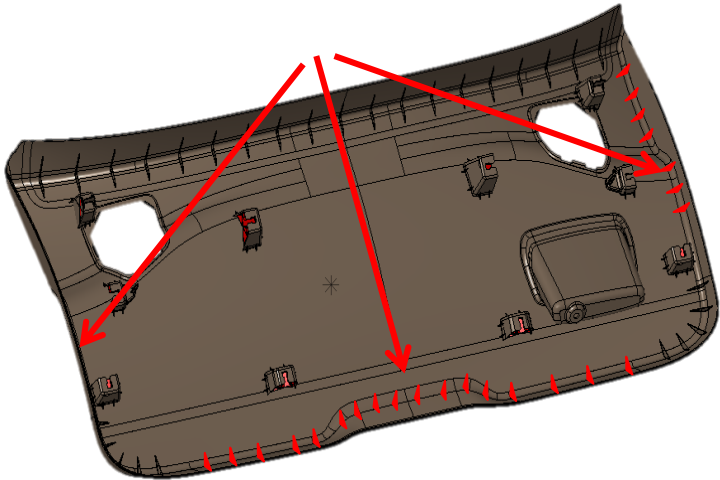
<i>Rear End Panel</i>	
Alteração	Justificação
	<p>A saída apresentava um ângulo no sentido contrário à desmoldagem.</p>
	<p>Diminuição de possível deformação (empeno) na peça.</p>

Figura 109 - Alteração à peça: Inverter saída da abertura

Figura 110 - Alteração à peça: Inserir frisos de reforço

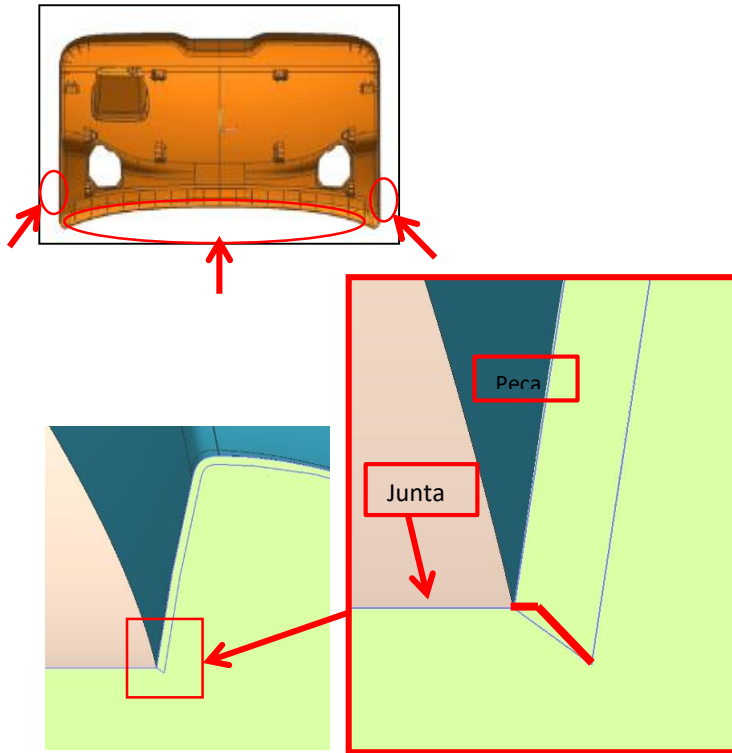


Figura 111 - Alteração à peça: Geometria

A esquina viva existente iria criar uma faca e conseqüente ponto de rebarba.

Tabela 10 - Alterações da peça *Trim Lower Tailgate*

*Trim Lower Tailgate*

Alteração	Justificação
	<p>Ângulo de saída de 1° é insuficiente para desmoldar. Alterado para 7°.</p>

Figura 112 - Alteração à peça: Ângulo de saída

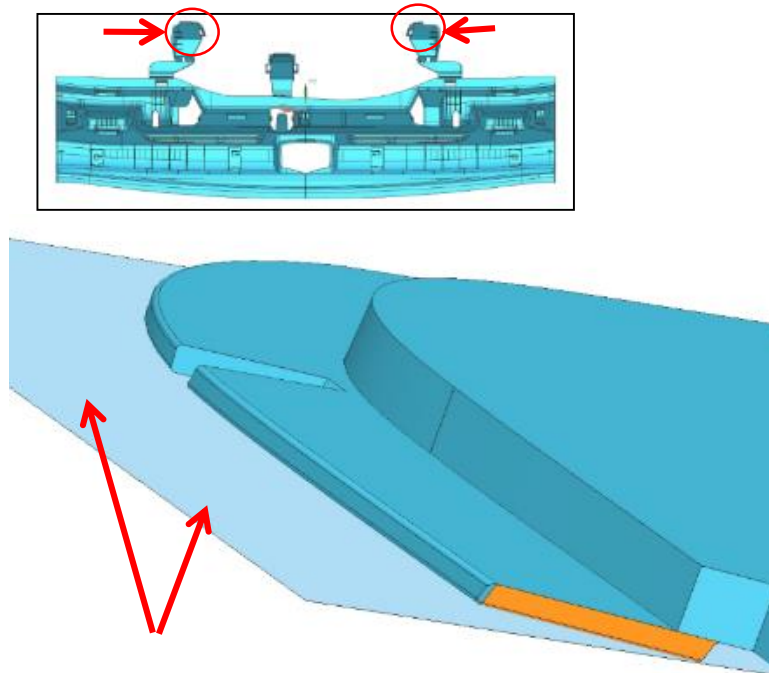


Figura 113 - Alteração à peça: Retirar o raio

O objetivo é a junta ficar na continuidade da peça.

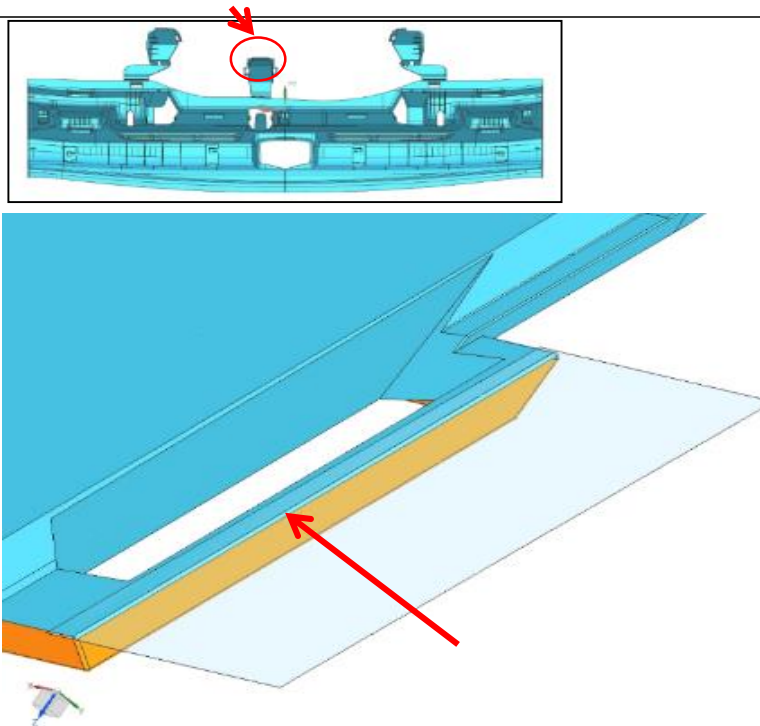


Figura 114 - Alteração à peça: Retirar o raio

O objetivo é a junta ficar na continuidade da peça.

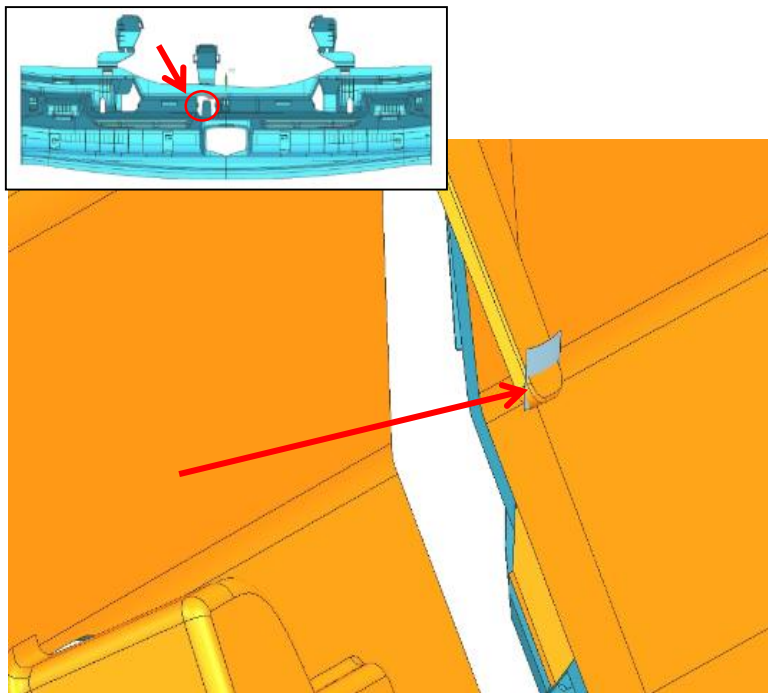


Figura 115 - Alteração à peça: Cortar patela

Evitar contra saída.

### 3.4 Elencagem dos requisitos exigidos pelo cliente

#### 3.4.1 Máquina de injeção

O molde deverá ser concebido para que funcione na máquina de injeção do cliente. Assim, o cliente deverá facultar todas as características relevantes da máquina, de modo a que o molde seja concebido da melhor forma. As características da máquina de injeção estão sumariadas na tabela 11.

Tabela 11 - Características relevantes da máquina de injetar a usar

Característica	Valor
Força de fecho [ton]	1700
Diâmetro do tirante [mm]	265
Dimensões dos pratos H x V [mm <sup>2</sup> ]	2420 x 2170
Altura do molde (min./máx.) [mm]	900/2600
Abertura [mm]	3200
Raio do injetor [mm]	22
Diâmetro do centramento [mm]	250
Ano	2015

### 3.4.2 Características do molde

É da responsabilidade do cliente a escolha de alguns dos pontos ligados ao molde, como os materiais dos principais componentes, o sistema de injeção, ligações elétricas, sistema de segurança, refrigeração, etc. Estas especificações vêm no caderno de encargos do molde (CEM) que o cliente faculta ao seu fornecedor. De seguida apresentam-se algumas das especificações solicitadas pelo cliente (tabela 12 e 13).

#### Gerais

Tabela 12 - Especificações gerais (CEM)

Especificação	
Ciclos por hora	70
Número de cavidades	1 + 1
Extração de peça	Automática com robot
Produção anual	120.000
Produção total	720.000
Máquina injeção	1700 ton
Sistema de fecho	Aparafusado à máquina de injeção / Pratos magnéticos
Material a injetar	Hostacom ERC 2020N

#### Materiais

Tabela 13 - Materiais dos principais componentes do molde (CEM)

Componente do molde	Material
Estrutura	W. Nr. 1.1730
Cavidades	W. Nr. 1.2738
Machos	W. Nr. 1.2738
Movimentos	W. Nr. 1.2738 (Nitrurado)

#### Injeção

- Sistema de injeção com 8 pontos nas peças (5 *Rear End Panel* + 3 *Trim Lower Tailgate*) + *Transfer*
  - *Rear End Panel*: 4 bicos injeção direta + 1 submarino;
  - *Trim Lower Tailgate*: 3 bicos injeção submarino;
- Localização dos pontos;
- Sistema de alimentação com canais quentes.

## Extração

- Automática com robot;
- Existência de sensores de fim de curso para controlo da posição;
- Casquilhos em bronze – grafite;
- Os extratores deverão estar embutidos em ambas as extremidades para evitar a flexão dos mesmos (figura 116);



Figura 116 - Extrator embutido em ambas as extremidades (CEM)

- A espessura mínima da placa de extração deverá ser aquela que impeça a sua flexão aquando da extração;
- Extratores cilíndricos devem ter o maior diâmetro possível (preferencialmente  $\varnothing 32$  mm);
- Existência de pinos de retorno que garantam que o molde feche apenas quando a extração esteja toda recuada;
- Devem ser colocados 4 pinos de retorno nos cantos da placa de extração e 2 pinos adicionais no centro devido à dimensão do molde (figura 117).

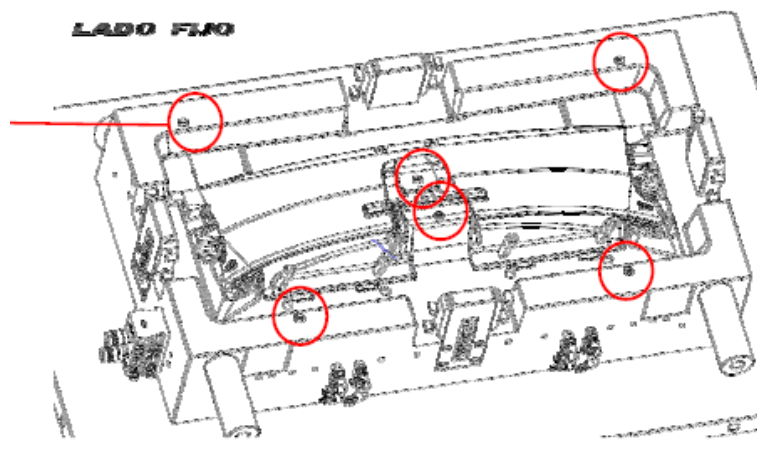


Figura 117 – Colocação dos pinos de retorno (CEM)

## Mecanismos

- Deve de ser dada prioridade a movimentos mecânicos em vez de hidráulicos;
- Movimentos à extração com mais de 10° de inclinação devem ter um segundo veio de reforço (mas nunca ultrapassar os 20°). Estes devem de ser guiados por dois casquilhos, ser temperados e com diâmetro maior que 20 mm;
- Levantadores com mais de 100 mm de comprimento devem ter guiamento duplo (figura 118);
- O guiamento deve ser feito com guias cilíndricas e não prismáticas ou retangulares.



Figura 118 - Levantador com guiamento duplo (CEM)

## Sensor de posição

Todos os elementos móveis individuais no sistema de extração devem possuir um sistema detetor de posição, para assegurar que o elemento volta à posição inicial.

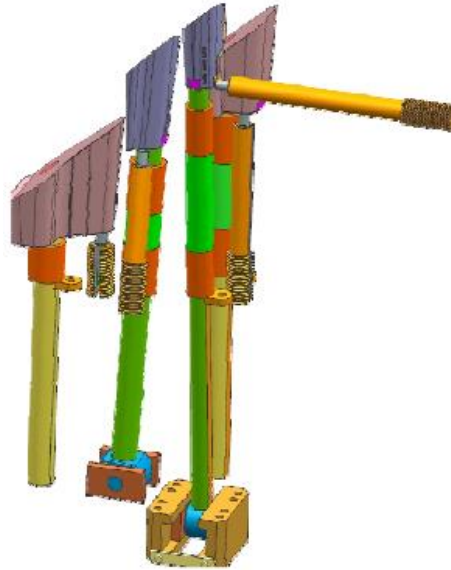


Figura 119 - Sensor de posição (CEM)

### Montagem

- Preferivelmente a montagem deve ser feita com furações nas placas do molde;
- Devem ser evitados circuitos externos com tubos ou conetores fora do molde.

### Ligações elétricas

Os *microswitches* a ser usados deverão ser EUCHNER NB01R-556 - 011904 H7 ou TELEMCHANIQUE XCM D21.

### Refrigeração

Os materiais de construção e a forma dos circuitos de refrigeração devem ser tais que garantam:

- Temperatura da cavidade e do macho uniforme, incluindo todos os movimentos;
- Não deverão existir variações de temperatura de mais de 10°C entre elementos do molde;
- A temperatura mínima da água que circula nos circuitos deverá ser de 12°C;
- A temperatura deverá ser medida por termómetros de contacto, num mínimo de 8 pontos na cavidade e 8 pontos no macho;
- O diâmetro mínimo dos circuitos deverá ser 10 mm.

### 3.5 Anteprojeto do molde: possíveis soluções

#### 3.5.1 Contração da peça

O material a ser injetado é o Hostacom ERC 2020N C12616, um polipropileno com 16% de talco e com uma contração de 1,16%. Para que a peça final termine com as dimensões requeridas pelo cliente, aplica-se uma majoração de 1,0116 ao modelo 3D.

#### 3.5.2 Separação das peças em macho e cavidade

A separação da peça em macho e cavidade, dita quais as zonas da peça que serão gravadas na cavidade e quais as zonas da peça que serão gravadas no macho. Assim, existe um plano de divisão da peça, o chamado plano de partição. O plano de partição é uma propagação da linha que separa o macho da cavidade, ou linha de junta.

Na escolha da linha de junta é necessário verificar a extração da peça, visto que não devem existir ângulos desfavoráveis à desmoldagem da peça. Normalmente, o macho fica na parte móvel do molde enquanto a cavidade fica na parte fixa. Todo o processo descrito anteriormente, desde a definição da linha de junta ao plano de partição até à verificação da existência de contra saídas na peça, é possível de simular com *softwares* de modelação. De seguida, são apresentadas as peças a obter com separação de cores entre peça a gravar no macho e peça a gravar na cavidade (figuras 120 e 121). São ainda apresentadas as linhas de junta de ambas as peças (figuras 122 e 123).

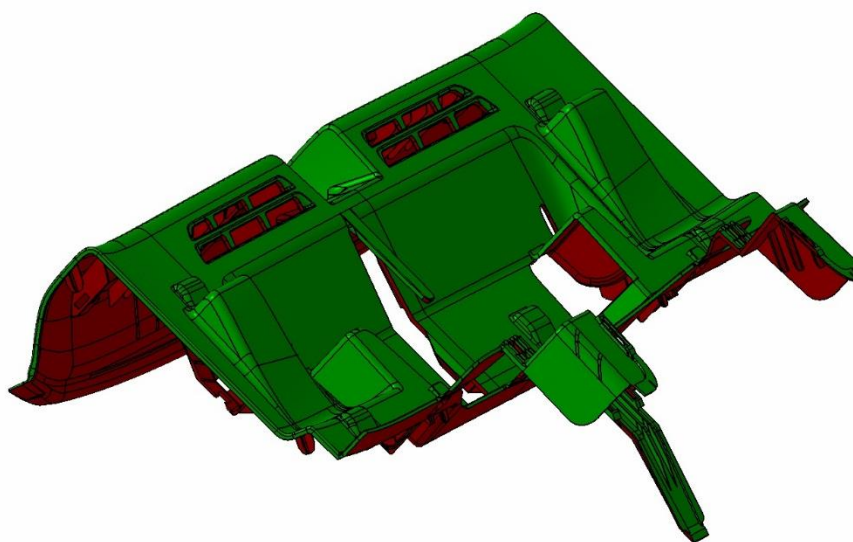


Figura 120 - Separação da peça *Rear End Panel* em macho (vermelho) e cavidade (verde)

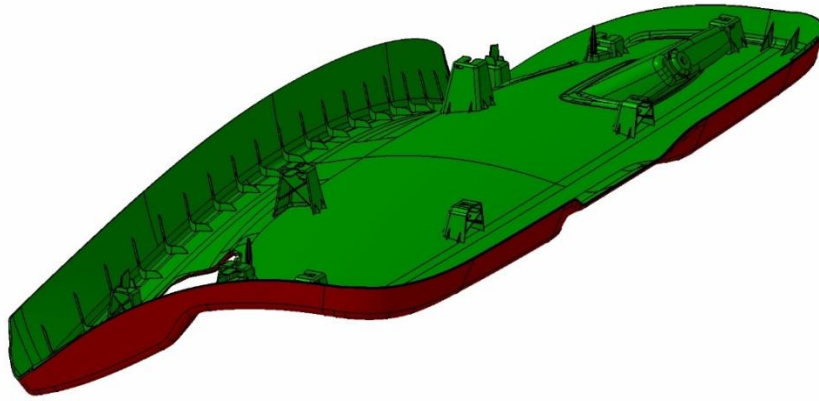


Figura 121 - Separação da peça *Trim Lower Tailgate* em macho (verde) e cavidade (vermelho)

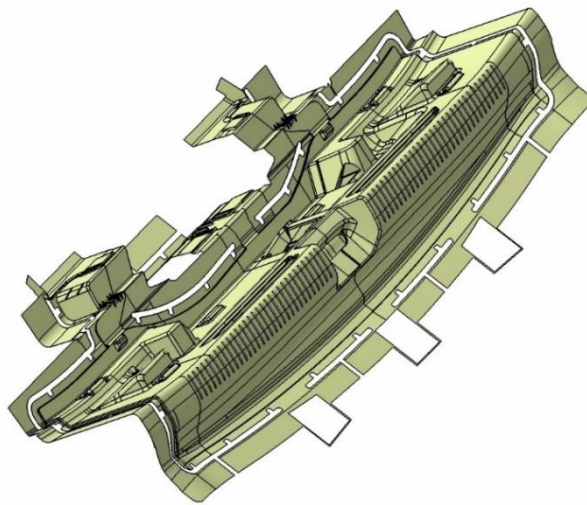


Figura 122 – Junta (Pele) do *Rear End Panel*

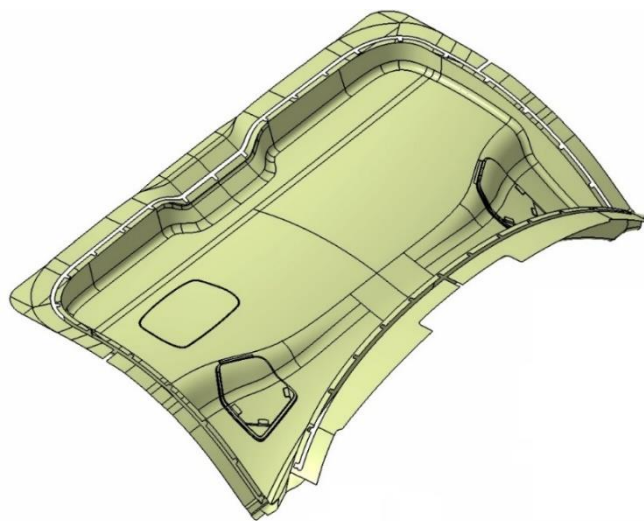


Figura 123 – Junta (Pele) do *Trim Lower Tailgate*

### 3.5.3 Geometria do molde e disposição da peça

A figura 124 mostra a divisão do molde em *frames* e a divisão desses mesmos *frames* em macho e cavidade.

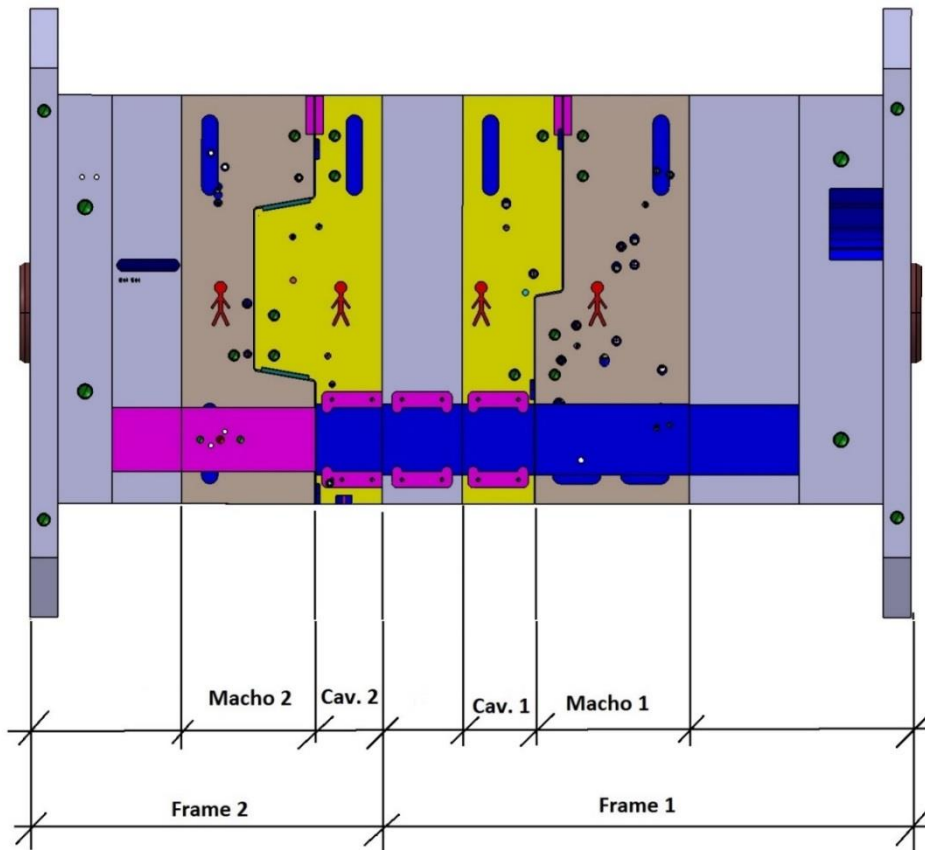


Figura 124 - Divisão do molde em *frames* e macho e cavidade

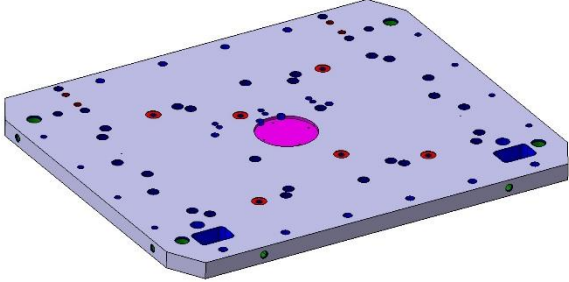
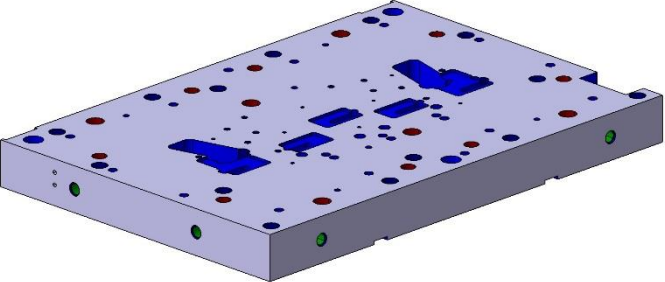
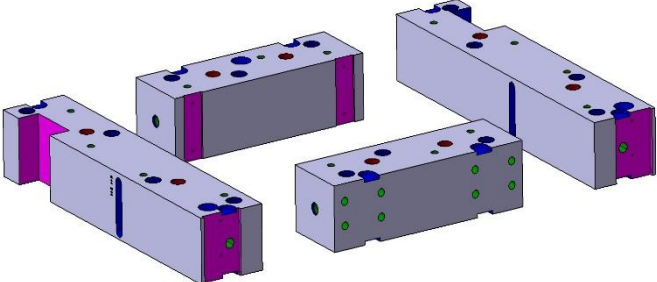
Para mais fácil compreensão da modelação, as diferentes zonas do molde são pintadas de diferentes cores. De seguida, apresenta-se a tabela resumo (tabela 14).

Tabela 14 - Paleta de cores do projeto

Nº	Cor	Aplicação
1	Azul	Superfícies de gravação no macho
2	Verde	Superfícies de gravação na cavidade
3	Castanho claro	Superfícies de linha de junta do macho
4	Amarelo	Superfícies de linha de junta da cavidade
5	Rosa	Superfícies de ajuste
6	Azul claro	Superfícies sem contacto (folga)

O número de placas do molde depende da extração. Como o molde é um pouco complexo, aquando da abertura, vai apresentar zonas distintas: nas extremidades ficam os machos e as cavidades ficam juntas, ao centro. O molde será constituído por onze placas distintas, onde estarão alojados todos os componentes do molde. Na tabela seguinte são apresentadas essas placas (tabela 15, figuras 125 a 135), bem como as suas funções.

Tabela 15 - Componentes do molde

Componente	Função
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fixação da parte móvel do molde;</li> <li>• Alojamento da anilha de centragem da parte móvel;</li> <li>• Alojamento das cabeças dos parafusos de estrutura do <i>frame 2</i>.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alojamento do sistema de extração do Macho 2;</li> <li>• Alojamento dos pilares de suporte do <i>frame 2</i>.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Criar o devido espaço para o curso de extração do Macho 2;</li> <li>• Reforço da estrutura do <i>frame 2</i>.</li> </ul>

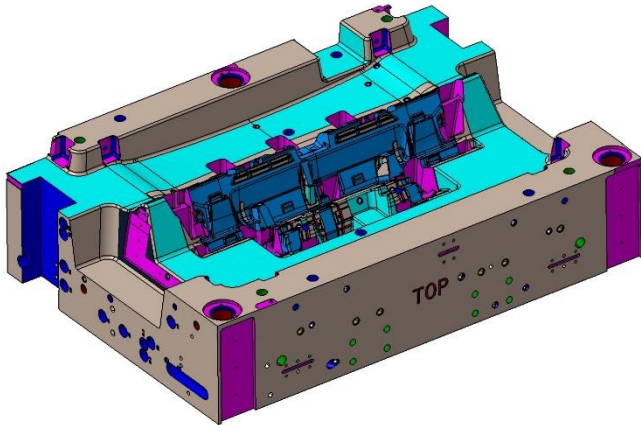


Figura 128 - Macho 2 (0201)

- Alojamento do sistema de refrigeração;
- Alojamento do sistema hidráulico do *frame 2*;
- Alojamento de postigos;
- Alojamento do sistema de extração da peça;
- Gravação da parte do macho na peça.

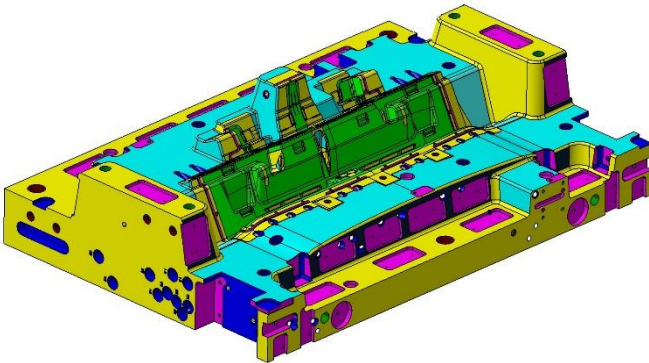


Figura 129 - Cavidade 2 (0101)

- Alojamento do sistema de refrigeração;
- Gravação da parte da cavidade na peça.

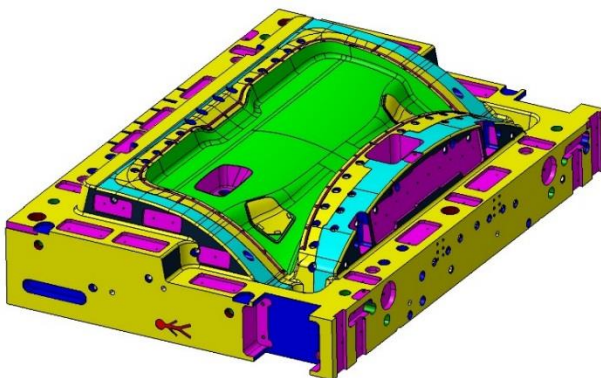
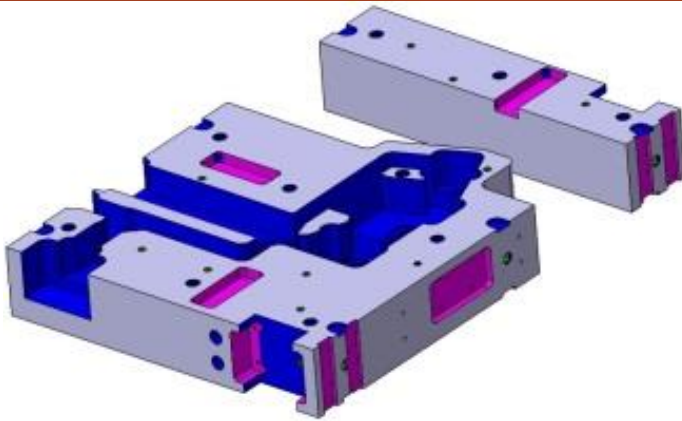


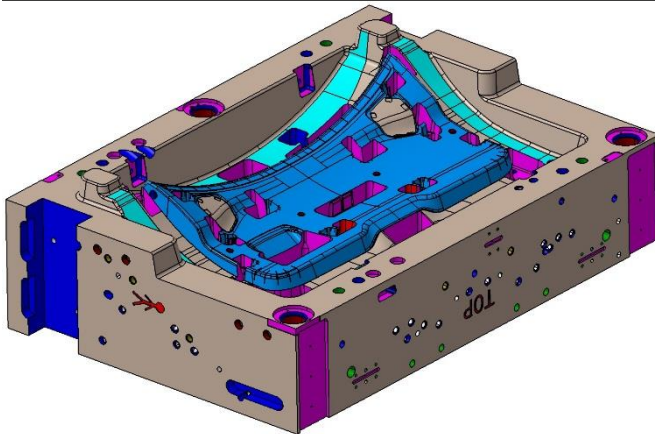
Figura 130 - Cavidade 1 (0100)

- Alojamento do sistema de injeção secundário;
- Alojamento do sistema de extração da Cavidade 1.



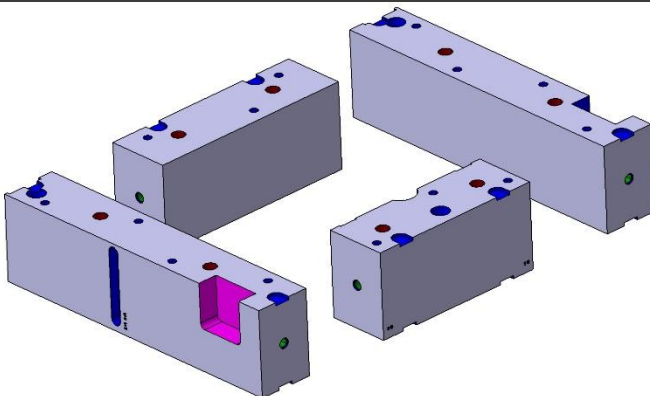
- Alojamento do sistema de refrigeração;
- Alojamento do movimento à extração;
- Gravação da parte da cavidade na peça.

Figura 131 - Placa intermédia (0009 e 0018)



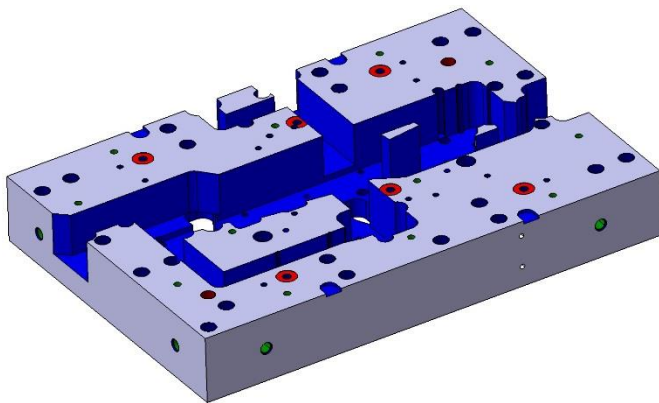
- Alojamento do sistema de refrigeração;
- Alojamento do sistema hidráulico do *frame 1*;
- Alojamento de postigos;
- Alojamento do sistema de extração da peça;
- Gravação da parte do macho na peça.

Figura 132 - Macho 1 (0200)

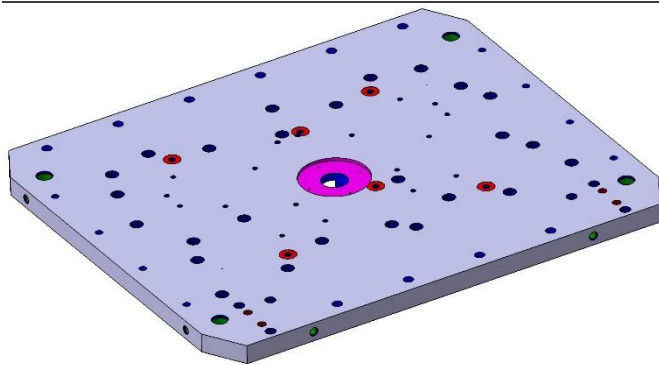


- Criar o devido espaço para o curso de extração do *frame 1*;
- Reforço da estrutura do *frame 1*.

Figura 133 - Calços *Frame 1* (0005 a 0008)

Figura 134 - Placa intermédia *Frame 1* (0004)

- Alojamento do sistema de injeção principal;
- Alojamento do sistema de extração do *frame 1*;
- Alojamento dos pilares de suporte do *frame 1*.

Figura 135 - Placa de encosto *Frame 1* (0001)

- Fixação da parte fixa do molde;
- Alojamento da anilha de centragem da parte fixa;
- Alojamento das cabeças dos parafusos de estrutura do *frame 1*.

### 3.5.4 Postiços

Aplicam-se em situações de dificuldades de maquinagem, como sendo a existência de nervuras na peça, evitando-se assim uma maquinação complexa, seja por CNC ou por eletro-erosão. É também frequente utilizar postiços por uma questão de melhoria de refrigeração ou em situações em que a extração dos gases é insuficiente.

Seguidamente são descritos alguns dos postiços mais importantes utilizados no molde. Nas figuras 136 e 137 são mostrados o postiço da cavidade e a sua inserção no molde.

## Postiço da Cavidade 1

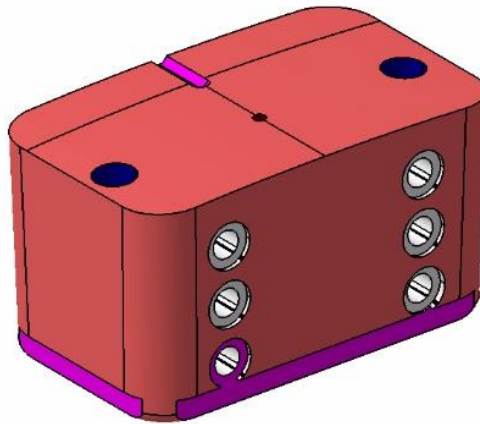


Figura 136 - Postiço da Cavidade 1

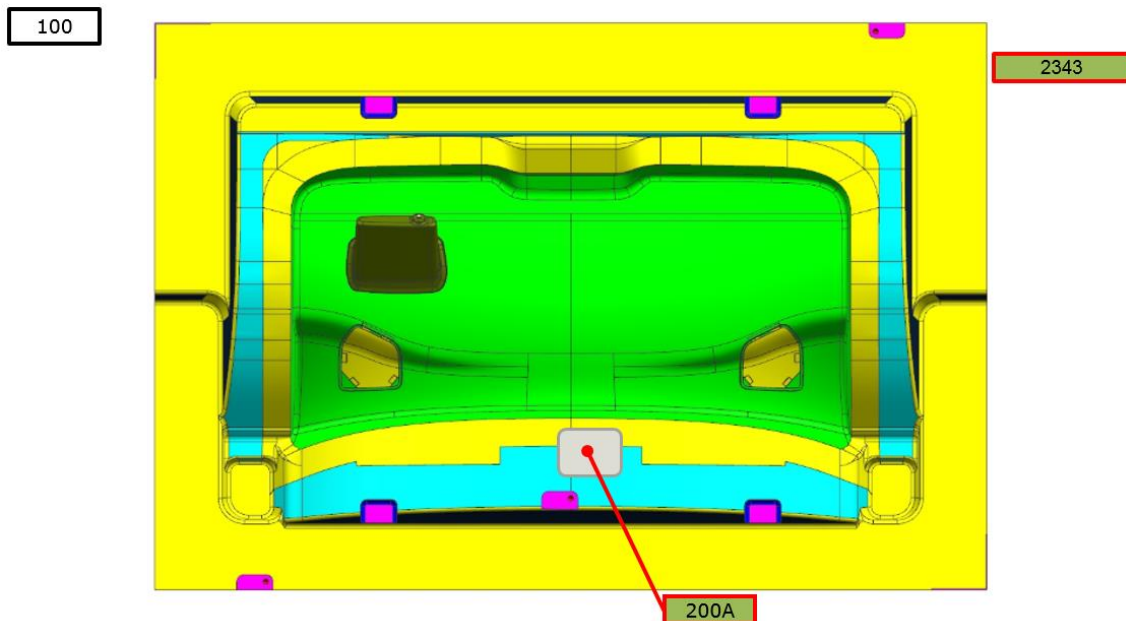


Figura 137 - Postiço da cavidade 1 na peça

O postiço 200A (figura 138), por estar constantemente a ser solicitado ao choque, decidiu-se fazê-lo em aço 1.2343 e posteriormente temperado, garantindo-lhe maior tenacidade.

## Postiços Macho 1

Os postiços do macho 1 (figura 138) foram aplicados devido à linha de junta ser bastante complicada naquela zona, prevendo-se um desgaste acentuado. Assim,

quando se começar a verificar o desgaste, basta trocar os postigos. O postigo central serve de entreposto para o sistema de injeção, fazendo a ligação entre os *frames*. Na figura 139 é possível observar a localização dos postigos do macho 1 no molde.

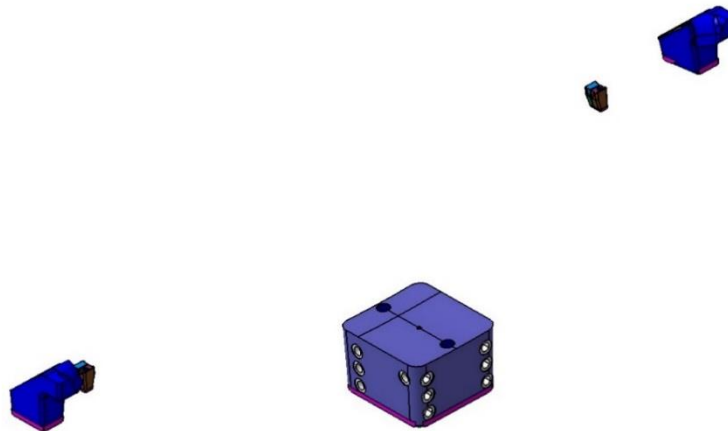


Figura 138 - Postigos do macho 1

Na figura 139, é possível localizar os postigos do macho 1 no molde.

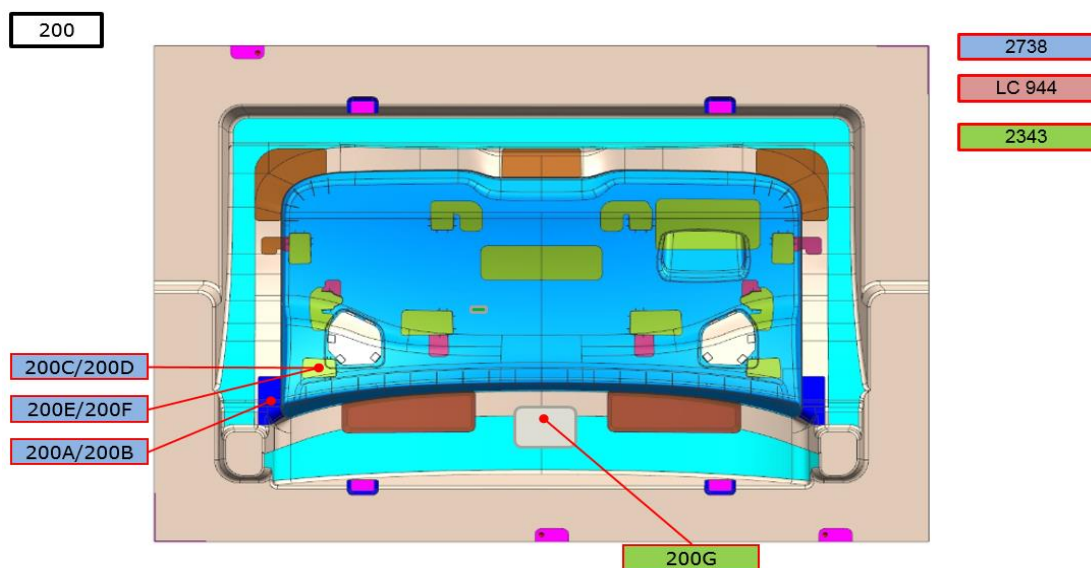


Figura 139 - Postigos do macho 1 na peça

Os postigos 200A a 200F, por possuírem maiores dimensões, podem ter circuitos internos de refrigeração e por isso são feitos em aço 1.2738. Devido ao postigo 200G estar constantemente a ser solicitado ao choque contra o postigo 200A da cavidade 1, decidiu-se fazê-lo em 1.2343 e posteriormente tempera-lo, garantindo-lhe maior tenacidade.

## Postiços Macho 2

Os postiços do macho 2 (figura 140) foram aplicados devido ao elevado número de frisos da peça, facilitando assim a maquinagem e diminuindo-se o tempo de eletroerosão, facilitando igualmente o polimento. Os três postiços a lilás contêm o alojamento dos bicos de injeção, visto serem entradas submarinas. Na figura 141 é possível localizar os postiços do macho 2 no molde.

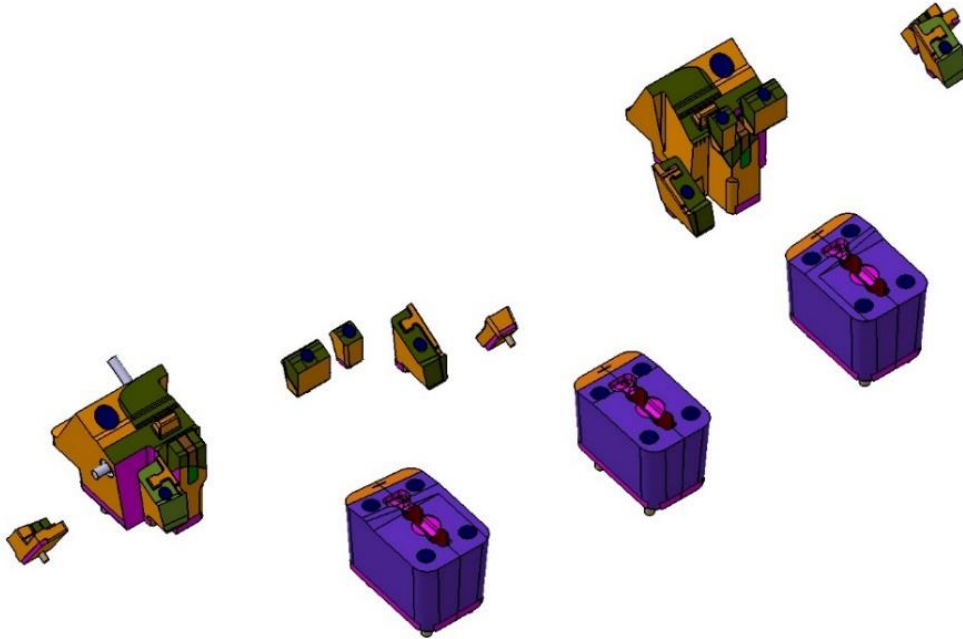


Figura 140 - Postiços do macho 2

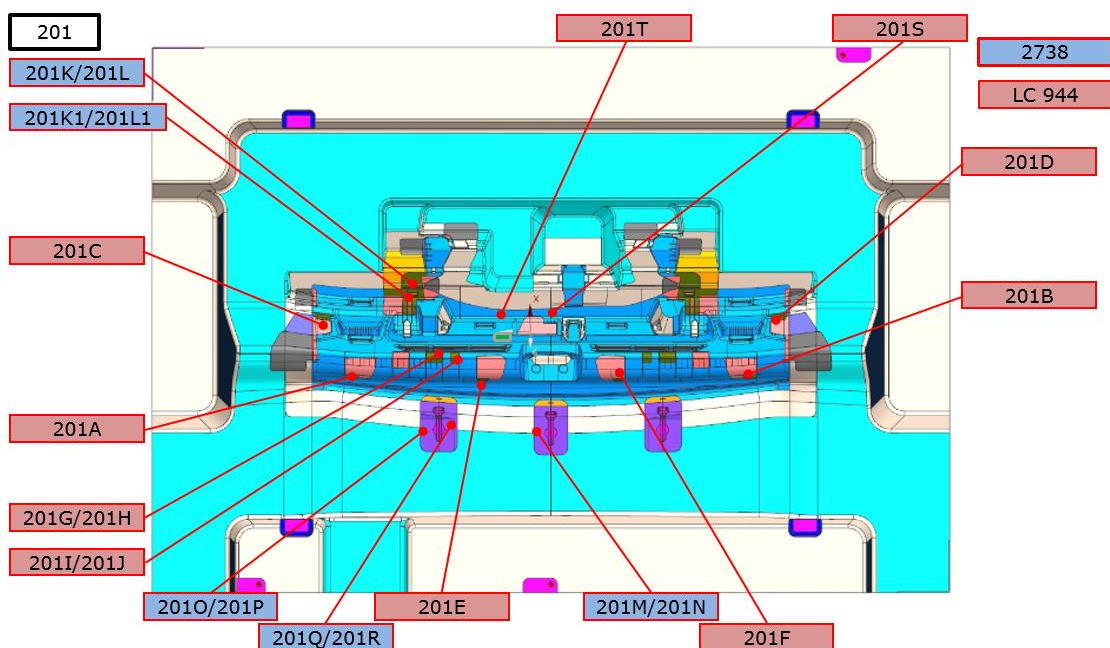


Figura 141 - Postiços do macho 2 no molde

Os postigos assinalados a azul, por possuírem maiores dimensões, podem ter circuitos internos de refrigeração e por isso são feitos em aço 1.2738. Os postigos assinalados a vermelho, por possuírem dimensões mais reduzidas e não ser possível fazer circuitos de refrigeração no seu interior, foram concebidos em LC 944, material com melhor dissipação de calor.

### 3.5.5 Sistema de extração da peça

Para uma correta extração da peça, é necessário projetar um sistema de extração o mais simples possível e que permita desmoldar a peça sem lhe causar nenhum dano. Assim, foram utilizados diferentes componentes para atingir esse fim. Esses componentes serão descritos de seguida.

#### Sistema de extração total do *Frame 1*

Nas figuras 142 e 143 poderão ser observados os sistemas de extração da cavidade e do Macho 1, respetivamente.

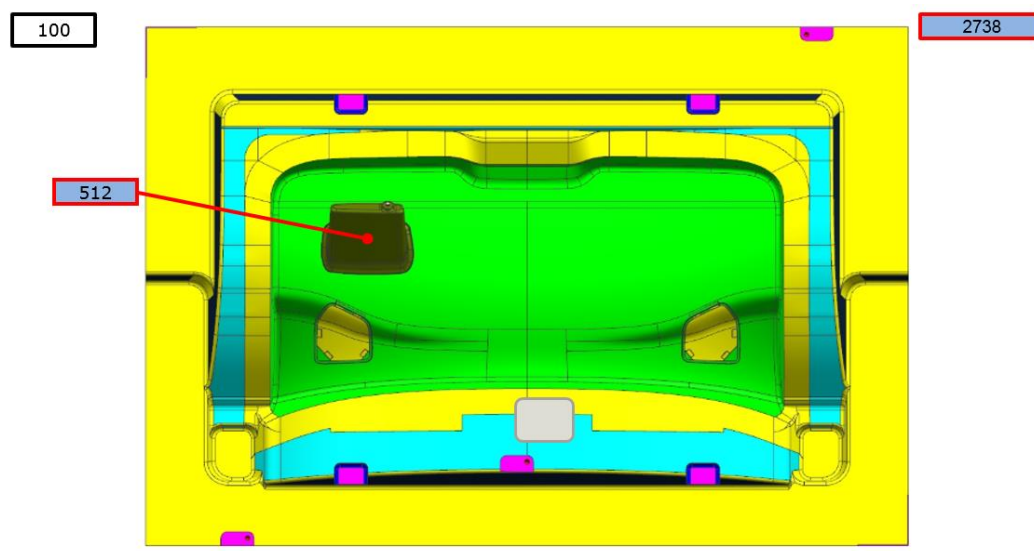


Figura 142 - Sistema de extração da Cavidade 1

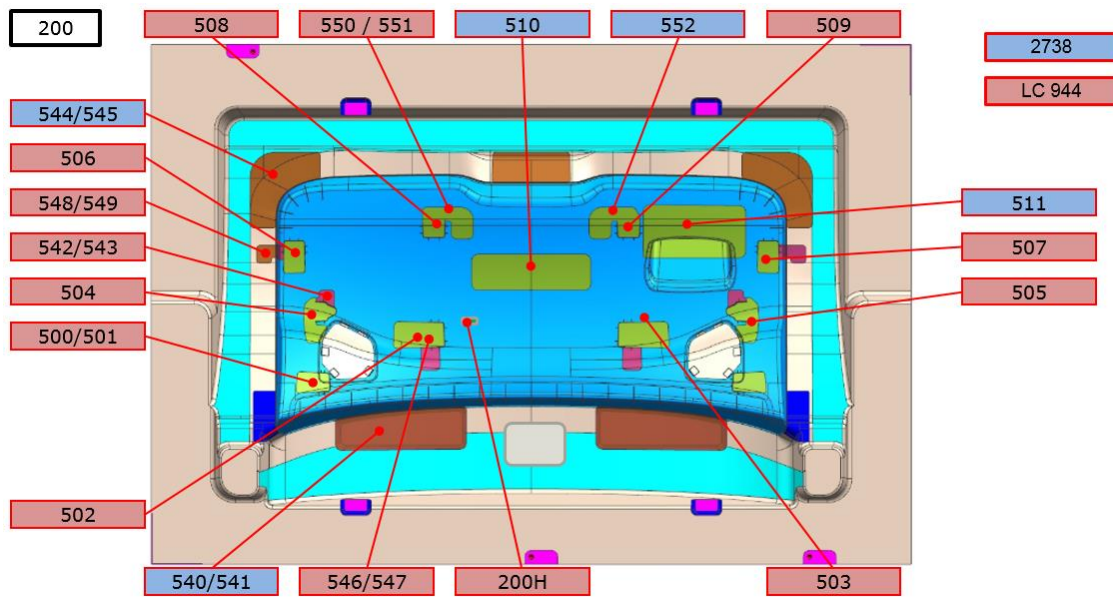


Figura 143 - Sistema de extração do Macho 1

Na figura 144 representa-se esquematicamente o diagrama de ciclo da peça Trim Lower Tailgate.

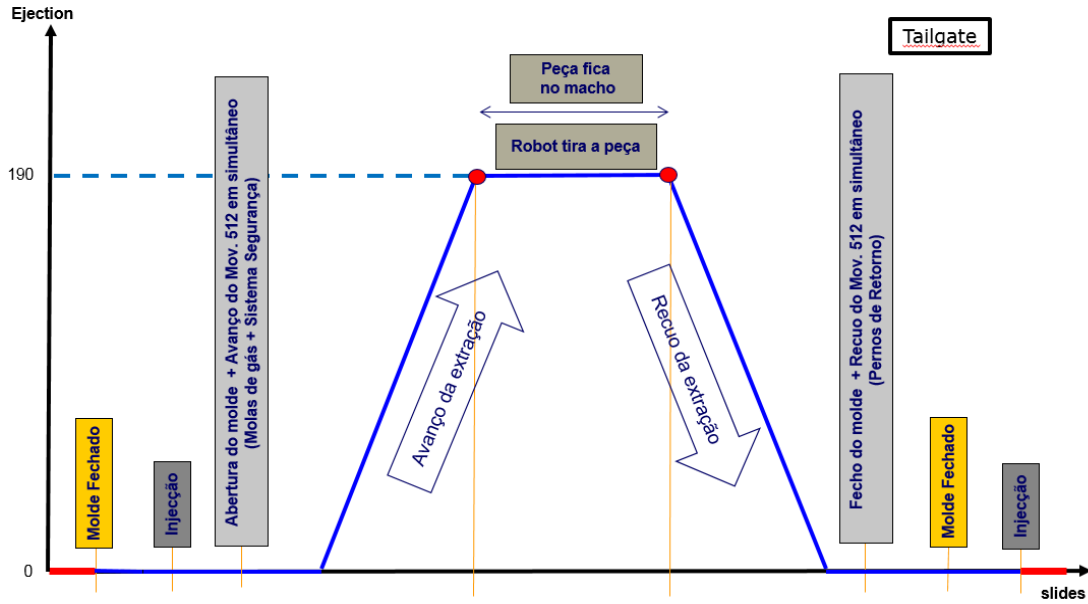


Figura 144 - Diagrama representativo do ciclo da peça Trim Lower Tailgate

### Sistema de extração total do Macho 2

Nas figuras seguintes podem ser vistos os sistemas de extração do Macho 2, assim como o diagrama representativo do ciclo da peça *Rear End Panel* (figuras 145 e 146, respetivamente). Na figura 147 é possível observar o molde aberto.

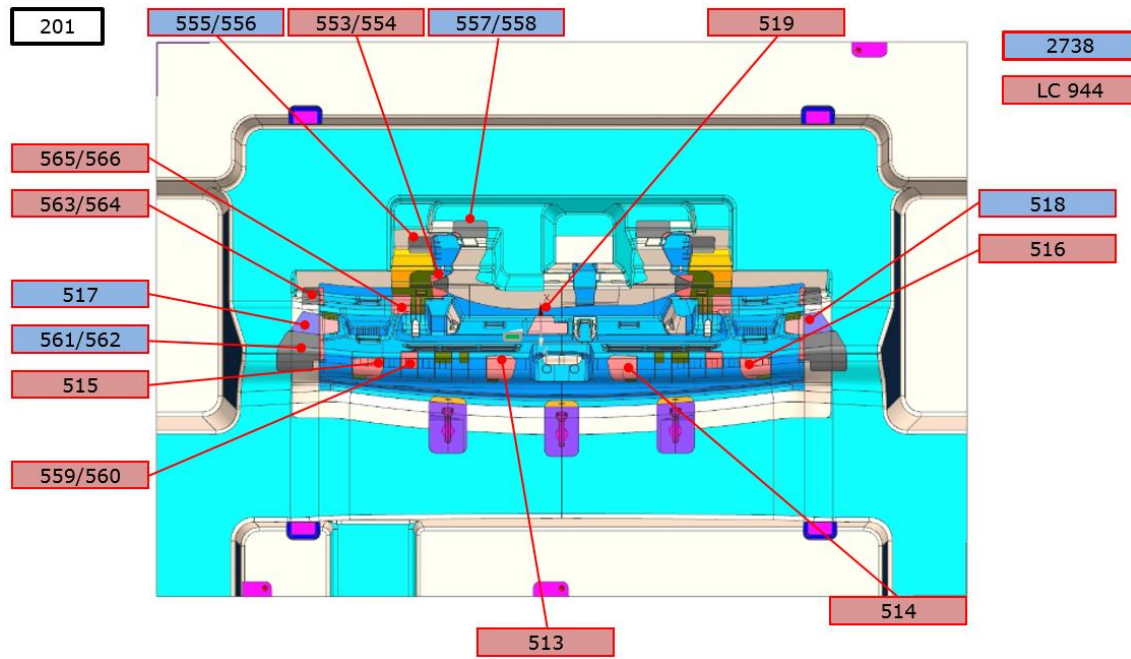


Figura 145 - Sistema de extração do Macho 2

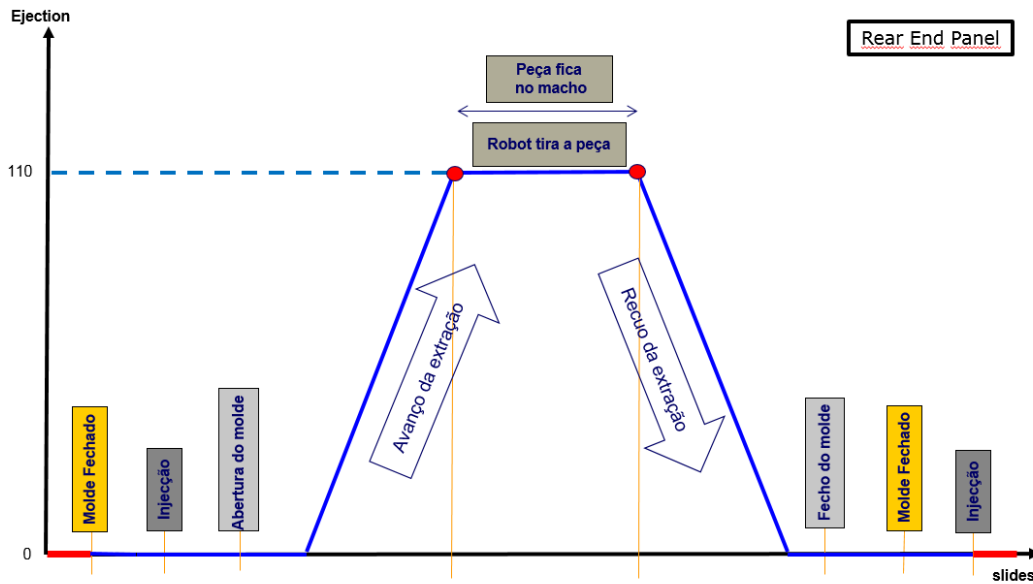


Figura 146 - Diagrama representativo do ciclo da peça *Rear End Panel*

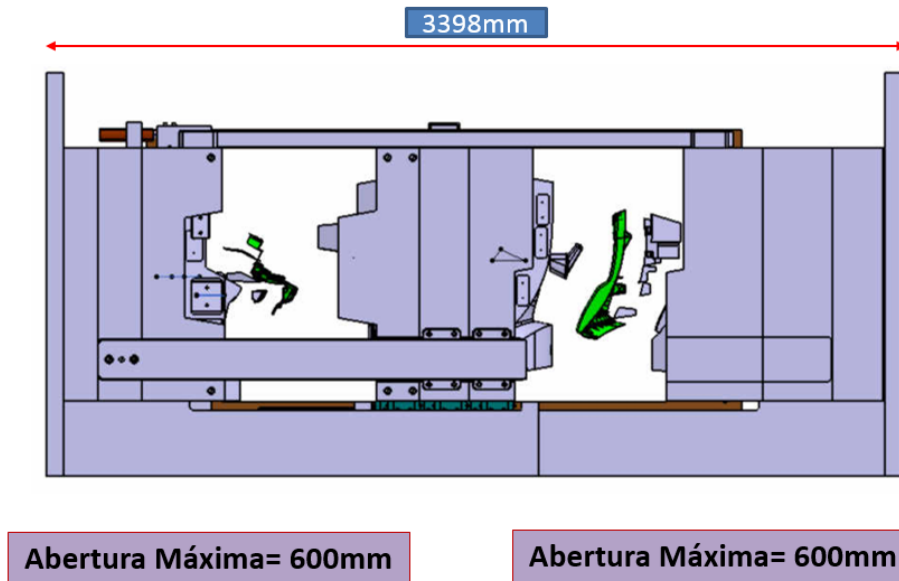


Figura 147 - Molde aberto (cada abertura tem capacidade máxima de 600 mm)

### 3.5.5.1 *Movimentos à extração*

Os movimentos à extração (figura 148) atuam quando da extração da peça. A sua inclinação serve para desmoldar contra saídas na peça. Para a modelação deste tipo de componentes, é necessário ter em conta:

- Quais as faces do movimento que servirão como vedação;
- A dimensão da contra saída, que entrará em jogo com o curso de extração e o ângulo de saída;
- A necessidade de refrigerar o movimento.

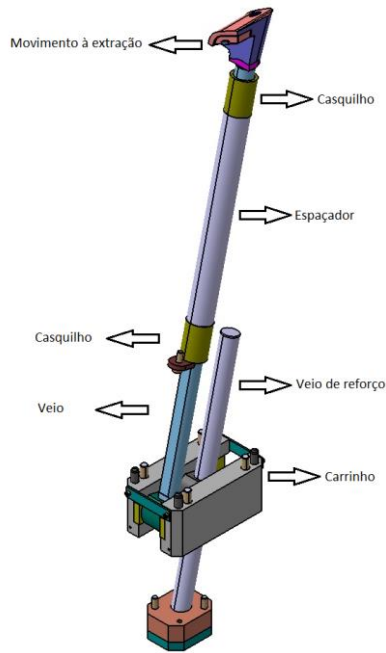


Figura 148 - Componentes de um movimento à extração

### Movimento à extração da Cavity 1

Nas figuras 149 e 150 poderão ser observados os movimentos à extração na Cavity 1, assim como o respetivo mecanismo utilizado.

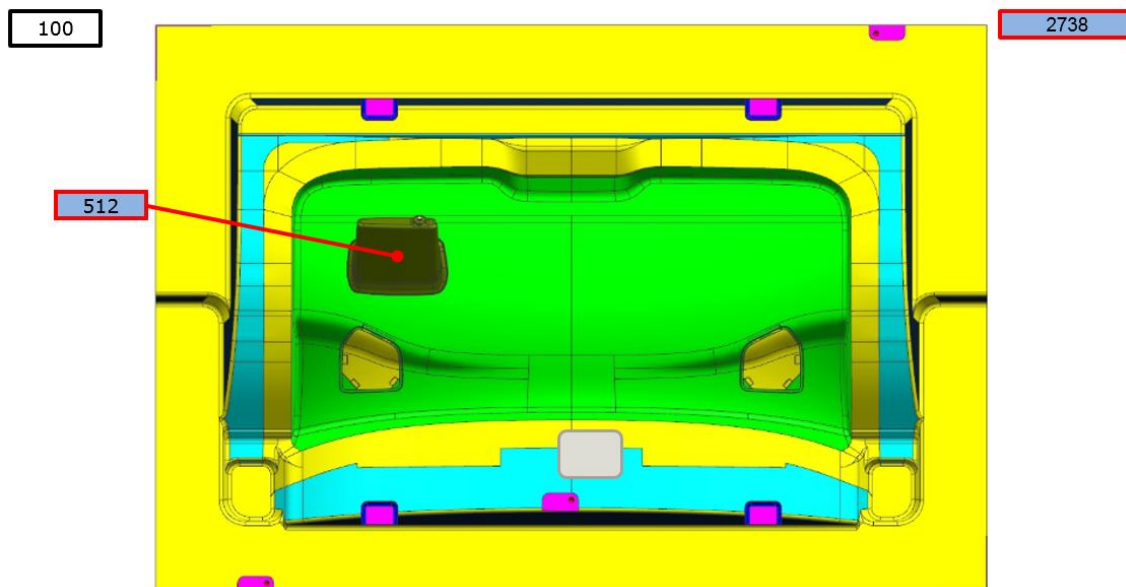


Figura 149 - Movimentos à extração da Cavity 1

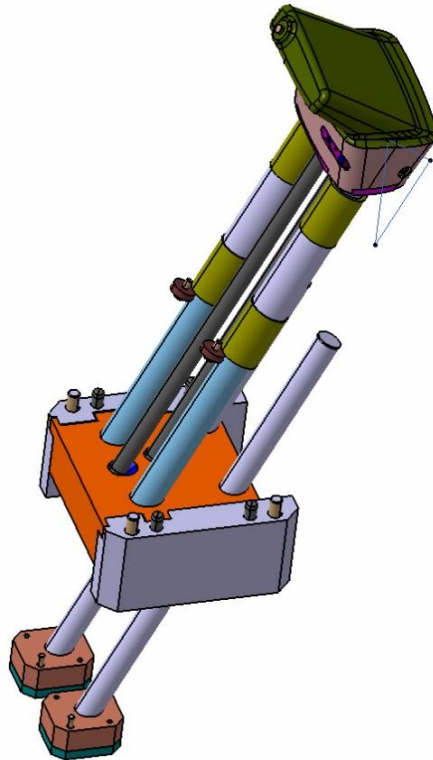


Figura 150 - Movimento à extração 512

O movimento à extração 512 vai gravar a zona da peça relativa à pega. Como se pode ver no diagrama representativo do ciclo da peça *Trim Lower Tailgate* (figura 151), o movimento 512 desmolda aquando da abertura do molde, acionado por uma mola de gás, numa fase inicial.

Como se pode ver nessa mesma figura, o movimento 512 desmolda ao longo de 130 mm, mas tem uma particularidade: enquanto o veio segue a abertura do molde com um ângulo de  $25^\circ$ , o movimento atrasa com um ângulo de  $35^\circ$ , já que os carrinhos possuem inclinação, como se pode ver na figura 152.

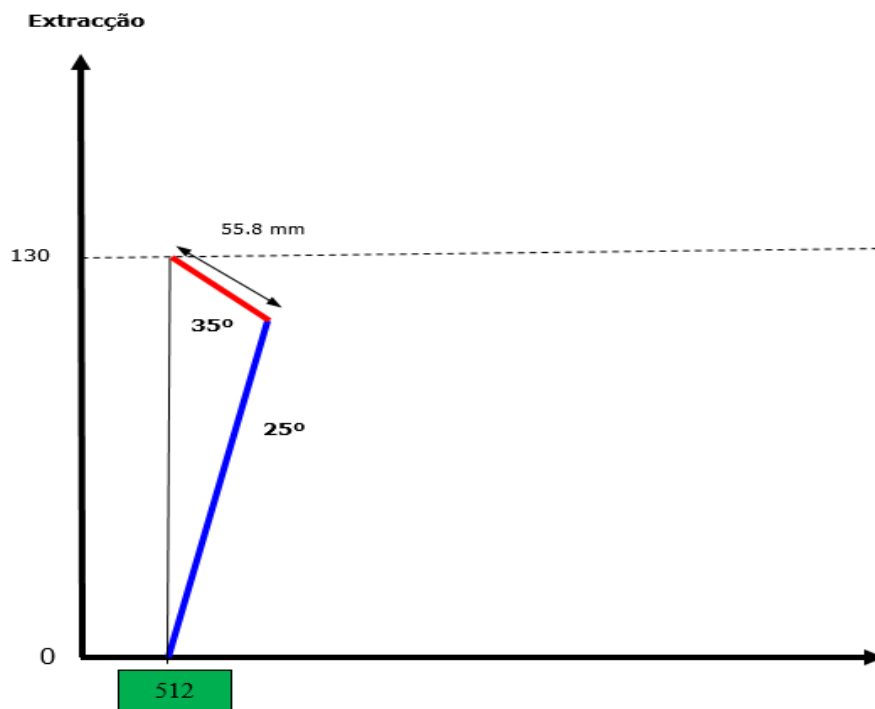
**1º Fase (Com a abertura do molde é acionado o 512 por molas de gás)**

Figura 151 - Cinemática 512

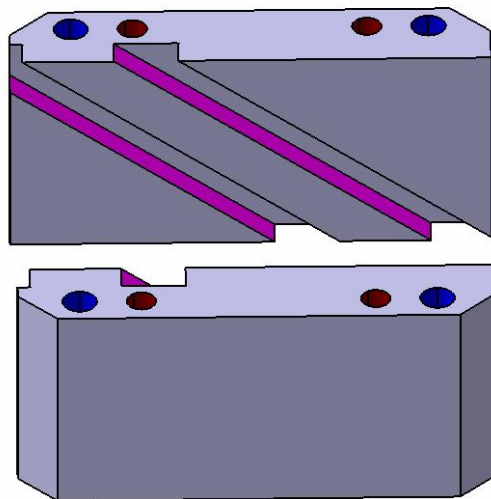


Figura 152 - Carrinho com inclinação

## Movimentos à extração do Macho 1

Os movimentos 510 e 511, por possuírem maiores dimensões, podem ter circuitos internos de refrigeração e por isso são realizados em aço 1.2738. Os movimentos 500 a 509, por possuírem dimensões mais reduzidas e não ser possível fazer circuitos de refrigeração no seu interior, foram concebidos em LC 944, material com melhor dissipação de calor (figura 153). A extração completa do Macho 1 pode ser vista na figura 154.

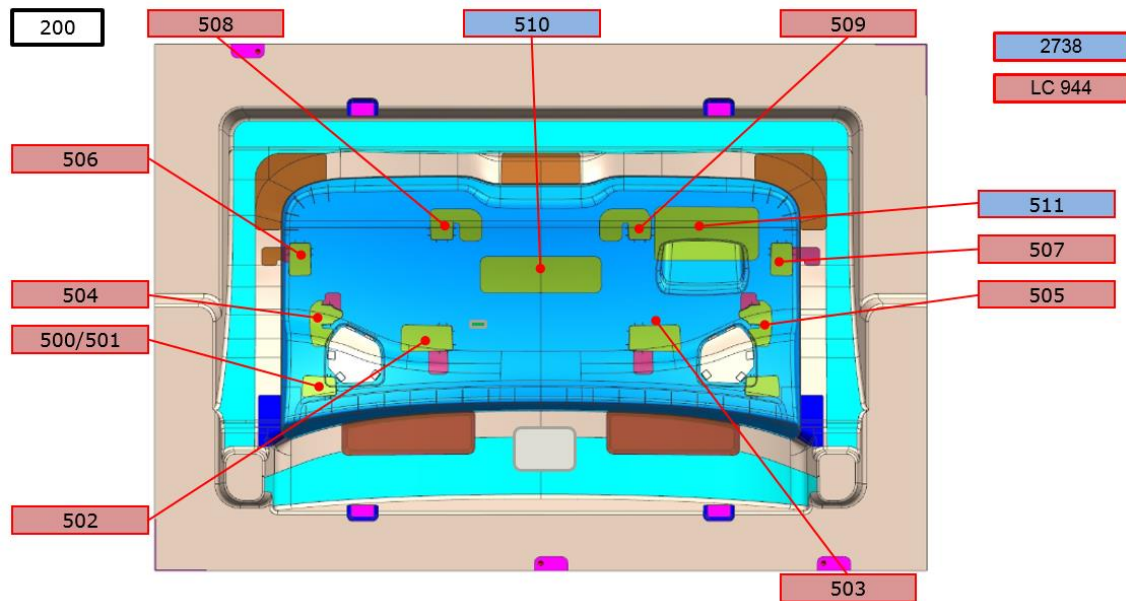


Figura 153 - Movimentos à extração do Macho 1

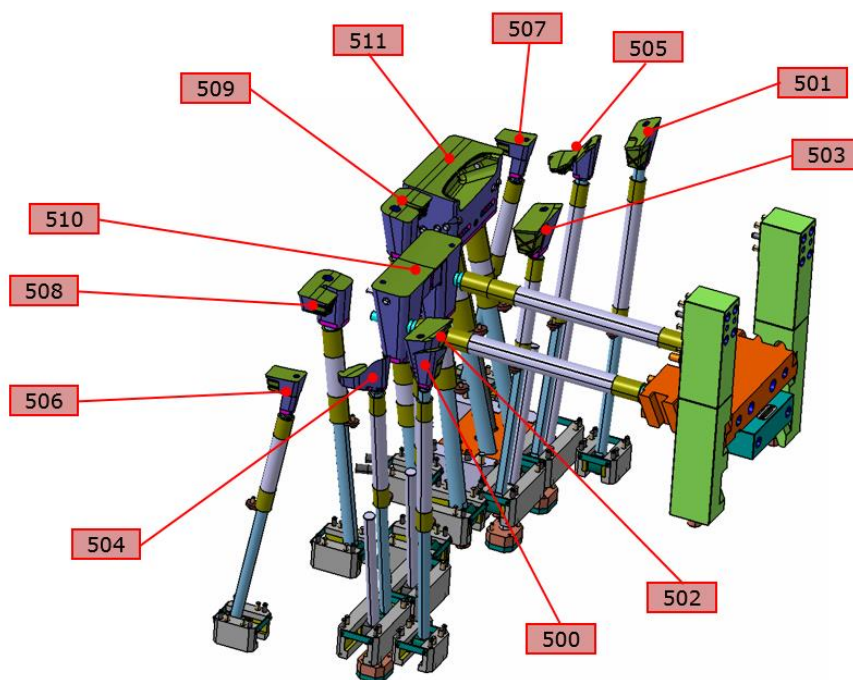


Figura 154 - Vista isométrica dos movimentos à extração do Macho 1

Quando o molde está completamente aberto, é acionada a extração e os movimentos trabalham de acordo com a figura 155.

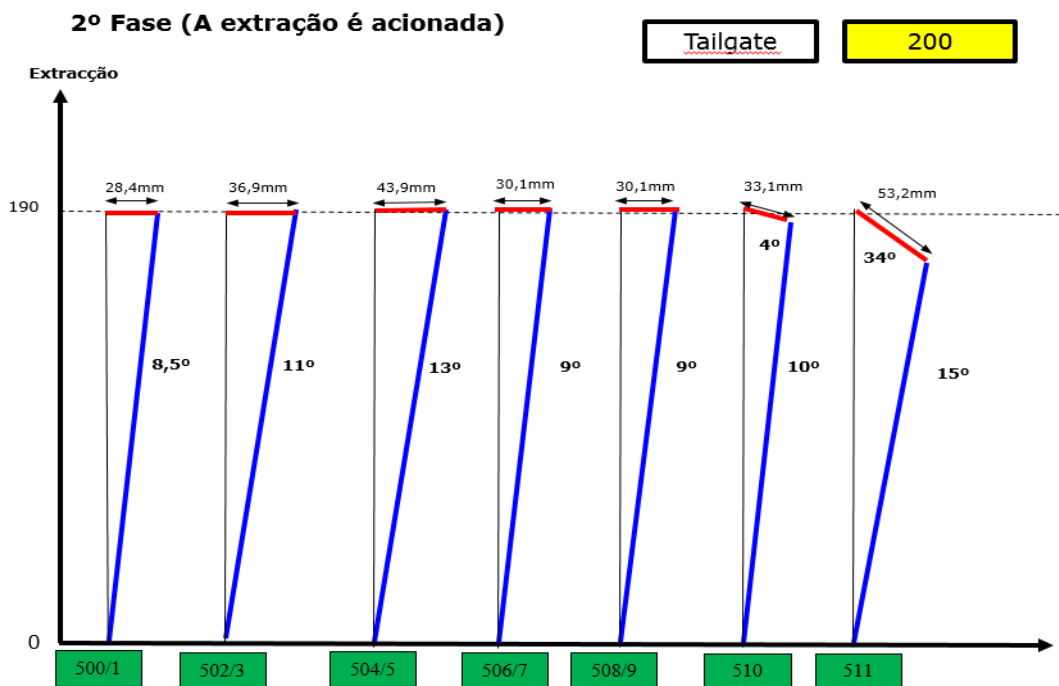


Figura 155 - Cinemática dos movimentos à extração do Macho 1

Os movimentos 500 e 501 percorrem os 190 mm da extração com um ângulo de 8,5°, para desmoldar uma contra saída de 28,4 mm (figura 156).



Figura 156 - Movimentos à extração 500 e 501

Os movimentos 502 e 503 percorrem os 190 mm da extração com um ângulo de  $11^\circ$ , para desmoldar uma contra saída de 36,9 mm (figura 157).

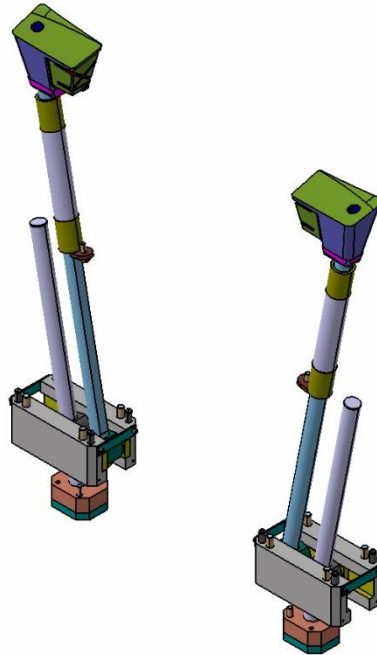


Figura 157 - Movimentos à extração 502 e 503

Os movimentos 504 e 505 percorrem os 190 mm da extração com um ângulo de  $13^\circ$ , para desmoldar uma contra saída de 43,9 mm (figura 158).

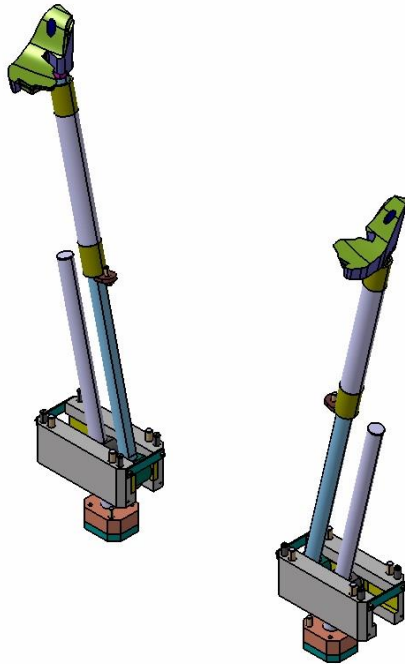


Figura 158 - Movimentos à extração 504 e 505

Os movimentos 506 e 507 percorrem os 190 mm da extração com um ângulo de  $9^\circ$ , para desmoldar uma contra saída de 30,1 mm (figura 159).

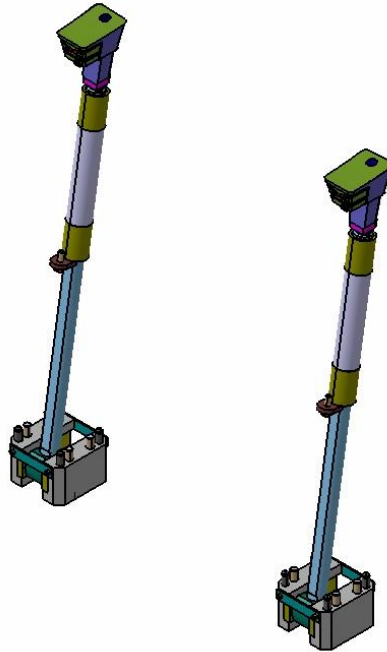


Figura 159 - Movimentos à extração 506 e 507

O movimento 510 desmolda ao longo de 190 mm, mas com uma particularidade. Enquanto o veio segue a abertura do molde com um ângulo de  $10^\circ$ , o movimento atrasa com um ângulo de  $4^\circ$ , já que os carrinhos possuem inclinação (figura 160).

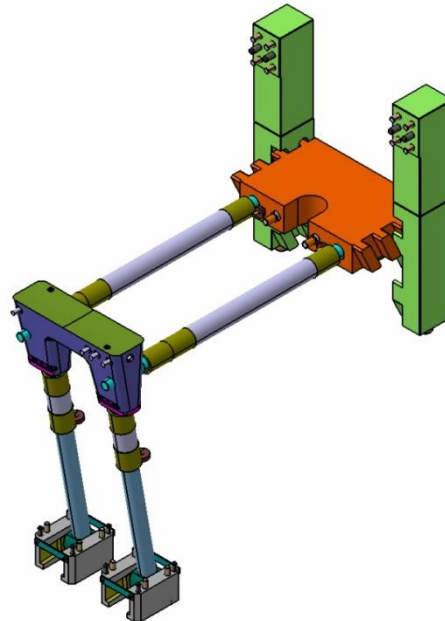


Figura 160 - Movimento à extração 510

A estrutura que suporta o movimento à extração 510 tem como objetivo impedir que o bico de injeção alojado no movimento faça com que o movimento se mexa com a pressão de injeção (figura 161).

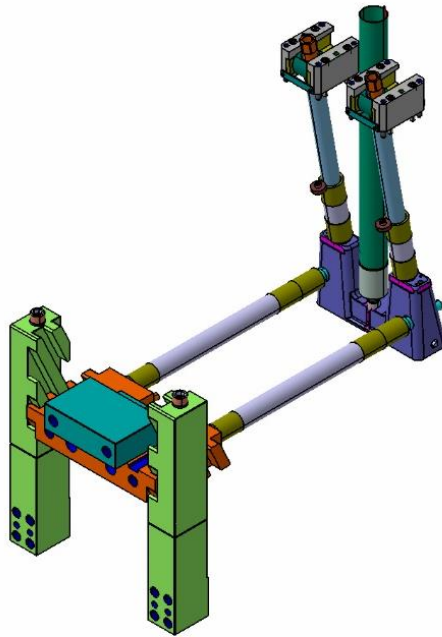


Figura 161 - Bico de injeção localizado no centro do movimento à extração

O movimento 511 desmolda ao longo de 190 mm mas com uma particularidade: enquanto o veio segue a abertura do molde com um ângulo de  $15^\circ$ , o movimento atrasa com um ângulo de  $34^\circ$ , já que os carrinhos possuem inclinação.

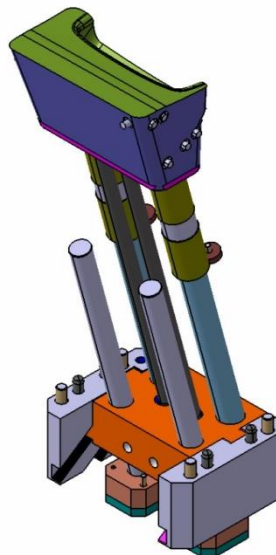


Figura 162 - Movimento à extração 511

## Movimentos à extração do Macho 2

Os movimentos 517 e 518, por possuírem maiores dimensões, podem ter circuitos internos de refrigeração e por isso são feitos em aço 1.2738. Os movimentos 513, 514, 515, 516 e 519, por possuírem dimensões mais reduzidas e não ser possível fazer circuitos de refrigeração no seu interior, foram concebidos em LC 944, material com melhor dissipação de calor (figuras 163 e 164).

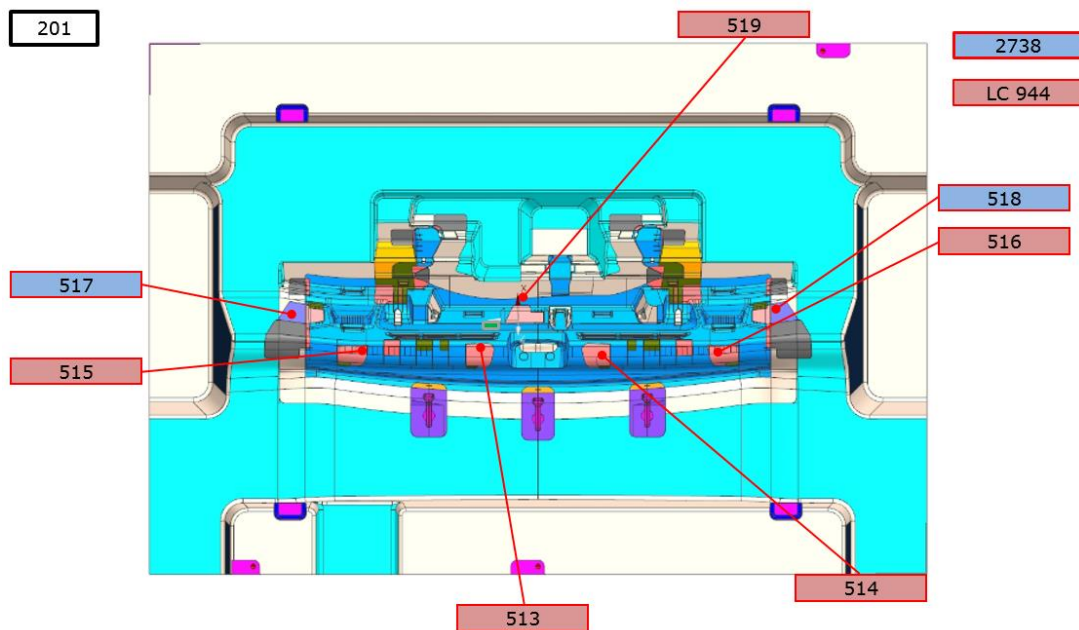


Figura 163 - Movimentos à extração do Macho 2

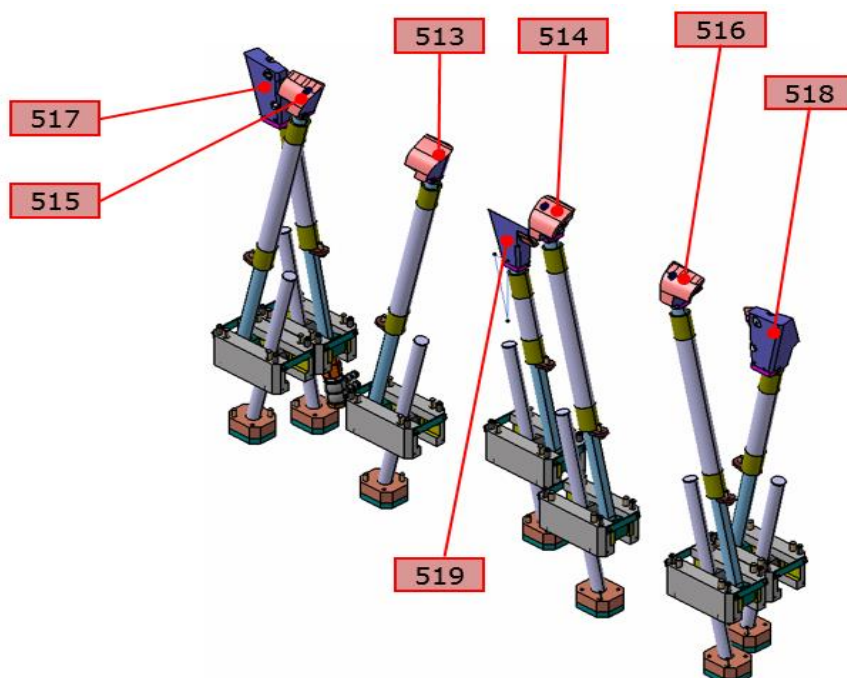


Figura 164 - Vista isométrica dos movimentos à extração do Macho 2

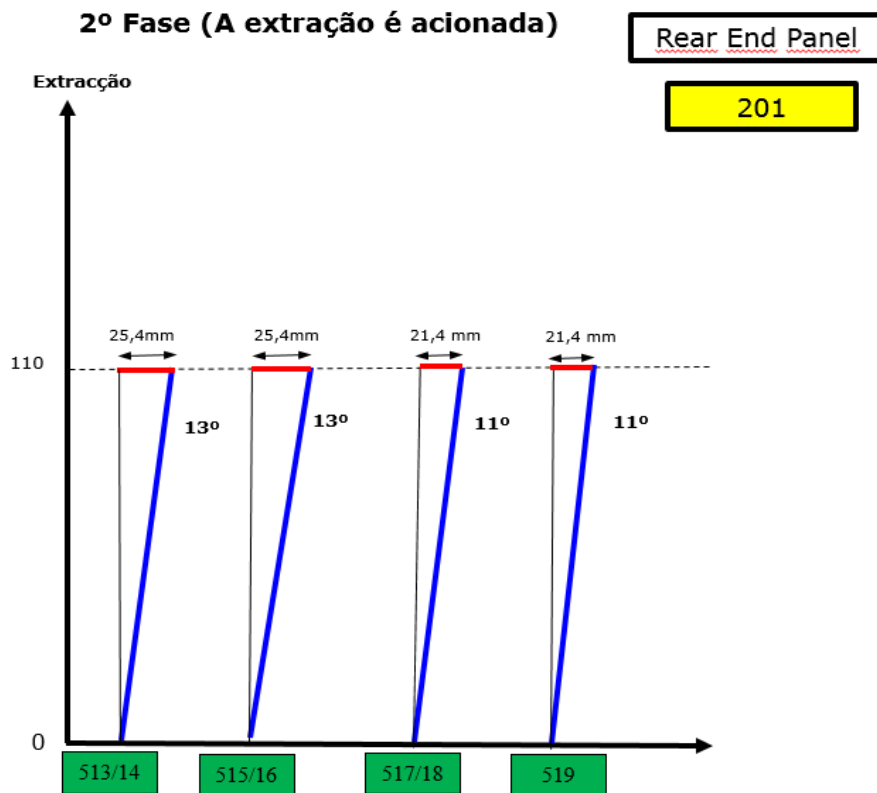


Figura 165 - Cinemática dos movimentos à extração do Macho 2

Os movimentos 513 e 514 percorrem os 110 mm da extração com um ângulo de  $13^\circ$ , para desmoldar uma contra saída de 25,4 mm (figuras 165 e 166).

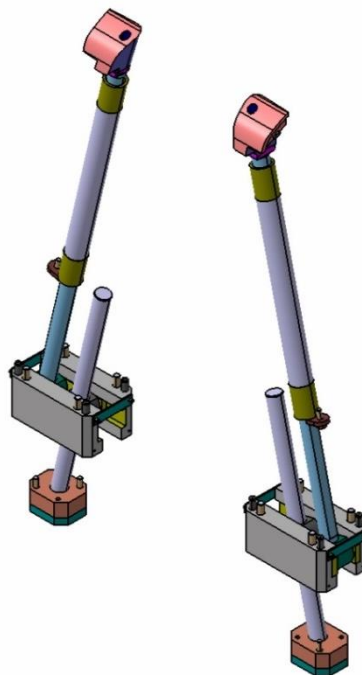


Figura 166 - Movimentos à extração 513 e 514

Os movimentos 515 e 516 percorrem os 110 mm da extração com um ângulo de  $13^\circ$ , para desmoldar uma contra saída de 25,4 mm (figura 167).

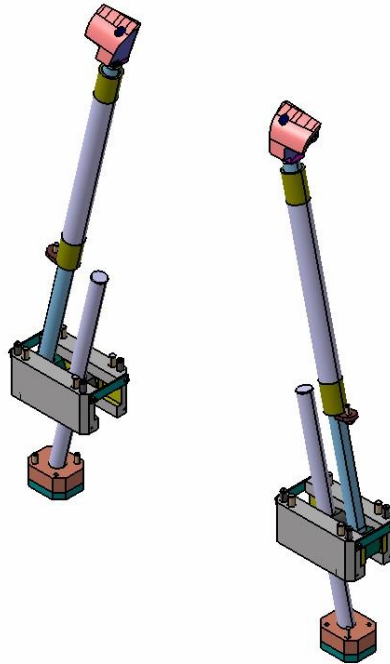


Figura 167 - Movimentos à extração 515 e 516

Os movimentos 517 e 518 percorrem os 110 mm da extração com um ângulo de  $11^\circ$ , para desmoldar uma contra saída de 21,4 mm (figura 168).

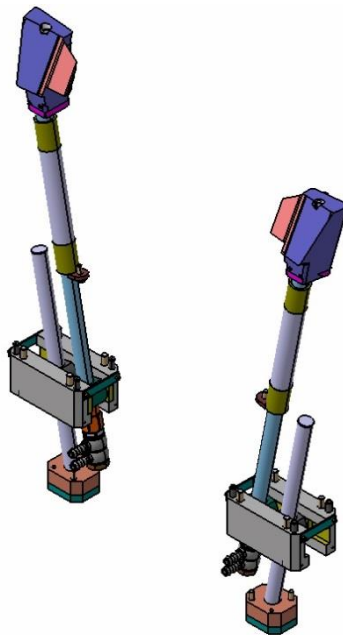


Figura 168 - Movimentos à extração 517 e 518

O movimento 519 percorre os 110 mm da extração com um ângulo de  $11^\circ$ , para desmoldar uma contra saída de 21,4 mm (figura 169).

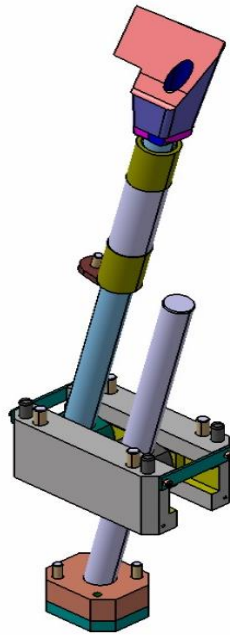


Figura 169 - Movimento à extração 519

### 3.5.5.2 Levantadores

Os levantadores (figura 170) atuam linearmente na extração da peça e servem apenas para remover a peça do macho, não para desmoldar contra saídas. São diretamente montados na placa de extração.

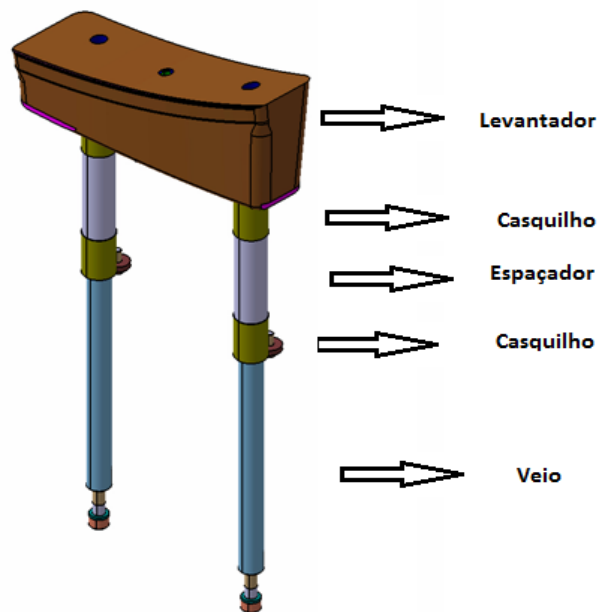


Figura 170 - Constituição tipo de um levantador

Os levantadores são constituídos por um ou mais veios dependendo da sua dimensão. Sendo elementos do sistema de extração, são fixados à placa de extração e atuam quando a placa de extração avança.

### Levantadores do Macho 1

Os levantadores 540, 541, 544, 545 e 552, por possuírem maiores dimensões, podem ter circuitos internos de refrigeração e por isso são feitos em aço 1.2738. Os levantadores 542, 543, 546, 547, 548, 549, 550 e 551, por possuírem dimensões mais reduzidas e não ser possível fazer circuitos de refrigeração no seu interior, foram concebidos em LC 944, material com melhor dissipação de calor (figuras 171 e 172). A cinemática destes levantadores poderá ser observada na figura 173.

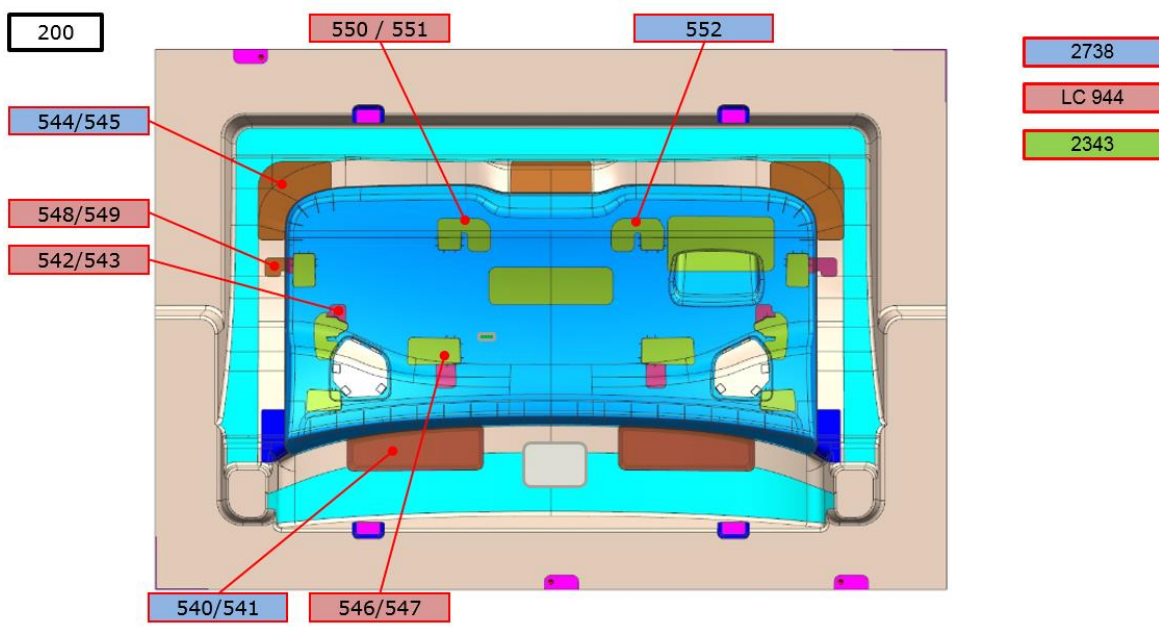


Figura 171 - Levantadores do Macho 1

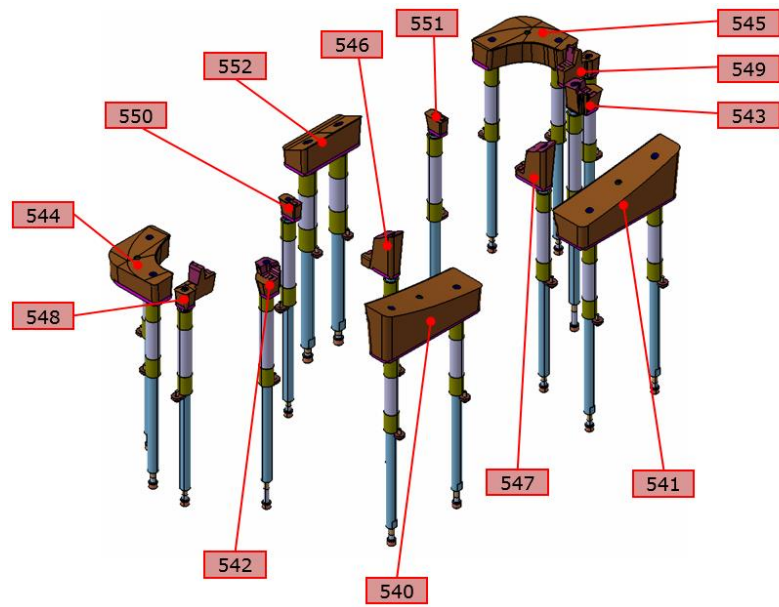


Figura 172 - Vista Isométrica dos Levantadores do Macho 1

**2º Fase (A extração é acionada)**

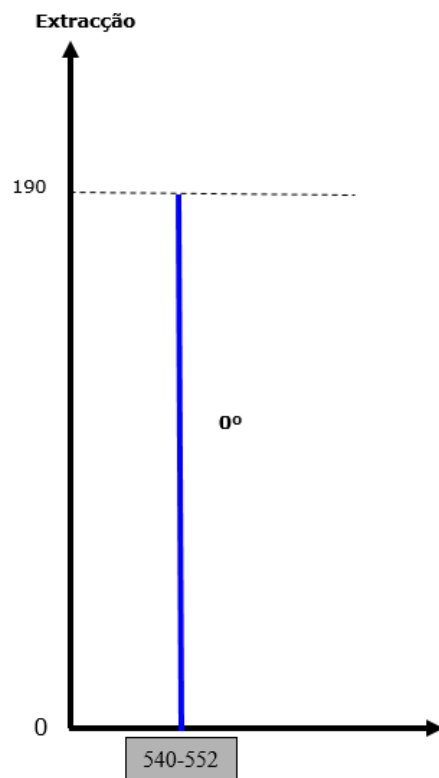


Figura 173 - Cinemática dos levantadores do Macho 1

## Levantadores do Macho 2

Os levantadores 555, 556, 557, 558, 561 e 562, por possuírem maiores dimensões, podem ter circuitos internos de refrigeração e por isso são feitos em aço 1.2738. Os levantadores 553, 554, 559, 560, 563, 564, 565 e 566, por possuírem dimensões mais reduzidas e não ser possível fazer circuitos de refrigeração no seu interior, foram concebidos em LC 944, material com melhor dissipação de calor (figuras 174 e 175). Na figura 176 poderá ser observado o diagrama esquemático da cinemática deste grupo de levantadores.

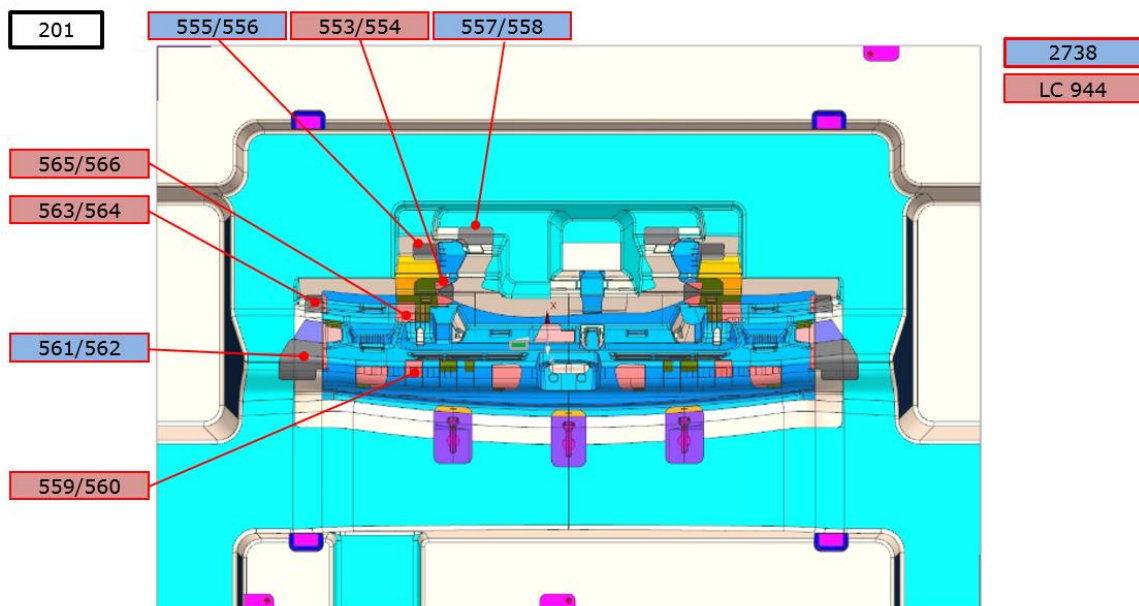


Figura 174 - Levantadores do Macho 2

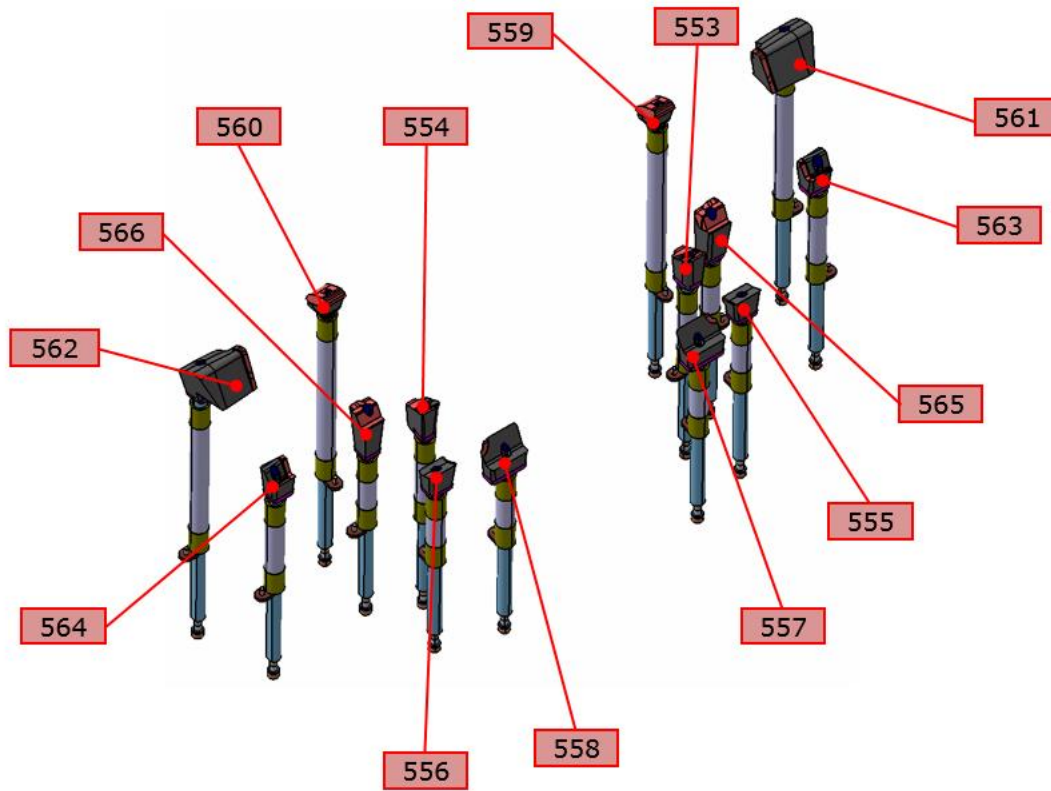


Figura 175 - Vista Isométrica dos levantadores do Macho 2

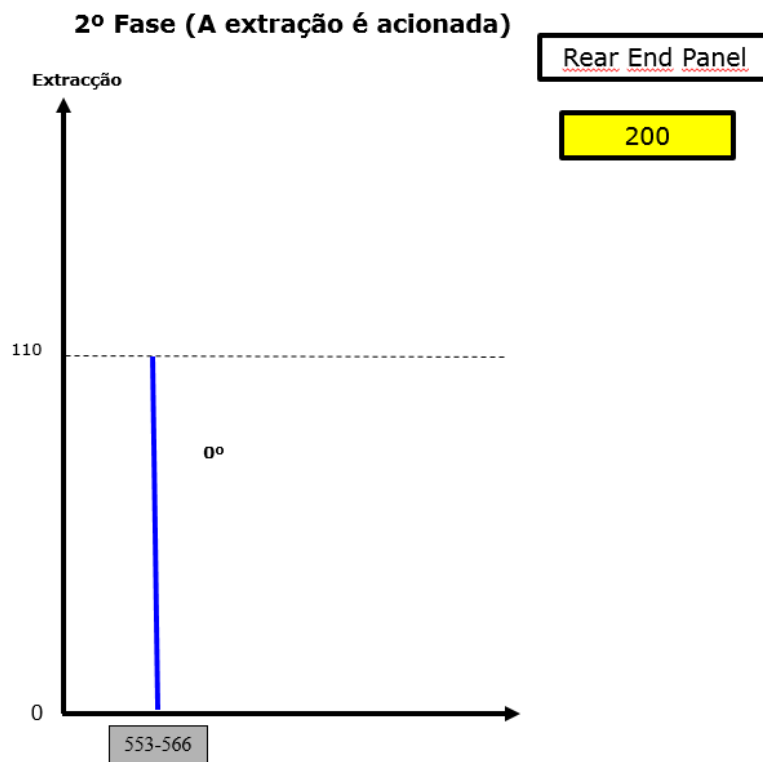


Figura 176 - Cinemática dos levantadores do Macho 2

### 3.5.6 Extratores

Os extratores são componentes que facilitam a desmoldagem da peça. Os mesmos poderão ser vistos nas figuras 177 e 178. É conveniente que a sua localização seja o mais simétrica possível para evitar empenos. São uma forma de escape de gases mas que impedem a saída de plástico.

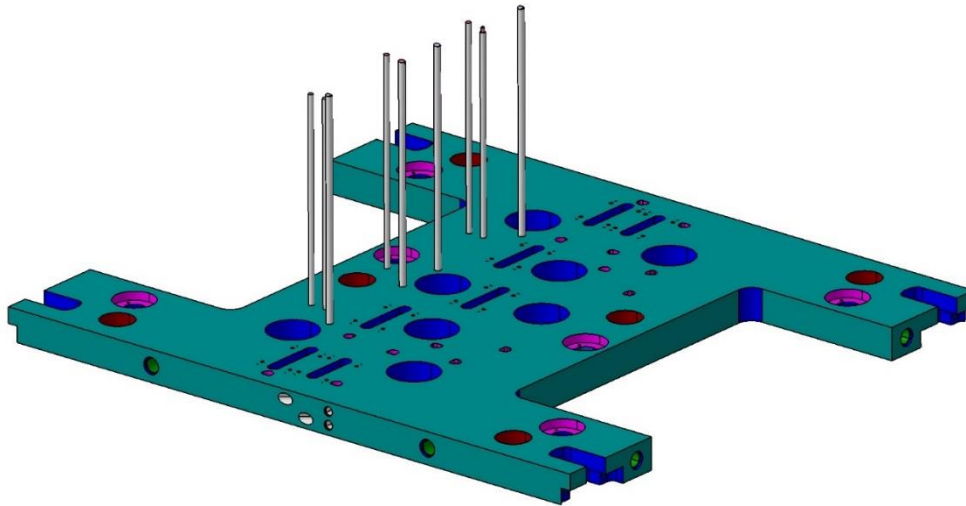


Figura 177 - Extratores do *frame 2*

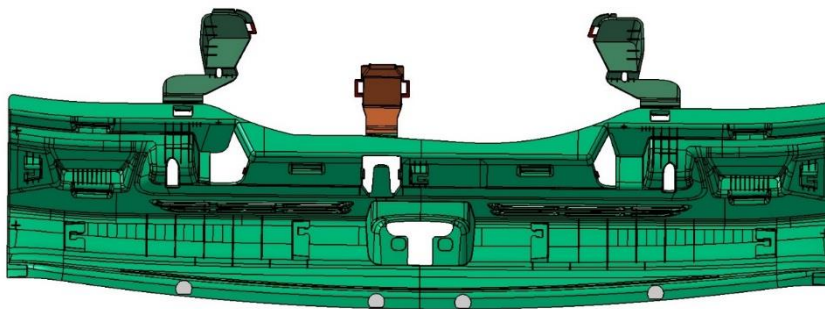


Figura 178 - Localização dos extratores na peça (pontos cinzentos)

Para além dos motivos descritos anteriormente, é comum existirem extratores quebragito (figura 179), ou seja, são extratores que atuam sobre os canais de entrada de plástico na peça, quebrando a ligação dos mesmos com a peça. Assim, evita-se uma operação extra de remoção de canais.

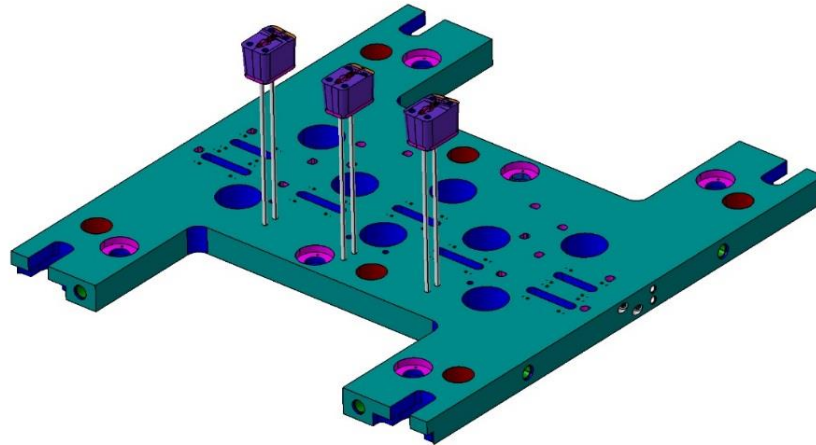


Figura 179 - Localização dos extratores quebra-gitos nos postigos

### 3.5.7 Pernos de retorno

Os pernos de retorno (figuras 180, 181 e 182) garantem que aquando do fecho do molde, toda a extração se encontra na sua posição recuada, para início de mais um ciclo. São montados na placa de extração e possuem uma mola na sua base, que evita contactos mais bruscos entre os pernos e os seus batentes, os quais, situados na cavidade, empurram os pernos de retorno para a sua posição inicial aquando do fecho do molde.

#### Cavidade 1

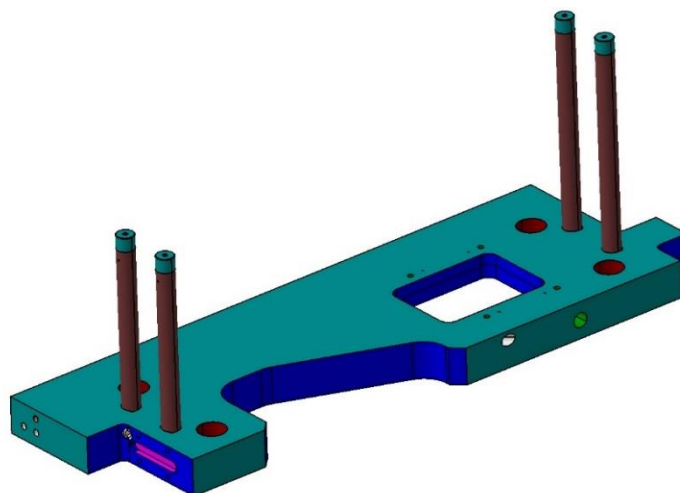


Figura 180 - Pernos de retorno da Cavidade 1

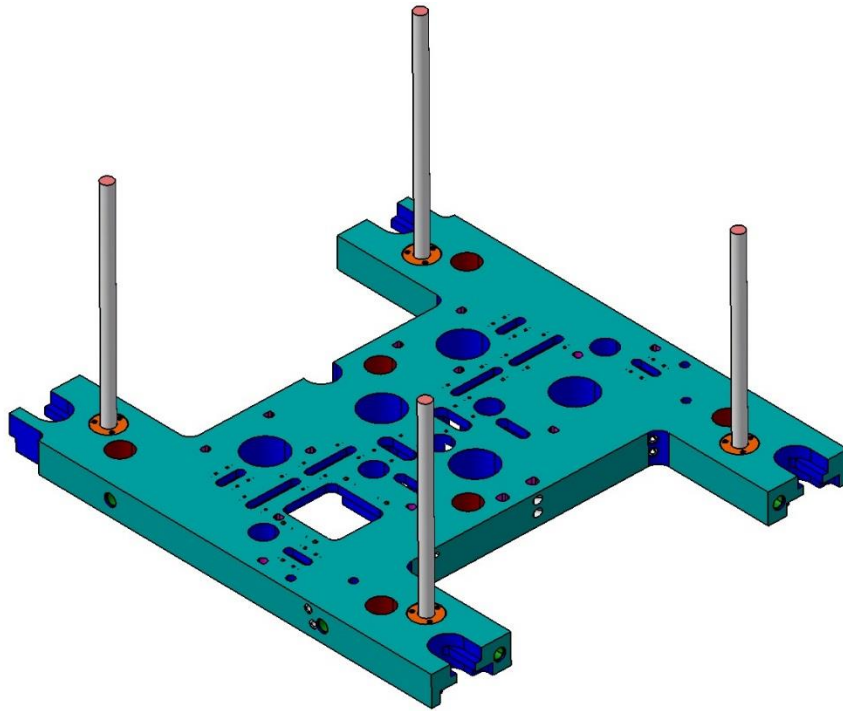
**Macho 1**

Figura 181 - Pernos de retorno do Macho 1

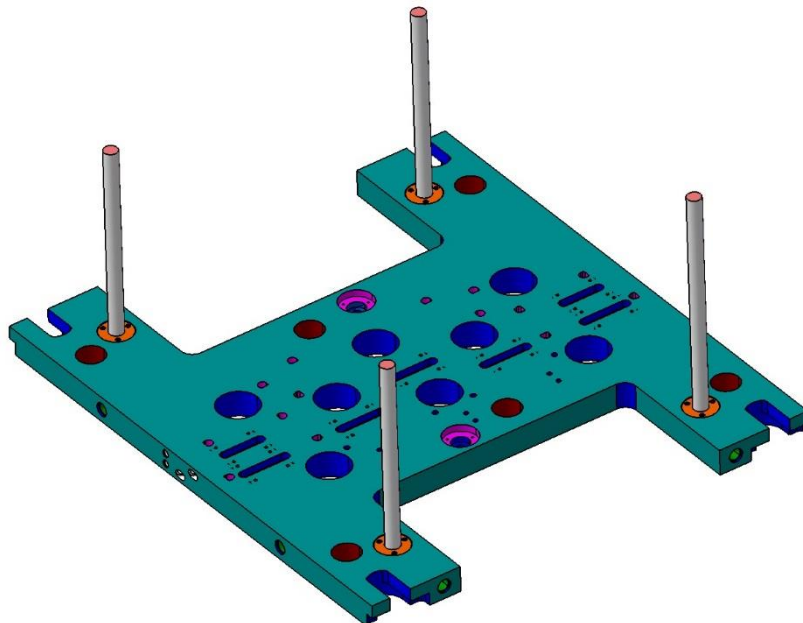
**Macho 2**

Figura 182 - Pernos de retorno do Macho 2

### 3.5.8 Placas de extração

Nas placas de extração são alojados todos os componentes necessários à extração que foram descritos até aqui. Estas placas são guiadas por guias-casquilhos (figuras 183, 184 e 185).

#### Cavidade 1

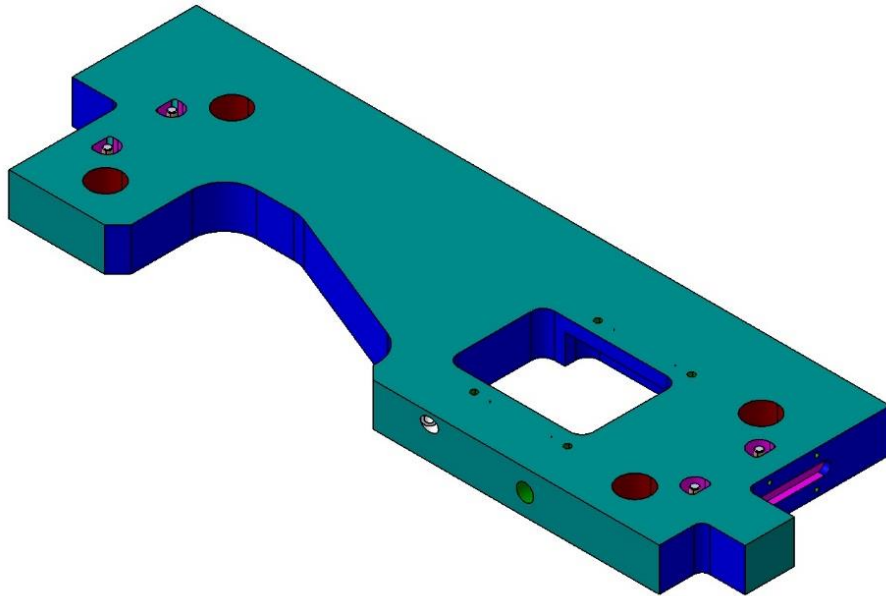


Figura 183 - Placa de extração da cavidade 1

#### Macho 1

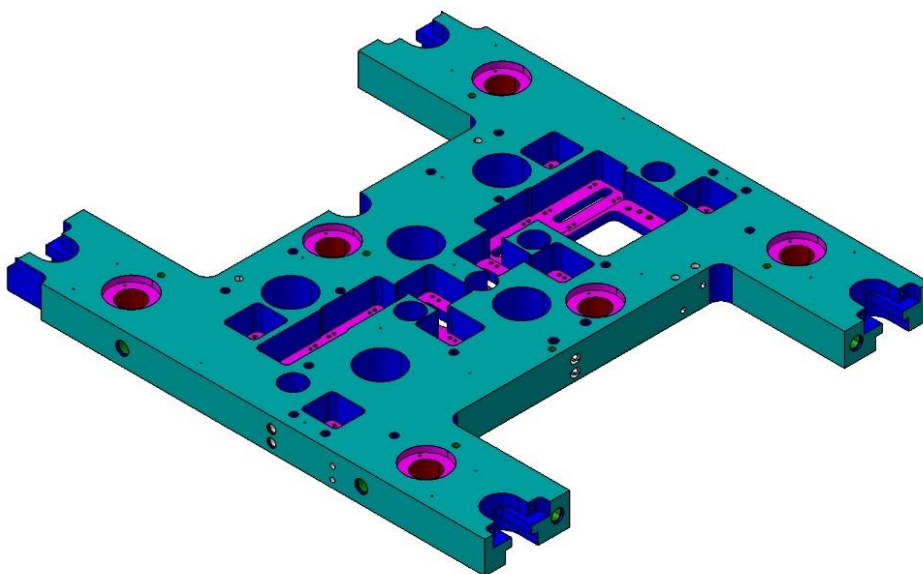


Figura 184 - Placa de extração do macho 1

## Macho 2

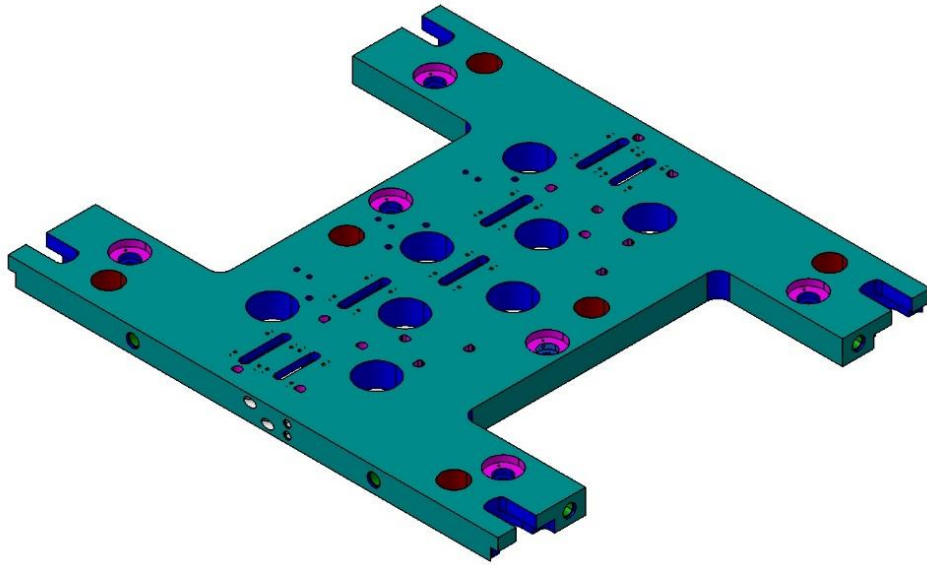


Figura 185 - Placa de extração do Macho 2

### 3.5.9 Cilindros hidráulicos e circuito hidráulico

O sistema hidráulico deve estar de acordo com o CEM do cliente, que neste caso requereu que fossem usados quatro cilindros da *HP Systems* por cada *frame* e que o circuito hidráulico fosse o mais balanceado possível. Foram então utilizados os cilindros VCN 50 da *HP Systems*, cujos valores de forças desenvolvidas se encontram presentes nas tabelas 16 e 17. De seguida, nas figuras 186 e 187, são apresentados os circuitos hidráulicos dos *frames* 1 e 2, respetivamente.

#### *Frame 1*

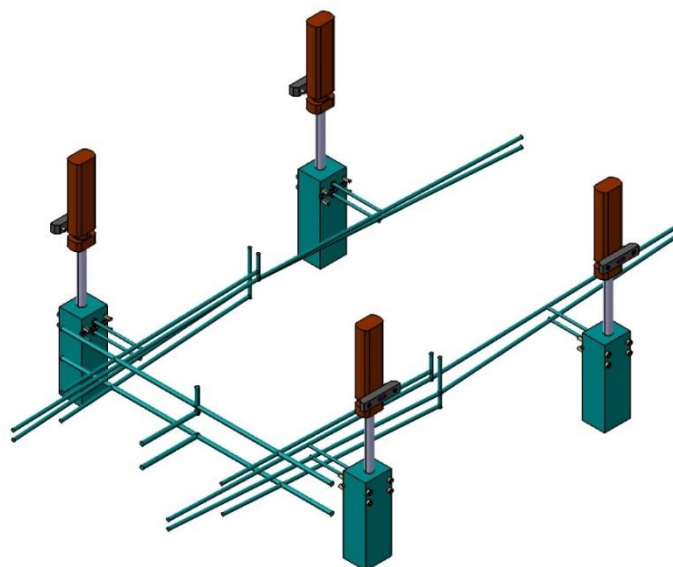


Figura 186 - Cilindro hidráulico do *frame* 1

## Frame 2

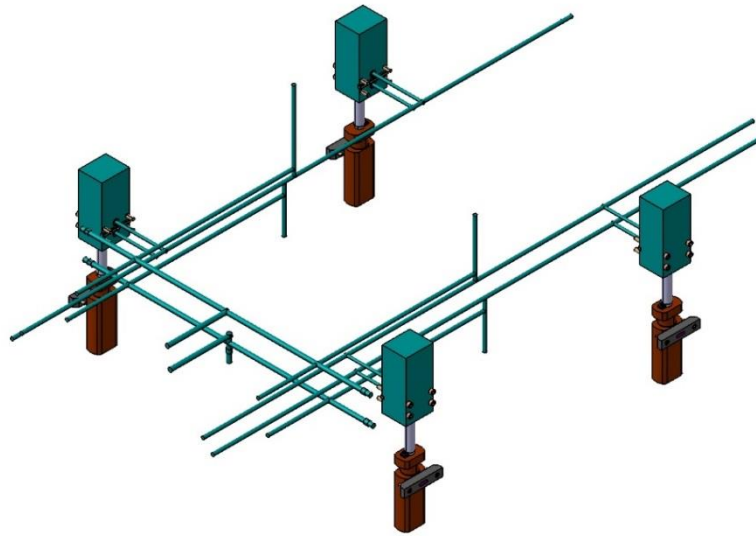


Figura 187 - Circuito hidráulico do *frame 2*

Tabela 16 - Forças desenvolvidas pelos cilindros HPS - VCN no seu avanço, em daN (HP Systems)

Ø Alésage	Section cm <sup>2</sup>	Pression (bar)							
		90	120	140	160	180	200	300	500
25	4,90	441	588	686	784	882	980	1 470	2 450
32	8,04	724	965	1 126	1 286	1 447	1 608	2 412	4 020
40	12,56	1 130	1 507	1 758	2 010	2 261	2 512	3 768	6 280
50	19,63	1 767	2 356	2 748	3 141	3 533	3 926	5 889	9 815
63	31,17	2 805	3 740	4 364	4 987	5 611	6 234	9 351	15 585
80	50,26	4 523	6 031	7 036	8 042	9 047	10 052	15 078	25 130
100	78,54	7 069	9 425	10 996	12 566	14 137	15 708	23 562	39 270
125	122,72	11 045	14 726	17 181	19 635	22 090	24 544	36 816	61 360

Toutes les cotes sont en mm

Tabela 17 - Forças desenvolvidas pelos cilindros HPS - VCN no seu recuo, em daN (HP Systems)

Ø Alésage	Ø Tige	Section annulaire cm <sup>2</sup>	Pression (bar)							
			90	120	140	160	180	200	300	500
25	16	2,90	261	348	406	464	522	580	870	1 450
32	18	5,50	495	660	770	880	990	1 100	1 650	2 750
40	22	8,76	788	1 051	1 226	1 402	1 577	1 752	2 628	4 380
50	28	13,48	1 213	1 618	1 887	2 157	2 426	2 696	4 044	6 740
63	36	21,00	1 890	2 520	2 940	3 360	3 780	4 200	6 300	10 500
80	45	34,36	3 092	4 123	4 810	5 498	6 185	6 872	10 308	17 180
100	56	53,91	4 852	6 469	7 547	8 626	9 704	10 782	16 173	26 955
125	90	84,24	7 582	10 109	11 794	13 478	15 163	16 848	25 272	42 120

Toutes les cotes sont en mm

### 3.5.10 Guiamento e ajuste

O sistema de guiamento deve seguir os requisitos do CEM. Assim, os seguintes critérios deverão ser tidos em conta:

- Aplicação de guias cilíndricas (figura 188);
- Aplicação de uma guia deslocada das demais de forma a evitar o fecho do molde em posição incorreta;
- Aplicação de casquilhos no macho para o deslizamento das guias do molde;
- Aplicação de chapas de pressão e de ajustamento que garantam o fecho justo e centrado do molde (figura 189).

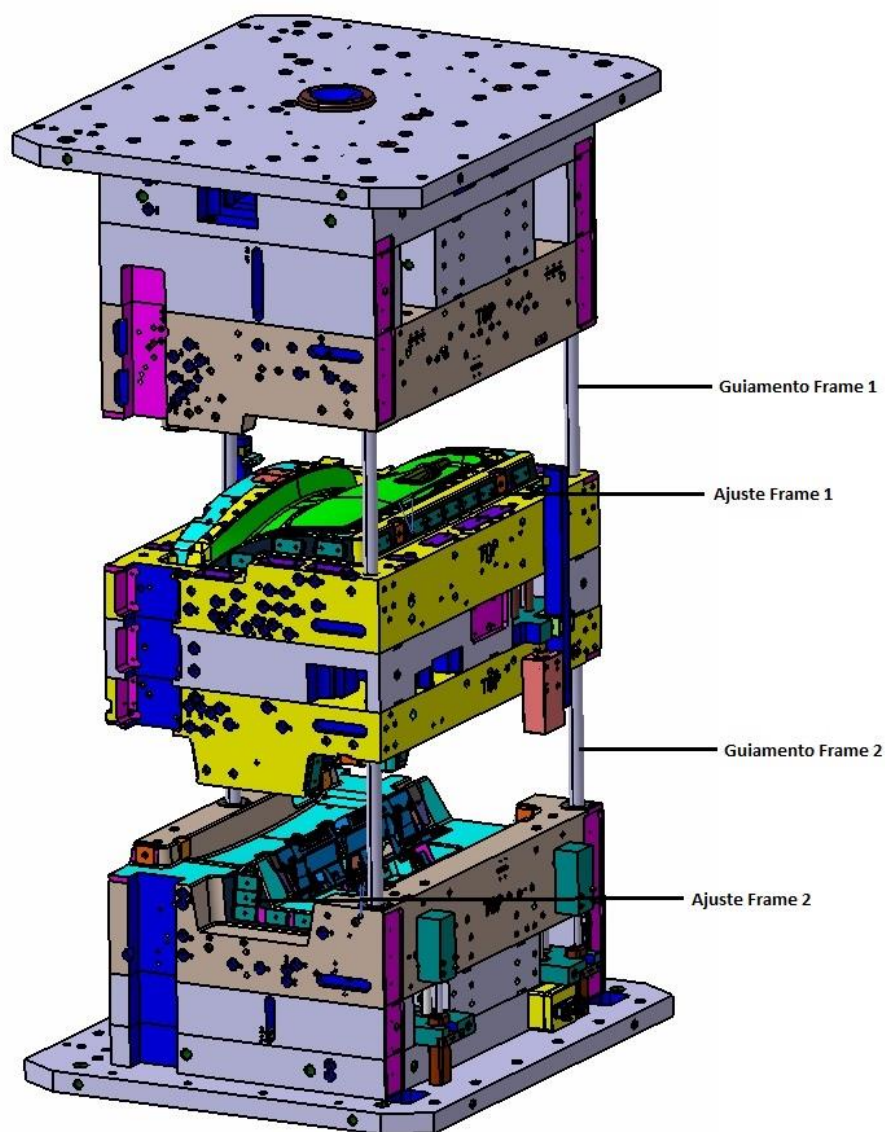


Figura 188 - Componentes de guiamento e ajuste do molde

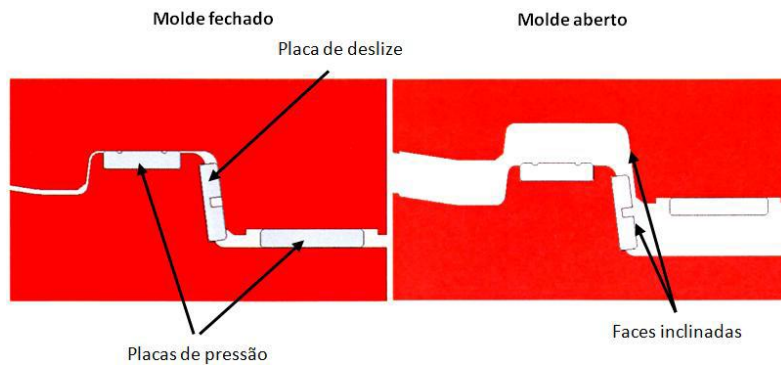


Figura 189 - Sistema de ajuste dos moldes

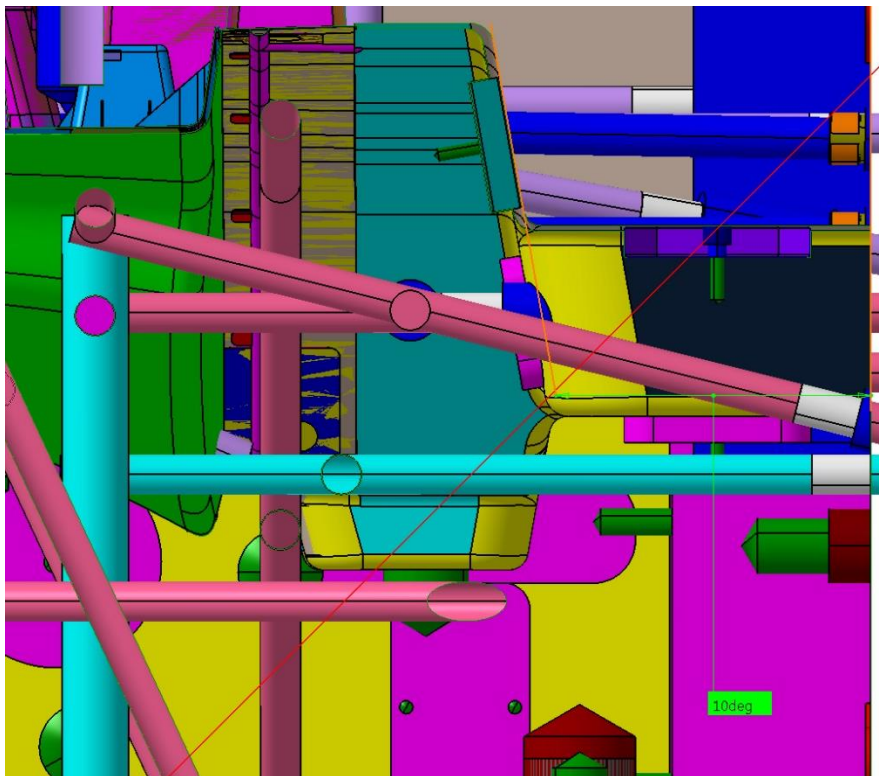


Figura 190 - Inclinação das placas de deslize

Como se pode ver na figura 190, as paredes de centramento do molde estão com 10° de inclinação.

### 3.5.11 Sistema de injeção

O sistema de injeção é comprado a uma empresa que se dedica à comercialização de sistemas de injeção, a *Synventive*, por ser um componente do molde bastante complexo (figura 191). São fornecidas à *Synventive* todas as informações relevantes para o fabrico do sistema de injeção e que cumpram os requisitos do CEM do cliente, como a posição dos bicos de injeção, a espessura das peças a obter, o material a injetar, etc.

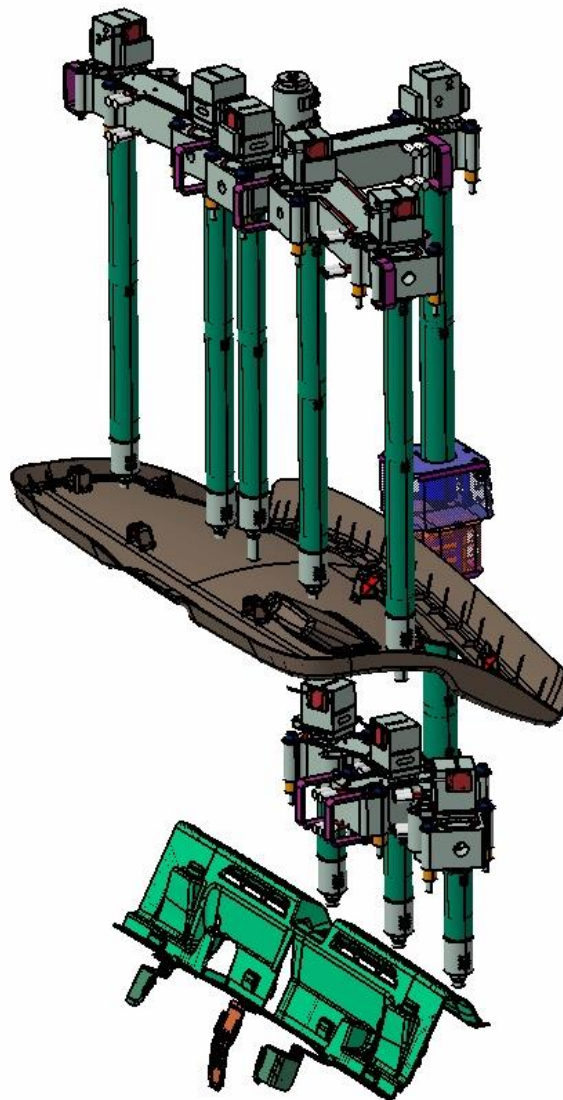


Figura 191 - Sistema de injeção com posições de ligação e localização nas peças

Para que o material a injetar vá desde o *frame 1* até ao *frame 2*, foi necessário criar um posição de ligação, como se pode ver na figura 192. O detalhe do sistema de transfer poderá ser visto na figura 193.

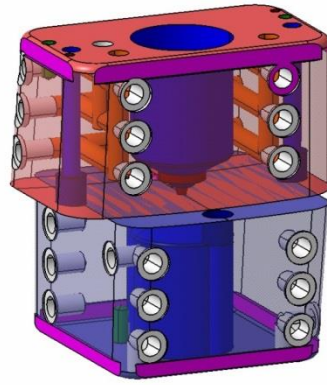


Figura 192 - Postiços de ligação do sistema de injeção

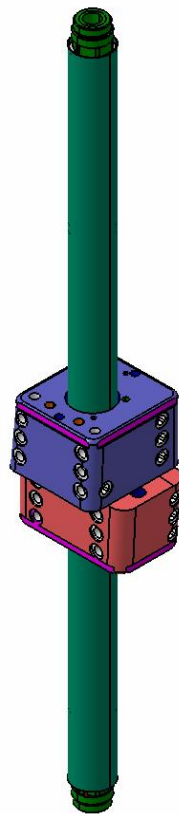


Figura 193 – Detalhe do Transfer

### 3.5.12 Sistema de refrigeração do molde

O arrefecimento do material injetado é feito por transferência de calor para as superfícies moldantes (que estão a uma temperatura bastante inferior) e através da massa do molde. Para facilitar, acelerar e controlar o processo de transferência de calor, são maquinados furos de passagem para um fluido refrigerante, perto das zonas moldantes. Estes furos, também conhecidos por “linhas de água”, por a água ser o fluido de refrigeração mais frequente (e mais económico), constituem o sistema de controlo de temperatura. De seguida, são apresentados os circuitos de refrigeração do molde. Estes sistemas são bastante complexos, pelo que estão distribuídos desde a figura 194 à figura 256.

#### Macho 1

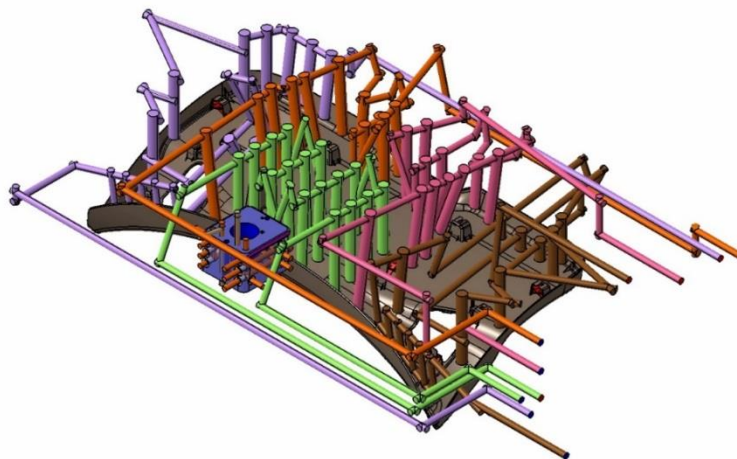


Figura 194 - Vista Isométrica do Sistema de Refrigeração do Frame 1

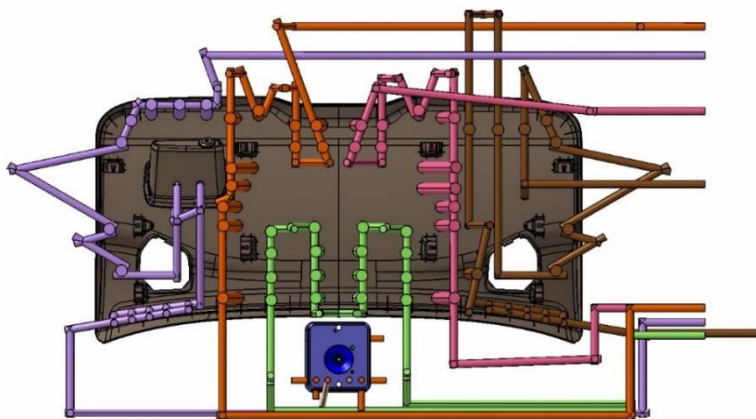


Figura 195 - Vista de Topo do Sistema de Refrigeração do Frame 1

## Circuito 1

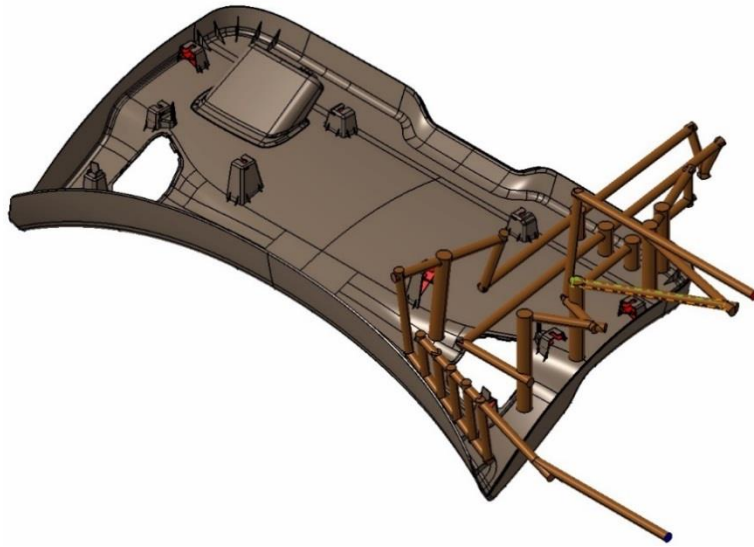


Figura 196 - Vista Isométrica do Circuito de Refrigeração 1

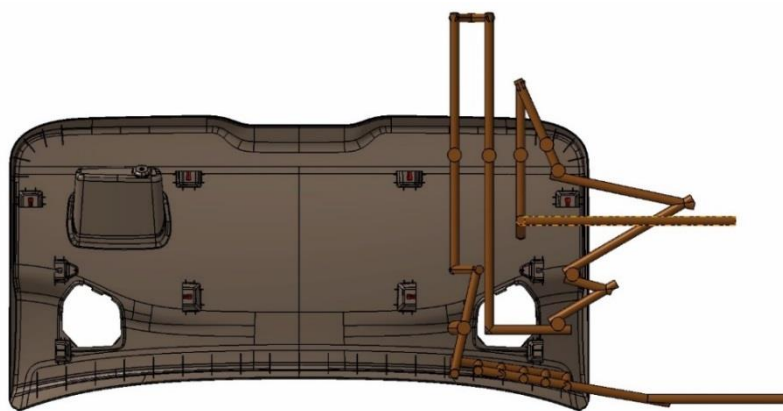


Figura 197 - Vista de Topo do Circuito de Refrigeração 1

## Circuito 2

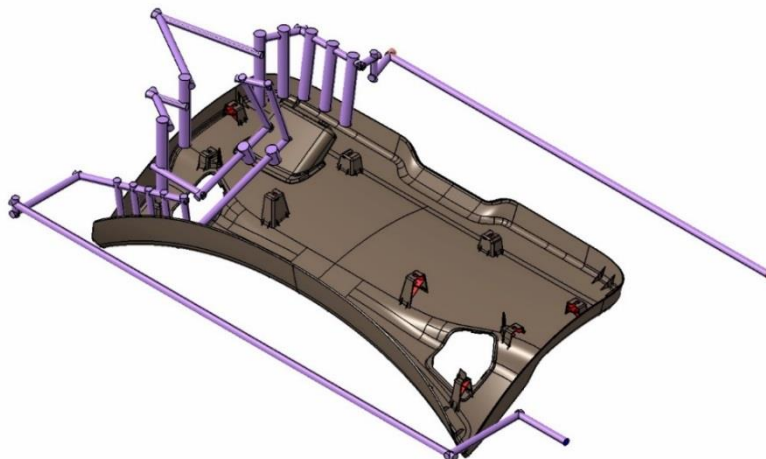


Figura 198 - Vista Isométrica do Circuito de Refrigeração 2

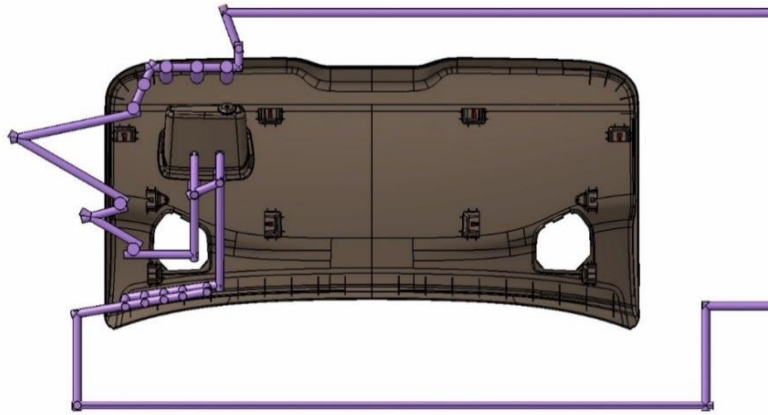


Figura 199 - Vista de Topo do Circuito de Refrigeração 2

### Circuito 3

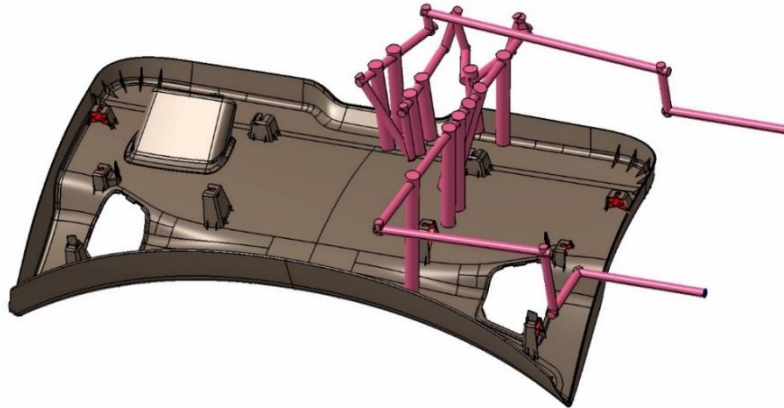


Figura 200 - Vista de Topo do Circuito de Refrigeração 3

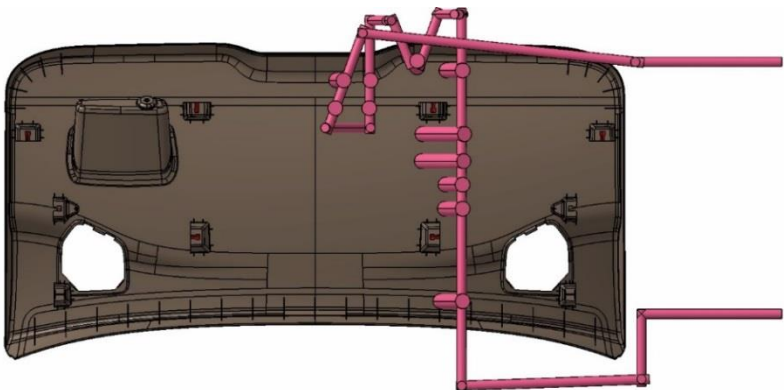


Figura 201 - Vista Isométrica do Circuito de Refrigeração 3

## Circuito 4

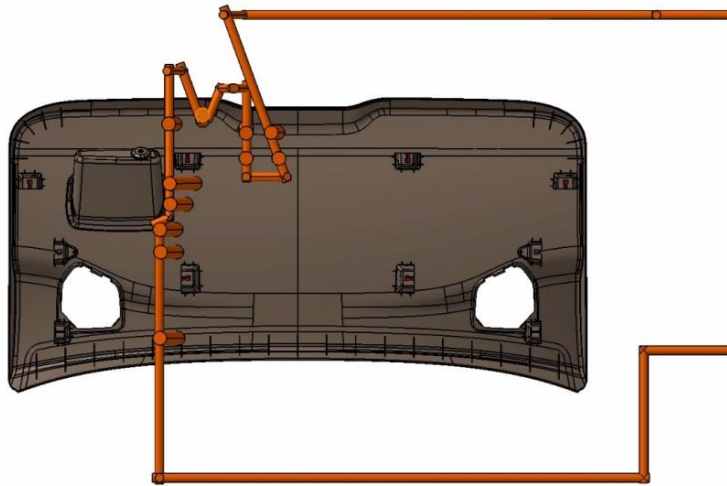


Figura 202 - Vista de Topo do Circuito de Refrigeração 4



Figura 203 - Vista Isométrica do Circuito de Refrigeração 4

## Circuito 5

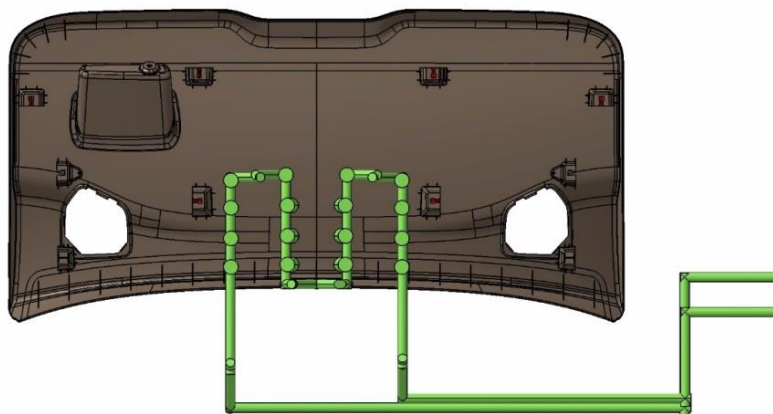


Figura 204 - Vista de Topo do Circuito de Refrigeração 5

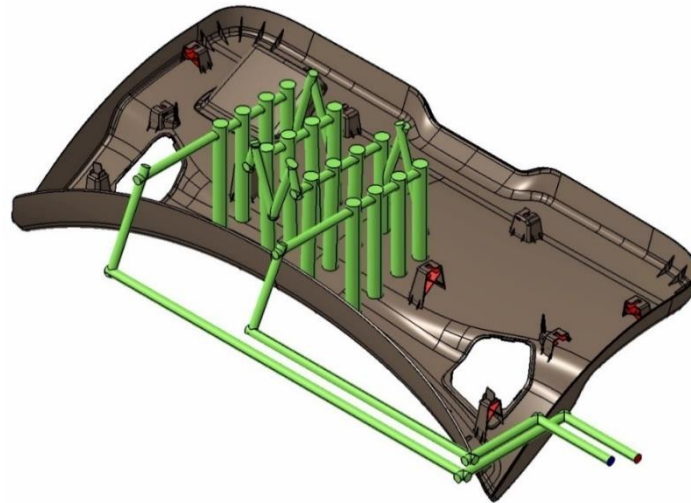


Figura 205 - Vista Isométrica do Circuito de Refrigeração 5

### Circuito 6 – Postiço de injeção

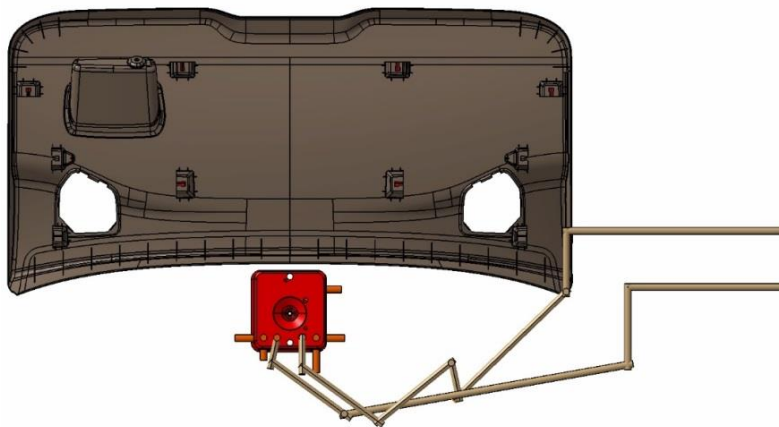


Figura 206 - Vista de Topo do Circuito de Refrigeração do Bico de Injeção

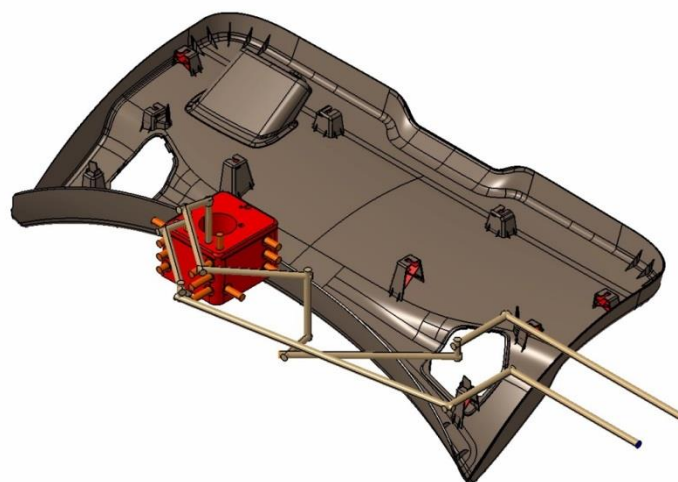


Figura 207 – Vista Isométrica do Circuito de Refrigeração do Bico de Injeção

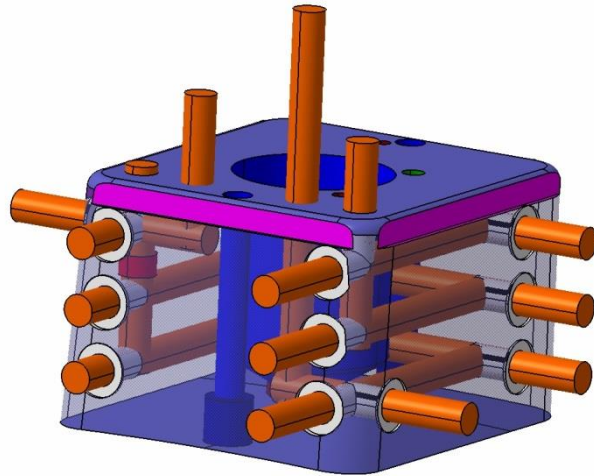


Figura 208 - Detalhe do Circuito de Refrigeração do Bico de Injeção

### Cavidade 1

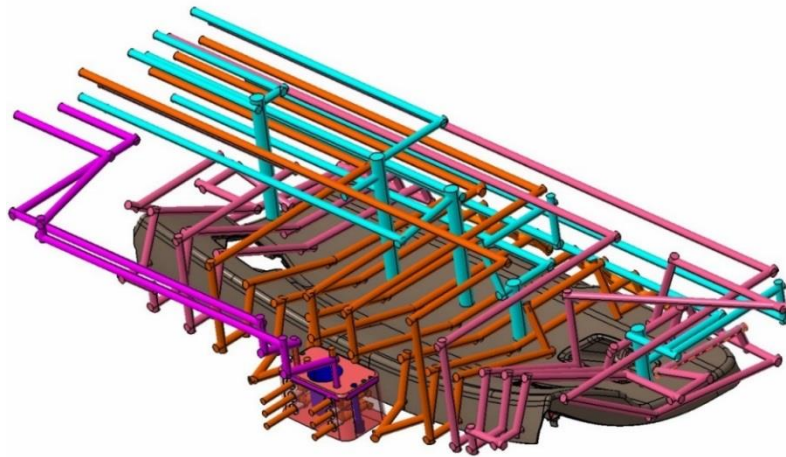


Figura 209 - Vista Isométrica do Sistema de Refrigeração da Cavidade 1

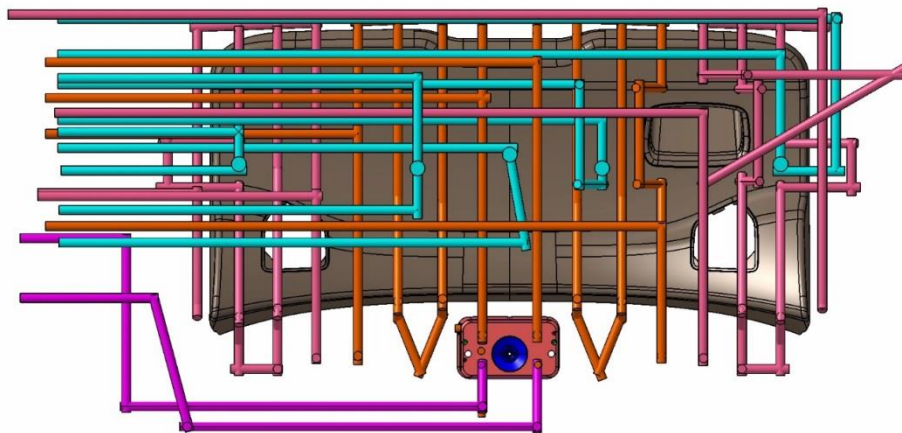


Figura 210 - Vista de Topo do Sistema de Refrigeração da Cavidade 1

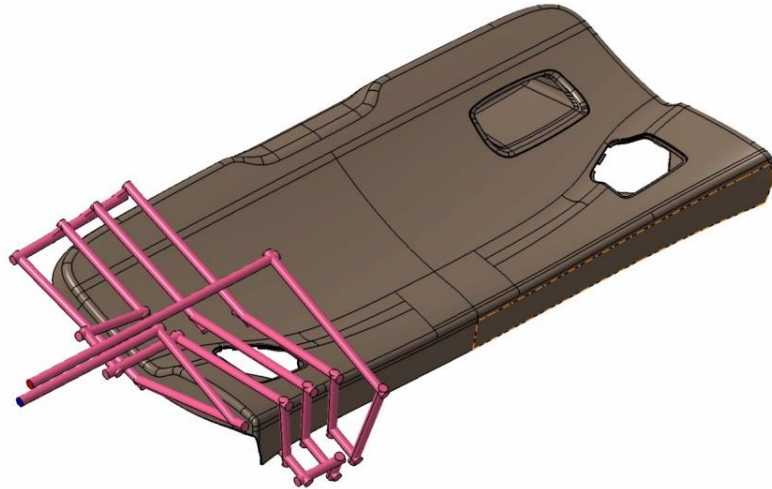
**Circuito 1**

Figura 211 - Vista Isométrica do Circuito de Refrigeração 1

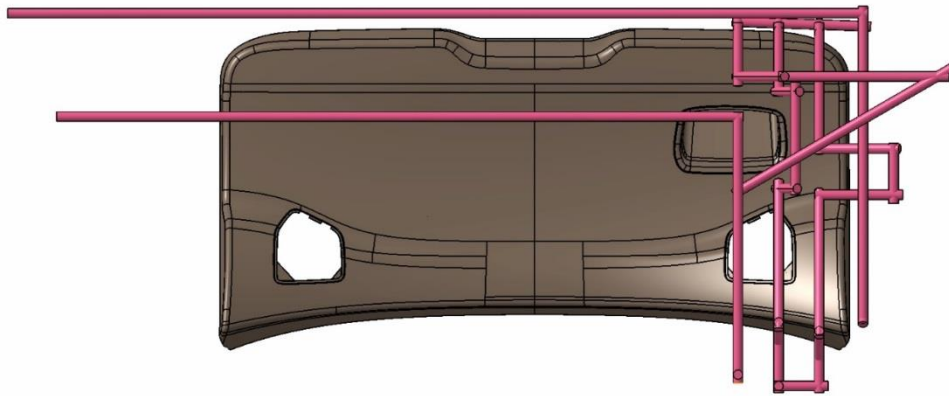


Figura 212 - Vista de Topo do Circuito de Refrigeração 1

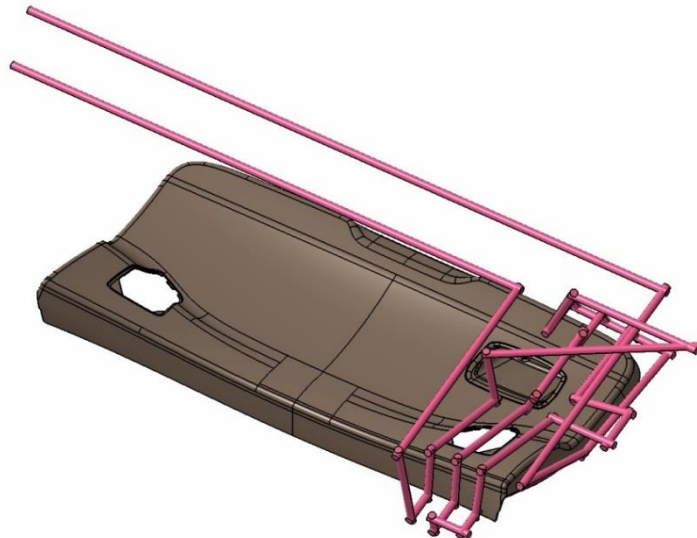
**Circuito 2**

Figura 213 - Vista Isométrica do Circuito de Refrigeração 2

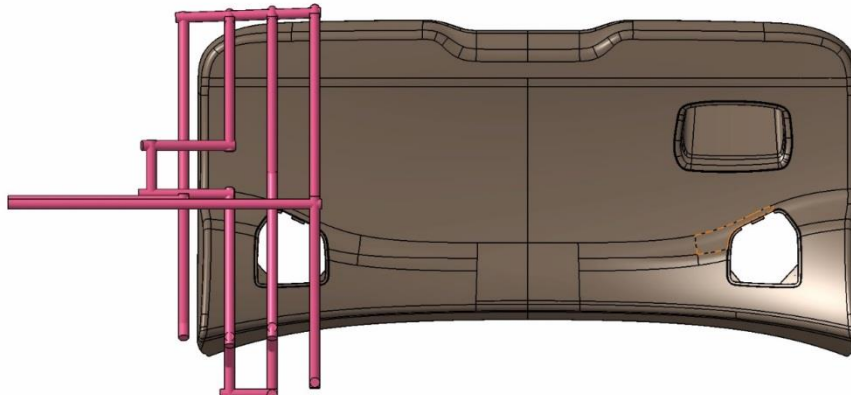


Figura 214 - Vista de Topo do Circuito de Refrigeração 1

### Circuito 3

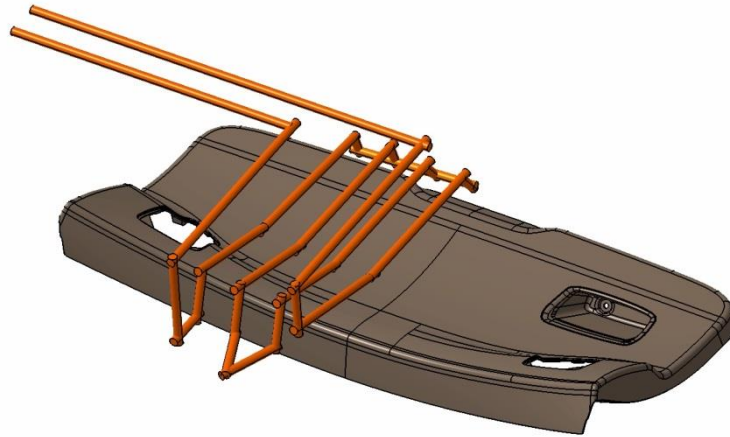


Figura 215 - Vista isométrica do Circuito de Refrigeração 3

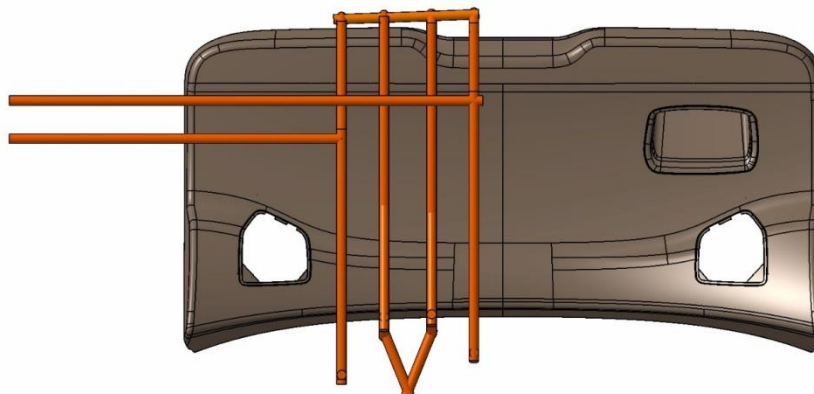


Figura 216 - Vista de topo do Circuito de Refrigeração 3

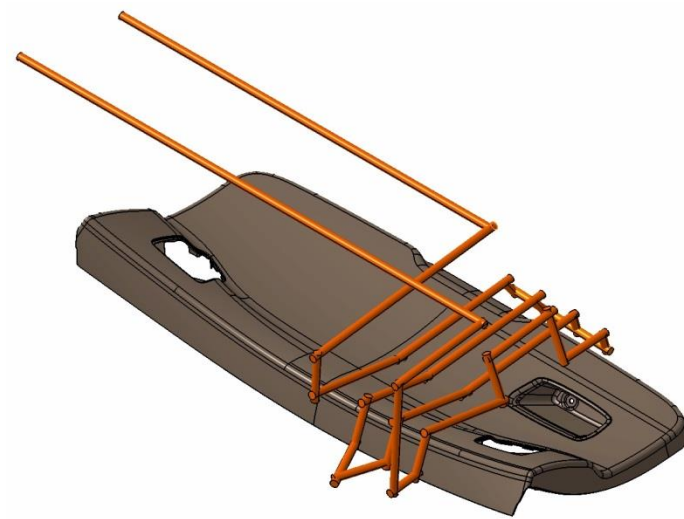
**Circuito 4**

Figura 217 - Vista Isométrica do Circuito de Refrigeração 4

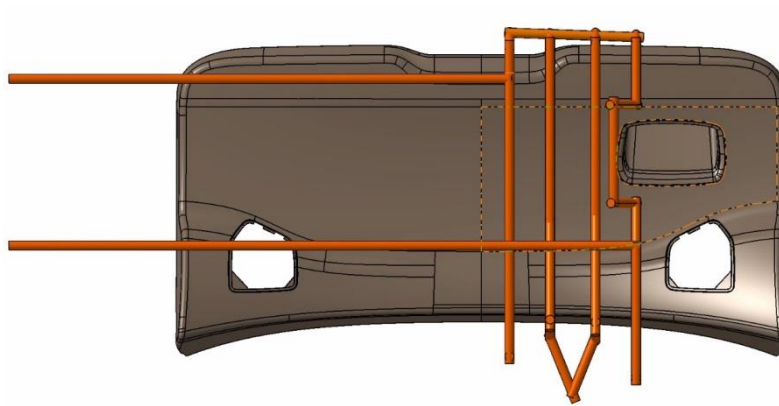


Figura 218 - Vista de topo do Circuito de Refrigeração 4

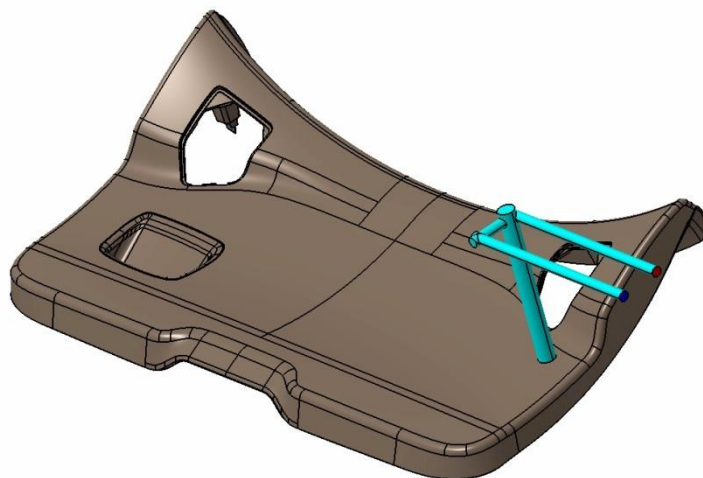
**Circuito 5**

Figura 21919 - Vista Isométrica do Circuito de Refrigeração 5

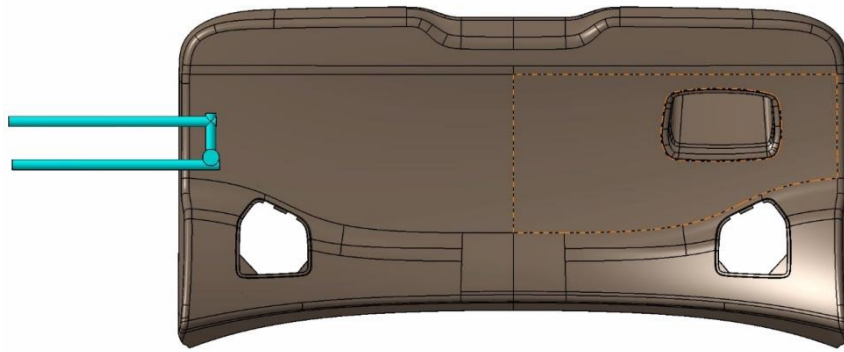


Figura 220 - Vista de Topo do Circuito de Refrigeração 5

### Circuito 6

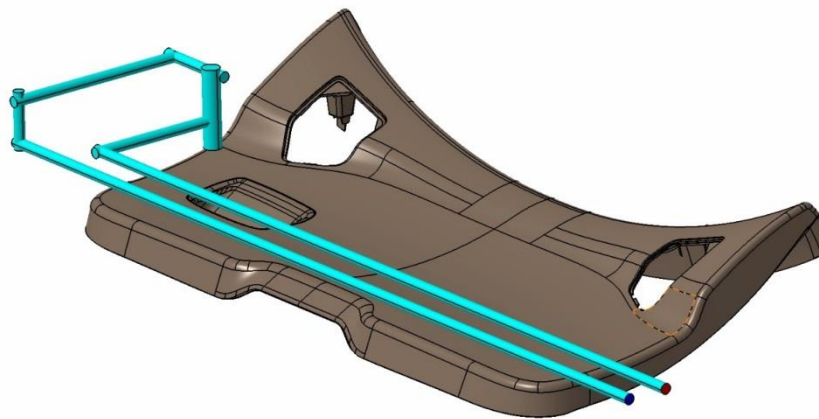


Figura 221 - Vista Isométrica do Circuito de Refrigeração 6

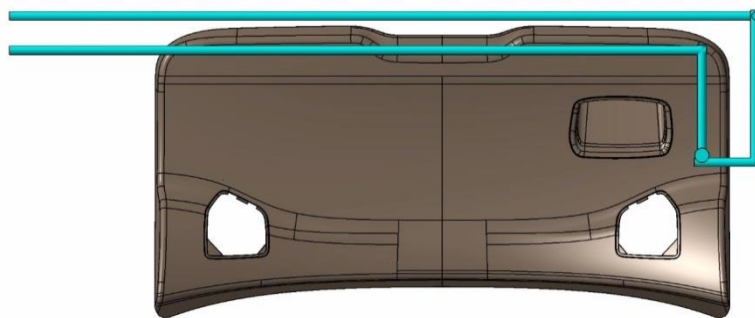


Figura 222 - Vista de Topo do Circuito de Refrigeração 6

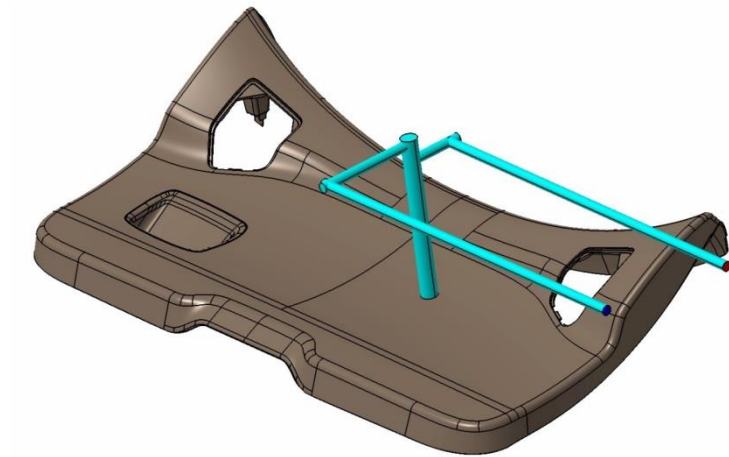
**Circuito 7**

Figura 223 - Vista Isométrica do Circuito de Refrigeração 7

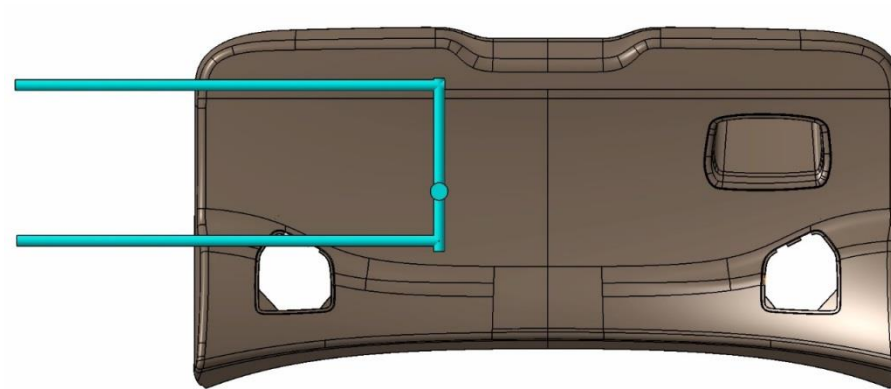


Figura 224 - Vista de topo do Circuito de Refrigeração 7

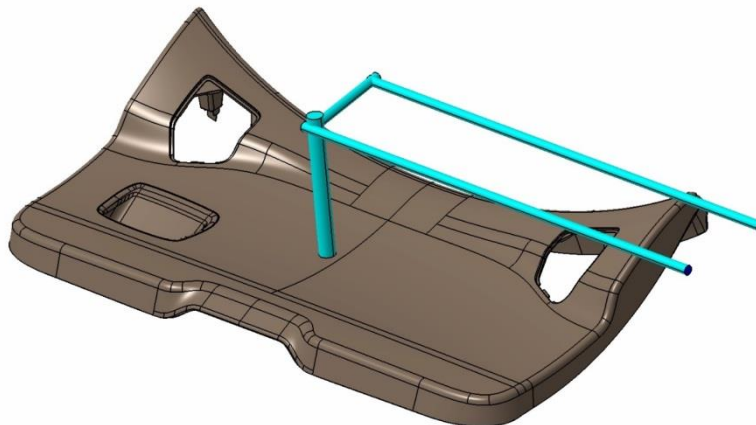
**Circuito 8**

Figura 225 - Vista Isométrica do Circuito de Refrigeração 8

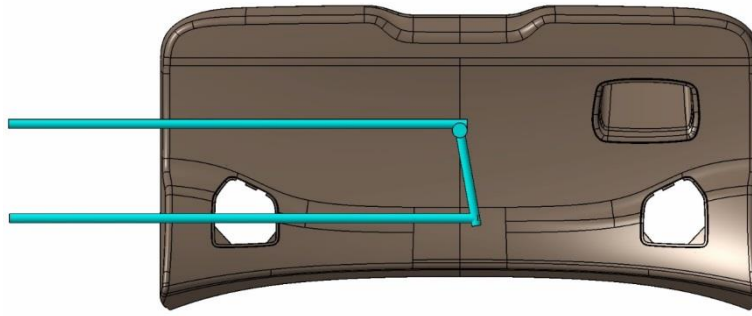


Figura 226 - Vista de topo do Circuito de Refrigeração 8

### Circuito 9

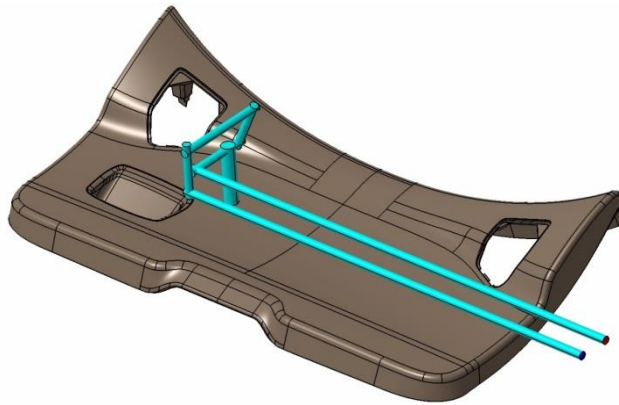


Figura 227 - Vista Isométrica do Circuito de Refrigeração 9

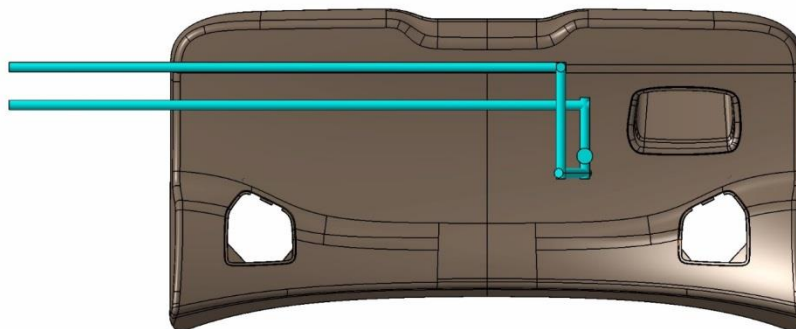


Figura 228 - Vista de Topo do Circuito de Refrigeração 9

## Circuito 10 - Postiço

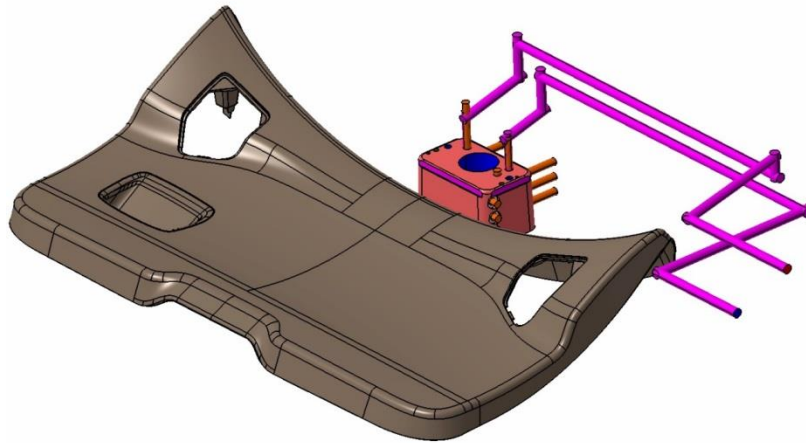


Figura 229 - Vista Isométrica do Circuito de Refrigeração do Postiço

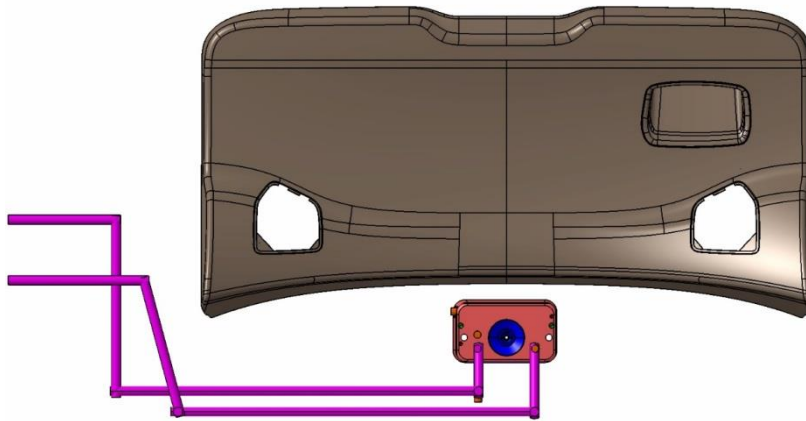


Figura 230 - Vista de Topo do Circuito de Refrigeração do Postiço

## Macho 2

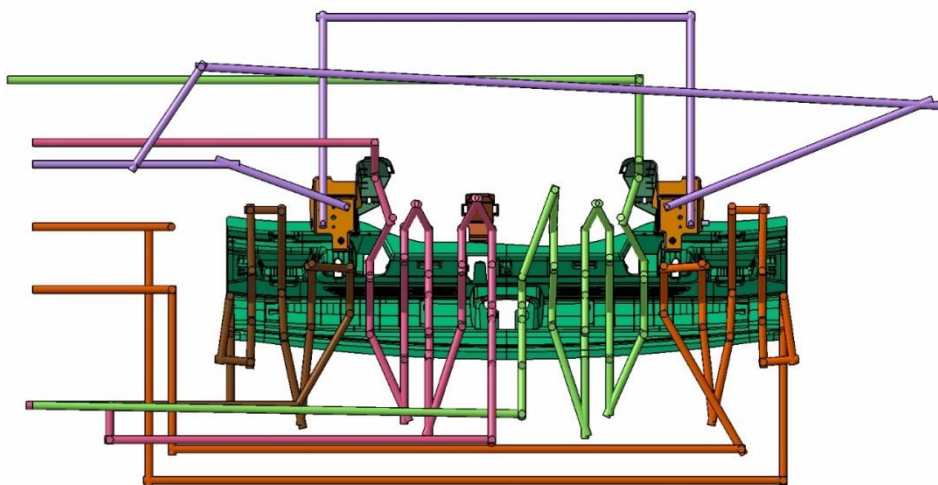


Figura 231 - Circuito de refrigeração interno do Macho 2

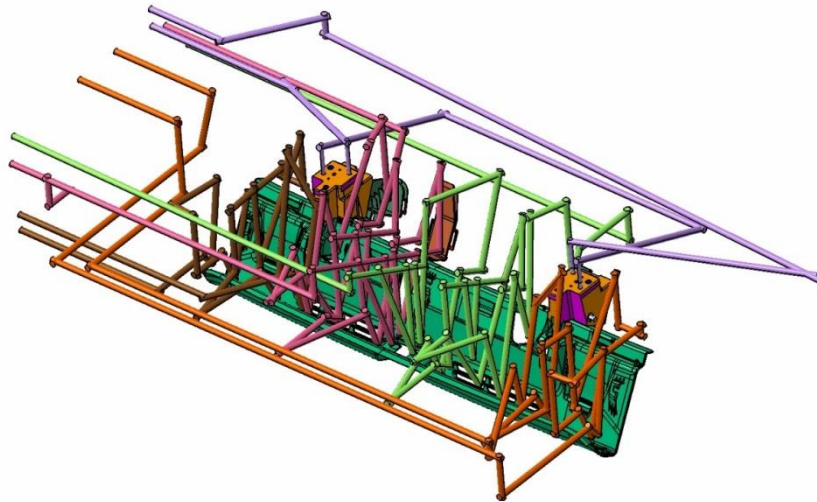


Figura 232 - Vista Isométrica do Sistema de Refrigeração do Macho 2

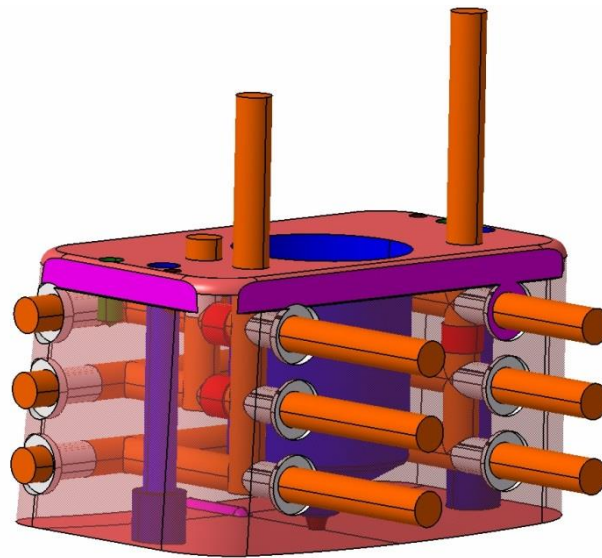


Figura 233 - Vista de Topo do Sistema de Refrigeração do Macho 2

### Circuito 1

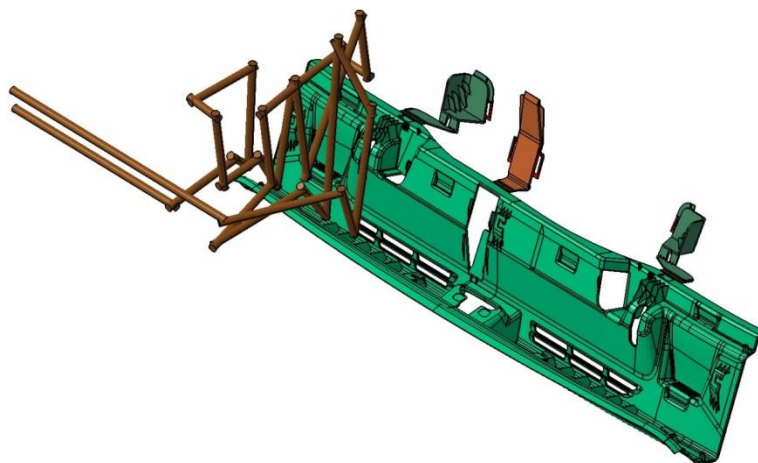


Figura 234 - Vista Isométrica do Sistema de Refrigeração do Circuito 1

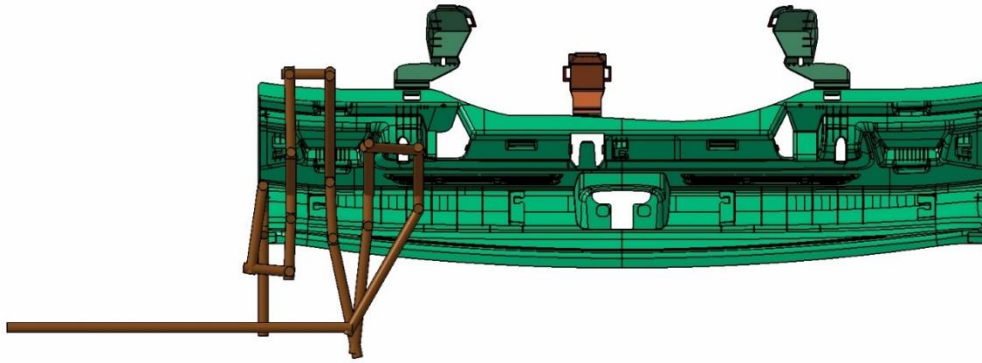


Figura 235 - Vista de Topo do Sistema de Refrigeração do Circuito 1

## Circuito 2

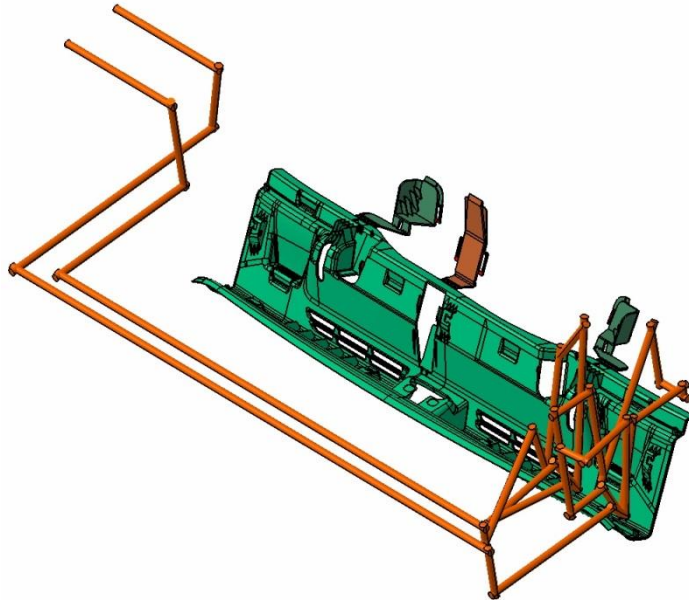


Figura 237 - Vista Isométrica do Sistema de Refrigeração do Circuito 2

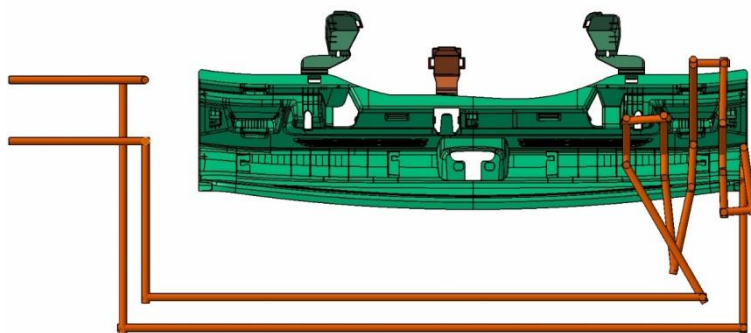


Figura 236 - Vista de Topo do Sistema de Refrigeração do Circuito 2

### Circuito 3

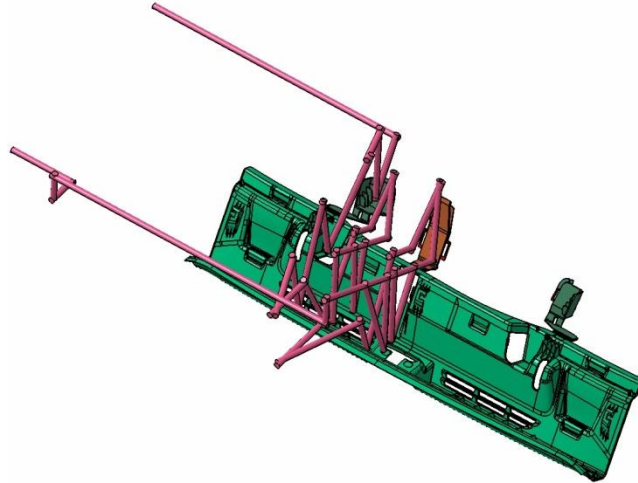


Figura 238 - Vista Isométrica do Sistema de Refrigeração do Circuito 3

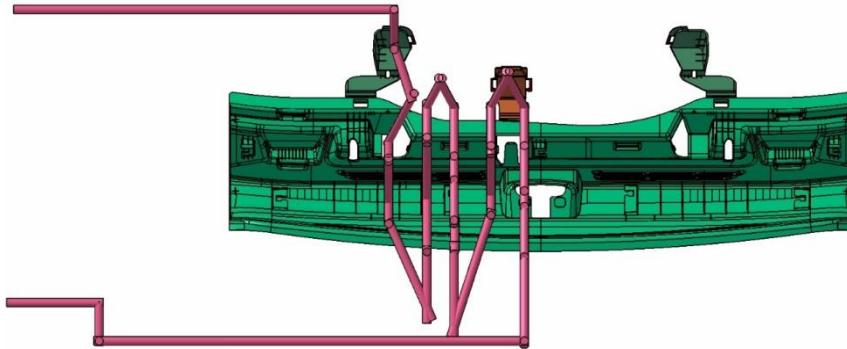


Figura 239 - Vista de Topo do Sistema de Refrigeração do Circuito 3

### Circuito 4

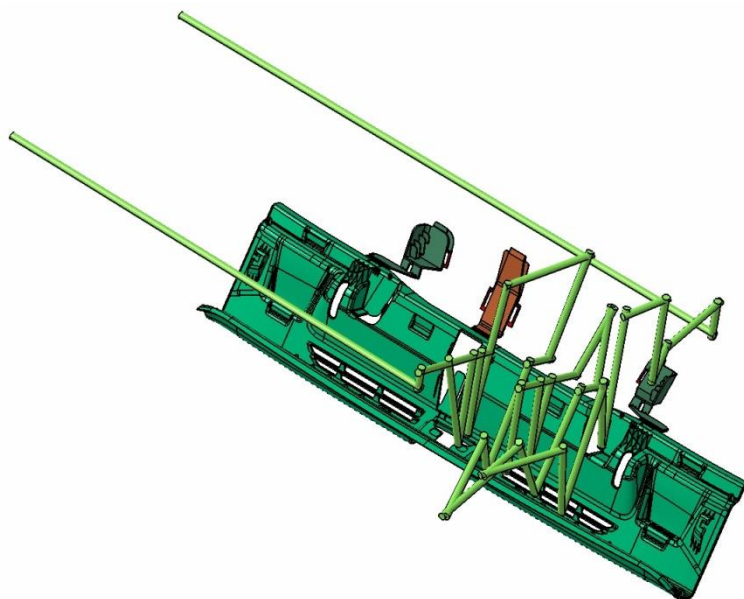


Figura 240 - Vista Isométrica do Sistema de Refrigeração do Circuito 4

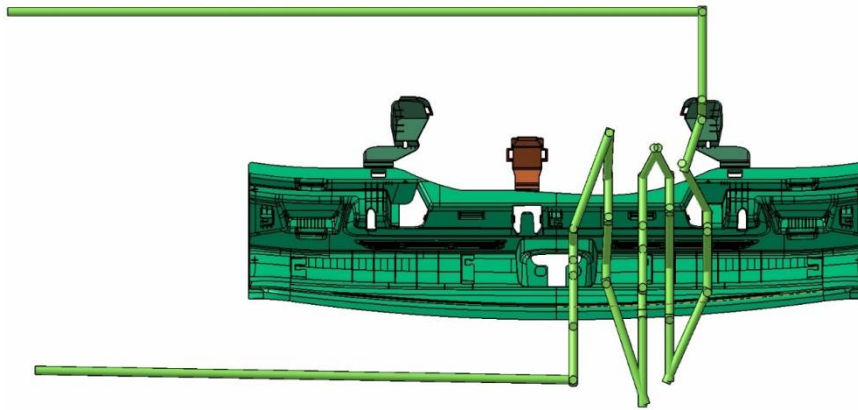


Figura 241 - Vista de Topo do Sistema de Refrigeração do Circuito 4

### Circuito 5 - Postiços

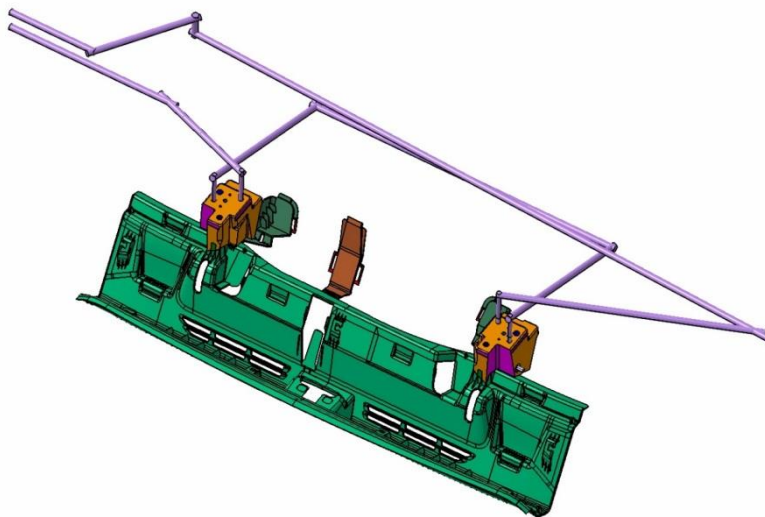


Figura 242 - Vista Isométrica do Sistema de Refrigeração do Postiço

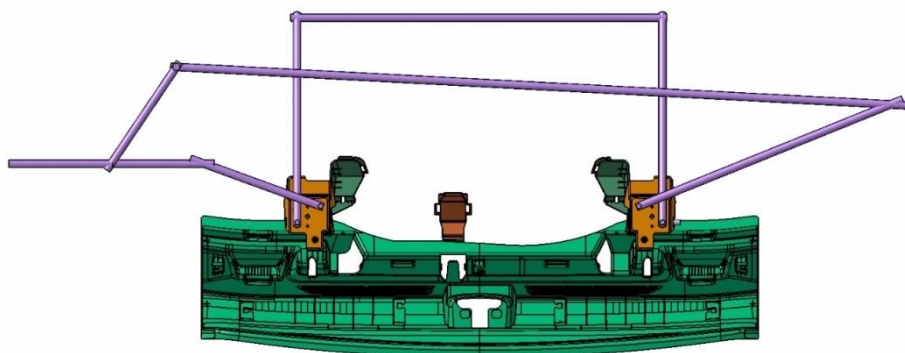


Figura 243 - Vista de Topo do Sistema de Refrigeração do Circuito 1

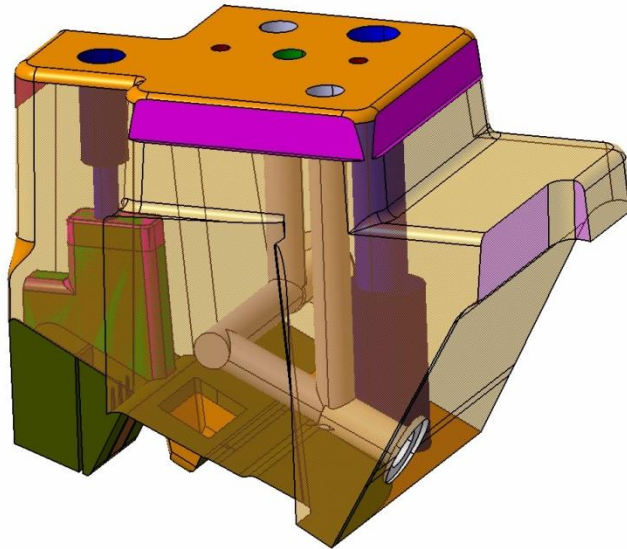


Figura 244 - Detalhe do Sistema de Refrigeração do Postiço

## Cavidade 2



Figura 245 - Vista Isométrica do Sistema de Refrigeração da Cavidade 2

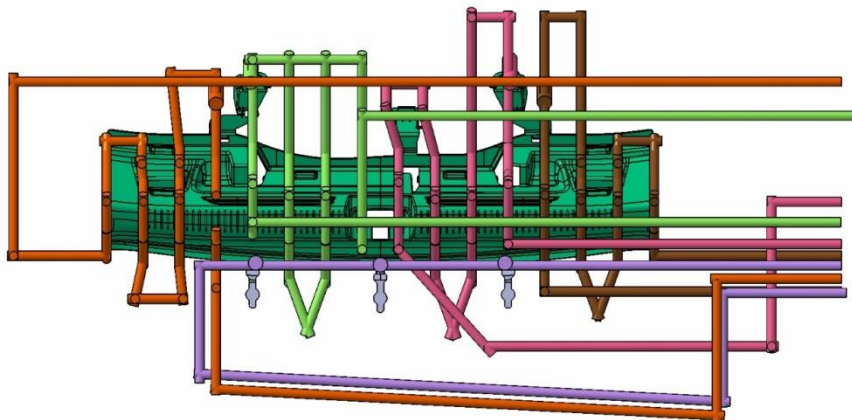


Figura 246 - Vista de Topo do Sistema de Refrigeração da Cavidade 2

## Circuito 1

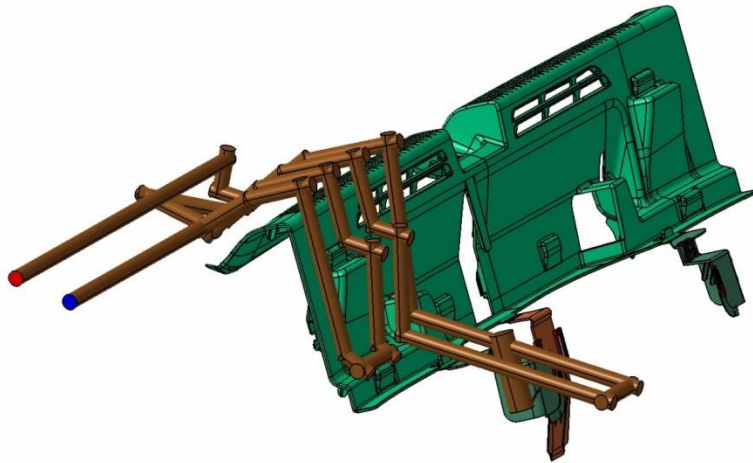


Figura 247 - Vista Isométrica do Sistema de Refrigeração do Circuito 1

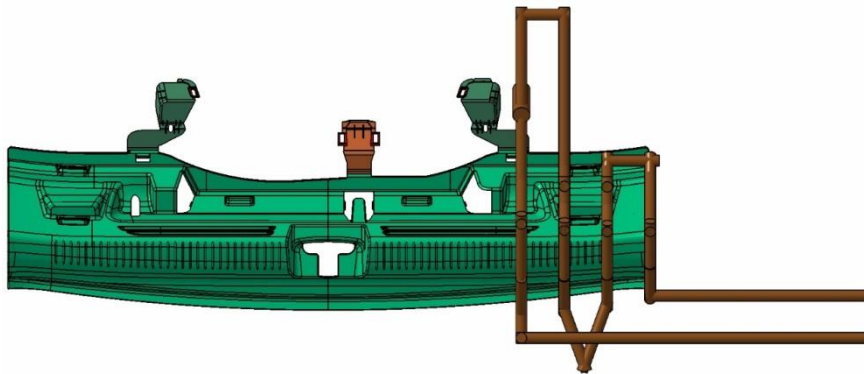


Figura 248 - Vista de Topo do Sistema de Refrigeração do Circuito 1

## Circuito 2

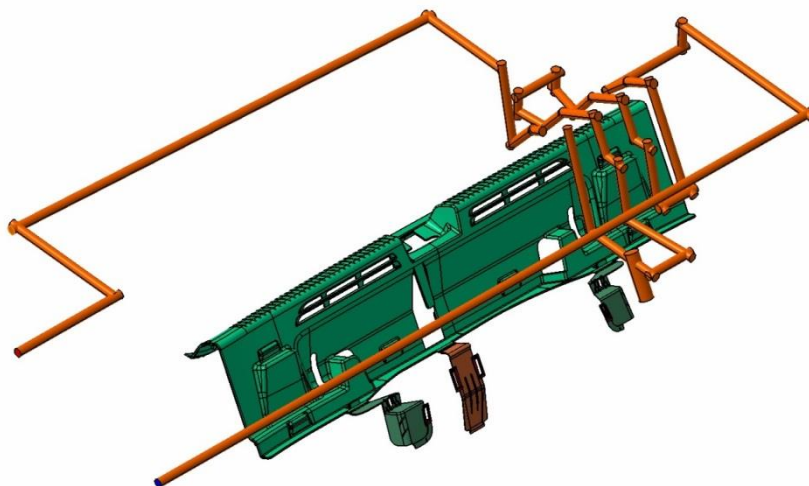


Figura 249 - Vista de Topo do Sistema de Refrigeração do Circuito 2

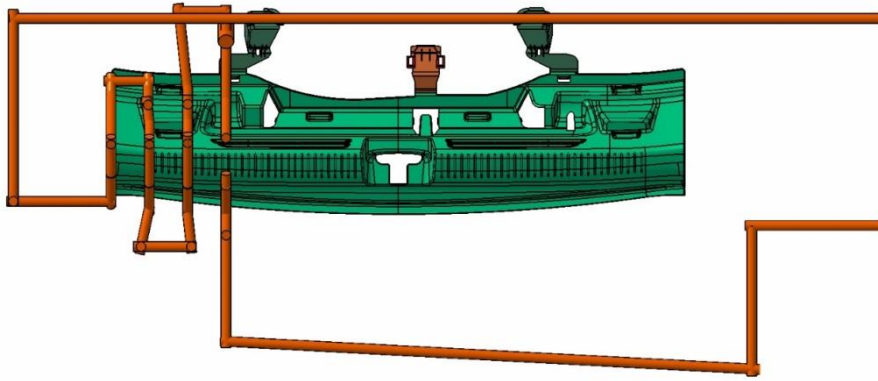


Figura 250 - Vista de Topo do Sistema de Refrigeração do Circuito 2

### Circuito 3

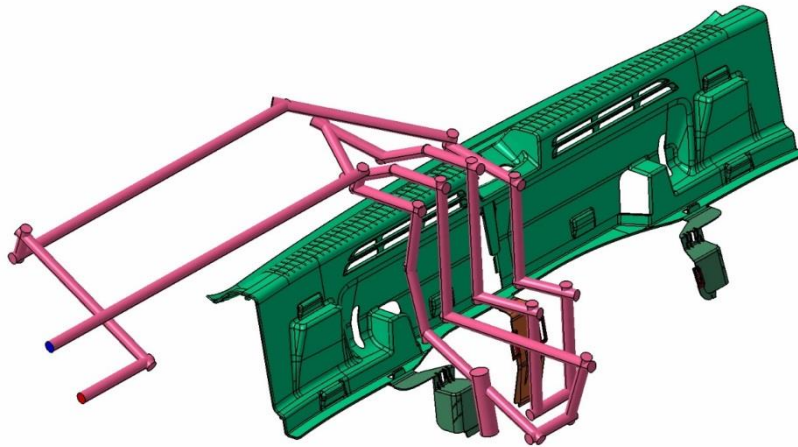


Figura 251 - Vista Isométrica do Sistema de Refrigeração do Circuito 3

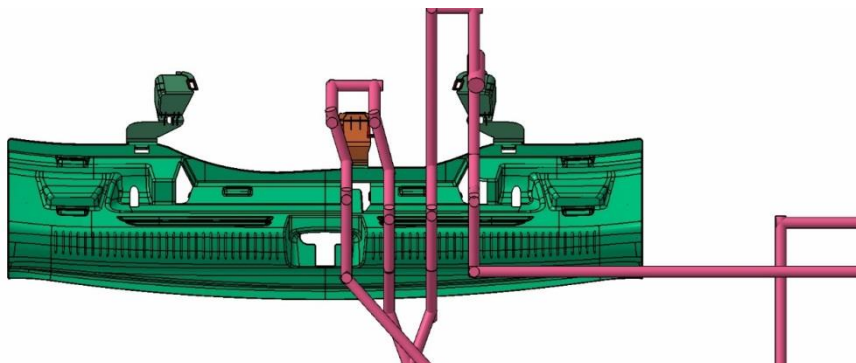


Figura 252 - Vista de Topo do Sistema de Refrigeração do Circuito 3

## Circuito 4

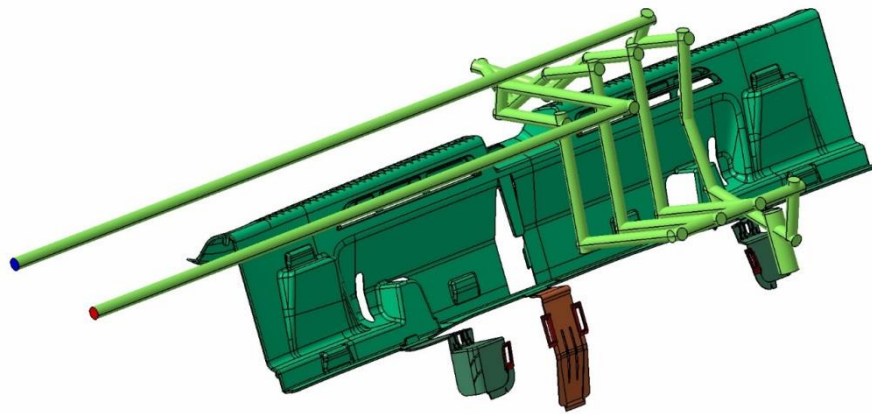


Figura 253 - Vista Isométrica do Sistema de Refrigeração do Circuito 4

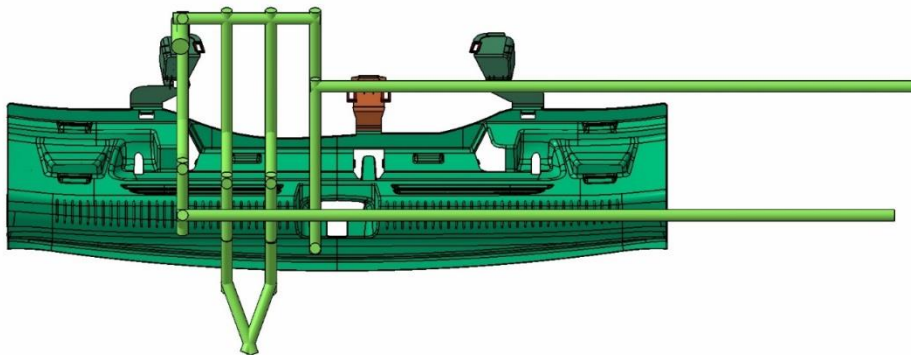


Figura 254 - Vista de Topo do Sistema de Refrigeração do Circuito 4

## Circuito 5 – Canais Injeção

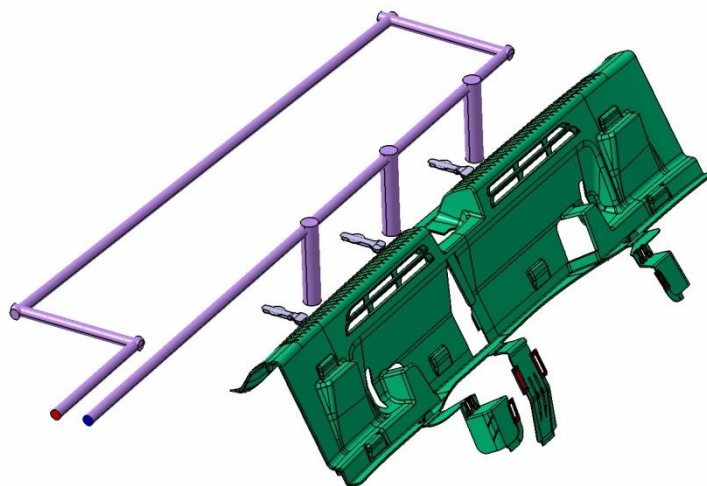


Figura 255 - Vista Isométrica do Sistema de Refrigeração dos Canais de Injeção

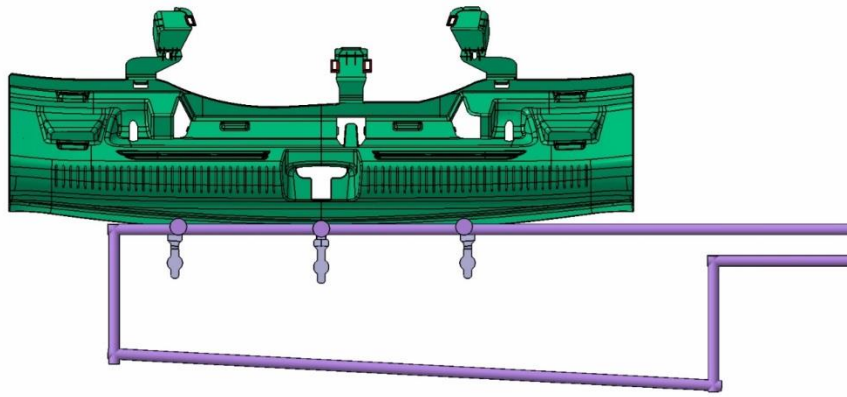


Figura 256 - Vista de Topo do Sistema de Refrigeração dos Canais de Injeção

Seguidamente, através da tabela 18, é analisado o rendimento das furações.

Tabela 18 – Análise do aproveitamento/rendimento das furações

Componente do molde	Circuitos	Rendimento
Frame 1	Macho 1	Furação total: 11269 mm Comprimento do circuito: 5469 mm Rendimento: 48,5%
		Furação total: 13857 mm Comprimento do circuito: 7291 mm Rendimento: 52,6%
	Cavidade 1	Furação total: 8736 mm Comprimento do circuito: 5477 mm Rendimento: 62,7%
		Furação total: 8688 mm Comprimento do circuito: 6278 mm Rendimento: 72,3%
		Furação total: 10215 mm Comprimento do circuito: 7181 mm Rendimento: 70,3%
		Furação total: 4508 mm Comprimento do circuito: 3721 mm Rendimento: 82,5%
Cavidade 1	Furação total: 11318 mm Comprimento do circuito: 5043 mm Rendimento: 44,6%	
	Furação total: 12165 mm Comprimento do circuito: 5659 mm	

			Rendimento: 46,5%	
		3	Furação total: 10026 mm Comprimento do circuito: 5541 mm Rendimento: 55,3%	
		4	Furação total: 11457 mm Comprimento do circuito: 5659 mm Rendimento: 49,4%	
		5	Furação total: 1105 mm Comprimento do circuito: 913 mm Rendimento: 82,6%	
		6	Furação total: 4494 mm Comprimento do circuito: 3510 mm Rendimento: 78,1%	
		7	Furação total: 2556 mm Comprimento do circuito: 1709 mm Rendimento: 66,9%	
		8	Furação total: 3656 mm Comprimento do circuito: 2441 mm Rendimento: 66,8%	
		9	Furação total: 2432 mm Comprimento do circuito: 1947 mm Rendimento: 80,1%	
		10	Furação total: 3724 mm Comprimento do circuito: 2659 mm Rendimento: 71,4%	
Frame 2	Macho 2	1	Furação total: 10336 mm Comprimento do circuito: 4102 mm Rendimento: 39,7%	
		2	Furação total: 14119 mm Comprimento do circuito: 7100 mm Rendimento: 50,3%	
		3	Furação total: 13000 mm Comprimento do circuito: 6711 mm Rendimento: 51,6%	
		4	Furação total: 13342 mm Comprimento do circuito: 7172 mm Rendimento: 53,8%	
		5	Furação total: 6671 mm Comprimento do circuito: 4552 mm Rendimento: 68,2%	
		Cavidade 2	1	Furação total: 7639 mm Comprimento do circuito: 3395 mm

	Rendimento: 44,4%
2	Furação total: 10465 mm Comprimento do circuito: 5976 mm Rendimento: 57,1%
3	Furação total: 11026 mm Comprimento do circuito: 4869 mm Rendimento: 44,2%
4	Furação total: 9810 mm Comprimento do circuito: 4942 mm Rendimento: 50,4%
5	Furação total: 4952 mm Comprimento do circuito: 2916 mm Rendimento: 29,7%

Com a tabela 18 de rendimento dos circuitos de água, pretendeu-se saber a percentagem de furação que é realmente utilizada. Pretende-se obter um rendimento acima dos 50% mas estes valores dependem muito da complexidade da geometria da peça.

### 3.6 Soluções para a fabricação do molde

Nas tabelas 19, 20, 21, 22 e 23 pretende-se descrever sumariamente os processos de fabrico envolvidos na fabricação do molde e seus componentes principais.

Tabela 19 - Etapas para o fabrico dos machos e das cavidades

Etapas	Figura
Os blocos de aço chegam ao armazém da empresa já galgados exteriormente.	

Figura 257 - Blocos de aço maciço



Figura 259 - Operação de desbaste

Realiza-se primeiramente os desbastes e posteriormente os acabamentos.



Figura 258 - Operação de acabamento

Realizam-se as furações dos sistemas de refrigeração e dos sistema hidráulico.



Figura 261 - Operação de furação dos sistemas de refrigeração e hidráulico



Figura 262 - Maquinagem de eléctrodos

Realiza-se a electro erosão para gravação de frisos da peça e a maquinagem de furos com elevada qualidade.

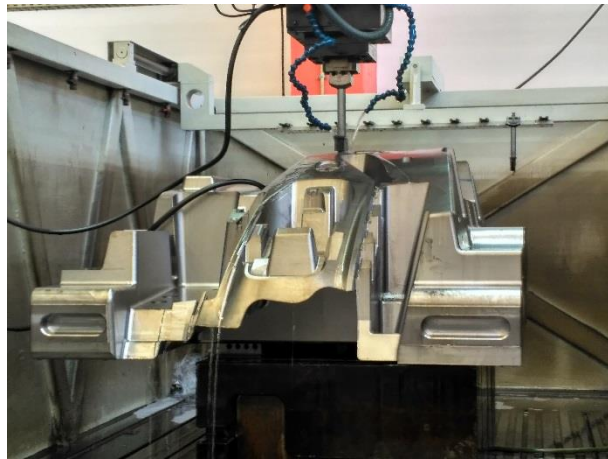


Figura 263 - Operação de electro erosão

Realizam-se os polimentos das cavidades e dos machos.



Figura 264 - Polimento

Tabela 20 - Etapas do fabrico das placas da estrutura

Etapas	Figura
<p>As placas chegam retificadas. Realiza-se a furação para as caixas dos carrinhos e furos passantes.</p>	 <p>Figura 265 - Placa de extração</p>

Tabela 21 - Etapas para o fabrico dos movimentos


Etapas	Figura
<p>Os blocos de aço chegam em bruto.</p>	 <p>Figura 266 - Blocos de aço</p>



Figura 267 - Desbaste de blocos

Realiza-se primeiramente os desbastes e posteriormente os acabamentos.

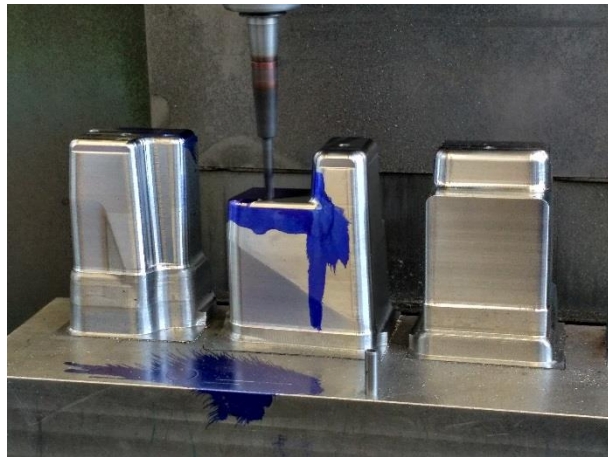


Figura 268 - Acabamento dos movimentos

Realiza-se a furação para a refrigeração.



Figura 269 - Furação de movimento

Envia-se os componentes para nitrurar.



Figura 270 - Movimento nitrurado

Tabela 22 - Etapas para o fabrico dos componentes de extração

Etapas	Figura
Os varões e tubos de aço chegam em bruto.	
Realiza-se o torneamento.	

Figura 271 - Varões de aço para maquinação de veios e guias

Figura 272 - Torneamento de componentes de extração

Fabricam-se os componentes de guiamento e deslize.



Figura 273 - Corrediças

Tabela 23 - Etapas de fabrico das placas de pressão e ajuste

Etapas

Figura

Maquinam-se as placas de pressão, que são posteriormente nitruradas.



Figura 274 - Placas de pressão

### 3.7 Seleção dos materiais para as diferentes zonas do molde

Existem diversas condicionantes no que concerne à escolha dos materiais das diferentes zonas do molde, tais como: número de injeções previstas para a vida do molde, acabamento necessário, tipo de material a injetar, esforços a que o molde estará sujeito, custo, etc. Normalmente, os materiais a usar no fabrico do molde são especificados pelo cliente no CEM.

Para fazer face às condicionantes enumeradas anteriormente, são necessários materiais com determinadas características mecânicas, capazes de fazer face aos problemas gerados por essas mesmas condicionantes.

As elevadas forças de fecho e pressões existentes na injeção de plásticos implicam grande tenacidade, resistência à flexão, compressão e fadiga por parte dos materiais. As cadências de produção elevadas, agregadas ao efeito do próprio material plástico no aço, implicam elevado desgaste. Isto pode ser combatido com uma maior dureza superficial. O tempo de fabrico também é importante para a escolha de materiais. Materiais que não possuam fácil maquinabilidade implicam elevados tempos de fabrico e influenciam o acabamento final, além de provocarem maior desgaste das ferramentas de fresagem e furação. Contudo, estes materiais são melhores no que diz respeito ao desgaste em produção.

### 3.7.1 Requisitos para o material das placas

Sendo um dos requisitos do molde que este permita a repetibilidade do ciclo milhares de vezes, então este está sujeito aos esforços de fadiga e flexão, igual número de vezes. Assim, é necessário dimensionar as placas para que estas aguentem os esforços referidos anteriormente. A dureza é um fator fulcral visto que é esta propriedade que evita o desgaste e define o grau de polimento da gravação. Um outro fator importante é a resistência à corrosão, devido aos canais de refrigeração que atravessam o molde, bem como os gases libertados aquando da injeção. Para uma redução do tempo de ciclo, é necessário que o aço tenha uma boa condutibilidade térmica para garantir que o calor acumulado no molde circule mais rapidamente.

O molde é formado por várias placas que, acopladas às placas das cavidades, servem para dar maior resistência ao molde e albergam outros componentes, como extratores, guias, etc. As características necessárias para as placas estão resumidas na tabela 24.

Tabela 24 - Características necessárias das placas do molde

Ref.	Descrição	Propriedades	Observações
		Resistência mecânica	
0001, 0017	Placa de encosto	Tenacidade Processo de fabrico Custo	São solicitadas à compressão, flexão e fadiga. Para obter a sua geometria final recorre-se a maquinação CNC.

0004, 0009, 0018, 0099D	Placa intermédia	Resistência mecânica Tenacidade Processo de fabrico Custo	São solicitadas à compressão, flexão e fadiga. Para obter a sua geometria final recorre-se a maquinação CNC.
0005, 0006, 0007, 0008, 0010	Calços	Resistência mecânica Tenacidade Processo de fabrico Custo	São solicitadas à compressão, flexão e fadiga. Para obter a sua geometria final recorre-se a maquinação CNC.
0200, 0201	Macho	Resistência mecânica Tenacidade Dureza Resistência à corrosão Processo de fabrico Custo	São solicitadas à compressão, flexão e fadiga. Para obter a sua geometria final recorre-se a maquinação CNC e à electro erosão. Para um polimento e desgaste mínimo, a microestrutura do aço deve ser homogénea e possuir a dureza adequada. Deve conter resistência à corrosão devido aos circuitos de refrigeração.
0100, 0101	Cavidade	Resistência mecânica Tenacidade Dureza Resistência à corrosão Processo de fabrico Custo	São solicitadas à compressão, flexão e fadiga. Para obter a sua geometria final recorre-se a maquinação CNC e à electro erosão. Para um polimento e desgaste mínimo, a microestrutura do aço deve ser homogénea e possuir a dureza adequada. Deve conter resistência à corrosão devido aos circuitos de refrigeração.

O módulo de *Young* indica a rigidez do material. É uma propriedade importante porque define a resistência que o material apresenta para se deformar elasticamente. Esta propriedade, juntamente com a tenacidade, permite perceber a capacidade do material para resistir à propagação de fendas, o que ajuda a perceber como irá resistir o material aos esforços a que irá ser sujeito em serviço.

3.7.1.1 Requisitos para a placa cavidade e placa macho

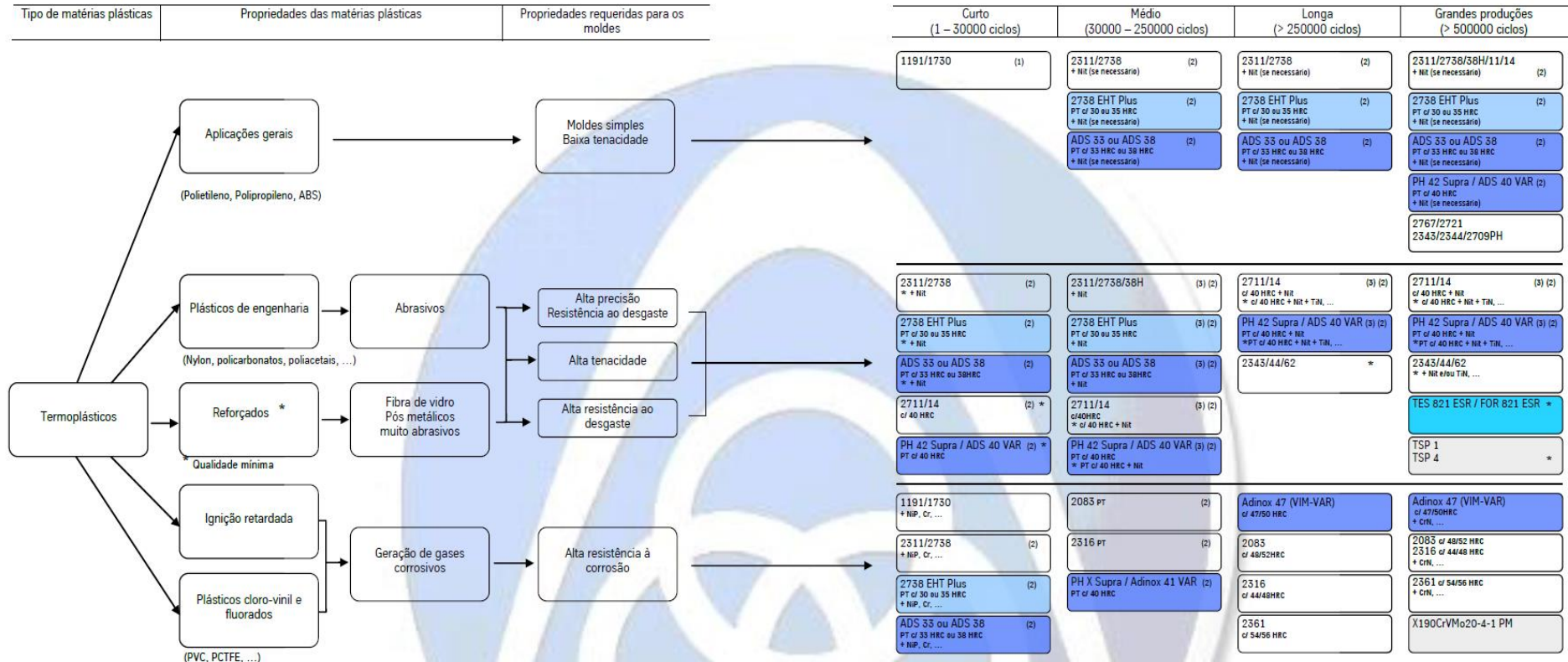


Figura 275 - Seleção de materiais para macho/cavidade (Thyssen)

De acordo com a Thyssen (figura 275), para a injeção de PP e para grandes produções (> 500000 ciclos), as placas macho e cavidade devem ser produzidas em 1.2311, 1.2738, 1.2738HH, 1.2711 ou 1.2714.

Nas placas cavidade e placa macho é importante que o aço possua as seguintes propriedades:

- Resistência mecânica;
- Tenacidade;
- Dureza;
- Resistência à corrosão;
- Processo de fabrico;
- Custo.

No CEM do cliente já está especificado que o material para o fabrico das cavidades e do macho terá de ser o aço 1.2738, mas de seguida tentar-se-á perceber o porquê dessa escolha.

Na tabela 25 apresenta-se os valores atribuídos às propriedades seleccionadas (consultar anexos). De referir que não se teve em consideração o processo de fabrico, visto que todos os materiais apresentam a mesma dificuldade de maquinar. Os valores sombreados a amarelo são aqueles que possuem melhores propriedades, isto é, para a resistência mecânica, dureza, tenacidade e resistência à corrosão deve-se ter o valor mais elevado possível enquanto em relação ao custo se passa exatamente o contrário.

Tabela 25 - Valores atribuídos às propriedades seleccionadas

Material	Resistência Mecânica (MPa)	Dureza (HB)	Tenacidade	Resistência à corrosão	Custo (€/Kg)
1.2311	950	300	8	8,5	1,62
1.2738	950	300	8,5	9	1,77
1.2738HH	1050	330	9	9	2,56
1.2711	1200	385	10	10	3,39

Tabela 26 – Ponderação das propriedades

	1/2	1/3	1/4	1/5	Importância	%
1.Resistência Mecânica	50	70	80	90	1	0,36
2.Custo	50				1	0,36
3.Dureza		30			0,43	0,154
4.Tenacidade			20		0,25	0,109
5.Corrosão				10	0,12	0,045
				Total	2,8	1

Na tabela 26, são ponderadas as importâncias das propriedades. A resistência mecânica é o requisito com maior peso já que o material deve oferecer resistência aos esforços a que está a ser solicitado. Numa indústria com tanta concorrência como a dos moldes, grande parte do custo total do molde encontra-se no aço. Assim, o custo do aço torna-se uma propriedade igualmente importante. A coluna de percentagem calcula-se dividindo o valor da importância da propriedade pelo valor total das propriedades.

Tabela 27 - Ponderação dos materiais

Material	Resistência Mecânica	Custo	Dureza	Tenacidade	Resistência à corrosão
1.2311	950/1200 = 0,79	1,62/1,62 = 1	300/385 = 0,78	8/10 = 0,8	8,5/10 = 0,85
1.2738	950/1200 = 0,79	1,62/1,77 = 0,92	300/385 = 0,78	8,5/10 = 0,85	9/10 = 0,9
1.2738HH	1050/1200 = 0,875	1,62/2,56 = 0,63	330/385 = 0,86	9/10 = 0,9	9/10 = 0,9
1.2711	1200/1200 = 1	1,62/3,39 = 0,48	385/385 = 1	10/10 = 1	10/10 = 1

Na tabela 27 calcula-se a ponderação das propriedades dos materiais. Assim, divide-se o valor desse material pelo máximo da propriedade, assinalados a amarelo na tabela 25. Quanto aos custos passa-se o inverso.

Tabela 28 - Índices de mérito

Material	Resistência Mecânica	Custo	Dureza	Tenacidade	Resistência à corrosão	$\Sigma$
1.2311	0,36x0,79 = 0,284	0,36x1 = 0,36	0,154x0,78 = 0,120	0,109x0,8 = 0,087	0,045x0,85 = 0,038	0,889
1.2738	0,36x0,79 = 0,284	0,36x0,92 = 0,331	0,154x0,78 = 0,120	0,109x0,85 = 0,093	0,045x0,9 = 0,040	0,868
1.2738HH	0,36x0,875 = 0,315	0,36x0,63 = 0,227	0,154x0,86 = 0,132	0,109x0,9 = 0,098	0,045x0,9 = 0,040	0,812
1.2711	0,36x1 = 0,36	0,36x0,48 = 0,173	0,154x1 = 0,154	0,109x1 = 0,109	0,045x1 = 0,045	0,841

Na tabela 28 calculam-se os índices de mérito de cada material, multiplicando as percentagens da tabela 26 com os valores ponderados da tabela 27. No final, somam-se estes valores.

Apesar de ter o maior índice de mérito, o 1.2311 não poderá ser considerado porque só apresenta propriedades homogêneas em espessuras até os 400 mm. Acima disso, as propriedades no núcleo são inferiores às propriedades da periferia. O 1.2738 é bastante semelhante ao 1.2311 mas possui melhores propriedades com espessuras superiores a 400 mm.

As propriedades do 1.2738 não são muito inferiores às do 1.2738 HH e do 1.2711 mas o seu preço é bastante mais reduzido. Sabendo que as características do 1.2738 são suficientes para o número de injeções pretendidas, seria um desperdício de dinheiro se o molde fosse feito num aço superior.

### 3.7.1.2 Requisitos para as placas de encosto, placas de extração e calços

As placas estruturais (encosto, extração e calços) são componentes não moldantes e as suas propriedades principais são:

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

No CEM do cliente já está especificado que o material para o fabrico das placas de estrutura terá de ser o 1.1730 mas de seguida tentar-se-á perceber o porquê dessa escolha.

Na tabela 29 apresentam-se os valores atribuídos às propriedades selecionadas (consultar anexos).

Os valores sombreados a amarelo são aqueles que possuem melhores propriedades, isto é, para a resistência mecânica, tenacidade e processo de fabrico, deve-se ter o valor mais elevado possível enquanto em relação ao custo se passa exatamente o contrário.

Tabela 29 - Valores atribuídos às propriedades selecionadas

Material	Resistência Mecânica (MPa)	Tenacidade	Processo de fabrico	Custo (€/Kg)
1.1730	330	8	8	1,66
1.2312	950	10	10	1,93

Tabela 30 - Ponderação das propriedades

	1/2	1/3	1/4	Importância	%
1.Resistência Mecânica	50	70	80	1	0,37
2.Custo	50			1	0,37
3.Tenacidade		30		0,43	0,16
4.Processo de fabrico			20	0,25	0,10
			Total	2,68	1

Na tabela 30, são ponderadas as importâncias das propriedades. A resistência mecânica é o requisito com maior peso já que o material deve oferecer resistência aos esforços a que está a ser solicitado. Numa indústria com tanta concorrência como a dos moldes, grande parte do custo total do molde encontra-se no aço. Assim, o custo do aço torna-se uma propriedade igualmente importante. A coluna de percentagem calcula-se dividindo o valor da importância da propriedade pelo valor total das propriedades.

Tabela 31 Ponderação dos materiais

Material	Resistência Mecânica	Custo	Tenacidade	Processo de fabrico
1.1730	330/950 = 0,35	1,66/1,66 = 1	8/10 = 0,8	8/10 = 0,8
1.2312	950/950 = 1	1,66/1,93 = 0,86	10/10 = 1	10/10 = 1

Na tabela 31 calcula-se a ponderação das propriedades dos materiais. Assim, divide-se o valor desse material pelo máximo da propriedade, assinalados a amarelo na tabela 25. Quanto aos custos passa-se o inverso.

Tabela 32 - Índices de mérito

Material	Resistência Mecânica	Custo	Tenacidade	Processo de fabrico	$\Sigma$
1.1730	0,37x0,35 = 0,13	0,37x1 = 0,37	0,16x0,8 = 0,128	0,10x0,8 = 0,08	0,71
1.2312	0,37x1 = 0,37	0,37x0,86 = 0,32	0,16x1 = 0,16	0,10x1 = 0,10	0,95

Na tabela 32 calculam-se os índices de mérito de cada material, multiplicando as percentagens da tabela 30 com os valores ponderados da tabela 31. No final, somam-se estes valores.

Apesar de ter um índice de mérito inferior, as placas de estrutura são fabricadas em 1.1730 devido ao seu custo menor. Como já foi referido anteriormente, apenas as placas de extração poderiam ser feitas em aço 1.2312 mas, como estas não possuem muita maquinaria, não existe possibilidade de empeno.

### 3.8 Seleção de componentes normalizados para o molde

#### **Micro-Switch**

Os *micro-switch* (figura 276) são fins de curso que deverão estar colocados nas extremidades da extração, permitindo desta forma saber em que parte do ciclo de extração o molde se encontra.



Figura 276 – *Micro-Switch* (Telemechanique)

#### **Distribuidor de água**

Os distribuidores de água (figura 277) permitem a ligação entre o sistema de refrigeração do molde e a máquina de injeção. É um acessório que permite diminuir o número de manguerias que ligam a máquina de injeção e o molde, facilitando a sua montagem/desmontagem e diminuindo a possibilidade de erro de montagem.



Figura 277 - Distribuidor de água (Giacomini)

### Acessórios de ligação de refrigeração

Os acessórios de ligação de refrigeração (figura 278) permitem a ligação entre o *Manifold* e a máquina de injeção.


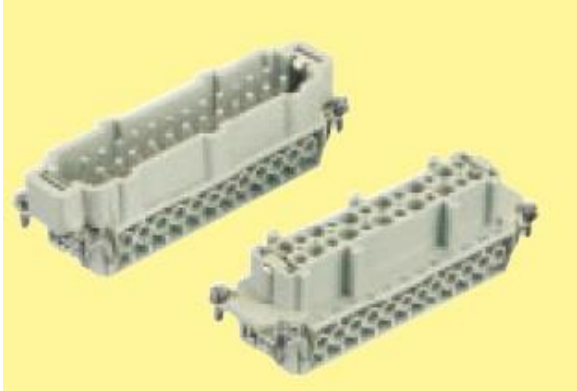



Figura 278 - Acessório de ligação (Staubli)

### Fichas elétricas

Na tabela 33 são representadas as fichas elétricas e as caixas das mesmas utilizadas no molde.

Tabela 33 - Componentes elétricos

Referência	Componente
<p>Base para ficha elétrica HARTING Ref. 09 30 024 0301</p>	 <p>Figura 279 - Base para ficha elétrica HARTING Ref. 09 30 024 0301</p>
<p>Ficha elétrica Ref. 09 33 024 2601</p>	 <p>Figura 280 - Ficha elétrica Ref. 09 33 024 2601</p>
<p>Base para ficha elétrica HARTING Ref. 19 20 003 1250</p>	 <p>Figura 281 - Base para ficha elétrica HARTING Ref. 19 20 003 1250</p>

Ficha elétrica  
Ref. 09 20 004 2711



Figura 282 - Ficha elétrica Ref. 09 20 004 2711

Base para ficha elétrica  
HARTING  
Ref. 19 20 003 1440



Figura 283 - Base para ficha elétrica HARTING  
Ref. 19 20 003 1440

Ficha elétrica  
Ref. 09 20 004 2611



Figura 284 - Ficha elétrica Ref. 09 20 004 2611

## Casquilhos e Guias

Na tabela 34 apresentam-se os casquilhos normalizados utilizados no molde.

Tabela 34 – Casquilhos e guias normalizados

Referência	Descrição
Casquilho Cumsa Ref. S51011/16-80-10	Permite o deslizamento e o guiamento do extrator do canal de injeção



Figura 285 - Casquilho Cumsa

Todas as guias e demais casquilhos são de fabrico interno do grupo Simoldes.

## Carrinhos

Na tabela 35 apresentam-se os carrinhos normalizados utilizados no molde.

Tabela 35 - Carrinhos normalizados

Referência	Descrição
Carrinho Sankyo Ref. KOCU-F-20-0	Suporta e permite a montagem dos componentes de deslize dos movimentos à extração.
Carrinho Sankyo Ref. KOCU-F-30-4	Suporta e permite a montagem dos componentes de deslize dos movimentos à extração.



Figura 286 - Carrinho Sankyo



Figura 287 - Carrinho Sankyo

Todos os restantes carrinhos são de fabrico interno do grupo Simoldes.

## Cavilhas e parafusos

Na tabela 36 apresentam-se as cavilhas e os parafusos normalizados utilizados no molde.

Tabela 36 - Cavilhas e parafusos normalizados

Referência	Descrição	
Perno roscado Rabourdin Ref. 531-4x8	Permite roscar a cabeça do pino de retorno ao veio onde está alojado.	 <p>Figura 288 - Perno Roscado</p>
Perno roscado Rabourdin Ref. 1020-24-25	Permite roscar os extratores à placa de extração.	 <p>Figura 289 - Perno Roscado</p>
Perno DME Ref. PM 12x120	Permite a fixação de um movimento à extração.	 <p>Figura 290 - Perno</p>
Cavilha tubular Hasco Ref. Z20/30x100	Permite o alinhamento dos componentes aquando da montagem.	 <p>Figura 291 - Cavilha tubular</p>

ISO 8735 – Cavilha  
S21-8x30

Permite o alinhamento  
dos componentes  
aquando da montagem.



Figura 292 - Cavilha

Cavilha Hasco  
Ref. Z26/12x80

Permite o alinhamento  
dos componentes  
aquando da montagem.



Figura 293 - Cavilha

DIN 912 – 12.9  
Parafusos de cabeça  
cilíndrica (M4, M5, M6,  
M8, M10, M12, M20,  
M24, M30)

Permite a fixação dos  
componentes.



Figura 294 - Parafusos DIN 912

## Molas

Na tabela 37 apresentam-se as molas normalizadas utilizados no molde.

Tabela 37 - Molas normalizadas

Referência	Descrição
Mola de gás Nitrogas Ref. G-750-160	Faz movimentar a placa de extração.



Figura 295 - Mola de gás

Mola Danly  
Ref. 9-1204-1 1

Localizada na base dos pinos de retorno, compensa possíveis falhas no fecho do molde.



Figura 296 - Mola

### Componentes de vedação e orientação dos circuitos de refrigeração

Na tabela 38 apresentam-se os componentes de vedação e orientação normalizados utilizados no molde.

Tabela 38 - Componentes normalizados do sistema de refrigeração

Referência	Descrição	
Vedante Parker Ref. 2-012-VMQ	Tem como função ser mais uma barreira de proteção para que não existam fugas de água no molde.	 <p>Figura 297 - Vedante</p>
Vedante Parker Ref. 6-129-EPDM	Tem como função ser mais uma barreira de proteção para que não existam fugas de água no molde.	 <p>Figura 298 - Vedante</p>

Bujão DIN 906

Serve como vedante dos canais dos sistemas de refrigeração



Figura 299 - Bujão

Taco Hasco  
Ref. Z942/15

Serve como orientador de fluxo nos sistemas de refrigeração



Figura 300 - Taco

### Extratores

Os extratores (figura 301) são componentes de extração que permitem a descolagem de zonas de peça a direito.



Figura 301 - Extrator (DME)

### Botões de encosto

Os botões de encosto (figura 302) são uma medida de segurança, que não permitem que as placas de extração contactem com as placas traseiras dos lados móveis.



Figura 302 - Botões de encosto (DME)

### 3.9 Dimensionamento do molde

#### 3.9.1 Dimensionamento das placas e guias do molde

##### Cálculo da força de fecho

$$F_f = \frac{AP * PM * KM * Ncav * CS}{1000} \quad (10)$$

Em que:

$F_f$  – Força de fecho [N];

AP – Área projetada [mm<sup>2</sup>]

PM – Pressão média de injeção [MPa]

KM – Constante relativa ao tipo de material;

Ncav – Número de cavidades;

CS – Coeficiente de segurança (compreendido entre 1,10 e 1,20).

$$F_f = \frac{(511556 + 204288) * 15 * 1 * 2 * 1,15}{1000} = 24696,62 \text{ kN}$$

##### Dimensionamento placa macho e calços *Frame 1*

Para dimensionar o macho e os calços (figura 303), é necessário saber a tensão admissível em cada componente. O material do macho é em 1.2738 enquanto os calços são em F10.

$$\sigma = \frac{Rm}{CS} \quad (11)$$

Em que:

$\sigma$  – Tensão admissível [MPa];

$Rm$  – Tensão rotura [MPa];

$CS$  – Coeficiente segurança.

Assim, para o 1.2738 tem-se:

$$\sigma = \frac{996}{5} = 199,2 \text{ MPa}$$

E para o F10:

$$\sigma = \frac{560}{5} = 112 \text{ MPa}$$

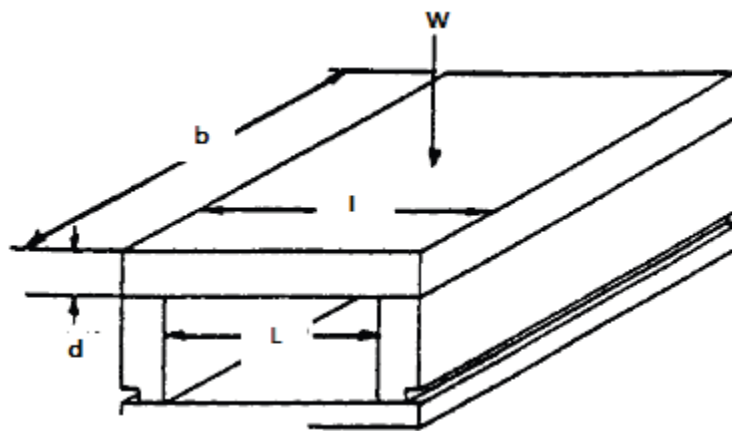


Figura 303 - Posicionamento dos calços

$$\sigma = \frac{WL}{8Z} \quad (12)$$

$$Z = \frac{bd^2}{6} \quad (13)$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (14)$$

Em que:

W – Força aplicada [N];

$\sigma$  – Tensão admissível [MPa];

L – Distância entre calços [mm];

Z – Módulo resistência à flexão [mm<sup>3</sup>];

A – Área [mm<sup>2</sup>];

B – Comprimento da placa [mm];

C – Largura da placa [mm];

d – Espessura da placa [mm].

Para o macho:

$$\sigma = \frac{WL}{8Z} \Leftrightarrow 199,2 = \frac{7673340 \cdot 620}{8Z} \Leftrightarrow Z = 2985360,7 \text{ mm}^3$$

$$Z = \frac{Bd^2}{6} \Leftrightarrow 2985360,7 = \frac{1496 d^2}{6} \Leftrightarrow d = 109,4 \text{ mm}$$

A espessura mínima da placa macho 1 é 109,4 mm.

Para os calços:

$$\sigma = \frac{F}{A} \Leftrightarrow 112 = \frac{7673340}{A} \Leftrightarrow A = 68511,9 \text{ mm}^2$$

Os calços deverão ter uma área mínima de 68511,9 mm<sup>2</sup>.

## Dimensionamento placa macho e calços Frame 2

Para o macho:

$$\sigma = \frac{WL}{8Z} \Leftrightarrow 199,2 = \frac{3064320 \cdot 620}{8Z} \Leftrightarrow Z = 1192192,8 \text{ mm}^3$$

$$Z = \frac{Bd^2}{6} \Leftrightarrow 1192192,8 = \frac{1496 d^2}{6} \Leftrightarrow d = 69,1 \text{ mm}$$

A espessura mínima da placa macho 2 é 69,1 mm.

Para os calços:

$$\sigma = \frac{F}{A} \Leftrightarrow 112 = \frac{3064320}{A} \Leftrightarrow A = 27360 \text{ mm}^2$$

Os calços deverão ter uma área mínima de 27360 mm<sup>2</sup>.

### Dimensionamento da espessura mínima da cavidade 1

A espessura da cavidade é calculada através da expressão:

$$t = \frac{5 W L^4}{32 E y h}^{1/3} \quad (15)$$

$$W = P h \quad (16)$$

Em que:

t – Espessura mínima da cavidade [mm];

W – Carga na parede lateral da cavidade [N/mm];

L – Comprimento da cavidade [mm];

E – Módulo de Young [MPa];

y – Deflexão permitida na parede cavidade [mm];

h – Altura cavidade [mm];

P – Pressão na cavidade [MPa].

Para facilitar os cálculos (devido à geometria complexa da peça), a peça é considerada um bloco sólido com as dimensões 1006 \* 512 \* 214 [mm].

$$W = P h$$

$$t = \frac{5 W L^4}{32 E y h}^{1/3} = \frac{5 * (15 * 214) * 512^4}{32 * 210000 * 0,025 * 214}^{1/3} = 313 \text{ mm}$$

### Dimensionamento da espessura mínima da cavidade 2

Para facilitar os cálculos (devido à geometria complexa da peça), a peça é considerada um bloco sólido com as dimensões 1006 \* 512 \* 214 [mm].

$$W = P h$$

$$t = \frac{5 W L^4}{32 E y h}^{1/3} = \frac{5 * (15 * 183) * 228^4}{32 * 210000 * 0,025 * 183}^{1/3} = 106,5 \text{ mm}$$

### Guias principais

Para o dimensionamento de extratores e guias aplicamos o critério de Euler, que diz:

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

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

Em que:

F – Força a que o extrator está sujeito [N];

L – Comprimento extrator [mm];

E – Módulo de Young [MPa];

I – Momento Inércia à flexão [mm<sup>4</sup>];

r – raio do extrator [mm];

m – constante.

As 1250 toneladas (12262,5 kN) de força de fecho são divididas pelas guias existentes.

$$F = \frac{12262,5}{6} = 2043,75 \text{ kN}$$

$$2043750 = \frac{1 \cdot \pi^2 \cdot 210000 \cdot I}{500^2} \Leftrightarrow I = 246518,1 \text{ mm}^4$$

$$I = \frac{\pi r^4}{4} \Leftrightarrow 246518,1 = \frac{\pi r^4}{4} \Leftrightarrow r = 23,7 \text{ mm}$$

As guias principais são *standard* interno e a medida seguinte é diâmetro 50 mm.

### 3.9.2 Dimensionamento do sistema de arrefecimento

#### Cálculo do tempo de arrefecimento da peça

$$\theta = \frac{-t^2}{2 \pi \alpha} \cdot \log\left[\frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{T_x - T_m}{T_c - T_m}\right)\right] \quad (19)$$

Em que:

$\theta$  – Tempo mínimo arrefecimento [s];

$t$  – Espessura peça [mm];

$\alpha$  – Difusividade térmica [cm<sup>2</sup>/s];

$T_x$  – Temperatura extração peça [°C];

$T_m$  – Temperatura do molde [°C];

$T_c$  – Temperatura no cilindro [°C].

Ambas as peças possuem a mesma espessura (2,53 mm), são do mesmo material e têm temperaturas (de extração, do molde e de cilindro) idênticas, logo o cálculo é igual para as duas.

$$\theta = \frac{-0,253^2}{2 \pi \cdot 7,9 \cdot 10^{-4}} \cdot \log\left[\frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{85-50}{240-50}\right)\right] = 10,8 \text{ s}$$

**Cálculo do caudal do fluido de arrefecimento**

$$q = \dot{m} [Cp (T1 - T2) + L] \quad (20)$$

Em que:

q – Quantidade de calor retirada [Kcal/s];

$\dot{m}$  – Quantidade de material injetado por segundo [Kg/s];

Cp – Calor específico do material plástico [kcal/Kg · °C];

T1 – Temperatura de injeção do material [°C];

T2 – Temperatura do molde [°C];

L – Calor latente de fusão [kcal/Kg].

$$q = 1,4 * [0,54 * (240 - 50) + 23,9] = 177,1 \text{ Kg/s}$$

O caudal mássico da água é dado por:

$$\dot{m} = \frac{q}{k (Ts - Te)} \quad (21)$$

Em que:

$\dot{m}$  - Caudal mássico da água [Kg/s];

q – Quantidade de calor a ser retirada [kcal/s];

Ts – Temperatura de saída [°C];

Te – Temperatura de entrada [°C];

k – Coeficiente de eficácia (tabela 39).

Tabela 39 - Coeficiente de eficácia dos canais de arrefecimento (Harada,2004)

	<b>K</b>
Canais de resfriamento perfurados na placa da cavidade ou nos núcleos machos	0,64
Canais de resfriamento perfurados nas placas de encosto	0,5
Canais de resfriamento que usam tubos de cobre	0,1

$$\dot{m} = \frac{q}{k (T_s - T_e)} = \frac{177,1}{0,64 * (50 - 45)} = 55,3 \text{ Kg/s} = 55,3 \text{ l/s}$$

### 3.9.3 Dimensionamento do sistema de ejeção da peça

#### Força de extração

$$F_e = \frac{St E A \mu}{d \left( \frac{d}{2t} - \frac{d}{4t} \nu \right)} \quad (22)$$

$$St = (\alpha \Delta T) d \quad (23)$$

Em que:

$F_e$  – Força extração [N];

$St$  – contração térmica do plástico relativamente ao diâmetro [mm];

$E$  – Módulo de Young [MPa];

$A$  – Área contacto entre peça e molde [mm<sup>2</sup>];

$\mu$  – Coeficiente atrito entre o plástico e o aço;

$d$  – Diâmetro do circulo equivalente ao perímetro da cavidade [mm];

$t$  – Espessura da peça [mm];

$\nu$  – Coeficiente de Poisson do plástico;

$\alpha$  - Coeficiente de expansão térmica [K<sup>-1</sup>];

$\Delta T$  – Diferença de temperatura entre a injeção e a extração da peça [K].

Trim Lower Tailgate

$$\text{Perímetro} = 2 (1006 + 512) = 3036 \text{ mm}$$

$$\text{Perímetro} = \pi d \Leftrightarrow 3036 = \pi d \Leftrightarrow d = 966,4 \text{ mm}$$

$$St = (85E - 6 * (240 - 50)) * 966,4 = 15,6 \text{ mm}$$

$$Fe = \frac{15,6 * 2100 * 1006 * 512 * 0,36}{966,4 \left( \frac{966,4}{2 * 2,53} - \frac{966,4}{4 * 2,53} * 0,3868 \right)} = 40803,1 \text{ N}$$

Rear End Panel

$$\text{Perímetro} = 2 (895 + 228) = 2246 \text{ mm}$$

$$\text{Perímetro} = \pi d \Leftrightarrow 2246 = \pi d \Leftrightarrow d = 714,9 \text{ mm}$$

$$St = (85E - 6 * (240 - 50)) * 714,9 = 11,5 \text{ mm}$$

$$Fe = \frac{11,5 * 2100 * 895 * 228 * 0,36}{714,9 \left( \frac{714,9}{2 * 2,53} - \frac{714,9}{4 * 2,53} * 0,3868 \right)} = 21776,1 \text{ N}$$

**Cálculo do diâmetro mínimo dos extratores**

$$F = \frac{m \pi^2 E l}{L^2} \quad (24)$$

$$I = \frac{\pi r^4}{4} \quad (25)$$

Como a peça *Trim Lower Tailgate* não necessita de extratores, vai ser calculado o diâmetro mínimo para os extratores do *Rear End Panel*. Assim:

$$F = \frac{21776,1}{10} = 2177,61 \text{ N}$$

$$2177,61 = \frac{1 \cdot 210000 \cdot I}{410^2} \Leftrightarrow I = 1743,1 \text{ mm}^4$$

$$1743,1 = \frac{\pi r^4}{4} \Leftrightarrow r = 6,9 \text{ mm}$$

A maioria da força de extração calculada anteriormente é exercida pelos movimentos à extração e levantadores presentes no molde. Os extratores apenas servem para desmoldar partes específicas do molde de difícil acesso. Por isso, foram colocados extratores de 10 mm de diâmetro, apesar de serem recomendados extratores de 15 mm.

### 3.10 Processos de fabrico utilizados e respetiva sequência de fabrico

O fluxograma da figura 304 apresenta os processos de fabrico necessários à conceção do molde e respetiva sequência.

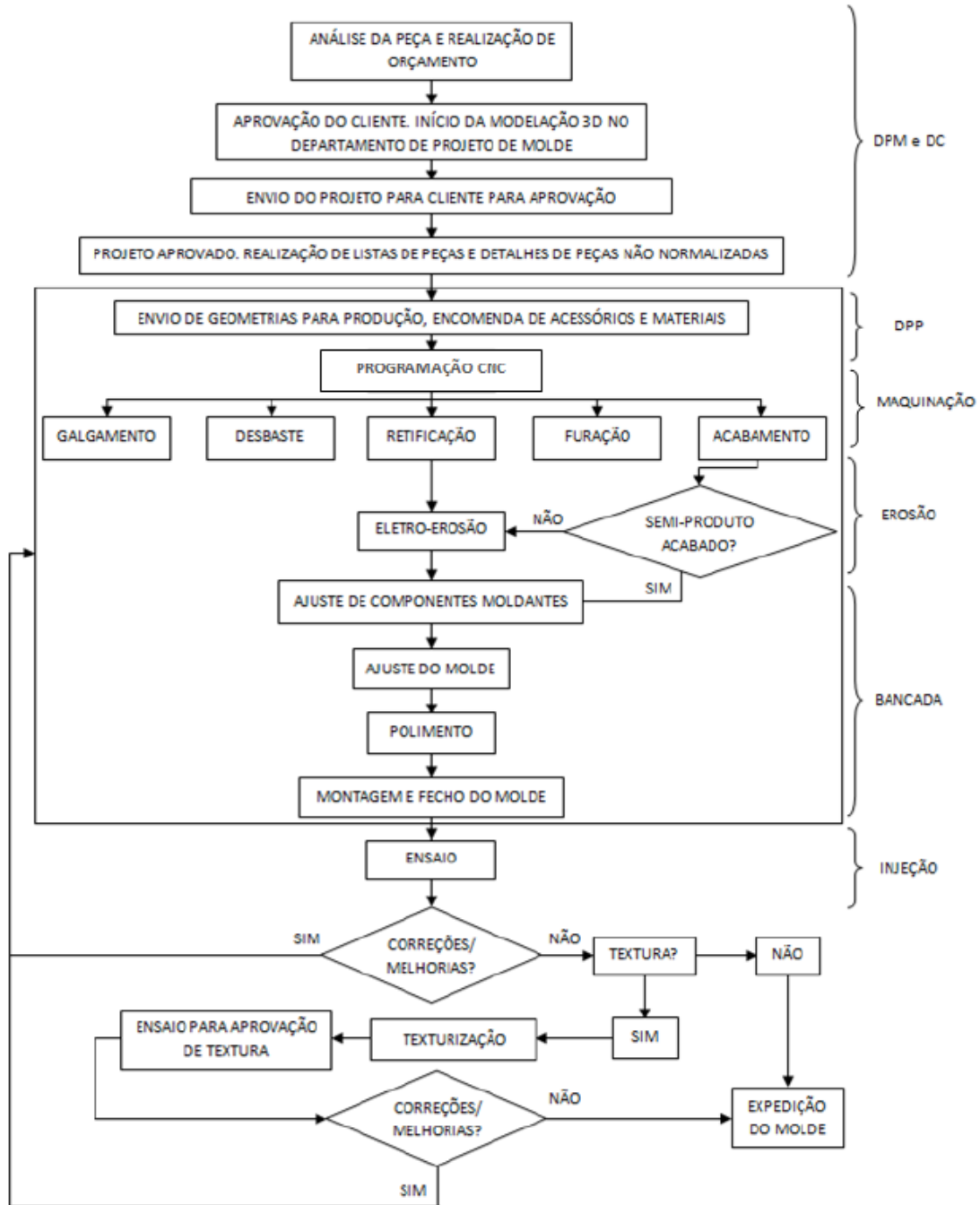


Figura 304 - Fluxograma do processo de fabrico

Na tabela 40 apresenta-se a função de cada sector.

Tabela 40 - Descrição das funções de todas as secções envolvidas no fabrico do molde


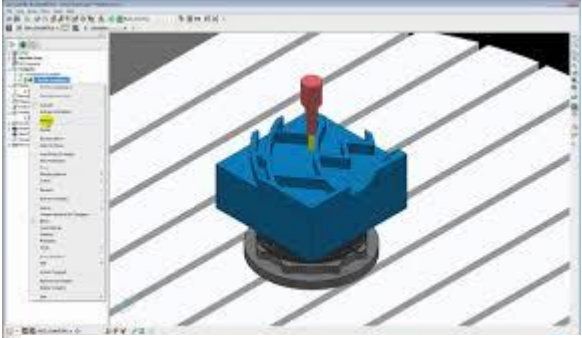

Secção	Funções	
Departamento de projeto de molde (DPM)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analisar a peça enviada pelo cliente;</li> <li>- Realização de preliminares;</li> <li>- Elaboração do modelo 3D de todos os componentes moldantes;</li> <li>- Elaboração de toda a mecânica do molde.</li> </ul>	
Departamento comercial (DC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Envio de preliminares para o cliente;</li> <li>- Orçamentação do molde.</li> </ul>	<p>Figura 305 - Departamento de Projeto de Molde</p>
Departamento de planeamento e produção (DPP)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Simulação através de <i>software</i> dos tempos de maquinação e ferramentaria a utilizar;</li> <li>- Distribuição do trabalho pelas máquinas.</li> </ul>	
Maquinação	Realizam-se as operações de fresagem e torneamento dos componentes do molde.	

Figura 306 - Software Powermill

Figura 307 - Nave de maquinação

Furação

Realiza-se os furos para o sistema de arrefecimento e circuitos de óleo.



Figura 309 - Máquina de furações

Erosão

Realiza-se operações de erosão nos componentes que requerem deste tipo de maquinação.



Figura 310 - Máquina de eletro-erosão

Bancada

- Polimento do molde;  
- Ajuste e montagem dos componentes.



Figura 311 - Nave das bancadas

Ensaio

Realiza-se os ensaios de injeção que permitem verificar o estado do molde e a qualidade da peça a obter.



Figura 312 - Máquina de injeção

### 3.11 Estimativa de custos para o molde

#### 3.11.1 Custos associados a matérias-primas

Na tabela 41 são apresentados os valores correspondentes à orçamentação do molde em estudo.

Tabela 41 - Custos associados a matérias-primas

Comp.	Descrição	Qtd.	Dimensões [mm]	Valor [€]
0001	Placa de encosto lado injeção	2	1896x1506x75	4.830,99
0005	Calço	2	1596x125x314	1.413,14
0006	Calço	2	1596x125x314	1.413,14
0011	Placa de extração	2	1896x946x65	2.629,99
0014	Placa de extração (suporte extratores)	2	1896x946x45	1.820,76
0017	Placa encosto lado extração	2	1896x1506x75	4.830,99
0018	Placa de Alojamento do Sistema de Injeção	2	1596x1206x150	6.513,03
0023	Guia principal	8		704,00
0026	Casquilho da guia principal	8		286,35
0099	Outros elementos de estrutura	16		40,59
0100	Cavidade	2	1596x1206x400	27.494,20
0200	Macho	2	1596x1206x490	33.680,40
0200A	Postiço do Macho	10	50x50x75	33,49
0200B	Postiço do Macho	2	100x100x80	28,57
0500	Movimento à extração	7	100x100x75	93,75
0501	Movimento à extração	1	200x100x120	42,85

0502	Movimento à extração	10	100x100x100	178,55
0540	Levantador	5	80x80x75	42,86
0595	Carrinho	7		494,62
0596	Carrinho	2		308,00
0597	Carrinho	10		706,60
0615	Veio movimento à extração	4		96,25
0616	Veio movimento à extração	1		37,40
0617	Veio movimento à extração	5		137,50
0650	Veio do levantador	3		68,75
0665	Casquilho do mov. à extração	7		98,56
0666	Casquilho do mov. à extração	2		29,02
0667	Casquilho do mov. à extração	10		140,80
0670	Casquilho do levantador	5		70,40
0685	Chaveta do mov. Extr/Levantador	7		61,60
0686	Chaveta do mov. Extr/Levantador	5		44,00
0687	Chaveta do mov. Extr/Levantador	2		22,00
0688	Chaveta do mov. Extr/Levantador	10		88,00
0700	Movimento hidráulico	1	200x200x200	142,84
0725	Corrediça do Mov. Hidráulico	2	170x40x40	55,19
0735	Placa deslize Mov. Hidráulico	2	200x50x12	24,34
0745	Placa de ajustamento Mov. Hidráulico	2	80x60x12	1,81
0775	Cilindro hidráulico do Mov.	1		464,75
0900	Sistema de injeção	10		67.968,77
1001	Parafuso de cabeça cilíndrica	2		0,81
1002	Parafuso de cabeça cilíndrica	4		4,00
1003	Parafuso de cabeça cilíndrica	10		51,99
1004	Parafuso de cabeça cilíndrica	32		8,94
1005	Parafuso de cabeça cilíndrica	12		3,35
1006	Parafuso de cabeça cilíndrica	10		10,01
1007	Parafuso de cabeça cilíndrica	2		0,24
1008	Parafuso de cabeça cilíndrica	16		7,50
1009	Parafuso de cabeça cilíndrica	7		0,78
1010	Parafuso de cabeça cilíndrica	7		0,23
1011	Parafuso de cabeça cilíndrica	5		0,56
1012	Parafuso de cabeça cilíndrica	5		0,17
1013	Parafuso de cabeça cilíndrica	10		1,91
1014	Parafuso de cabeça cilíndrica	7		1,74
1015	Parafuso de cabeça cilíndrica	8		0,19
1016	Parafuso de cabeça cilíndrica	2		0,43
1017	Parafuso de cabeça cilíndrica	2		0,07
1018	Parafuso de cabeça cilíndrica	10		1,12

1019	Parafuso de cabeça cilíndrica	10	0,33
1020	Parafuso de cabeça cilíndrica	8	0,90
1380	Mola	6	13,08
1400	Bujão	100	44,01
1401	Bujão	3	1,32
1402	Bujão	3	1,32
1430	Freio	7	1,31
1431	Freio	5	0,94
1432	Freio	1	0,26
1433	Freio	10	1,87
1450	Placa	4	13,20
1451	Placa	4	15,40
1500	Cavilha tubular	10	27,78
1501	Cavilha	4	2,38
1620	Olhal	4	1.830,40
1680	Esquemas de Refrigeração	8	66,53
1700	Distribuidor de água	4	1.365,79
1720	Ligações de refrigeração	2	15,22
1721	Ligações de refrigeração	2	15,22
1740	Tubo rígido de refrigeração	1	13,83
1741	Tubo rígido de refrigeração	1	13,83
1800	Guia da placa de extração	6	1.980,00
1806	Casquilho guia placa extração	12	394,28
1810	Perno de retorno	12	258,27
1840	Cilindro hidráulico da extração	8	3.168,00
1850	Extrator	100	1.387,43
1900	Botão de encosto	32	123,35
2000	Caixa elétrica	2	26,20
2000	Caixa elétrica	4	98,87
2020	Ficha elétrica	2	23,94
2030	Micro-interruptor	8	173,36
2031	Micro-interruptor	8	81,72
2032	Micro-interruptor	8	54,03
2033	Micro-interruptor	4	117,04
2110	Divisor de Fluxo	1	647,96
2115	Distribuidor de Óleo	2	742,70
2135	Tubo hidráulico rígido	10	96,28
2160	Ligações hidráulicas	16	49,00
Valor Total			170.100,24

Para além dos componentes orçamentados anteriormente, foi acrescentado um sistema de içamento, no valor de 5000 €, perfazendo um total de 175.100,24€ para os custos associados a matérias-primas.

## 3.11.2 Custos de mão-de-obra associados à conceção e fabrico do molde

Oper.	Desc. Oper.	Estrutura		Macho		Cavidade		Movimentos		Postiços		Total	
		Tempo(H)	Valor	Tempo(H)	Valor	Tempo(H)	Valor	Tempo(H)	Valor	Tempo(H)	Valor	Tempo(H)	Valor
ACBAG	Acabamento AV. Grande.(do Pré à RRaios)	0,00	0,00	320,00	24.000,00	280,00	21.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	600,00	45.000,00
CONV	Realiz. Acessórios em Maq. Convencionais	70,00	1.680,00	0,00	0,00	0,00	0,00	158,00	3.792,00	0,00	0,00	228,00	5.472,00
POLI	Polimento	0,00	0,00	120,00	1.800,00	140,00	2.100,00	142,00	2.130,00	60,00	900,00	462,00	6.930,00
PROJ	Projecto Técnico	0,00	0,00	0,00	0,00	370,00	9.250,00	0,00	0,00	0,00	0,00	370,00	9.250,00
DSBG	Desbastie em Fres Grande (Atié Pré-acab.)	0,00	0,00	90,00	6.750,00	75,00	5.625,00	0,00	0,00	0,00	0,00	165,00	12.375,00
ERP	Equipamento Erosão Pequena	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	141,00	4.230,00	70,00	2.100,00	211,00	6.330,00
MAQ2DE	Maq. de Alojamentos ESTRUTURAS	85,00	5.100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	115,00	6.900,00
BANC	Trabalho de Bancada	98,00	1.470,00	250,00	3.750,00	230,00	3.450,00	250,00	3.750,00	90,00	1.350,00	938,00	14.070,00
CDIM	Realização de Controlo Dimensional	15,00	375,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,00	375,00
ELECT	Realização de Eléctrodos	0,00	0,00	50,00	2.250,00	20,00	900,00	61,00	2.745,00	20,00	900,00	151,00	6.795,00
MANDN	Refrigeração em Mandriladoras Normais	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,00	384,00	0,00	0,00	12,00	384,00
ERG	Equipamento Erosão Grande	0,00	0,00	150,00	5.625,00	60,00	2.250,00	0,00	0,00	0,00	0,00	210,00	7.875,00
RPLA	Rectificar em Rectificadoras Planas	16,00	600,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,00	600,00
MAQ2D	Maq. de Alojamentos Macho/Cavidade	19,00	1.187,50	234,00	14.625,00	120,00	7.500,00	0,00	0,00	0,00	0,00	373,00	23.312,50
MANDC	Refrigeração Mandriladoras Auto.(cnc)	0,00	0,00	100,00	6.000,00	85,00	5.100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	185,00	11.100,00
TORNO	Realização de Acessórios de Torno	50,00	1.200,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	50,00	1.200,00
ACBCP	Acabamento Fres pequena (do Pré à RRaios)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	245,00	11.025,00	80,00	3.600,00	325,00	14.625,00
PRCN	Preparação de Trabalho (Programas CNC)	18,00	720,00	45,00	1.800,00	30,00	1.200,00	28,00	1.120,00	14,00	560,00	141,00	5.640,00
PAG	Trabalho Prensas Grandes (Ajustiamento)	0,00	0,00	260,00	9.100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	260,00	9.100,00
<b>Valor Total:</b>		<b>371,000</b>	<b>12.332,50</b>	<b>1.619,000</b>	<b>75.700,00</b>	<b>1.410,000</b>	<b>58.375,00</b>	<b>1.037,000</b>	<b>29.176,00</b>	<b>334,000</b>	<b>9.410,00</b>	<b>4.827,000</b>	<b>187.333,50</b>

Figura 313 - Orçamento de operações

Para além dos custos das operações descritas na figura 313, ainda há a acrescentar os serviços descritos na figura 314.

Serviços		
<u>Tp. Serviço</u>	<u>Descrição</u>	<u>Valor</u>
001	Ensaaios	4.500,00
002	Textura	22.000,00
003	Tratamentos Térmicos	161,78
004	Transporte de Molde	2.000,00
005	Transporte de Peças(Terrestre)	2.000,00
007	Embalagens	500,00
009	Estudo Térmico	4.000,00
010	Estudo de Defomação	3.000,00
012	Serviços Adicionais	2.800,00
<b>Valor Orçamentado :</b>		<b>40.961,78</b>

Figura 314 - Orçamento dos serviços

O custo total do molde é a soma do custo das matérias-primas, com o custo das operações e dos serviços. Assim, o custo total do molde foi de 403.395,52€.

### 3.12 Montagem final do molde

Na tabela 42 apresenta-se os passos para a montagem do molde.

Tabela 42 - Montagem do Molde

#### Montagem do Molde

Acoplamento dos calços à placa intermédia – *Frame 1*;

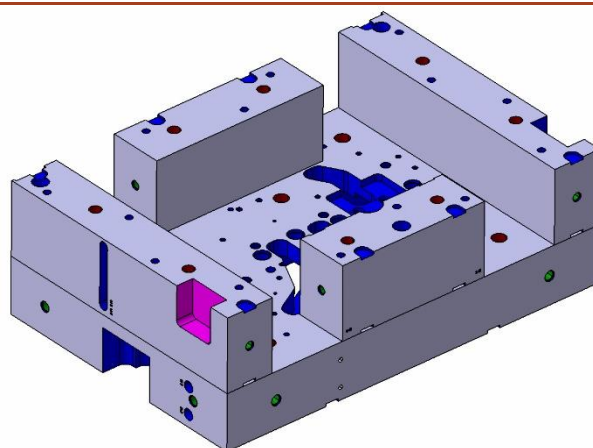


Figura 315 - Acoplamento dos calços à placa intermédia

Acoplamento da placa de  
extração à placa intermédia  
– *Frame 1*;

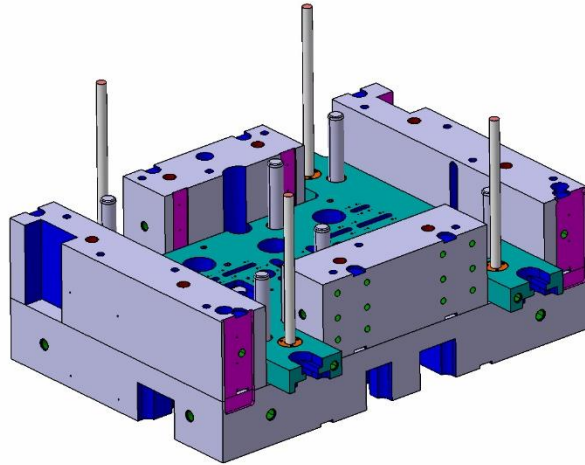


Figura 316 - Acoplamento da placa de extração à placa intermédia

Acoplamento dos pilares de  
suporte à placa intermédia  
– *Frame 1*;

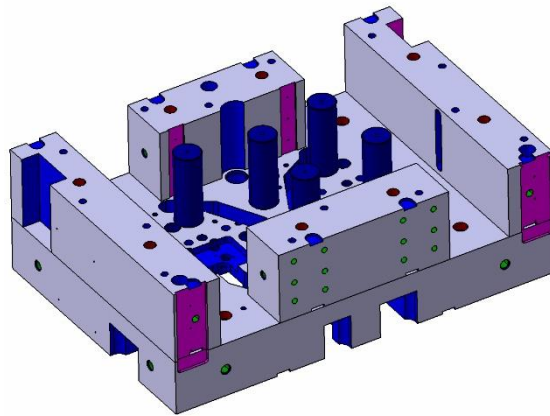


Figura 317 - Acoplamento dos pilares de suporte à placa intermédia

Acoplamento da placa  
macho aos calços – *Frame*  
*1*;

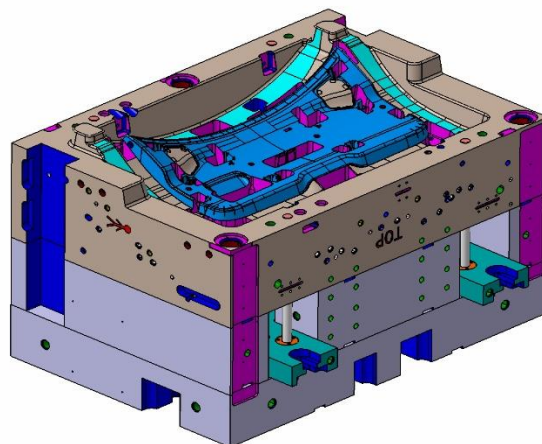


Figura 318 - Acoplamento da placa macho aos calços

Montagem dos  
componentes de extração –  
*Frame 1;*

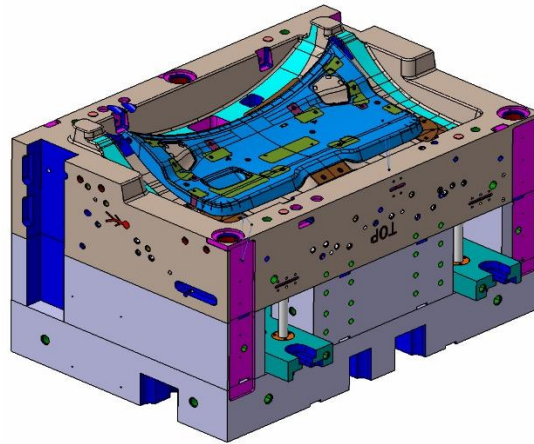


Figura 319 - Montagem dos componentes de extração

Montagem do sistema de  
injeção – *Frame 1;*

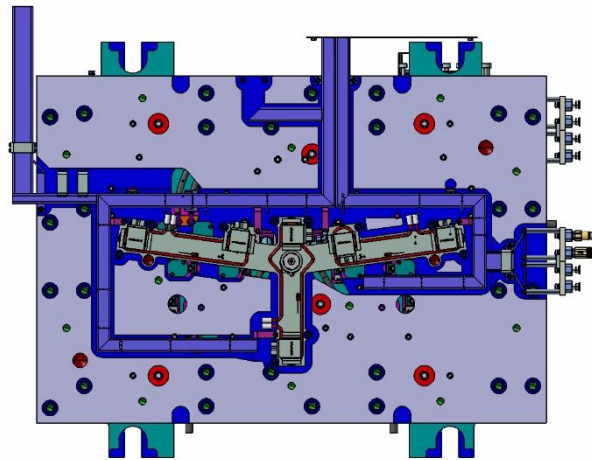


Figura 320 - Montagem do sistema de injeção

Montagem da placa de  
encosto – *Frame 1;*

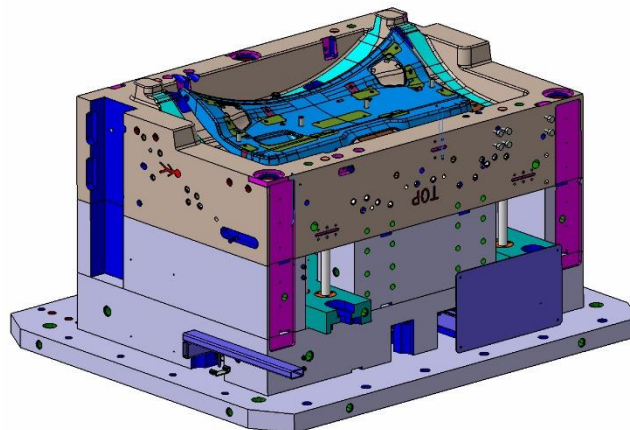


Figura 321 - Montagem da placa de encosto

Montagem do sistema de injeção à placa intermédia central – *Frame 2*;

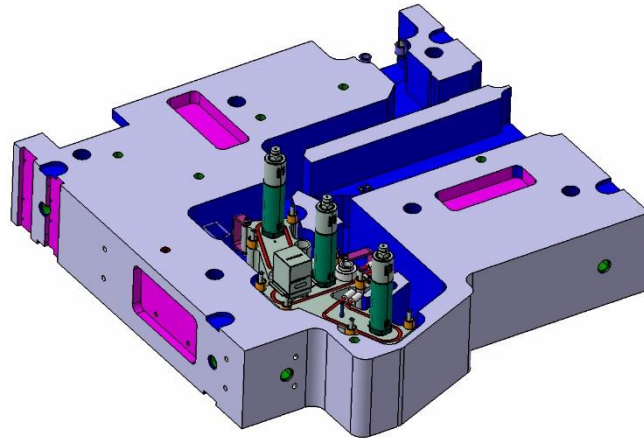


Figura 322 -Montagem do sistema de injeção à placa intermédia central

Acoplamento das placas intermédias centrais à cavidade 2 – *Frame 2*;

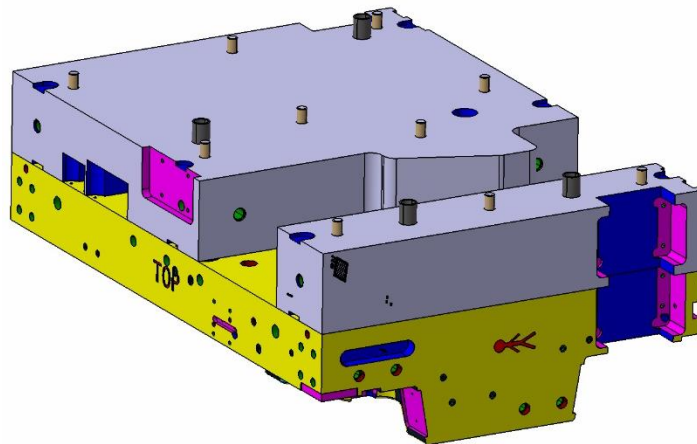


Figura 323 - Acoplamento das placas intermédias centrais à cavidade 2

Acoplamento da placa de extração às placas intermédias centrais – *Frame 2*;

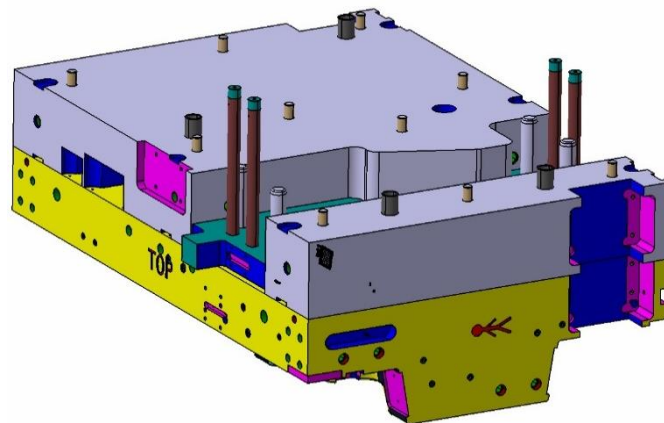


Figura 324 - Acoplamento da placa de extração às placas intermédias centrais

Acoplamento da Cavityde 1 às placas intermédias centrais;

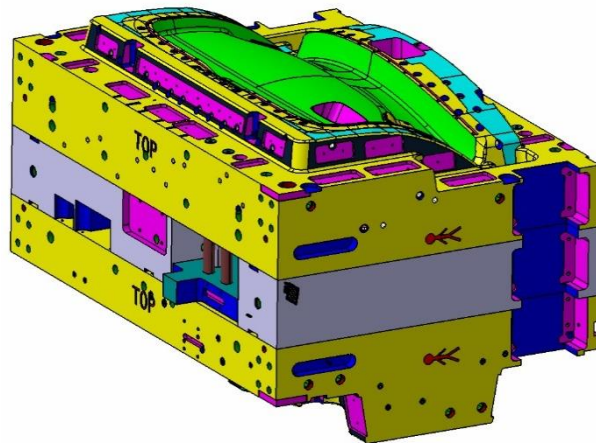


Figura 325 - Acoplamento da Cavityde 1 às placas intermédias centrais

Montagem do movimento à extração na cavityde 1;

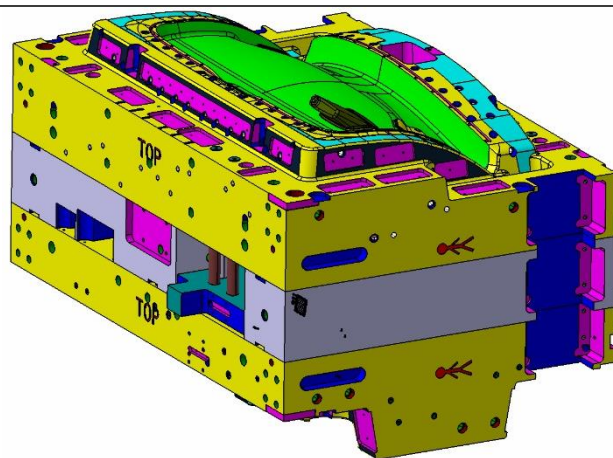


Figura 326 - Montagem do movimento à extração na cavityde 1

Acoplamento das cavitydes ao restante do *Frame 1*;

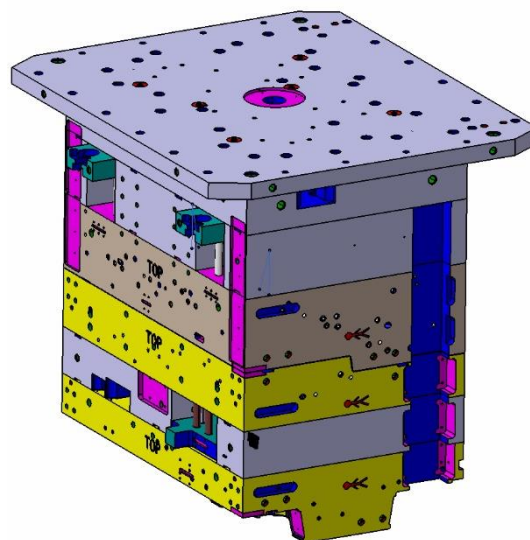


Figura 327 - Acoplamento das cavitydes ao restante do *Frame 1*

Acoplamento dos calços à placa intermédia – *Frame 2*;

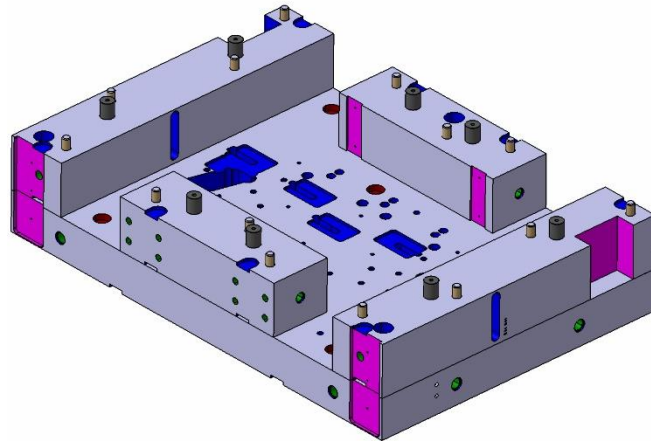


Figura 328 - Acoplamento dos calços à placa intermédia

Acoplamento da placa de extração à placa intermédia – *Frame 2*;

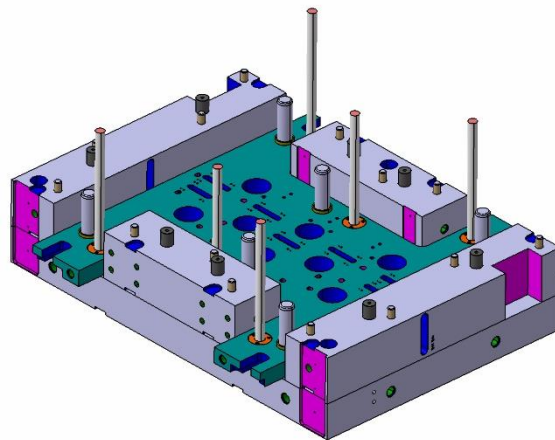


Figura 329 - Acoplamento da placa de extração à placa intermédia

Acoplamento dos pilares de suporte à placa intermédia – *Frame 2*;

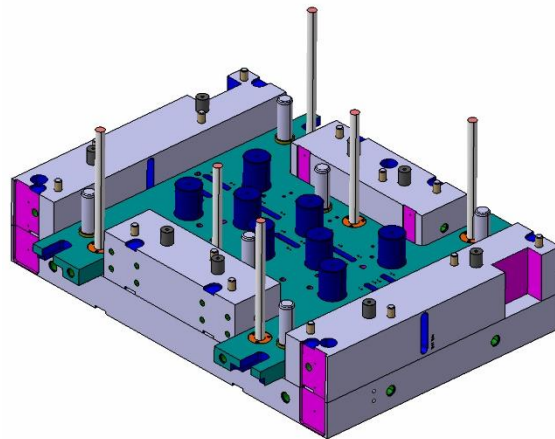


Figura 330 - Acoplamento dos pilares de suporte à placa intermédia

Acoplamento da placa macho aos calços – *Frame 2*;

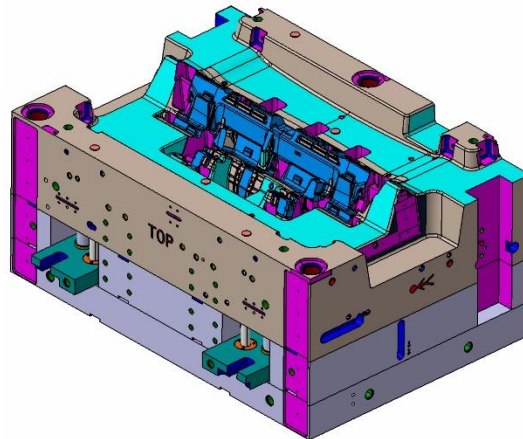


Figura 331 - Acoplamento da placa macho aos calços

Montagem dos componentes de extração – *Frame 2*;

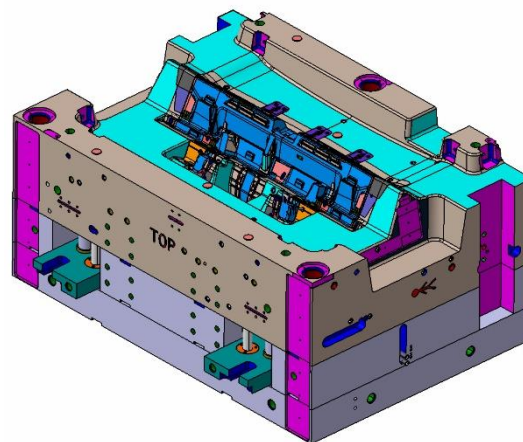


Figura 332 - Montagem dos componentes de extração

Montagem da placa de encosto – *Frame 2*;

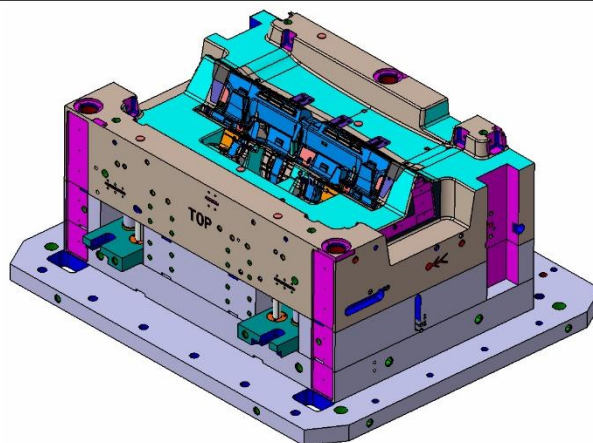


Figura 333 - Montagem da placa de encosto

Montagem dos *Frames*;

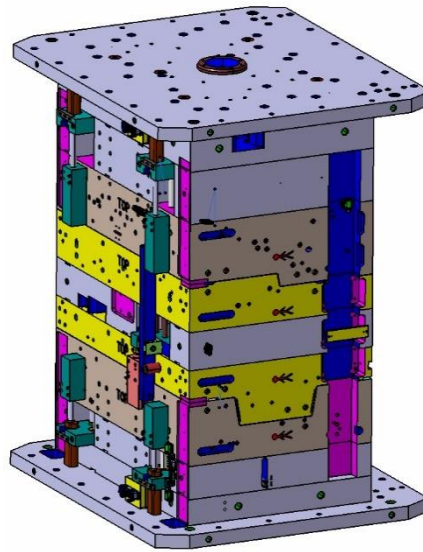


Figura 334 - Montagem dos Frames;

Montagem dos periféricos;

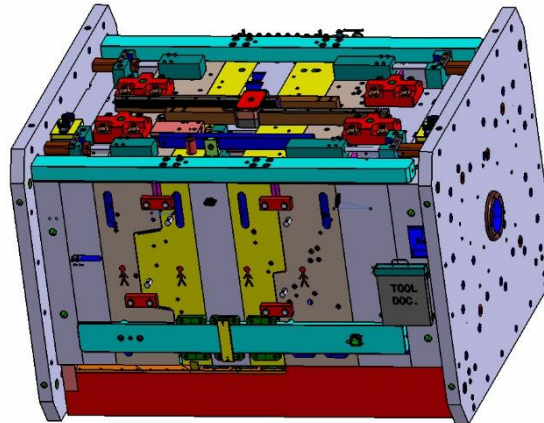


Figura 335 - Montagem dos periféricos;

Montagem do sistema de controlo do sistema de injeção, refrigeração, etc;

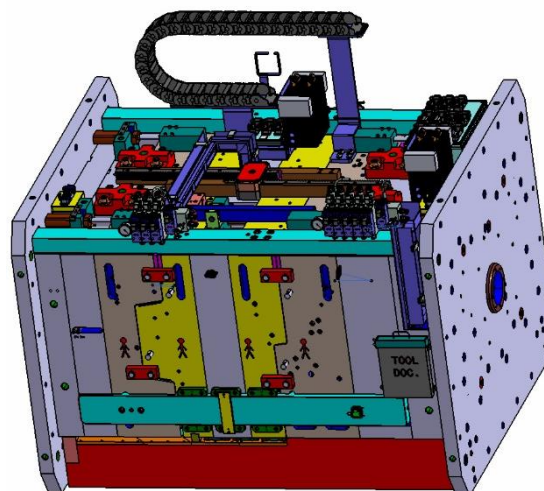


Figura 336 - Montagem do sistema de controlo do sistema de injeção, refrigeração, etc

### 3.12.1 Determinação da massa do molde e centro de gravidade

Fazendo uso do software com o qual o molde foi projetado, é possível calcular os centros de massa do molde e dos *frames* 1 e 2, isoladamente. Para isso, foi necessário calcular as massas das partes referidas anteriormente, como se pode ver nas figuras 337, 339 e 341. Nas figuras 338, 340 e 342 representa-se a localização dos centros de massa no molde.

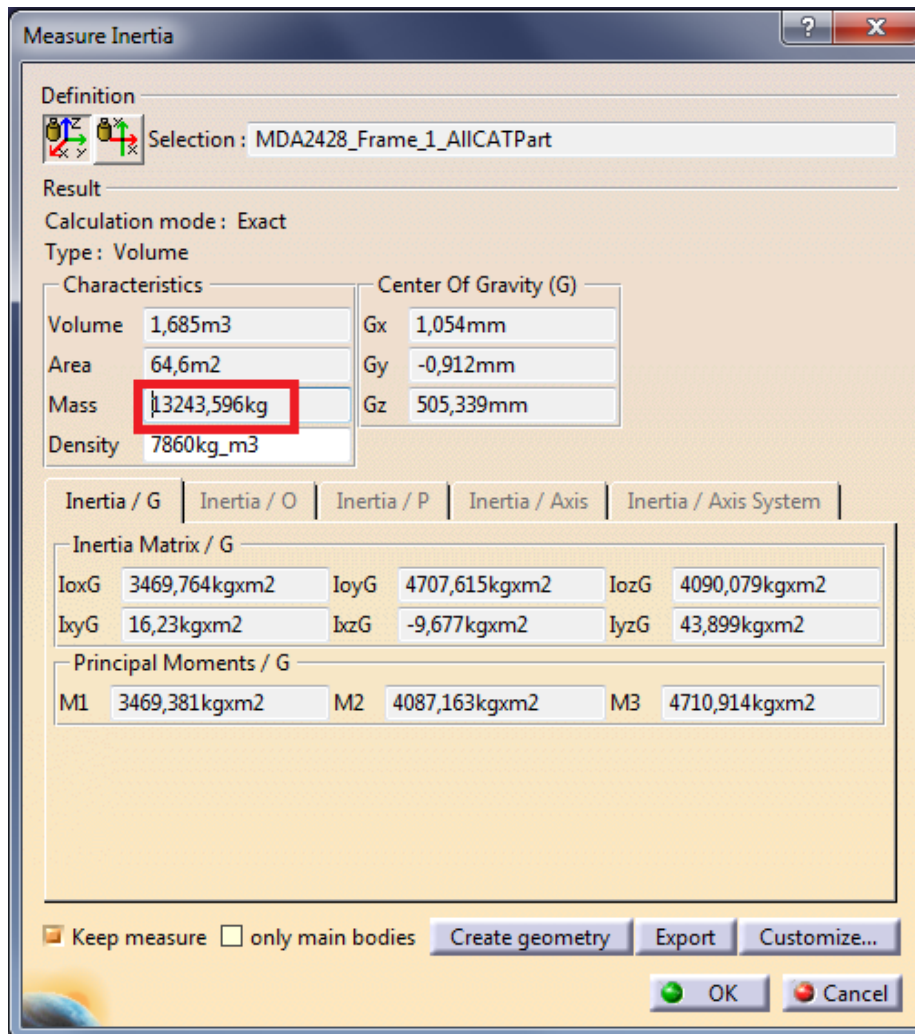


Figura 337 - Determinação do Centro de Massa do *Frame* 1

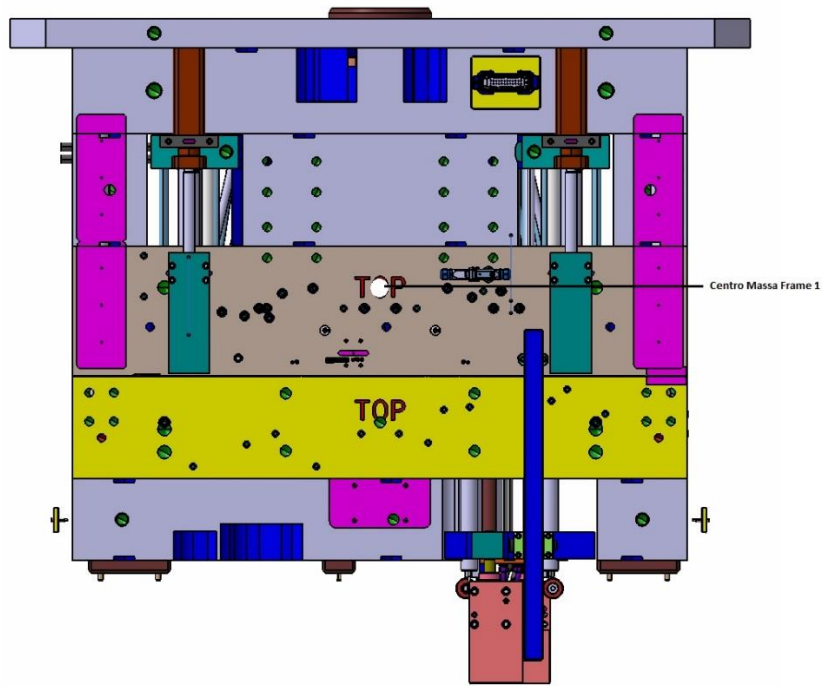


Figura 338 - Localização do CM do *Frame 1*

**Measure Inertia**

Definition  
 Selection: MDA2428\_Frame\_2\_AllCATPart

Result  
 Calculation mode: Exact  
 Type: Volume

Characteristics		Center Of Gravity (G)	
Volume	1,265m3	Gx	-1,856mm
Area	45,108m2	Gy	-1,407mm
Mass	9946,639kg	Gz	-624,312mm
Density	7860kg_m3		

Inertia / G | Inertia / O | Inertia / P | Inertia / Axis | Inertia / Axis System

Inertia Matrix / G

IoxG	1770,349kgxm2	IoyG	2681,351kgxm2	IozG	3004,486kgxm2
IyG	-6,119kgxm2	IxzG	-3,871kgxm2	IyzG	-28,413kgxm2

Principal Moments / G

M1	1770,295kgxm2	M2	2678,917kgxm2	M3	3006,974kgxm2
----	---------------	----	---------------	----	---------------

Keep measure  only main bodies

Figura 339 - Determinação do Centro de Massa do *Frame 2*

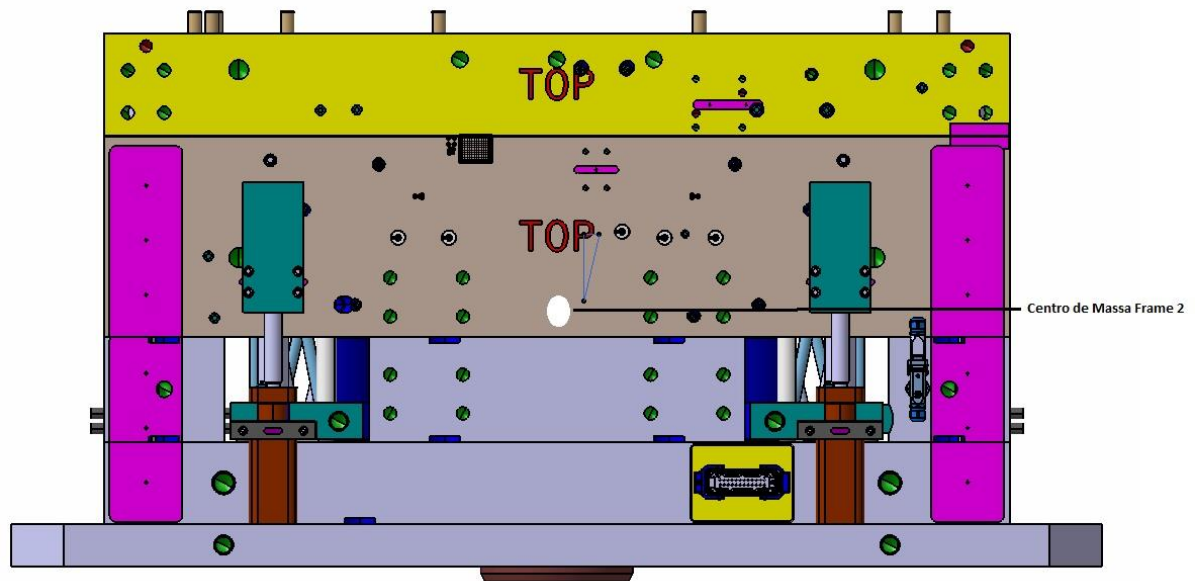


Figura 340 - Localização do CM do Frame 2

Para além da massa dos Frames 1 e 2, há ainda que adicionar a massa do sistema de injeção e dos periféricos do molde (figura 341).

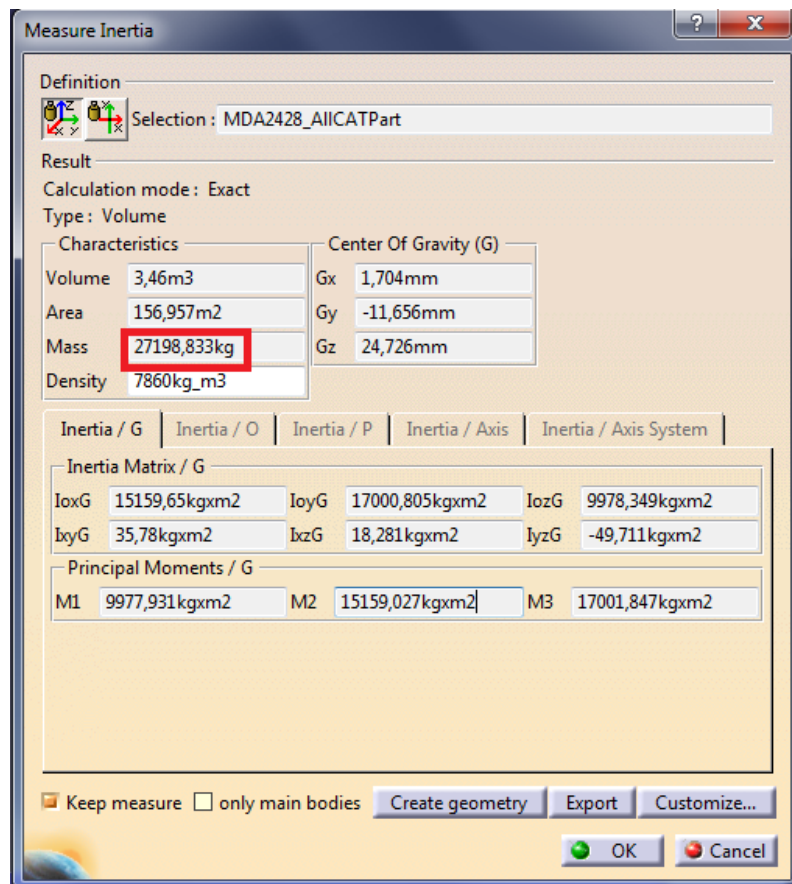


Figura 341 - Determinação do Centro de Massa do molde

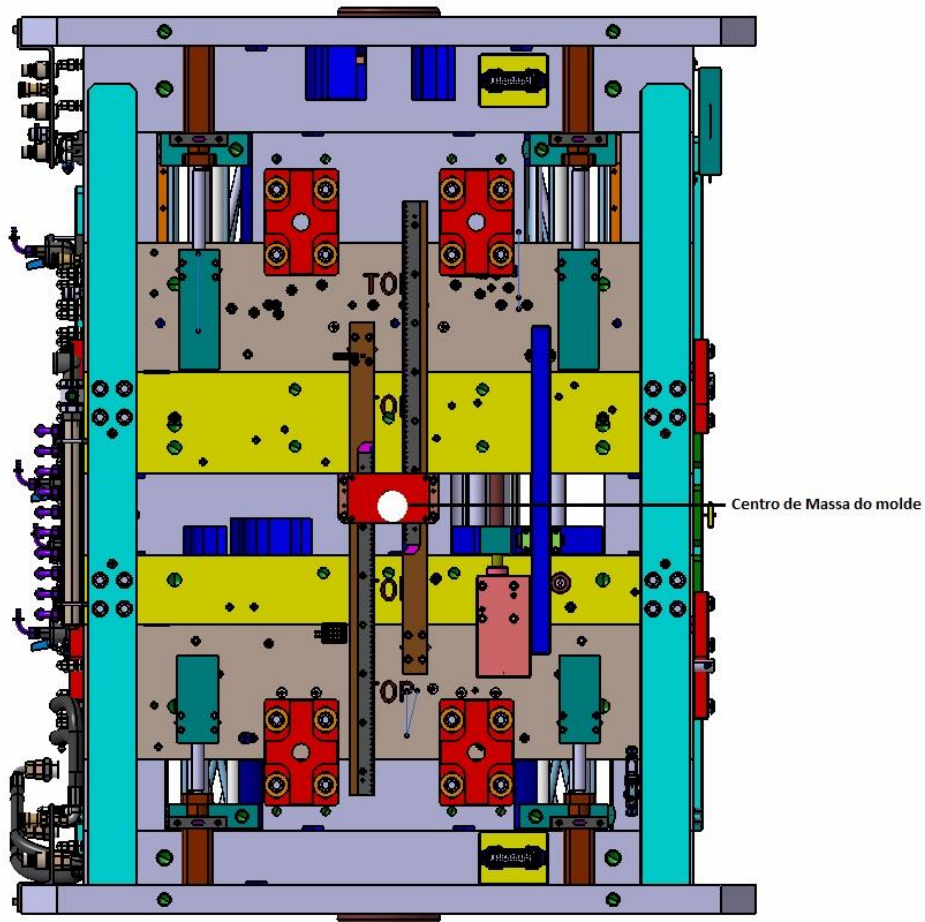


Figura 342 - Localização do CM do molde

A massa total do molde é cerca de 27 200 Kg.

O cliente forneceu o gancho (figura 343) que dispõe nas suas instalações e a partir daí, foi fabricado o sistema de içamento para o molde (figura 344).

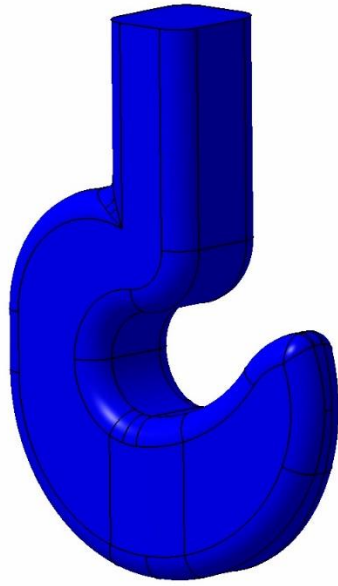


Figura 343 - Gancho

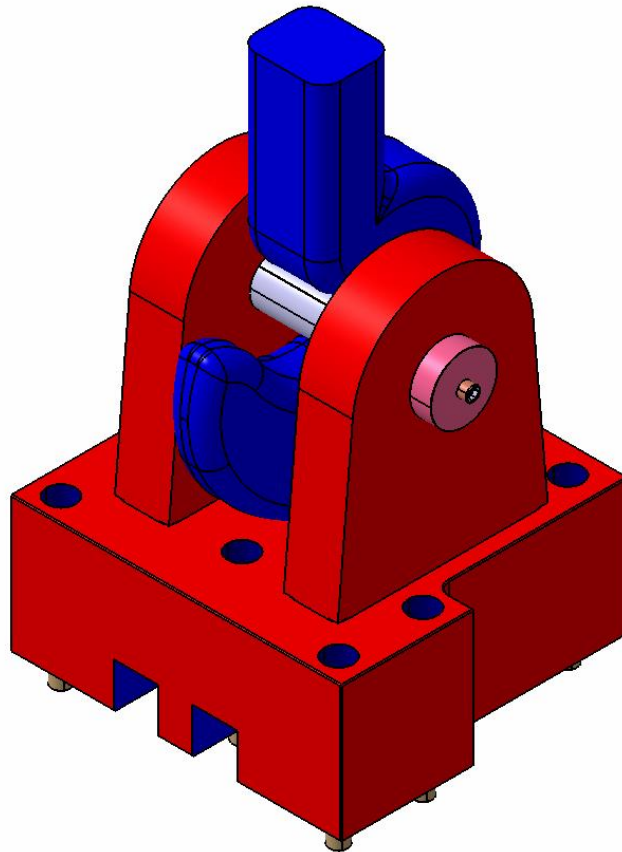


Figura 344 - Sistema de Içamento do molde

Na figura 345 é possível ver o sistema de içamento do molde montado no mesmo.

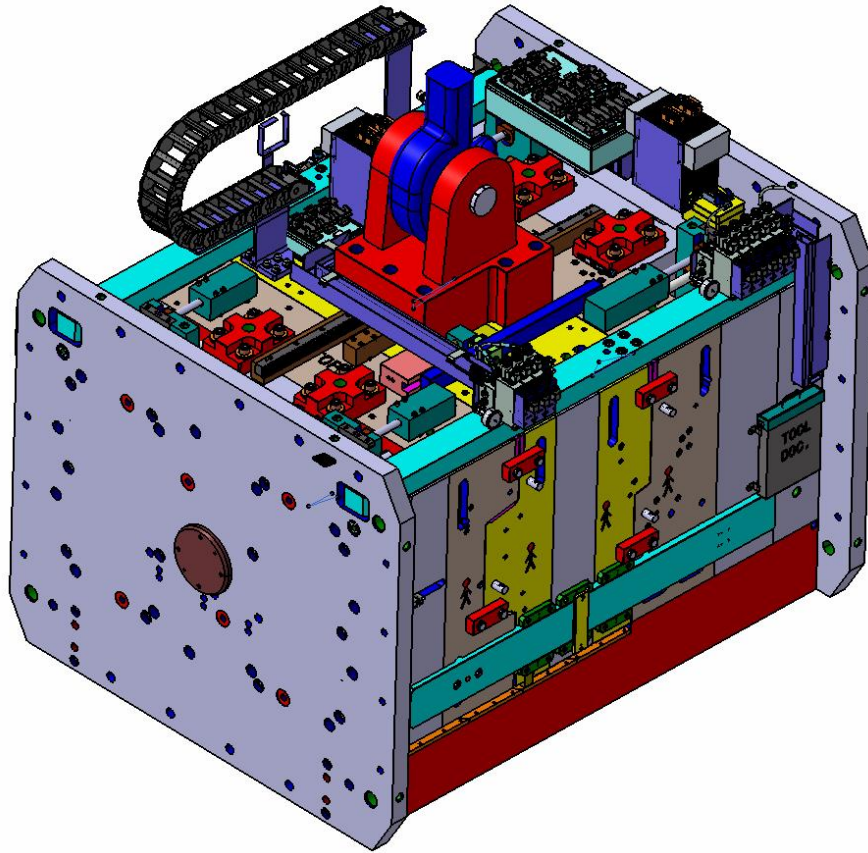


Figura 345 - Localização do sistema de içamento no molde

### 3.13 Ligações elétricas do molde

Na figura 346 representam-se os locais onde serão montadas as ligações elétricas do molde.

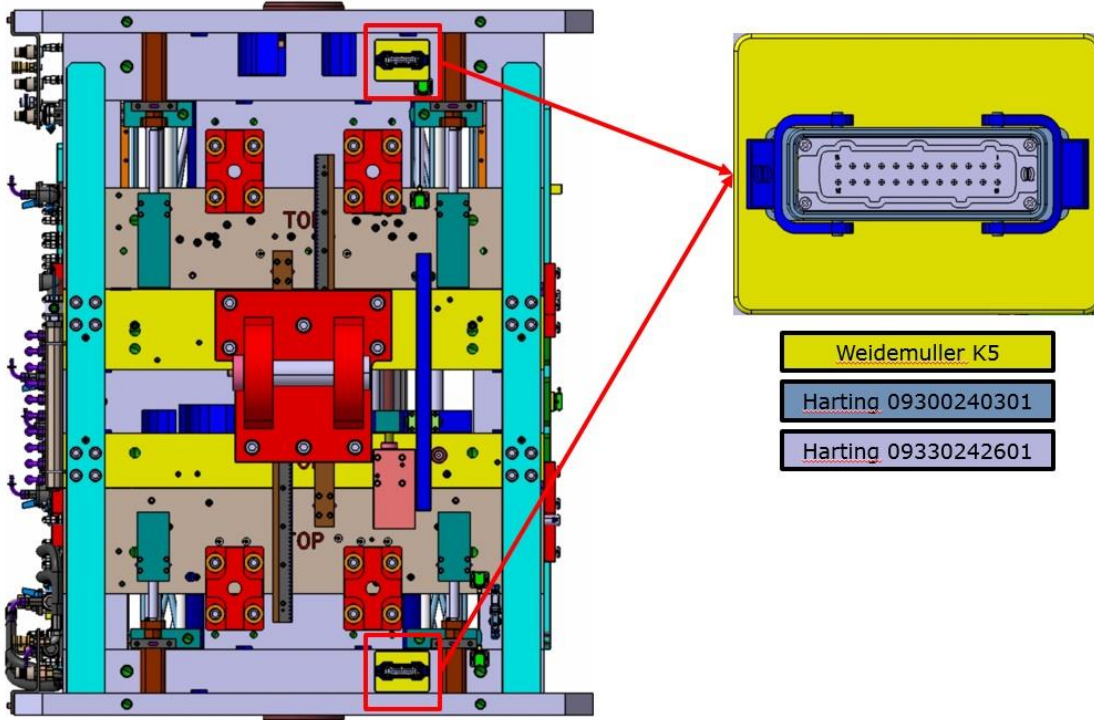


Figura 346 - Ligações elétricas do molde

Nas figuras 347 e 348 representa-se a que pins serão ligados os componentes elétricos do molde-

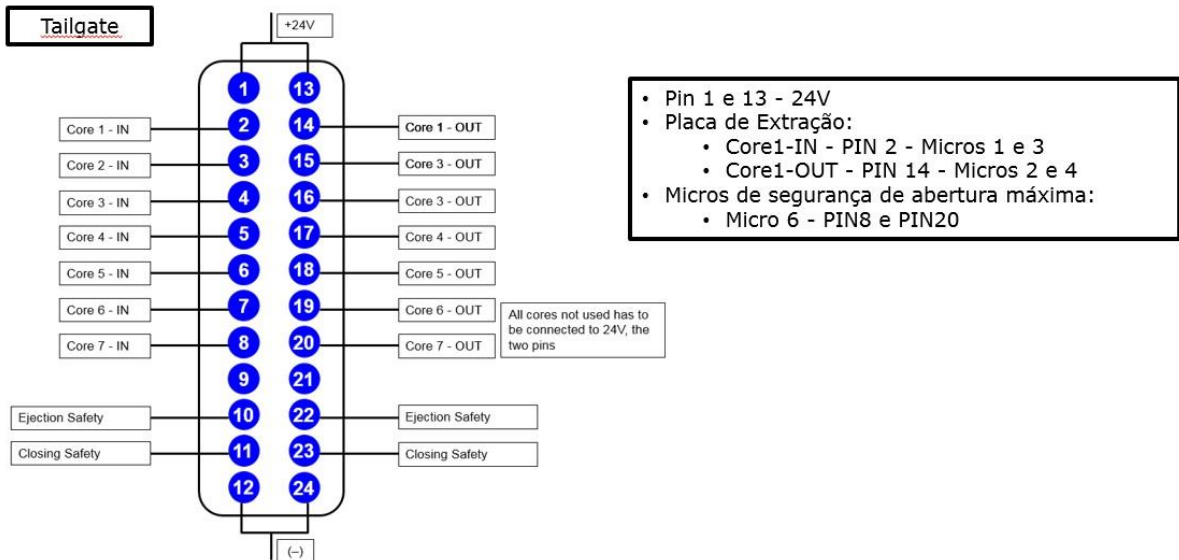


Figura 347 - Ligações elétricas Tailgate

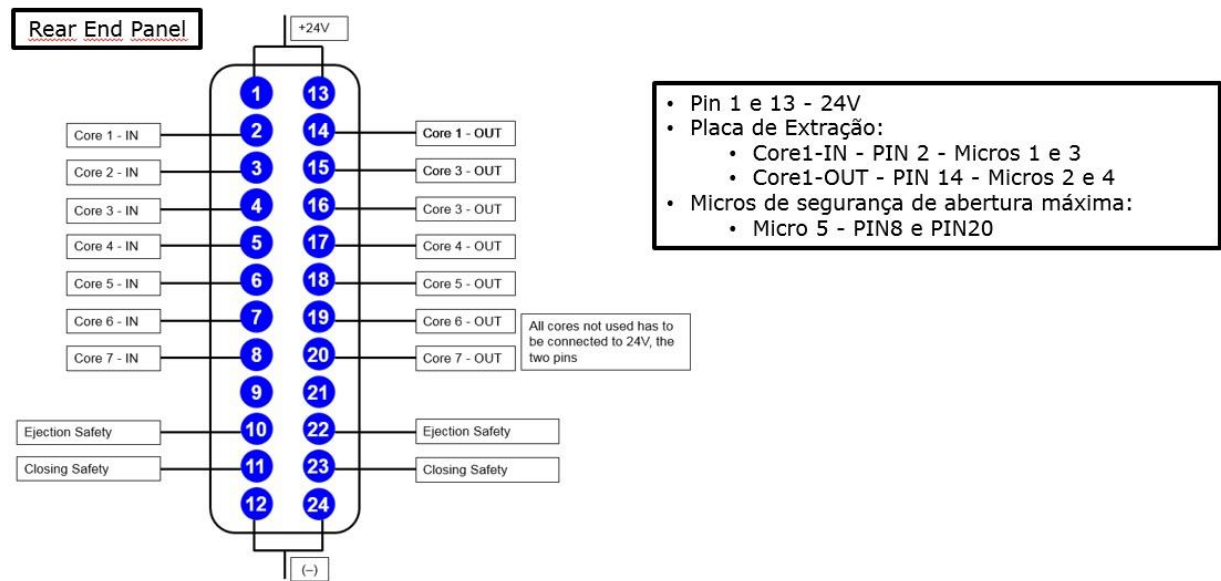


Figura 348 - Ligações elétricas *Rear End Panel*

### 3.14 Ajuste final do molde e teste

O ajuste final do molde (tabela 43) tem como finalidade descobrir zonas do molde em que o ajustamento não está devidamente realizado e efetuar as respetivas correções. Assim, pinta-se uma das meias moldações com uma tinta azul (comumente designada como zarcão), que depois do ajustamento do molde na prensa, pintará as zonas da outra meia moldação que se encontrem em contacto.

Ao separar novamente as meias moldações, as zonas marcadas por zarcão serão aquelas que se encontravam a tocar. Se forem zonas de gravação, deverão ser polidas para melhorar o ajustamento.

Componentes que apresentem circuitos de refrigeração e/ou de óleo, deverão ser tapados com bujões ou tacos. No caso desses furos se encontrarem nas gravações, são puncionados uns medalhões de alumínio para tapar esses mesmos furos, sendo que depois necessitam de ser retificados.

Tabela 43 - Ajuste final do molde

#### Etapa

Aplicação de medalhões de alumínio para vedar os circuitos de arrefecimento e/ou óleo



Figura 349 - Aplicação de medalhões de alumínio

Aplicação de zarcão



Figura 350 - Aplicação do zarcão

---

## Ajuste do molde

---

Após abertura do molde, as zonas marcadas a azul são zonas que se encontram em contacto



Figura 351 - Zonas de contacto a azul



# CONCLUSÕES



## 4 CONCLUSÕES

A finalidade de um molde de injeção é a obtenção de cadências elevadas de peças plásticas a um custo reduzido. No entanto, para obter essas cadências a indústria está dependente da geometria da peça, das suas dimensões, do tipo de material a injetar e da qualidade final exigida pela cliente.

A geometria da peça define a estrutura do molde, como dimensões e existência ou não de movimentos de extração e de gravação. O uso de elementos de extração aumenta exponencialmente o custo do molde, pois existe um maior número de componentes a maquinar e ajustar, incrementando as horas necessárias de maquinaria.

No projeto do molde deve-se sempre ter em conta o CEM para respeitar todas exigências do cliente. Respeitou-se a máquina injetora (força de fecho máxima, distância entre colunas, etc.), os materiais com os quais o molde deveria ser fabricado (1.1730 para a estrutura e 1.2738 para os componentes moldantes), a localização e o número dos bicos de injeção, etc. Os processos de fabrico influenciam a construção do molde, visto que estes mesmos processos apresentam limitações. Os esforços e desgaste limitam a vida útil do molde. No entanto, é necessário conhecer as características dos materiais e com a experiência adquirida ao longo dos anos, aplicar uma conceção que seja resistente aos esforços e que beneficie o funcionamento do molde evitando ao mesmo tempo possíveis defeitos que possam surgir na peça.

A par com a conceção do molde encontra-se os custos inerentes do mesmo. Devem ser considerados vários materiais e componentes normalizados e, desde que apresentem as propriedades requeridas, escolher aquele que seja mais económico. 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 orçamento do molde visou o custo dos materiais, dos componentes normalizados, do custo/hora das máquinas e mão-de-obra. É tendo por base a experiência em moldes anteriores que é possível estimar estes custos, ainda que de forma aproximada. É necessário um compromisso entre fazer um orçamento muito elevado e perder o projeto ou fazer um orçamento muito baixo e haver a possibilidade de perder dinheiro.

No que respeita ao ensaio efetivo do molde, as primeiras peças obtidas apresentavam defeitos (raspados, marcas e rebarbas), o que levou a um conjunto de modificações e retificações. Estas aumentam o tempo de fabrico do molde e, conseqüentemente, o seu custo. No entanto, o projeto foi concluído na prática com sucesso.



# BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

5.1 BIBLIOGRAFIA

5.2 OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO



## 5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

### 5.1 Bibliografia

**Ashby, M. F. (2011).** Materials Selection in Mechanical Design (4ª ed.). Oxford: Butterworth-Heinemann.

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

**DuBois, J. H. (1988).** Plastics Mold Engineering Handbook (4ª ed.)

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

**Grupo Simoldes - Tool Division. (2016).** Caderno Técnico. Oliveira de Azeméis.

**Harada, J. (2004).** Moldes para Injeção de Termoplásticos - Projetos e Princípios Básicos. São Paulo: Artliber.

**Manrich, S. (2005).** Processamento de Termoplásticos: Rosca Única, Extrusão & Matrizes, Injeção & Moldes. São Paulo: Artliber Editora.

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

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

**Soares, P. (2009).** Aços - Características, tratamentos (6ª ed.).

**Sors, L. (2002).** Plásticos – Moldes & Matrizes

## 5.2 Outras fontes de informação

**CEM.** Caderno de encargos do molde. General Specifications for injection moulds – Level 6 - CEFA

**Cumsa.** Catálogo. Innovative solution for your moulds

**Danly.** Obtido a 20 de setembro de 2016, de <http://www.danly.com/cgi-bin/itemdisp.pl?item=18151>

**DME.** Catálogo. D-M-E 2000

**Equistar. (s.d.).** Injection Molding Start-Up for Polypropylene. Obtido em 27 de Julho de 2015, de <http://www.lyondellbasell.com/techlit/techlit/Tech%20Topics/Injection%20Molding/Tech%20Tips/PP%20Start-Up.pdf>.

**Fastenal.** Obtido a 20 de setembro de 2016, de <https://www.fastenal.com/products/details/0128609>

**Fersilva.** Obtido a 20 de setembro de 2016, de <http://www.fersilva.pt/produtos/refrigeracao/bujoes/bujoes-em-aco/bujao-em-aco-zincado-din-906/>

**Giacomini.** Catálogo. Capítulo 4 – Distribuição

**Giacomini.** Obtido a 20 de setembro de 2016, de [http://static.giacomini.com/giacomini.com/catalog/technical\\_documentation/R551.pdf](http://static.giacomini.com/giacomini.com/catalog/technical_documentation/R551.pdf)

**Harting.** Catálogo. Industrial Connectors

**Hasco.** Obtido a 20 de setembro de 2016, de <https://www.hasco.com/medias/Z942-Z945-1-Z947-2-INFO-EN.pdf?context=bWFzdGVyfGltYWdlc3w2MjM3NjR8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfGltYWdlcy9oYzEvaDI3Lzg4MDM0MzU1NDQ2MDYucGRmfDEzMjRjNWIONjg0ZWYwYzhlYTU4ZGUxODFhNzhkMjdmOTE2MwY5ZTI0OTQwYzU5ZTk4MmMxMjU0YTY3YjNIMTE>

**Hasco.** Obtido a 20 de setembro de 2016, de [https://www.hasco.com/hasco/en/Product-Catalogue/Z/General-mould-components/Verbindungselemente/Zylinderstifte/Z26-d1x11/p/Z26\\_d1x11](https://www.hasco.com/hasco/en/Product-Catalogue/Z/General-mould-components/Verbindungselemente/Zylinderstifte/Z26-d1x11/p/Z26_d1x11)

**Hasco.** Obtido a 20 de setembro de 2016, de [https://www.hasco.com/hasco/en/Product-Catalogue/Z/Guide-elements/Guide-bushings/Z20-d3x11/p/Z20\\_d3x11](https://www.hasco.com/hasco/en/Product-Catalogue/Z/Guide-elements/Guide-bushings/Z20-d3x11/p/Z20_d3x11)

**Moldes Injeção Plásticos. (s.d.).** Obtido em 16 de Agosto de 2016, de Texturização de aços ferramenta: [http://www.moldesinjecao plasticos.com.br/texturizacao\\_acos\\_ferramenta.asp](http://www.moldesinjecao plasticos.com.br/texturizacao_acos_ferramenta.asp)

**Nitrogas.** Obtido a 20 de setembro de 2016, de <http://www.nitrogas.com/es/Productos.aspx>

**Parker.** Obtido a 20 de setembro de 2016, de [https://www.parker.com/literature/O-Ring%20Division%20Literature/ORD%205700%20Parker\\_O-Ring\\_Handbook.pdf](https://www.parker.com/literature/O-Ring%20Division%20Literature/ORD%205700%20Parker_O-Ring_Handbook.pdf)

**Sandretto. (s.d.).** Cálculo da força de fechamento (Escolha da máquina). Obtido em 09 de Maio de 2016, de <http://www.sandretto.com.br/site/estudos/NotasdeInjecao-CalculodeForcadeFechamento2010.pdf>.

**Sankyo.** Obtido a 20 de setembro de 2016, de [http://www.sankyo-oiless.co.jp/en/pdf/Plastic\\_E-043.pdf](http://www.sankyo-oiless.co.jp/en/pdf/Plastic_E-043.pdf)

**Staubli.** Obtido a 20 de setembro de 2016, de <http://www.staubli.com/en/connectors/quick-couplings/fluids-gases/gpl-full-flow/>

**Synventive.** Catálogo. Actuators and accessories

**Telemecanique.** Catálogo. Automazion & Control

**ANEXOS**



## 6 ANEXOS

### I Buderus Plastic Mould Steel 2312

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
Typical analysis	0.38	0.30	1.50	0.020	0.070	2.00	0.20
Chemical composition as per SEL	0.35–0.45	0.30–0.50	1.40–1.60	≤ 0.030	0.050–0.100	1.80–2.00	0.15–0.25

Figures in % by mass

Register of European Steels (SEL)	40 CrMnMoS 8-6
DIN EN ISO 4957	40 CrMnMoS 8-6
AFNOR	40 CMD 8 S
AISI	~ P 20 + S
BS	~ P 20 + S

#### Characteristics

Sulphur alloyed standard mould steel with very good machining properties, not suitable for polishing, etch-graining or hard chrome plating.

Through-hardening properties comparable to 2311 ISO-BM.

#### Applications

For core parts of compression and injection-moulding dies with no surface requirements and low mechanical stress. Mould fittings, for mould frames subject to low stress.

**Note:** Because of its controlled sulphur content (economic to machine), this material has poor toughness properties.

#### Delivered condition

Quenched and tempered to 280–325 HB ( $\Delta$  approx. 950–1100 MPa)\*

Annealed on request

#### Physical properties (reference values)

Thermal expansion coefficient ( $10^{-6}/K$ )	20–100 °C	20–250 °C	20–500 °C
	11.6	12.8	14.3
Thermal conductivity (W/mK)	20 °C	250 °C	500 °C
	34.0	33.5	33.0
Young's modulus (GPa)	20 °C	250 °C	500 °C
	212	197	175

\* Surface hardness in Brinell, converted to DIN EN ISO 18265, Table A.1

## Buderus Plastic Mould Steel Thruhard Supreme® 2738mod.TS(HH)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V
Typical analysis	0.26	0.10	1.45	0.015	0.002	1.25	1.05	0.50	0.12

Figures in % by mass

### Characteristics

Recently developed plastic mould steel, distinguished from grades 2311 and 2738 by:

- ! Higher hardness and better through-hardenability
- ! Polishability up to 600 grit (high gloss finish reliability on request)
- ! Grain reliability even with sensitive etch-graining designs
- ! Improved weldability
- ! Higher thermal conductivity.

Nitridable, hard chrome plateable, flame hardenable as delivered; its higher basic hardness provides better support for surface finishing (such as PVD coating).

### Applications

Compression and injection moulds to accommodate large dimensions such as bumpers, dashboards, chairs, rubbish bins, bottle crates, television cabinets, etc.

### Delivered condition

- ! HighHard: 2738mod.TS(HH)  
Quenched and tempered to 310–355 HB ( $\Delta$  approx. 1050–1200 MPa)\*

Normal hardness: 2738mod.TS

- ! Quenched and tempered to 280–325 HB ( $\Delta$  approx. 950–1100 MPa)\*

### Physical properties (reference values)

	20–100 °C	20–250 °C	20–500 °C
Thermal expansion coefficient ( $10^{-6}/K$ )	10.8	12.2	13.9
Thermal conductivity (W/mK)	20 °C 37.4	250 °C 41.3	500 °C 39.8
Young's modulus (GPa)	20 °C 204	250 °C 188	500 °C 160

\* Surface hardness in Brinell, converted to DIN EN ISO 18265, Table A.1

## I Buderus Plastic Mould Steel 2738 ISO-BM

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
Typical analysis	0.36	0.30	1.50	0.020	0.003	2.00	1.00	0.20
Chemical composition as per SEL	0.35–0.45	0.20–0.40	1.30–1.60	≤ 0.030	≤ 0.030	1.80–2.10	0.90–1.20	0.15–0.25

Figures in % by mass

Register of European Steels (SEL)	40 CrMnNiMo 8-6-4
DIN EN ISO 4957	40 CrMnNiMo 8-6-4
AFNOR	40 CMND 8
AISI	~ P 20 + Ni
BS	~ P 20 + Ni

### Characteristics

Mould steel for large dimensions > 400 mm thick. Properties as for grade 2311 ISO-BM, but with improved through-hardening.

Nitridable, hard chrome plateable, flame hardenable, polishable, grain-reliable as delivered.

In an extreme dimensional range, and where there is a requirement for

- I Higher hardness and better through-hardenability
- I Polishability > 320 grit
- I Sensitive etch-graining designs (e.g. HNO<sub>3</sub>)
- I Higher thermal conductivity

we recommend grade 2738mod.TS(HH).

### Applications

Tools for compression and injection moulds, bumpers, dashboards, chairs, rubbish bins, bottle crates, television cabinets, etc.

### Delivered condition

Quenched and tempered to 280–325 HB ( $\Delta$  approx. 950–1100 MPa)\*

Annealed on request

### Physical properties (reference values)

Thermal expansion coefficient (10 <sup>-6</sup> /K)	20–100 °C	20–250 °C	20–500 °C
	11.6	12.8	14.3
Thermal conductivity (W/mK)	20 °C	250 °C	500 °C
	34.0	33.5	33.0
Young's modulus (GPa)	20 °C	250 °C	500 °C
	212	197	175

\* Surface hardness in Brinell, converted to DIN EN ISO 18265, Table A.1: we offer no quality guarantee with higher hardness requirements

## I Buderus Plastic Mould Steel 2311 ISO-BM

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
Typical analysis	0.38	0.30	1.50	0.020	0.003	2.00	0.20
Chemical composition as per SEL	0.35-0.45	0.20-0.40	1.30-1.60	≤ 0.035	≤ 0.035	1.80-2.10	0.15-0.25

Figures in % by mass

Register of European Steels (SEL)	40 CrMnMo 7
DIN EN ISO 4957	40 CrMnMo 7
AFNOR	40 CMD 8
AISI	~ P 20
BS	~ P 20

### Characteristics

Standard mould steel, economical to machine, easy to polish, hard chrome plateable, grain reliable, for dimensions ≤ 400 mm thick.

Where there is a requirement for

- I Higher hardness and better through-hardenability
- I Polishability > 320 grit
- I Sensitive etch designs (e.g. HNO<sub>3</sub>)
- I Higher thermal conductivity

we recommend grade 2738mod.TS(HH).

### Applications

Small and medium-sized injection moulds, press moulds and mould frames up to 400 mm thick.

### Delivered condition

Quenched and tempered to 280-325 HB ( $\Delta$  approx. 950-1100 MPa)\*

Annealed on request

### Physical properties (reference values)

	20-100 °C	20-250 °C	20-500 °C
Thermal expansion coefficient (10 <sup>-6</sup> /K)	11.6	12.8	14.3
Thermal conductivity (W/mK)	20 °C	250 °C	500 °C
	34.0	33.5	33.0
Young's modulus (GPa)	20 °C	250 °C	500 °C
	212	197	175

\*Surface hardness in Brinell, converted to DIN EN ISO 18265, Table A.1

Buderus Plastic Mould Steel 2311 ISO-BM

## I Buderus Plastic Mould Steel 2711 ISO-B

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V
Typical analysis	0.52	0.20	0.70	0.020	0.002	0.75	1.75	0.30	0.10
Chemical composition as per SEL	0.50–0.60	0.15–0.35	0.50–0.80	≤ 0.025	≤ 0.025	0.60–0.80	1.50–1.80	0.25–0.35	0.07–0.12

Figures in % by mass.

Register of European Steels (SEL)	54 NiCrMoV 6
AFNOR	55 NCDV 7
AISI	~ 6 F 2
BS	~ BH 224

### Characteristics

High toughness, high compressive strength, polishable.

Nitridable as delivered; hard chrome plateable, flame hardenable, grain reliable.

### Applications

For larger compression and injection moulds subject to higher mechanical and thermal stress.

Contour hardening is recommended.

With higher working hardness, also suited to processing SMC and GMT, in combination with surface coating if applicable.

### Delivered condition

Annealed to max. 248 HB,

Hardened and tempered to 280–325 HB ( $\Delta$  approx. 950–1100 MPa)\*

or to 355–415 HB ( $\Delta$  approx. 1200–1400 MPa)\*

or to customer specification

### Physical properties (reference values)

Thermal expansion coefficient ( $10^{-6}/K$ )	20–100 °C	20–250 °C	20–500 °C
	11.0	12.4	13.5
Thermal conductivity (W/mK)	20 °C	250 °C	500 °C
	33.0	35.0	33.0
Young's modulus (GPa)	20 °C	250 °C	500 °C
	212	197	175

\* Surface hardness in Brinell, converted to DIN EN ISO 18265, Table A.1

Buderus Plastic Mould Steel 2711 ISO-B

## I Buderus Die Steel 2714 ISO-B

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V
Typical analysis	0.52	0.25	0.80	0.025	0.004	1.10	1.70	0.45	0.10
Chemical composition as per SEL	0.50–0.60	0.10–0.40	0.60–0.90	≤ 0.030	≤ 0.030	0.80–1.20	1.50–1.80	0.35–0.55	0.05–0.15

Figures in % by mass

Register of European Steels (SEL)	55 NiCrMoV 7
DIN EN ISO 4957	55 NiCrMoV 7
AFNOR	55 NCDV 07
AISI	L 6

### Characteristics

Classic die steel like grade 2713, but with better tempering properties and better through-hardening properties to a reference diameter of 450 mm. For larger dimensions we recommend grade 2714 ISO-B MOD or hardening and tempering after contour roughing. For hardness up to 440 HB ( $\Delta$  approx. 1500 MPa).

### Applications

Large press dies for forming aluminium, forging dies for large quantities regardless of die size and shape of cut, die and mould holders, tool holders and cold forging die holders, tool cassettes. Hydroforming moulds (IHU).

### Delivered condition

Annealed to max. 248 HB

Quenched and tempered to 370–415 HB ( $\Delta$  approx. 1250–1400 MPa)\* or to customer specification

### Physical properties (reference values)

Thermal expansion coefficient (10 <sup>-6</sup> /K)	20–100 °C	20–250 °C	20–500 °C
	12.2	13.1	14.2
Thermal conductivity (W/mK)	20 °C	250 °C	500 °C
	36.0	37.5	34.5
Young's modulus (GPa)	20 °C	250 °C	500 °C
	215	198	175

### High-temperature yield strength

Quenched and tempered state	0.2 % yield strength in MPa at temperature			
	450 °C	500 °C	550 °C	600 °C
~ 1570 MPa	900	740	460	220
~ 1370 MPa	810	590	390	200
~ 1180 MPa	610	460	280	150

\* Surface hardness in Brinell, converted to DIN EN ISO 18265, Table A.1

Buderus Die Steel 2714 ISO-B

## I Buderus Unalloyed Tool Steel 1730

	C	Si	Mn	P	S
Typical analysis	0.45	0.30	0.70	0.020	0.005
Chemical composition as per SEL	0.42–0.50	0.15–0.40	0.60–0.80	≤ 0.030	≤ 0.030

Figures in % by mass

Register of European Steels (SEL)	C 45 U
DIN EN ISO 4957	C 45 U
AFNOR	XC 48
AISI	SAE 1045
BS	C 45 E

### Characteristics

Unalloyed tool steel with good machinability and weldability, and high toughness. For surface hardening, the outer layer can be hardened up to 57 HRC.

### Applications

Normalised: In mould-making and tool-making for built-on parts, base plates, tool frames with low stress, and for blow moulds.

Hardened: for blanking dies after stelling.

### Delivered condition

Normalised to max. 190 HB

### Physical properties (reference values)

Thermal expansion coefficient ( $10^{-6}/K$ )	20–100 °C	20–250 °C	20–500 °C
	11.8	13.2	14.2
Thermal conductivity (W/mK)	20 °C	250 °C	500 °C
	41.0	39.0	35.0
Young's modulus (GPa)	20 °C	250 °C	500 °C
	215	197	175

Buderus Unalloyed Tool Steel 1730