



## Projeto de molde para a injeção com agente expensor

**RUI CASA NOVA BARBOSA**

novembro de 2017

# PROJETO DE MOLDE PARA INJEÇÃO COM AGENTE EXPANSOR

Rui Casa Nova Barbosa  
1101539

**2017**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica





## **PROJETO DE MOLDE PARA INJEÇÃO COM AGENTE EXPANSOR**

Rui Casa Nova Barbosa

1101539

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 Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho e coorientação do Doutor Francisco José Gomes da Silva.

**2017**

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica





# JÚRI

## **Presidente**

Doutora Maria Teresa Ribeiro Pereira

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

## **Orientador**

Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

## **Coorientador**

Doutor Francisco José Gomes da Silva

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

## **Arguente**

Doutora Maria de Fátima de Almeida Ferreira

Professor Adjunto Convidado, Escola Superior de Tecnologia e Gestão



## AGRADECIMENTOS

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

Ao meu coorientador, o Engenheiro Francisco Silva, 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.

Aos meus colegas na empresa, Cedric Oliveira, Eduardo Pereira e Ricardo Casimiro que, de maneiras diferentes, me transmitiram conhecimentos sobre moldes de injeção.



## **PALAVRAS CHAVE**

Indústria de moldes, setor inovador, agente expensor, mecânica do molde.

## **RESUMO**

A indústria de moldes é um setor inovador e de alta intensidade tecnológica. Portugal é internacionalmente reconhecido como um dos principais produtores de moldes de precisão para a indústria de plásticos e tem aumentado, cada vez mais, o seu valor, com competências especializadas desde a área do *design* e engenharia, até à produção de peças finais.

Este trabalho teve como principal objetivo proceder ao projeto de um molde para uma peça de grandes dimensões, injetada com agente expensor para a indústria alimentar. Devido à sua forma e dimensão, foi preciso ter especial atenção à metodologia de extração a adotar, no momento de serem tomadas as decisões da mecânica do molde. Foi também realizado o estudo reológico do molde, recorrendo ao *software* Autodesk® Moldflow Insight 2018, onde foram comparadas as simulações sem agente expensor e com agente expensor, para melhor compreender as vantagens e desvantagens deste processo.

O projeto foi realizado com sucesso, e as vantagens dadas pelo agente expensor bem aproveitadas.



**KEYWORDS**

*Mold industry, innovative sector, blowing agent, mold mechanics.*

**ABSTRACT**

*The mold industry is an innovative and high technology sector. Portugal is internationally recognized as one of the leading producers of precision molds for the plastics industry and has progressively increased its value, with expertise from the area of design and engineering to the production of final parts.*

*This work had as main objective to proceed with the design of a mold for a large part injected with blowing agent for the food industry. Due to its shape and dimension, it was necessary to pay special attention to the extraction methodology to be adopted at the time of making the mold mechanics decisions.*

*It was also carried out the rheological study of the mold with a normal injection and another one with expander, so that the advantages and disadvantages of this process could be understood.*

*The project was successfully carried out, and the advantages given by the blowing agent well utilized.*



## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

### Lista de abreviaturas

$CO_2$	Dióxido de carbono
$N_2$	Azoto molecular
3D	Três dimensões
AEQ	Agente de expansão químico
BeCu	Liga de Cobre Berílio
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
CEM	Caderno de encargos do molde
DC	<i>Dimentional control</i>
E	Módulo de <i>Young</i>
HDPE	Polietileno de alta densidade
PA	Poliamida
PBT	Tereftalato de polibutileno

### Lista de símbolos

°C	Grau Celsius
€	Euros
g	Grama
HB	Dureza Brinell
K	Kelvin
kg	Quilograma
m	Metro
mm	Milímetro
MPa	Megapascal
N	Newton

---

s	Segundo
ton	Tonelada
W	Watt
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
mm <sup>2</sup>	Milímetro quadrado

---

## GLOSSÁRIO DE TERMOS

---

Chupado	É uma depressão superficial que ocorre numa peça de plástico, em zonas de maior espessura, devido à contração do material durante o arrefecimento.
KO	Dispositivo hidráulico da máquina de injeção destinado à extração do molde
Compatíveis	Compatíveis referem-se à boa adesão interfacial entre os componentes num sistema de várias fases
Termoplástico	É um material que, a uma dada temperatura, apresenta alta viscosidade podendo ser conformado ou moldado
Termodegradáveis	É um material de alta dureza e comportamento frágil. O aquecimento do polímero promove a sua decomposição antes da sua fusão o que torna complicado a sua reciclagem.
Elastómeros	É um polímero que apresenta propriedades elásticas.
Têmpera	É um processo de tratamento térmico de aços para aumentar a dureza e a resistência dos mesmos. A têmpera tem duas etapas, o aquecimento e o arrefecimento rápido. O aquecimento para obter a organização cristalina do metal e o arrefecimento rápido visa a obtenção de uma estrutura martensítica.
Cementação	É um tratamento térmico que visa aumentar a dureza do aço numa camada mais superficial, através da adição de carbono.
Nitruração	Consiste na introdução de azoto, sob a forma de nitretos de ferro, numa película superficial de aço, obtendo-se grande dureza superficial.
Dúctil	É uma propriedade que representa o grau de deformação de um material até ao momento da sua fratura.
Reação exotérmica	É uma reação química cuja energia é transferida para o meio exterior, aquecendo o ambiente.

---

---

Reação endotérmica	É uma reação química cuja energia total dos seus produtos é maior que a dos seus reagentes, ou seja, ela absorve energia.
--------------------	---

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - VISTA EM CORTE COM OS VÁRIOS SISTEMAS FUNCIONAIS DE UM MOLDE [2].	7
FIGURA 2 - A) MOLDE SÓLIDO, B) MOLDE ESTRUTURADO [2].	7
FIGURA 3 - MOLDE DE TRÊS PLACAS [2].	8
FIGURA 4 - MOLDE DE CANAIS QUENTES [2].	9
FIGURA 5 - MOLDE SANDWICH [2].	9
FIGURA 6 - MOLDE BI-MATÉRIA [2].	10
FIGURA 7 - ESTRUTURA DE UM MOLDE DE DUAS PLACAS.	11
FIGURA 8 - BARRA DE UM SISTEMA DE APERTO CONVENCIONAL.	12
FIGURA 9 - PRATOS MAGNÉTICOS DE UMA MÁQUINA DE INJEÇÃO.	12
FIGURA 10 - SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DE CANAIS FRIOS [2].	13
FIGURA 11 - TIPOS DE CANAIS DE ALIMENTAÇÃO [2].	14
FIGURA 12 - VARIAÇÃO DOS ALIMENTADORES PARA UM ENCHIMENTO EQUILIBRADO [2].	15
FIGURA 13 – INFLUÊNCIA DA LOCALIZAÇÃO DO PONTO DE INJEÇÃO NA HESITAÇÃO [2].	15
FIGURA 14 – ATAQUE DIRETO À PEÇA [2].	17
FIGURA 15 - ENTRADA LATERAL À CAVIDADE [2].	17
FIGURA 16 - ATAQUE EM FLASH [2].	18
FIGURA 17 - ATAQUE EM LEQUE [2].	18
FIGURA 18 - ATAQUE SUBMARINO [2].	19
FIGURA 19 - ATAQUE SUBMARINO CURVO [2].	19
FIGURA 20 - DETALHE DE UM MOLDE COM UM SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DE CANAIS QUENTES: A) INJETORA PRINCIPAL; B) DISTRIBUIDOR; C) BICOS DE INJEÇÃO [2].	20
FIGURA 21 - EXEMPLO DE UM BICO DE INJEÇÃO VALVULADO [2].	21
FIGURA 22 - CIRCUITO EM U: A) MANGUEIRA; B) CRUZADA [2].	22
FIGURA 23 - CIRCUITO EM Z: A) SIMÉTRICO ESPELHADO; B) SIMÉTRICO [2].	23
FIGURA 24 - CIRCUITO PARA CAVIDADES CIRCULARES [2].	23
FIGURA 25 - CIRCUITO INCLINADO [2].	24
FIGURA 26 - CIRCUITO DE ÁGUA COM PALHETAS: A) PALHETA COM CABEÇA ROSCADA; B) PALHETA SIMPLES; C) MONTAGEM CORRETA DA PALHETA [2].	24
FIGURA 27 - ANILHA DE CENTRAGEM.	25
FIGURA 28 – ZONA DE AJUSTE DA ANILHA DE CENTRAGEM: A) PRATO DA MÁQUINA DE INJEÇÃO; B) PLACAS DO MOLDE [2].	25
FIGURA 29 - A) GUIA DESLOCADA; B) GUIA COM DIFERENTE DIÂMETRO [2].	26
FIGURA 30 – TIPOS DE EXTRATORES: A) EXTRATOR CILÍNDRICO; B) EXTRATOR RESPIGADO; C) EXTRATOR DE LÂMINA; D) EXTRATOR TUBULAR [2].	27

FIGURA 31 - EXTRAÇÃO COM ARO EXTRATOR [2].	27
FIGURA 32 - EXTRAÇÃO FORÇADA. A) COM PLACA EXTRATORA; B) COM EXTRADORES; A) BASE PLANA (CORRETO); B) BASE ARREDONDADA (INCORRETO); C) ENTALHE RETO (INCORRETO); D) ENTALHE COM CHANFRO (CORRETO) [2].	28
FIGURA 33 - MOVIMENTO À EXTRAÇÃO:	29
FIGURA 34 - MOVIMENTO MECÂNICO E SEUS COMPONENTES:	29
FIGURA 35 - EXEMPLOS DE CANAIS DE FUGAS DE GASES.	30
FIGURA 36 - POSIÇÃO PARA FACILITAR O POLIMENTO.	31
FIGURA 37 - EXEMPLO DE UM MOVIMENTO MECÂNICO.	32
FIGURA 38 - EXEMPLO DE UM MOVIMENTO HIDRÁULICO.	32
FIGURA 39 - EXEMPLO DE UM MOVIMENTO À EXTRAÇÃO.	33
FIGURA 40 - EXEMPLO DE UM LEVANTADOR.	33
FIGURA 41 - PLACAS DA ESTRUTURA DE UM MOLDE DME.	36
FIGURA 42 - <i>MANIFOLD</i> DA STAUBLI.	36
FIGURA 43 - BICO DE INJEÇÃO DA SYVENTIVE	36
FIGURA 44 - CONJUNTO DE GUIA E CASQUILHO DA BRU&RUBIO.	36
FIGURA 45 - EXTRADORES DA CUMSA.	37
FIGURA 46 - CONSTANTE M [6].	38
FIGURA 47 - DIFERENTES APLICAÇÕES DO HDPE [7].	40
FIGURA 48 - MISTURA DO MATERIAL PLÁSTICO COM O AGENTE QUÍMICO. [7]	41
FIGURA 49 - EFEITO DA MISTURA DO GÁS COM O POLÍMERO NA VISCOSIDADE DO FUNDIDO [8].	42
FIGURA 50 – INFLUÊNCIA DO AGENTE EXPANSOR NO TEMPO DE CICLO [9].	43
FIGURA 51 - VARIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO PBT COM AS DIFERENTES PERCENTAGENS DE REDUÇÃO DE PESO, ADAPTADA DE [9].	44
FIGURA 52 - EXEMPLOS DE DEFEITOS PROVOCADOS PELA INJEÇÃO COM AGENTE EXPANSOR:	45
FIGURA 53 – MDA - MOLDES DE AZEMÉIS.	49
FIGURA 54 – SIMOLDES NO MUNDO.	50
FIGURA 55 – PALETE.	50
FIGURA 56 - DIMENSÕES DA PALETE.	51
FIGURA 57 - IDENTIFICAÇÃO DAS CONTRA-SAÍDAS DA PEÇA.	51
FIGURA 58 - POSIÇÃO PREVISTA PARA MOVIMENTOS À EXTRAÇÃO.	51
FIGURA 59 – POSIÇÃO PREVISTA PARA MOVIMENTOS HIDRÁULICOS.	52
FIGURA 60 - POSIÇÃO PREVISTA PARA LEVANTADORES.	52
FIGURA 61 - ÁREA PREVISTA DE GRAVAÇÃO DO PERNO.	52
FIGURA 62 - HDPE EM GRANULADO.	53
FIGURA 63 - LIXA 240.	53
FIGURA 64 - ZONA DE APERTO DO MOLDE À MÁQUINA DE INJEÇÃO.	53
FIGURA 65 - ANILHA DE CENTRAGEM.	54

FIGURA 66 - OLHAL M64 DA RUD®.....	54
FIGURA 67 – BICO DE INJEÇÃO COM SISTEMA VALVE GATE.....	54
FIGURA 68 - RAIOS DO CARBURADOR DO SISTEMA DE INJEÇÃO.....	55
FIGURA 69 - VÁLVULA DE AR PARA ALTA PRESSÃO DA CUMSA®.....	55
FIGURA 70 - ROBOT.....	55
FIGURA 71 - CILINDRO DA MERKLE®.....	56
FIGURA 72 - LINHA DE PARTIÇÃO DA PEÇA.....	57
FIGURA 73 - SEPARAÇÃO DO MACHO E DA CAVIDADE.....	57
FIGURA 74 - MACHO À ESQUERDA, CAVIDADE À DIREITA.....	58
FIGURA 75 - PLACA 0017.....	58
FIGURA 76 - PLACA 0003.....	58
FIGURA 77 - PLACA 0002.....	59
FIGURA 78 - PLACA 0001.....	59
FIGURA 79 - PÉ DO MOLDE.....	59
FIGURA 80 – MAPA DE POSTIÇOS DA CAVIDADE.....	65
FIGURA 81 - POSTIÇO 100A.....	65
FIGURA 82 - POSTIÇO 100M.....	66
FIGURA 83 - POSTIÇO 100I.....	66
FIGURA 84 - POSTIÇOS DA CAVIDADE; A) 100H; B) 100F; C) 100T; D) 100N; E) 100S.....	66
FIGURA 85 - POSTIÇO DO BICO DE INJEÇÃO (100G1).....	67
FIGURA 86 - MAPA DE POSTIÇOS DO MACHO.....	67
FIGURA 87 - POSTIÇO 200.....	68
FIGURA 88 - POSTIÇO 200G.....	68
FIGURA 89 - POSTIÇO 200D.....	69
FIGURA 90 - MAPA DE POSTIÇOS DOS MOVIMENTOS HIDRÁULICOS.....	69
FIGURA 91 - POSTIÇOS 700A E 700B, EM CIMA; POSTIÇOS 702A E 702B, EM BAIXO.....	70
FIGURA 92 – POSTIÇO 702C, EM CIMA; POSTIÇO 702E, EM BAIXO.....	70
FIGURA 93 - POSTIÇO 702D.....	71
FIGURA 94 - AÇO 2738 (BUDERUS®).....	71
FIGURA 95 - LIGA DE COBRE-BERÍLIO (AMPCO® 83).....	71
FIGURA 96 - DESMOLDAGEM DE CONTRA-SÁIDAS.....	72
FIGURA 97 - MAPA DE COMPONENTES DA EXTRAÇÃO DA CAVIDADE.....	73
FIGURA 98 - MOVIMENTO HIDRÁULICO 703.....	73
FIGURA 99 - ÂNGULOS DE EXTRAÇÃO.....	74
FIGURA 100 - CINEMÁTICA DO MOVIMENTO HIDRÁULICO (703).....	74
FIGURA 101 - GUIAS DOS MOVIMENTOS HIDRÁULICOS.....	75
FIGURA 102 - GUIAMENTO DOS MOVIMENTOS HIDRÁULICOS.....	75
FIGURA 103 - MOVIMENTO À EXTRAÇÃO (500).....	76

FIGURA 104 – CINEMÁTICA DO MOVIMENTO À EXTRAÇÃO (500).....	76
FIGURA 105 - MOVIMENTO À EXTRAÇÃO (502).....	77
FIGURA 106 - CINEMÁTICA DO MOVIMENTO À EXTRAÇÃO (502). ....	77
FIGURA 107 – PERNO HIDRÁULICO 710. ....	78
FIGURA 108 - SISTEMA DE SEGURANÇA DA EXTRAÇÃO DA CAVIDADE.....	78
FIGURA 109 - MAPA DE COMPONENTES DA EXTRAÇÃO DO MACHO. ....	79
FIGURA 110 - LEVANTADOR (540). ....	79
FIGURA 111 - CINEMÁTICA DO LEVANTADOR (540). ....	80
FIGURA 112 - PERNOS HIDRÁULICOS (718 E 719). ....	80
FIGURA 113 - VEDAÇÃO ENTRE OS PERNOS HIDRÁULICOS E OS MOVIMENTOS HIDRÁULICOS. ....	81
FIGURA 114 – MECÂNICA DO MOLDE. ....	81
FIGURA 115 – MOLDE FECHADO. ....	82
FIGURA 116 - INICIO DA EXTRAÇÃO E ABERTURA SIMULTÂNEA DO MOLDE.....	82
FIGURA 117 - VERIFICAÇÃO DA DESMOLDAGEM DAS CONTRA-SAÍDAS. ....	82
FIGURA 118 - FINAL DO CURSO DA PLACA DE EXTRAÇÃO. ....	82
FIGURA 119 – CONTINUAÇÃO DA EXTRAÇÃO, APENAS COM OS MOVIMENTOS HIDRÁULICOS. ....	82
FIGURA 120 - FINAL DO CURSO DOS MOVIMENTOS HIDRÁULICOS.....	82
FIGURA 121 – CONTINUAÇÃO DA ABERTURA DO MOLDE. ....	83
FIGURA 122 – FINAL DA ABERTURA DO MOLDE E INÍCIO DA EXTRAÇÃO DO MACHO.....	83
FIGURA 123 - FINAL DA EXTRAÇÃO DO MACHO. ....	83
FIGURA 124 - PERNOS DE RETORNO. ....	84
FIGURA 125 - PERNOS DE RETORNO COM OS MOVIMENTOS HIDRÁULICOS 702 E 703.....	84
FIGURA 126 - GUIA E CASQUILHO. ....	84
FIGURA 127 - PLACA DE EXTRAÇÃO DA CAVIDADE. ....	85
FIGURA 128 - PLACA DE EXTRAÇÃO DO MACHO.....	85
FIGURA 129 - CILINDROS HIDRÁULICOS E RESPECTIVO CIRCUITO HIDRÁULICO PARA AS MAXILAS.....	86
FIGURA 130 - CILINDROS HIDRÁULICOS E RESPECTIVO CIRCUITO HIDRÁULICO PARA A EXTRAÇÃO DA CAVIDADE. ....	88
FIGURA 131 - CILINDROS HIDRÁULICOS E RESPECTIVO CIRCUITO HIDRÁULICO PARA OS PERNOS HIDRÁULICOS DA CAVIDADE.....	89
FIGURA 132 - CILINDROS HIDRÁULICOS E RESPECTIVO CIRCUITO HIDRÁULICO PARA OS PERNOS HIDRÁULICOS DO MACHO. ....	89
FIGURA 133 - CIRCUITO DA CAVIDADE.....	90
FIGURA 134 - CIRCUITO DO MACHO. ....	90
FIGURA 135 - VÁLVULA DE AR PARA ALTA PRESSÃO DA CUMSA®.....	90
FIGURA 136 - VÁLVULA DUPLA DA CUMSA®.....	91
FIGURA 137 - FUIROS DE ESCAPE DE GASES.....	91

FIGURA 138 - DEFEITO NO ENCHIMENTO: À ESQUERDA VÊ-SE AS PRISÕES DE AR RESULTANTES DO ENCHIMENTO; À DIREITA VÊ-SE O ENCHIMENTO AINDA INCOMPLETO. ....	91
FIGURA 139 - FUGAS DE GASES. ....	92
FIGURA 140 - SISTEMA DE GUIAMENTO E AJUSTE DO MACHO. ....	92
FIGURA 141 - SISTEMA DE GUIAMENTO E AJUSTE DA CAVIDADE. ....	92
FIGURA 142 - CHAPAS DE AJUSTE E PRESSÃO. ....	93
FIGURA 143 - SISTEMA DE INJEÇÃO. ....	94
FIGURA 144 - CILINDROS DO SISTEMA DE INJEÇÃO. ....	94
FIGURA 145 - À ESQUERDA O DISTRIBUIDOR DO ÓLEO E A DIREITA O DISTRIBUIDOR DA ÁGUA. ....	95
FIGURA 146 - COMPONENTES EM LIGA DE BECU. ....	95
FIGURA 147 - REFRIGERAÇÃO DA CAVIDADE. ....	96
FIGURA 148 - CIRCUITOS DE REFRIGERAÇÃO DO POSTIÇO 100A. ....	96
FIGURA 149 - CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO DO POSTIÇO 100T. ....	96
FIGURA 150 - CIRCUITOS DE REFRIGERAÇÃO DOS POSTIÇOS 100N, 100O, 100P, 100Q, 100R E 100S. ....	97
FIGURA 151 - CIRCUITOS DE REFRIGERAÇÃO DOS POSTIÇOS 100B, 100C, 100D, 100E, 100F, 100G, 100H E 100I. ....	97
FIGURA 152 - CIRCUITOS DE REFRIGERAÇÃO DOS MOVIMENTOS HIDRÁULICOS 700, 701, 702 E 703. ....	97
FIGURA 153 - CIRCUITOS DE REFRIGERAÇÃO DOS POSTIÇOS DOS MOVIMENTOS HIRÁULICOS 700A, 700B, 701A, 701B, 702A, 702B, 703A E 703B. ....	98
FIGURA 154 - CIRCUITOS DE REFRIGERAÇÃO DOS MOVIMENTOS À EXTRAÇÃO 500, 501, 502 E 503. ....	98
FIGURA 155 - REFRIGERAÇÃO DO MACHO. ....	99
FIGURA 156 - CIRCUITOS DE REFRIGERAÇÃO DO POSTIÇO 200. ....	99
FIGURA 157 - CIRCUITOS DE REFRIGERAÇÃO DOS POSTIÇOS 200G, 200H, 200E, 200F. ....	100
FIGURA 158 - CIRCUITOS DE REFRIGERAÇÃO DOS POSTIÇOS 200A, 200B, 200C E 200D. ....	100
FIGURA 159 - CONTADOR DE CICLOS DME®. ....	101
FIGURA 160 - VÁLVULAS DE AR PARA ALTA PRESSÃO DA CUMSA®. ....	101
FIGURA 161 - SENSOR DE FIM DE CURSO STEUTE®. ....	101
FIGURA 162 - CAIXA ELÉTRICA WEIDMULLER®. ....	102
FIGURA 163 - SENSOR DE PRESSÃO KISTLER®. ....	102
FIGURA 164 – MOLA DANLY®. ....	102
FIGURA 165 - CAVILHAS HASCO®. ....	102
FIGURA 166 - PARAFUSOS UNBRAKO®. ....	102
FIGURA 167 - OLHAL RUD®. ....	102
FIGURA 168 – ACESSÓRIO DE LIGAÇÃO DE ÁGUA STAUBLI®. ....	103
FIGURA 169 - CAIXA DE MÚLTIPLAS LIGAÇÕES STAUBLI®. ....	103
FIGURA 170 - MANGUEIRA PARA CIRCUITOS DE ÁGUA RAUFILAM®-E. ....	103
FIGURA 171 - ACESSÓRIOS DE LIGAÇÃO PARKER®. ....	104
FIGURA 172 - DIVISOR DE FLUXO POWER-HYDRAULIK®. ....	104

FIGURA 173 - MANGUEIRA PARA CIRCUITOS DE ÓLEO PARKER® .....	104
FIGURA 174 - MÁQUINA DE INJEÇÃO ENGEL .....	105
FIGURA 175 - IMPORTAÇÃO DO MODELO 3D PARA O MOLDFLOW® .....	105
FIGURA 176 - GERAÇÃO DA MALHA EM <i>DUAL DOMAIN</i> .....	106
FIGURA 177 - À ESQUERDA, ESTÃO AS VÁRIAS FUNÇÕES PARA O TRATAMENTO DE MALHA E, À DIREITA, OS VALORES PERCENTUAIS DA QUALIDADE DE MALHA.....	106
FIGURA 178 - SELEÇÃO DO MATERIAL NO MOLDFLOW® .....	106
FIGURA 179 - INDICAÇÃO DOS PONTOS DE INJEÇÃO NO MOLDFLOW® .....	107
FIGURA 180 - ESPESURAS DA PEÇA EM MM. ....	108
FIGURA 181 - TIPO DE SIMULAÇÃO PARA UMA INJEÇÃO <i>STANDARD</i> .....	108
FIGURA 182 - PERFIL DE COMPACTAÇÃO DO PRIMEIRO ESTUDO. ....	109
FIGURA 183 - ENCHIMENTO DO PRIMEIRO ESTUDO.....	110
FIGURA 184 - LINHAS ISOCRÓNICAS DO ENCHIMENTO DO PRIMEIRO ESTUDO.....	110
FIGURA 185 - TEMPERATURA DA FRENTE DE FLUXO DO PRIMEIRO ESTUDO.....	111
FIGURA 186 - LINHAS DE UNIÃO DO PRIMEIRO ESTUDO. ....	111
FIGURA 187 - PRISÕES DE AR DO PRIMEIRO ESTUDO. ....	111
FIGURA 188 - CHUPADOS DO PRIMEIRO ESTUDO.....	112
FIGURA 189 - PRESSÃO DE INJEÇÃO DO PRIMEIRO ESTUDO. ....	112
FIGURA 190 - FORÇA DE FECHO DO PRIMEIRO ESTUDO.....	112
FIGURA 191 - CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA DO PRIMEIRO ESTUDO.....	113
FIGURA 192 - TEMPO NECESSÁRIO PARA EFETUAR A EXTRAÇÃO DO PRIMEIRO ESTUDO. ....	113
FIGURA 193 - PESO DA PEÇA DO PRIMEIRO ESTUDO.....	113
FIGURA 194 - DEFORMAÇÃO GERAL DO PRIMEIRO ESTUDO.....	114
FIGURA 195 - DEFORMAÇÃO EM X DO PRIMEIRO ESTUDO. ....	114
FIGURA 196 - DEFORMAÇÃO EM Y DO PRIMEIRO ESTUDO. ....	114
FIGURA 197 - TIPO DE SIMULAÇÃO PARA INJEÇÃO COM AGENTE EXPANSOR.....	115
FIGURA 198 – CONFIGURAÇÕES DO PROCESSO.....	116
FIGURA 199 - ENCHIMENTO DO SEGUNDO ESTUDO. ....	117
FIGURA 200 - TEMPERATURA DA FRENTE DE FLUXO DO SEGUNDO ESTUDO.....	117
FIGURA 201 - CHUPADOS DO SEGUNDO ESTUDO.....	118
FIGURA 202 - PRESSÃO DE INJEÇÃO DO SEGUNDO ESTUDO. ....	118
FIGURA 203 - FORÇA DE FECHO DO SEGUNDO ESTUDO.....	118
FIGURA 204 - CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA DO SEGUNDO ESTUDO. ....	119
FIGURA 205 - TEMPO NECESSÁRIO PARA EFETUAR A EXTRAÇÃO DO SEGUNDO ESTUDO. ....	119
FIGURA 206 - PESO DA PEÇA DO SEGUNDO ESTUDO.....	119
FIGURA 207 - DEFORMAÇÃO GERAL DO SEGUNDO ESTUDO.....	120
FIGURA 208 - DEFORMAÇÃO EM X DO SEGUNDO ESTUDO. ....	120
FIGURA 209 - DEFORMAÇÃO EM Y DO SEGUNDO ESTUDO. ....	120

FIGURA 210 - ENCHIMENTO DO TERCEIRO ESTUDO. ....	121
FIGURA 211 - TEMPERATURA DA FRENTE DE FLUXO DO TERCEIRO ESTUDO. ....	122
FIGURA 212 - CHUPADOS DO TERCEIRO ESTUDO. ....	122
FIGURA 213 - PRESSÃO DE INJEÇÃO DO TERCEIRO ESTUDO. ....	122
FIGURA 214 - FORÇA DE FECHO DO TERCEIRO ESTUDO. ....	123
FIGURA 215 – CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA DO TERCEIRO ESTUDO. ....	123
FIGURA 216 – TEMPO NECESSÁRIO PARA EFETUAR A EXTRAÇÃO DO TERCEIRO ESTUDO. ....	123
FIGURA 217 - PESO DA PEÇA DO TERCEIRO ESTUDO. ....	124
FIGURA 218 - DEFORMAÇÃO GERAL DO TERCEIRO ESTUDO. ....	124
FIGURA 219 – VOLUME DE PEÇA GRAVADO PELO MOVIMENTO HIDRÁULICO. ....	126
FIGURA 220 - ZONA DE VEDAÇÃO, À ESQUERDA, E CHAPAS DE PRESSÃO, À DIREITA. ....	128
FIGURA 221 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE FABRICO. ....	130
FIGURA 222 – <i>SOFTWARE</i> UNIGRAFICS®. ....	130
FIGURA 223 - <i>SOFTWARE</i> MOLDFLOW®. ....	131
FIGURA 224 - <i>SOFTWARE</i> POWERMILL®. ....	131
FIGURA 225 - MAQUINAÇÃO CNC. ....	131
FIGURA 226 - TORNO MECÂNICO. ....	132
FIGURA 227 - MÁQUINA DE EROSIÃO. ....	132
FIGURA 228 - MAQUINA DE FURAÇÃO RÁPIDA. ....	132
FIGURA 229 - RETIFICADORA PLANA. ....	133
FIGURA 230 - NAVE DE BANCADAS. ....	133
FIGURA 231 - PRENSA HIDRÁULICA PARA MOLDES. ....	133
FIGURA 232 - MÁQUINA DE CONTROLO DIMENSIONAL. ....	134
FIGURA 233 - PERCENTAGENS DAS ESTIMATIVAS DE CUSTOS. ....	136
FIGURA 234 - PORTA MACHOS. ....	136
FIGURA 235 - ACESSÓRIOS DO MACHO. ....	137
FIGURA 236 - PORTA MACHOS COM OS ACESSÓRIOS. ....	137
FIGURA 237 - POSTIÇO 200. ....	137
FIGURA 238 - POSTIÇOS PERTENCENTES AO POSTIÇO 200. ....	138
FIGURA 239 - LEVANTADORES DO MACHO. ....	138
FIGURA 240 - PLACA DE EXTRAÇÃO E CASQUILHOS. ....	138
FIGURA 241 - POSTIÇO 200 COM OS ELEMENTOS DA EXTRAÇÃO. ....	139
FIGURA 242 - PORTA MACHOS E POSTIÇO 200 MONTADOS. ....	139
FIGURA 243 - PLACA TRASEIRA DO MACHO. ....	139
FIGURA 244 - ANILHA DE CENTRAGEM. ....	140
FIGURA 245 - MOVIMENTOS HIDRÁULICOS DO MACHO. ....	140
FIGURA 246 - LADO MÓVEL COMPLETO. ....	140
FIGURA 247 - LADO MÓVEL COM PERIFÉRICOS MONTADOS. ....	141

FIGURA 248 - POSTIÇO 100M.....	141
FIGURA 249 - COMPONENTES DO POSTIÇO 100M.....	142
FIGURA 250 - PORTA CAVIDADES COM OS POSTIÇOS 100J .....	142
FIGURA 251 - POSTIÇO 100A .....	142
FIGURA 252 – POSTIÇOS 100R, 100S E 100T. ....	143
FIGURA 253 - POSTIÇO 100A COM AS GUIAS DA EXTRAÇÃO.....	143
FIGURA 254 - ACESSÓRIOS DA PLACA DE EXTRAÇÃO.....	143
FIGURA 255 - PLACA DE EXTRAÇÃO MONTADA COM AS GUIAS NO POSTIÇO 100A.....	144
FIGURA 256 - CARRINHOS DOS MOVIMENTOS À EXTRAÇÃO.....	144
FIGURA 257 - MOVIMENTOS À EXTRAÇÃO. ....	144
FIGURA 258 - POSTIÇO 100A MONTADO COM OS COMPONENTES DA EXTRAÇÃO.....	145
FIGURA 259 - CAVIDADE SEM OS MOVIMENTOS HIDRÁULICOS.....	145
FIGURA 260 - MOVIMENTO HIDRÁULICO 700.....	146
FIGURA 261 - POSTIÇOS DOS MOVIMENTOS HIDRÁULICOS. ....	146
FIGURA 262 - CHAPAS DE AJUSTE E DE PRESSÃO DAS MAXILAS.....	146
FIGURA 263 - SISTEMA DE SEGURANÇA DA EXTRAÇÃO. ....	147
FIGURA 264 - MOVIMENTO HIDRÁULICO 702 COMPLETO. ....	147
FIGURA 265 - PORTA CAVIDADES MAIS OS MOVIMENTOS HIDRÁULICOS.....	148
FIGURA 266 - GUIAS DOS MOVIMENTOS HIDRÁULICOS. ....	148
FIGURA 267 - CAVIDADE EM POSIÇÃO DE MONTAGEM DO SISTEMA DE INJEÇÃO. ....	148
FIGURA 268 - CILINDROS DOS MOVIMENTOS HIDRÁULICOS.....	149
FIGURA 269 - VEIOS DE REFORÇO DOS MOVIMENTOS Á EXTRAÇÃO. ....	149
FIGURA 270 - SISTEMA DE INJEÇÃO. ....	149
FIGURA 271 - PLACA TRASEIRA DA CAVIDADE E ANILHA DE CENTRAGEM. ....	150
FIGURA 272 - PERNO HIDRÁULICO DA CAVIDADE.....	150
FIGURA 273 - LADO FIXO COM PERIFÉRICOS.....	150
FIGURA 274 - LIGAÇÕES ELÉTRICAS.....	151
FIGURA 275 - CAVIDADE PINTADA COM ZARCÃO. ....	154

## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – FATORES QUE INFLUENCIAM A LOCALIZAÇÃO DO PONTO DE INJEÇÃO.	16
TABELA 2 - EXEMPLO DE ALGUNS AÇOS UTILIZADOS NA INDÚSTRIA DE MOLDES [5].	35
TABELA 3 – EXEMPLO DE ALGUMAS LIGAS DE COBRE-BERÍLIO UTILIZADAS NA INDÚSTRIA DE MOLDES [5].	35
TABELA 4 - PROPRIEDADES DO HDPE [8].	40
TABELA 5 - SOLUBILIDADE MÁXIMA ESTIMADA DO GÁS NOS DIFERENTES POLÍMEROS A 200 °C E 27,6 MPA [10].	42
TABELA 6 - CARACTERÍSTICAS DA MECÂNICA DA PEÇA.	51
TABELA 7 - REQUISITOS GERAIS EXIGIDOS PELO CLIENTE.	53
TABELA 8 – REQUISITOS DO SISTEMA DE INJEÇÃO EXIGIDOS PELO CLIENTE.	54
TABELA 9 – REQUISITOS DO SISTEMA DE EXTRAÇÃO EXIGIDOS PELO CLIENTE.	55
TABELA 10 – REQUISITOS DE GARANTIA EXIGIDOS PELO CLIENTE.	56
TABELA 11 - ELEMENTOS ESTRUTURAIS DO MOLDE	58
TABELA 12 – VALORES ATRIBUÍDOS ÀS PROPRIEDADES DOS MATERIAIS.	60
TABELA 13 – VALOR NUMÉRICO DAS PROPRIEDADES.	61
TABELA 14 - ÍNDICES DE MÉRITO PARA A PLACA DE EXTRAÇÃO.	62
TABELA 15 - ÍNDICES DE MÉRITO PARA O POSTIÇO DO MACHO.	63
TABELA 16 - ÍNDICES DE MÉRITO PARA O MOVIMENTO MECÂNICO.	64
TABELA 17 - COMPARAÇÃO ENTRE A CONDUTIVIDADE TÉRMICA DO AÇO E DA LIGA COBRE-BERÍLIO	71
TABELA 18 - SEQUÊNCIA DE IMAGENS DA EXTRAÇÃO DO MOLDE	82
TABELA 19 - FORÇAS DESENVOLVIDAS PELOS CILINDROS MERKLE-HZ NO SEU AVANÇO, EM N.	87
TABELA 20 - FORÇAS DESENVOLVIDAS PELOS CILINDROS MERKLE-HZ NO SEU RECUO, EM N.	87
TABELA 21 - FORÇAS DESENVOLVIDAS PELOS CILINDROS MERKLE-DFZ NO SEU AVANÇO, EM N.	88
TABELA 22 - FORÇAS DESENVOLVIDAS PELOS CILINDROS MERKLE-DFZ NO SEU RECUO, EM N.	88
TABELA 23 - FORÇAS DESENVOLVIDAS PELOS CILINDROS MERKLE-BZR NO SEU AVANÇO, EM N.	89
TABELA 24 - FORÇAS DESENVOLVIDAS PELOS CILINDROS MERKLE-BZR NO SEU RECUO, EM N.	89
TABELA 25 - PARÂMETROS A TER EM CONTA PARA O PROCESSAMENTO DO POLÍMERO.	107
TABELA 26 – VARIÁVEIS DE ENTRADA DO PRIMEIRO ESTUDO.	109
TABELA 27 - RESULTADOS DO PRIMEIRO ESTUDO.	110
TABELA 28 - VARIÁVEIS DE ENTRADA DO SEGUNDO ESTUDO.	115
TABELA 29 - RESULTADOS DO SEGUNDO ESTUDO.	117
TABELA 30 - VARIÁVEIS DE ENTRADA DO TERCEIRO ESTUDO.	121
TABELA 31 - RESULTADOS DO TERCEIRO ESTUDO.	121
TABELA 32 - COMPARAÇÃO DE RESULTADOS.	124

---

TABELA 33 - SETORES E RESPATIVAS FUNÇÕES.	130
TABELA 34 - ESTIMATIVA DE CUSTOS DAS COMPRAS.	134
TABELA 35 – ESTIMATIVA DE CUSTOS DOS SUBCONTRATADOS.	134
TABELA 36 - ESTIMATIVA DE CUSTOS DO <i>DESIGN</i> .	135
TABELA 37 - ESTIMATIVAS DE CUSTOS DA PRODUÇÃO.	135
TABELA 38 - SOMATÓRIO DAS ESTIMATIVAS DE CUSTO.	135
TABELA 39 - MONTAGEM DO LADO MÓVEL	136
TABELA 40 - MONTAGEM DO LADO FIXO.	141
TABELA 41 - CONECTOR DE AQUECIMENTO 1.	152
TABELA 42 - CONECTOR DE AQUECIMENTO 2.	152
TABELA 43 - CONECTOR DE AQUECIMENTO 3.	152
TABELA 44 - CONECTOR DE TERMOPAR 1.	153
TABELA 45 - CONECTOR DE TERMOPAR 2.	153
TABELA 46 - CONECTOR DE TERMOPAR 3.	153

# ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO .....	1
1.1	Contextualização .....	1
1.2	Objetivos .....	1
1.3	Organização do relatório .....	2
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	5
2.1	Moldes para a injeção de plásticos .....	5
2.2	Moldes e seus sistemas .....	5
2.2.1	Tipos de moldes de injeção .....	7
2.2.2	Estrutura dos moldes .....	10
2.2.3	Sistemas de fixação da ferramenta .....	11
2.2.4	Sistemas de alimentação .....	13
2.2.5	Sistema de arrefecimento .....	21
2.2.6	Sistemas de guiamento e centramento .....	24
2.2.7	Sistema de extração .....	26
2.2.8	Sistema de escape de gases .....	30
2.2.9	Tipos de componentes moldantes .....	31
2.3	Materiais a utilizar em moldes de injeção.....	33
2.4	Componentes normalizados existentes para moldes .....	35
2.5	Projeto de moldes para injeção de plásticos .....	37
2.5.1	Dimensionamento das guias principais.....	37
2.5.2	Dimensionamento das chapas de ajuste.....	38
2.5.3	Espessura mínima da cavidade.....	38
2.6	O polietileno de alta densidade .....	39
2.7	Injeção com agente expensor .....	40
2.8	Modelação do processo de enchimento do molde.....	45
3	DESENVOLVIMENTO .....	49
3.1	Caracterização da empresa .....	49
3.2	Objetivos do trabalho a realizar .....	50
3.3	Caracterização da peça a injetar .....	50
3.4	Requisitos exigidos pelo cliente .....	52

<b>3.5</b>	<b>Anteprojeto do molde .....</b>	<b>56</b>
3.5.1	Cálculo das contrações da peça .....	56
3.5.2	Separação da peça em macho e cavidade.....	56
3.5.3	Geometria do molde .....	57
3.5.4	Seleção de materiais para os diferentes componentes do molde .....	59
3.5.5	Postiços .....	64
3.5.6	Sistema de extração .....	72
3.5.7	Mecânica do molde.....	81
3.5.8	Pernos de retorno .....	83
3.5.9	Placas de extração .....	84
3.5.10	Projeto hidráulico e pneumático .....	85
3.5.11	Guiamento e ajuste .....	92
3.5.12	Sistema de injeção .....	93
3.5.13	Sistema de refrigeração.....	95
<b>3.6</b>	<b>Seleção de componentes normalizados .....</b>	<b>100</b>
<b>3.7</b>	<b>Modelação do fluxo de enchimento .....</b>	<b>105</b>
<b>3.8</b>	<b>Dimensionamento do molde .....</b>	<b>126</b>
<b>3.9</b>	<b>Processos de fabrico e respetiva sequência .....</b>	<b>130</b>
<b>3.10</b>	<b>Estimativa de custos de fabrico .....</b>	<b>134</b>
<b>3.11</b>	<b>Montagem final do molde .....</b>	<b>136</b>
<b>3.12</b>	<b>Ligações elétricas.....</b>	<b>151</b>
<b>3.13</b>	<b>Ajuste final do molde e teste .....</b>	<b>154</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>157</b>
<b>5</b>	<b>BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....</b>	<b>161</b>
5.1	Bibliografia .....	161
5.2	Outras fontes de informação .....	161
<b>6</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>167</b>
6.1	ANEXO1 .....	167
6.2	ANEXO2 .....	169
6.3	ANEXO 3 .....	170

# INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

1.2 Objetivos

1.3 Organização do relatório



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização

A indústria de moldes para a injeção de plásticos é uma atividade com larga tradição em Portugal. Existem essencialmente duas zonas onde esta indústria se concentra de forma mais intensa: Oliveira de Azeméis e Marinha Grande. A indústria automóvel é o principal mercado para a maioria destas empresas, sendo responsável por mais de 70% da sua produção.

Para se conseguir acompanhar o aumento da exigência na indústria, desenvolveram-se *softwares* de desenho, maquinação e simulação, que permitem uma maior rapidez na conceção do produto e uma prevenção de possíveis erros ao nível da reologia do molde, ou da sua solidez estrutural.

Atendendo à preocupação da indústria automóvel em reduzir o impacto ambiental provocado pelos automóveis, a solução de injeção com agente expansor pode vir a ser uma grande ajuda, dadas as reduções de peso possíveis na peça. Esta solução terá apenas como desvantagem a sua baixa qualidade superficial, que é normalmente um fator importantíssimo na indústria automóvel.

## 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 índices de qualidade requeridos à superfície da peça;
- 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 Organização do relatório

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 revistas científicas 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 Moldes para a injeção de plásticos**
- 2.2 Moldes e seus sistemas**
- 2.3 Materiais a utilizar em moldes de injeção**
- 2.4 Componentes normalizados existentes para moldes**
- 2.5 Projeto de moldes para injeção de plásticos**
- 2.6 O polietileno de alta densidade**
- 2.7 Injeção com agente expensor**
- 2.8 Modelação do processo de enchimento do molde**



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Moldes para a injeção de plásticos

Em 1868, *John Wesley Hyatt* desenvolveu o material celulósico (na verdade este material foi inventado por *Alexander Parks*, mas *Hyatt* aperfeiçoou-o) para fabricar bolas de bilhar. Até então, as bolas de bilhar eram feitas de marfim, mas este foi-se tornando cada vez mais caro e difícil de obter. Foi então necessário criar uma alternativa. Infelizmente, algumas bolas explodiram durante a demonstração, já que o material celulósico era muito instável e de alta inflamabilidade [1]. Foram feitos alguns melhoramentos, e foi assim que nasceu a indústria de polímeros. *John Wesley Hyatt*, junto com o seu irmão, patentearam a primeira máquina de injeção que fabricava peças em material celulósico, em 1872 [1]. Outros começaram a estudar o processo, e usaram-no para fabricar outro tipo de materiais (botões e escovas de cabelo) [1].

Foi durante a segunda Guerra Mundial que esta indústria mais se desenvolveu: descobriram-se novos materiais e inventaram-se novas técnicas, tudo para satisfazer as necessidades que se advinhavam com a guerra [1].

Desde o seu nascimento até agora, a indústria de injeção de polímeros tem vindo sempre a evoluir, começando nas bolas de bilhar, botões e escovas de cabelo, evoluindo para os mais diferentes campos da indústria moderna, tais como a indústria automóvel, aeroespacial, etc.

O grande sucesso desta tecnologia deve-se ao efeito combinado de uma série de vantagens, entre as quais se salientam: a elevada produção, a grande reprodutibilidade e precisão dimensional, a grande flexibilidade em termos de geometria e dimensões das peças a moldar. [1]

### 2.2 Moldes e seus sistemas

O molde é um sistema funcional de uma máquina de injeção, e pode ser mais ou menos complexo conforme a peça a injetar. Um molde deverá produzir peças de qualidade, num tempo de ciclo o mais curto possível, ter o mínimo de manutenção durante o tempo de serviço e desempenhar corretamente as seguintes funções [2]:

- definir o volume com a forma da peça a produzir, assegurando a reprodutibilidade dimensional de ciclo para ciclo;
- permitir o preenchimento desse volume com o polímero fundido;
- facilitar o arrefecimento do polímero;
- promover a extração da peça.

A constituição dos moldes é determinada pela necessidade de realizar adequadamente as funções associadas à execução do ciclo de moldação.

Nesta perspetiva, um molde pode ser considerado como uma estrutura onde são montados os sistemas funcionais que, como o próprio nome indica, são os sistemas que permitem que o molde cumpra as suas funções.

Os sistemas funcionais de um molde são: [2]

- **a estrutura**, que assegura a solidez estrutural do molde;
- **o guiamento**, que tem como principal função garantir um fecho preciso e alinhado do molde;
- **o sistema de alimentação** (jitos, canais de alimentação e pontos de injeção), que garante a passagem do plástico fundido desde o bico da máquina de injeção até à zona de gravação do molde;
- **o sistema de refrigeração**, constituído por circuitos de água que têm a função de refrigerar o molde, para uma mais rápida e eficiente extração da peça.
- **o sistema de extração** (extratores, levantadores, placa de extração), que têm o papel de retirar a peça do molde.

Todos estes sistemas se encontram ilustrados na figura 1.

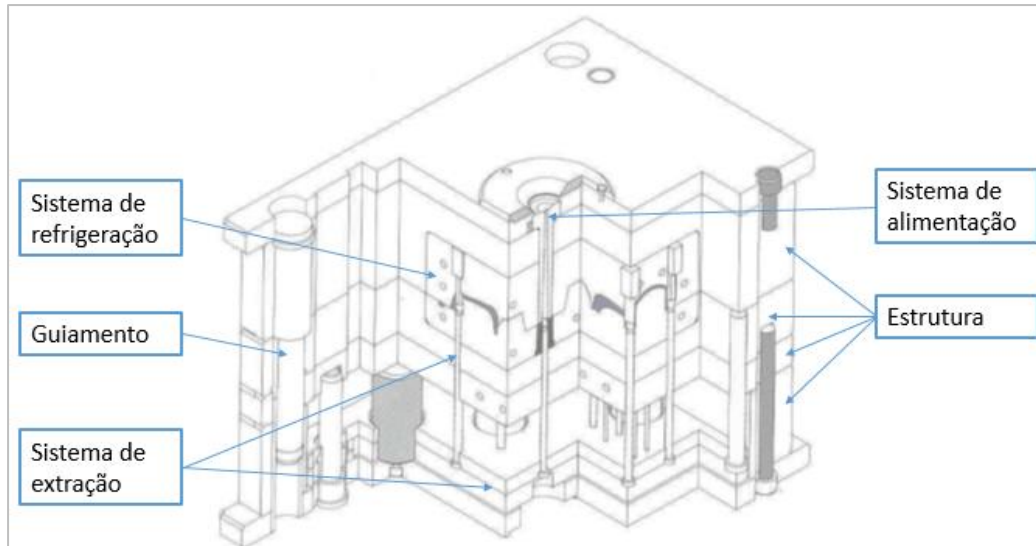


Figura 1 - Vista em corte com os vários sistemas funcionais de um molde [2].

### 2.2.1 Tipos de moldes de injeção

A primeira grande divisão é entre moldes sólidos (figura 2a) e moldes estruturados (figura 2b) [2]. Nos moldes sólidos, a cavidade e o macho são gravados diretamente nas placas respectivas de macho e cavidade. Nos moldes estruturados, as gravações são realizadas em postigos (porta macho e porta cavidade), que são posteriormente encastrados nas placas do macho e da cavidade.

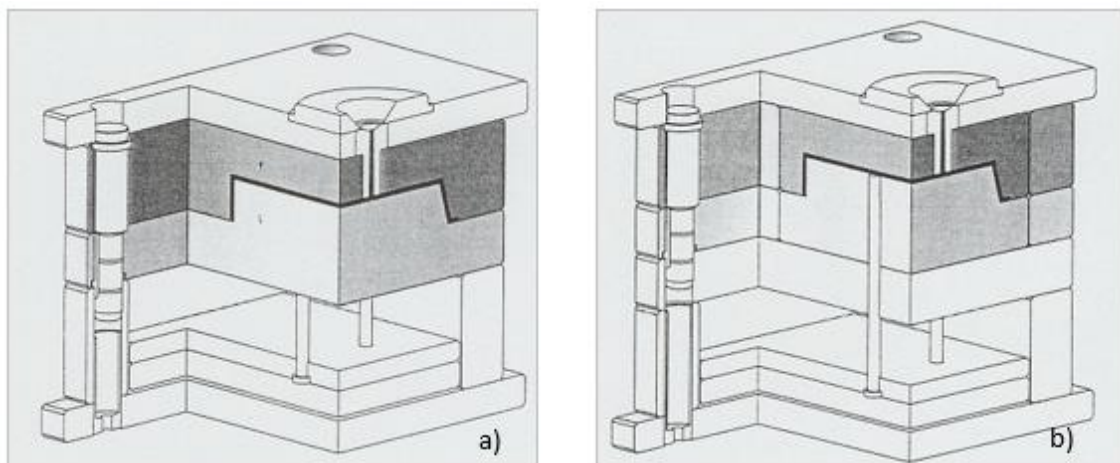


Figura 2 - a) molde sólido, b) molde estruturado [2].

Tanto nos moldes sólidos como nos moldes estruturados, existem casos em que no mesmo molde se gravam mais que uma peça, situação muito comum e vantajosa em peças de pequenas dimensões.

Dentro destes dois grandes grupos, existem mais quatro subgrupos, nomeadamente os moldes de três placas, canais quentes, *sandwich* e bi-matéria [2]. Cabe ao projetista saber escolher a melhor opção para cada tipo de peça, tendo sempre atenção ao tempo, ao custo e à qualidade pretendida. Há sempre a possibilidade de combiná-los se, mais uma vez, for vantajoso.

Nos moldes de três placas, dá-se primeiro a abertura e extração dos canais de injeção, e só depois é que se dá a abertura e extração da peça. Na figura 3, está representado a primeira abertura pela letra A, e a extração dos canais de injeção pela letra B. A segunda abertura e respetiva extração da peça, são representadas pelas letras C e D, respetivamente.

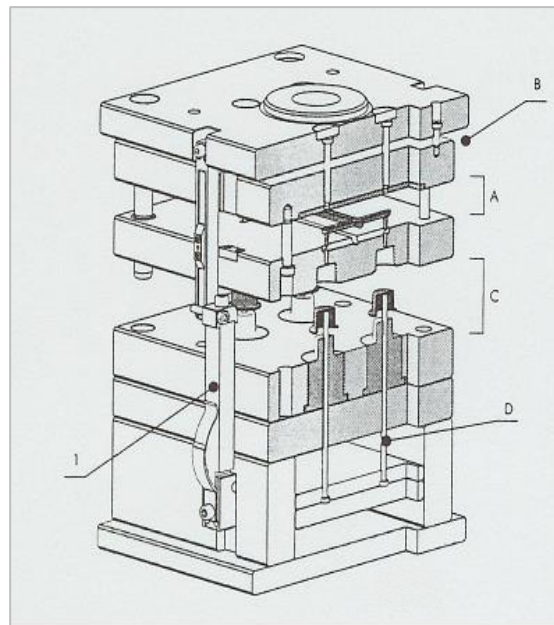


Figura 3 - Molde de três placas [2].

Quando se trata de moldes de canais quentes, o material chega à cavidade com a temperatura que sai da máquina de injeção, pois os bicos de injeção, juntamente com as suas resistências, vão manter o material à temperatura pretendida [2]. Isto é muito relevante, principalmente em peças muito grandes, em que o material pode arrefecer

precocemente e, conseqüentemente, provocar vazios na peça. Na figura 4 pode-se ver um molde em corte com canais quentes [2].

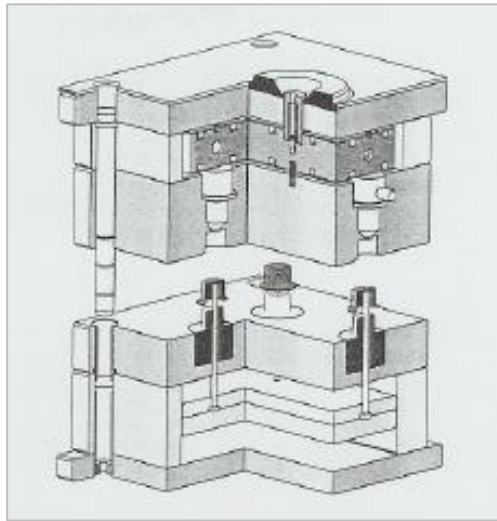


Figura 4 - Molde de canais quentes [2].

Nos moldes *sandwich* (figura 5), é possível duplicar o número de peças a injetar com a mesma força de fecho da máquina. Neste tipo de moldes, usa-se sempre canais quentes.

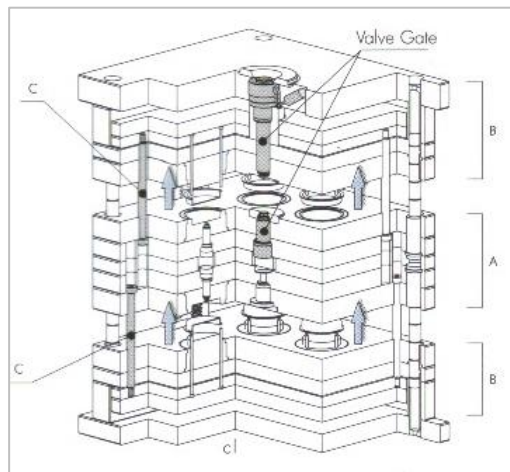


Figura 5 - Molde *sandwich* [2].

O molde para a técnica de injeção bi-matéria (figura 6), é um tipo de molde em que há injeção de dois ou mais materiais. Os materiais podem ser diferentes (compatíveis ou não), ou o mesmo material, mas com cores diferentes. Este tipo de molde pode funcionar das seguintes formas [2]:

- transferindo as moldações de uma máquina para outra, através de *robots*;
- transferindo as moldações da primeira posição de injeção para a segunda posição, no mesmo molde;
- por rotação incorporada no molde ou no prato da máquina, que tem duas ou mais unidades de injeção.

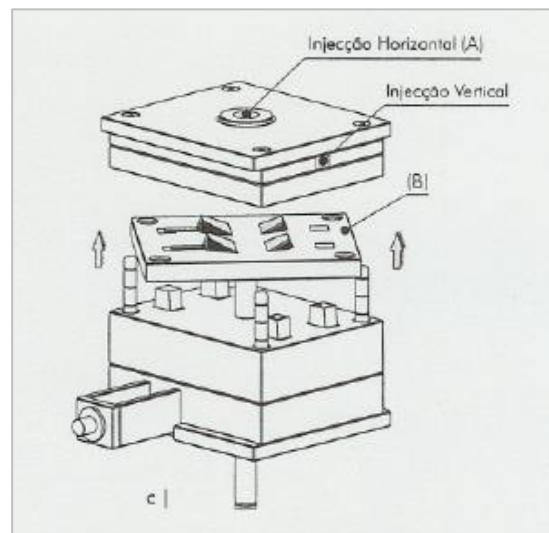


Figura 6 - Molde bi-matéria [2].

### 2.2.2 Estrutura dos moldes

A estrutura de um molde é um conjunto de placas e calços, cujo número depende do tipo de molde. Como exemplo, na figura 7 apresenta-se uma estrutura de um molde de duas placas [2] (tipo de molde mais simples), que é constituído por uma parte fixa:

- anilha de centragem;
- placa traseira da injeção;
- placa da cavidade;

e por uma parte móvel:

- placa do macho;
- calços;
- placa de extração;
- placa de encosto à extração;
- placa traseira da extração;

- anilha de centragem.

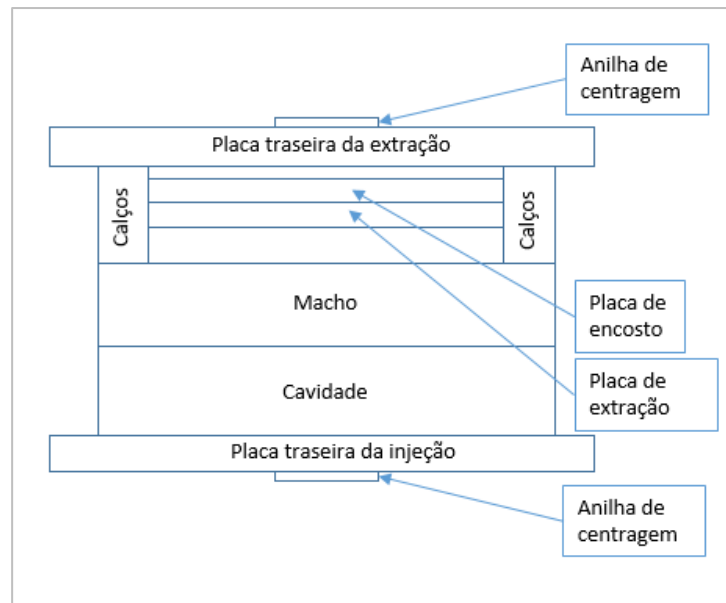


Figura 7 - Estrutura de um molde de duas placas.

Apesar de nesta representação estar a cavidade no lado fixo, e o macho no lado móvel, existem exceções onde isto não acontece, mas esta é a situação mais comum. As anilhas de centragem servem para posicionar o molde na máquina de injeção. A placa de extração é onde se encontram alojados os extratores (cabeça dos extratores) e a placa de encosto fica por cima destes, para garantir a sua fixação. A altura dos calços é sempre definida pelo curso da extração, e a sua largura é confinada pela placa do macho e a área ocupada pelos componentes da extração. As placas traseiras serve para apertar o molde à máquina de injeção.

### 2.2.3 Sistemas de fixação da ferramenta

Nas máquinas de injeção onde são montados os moldes, tem de haver algum mecanismo que faça com que o molde permaneça imóvel. É importante que o cliente especifique bem o tipo de mecanismo que vai utilizar para segurar o molde na máquina e, se necessário, definir algum tipo de especificação como, por exemplo, a espessura das placas traseiras. Existem alguns tipos comuns de fixação que serão explicados de seguida.

### Aperto convencional

Este aperto é feito manualmente, pelo que leva algum tempo até que o molde esteja devidamente seguro. Neste caso, o alinhamento do molde é feito através das anilhas de centragem que estão no lado móvel e no lado fixo. As barras do aperto convencional (figura 8) têm uma espessura considerável, para assim assegurarem a robustez necessária [2].



Figura 8 - Barra de um sistema de aperto convencional.

### Pratos magnéticos

Com este sistema, basta ao operador centrar o molde na máquina e ligar o sistema de magnetização, e o molde fica pronto para tirar peças [2]. No entanto, é necessário ter algum cuidado na limpeza das superfícies do molde e dos pratos magnéticos (figura 9).

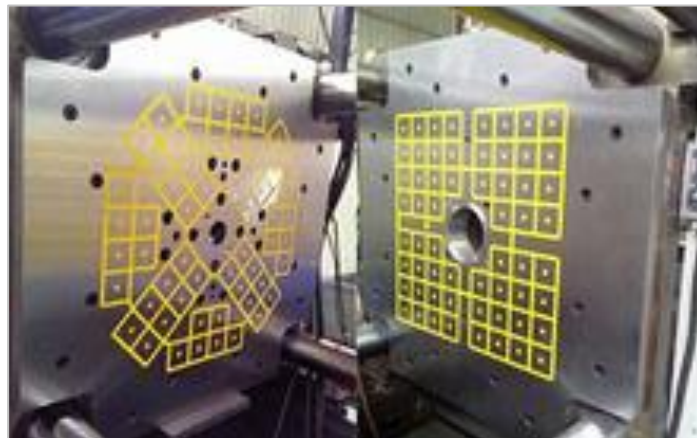


Figura 9 - Pratos magnéticos de uma máquina de injeção.

## 2.2.4 Sistemas de alimentação

### Sistema de alimentação com canais frios

O sistema de alimentação (figura 10) é constituído por uma série de canais, geralmente maquinados numa ou mais placas do molde, pelos quais o polímero fundido é transportado desde o bico de injeção até à zona moldante. O polímero entra no molde pelo canal de injeção, que pode ligar diretamente à cavidade, ou ramificar-se num sistema de alimentadores, que faz a ligação do canal de injeção às cavidades [2], [3].

O canal de injeção (ou jito) é um orifício cónico divergente, com um ângulo de abertura de 2° a 5°, para facilitar a sua extração. Os alimentadores ligam o canal de injeção às entradas das cavidades, e estão normalmente situados em superfícies de partição [2], [3].

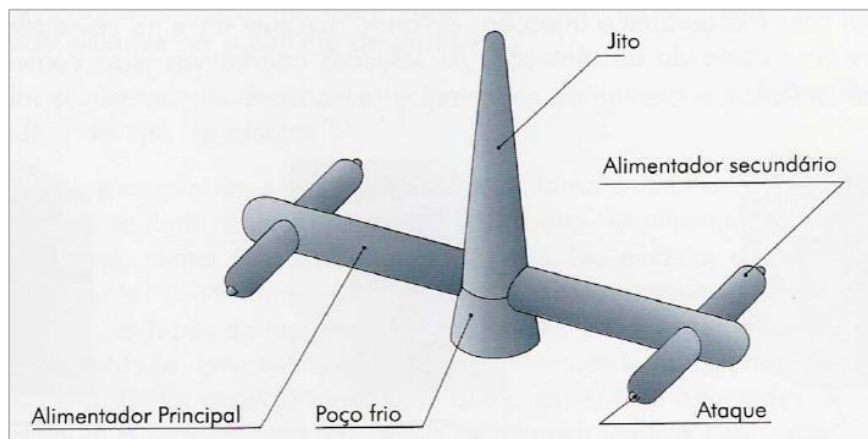


Figura 10 - Sistema de alimentação de canais frios [2].

Os canais de alimentação podem ser classificados quanto à sua secção transversal (figura 11) em [2]:

- circulares;
- trapezoidais;
- trapezoidais modificados;
- semicirculares;
- retangulares.

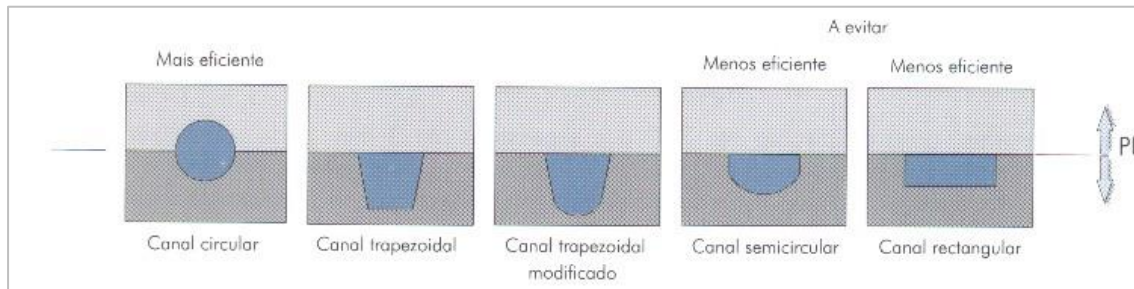


Figura 11 - Tipos de canais de alimentação [2].

O canal circular é o tipo de canal mais eficiente. A resistência ao fluxo deste tipo de canais é relativamente menor, quando comparada com os outros. A queda de temperatura do fundido durante o enchimento também é menor. A única desvantagem é a necessidade de o canal 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. Os canais com secção semicircular e retangular, deverão ser evitados sempre que possível, pois são menos eficientes.

Os moldes com mais de uma cavidade para a produção de peças distintas durante o mesmo ciclo de injeção, por vezes têm um tempo de enchimento diferente, o que origina diferenças de compactação [2], [3]. Ou seja, no momento em que uma das cavidades está completamente cheia, esta é compactada durante o enchimento da(s) outra(s). As diferenças de contração de cada peça conduzem a variações dimensionais e, por isso, o preenchimento equilibrado é especialmente importante neste tipo de moldes. O balanceamento pode ser conseguido através da variação do diâmetro de cada alimentador, para desta forma induzir diferenças intencionais de resistência ao fluxo [2], [3].

A figura 12 ilustra como a variação do diâmetro dos alimentadores pode influenciar o enchimento.

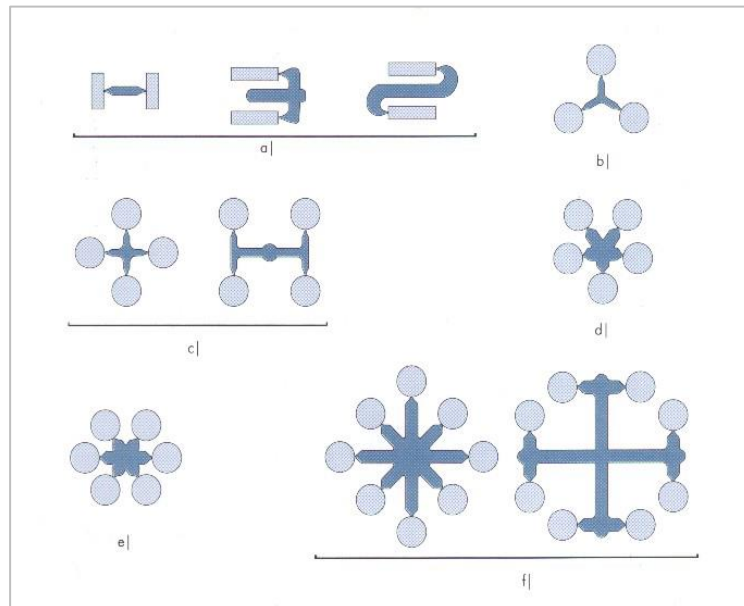


Figura 12 - Variação dos alimentadores para um enchimento equilibrado [2].

A hesitação é um defeito causado pela estagnação do fundido numa zona com variações significativas de resistência ao fluxo [2], [3]. Isto é, quando o fundido é injetado numa cavidade com grandes variações de espessura, este tende a encher primeiro as zonas que oferecem menor resistência ao fluxo (figura 13), ou seja, as zonas mais espessas. Assim, o fluxo pode estagnar nas zonas mais frias, e arrefecer 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 da zona de hesitação. Mesmo que isto não aconteça, pode ficar sempre uma marca na superfície da peça devido à hesitação [2], [3].

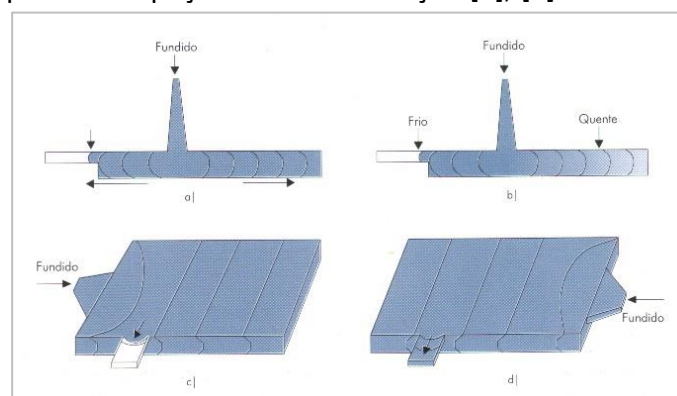


Figura 13 – Influência da localização do ponto de injeção na hesitação [2].

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

Tabela 1 – Fatores que influenciam a localização do ponto de injeção.

	<b>Espessura</b>
Peça	Fatores dimensionais
	Aparência
Material a injetar	Viscosidade
	Temperatura
	Cargas
	Contração
Processo	Empeno
	Linhas de soldadura
	Facilidade de extração
	Força de fecho
Outros	Equilíbrio
	Custo

A ligação entre o canal de injeção e a peça é feita através de ataques, os quais são feitos de várias maneiras, dependendo do tipo de material a injetar e os cuidados a ter com o aspeto visual da peça. Seguem-se agora alguns exemplos de ataques.

### **Ataque direto**

Os ataques diretos (figura 14) podem ser utilizados em moldes com uma só cavidade. Uma das vantagens, é a queda de pressão no sistema de alimentação ser relativamente baixa [2]. 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 desvantagem principal é a dificuldade de separação do canal de injeção, sem deixar marcas significativas na superfície da moldação [2].

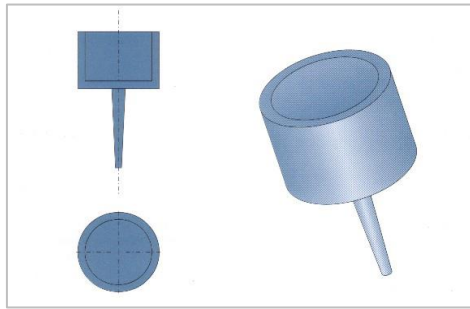


Figura 14 – Ataque direto à peça [2].

### Ataque lateral à cavidade

O ataque lateral (figura 15) é o mais comum e tem, geralmente, uma secção retangular.

As principais vantagens deste tipo de entrada são [2]:

- facilidade de maquinação;
- a grande exatidão dimensional e a facilidade de variação das suas dimensões;
- pode ser facilmente alterado durante o projeto do molde.

Tem a desvantagem de deixar marca na superfície visível da peça.



Figura 15 - Entrada lateral à cavidade [2].

### Ataque em *flash*

O ataque em *flash* (figura 16) é utilizado principalmente em peças planas, onde a alimentação é feita através de uma fenda ao longo da borda da peça, permitindo, assim, um preenchimento uniforme da cavidade [2]. Tem o inconveniente de ser mais difícil de partir (frequentemente tem de se recorrer a dispositivos especiais, por exemplo, facas quentes), e deixa uma marca visível no bordo da peça.

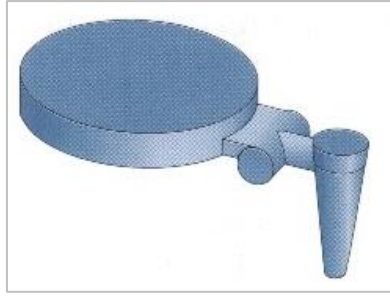


Figura 16 - Ataque em *flash* [2].

### Ataque em leque

O ataque em leque (figura 17), permite um preenchimento mais uniforme do que o ataque lateral, mas menos uniforme do que o ataque em *flash* [2]. É utilizado em peças com grandes superfícies e paredes finas. Como permite criar uma frente de fluxo uniforme, em alguns casos, minimiza o efeito de empeno devido à orientação molecular.



Figura 17 - Ataque em leque [2].

### Ataque submarino

A injeção submarina (figura18), geralmente circular, é uma variante do ataque lateral e é usada para o canal de injeção ser retirado automaticamente em moldes de duas placas, sem necessidade de recurso ao molde de três placas [2]. Esta entrada tem o inconveniente de deixar uma marca muito visível na parte lateral das peças, principalmente em peças coloridas.

O diâmetro recomendado do ataque é de 0,25 – 2 mm [2].

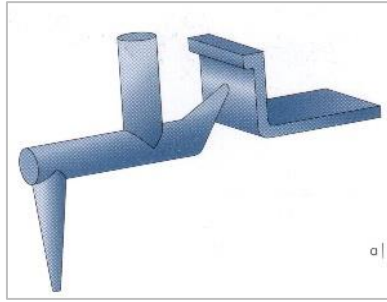


Figura 18 - Ataque submarino [2].

### **Ataque submarino curvo**

Este tipo de ataque (figura 19) é uma variante da entrada submarina, com a vantagem de permitir esconder a marca do ataque [2]. Tem no entanto a grande desvantagem de uma maior complexidade de construção, e um maior risco de uma extração deficiente (devido à grande deformação que o material tem de sofrer durante a extração, este pode partir e ficar dentro da entrada, com o seu conseqüente entupimento).

O diâmetro recomendado do ataque é de 0,25 – 1,5 mm [2].

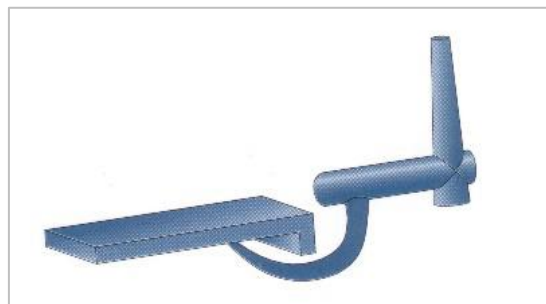


Figura 19 - Ataque submarino curvo [2].

- **Sistema de alimentação com canais quentes**

A função de um sistema de alimentação de canais quentes (figura 20) é manter o material no estado fundido, desde o bico da máquina de injeção até à zona moldante, para assim evitar a solidificação prematura no sistema de alimentação [2]. A temperatura no canal quente é sempre superior à temperatura média do molde. Os moldes de canais quentes permitem a obtenção de peças sem extração do sistema de

alimentação, o que é muito vantajoso, quando são usados em moldes de múltiplas cavidades.

Os sistemas de canais quentes são adequados à maioria dos materiais termoplásticos, inclusive materiais reforçados e espumas estruturais. No entanto, as maiores limitações estão associadas a materiais termodegradáveis e materiais carregados com retardantes de chama. De uma maneira geral, o uso de moldes de canais quentes permite o emprego de máquinas de injeção mais reduzidas, devido ao menor volume de material injetado e menor queda de pressão requeridos. No entanto, os custos de projeto e de fabricação de um molde com canais quentes é geralmente superior, devido à sua maior complexidade e maior custo dos componentes. Os moldes de canais quentes devem operar com tempos de ciclo mais curtos do que os moldes de três placas equivalentes [2], [3]. A título genérico, os moldes de três placas são mais competitivos economicamente para produções pequenas (<10.000 peças/ano), enquanto que para produções elevadas (>100.000 peças/ano), os moldes de canais quentes são mais competitivos [2], [3].

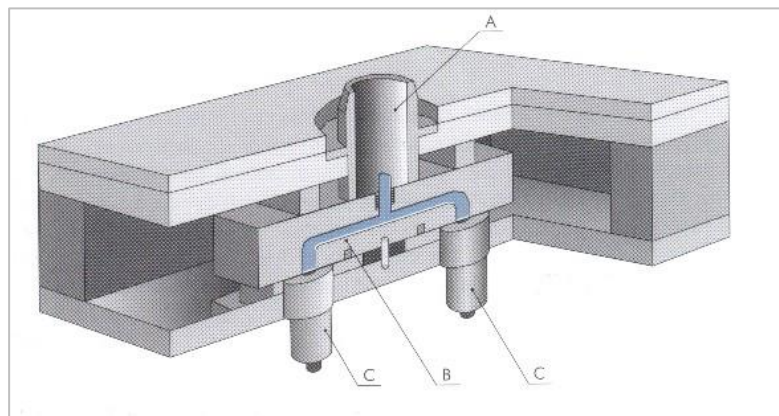


Figura 20 - Detalhe de um molde com um sistema de alimentação de canais quentes: A) Injetora principal; B) Distribuidor; C) Bicos de injeção [2].

### **Bicos de injeção valvulados**

Com este tipo de bicos pode-se ter um sistema de injeção onde a abertura dos bicos é sequencial, a válvula de acionamento mecânico (acionamento pneumático ou hidráulico) permite ao utilizador abrir e fechar cada bico, quando lhe for mais conveniente [2], [3]. Os bicos de válvula (figura 21) deixam apenas uma pequena marca

circular na peça. Este facto torna esta solução especialmente indicada para peças que requerem um bom acabamento superficial [2], [3]. O acionamento por válvula permite obter aberturas do bico bastante elevadas durante a injeção e compactação da peça, o que garante quedas da pressão e taxas de corte mais baixas, face aos sistemas concorrentes. Os bicos de válvula são também adequados para materiais especialmente exigentes em termos de janela de processamento, permitindo volumes de injeção elevados e tempos de injeção reduzidos. [2], [3], [4]

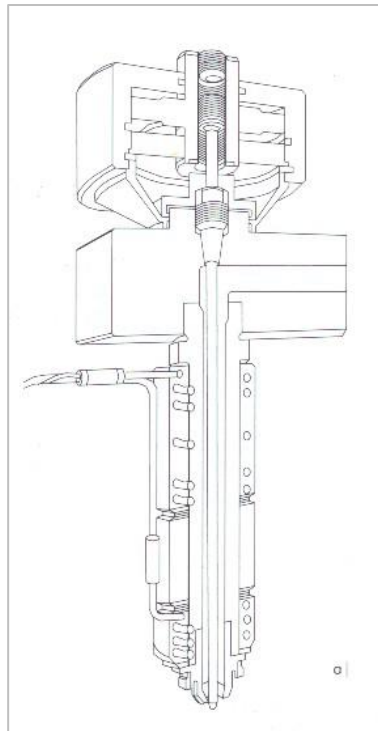


Figura 21 - Exemplo de um bico de injeção valvulado [2].

### 2.2.5 Sistema de arrefecimento

A refrigeração de um molde é uma das etapas mais importantes para a qualidade da peça injetada, e para determinação do tempo de ciclo. Portanto, o conhecimento profundo das técnicas e configurações de sistemas de refrigeração, permite reduzir o custo da peça produzida e obtê-la com a qualidade desejada.

Os sistemas de controlo de temperatura usados nos moldes de injeção, possuem arquiteturas que são determinadas em função do perfil da cavidade, conforme a

superfície externa da peça, ou em função do macho, conforme a superfície interna da peça [2], [4]. Os sistemas de refrigeração usados nos moldes de injeção são constituídos pelas típicas “linhas de água” (obtidas por furação) e as palhetas. Os sistemas provenientes da maquinaria do processo de furação, encontram-se conectados de forma a criar um circuito fechado, ou seja, o fluido circula nas cavidades do molde e retorna ao ponto de partida. Os circuitos desenvolvidos por este processo, podem ter um único ou vários níveis, conforme a altura da moldação e a arquitetura escolhida. Seguidamente, será apresentada uma descrição detalhada das estratégias de arrefecimento mais importantes [2], [4].

### Circuito em U

A configuração dos canais em U é maioritariamente usada para cavidades longas e estreitas [2], [4]. De forma a permitir o fluxo do fluido refrigerante, as ligações dos furos podem ser idealizadas de duas maneiras: pela interseção das furações no interior do molde e aplicação de tacos de vedação (figura 22b), ou através da ligação externa por mangueiras (figura 22a).

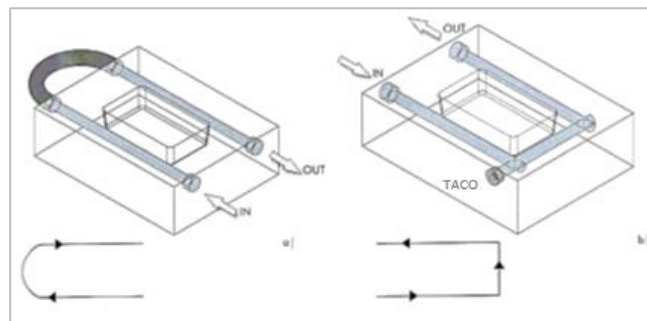


Figura 22 - Circuito em U: a) Mangueira; b) Cruzada [2]

### Circuito em Z (zig-zag)

Os circuitos em Z são aplicados, normalmente, para refrigeração de grandes áreas. O circuito é uma variação do circuito em U, mas com várias interligações [2], [4]. 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 [2], [4]. Estas devem estar do lado oposto ao operador, de modo a que os periféricos ligados à refrigeração não obstruam a área de trabalho. Na figura 23 representa-se um circuito com configuração em Z para um

molde com duas cavidades. Os circuitos devem ser simétricos (figura 23b), isto é, com entradas “no centro” e as saídas nos extremos, ou vice-versa, e podem ou não ser espelhados (figura 23a) [2], [4].

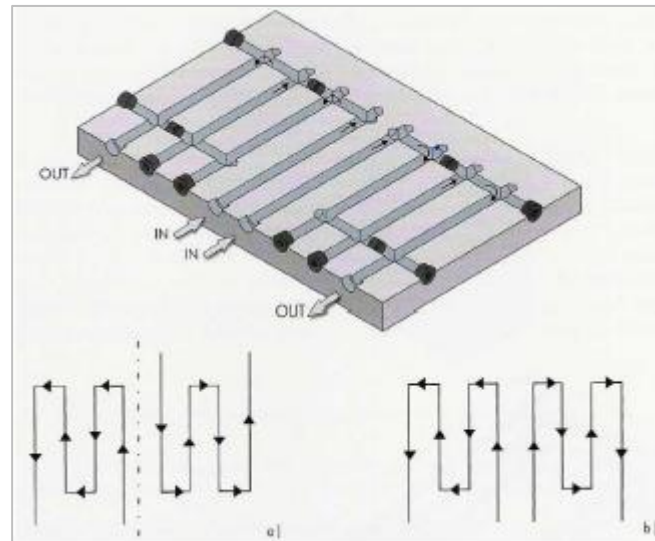


Figura 23 - Circuito em Z: a) simétrico espelhado; b) simétrico [2]

### Circuito para cavidades circulares

Os sistemas de refrigeração de cavidades circulares, apresentados na figura 24, são principalmente empregues na refrigeração de peças que apresentam um perfil circular e/ou em peças que possuem uma grande área com perfil mais alto [2], [4]. Este tipo de circuito permite que os canais possam ser maquinados próximo da superfície da cavidade. Deste modo, obtém-se uma melhor eficiência do sistema na refrigeração da peça.

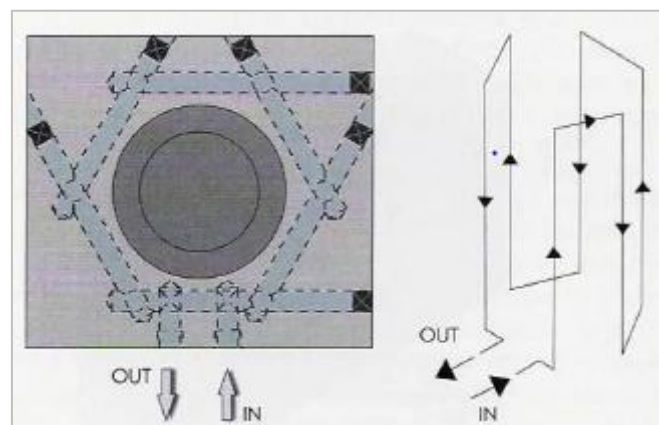


Figura 24 - Circuito para cavidades circulares [2].

### Circuitos de água inclinados

Este sistema permite evitar a furação da parede lateral do macho, e os defeitos oriundos de possíveis marcas no produto injetado [2], [4]. O grande inconveniente é não poder ser aplicado em todos os perfis de machos, já que só pode ser aplicado em formas muito peculiares. Na figura 25 pode-se observar um exemplo de um circuito inclinado.

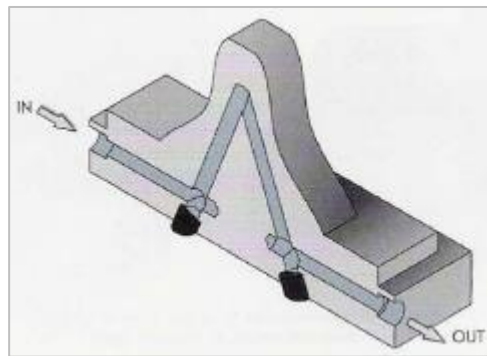


Figura 25 - Circuito inclinado [2]

### Circuitos com palhetas

Uma alternativa ao circuito apresentado anteriormente é a utilização de lâminas separadoras (palhetas). Neste tipo de circuitos, tem de se ter particular atenção à montagem da palheta. Esta deve ficar “perpendicular” ao furo de passagem, para obstruir, e obrigar o fluido de refrigeração a subir por um lado e a descer pelo outro [2], [4], como se pode ver na figura 26.

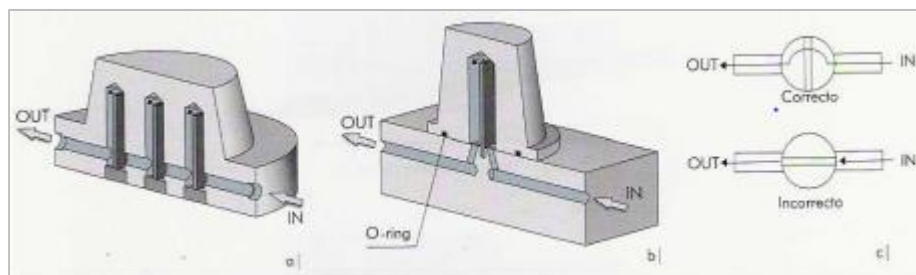


Figura 26 - Circuito de água com palhetas: a) Palheta com cabeça roscada; b) Palheta simples; c) Montagem correta da palheta [2].

#### 2.2.6 Sistemas de guiamento e centramento

É fundamental promover um perfeito alinhamento do molde, para assim garantir uma alta precisão de funcionamento do mesmo, quando montado na máquina de injeção. Os

sistemas de acoplamento não garantem, por si só, que o molde esteja centrado com a unidade de plastificação da máquina de injeção [2], [3]. Há, assim, a necessidade de se recorrer a outras soluções, que promovam um centramento rápido e preciso do molde com o bico da máquina de injeção. Por outro lado, sendo o molde uma ferramenta constituída por duas metades, existe também a necessidade de promover o seu guiamento e centramento [2], [4].

O primeiro aspeto a considerar no início do processo de injeção, é o de encontrar a forma mais correta, rápida e precisa de fixar e centrar o molde às placas da máquina de injeção. Para tal, os moldes são equipados com anilhas de centragem (figura 27).

Normalmente, a anilha de centragem encontra-se encastrada na placa de aperto da injeção, e a centragem do molde é promovida pelo ajustamento da mesma no furo da placa da máquina de injeção (figura 28). Como boa prática, recomenda-se a colocação de um anel de centragem também do lado da extração. A colocação de anéis de centragem nas duas placas de aperto, garante que o molde não cai, no caso de haver alguma perda da eficiência do sistema de aperto das placas do molde. [2], [3]



Figura 27 - Anilha de centragem.

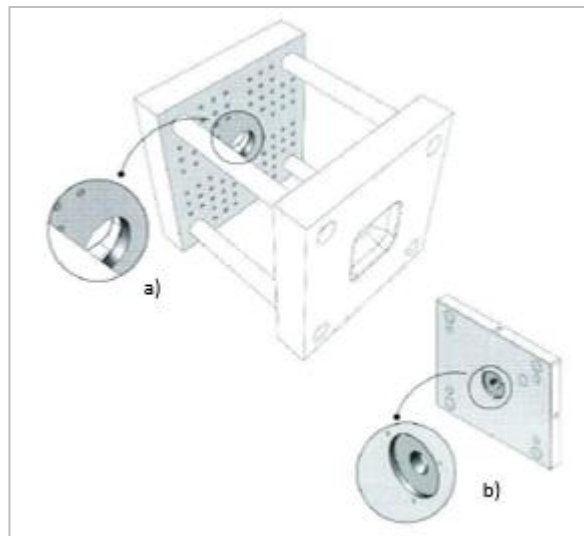


Figura 28 – Zona de ajuste da anilha de centragem: a) Prato da máquina de injeção; b) Placas do molde [2].

Regra geral, o guiamento de um molde é feito basicamente através de guias e respetivos casquilhos. No molde, são normalmente montadas quatro guias principais e os correspondentes casquilhos. Para facilitar a montagem e garantir que o molde é sempre

corretamente montado, uma das guias é deslocada (figura 29a), ou tem diâmetro diferente das restantes (figura 29b) [2], [3].

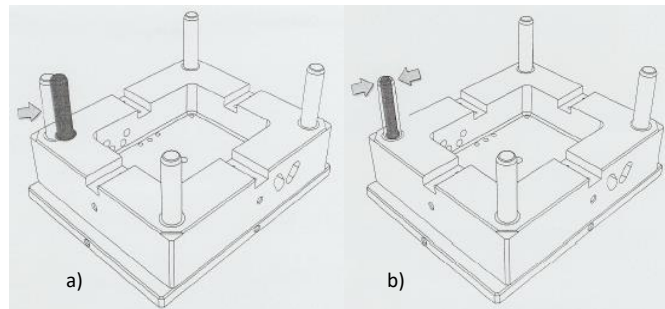


Figura 29 - a) Guia deslocada; b) Guia com diferente diâmetro [2].

### 2.2.7 Sistema de extração

Depois da fase de injeção, o material arrefece até atingir uma rigidez suficiente que permita a sua extração do molde. Quando é atingida essa rigidez, o molde abre e, no intervalo entre a abertura e o fecho do molde, a peça é extraída. O ideal seria que a seguir à abertura do molde a peça pudesse cair por gravidade. Contudo, devido à contração e às contra-saídas, a peça tende a ficar presa no molde, geralmente no macho, e são necessárias soluções específicas para extraí-la. O sistema de extração requer, assim, um projeto próprio, tanto mais complexo quanto mais complexa for a peça. O sistema de extração pode ser atuado pela máquina de injeção ou, se não for possível por este método, o sistema de extração pode ser atuado autonomamente por um sistema hidráulico ou pneumático [2], [3], [4].

De modo a salvaguardar o seu bom funcionamento, os acessórios que o constituem deverão ser dimensionados adequadamente. [2], [3], [4]

### Extração com extratores

Os extratores, de um modo geral, servem para extrair as peças e, quando necessário, o sistema de alimentação. Estes componentes permitem exercer uma força localizada, que é previamente estudada, para que haja uma extração equilibrada da peça [2], [3], [4]. Na figura 30 podem-se ver alguns exemplos de extratores.

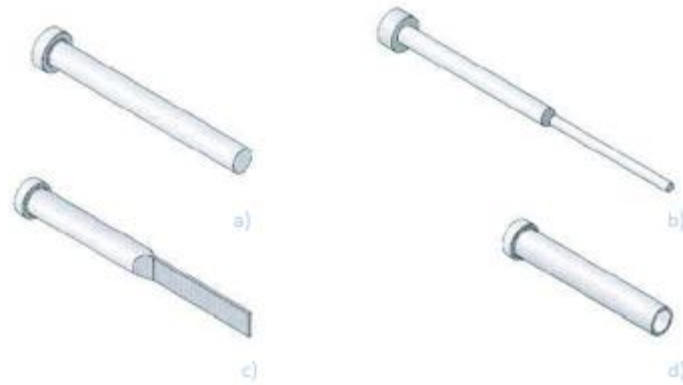


Figura 30 – Tipos de extratores: a) Extrator cilíndrico; b) Extrator respigado; c) Extrator de lâmina; d) Extrator tubular [2].

### Extração com aro extrator

Este componente deve ter um ângulo de saída de cerca de  $15^\circ$  a  $20^\circ$ , de modo a evitar que haja deslizamento contínuo com a placa das buchas, o que poderia conduzir ao seu desgaste [2], [3], [4]. O mesmo aro extrator pode extrair várias peças numa só operação. Este componente pode ser ligado às placas dos extratores, através de quatro pinos cilíndricos. O recuo do aro extrator (figura 31), é normalmente assegurado pelo próprio fecho do molde.

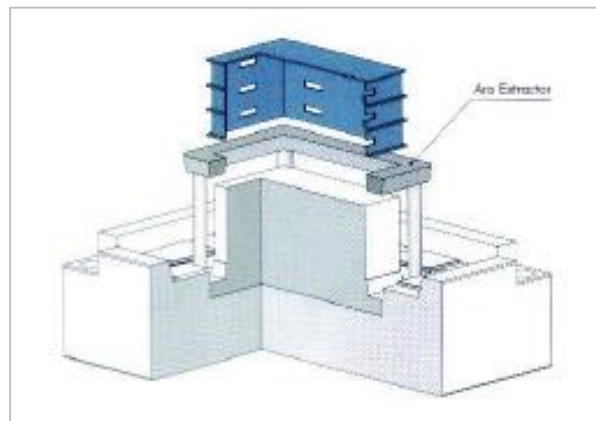


Figura 31 - Extração com aro extrator [2].

Infelizmente, a maioria das peças não pode ser extraída de uma forma tão simples como as apresentadas até aqui, isto é, simplesmente “empurrando” a peça. Na realidade, a maioria das peças apresenta contra-saídas, isto é, zonas onde a extração tem de ser feita numa direção diferente da abertura do molde. Isto obriga a que estas zonas tenham que

ser primeiro libertadas, e só depois o sistema de extração pode atuar. Para libertar as contra-saídas, podem-se usar diferentes estratégias, consoante o seu tipo e localização, como os movimentos à extração e os movimentos mecânicos [2], [3], [4]. É ainda possível, em algumas situações de pequenas contra-saídas, usar-se alguns tipos de extratores especiais, ou aproveitar-se a flexibilidade do próprio material da peça para fazer a sua extração, sem recurso aos sistemas referidos no parágrafo anterior.

### Extração forçada

A extração forçada pode ser utilizada em peças com pequenas contra-saídas [2], [3], [4]. Na figura 32 pode-se ver um exemplo prático desta mesma situação. Numa peça com uma contra-saída ao longo do seu perímetro, junto à base, é aproveitada a flexibilidade do seu material para forçar a extração. Deste modo, evita-se a colocação de um sistema de extração complexo. Este tipo de extração é muito utilizado para a desmoldagem de peças em elastómeros plásticos. [2], [3], [4]

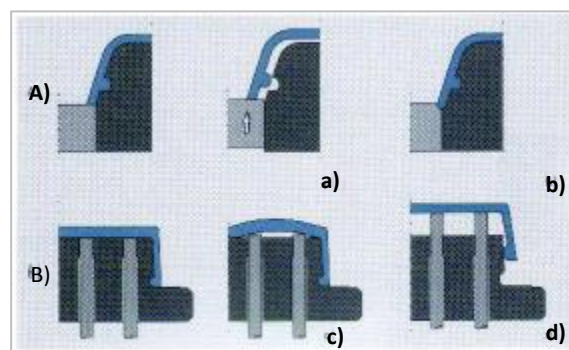


Figura 32 - Extração forçada. A) Com placa extratora; B) Com extratores; a) Base plana (correto); b) Base arredondada (incorreto); c) Entalhe reto (incorreto); d) Entalhe com chanfro (correto) [2].

### Extração com movimentos à extração

Este tipo de componentes são usados em peças com contra-saídas ou saída negativa [2], [3], [4]. Para extrair estas peças, parte da zona moldante tem de ser removida das abas. A solução de desmoldação condiciona significativamente o custo do molde. Os movimentos à extração são muito utilizados, pois são dispositivos simples e podem ser acionados diretamente pelas placas da extração [2], [3], [4]. Estes componentes permitem a extração de peças com contra-saída, sem a necessidade de se utilizarem

movimentos mecânicos. Na figura 33 mostra-se um exemplo de um movimento à extração.

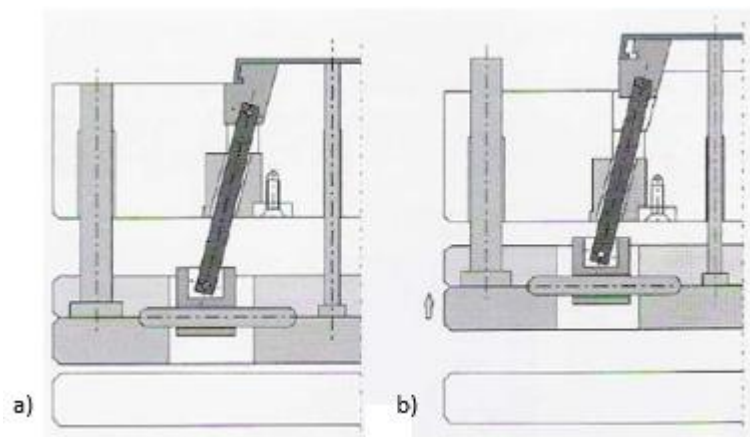


Figura 33 - Movimento à extração:  
a) Extração recuada; b) Extração avançada [2].

### Extração com movimentos mecânicos

Este tipo de movimento é necessário para produzir peças que tenham contra-saídas laterais (exteriores) [2], [3], [4]. Estes elementos podem-se deslocar lateralmente no molde, e assim libertar zonas com a contra-sáda numa direção diferente da extração.

Para o acionamento destes elementos, são usadas normalmente guias mecânicas, mas estes também podem ser acionados por elementos hidráulicos, caso em que a sua designação muda para movimentos hidráulicos [2], [3], [4]. Na figura 34 pode-se ver um exemplo de um movimento mecânico e seus componentes.

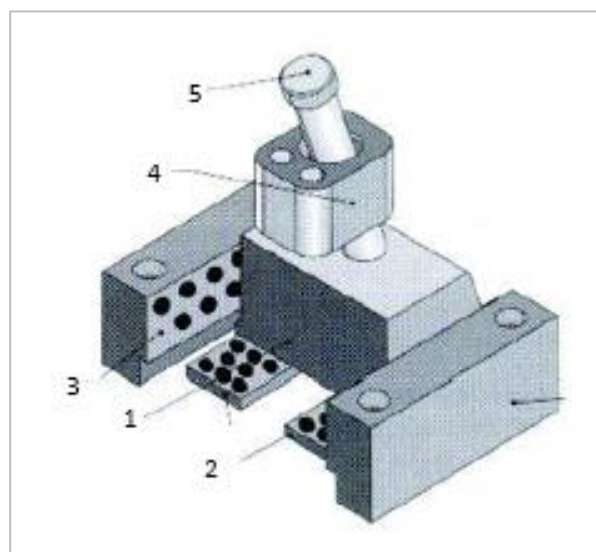


Figura 34 - Movimento mecânico e seus componentes:  
1 - Movimento mecânico; 2 - Chapa de deslize;  
3 - Réguas do elemento móvel; 4 - Suporte da guia; 5 - Guia [2].

### 2.2.8 Sistema de escape de gases

Este sistema, muitas vezes esquecido, é fundamental para um funcionamento correto do molde. Durante o preenchimento do molde, é muito importante que na cavidade do molde existam saídas de gases eficientes, de modo a permitir que o ar saia quando a massa fundida entra nas zonas moldantes. As saídas de gases deverão estar localizadas nas direções de fluxo do material [2]. 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 material fundido. Saídas ineficientes ou mal localizadas, poderão resultar num mau preenchimento da peça, linhas de solda e contração irregular da peça [2]. 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. Estes rasgos para escape de gases, devem ser colocados ao longo de toda a peça, e são particularmente importantes nas zonas onde se dá o fim do enchimento, ou a confluência de frentes de fluxo [2]. A profundidade destes rasgos tem dimensões aproximadas dos 0,05 mm. Na figura 35, pode-se ver o exemplo de alguns canais de fugas de gases [2].

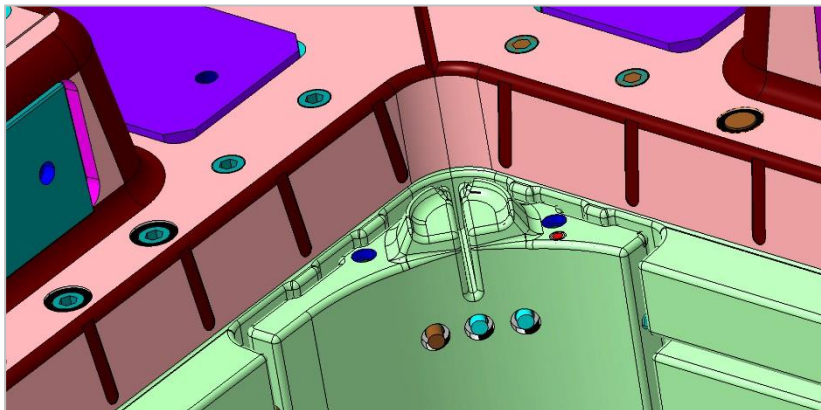


Figura 35 - Exemplos de canais de fugas de gases.

### 2.2.9 Tipos de componentes moldantes

São vários os componentes moldantes que constituem um molde. Temos então [2]:

- postigos;
- movimentos mecânicos;
- movimentos hidráulicos;
- movimentos à extração;
- levantadores.

#### Postigos

Utiliza-se este tipo de componentes em zonas de grande desgaste [5], onde se sabe à partida que o componente terá de ser substituído mais tarde ou mais cedo. Outra situação onde é necessário utilizar postigos, é nos frisos altos e estreitos, muito difíceis de polir [5], frisos esses que são normalmente maquinados por electro-erosão, o que deixa uma rugosidade característica na peça, difícil de disfarçar. Assim, se metade do friso for feito com um postigo, o polimento será muito mais fácil para o operador (figura 36). Existem também casos de difícil acesso à maquinação, sendo necessário fazer postigos, para assim tornar a maquinação possível [5].

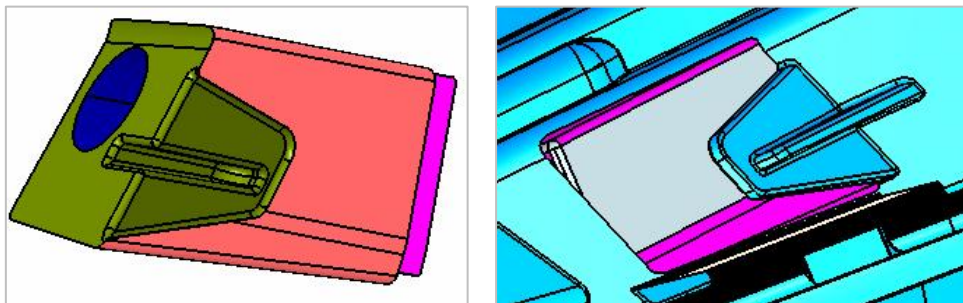


Figura 36 - Postigo para facilitar o polimento.

#### Movimentos mecânicos

Os movimentos mecânicos (figura 37) desmoldam contra-saídas laterais da peça. À medida que o molde vai abrindo, as guias promovem o recuo do movimento.

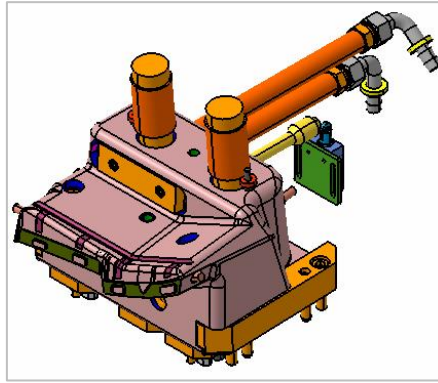


Figura 37 - Exemplo de um movimento mecânico.

### Movimentos hidráulicos

Os movimentos hidráulicos (figura 38) têm a mesma função dos movimentos mecânicos, mas são acionados por um sistema hidráulico [5]. Este tipo de movimentos só é utilizado caso os movimentos mecânicos não consigam exercer a mesma função, pois, devido ao seu sistema hidráulico, têm um custo acrescido. Recorre-se a este tipo de dispositivos quando existem movimentos com um grande curso, ou quando há forças externas muito grandes (peso do movimento ou pressão de injeção) [5].

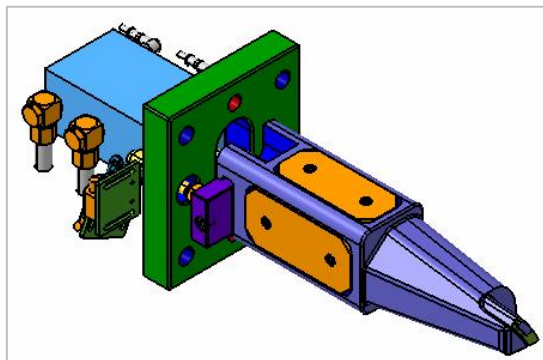


Figura 38 - Exemplo de um movimento hidráulico.

### Movimentos à extração

Os movimentos à extração (figura 39) servem para desmoldar contra-saídas interiores, onde normalmente não é possível a aplicação de movimentos mecânicos ou hidráulicos.

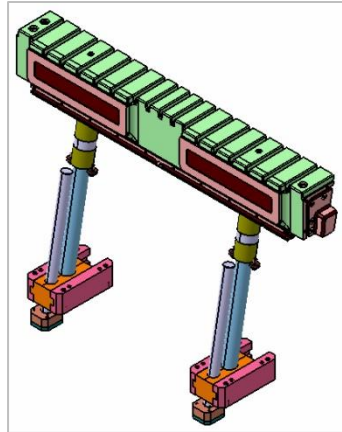


Figura 39 - Exemplo de um movimento à extração.

### Levantadores

Os levantadores (figura 40) não desmoldam contra-saídas, servindo apenas para ajudar a retirar a peça do macho [5].



Figura 40 - Exemplo de um levantador.

## 2.3 Materiais a utilizar em moldes de injeção

No projeto e fabricação de um produto, é essencial que os materiais e os processos sejam compreendidos. Os materiais são um elemento chave dos sistemas de produção. Compreender as suas propriedades, características e aplicabilidade, é essencial para a competitividade das empresas industriais. Como todos os produtos incorporam

materiais, é fundamental o conhecimento das suas propriedades de modo a poder seleccionar os mais aptos para cada aplicação, determinando, simultaneamente, custos de produção mais baixos. Os aspetos económicos na sua seleção, são tão importantes como as considerações de ordem tecnológica relativas às suas propriedades. A crescente introdução no mercado de uma vasta gama de novos materiais plásticos, com características técnicas específicas, determina, por vezes, um desgaste anormal por abrasão e corrosão química dos equipamentos de produção [2]. Neste contexto, os fabricantes de moldes são confrontados com a necessidade de encontrar soluções para incrementar a resistência dos seus produtos e, simultaneamente, com níveis de exigência para a qualidade final dos produtos cada vez mais elevados. O endurecimento superficial dos materiais, é um conceito amplo e um fator muito importante para o controle de desgaste das peças. [2]

### **Aços**

Os aços usados na fabricação de moldes devem ser mecanicamente resistentes e fáceis de maquinar. A resistência é necessária devido às altas pressões empregues durante a fase de injeção, que podem ser de 30 a 140 MPa [5]. Além da resistência mecânica e facilidade de maquinação, existem outras características importantes, como: possibilidade de tratamentos térmicos, resistência ao calor, condutividade térmica, resistência à corrosão e características que permitam uma maquinação económica [2]. Regra geral, as partes do molde em contacto com o material plástico fundido e os elementos móveis que suportam atrito, devem ser tratadas. As partes do molde que compõem a sua estrutura, são de aço com baixo teor de carbono, não tratado [2]. A escolha do método de tratamento varia de acordo com o tipo de aço utilizado, a dureza necessária para a aplicação, a complexidade e a precisão do molde. Os métodos usados para tratamento superficial são a têmpera ao ar e em óleo, cementação e a nitruração. Na tabela 2 podem-se ver alguns exemplos de aços utilizados nos vários componentes do molde.

Tabela 2 - Exemplo de alguns aços utilizados na indústria de moldes [5].

Material	Aplicação
1.1730	Estrutura
1.2312	Placas de extração, estrutura
1.2738	Cavidade
1.2711	Cavidade, postigos
1.2344	Cavidade
1.7147	Guias, casquilhos

### Ligas de Cobre-Berílio

É uma liga dúctil, com facilidade de polimento, e que pode ser temperada. Este tipo de ligas são muito mais caras que o aço mas, devido à sua excelente condutividade térmica, muitas vezes são utilizadas para a reduzir o tempo de arrefecimento da peça. Na tabela 3 seguem-se alguns exemplos de componentes onde são aplicadas estas ligas.

Tabela 3 – Exemplo de algumas ligas de Cobre-Berílio utilizadas na indústria de moldes [5].

Material	Aplicação
Ampco 18	Réguas de deslize, corrediças
Ampco 83	Postigos

## 2.4 Componentes normalizados existentes para moldes

Nem todos os componentes de um molde são produzidos pelo produtor do próprio molde. Face aos prazos apertados a que os produtores estão sujeitos, o uso de componentes normalizados é cada vez mais recorrente. Hoje em dia, existe uma grande variedade de componentes normalizados para as mais variadas áreas do molde, tais como [5]:

- estrutura;

- refrigeração;
- injeção;
- guiamento e centramento;
- extração.

Ao nível da **estrutura**, são comercializados quase todos os componentes, desde placas traseiras até aos calços do molde (figura 41).

No que toca à **refrigeração**, todos os seus componentes são normalizados, como mangueiras, acessórios de ligação, *manifold* (figura 42), etc.

Componentes da **injeção**, como os bicos, figura 43, e respetivos acessórios, são também normalizados.

Componentes de **guiamento**, como as guias principais e respetivos casquilhos (figura 44), são componentes normalizados.

Ao nível da **extração**, os extratores (figura 45), como exemplo de componentes normalizados, onde estes podem ser simplesmente cilíndricos, tubulares ou respigados.

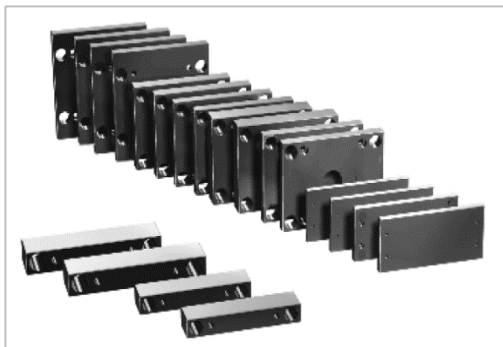


Figura 41 - Placas da estrutura de um molde DME.



Figura 42 - Manifold da STAUBLI.



Figura 43 - Bico de injeção da SYVENTIVE



Figura 44 - Conjunto de guia e casquilho da BRU&RUBIO.



Figura 45 - Extratores da CUMSA.

## 2.5 Projeto de moldes para injeção de plásticos

O dimensionamento de alguns constituintes do molde, é essencial para o bom funcionamento deste a longo prazo. Um dimensionamento deficiente, pode levar a uma rutura inesperada da ferramenta [5].

### 2.5.1 Dimensionamento das guias principais

Para o dimensionamento das guias principais, que tem em conta a encurvadura, aplica-se o critério de Euler, que diz [6]:

$$F = \frac{m \times \pi^2 \times E \times I}{L^2} \quad (1)$$

$$I = \frac{\pi \times D^4}{64} \quad (2)$$

Onde:

- F – Carga na guia (N);
- m – Constante definida na figura 46;
- E – Módulo de *Young* (MPa);
- I – Momento de inércia (mm<sup>4</sup>)
- L – Comprimento útil da guia (mm)
- D – Diâmetro da secção da guia (mm)

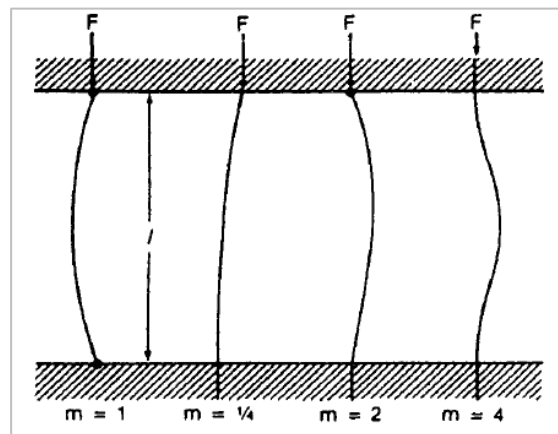


Figura 46 - Constante m [6].

### 2.5.2 Dimensionamento das chapas de ajuste

A área de contacto entre o macho e a cavidade, é representada pela zona de vedação e pelas chapas de pressão. Esta área de contacto, não deve suportar uma pressão superior a 80 MPa [5]. O número de chapas necessárias, é obtido com recurso às fórmulas seguintes [5]:

$$P = \frac{F}{A_T} \quad (3)$$

$$A_T = A_v + A_{ch} \quad (4)$$

$$A_{ch} = n \times l \times c \quad (5)$$

Onde:

- P – Pressão admissível (MPa);
- F – Força de fecho (N);
- $A_v$  – Área da junta ( $\text{mm}^2$ );
- $A_{ch}$  - Área das chapas de pressão ( $\text{mm}^2$ );
- $A_T$  – Área total de contacto entre macho e cavidade ( $\text{mm}^2$ );
- n – Numero de chapas;
- l – Largura das chapas (mm);
- c – Comprimento das chapas (mm).

### 2.5.3 Espessura mínima da cavidade

A espessura mínima da cavidade, pode ser calculada através das expressões seguintes [7]:

$$t = \left[ \frac{5wL^4}{32EyH} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (6)$$

$$w = P \times h \quad (7)$$

Onde:

- t – Espessura mínima da cavidade (mm);
- w – Carga aplicada na cavidade (N/mm);
- L – Comprimento da gravação da cavidade (mm);
- E – Módulo de *Young* (MPa);
- y – Deflexão permitida (mm);
- H – Altura da cavidade (mm);
- P - Pressão de injeção (MPa);
- h – Altura da gravação da cavidade (mm).

## 2.6 O polietileno de alta densidade

O polietileno de alta densidade (HDPE), é um polímero termoplástico semicristalino. O monómero utilizado é o etileno, um hidrocarboneto puro que, apesar de combustível, não é facilmente inflamável. Em caso de combustão, os produtos não são tóxicos, sendo até recomendado pelos organismos ambientais para instalações onde o risco de incêndio se encontre presente [8].

O polietileno é um material parcialmente cristalino, designação que provém do facto de existirem na sua estrutura cadeias longas e perfeitamente alinhadas, cuja densidade é mais elevada (zonas cristalinas), e cadeias altamente desordenadas, com densidades parciais mais baixas (zonas amorfas) [8]. As zonas cristalinas proporcionam ao HDPE uma maior resistência, para diferentes ciclos térmicos, e recuperam a sua forma e mantêm as suas propriedades ao longo dos anos. As propriedades mecânicas do HDPE estão apresentadas na tabela 4.

Tabela 4 - Propriedades do HDPE [8].

Propriedades	HDPE
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	0,962 – 0,968
Índice de refração	1,54
Temperatura de fusão (°C)	128 - 135
Temperatura de fragilidade (°C)	-140 -70
Condutividade térmica (W/mK)	0,46 – 0,52
Módulo de elasticidade (MPa)	900 - 1000
Resistência à tração (MPa)	25 - 45
Dureza Brinell	60 - 70

O HDPE é utilizado em diferentes segmentos da indústria de transformação de plásticos, onde abrange os processamentos de moldação por sopro, extrusão e moldação por injeção [8]. Pelo processo de injeção, o HDPE é utilizado para a confecção de baldes, bacias, bandejas para pintura, banheiras infantis, brinquedos, conta-gotas para bebidas, jarros de água, potes para alimentos, assentos sanitários, bandejas, tampas para garrafas e potes, boias, caixas de água, entre outros [8]. Na figura 47 veem-se alguns destes exemplos.

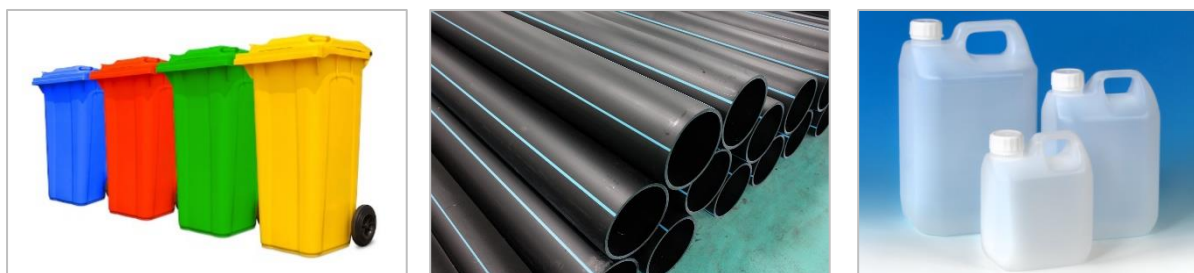


Figura 47 - Diferentes aplicações do HDPE [7].

## 2.7 Injeção com agente expensor

O processo de injeção com agente expensor tem vindo a ser bastante estudado nas últimas décadas, para a produção de termoplásticos microcelulares [9]. Estes plásticos microcelulares, são normalmente formados através da nucleação de células e

crescimento de bolhas de gás na matriz polimérica [9]. Para introduzir o gás que vai criar a estrutura celular, são usados agentes de expansão químicos (AEQ), ou agentes de expansão físicos [10]. Com os agentes de expansão físicos, o gás é introduzido diretamente na matriz polimérica do material (Mucell®), mas este não vai ser o processo abordado neste trabalho. Neste trabalho, explorar-se-á a injeção com agente expansor químico. Este processo implica a mistura prévia do material plástico (granulado) com o agente químico (granulado) que, sob certas condições de pressão e temperatura, libertam os gases (figura 48) [10].

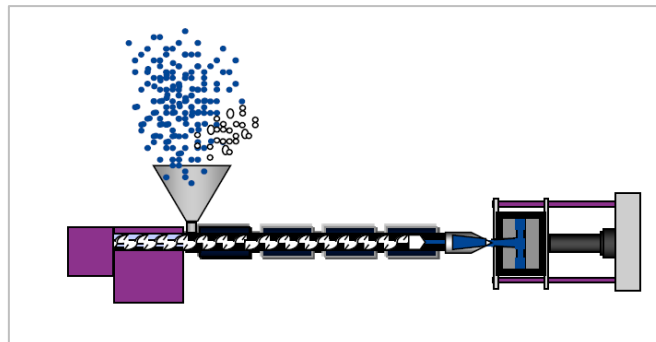


Figura 48 - Mistura do material plástico com o agente químico. [7]

A maioria dos AEQ produzem azoto molecular ( $N_2$ ), se a sua reação for exotérmica, ou dióxido de carbono ( $CO_2$ ), se a sua reação for endotérmica. A Azodicarbonamida é o AEQ exotérmico mais comum, e o bicarbonato de sódio é o AEQ endotérmico mais utilizado [10]. As peças formadas por injeção com AEQ, para além de serem fáceis de processar, são mais leves e praticamente livres de “chupados”. Têm a desvantagem de as bolhas formadas serem maiores que as obtidas por agentes de expansão físicos, o que leva a propriedades mecânicas mais fracas [10].

### **Azoto vs. dióxido de carbono**

Tanto o Azoto como o dióxido de carbono, são amplamente utilizados no processo de injeção com agente expansor. No entanto, o  $CO_2$  tem algumas vantagens em relação ao  $N_2$ . O  $CO_2$  torna os materiais menos viscosos, o que facilita assim a sua injeção [10]. Na figura 49 pode-se ver a variação da viscosidade do tereftalato de polibutileno (PBT) e da poliamida (PA), com os diferentes gases.

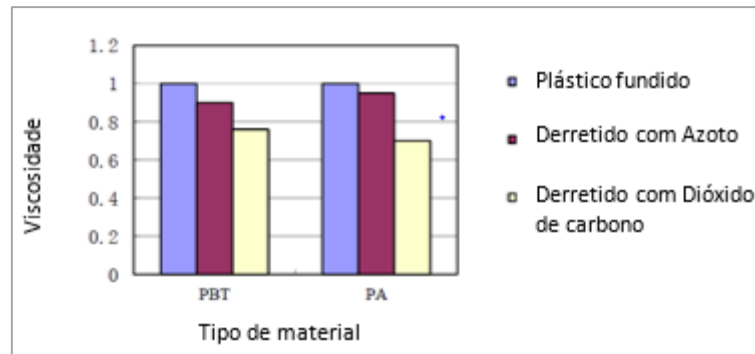


Figura 49 - Efeito da mistura do gás com o polímero na viscosidade do fundido [8].

Outra vantagem do  $CO_2$  é a sua maior facilidade em dissolver-se nos materiais. Na tabela 5, vê-se que a solubilidade máxima estimada do  $CO_2$  é maior que a do  $N_2$  em qualquer um dos materiais, o que leva a maiores concentrações do gás no polímero e, conseqüentemente, peças mais leves para o mesmo volume [10].

Tabela 5 - Solubilidade máxima estimada do gás nos diferentes polímeros a 200 °C e 27,6 MPa [10].

Polímero	Dióxido de Carbono (%)	Azoto atômico (%)
PE	14	3
PP	11	4
PS	11	2
PMMA	13	1

### Agentes exotérmicos vs. agentes endotérmicos

Os agentes de expansão exotérmica são substâncias de origem orgânica e, como resultado da sua decomposição, o  $N_2$  é emitido. Durante a decomposição destes agentes de expansão, ocorre a emissão de calor, o que resulta no aumento da temperatura do polímero, e no aumento da pressão do gás.

Os agentes de expansão endotérmicos são de origem inorgânica e, durante a sua decomposição, é emitido dióxido de carbono. O uso de agentes expansores químicos endotérmicos, ajuda no arrefecimento das peças moldadas, o que contribui para o encurtamento do tempo do ciclo do processo de moldação por injeção. Ao usar os

agentes de expansão químicos endotérmicos, pode ser obtida uma estrutura porosa com poros de pequenas dimensões, peças com melhor qualidade superficial e melhores propriedades mecânicas, do que no caso de agentes expansores químicos exotérmicos [8].

### Influência do agente expensor no processo de injeção

A injeção com agente expensor traz bastantes mudanças ao processo de injeção. A adição do agente influencia o tempo de ciclo, o peso da peça final, as suas propriedades mecânicas e a qualidade superficial [10].

#### 1. Tempo de ciclo

A tecnologia de injeção com agente expensor, pode reduzir o tempo de ciclo. As principais razões são [10]:

- a expansão do gás, substitui a fase de compactação;
- devido às bolhas, o peso da peça é reduzido, juntamente com o tempo de arrefecimento;
- menor viscosidade, significa maior velocidade de enchimento.

Geralmente, é poupado 20% a 50% do tempo de ciclo com a injeção assistida com agente expensor. A figura 50 mostra a comparação entre o tempo de ciclo de uma injeção com agente expensor e uma injeção tradicional.

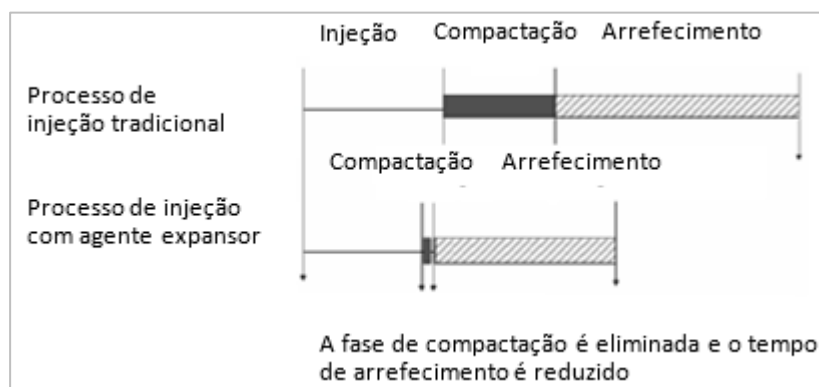


Figura 50 – Influência do agente expensor no tempo de ciclo [9].

## 2. Peso da peça

Devido às bolhas formadas na peça, a densidade do material em questão irá diminuir, o que conduz a peças muito mais leves do que o habitual. Todos os tipos de polímero, inclusive a polifenilsulfona de alta temperatura, podem ser injetados por esta tecnologia [10].

## 3. Propriedades mecânicas da peça

As propriedades mecânicas das peças, são alteradas devido à existência de bolhas de gás. Algumas pesquisas indicam que a resistência à flexão do polímero com agente expansor é quase igual à do polímero sólido [10]. No entanto, obteve-se um comportamento bastante diferente para a resistência à tração. Dados mostram que a resistência à tração de polímeros com agente expansor, diminui proporcionalmente para a percentagem de peso que se pretende diminuir no material. Isso significa que, para uma redução de peso de 50%, pode-se esperar uma perda de 50% da resistência à tração do polímero [10]. Para a resistência ao impacto, os resultados não podem ser generalizados, já que a situação varia de polímero para polímero. No entanto, estudos mostram que a resistência de um polímero diminui na mesma, com a percentagem de peso que se pretende reduzir na peça. A figura 51 mostra a variação da resistência à flexão, à tração e ao impacto do PBT normal, e com diferentes percentagens de redução de peso [10].

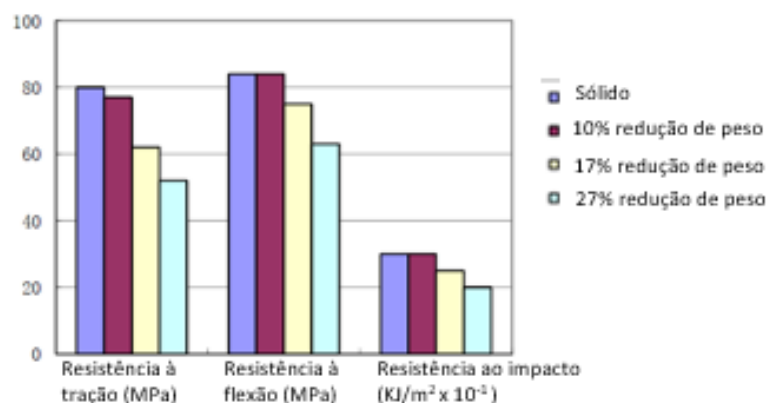


Figura 51 - Variação das propriedades mecânicas do PBT com as diferentes percentagens de redução de peso, adaptada de [9].

#### 4. Qualidade da superfície

Conforme mencionado anteriormente, o processo de injeção com agente expensor apresenta inúmeras vantagens, mas, devido à expansão do gás, a qualidade superficial das peças é pior do que no processo tradicional. Os defeitos típicos são as marcas de redemoinho, os raiados, as bolhas à superfície, o pós-sopro e a rugosidade superficial. Esses defeitos limitam a gama de aplicação deste processo [10]. A figura 52 mostra os principais defeitos provocados pela injeção com agente expensor.

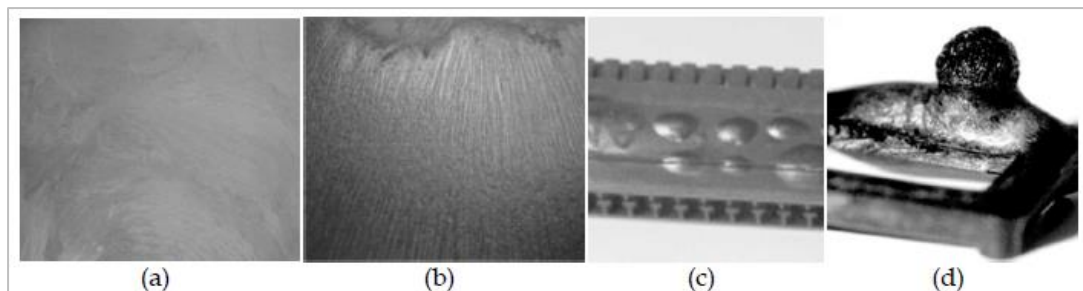


Figura 52 - Exemplos de defeitos provocados pela injeção com agente expensor:  
a) Redemoinho; b) Raiados; c) Bolhas à superfície; d) Pós-sopro [9].

#### 2.8 Modelação do processo de enchimento do molde

A indústria de moldes tem vindo a sofrer um grande desenvolvimento ao longo dos anos. A par desse desenvolvimento, têm surgido também moldes cada vez mais complexos onde, por vezes, é difícil prever o seu fluxo de enchimento. Existem alguns *softwares* de estudos reológicos úteis neste campo, como por exemplo o *Moldflow*<sup>®</sup> ou *Moldex*<sup>®</sup> 3D. O principal objetivo destes programas é prever e antecipar possíveis problemas numa fase inicial do projeto, de modo a evitar gastos desnecessários numa fase já mais avançada. Consegue-se, com estes *softwares*, otimizar os moldes no que diz respeito à velocidades de injeção, número de bicos, circuitos de refrigeração, etc.



# DESENVOLVIMENTO

- 3.1 Caracterização da empresa**
- 3.2 Objetivos do trabalho a realizar**
- 3.3 Caracterização da peça a injetar**
- 3.4 Requisitos exigidos pelo cliente**
- 3.5 Anteprojeto do molde**
- 3.6 Seleção de componentes normalizados**
- 3.7 Modelação do fluxo de enchimento**
- 3.8 Dimensionamento do molde**
- 3.9 Processos de fabrico e respetiva sequência**
- 3.10 Estimativa de custos de fabrico**
- 3.11 Montagem final do molde**
- 3.12 Ligações elétricas**
- 3.13 Ajuste final do molde e teste**



## 3 DESENVOLVIMENTO

### 3.1 Caracterização da empresa

A MDA – Moldes de Azeméis, S.A. (figura 53), é uma empresa que pertence ao Grupo Simoldes, e que se situa na zona industrial de Santiago da Riba Ul, concelho de Oliveira de Azeméis, distrito de Aveiro. A fábrica possui uma área total de 26.026 m<sup>2</sup>. A área coberta tem um total de 13.122 m<sup>2</sup>, o que faz 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. No final de 1996, começou a trabalhar para a certificação de qualidade NP EN ISO 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 setor automóvel, pára-choques, *tabliers*, painéis de porta, *spoilers*, cavas de roda, etc. [5].



Figura 53 – MDA - Moldes de Azeméis.

O Grupo Simoldes, fundado em 1959 e desde 1981 liderado pelo Comendador António da Silva Rodrigues, é atualmente constituído por vinte 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 dez empresas produtoras de moldes, seis das quais em Portugal, num total de 942 colaboradores. A divisão de

plásticos, é constituída por sete empresas produtoras de peças de injeção plástica, três das quais em Portugal, num total de 2350 colaboradores. Na figura 54, pode ver-se as várias fábricas do Grupo Simoldes espalhadas pelo mundo [5].



Figura 54 – Simoldes no mundo.

### 3.2 Objetivos do trabalho a realizar

O trabalho que se apresenta de seguida tem como principal objetivo o projeto de um molde para a injeção de uma peça de grandes dimensões. Ao desenvolver todo o projeto em simuladores 3D, pretende-se prever os possíveis problemas que existiriam no molde e, também, apresentar as vantagens de uma injeção com agente expansor.

### 3.3 Caracterização da peça a injetar

A peça a injetar é uma paleta (figura 55), que serve para o transporte de matéria-prima. Em peças deste género, é necessária alguma resistência estrutural e leveza.



Figura 55 – Paleta.

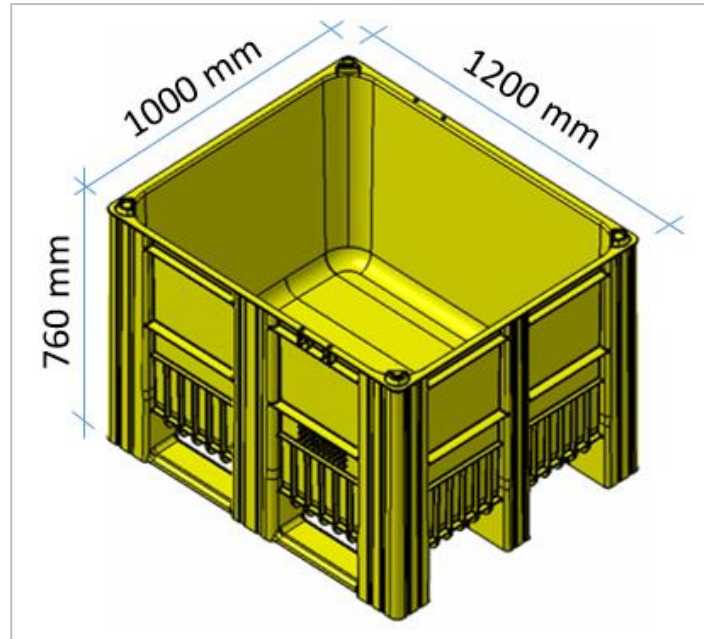


Figura 56 - Dimensões da paleta.

Na tabela 6, mostram-se as várias particularidades da peça que influenciam a mecânica do molde, para se obter uma extração bem sucedida.

Tabela 6 - Características da mecânica da peça.

A vermelho estão identificadas todas as contra-saídas da peça.

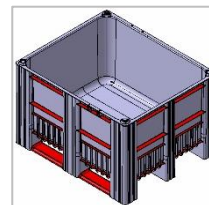


Figura 57 - Identificação das contra-saídas da peça.

Movimentos à extração necessários na cavidade, devido à geometria da peça.

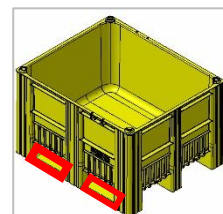


Figura 58 - Posição prevista para movimentos à extração.

Movimento hidráulico necessário para o auxílio da extração da peça e desmoldagem de contra-saídas na cavidade.

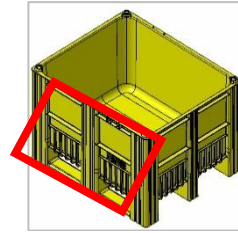


Figura 59 – Posição prevista para movimentos hidráulicos.

Levantadores para a extração da peça do macho.

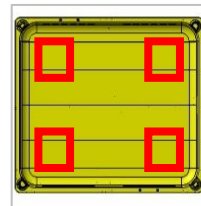


Figura 60 - Posição prevista para levantadores.

Pernos hidráulicos de gravação montados no macho.

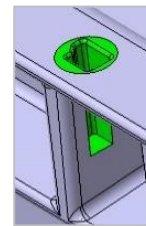


Figura 61 - Área prevista de gravação do perno.

### 3.4 Requisitos exigidos pelo cliente

Antes da concepção do molde, é enviado, pelo cliente, um documento denominado caderno de encargos do molde (CEM). Neste documento, podem-se ver e analisar algumas das propostas ou exigências feitas pelo cliente. Por vezes, estas propostas ou exigências não são as mais apropriadas, e cabe à empresa saber analisar e, se necessário, propor uma solução diferente ao cliente.

Na tabela 7 encontram-se algumas das mais importantes propostas ou exigências feitas pelo cliente.

Tabela 7 - Requisitos gerais exigidos pelo cliente.

---

**Requisitos gerais**

---

Material utilizado é o HDPE.



Figura 62 - HDPE em granulado.

As superfícies moldantes são  
polidas com lixa 240.



Figura 63 - Lixa 240.

Zona de aperto do molde à  
máquina de injeção, com 60 mm de  
altura e 50 mm de profundidade.

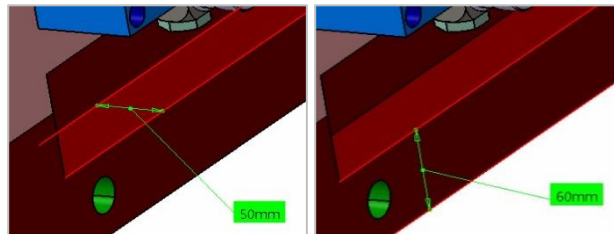


Figura 64 - Zona de aperto do molde à máquina de injeção.

Diâmetro da anilha de centragem de 219,5 mm.

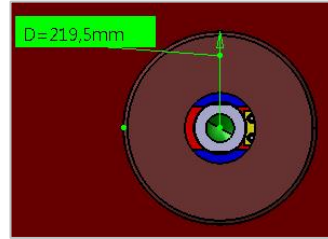


Figura 65 - Anilha de centragem.

Molde deve ser fornecido com um número suficiente de olhais.

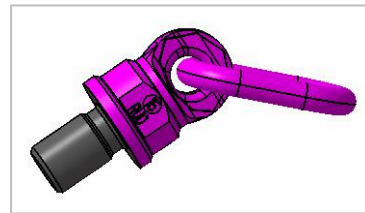


Figura 66 - Olhal M64 da RUD®.

Tabela 8 – Requisitos do sistema de injeção exigidos pelo cliente.

### Sistema de injeção

O molde será equipado com bicos de injeção *valve gate*, comandados individualmente.

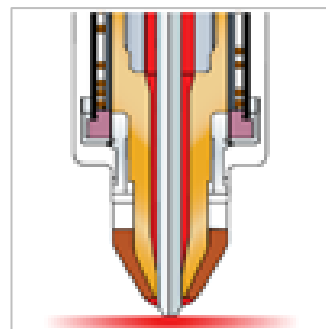


Figura 67 – Bico de injeção com sistema *valve gate*.

Raio de 29 mm no carburador, para uma vedação perfeita com o bico de injeção.

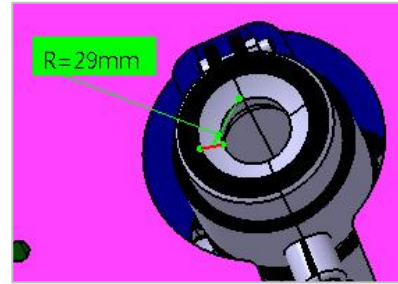


Figura 68 - Raio do carburador do sistema de injeção.

Tabela 9 – Requisitos do sistema de extração exigidos pelo cliente.

### Sistema de extração

Válvulas de ar de alta pressão, para evitar o vácuo na fase da extração.



Figura 69 - Válvula de ar para alta pressão da CUMSA®.

A paleta é retirada do macho com *robot*.



Figura 70 - Robot.

A extração ocorre por meio de cilindros da MERKLE®, e através do KO (*knockout*) da máquina de injeção.



Figura 71 - Cilindro da MERKLE®

Tabela 10 – Requisitos de garantia exigidos pelo cliente.

#### Garantia

Garantia de concepção de 1 milhão de peças ou 10 anos (peças de desgaste não incluídas)

### 3.5 Anteprojeto do molde

#### 3.5.1 Cálculo das contrações da peça

O HDPE tem uma contração entre 2 e 4% [8], mas com este tipo injeção (injeção com agente expensor), a contração dos materiais tende a diminuir, devido à expansão do gás. O valor fornecido pelo cliente foi de 1,3% de contração. Esta contração deve ser compensada através da aplicação de um fator de 1,013 às cotas da peça.

#### 3.5.2 Separação da peça em macho e cavidade

Esta separação serve para se decidir qual será a zona gravada pelo macho, e qual será a zona gravada pela cavidade. Normalmente, o macho está no lado móvel da máquina de injeção (lado da extração) e a cavidade no lado fixo (lado da injeção). A zona de partição deixa sempre uma linha visível na peça (linha de junta, figura 72), logo, se a peça for de

grande exigência ao nível estético, sempre que possível, deve-se passar essa linha para zonas onde a peça não é visível. Há também que escolher uma partição de macho e cavidade, que permita ter uma mecânica o mais simples possível. Na figura 73, é visível a amarelo a zona gravada pela cavidade, e a azul a zona gravada pelo macho.

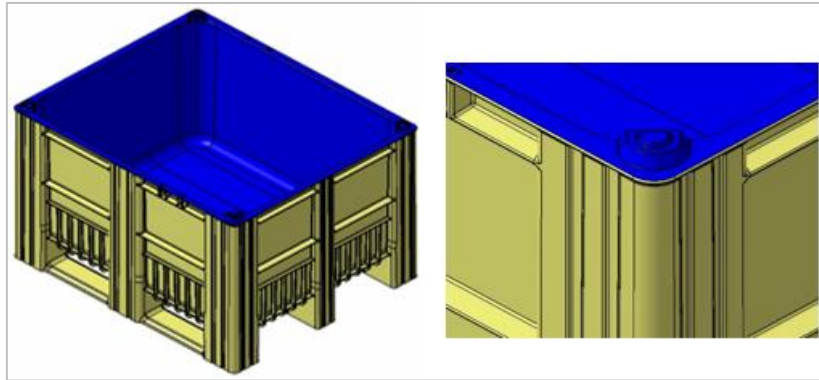


Figura 72 - Linha de partição da peça.

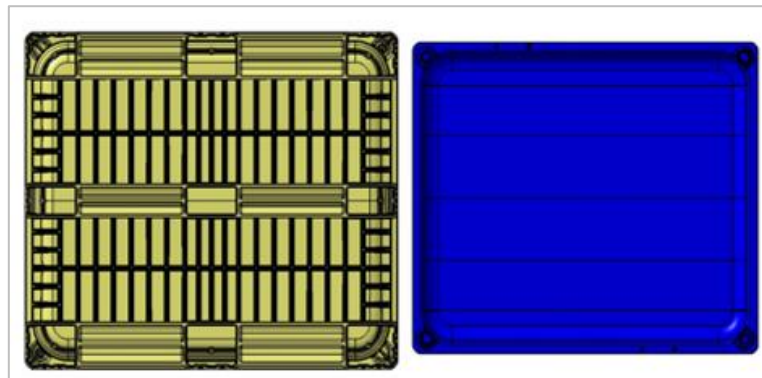


Figura 73 - Separação do macho e da cavidade.

### 3.5.3 Geometria do molde

O molde tem um porta macho e um porta cavidade, e as zonas de gravação são gravadas em postigos ou em componentes da própria extração (movimentos hidráulicos, movimentos à extração e levantadores). O molde é alimentado com um sistema de injeção *valve gate*. Na figura 74, estão representadas as duas metades do molde.

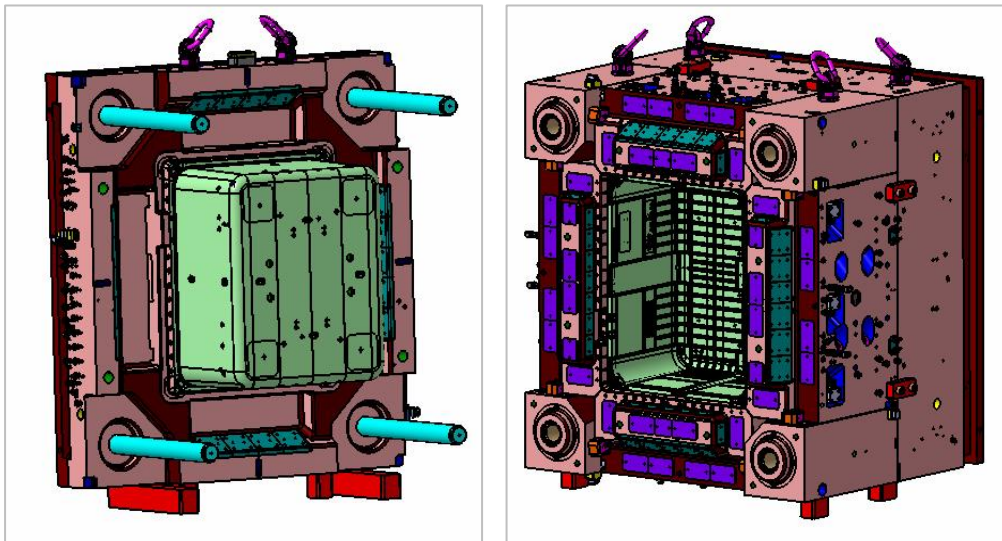


Figura 74 - Macho à esquerda, cavidade à direita.

Na tabela 11, podem ver-se os elementos associados à estrutura do molde.

Tabela 11 - Elementos estruturais do molde

### Elementos estruturais do molde

Placa traseira do macho:

- aperto do molde à máquina;
- alojamento da anilha de centragem.

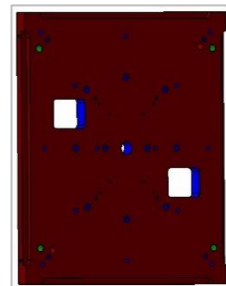


Figura 75 - Placa 0017.

Porta macho:

- alojamento do postigo do macho (200);
- fixação das guias principais;
- alojamento da placa de extração;
- fixação das chapas de ajuste.

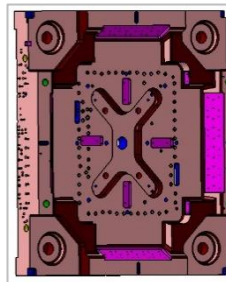


Figura 76 - Placa 0003.

Porta cavidade:

- alojamento dos postigos da cavidade;
- alojamento dos movimentos hidráulicos;
- alojamento da placa de extração.

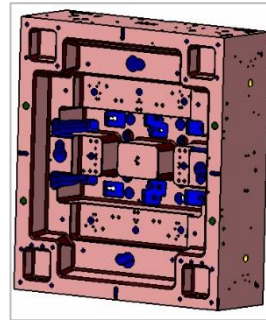


Figura 77 - Placa 0002.

Placa traseira da cavidade:

- aperto do molde à máquina;
- alojamento da anilha de centragem;
- alojamento do sistema de injeção.

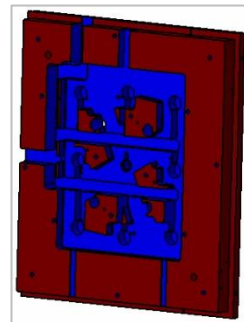


Figura 78 - Placa 0001.

Pé do molde:

- apoio o molde no solo.

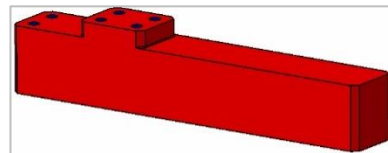


Figura 79 - Pé do molde.

### 3.5.4 Seleção de materiais para os diferentes componentes do molde

Os moldes de injeção de plástico são ferramentas sujeitas a grandes esforços, durante um longo período de tempo. Para que estas ferramentas cumpram com as garantias que lhes são expectáveis, os seus materiais têm que ser muito bem seleccionados, tendo sempre que possível a melhor relação entre qualidade e preço.

Durante o processo de injeção, o molde sofre tensões de compressão provocadas pela força de fecho das máquinas, flexão devido à pressão de injeção e abrasão visto que os

componentes de extração do molde estão constantemente em contacto, com movimento relativo [5].

Um molde não tem que ser feito todo no mesmo material. Como é natural, é usado um material mais económico nas zonas onde este não é tão solicitado, como é exemplo a estrutura do molde, e um material com melhores propriedades nas zonas de gravação. O chamado material mais económico é também, muitas das vezes, mais fácil e mais rápido de maquinar. Por vezes, por questões de tempo de ciclo, é necessário ter em conta materiais como as ligas de BeCu, que têm um excelente desempenho no que toca à condutividade térmica, mas que são extremamente caros.

Os materiais deste molde foram especificados pelo cliente mas, de qualquer forma, deve-se realizar um estudo de seleção de materiais, e verificar se as opções tomadas pelo cliente foram as melhores. Assim sendo, as principais características a ter em conta para a seleção de materiais de um molde de injeção são [5]:

- resistência mecânica;
- dureza;
- tenacidade;
- facilidade de maquinação;
- condutividade térmica;
- custo.

Na tabela 20 encontram-se os valores atribuídos às propriedades dos materiais. Os valores com um sombreado amarelo são aqueles que possuem melhores propriedades.

Tabela 12 – Valores atribuídos às propriedades dos materiais.

Material	1.1730	1.2312	1.2738	1.2738HH	A18	A83
Resistência mecânica (MPa)	330	950	950	1050	700	1310
Dureza (HB)	190	280	280	310	195	380
Tenacidade	3	4	6	5	2	7
Facilidade de maquinação	9	8	6	4	5	3

Condutividade térmica (W/mK)	41	34	34	37	63	106
Custo (€/kg)	1,3	1,6	1,8	2	10	26

Tendo como referência os valores atribuídos às propriedades dos materiais, pode-se passar ao cálculo do valor numérico das propriedades, onde se divide o valor da propriedade do material pelo valor máximo, ou pelo valor mínimo quando é de interesse (tabela 21).

Tabela 13 – Valor numérico das propriedades.

Material		1.1730	1.2312	1.2738	1.2738HH	A18	A83
Resistência mecânica	M1	330/131 = 0,25	950/131 = 0,73	950/131 = 0,73	1050/131 = 0,80	700/131 = 0,53	1310/131 = 1
Dureza	M2	190/380 = 0,50	280/380 = 0,74	280/380 = 0,74	310/380 = 0,82	195/380 = 0,51	380/380 = 1
Tenacidade	M2	3/7 = 0,43	4/7 = 0,57	6/7 = 0,85	5/7 = 0,71	2/7 = 0,29	7/7 = 1
Facilidade de maquinação	M3	9/9 = 1	8/9 = 0,89	6/9 = 0,67	4/9 = 0,44	5/9 = 0,56	3/9 = 0,33
Condutivida- de térmica	M4	41/106 = 0,39	34/106 = 0,32	34/106 = 0,32	37/106 = 0,35	63/106 = 0,59	106/106 = 1
Custo	M5	1.3/1.3 = 1	1.3/1.6 = 0,81	1.3/1.8 = 0,72	1.3/2 = 0,65	1.3/10 = 0,13	1.3/26 = 0,05

De seguida, será apresentada a seleção de materiais para três componentes distintos no molde e, como é natural, haverá índices de mérito diferentes, consoante as suas necessidades.

- **Placa de extração**

A placa de extração é um componente que não está sujeito a muitos esforços, embora necessite de alguma resistência mecânica. Sendo assim, é necessário dar mais atenção

ao seu custo e à sua facilidade de maquinação, pois tem implicações diretas no orçamento do molde.

Tabela 14 - Índices de mérito para a placa de extração.

Material		1.1730	1.2312	1.2738	1.2738HH	A18	A83
Resistência mecânica	Wi	5	5	5	5	5	5
	M1	0,25	0,73	0,73	0,80	0,53	1
Dureza	Wi	0	0	0	0	0	0
	M2	0,50	0,74	0,74	0,82	0,51	1
Tenacidade	Wi	3	3	3	3	3	3
	M3	0,43	0,57	0,85	0,71	0,29	1
Facilidade de maquinação	Wi	7	7	7	7	7	7
	M4	1	0,89	0,67	0,44	0,56	0,33
Condutividade térmica	Wi	0	0	0	0	0	0
	M5	0,39	0,32	0,32	0,35	0,59	1
Custo	Wi	9	9	9	9	9	9
	M6	1	0,81	0,72	0,65	0,13	0,05
Índice de mérito		18,54	18,88	17,37	15,06	8,61	10,76

O resultado obtido é coincidente com o tipo de material previamente escolhido pelo cliente, ou seja, o material 1.2738.

- **Postiço do macho 200**

No postiço do macho, há que ter em conta não só os esforços provocados pela pressão de injeção, mas também a condutividade térmica para uma refrigeração mais rápida. Visto que o postiço é uma peça considerável em termos de dimensões, há uma maior facilidade em elaborar um circuito de água bastante eficiente, o que melhora a refrigeração sem necessitar de utilizar as ligas de CuBe. Sendo assim, deve-se dar mais importância à resistência mecânica do material e aos seus custos.

Tabela 15 - Índices de mérito para o postigo do macho.

Material		1.1730	1.2312	1.2738	1.2738HH	A18	A83
Resistência mecânica (MPa)	Wi	9	9	9	9	9	9
	M1	0,25	0,73	0,73	0,80	0,53	1
Dureza (HB)	Wi	5	5	5	5	5	5
	M2	0,50	0,74	0,74	0,82	0,51	1
Tenacidade	Wi	6	6	6	6	6	6
	M3	0,43	0,57	0,85	0,71	0,29	1
Facilidade de maquinação	Wi	4	4	4	4	4	4
	M4	1	0,89	0,67	0,44	0,56	0,33
Condutividade térmica (W/mK)	Wi	2	2	2	2	2	2
	M5	0,39	0,32	0,32	0,35	0,59	1
Custo (€/kg)	Wi	7	7	7	7	7	7
	M6	1	0,81	0,72	0,65	0,13	0,05
Índice de mérito		19.11	23.56	23.73	22.57	13.39	23.67

O resultado obtido é mais uma vez coincidente com o tipo de material previamente escolhido pelo cliente para o postigo do macho, o 1.2738, com índice de mérito superior.

- **Movimento à extração 500**

O movimento à extração 500, do lado da cavidade, tem o inconveniente de gravar frisos com uma espessura considerável, fazendo com que a sua necessidade de remoção de calor seja maior. Neste caso, como o movimento é mais pequeno, a facilidade de fazer um circuito de água eficiente é menor. É também necessário ter em conta a sua dureza, pois é um componente de extração, e em cada ciclo do molde este vai friccionar com outros componentes, correndo o risco de gripar ou de se desgastar. Há então que estar mais atento à sua condutividade térmica, dureza e resistência mecânica.

Tabela 16 - Índices de mérito para o movimento mecânico.

Material		1.1730	1.2312	1.2738	1.2738HH	A18	A83
Resistência mecânica (MPa)	Wi	8	8	8	8	8	8
	M1	0,25	0,73	0,73	0,80	0,53	1
Dureza (HB)	Wi	7	7	7	7	7	7
	M2	0,50	0,74	0,74	0,82	0,51	1
Tenacidade	Wi	6	6	6	6	6	6
	M3	0,43	0,57	0,85	0,71	0,29	1
Facilidade de maquinação	Wi	4	4	4	4	4	4
	M4	1	0,89	0,67	0,44	0,56	0,33
Condutividade térmica (W/mK)	Wi	9	9	9	9	9	9
	M5	0,39	0,32	0,32	0,35	0,59	1
Custo (€/kg)	Wi	5	5	5	5	5	5
	M6	1	0,81	0,72	0,65	0,13	0,05
Índice de mérito		20,59	24,93	25,28	24,56	17,75	31,57

Como já era de esperar, estes três exemplos só vieram confirmar as escolhas do cliente. Para selecionar o material correto de cada componente, é necessário ter alguma experiência, para antever o papel desse componente no molde. Por vezes, o cliente aposta em materiais mais caros, para posteriormente ganhar em tempo de ciclo. Outras vezes, aposta em materiais mais económicos, mas com resistência suficiente para o papel que vão desempenhar.

### 3.5.5 Postiços

O postiço, como o próprio nome indica, é um componente que é inserido noutra. É possível ter postiços inseridos em movimentos, no porta macho ou porta cavidade, e até mesmo postiços inseridos em postiços.

Na figura 80 pode ver-se o mapa de posições da cavidade.

- **Mapa de posições da cavidade**

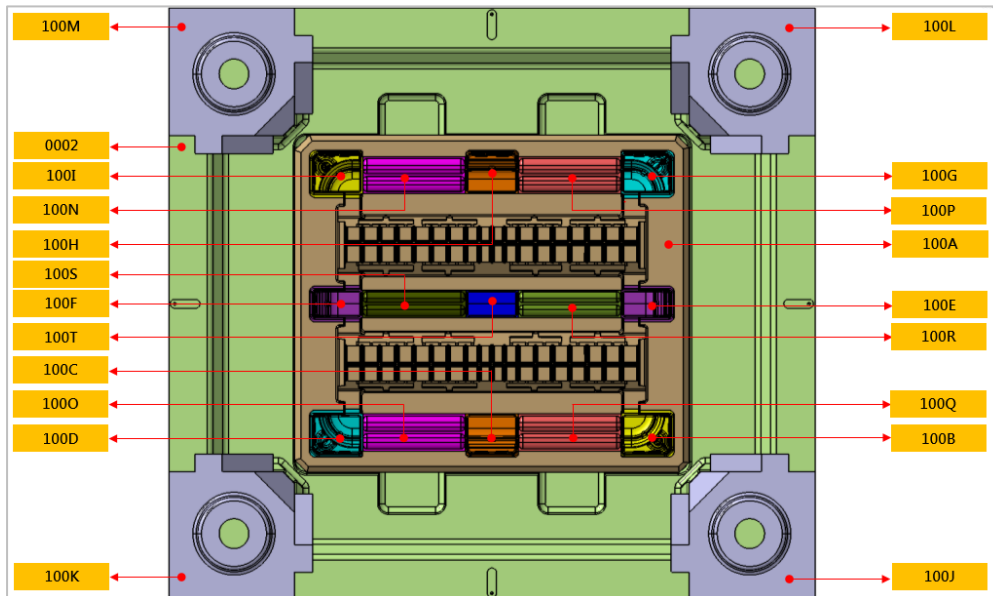


Figura 80 – Mapa de posições da cavidade

O postição 100A (figura 81) é feito em aço 1.2738 pré-tratado, e foi pensado para facilitar a montagem do molde. Aqui estão alojados alguns postições, como se pode ver no mapa de postições.

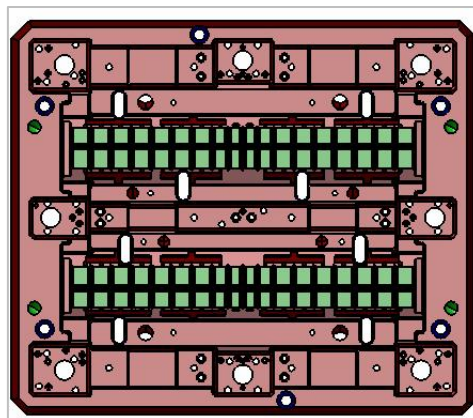


Figura 81 - Postição 100A

Há três postições idênticas ao 100M (figura 82) no molde, nomeadamente o 100K, o 100L e o 100J. Nestes postições, serão montadas as régulas de deslize, que servem de guiamento para os movimentos hidráulicos (figura 98). Estes postições também são feitos em aço 1.2738 pré-tratado.

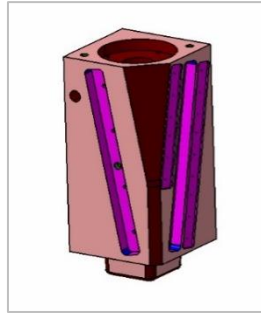


Figura 82 - Postiço 100M

O postiço 100I (figura 83) é feito em LC83 HH pré-tratado. A escolha deste material deve-se à necessidade de aumentar a eficiência de refrigeração neste componente. Existem quatro destes postiços no molde: o 100I, o 100D, o 100B e o 100G.

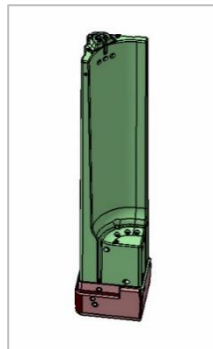


Figura 83 - Postiço 100I.

Os postiços representados na figura 84 também são feitos em LC83 HH pelas mesmas razões do 100I. No molde há dois postiços como o 100H (100H e 100C), dois postiços como o 100 F (100F e 100E), um postiço como o 100T, quatro postiços como o 100N (100N, 100O, 100P e 100Q) e dois postiços como o 100S (100S e 100R).

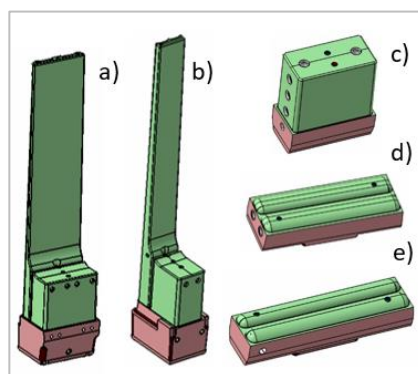


Figura 84 - Postiços da cavidade; a) 100H; b) 100F; c) 100T; d) 100N; e) 100S.

O postigo G1 (figura 85) não está no mapa de postigos da cavidade pois ele encontra-se sobreposto pelo postigo 100G. Há um postigo destes para cada bico de injeção (oito bicos de injeção). Este postigo é feito em aço 1.2343 temperado, pois encontra-se numa zona de grande desgaste.

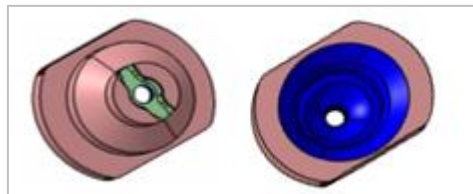


Figura 85 - Postigo do bico de injeção (100G1).

Na figura 86 segue-se o mapa de postigos do macho.

- **Mapa de postigos do macho**

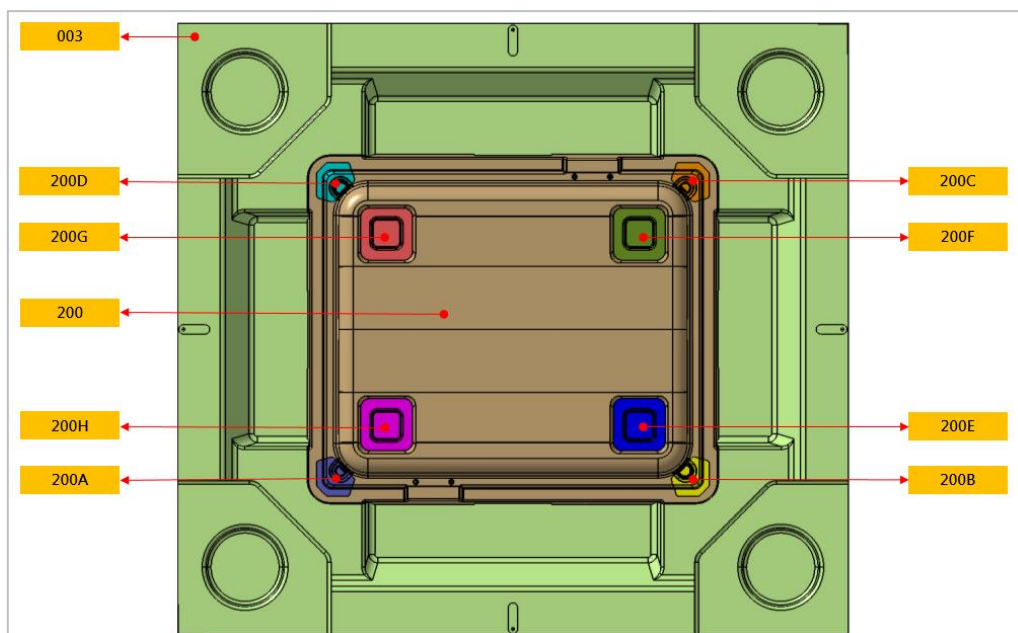


Figura 86 - Mapa de postigos do macho

O postição do macho (figura 87) é feito em aço 1.2738 pré-tratado.

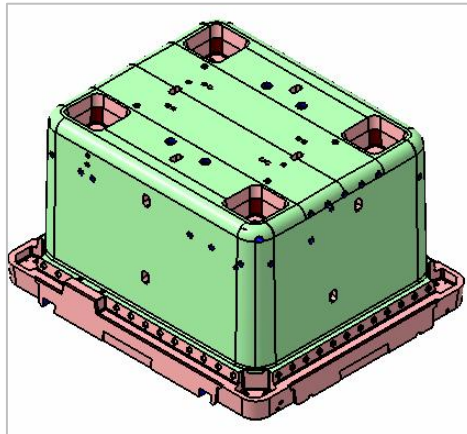


Figura 87 - Postição 200.

Existem quatro posições como o 200G (figura 88) no molde, o 200G, o 200H, o 200E e o 200F. Estes posições são feitos em LC83 HH com o intuito de aumentar a eficiência de refrigeração do levantador.

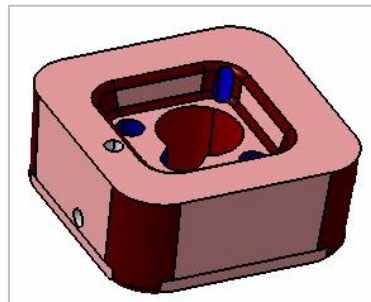


Figura 88 - Postição 200G.

Existem também quatro posições como o 200D no molde, nomeadamente o 200A, o 200B, o 200C e 200D. Estes posições são feitos em aço 1.2738 pré-tratado e têm a função de gravar a zona de encaixe entre paletes. Sendo esta zona gravada com um posição, este pode ser facilmente trocado em caso de alteração do encaixe.

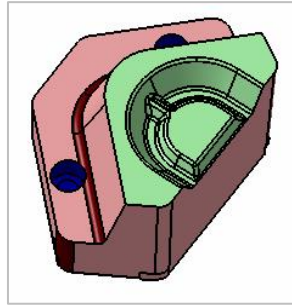


Figura 89 - Postiço 200D.

Na figura 90 segue-se o mapa de posições dos movimentos hidráulicos.

- **Mapa de posições dos movimentos hidráulicos**

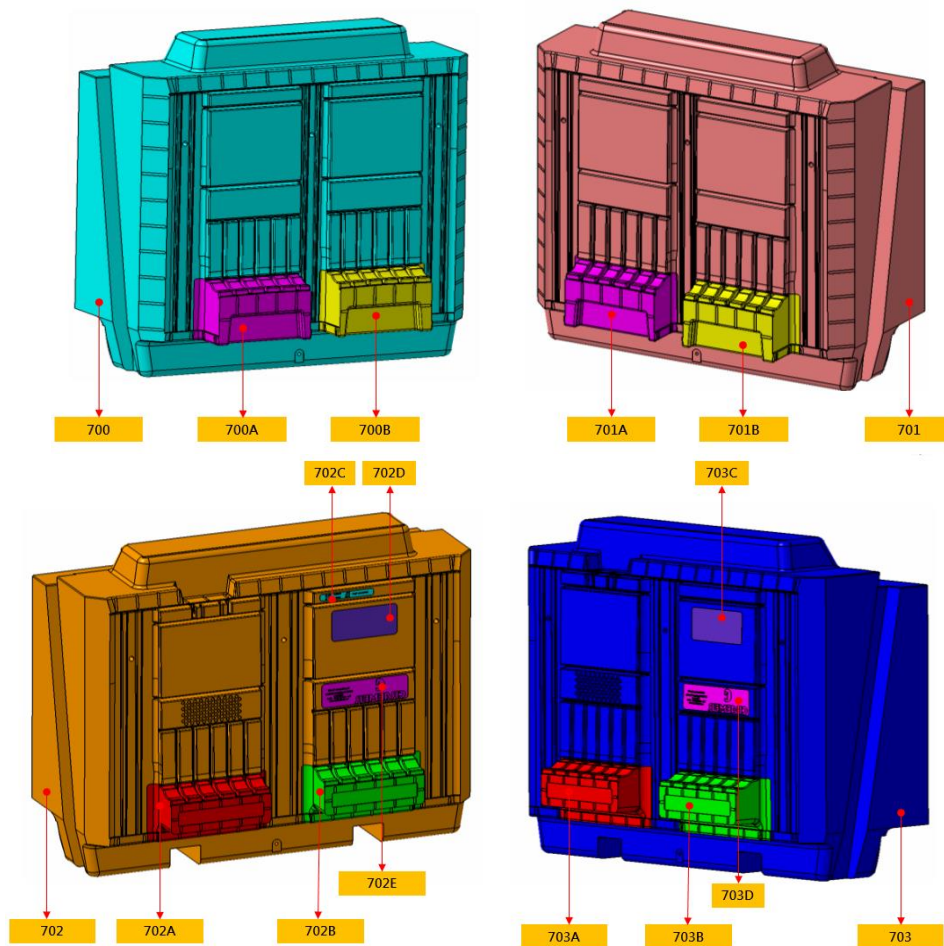


Figura 90 - Mapa de posições dos movimentos hidráulicos.

Os postigos 700A e 700B (figura 91 em cima) são simétricos aos 701A e 701B, enquanto os postigos 702A e 702B (figura 91 em baixo) são simétricos dos 703A e 703B. Todos estes postigos são feitos em LC83 HH, pelas razões já assinaladas.

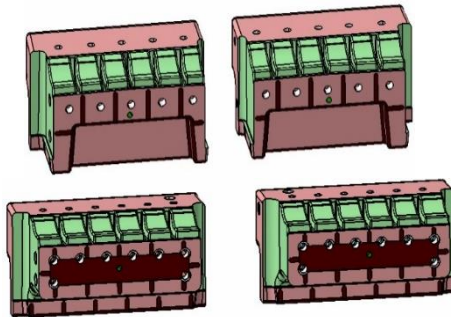


Figura 91 - Postigos 700A e 700B, em cima; postigos 702A e 702B, em baixo.

O postigo 702E (figura 92 em baixo), é simétrico do 703D. Estes dois postigos, juntamente com o 702C (figura 92 em cima), são feitos em aço 1.2738 pré-tratado. Estas gravações nos postigos podem vir a ser alteradas posteriormente. Caso isso aconteça, basta fazer postigos novos e substituí-los.

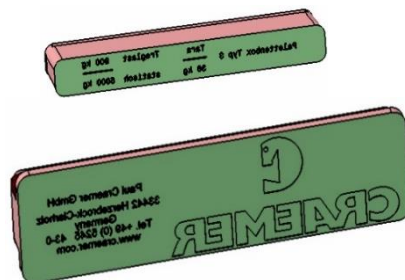


Figura 92 – Postigo 702C, em cima; postigo 702E, em baixo.

O postigo 702 D (figura 93) grava uma zona de relevo na peça (0,1 mm), onde irá ser colado um autocolante. Caso essa informação passe a ficar gravada diretamente na peça também será fácil a sua alteração. Este postigo é simétrico ao 703D, são ambos feitos em aço 1.2738 pré-tratado.

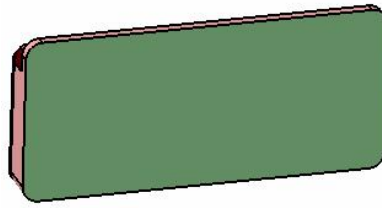


Figura 93 - postição 702D.

A palete tem zonas com espessuras muito elevadas. Nessas zonas, é preciso ter especial atenção à refrigeração, para não se ficar com um ciclo de injeção mais longo do que o pretendido pelo cliente. É por essa razão que existem muitos postícios em LC83 HH, colocados nessas zonas mais espessas. É um material mais caro que o aço 1.2738, mas é muito mais eficiente ao nível da condutividade térmica. Na tabela 7 vê-se a comparação da condutividade térmica entre o aço e a liga cobre-berílio, estes valores foram retirados dos anexos 1 e 2.

Tabela 17 - Comparação entre a condutividade térmica do aço e da liga cobre-berílio

---

### Condutividade térmica

---



Figura 94 - Aço 2738 (BUDERUS®)

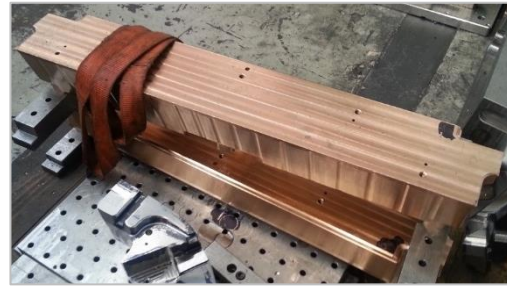


Figura 95 - Liga de cobre-berílio (AMPCO® 83)

---

34 W/mK

---

105 W/mK

---

### 3.5.6 Sistema de extração

O sistema de extração tem a função de extrair a peça e desmoldar as suas contra-saídas. Uma contra-saída é uma zona da peça que, no sentido da extração, está coberta por aço e só é possível extraí-la se houver algum mecanismo pensado para contornar esta situação. Como podemos ver na figura 96, antes de se iniciar a extração, a peça encontra-se sobreposta por aço (sentido da extração, seta verde). Ao iniciar-se a extração, os movimentos 502 e 503 seguem o vetor deslocamento representado pelas setas azul e verde (com  $-13^\circ$  e  $13^\circ$ ). Assim, ao fim de 235 mm, a contra-saída está desmoldada, e é possível a remoção da peça sem qualquer interferência.

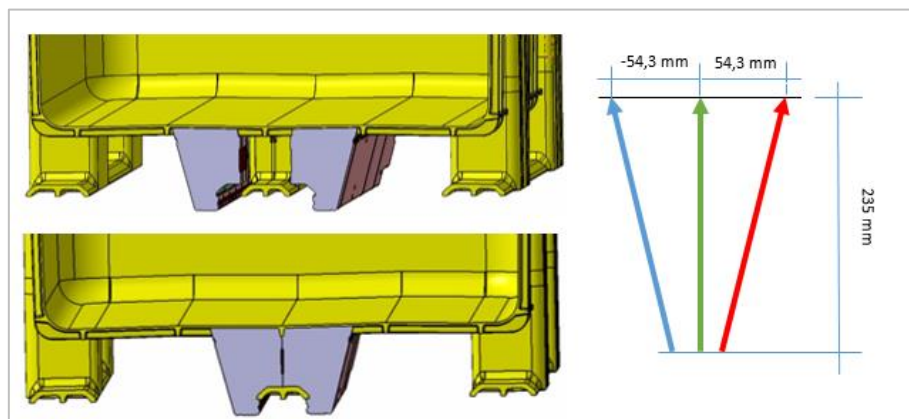


Figura 96 - Desmoldagem de contra-saídas.

O sistema de extração deste molde é composto por:

- placas de extração;
- movimentos à extração;
- movimentos hidráulicos;
- levantadores;
- pernos hidráulicos.

Na figura 97 segue-se o mapa de componentes da extração da cavidade.

- Mapa de componentes da extração da cavidade

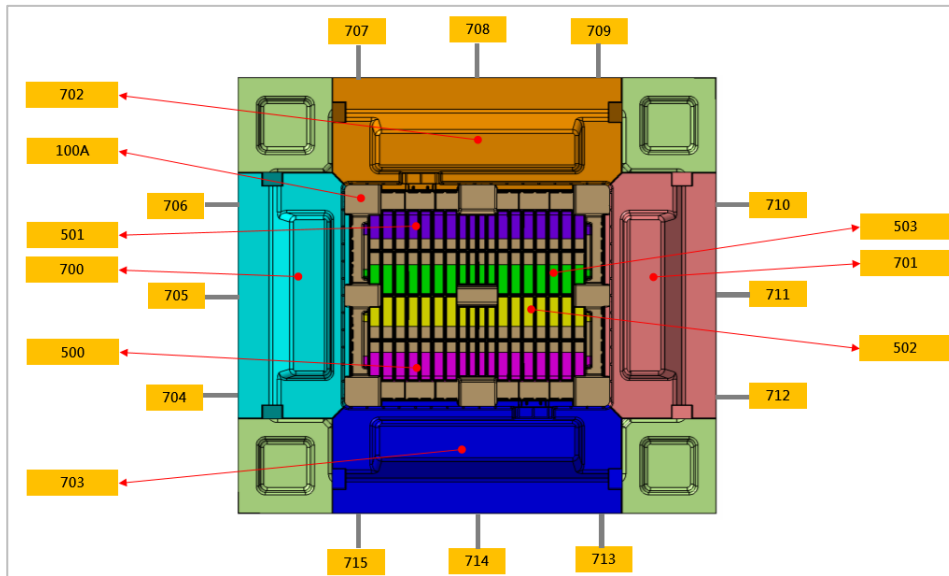


Figura 97 - Mapa de componentes da extração da cavidade

Há quatro movimentos hidráulicos como o 703 (figura 98) no molde (700, 701, 702, 703). Estes movimentos são feitos em aço 1.2738 pré-tratado. Cada um destes movimentos é impulsionado por um cilindro da MERKLE®, fornecedor escolhido pelo cliente como se pode ver no CEM.

Estes movimentos comandam a extração da cavidade. Eles têm uma face inclinada, que trabalha juntamente com a face inclinada do porta macho (figura 99) na abertura do molde, e faz com que os mecanismos de extração da cavidade tenham um ligeiro atraso em relação à abertura do molde.

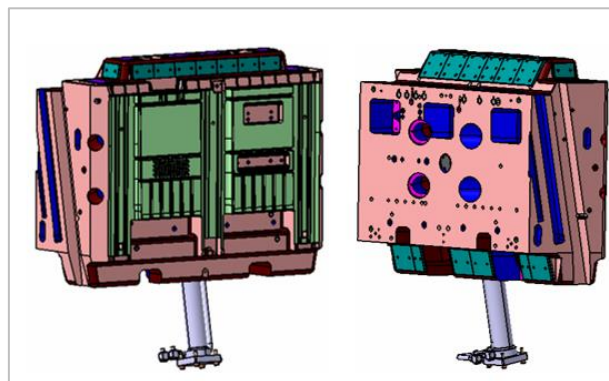


Figura 98 - Movimento hidráulico 703.

Na figura 99, à esquerda, tem-se o ângulo de inclinação do guiamento do movimento hidráulico (703) com a vertical (sentido de extração), e à direita está representada a face inclinada a 30°, quer no 003, quer no 700, que dá o tal atraso à extração da cavidade em relação à abertura do molde.

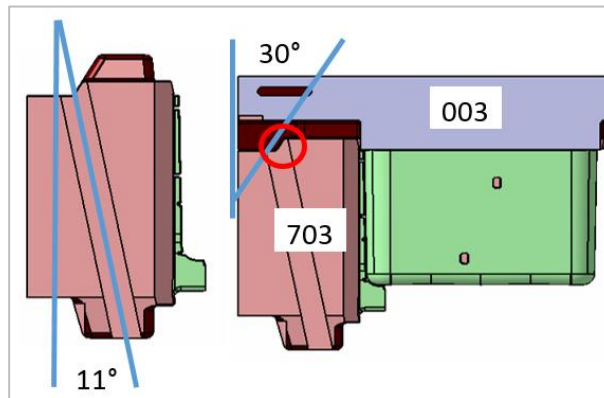


Figura 99 - Ângulos de extração.

O diagrama de cinemática do 703 (figura 100) mostra que, ao abrir o molde 300 mm, o movimento hidráulico andou 224,4 mm em Y (direção da abertura), e 43,63 mm em X (deslocamento no eixo X para desmoldar a contra-saída). O cilindro do movimento hidráulico tem um curso máximo de 620 mm, mas só se usam 611,2 mm, que é na verdade o valor do vetor de deslocamento visível na figura 100. Assim, nunca se trabalha no limite do cilindro, o que lhe dá um maior tempo de vida.

O atraso na extração dos componentes da cavidade em relação à abertura do molde, foi pensado para evitar que a peça ficasse agarrada ao macho devido à contração do material, que é muito característica em peças com este formato.

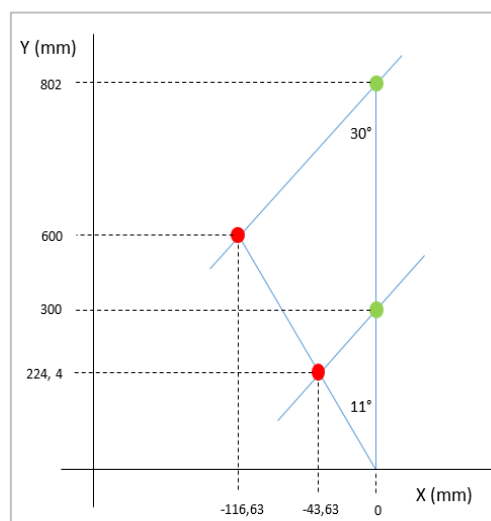


Figura 100 - Cinemática do movimento hidráulico (703).

Nestes movimentos hidráulicos existem umas guias (figura 101), que fazem com que os movimentos fiquem interligados entre si e, deste modo, desmoldem a peça em simultâneo. Estas guias previnem também qualquer falha proveniente de algum dos quatro cilindros.

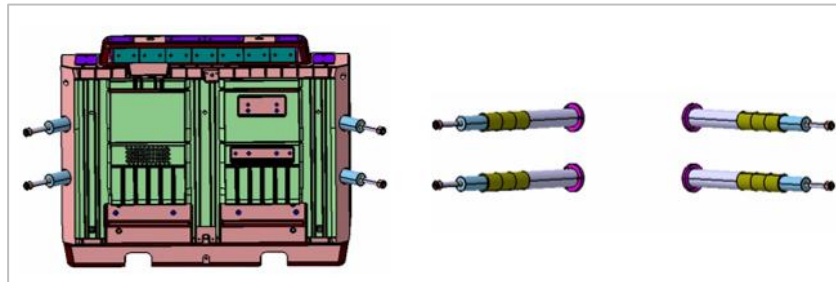


Figura 101 - Guias dos movimentos hidráulicos.

O guiamento dos movimentos hidráulicos (figura 102) é feito pelos postigos da cavidade 100J, 100K, 100L e 100M.

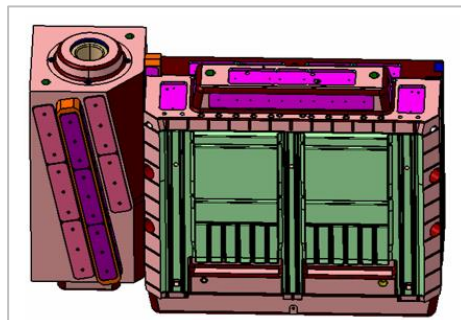


Figura 102 - Guiamento dos movimentos hidráulicos.

Os movimentos à extração 500 (figura 103) e 501 são simétricos e feitos em LC83HH. Cada um deles tem duas guias inclinadas a  $10^\circ$ , dois veios de reforço com a mesma inclinação e dois carrinhos. É usual aplicar veios de reforço em movimentos à extração com inclinações maiores ou iguais a  $10^\circ$ , assim, o carrinho é obrigado a trabalhar sempre guiado, para assim evitar a sua torção. Estes componentes são atuados pelo avanço da placa de extração da cavidade.

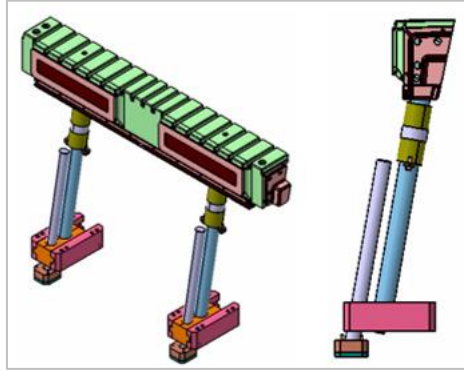


Figura 103 - Movimento à extração (500).

Todos os componentes de extração da cavidade têm um atraso em relação à abertura do molde, como foi visto anteriormente, mas o diagrama de cinemática do movimento à extração (figura 104) é realizada agora em relação ao avanço da placa de extração da cavidade. Este componente tem uma extração com 235 mm de curso, onde desmolda uma contra-saída de 41 mm.

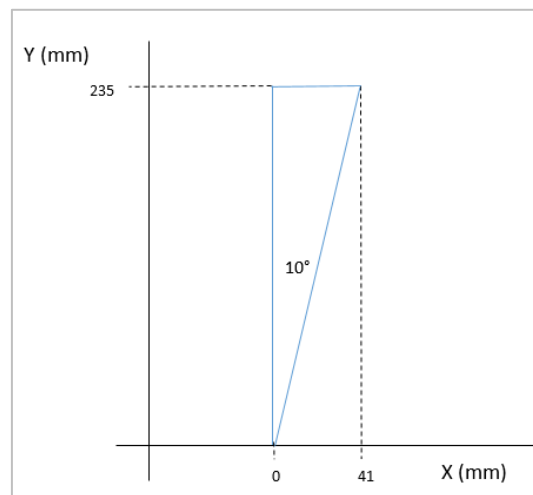


Figura 104 – Cinemática do movimento à extração (500).

Existe mais um par de movimentos à extração simétricos na cavidade, o 502 e o 503, também feitos em LC83HH. Neste caso, as guias estão inclinadas 13° (figura 105).

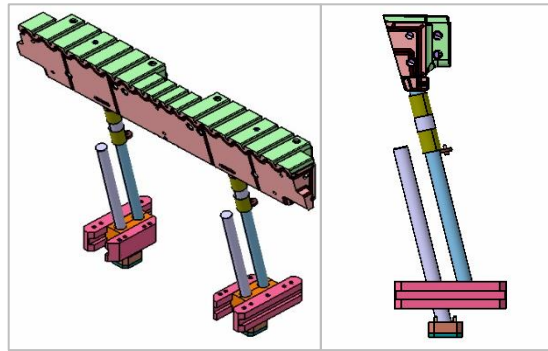


Figura 105 - Movimento à extração (502).

O curso da extração continua a ser 235 mm, mas agora o 502 desmolda uma contra-saída de 54 mm (figura 106).

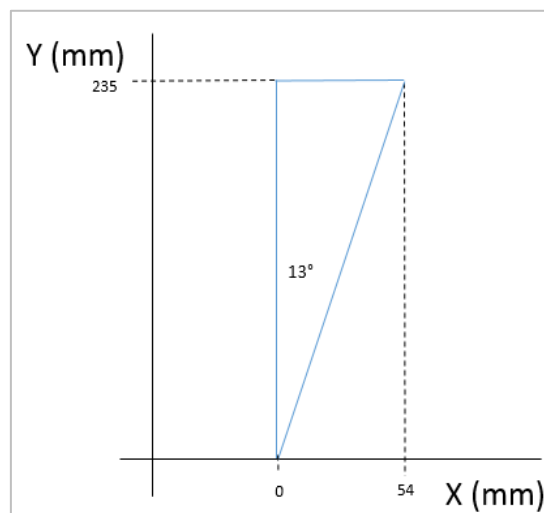


Figura 106 - Cinemática do movimento à extração (502).

Os pernos hidráulicos (figura 107) servem apenas para apoiar as lâminas dos postigos 100I, 100F, 100D, 100C, 100B, 100E, 100G, e 100H, durante uma primeira fase da injeção. Aquando da chegada do fluxo de injeção, os pernos recuam, para que não fique nenhum buraco na peça. Assim, evita-se que os postigos empenem com a pressão de injeção. Existem oito destes pernos no molde, um para cada postigo. Os pernos são acionados por um cilindro hidráulico da MERKLE®.

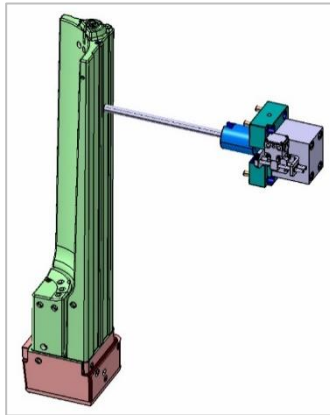


Figura 107 – Perno hidráulico 710.

No sistema de extração da cavidade foi aplicado um sistema de segurança (figura 108), para garantir o avanço da placa de extração, caso haja uma falha nos cilindros hidráulicos da placa de extração. Este sistema é aplicado em apenas dois movimentos hidráulicos, o 702 e 703.

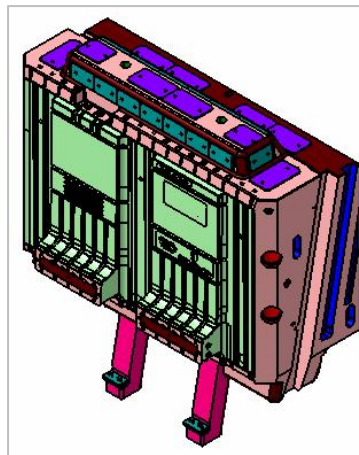


Figura 108 - Sistema de segurança da extração da cavidade.

Na figura 109 segue-se o mapa dos componentes da extração do macho.

- Mapa de componentes da extração do macho

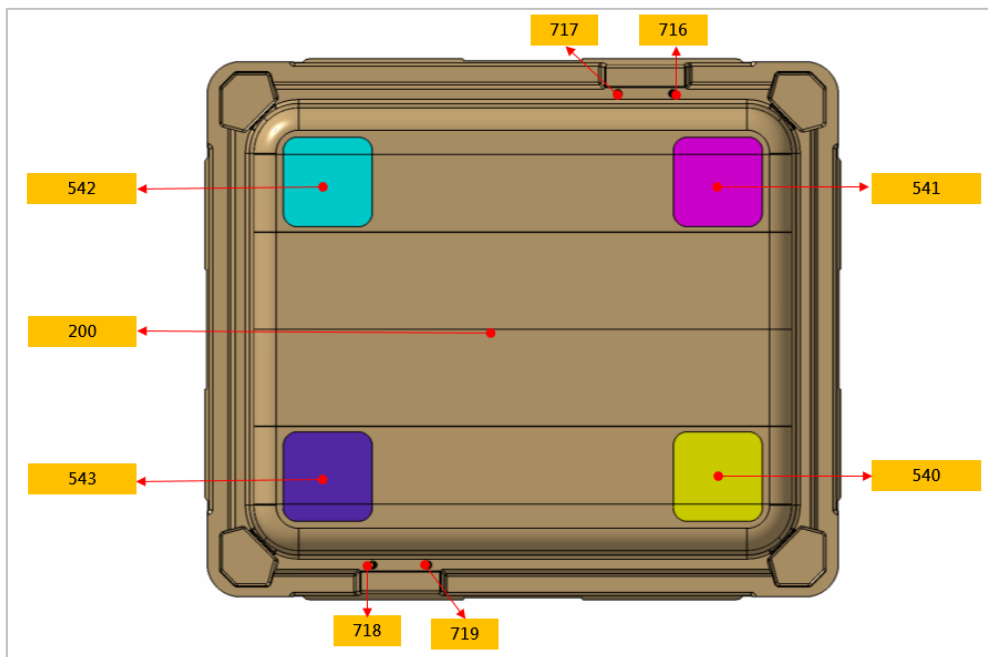


Figura 109 - Mapa de componentes da extração do macho.

No macho, há quatro levantadores (figura 110) no sistema de extração (540, 541, 542 e 543) feitos em aço 1.2738. Estes levantadores têm a função de retirar a peça do macho, depois do molde estar completamente aberto.

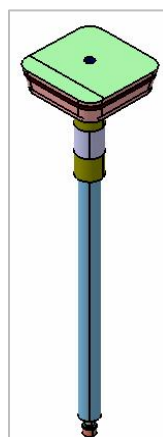


Figura 110 - Levantador (540).

O curso de extração do macho é de 500 mm, que é exatamente o curso de extração dos quatro levantadores (figura 111).

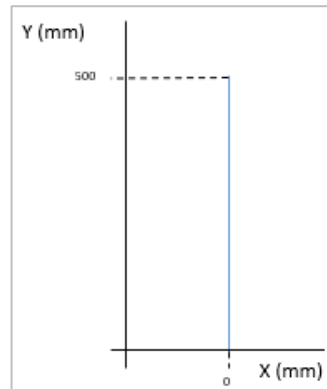


Figura 111 - Cinemática do levantador (540).

No macho, existem quatro pernos hidráulicos (figura 112), onde cada par é acionado por um cilindro da MERKLE®. Os pernos são feitos em aço 1.2738 nitrurado.

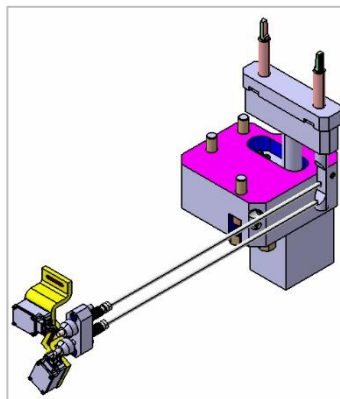


Figura 112 - Pernos hidráulicos (718 e 719).

Estes pernos não desmoldam nenhuma contra-saída. Se fossem apenas pernos fixos o molde funcionava igualmente. O problema é que eles têm o inconveniente de vedar com os movimentos hidráulicos da cavidade, e se os pernos não recuassem antes de se iniciar a extração, correr-se-ia o risco de os partir (figura 113).

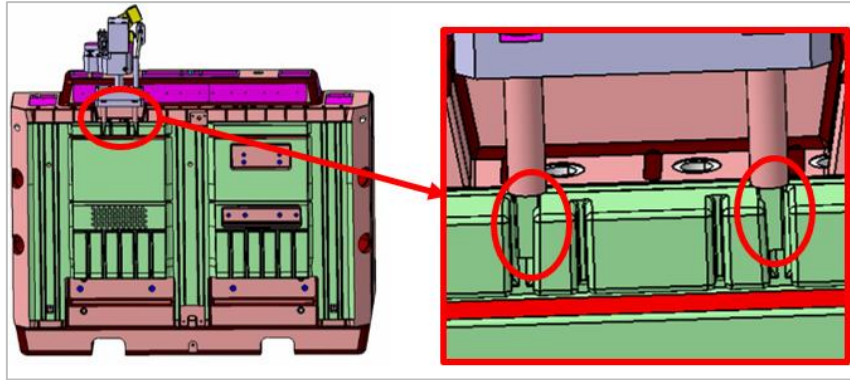


Figura 113 - Vedação entre os pernos hidráulicos e os movimentos hidráulicos.

### 3.5.7 Mecânica do molde

Este molde tem uma mecânica diferente do habitual. A extração da cavidade dá-se em simultâneo com a abertura do molde. Habitualmente, dá-se primeiro a abertura do molde, e de seguida extrai-se a peça que se encontra no macho. Só em casos especiais é que há extração também na cavidade. Este molde é uma dessas situações especiais, devido à dimensão e ao *design* da peça que, ao arrefecer, contrai e fica presa no macho. Assim, para além do sistema de insuflação evitar o vácuo, tem-se também os quatro movimentos hidráulicos a “puxar” a peça do macho. Na figura 114 é possível identificar as várias fases do ciclo de injeção do molde, e a sua respetiva sequência.

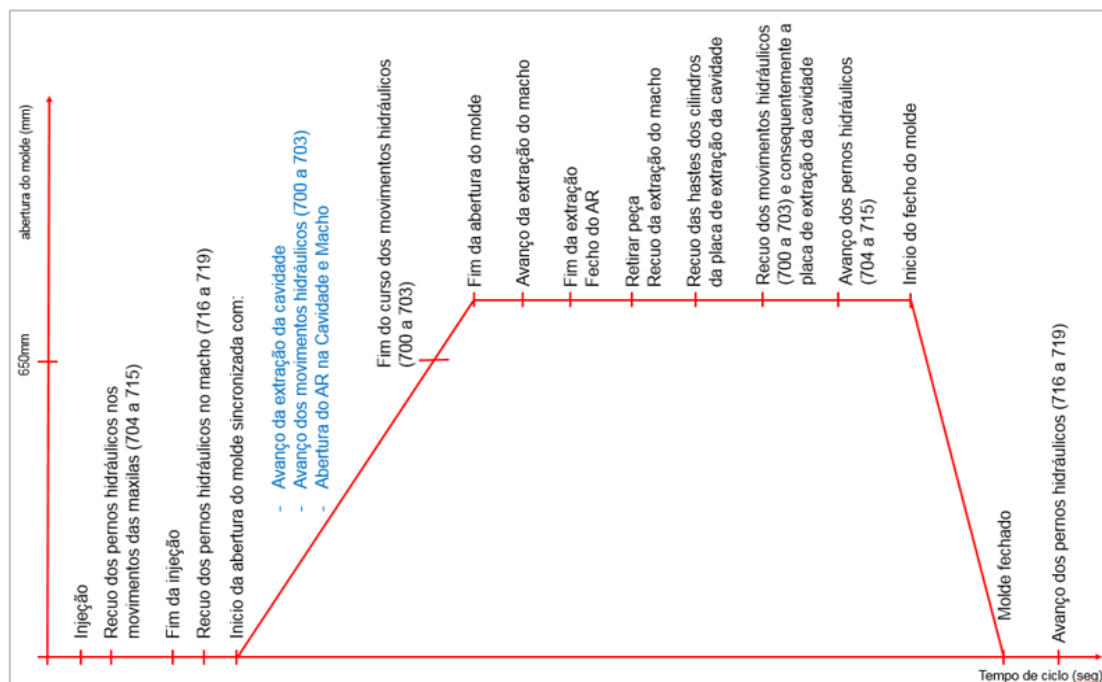


Figura 114 – Mecânica do molde.

Para uma ideia mais pormenorizada da extração do molde, na tabela 18 segue-se uma sequência de imagens, onde se pode ver detalhadamente o comportamento dos mecanismos da extração.

Tabela 18 - Sequência de imagens da extração do molde

1)

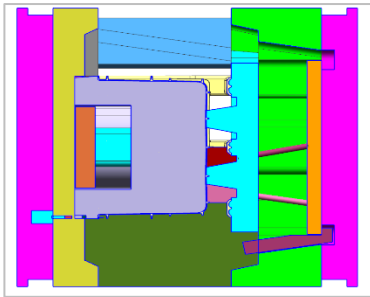


Figura 115 – Molde fechado.

2)

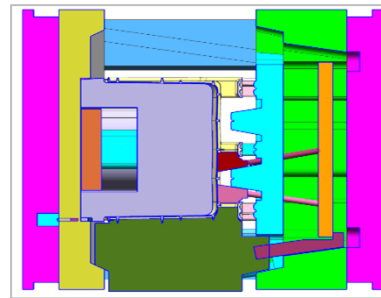


Figura 116 - Início da extração e abertura simultânea do molde.

3)

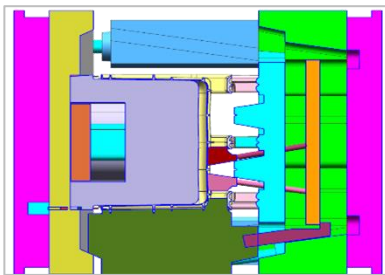


Figura 117 - Verificação da desmoldagem das contra-saídas.

4)

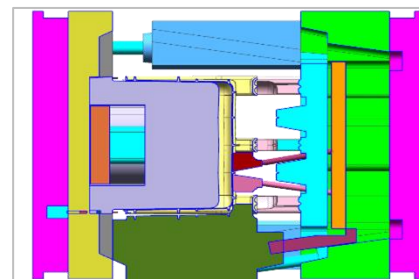


Figura 118 - Final do curso da placa de extração.

5)

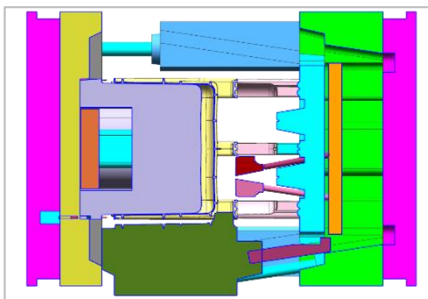


Figura 119 – Continuação da extração, apenas com os movimentos hidráulicos.

6)

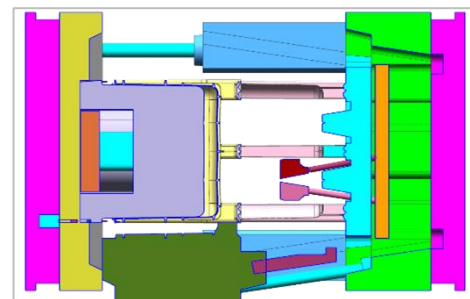


Figura 120 - Final do curso dos movimentos hidráulicos.

7)

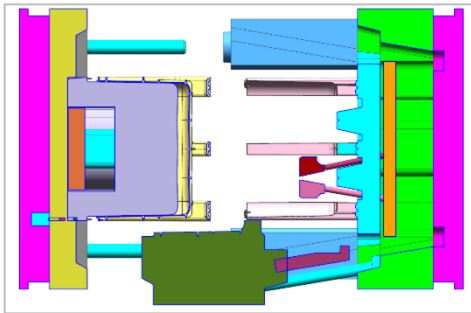


Figura 121 – Continuação da abertura do molde.

8)

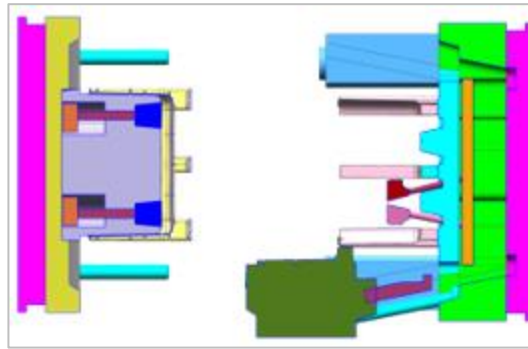


Figura 122 – Final da abertura do molde e início da extração do macho.

9)

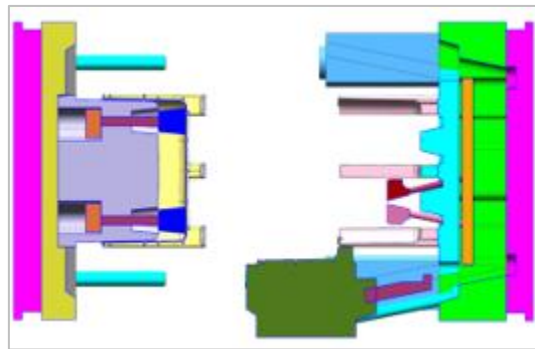


Figura 123 - Final da extração do macho.

A palete é depois retirada, com a ajuda de um *robot*. Depois da extração completa, dá-se o recuo dos componentes da extração do macho e da cavidade, e só depois é que se pode fechar o molde e dar início a um novo ciclo.

### 3.5.8 Pernos de retorno

Os pernos de retorno garantem que, aquando do fecho do molde, todos os elementos da extração estão recuados, evitando assim a sua colisão.

Normalmente os pernos de retorno são similares a extratores, só que maiores, e são apertados na placa de extração. Neste caso, os pernos de retorno estão na mesma apertados à placa de extração (figura 124), mas não são cilíndricos. Estes pernos são acionados pelos movimentos hidráulicos 702 e 703 (figura 125).

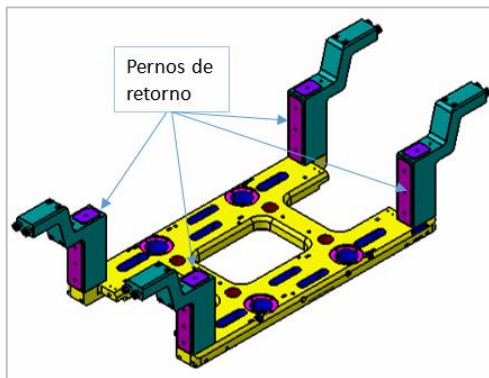


Figura 124 - Pernos de retorno.

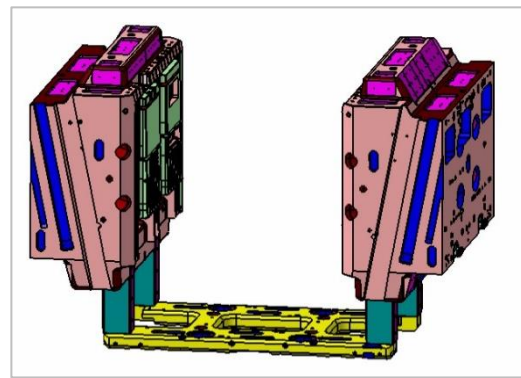


Figura 125 - Pernos de retorno com os movimentos hidráulicos 702 e 703.

### 3.5.9 Placas de extração

A placa de extração tem a função de transmitir movimento aos vários componentes da extração do molde, tais como levantadores, movimentos e extratores. Esse movimento é imposto à placa de extração, através de cilindros hidráulicos ou KO da máquina de injeção. As placas de extração têm, normalmente, um sistema independente de guiamento, composto por guias e casquilhos (figura 126). Os casquilhos são apertados à placa de extração, fazendo com que a placa deslize nas guias.

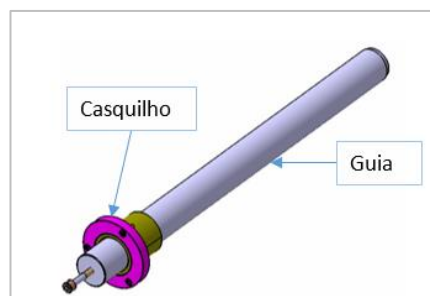


Figura 126 - Guia e casquilho.

- **Placa de extração da cavidade**

A placa de extração é composta por quatro guias e quatro cilindros da MERKLE®.

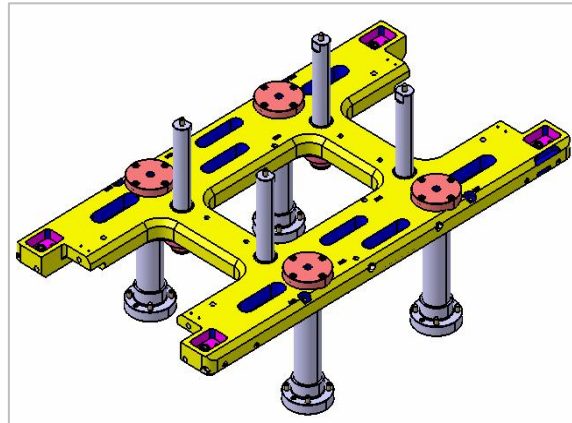


Figura 127 - Placa de extração da cavidade.

- **Placa de extração do macho**

No macho a placa de extração também tem quatro guias e respectivos casquilhos, mas esta é atuada com o KO da máquina de injeção.

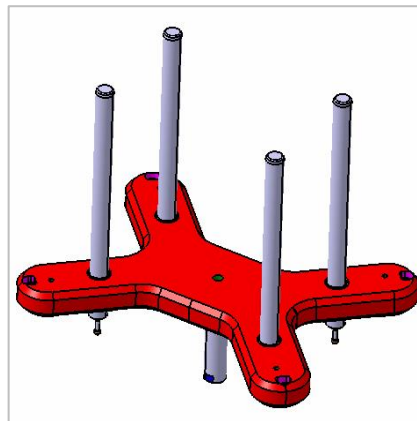


Figura 128 - Placa de extração do macho.

### 3.5.10 Projeto hidráulico e pneumático

Todos os cilindros hidráulicos para este molde devem estar de acordo com o caderno de encargos do cliente, o qual requer cilindros MERKLE para todas as situações. Para os movimentos hidráulicos da cavidade, usam-se cilindros MERKLE HZ 250. Este modelo de cilindros é o mais adequado pois é o único que consegue garantir um curso de 611 mm aos movimentos hidráulicos da cavidade.

O circuito hidráulico deste sistema (figura 129), encontra-se no porta cavidade (100).

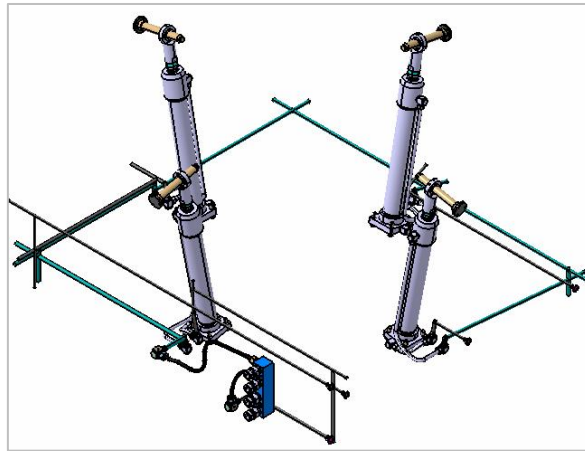


Figura 129 - Cilindros hidráulicos e respetivo circuito hidráulico para as maxilas.

Os valores de funcionamento dos cilindros foram calculados através das fórmulas seguintes [5]:

$$F_{Ca} = \frac{P_h}{\frac{\varnothing_e^2 \times \pi}{4}} \quad (8)$$

$$F_{Cr} = \frac{P_h}{A_s} \quad (9)$$

$$A_s = \frac{(\varnothing_e^2 - \varnothing_h^2) \times \pi}{4} \quad (10)$$

Onde:

- $F_{Ca}$  – Força do cilindro no avanço (N)
- $F_{Cr}$  – Força do cilindro no recuo (N)
- $P_h$  – Pressão hidráulica (MPa)
- $A_s$  – Área da secção do cilindro (mm<sup>2</sup>)
- $\varnothing_e$  – Diâmetro do êmbolo do cilindro (mm)
- $\varnothing_h$  – Diâmetro da haste do cilindro (mm)

Nas tabelas 19 e 20 apresentam-se então os valores de funcionamento destes cilindros.

Tabela 19 - Forças desenvolvidas pelos cilindros MERKLE-HZ no seu avanço, em N.

Ø êmbolo (mm)	Secção (mm <sup>2</sup> )	Pressão (MPa)					
		5	9	12	18	20	25
20	<b>314,2</b>	1570,8	2827,4	3769,9	5654,9	6283,2	7854,0
25	<b>490,9</b>	2454,4	4417,9	5890,5	8835,7	9817,5	12271,8
32	<b>804,2</b>	4021,2	7238,2	9651,0	14476,5	16085,0	20106,2
40	<b>1256,6</b>	6283,2	11309,7	15079,6	22619,5	25132,7	31415,9
50	<b>1963,5</b>	9817,5	17671,5	23561,9	35342,9	39269,9	49087,4
63	<b>3117,2</b>	15586,2	28055,2	37406,9	56110,4	62344,9	77931,1
80	<b>5026,5</b>	25132,7	45238,9	60318,6	90477,9	100531,0	125663,7
100	<b>7854,0</b>	39269,9	70685,8	94247,8	141371,7	157079,6	196349,5

Tabela 20 - Forças desenvolvidas pelos cilindros MERKLE-HZ no seu recuo, em N.

Ø êmbolo (mm)	Ø haste (mm)	Secção (mm <sup>2</sup> )	Pressão (MPa)					
			5	9	12	18	20	25
20	<b>12</b>	<b>201,1</b>	1005,3	1809,6	2412,7	3619,1	4021,2	5026,5
25	<b>16</b>	<b>289,8</b>	1449,1	2608,3	3477,7	5216,6	5796,2	7245,3
32	<b>20</b>	<b>490,1</b>	2450,4	4410,8	5881,1	8821,6	9801,8	12252,2
40	<b>25</b>	<b>765,8</b>	3828,8	6891,9	9189,2	13783,7	15315,3	19144,1
50	<b>32</b>	<b>1159,2</b>	5796,2	10433,2	13911,0	20866,5	23185,0	28981,2
63	<b>40</b>	<b>1860,6</b>	9303,0	16745,5	22327,3	33490,9	37212,2	46515,2
80	<b>50</b>	<b>3063,1</b>	15315,3	27567,5	36756,6	55135,0	61261,1	76576,3
100	<b>60</b>	<b>5026,5</b>	25132,7	45238,9	60318,6	90477,9	100531,0	125663,7

Foram escolhidos os cilindros com um êmbolo de 80 mm para deslocar os movimentos hidráulicos da cavidade, com um peso de aproximadamente 2000 kg. Estes cilindros trabalham na horizontal, sendo assim os seus valores de funcionamento mais que suficientes para garantir o deslocamento dos movimentos hidráulicos.

No circuito hidráulico da extração da cavidade, os cilindros escolhidos foram MERKLE DFZ 250. Este modelo é mais compacto do que o HZ, o que permite poupar algum espaço, e garantir o curso necessário para a extração da cavidade.

O circuito deste sistema (figura 130) encontra-se na placa de extração da cavidade.

Nas tabelas 21 e 22 apresentam-se os valores de funcionamento destes cilindros.

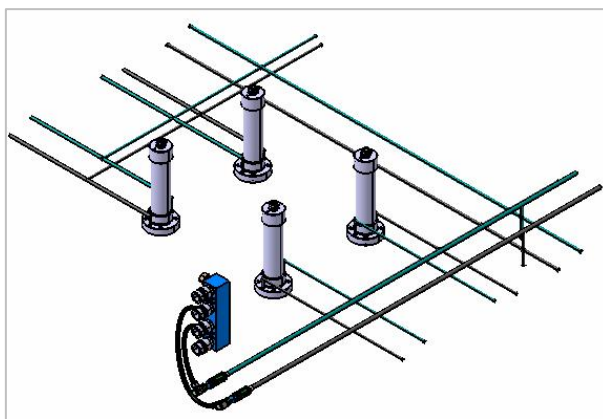


Figura 130 - Cilindros hidráulicos e respetivo circuito hidráulico para a extração da cavidade.

Tabela 21 - Forças desenvolvidas pelos cilindros MERKLE-DFZ no seu avanço, em N.

Ø êmbolo (mm)	Secção (mm <sup>2</sup> )	Pressão (MPa)					
		5	9	12	18	20	25
32	<b>804,2</b>	4021,2	7238,2	9651,0	14476,5	16085,0	20106,2
40	<b>1256,6</b>	6283,2	11309,7	15079,6	22619,5	25132,7	31415,9
50	<b>1963,5</b>	9817,5	17671,5	23561,9	35342,9	39269,9	49087,4
63	<b>3117,2</b>	15586,2	28055,2	37406,9	56110,4	62344,9	77931,1
80	<b>5026,5</b>	25132,7	45238,9	60318,6	90477,9	100531,0	125663,7

Tabela 22 - Forças desenvolvidas pelos cilindros MERKLE-DFZ no seu recuo, em N.

Ø êmbolo (mm)	Ø haste (mm)	Secção (mm <sup>2</sup> )	Pressão (MPa)					
			5	9	12	18	20	25
32	<b>20</b>	<b>490,1</b>	2450,4	4410,8	5881,1	8821,6	9801,8	12252,2
40	<b>25</b>	<b>765,8</b>	3828,8	6891,9	9189,2	13783,7	15315,3	19144,1
50	<b>32</b>	<b>1159,2</b>	5796,2	10433,2	13911,0	20866,5	23185,0	28981,2
63	<b>40</b>	<b>1860,6</b>	9303,0	16745,5	22327,3	33490,9	37212,2	46515,2
80	<b>50</b>	<b>3063,1</b>	15315,3	27567,5	36756,6	55135,0	61261,1	76576,3

Para este caso, foram escolhidos os cilindros com um êmbolo de 50 mm para deslocar a extração da cavidade, que pesa no total 1000 kg. A placa de extração também trabalha na horizontal, onde os cilindros têm apenas que vencer a força de atrito dos componentes de guiamento, mas essa força de atrito é difícil de calcular com exatidão. Para contornar esta situação escolheu-se um cilindro que por si só fosse capaz de mover a extração da cavidade.

Para os pernos hidráulicos, tanto do macho como da cavidade, consideram-se cilindros MERKLE BZR 500. Este modelo é para casos com necessidades de cursos mais curtos.

Os circuitos hidráulicos dos pernos da cavidade (figura 131) encontram-se nos quatro movimentos hidráulicos, já o circuito dos pernos hidráulicos do macho (figura 132) encontra-se no porta macho.

Nas tabelas 23 e 24 apresentam-se os valores de funcionamento destes cilindros.

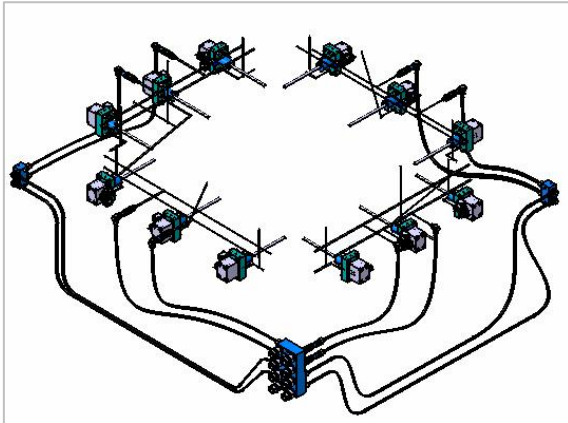


Figura 131 - Cilindros hidráulicos e respetivo circuito hidráulico para os pernos hidráulicos da cavidade.

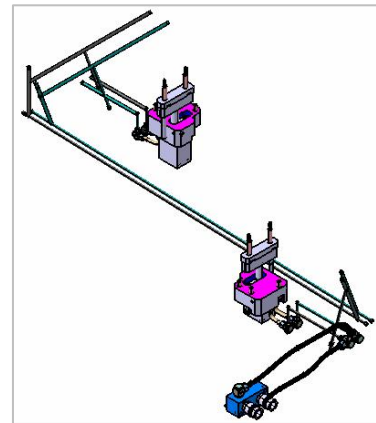


Figura 132 - Cilindros hidráulicos e respetivo circuito hidráulico para os pernos hidráulicos do macho.

Tabela 23 - Forças desenvolvidas pelos cilindros MERKLE-BZR no seu avanço, em N.

Ø êmbolo (mm)	Secção (mm <sup>2</sup> )	Pressão (MPa)					
		9	12	20	30	40	50
25	<b>490,9</b>	4417,9	5890,5	9817,5	14726,2	19635,0	24543,7
32	<b>804,2</b>	7238,2	9651,0	16085,0	24127,4	32169,9	40212,4
40	<b>1256,6</b>	11309,7	15079,6	25132,7	37699,1	50265,5	62831,9
50	<b>1963,5</b>	17671,5	23561,9	39269,9	58904,9	78539,8	98174,8
63	<b>3117,2</b>	28055,2	37406,9	62344,9	93517,4	124689,8	155862,3
80	<b>5026,5</b>	45238,9	60318,6	100531,0	150796,4	201061,9	251327,4
100	<b>7854,0</b>	70685,8	94247,8	157079,6	235619,4	314159,3	392699,1

Tabela 24 - Forças desenvolvidas pelos cilindros MERKLE-BZR no seu recuo, em N.

Ø êmbolo (mm)	Ø haste (mm)	Secção (mm <sup>2</sup> )	Pressão (MPa)					
			9	12	20	30	40	50
25	<b>16</b>	<b>289,8</b>	2608,3	3477,7	5796,2	8694,4	11592,5	14490,6
32	<b>20</b>	<b>490,1</b>	4410,8	5881,1	9801,8	14702,7	19603,5	24504,4
40	<b>25</b>	<b>765,8</b>	6891,9	9189,2	15315,3	22972,9	30630,5	38288,2
50	<b>32</b>	<b>1159,2</b>	10433,2	13911,0	23185,0	34777,4	46369,9	57962,4
63	<b>40</b>	<b>1860,6</b>	16745,5	22327,3	37212,2	55818,2	74424,3	93030,4
80	<b>50</b>	<b>3063,1</b>	27567,5	36756,6	61261,1	91891,6	122522,1	153152,6
100	<b>60</b>	<b>5026,5</b>	45238,9	60318,6	100531,0	150796,4	201061,9	251327,4

Para este caso foram escolhidos os cilindros com um êmbolo de 50 mm de diâmetro. Estes cilindros tem que aguentar com uma pressão de injeção de 60 MPa.

No caderno de encargos, é também imposto um sistema de válvulas de ar que seja suficiente para contrabalançar o vácuo criado pela peça. Para tal, foram criados circuitos de ar na cavidade (figura 133) e no macho (figura 134). Na cavidade, esses circuitos encontram-se nos postiços de gravação, no macho encontra-se no postiço 200. No final destes circuitos, junto à gravação, estão válvulas de ar (figura 135) que vão insuflar ar na peça, na altura da sua extração, para assim contornar a situação do vácuo. Estas válvulas têm uma pressão de trabalho entre os 2 e os 10 bar. Têm também a possibilidade de serem maquinadas, ainda que seja uma altura mínima tabelada pelo fornecedor.

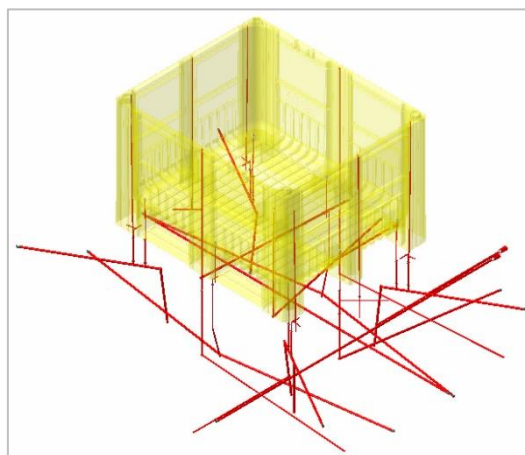


Figura 133 - Circuito da cavidade.

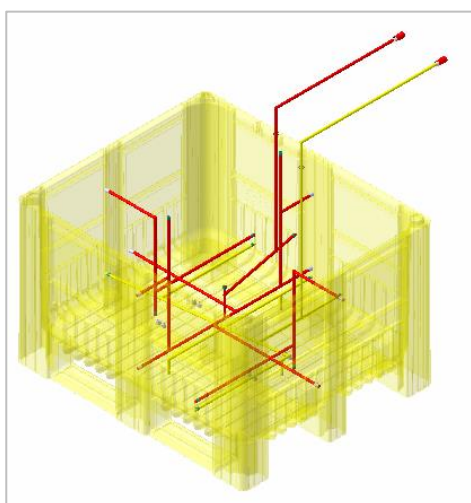


Figura 134 - Circuito do macho.

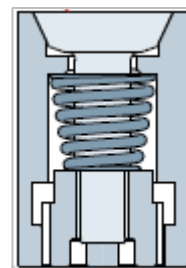


Figura 135 - Válvula de ar para alta pressão da CUMSA®.

Para além de todas estas válvulas de ar, há no macho mais oito válvulas duplas (figura 136), que neste caso vão servir apenas como fuga de gases. Essas válvulas são acompanhadas de furos de escape (figura 137), feitos no postigo do macho (200).

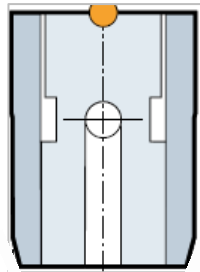


Figura 136 - Válvula dupla da CUMSA®.

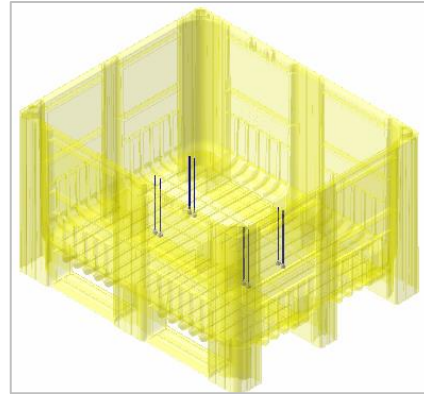


Figura 137 - Furos de escape de gases.

Estas válvulas foram colocadas numa zona onde o fluxo de enchimento se agrupa, e há uma alta probabilidade de prisões de ar (figura 138).

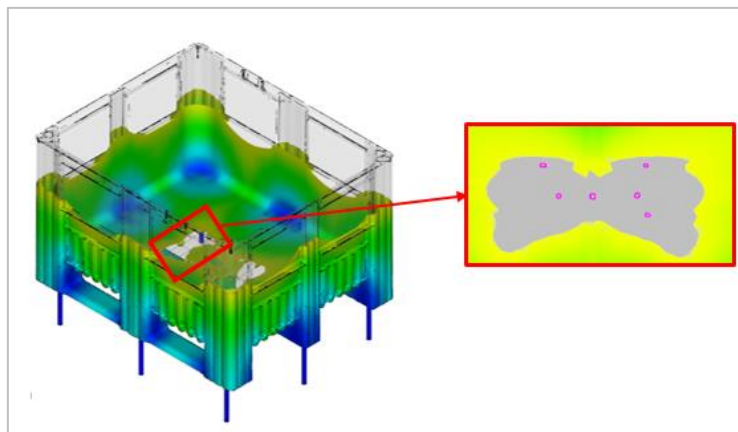


Figura 138 - Defeito no enchimento: à esquerda vê-se as prisões de ar resultantes do enchimento; à direita vê-se o enchimento ainda incompleto.

Entre componentes, há canais de fugas de gases para ajudar a prevenir defeitos na peça, provenientes das prisões de ar (figura 139).

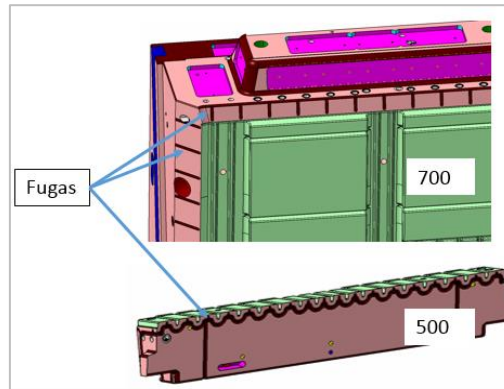


Figura 139 - Fugas de gases.

### 3.5.11 Guiamento e ajuste

Num sistema tão complexo como é o molde, é necessário algo que garanta com precisão a abertura e o fecho do molde, sem qualquer tipo de problema. A quantidade de vezes que isto se repete num ciclo de vida útil de um molde é extraordinária, então, para que nada falhe, precisa-se de algo robusto.

Para uma aproximação guiada do macho e da cavidade, tem-se as guias principais. Depois do molde quase fechado, entram em contacto as chapas de ajuste, geralmente aplicadas em cones de travamento suficientemente robustos para aguentarem com a força da máquina de injeção. Todo este sistema em conjunto, permite que, a cada ciclo, o molde esteja fechado exatamente na mesma posição. Nas figuras 140 e 141 podem observar-se os sistemas de guiamento e ajuste do macho e da cavidade.

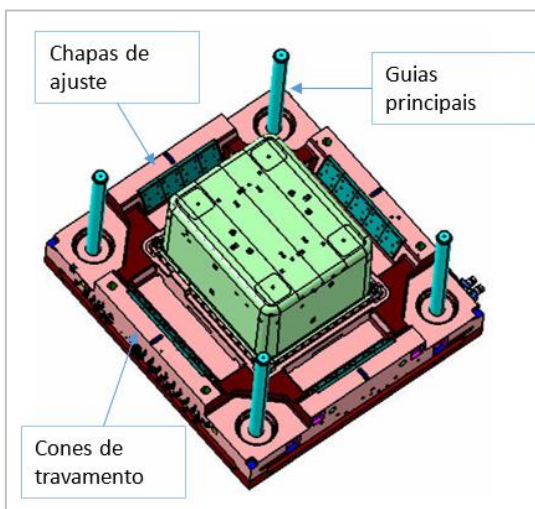


Figura 140 - Sistema de guiamento e ajuste do macho.

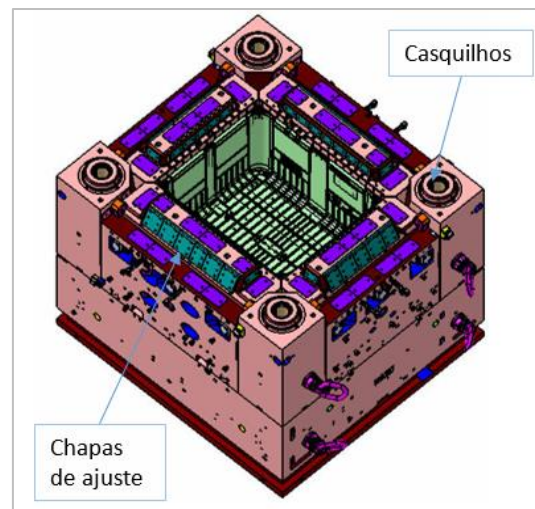


Figura 141 - Sistema de guiamento e ajuste da cavidade.

As chapas de ajuste são uma grande ajuda no ajustamento global do molde, ou seja, quando o macho é ajustado com a cavidade. Na figura 142 podem ver-se as chapas de ajuste e de pressão, colocadas na zona de contacto entre o macho e a cavidade.

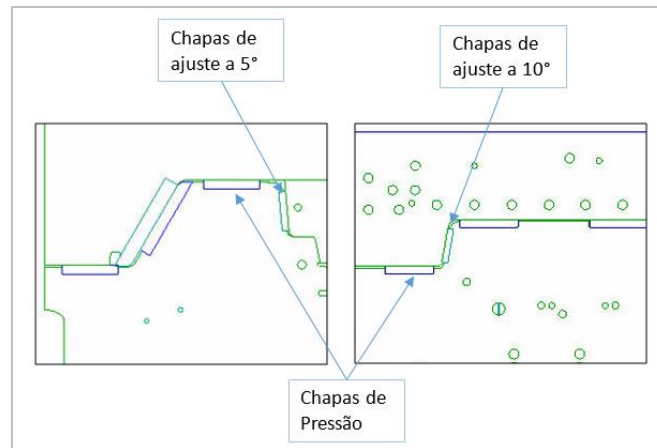


Figura 142 - Chapas de ajuste e pressão.

### 3.5.12 Sistema de injeção

A alimentação deste molde é feita através de um sistema de injeção (figura 143), composto por oito bicos valvulados da EWIKON®, escolhido pelo cliente. A anilha de centragem do lado da injeção, para além de ter a função de centrar o molde na máquina de injeção, serve também de ligação entre o bico da máquina e o sistema de injeção. O fornecedor do sistema de injeção precisa de algumas informações para a realização deste, tais como:

- posição dos bicos de injeção;
- material a injetar;
- volume da peça;
- número de cavidades.

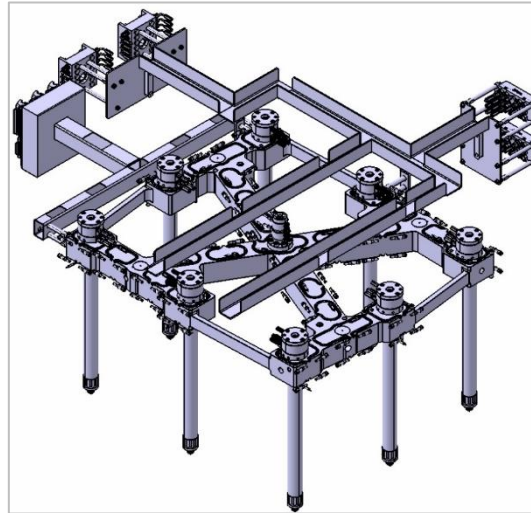


Figura 143 - Sistema de injeção.

Este sistema de injeção tem o seu próprio sistema hidráulico para controlar as válvulas dos bicos de injeção, e é equipado com um sistema de refrigeração para evitar o sobreaquecimento dos cilindros hidráulicos (figura 144). Na figura 145 veem-se os respetivos distribuidores de água e óleo do sistema de injeção.

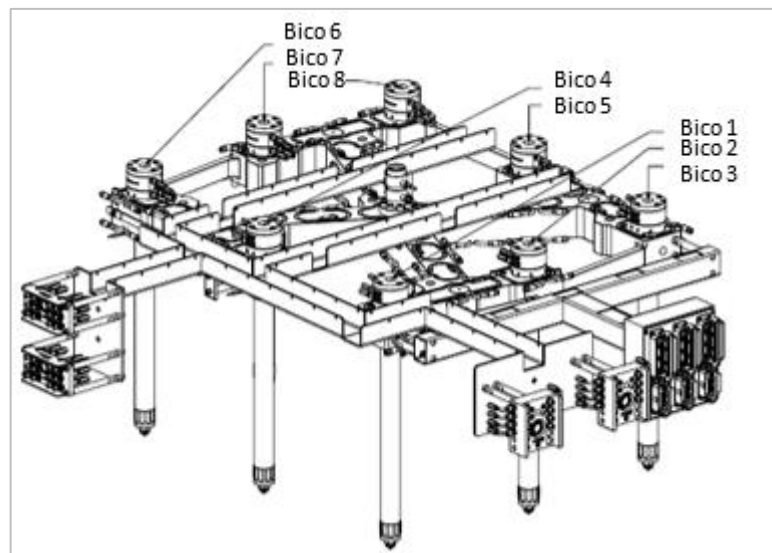


Figura 144 - Cilindros do sistema de injeção.

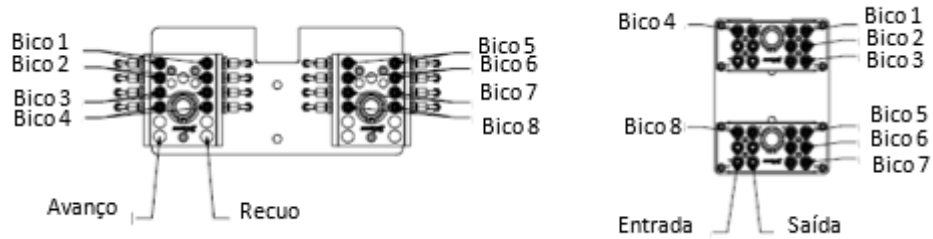


Figura 145 - À esquerda o distribuidor do óleo e a direita o distribuidor da água.

### 3.5.13 Sistema de refrigeração

O sistema de refrigeração tem a função de assegurar um arrefecimento uniforme da peça, mantendo a temperatura requerida no molde. O arrefecimento tem um peso muito grande no tempo de ciclo de injeção, e a sua otimização pode significar uma redução de custos a longo prazo. É por essa razão que neste molde existem muitos componentes em liga de BeCu (figura 146), que é um material muito mais caro que o aço, mas também muito mais eficiente ao nível da refrigeração (tabela 12).

A refrigeração deste molde é complexa, já que há circuitos em quase todos os componentes moldantes, à exceção dos levantadores do macho (figura 110) e dos pernos hidráulicos (figura 112), conforme se pode ver da figura 147 à figura 158.

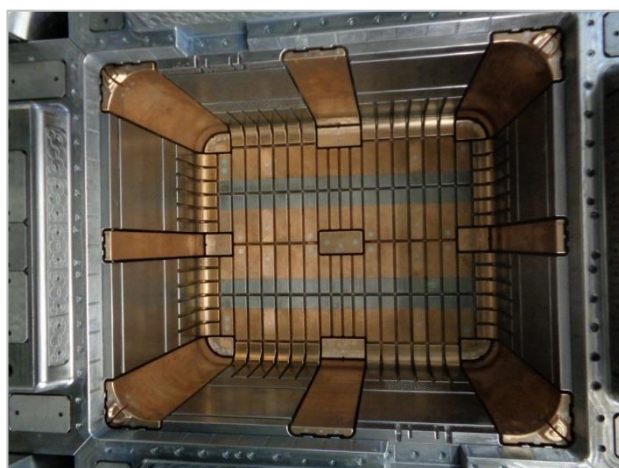


Figura 146 - Componentes em Liga de BeCu.

- **Refrigeração da cavidade**

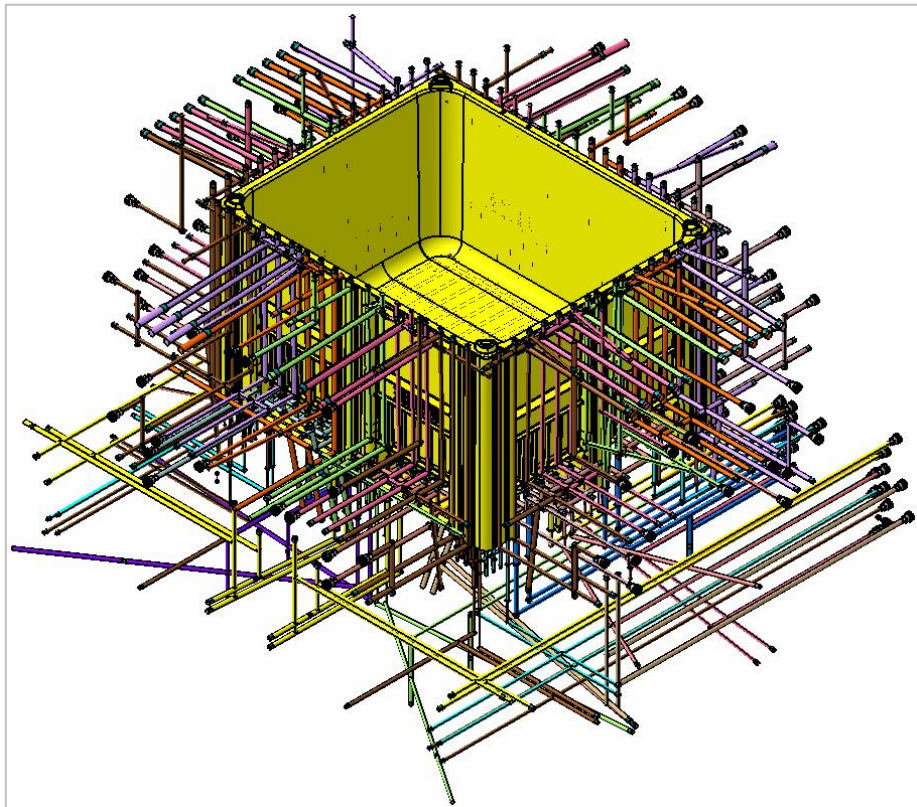


Figura 147 - Refrigeração da cavidade.

Refrigeração dos postigos da cavidade:

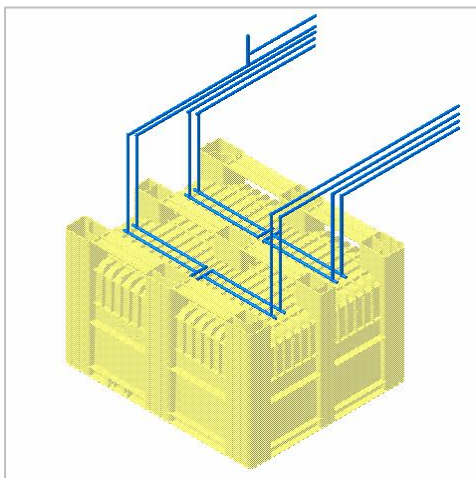


Figura 148 - Circuitos de refrigeração do postigo 100A.

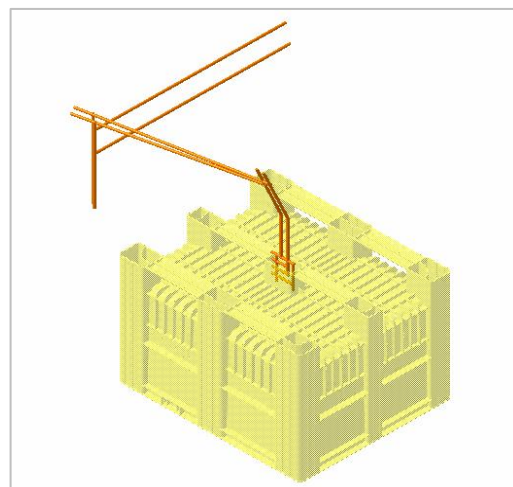


Figura 149 - Circuito de refrigeração do postigo 100T.

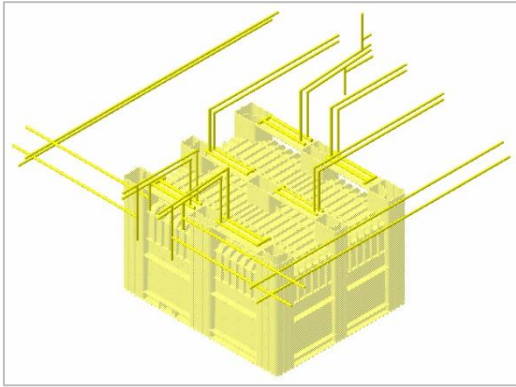


Figura 150 - Circuitos de refrigeração dos posições 100N, 100O, 100P, 100Q, 100R e 100S.

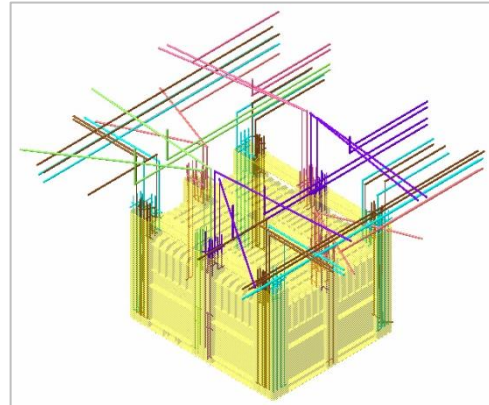


Figura 151 - Circuitos de refrigeração dos posições 100B, 100C, 100D, 100E, 100F, 100G, 100H e 100I.

### Refrigeração dos movimentos hidráulicos:

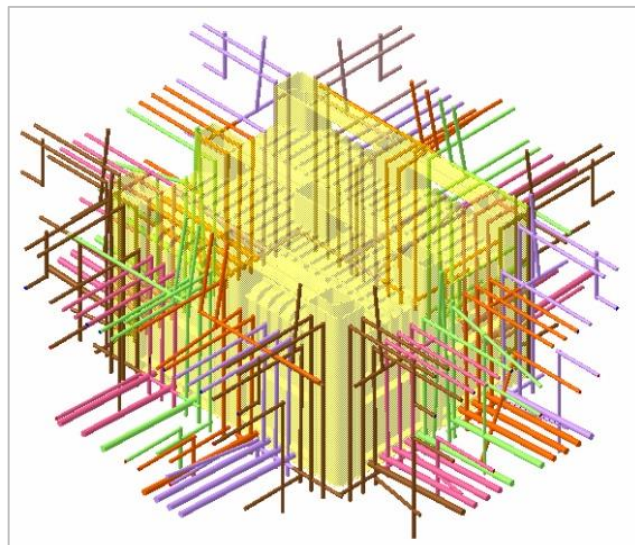


Figura 152 - Circuitos de refrigeração dos movimentos hidráulicos 700, 701, 702 e 703.

### Refrigeração dos postigos dos movimentos hidráulicos:

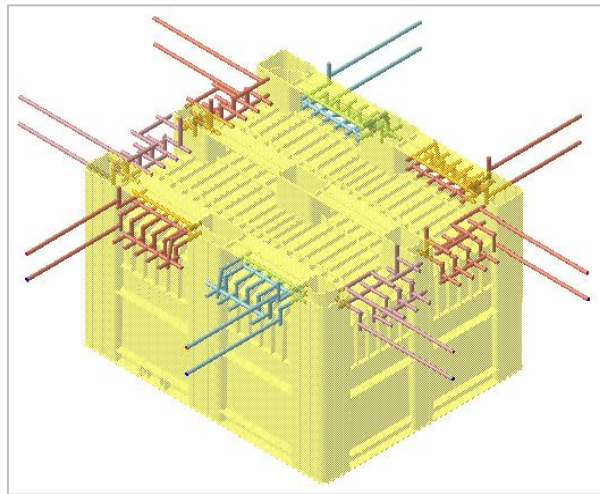


Figura 153 - Circuitos de refrigeração dos postigos dos movimentos hidráulicos 700A, 700B, 701A, 701B, 702A, 702B, 703A e 703B.

### Refrigeração dos movimentos à extração:

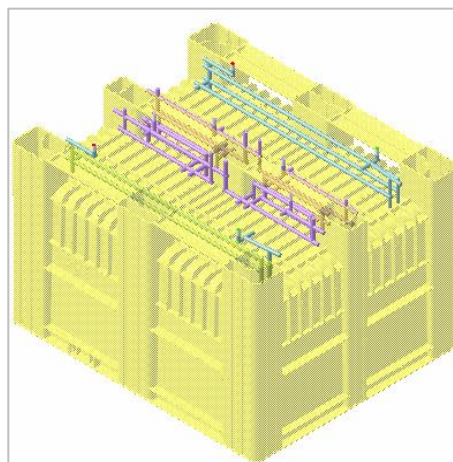


Figura 154 - Circuitos de refrigeração dos movimentos à extração 500, 501, 502 e 503.

- **Refrigeração do macho**

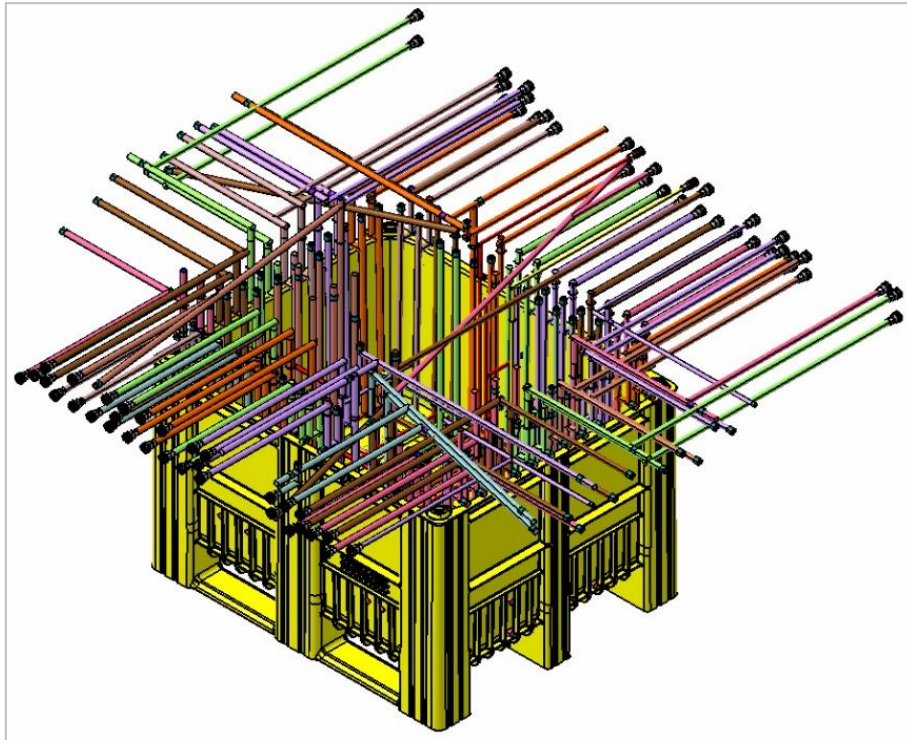


Figura 155 - Refrigeração do macho.

Refrigeração dos postigos do macho.

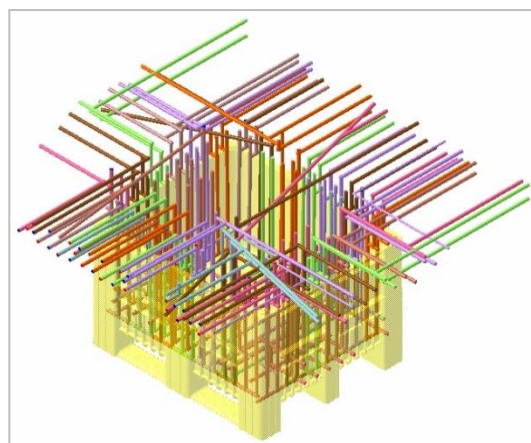


Figura 156 - Circuitos de refrigeração do postigo 200.

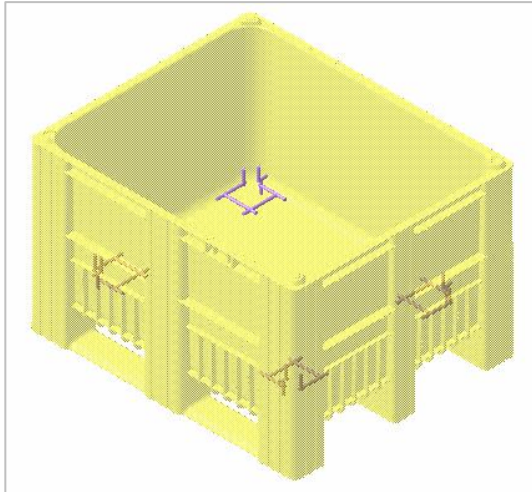


Figura 157 - Circuitos de refrigeração dos posições 200G, 200H, 200E, 200F.

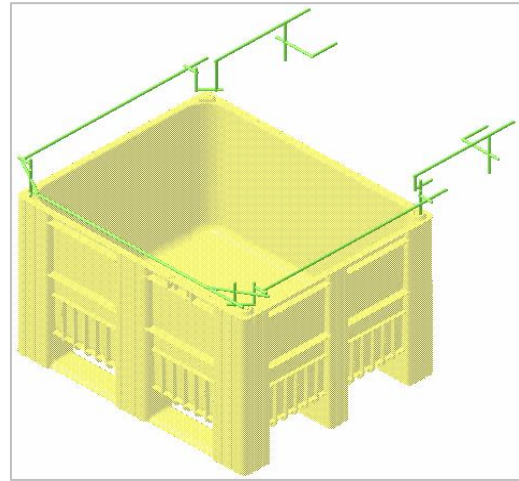


Figura 158 - Circuitos de refrigeração dos posições 200A, 200B, 200C e 200D.

### 3.6 Seleção de componentes normalizados

#### **Contador de ciclos DME® CVPL200D**

Sempre que o molde fecha, o contador de ciclos (figura 159) é atuado, contando assim mais um ciclo, ou mais uma peça. Este acessório tem que ser aplicado no molde do lado do operador.

#### **Válvulas de ar CUMSA® VH-086515**

Para evitar problemas relacionados com o vácuo, na altura da extração foram aplicados em pontos estratégicos da gravação do molde várias válvulas de ar (figura 160). Estas válvulas insuflam ar na altura da extração da peça.

#### **Sensor de fim de curso STEUTE® ES 51 R 1 O/1 S**

Os cilindros hidráulicos necessitam de dois sensores de fim de curso (figura 161): um para limitar o seu avanço, e outro para limitar o seu recuo. Este acessório é utilizado para controlar os cursos dos cilindros.



Figura 159 - Contador de ciclos DME®.



Figura 160 - Válvulas de ar para alta pressão da CUMSA®.



Figura 161 - Sensor de fim de curso STEUTE®.

### Mola DANLY® 9-1607-11

Os dois sensores de fim de curso dos cilindros da placa de extração da cavidade têm dois batentes, um na posição mais avançada e outro na posição mais recuada do curso da placa de extração. A placa de extração, quando chega a uma das posições, empurra o batente contra o sensor de fim de curso respetivo. Estas molas (figura 162) servem para recuar esses batentes quando a placa já lá não estiver, e assim desativar o sinal dos sensores.

### Sensor de pressão KISTLER® 6152AA SP L1

O sensor de pressão (figura 163) será extremamente útil na altura de afinar a injeção do molde. Ele está estrategicamente colocado numa das últimas zonas a encher.

### Caixa elétrica Weidmuller® K5

Todas as ligações dos sensores de fim de curso encontram-se dentro desta caixa, o que torna a sua ligação à máquina de injeção muito mais simples (figura 164).



Figura 164 – Mola DANLY®.



Figura 163 - Sensor de pressão KISTLER®.

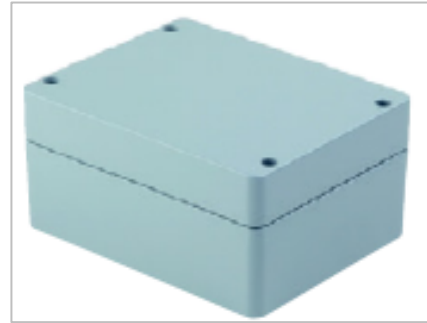


Figura 162 - Caixa elétrica Weidmuller®.

### Olhal RUD® VWBG 16T M64

O olhal da figura 165 tem a capacidade de içar uma carga de 28 ton.

### Parafusos de cabeça cilíndrica UNBRAKO® DIN 912-12.9

Todos os componentes do molde são apertados com este modelo de parafusos (figura 166). Estes parafusos são capazes de suportar grandes cargas axiais.

### Cavilhas HASCO® Z26/10x40

Antes de se aparafusar os componentes, é necessário garantir que estes estão na posição correta. Estas cavilhas, mostradas na figura 167, servem para isso mesmo, já que os seus alojamentos são feitos com bastante precisão, para que a montagem do molde esteja perfeitamente alinhada. Numa das pontas, há um furo roscado para ajudar a retirar a cavilha.



Figura 167 - Olhal RUD®.



Figura 166 - Parafusos UNBRAKO®.



Figura 165 - Cavilhas HASCO®

### Acessório de ligação de águas STAUBLI® RPL 12.1153

Na figura 168 pode-se observar um acessório de ligação de águas, onde a fêmea que fica no molde se encontra-se do lado esquerdo, e no lado direito encontra-se o macho que fica ligado à mangueira.

### Caixa de múltiplas ligações STAUBLI® RMI 209.12

A seleção da caixa múltipla da figura 169, deve-se à sua possibilidade para ligar 12 circuitos de uma só vez, o que torna a tarefa do operador muito mais simples e rápida.

### Mangueira para circuitos de água RAUFILAM®-E 10286011002 DN13

No molde, os circuitos são feitos com furos de água, pelo que são necessárias mangueiras, como da figura 170, fora do molde para ligar cada circuito aos seus respectivos distribuidores.



Figura 168 – Acessório de ligação de água STAUBLI®.



Figura 169 - Caixa de múltiplas ligações STAUBLI®.



Figura 170 - Mangueira para circuitos de água RAUFILAM®-E.

### **Acessórios de ligação de óleo PARKER® M14-4C63MX8BH22**

Estes acessórios (figura 171) fazem a ligação entre os circuitos de óleo, dentro do molde, e os circuitos exteriores, feito pelas mangueiras.

### **Divisor de fluxo POWER-HYDRAULIK® PR315-59-T**

O circuito principal do óleo converge neste divisor de fluxo (figura 172) que tem a função de, posteriormente, distribuir o óleo pelos diferentes circuitos.

### **Mangueira para circuitos óleo PARKER®**

Mangueira necessária e adequada para ligar os acessórios de ligação do óleo ao divisor de fluxo (figura 173).



Figura 171 - Acessórios de ligação PARKER®.



Figura 172 - Divisor de fluxo POWER-HYDRAULIK®.



Figura 173 - Mangueira para circuitos de óleo PARKER®.

### 3.7 Modelação do fluxo de enchimento

Para o estudo de enchimento da peça, recorre-se ao *software* Autodesk® Moldflow Insight 2018. A máquina de injeção escolhida para o projeto é uma ENGEL 5500 (figura 174).



Figura 174 - Máquina de injeção ENGEL.

Vão ser realizados três estudos de enchimento, o primeiro com uma injeção normal, o segundo com agente de expansão e o terceiro também com agente de expansão, mas com uma injeção mais rápida.

Etapas a realizar antes de se iniciar o estudo de enchimento:

1. Importar o modelo 3D (figura 175);
2. Gerar a malha da peça (figura 176);
3. Tratar a malha peça até chegar aos valores de qualidade de malha requeridos (figura 177);
4. Selecionar o material (figura 178);
5. Indicar os pontos de injeção (figura 179);

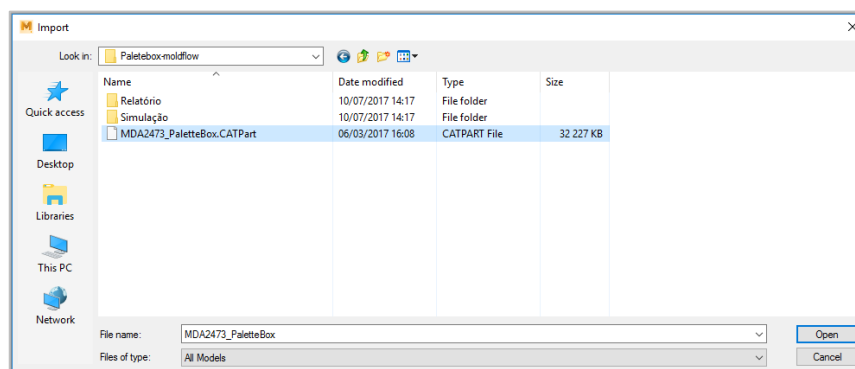


Figura 175 - Importação do modelo 3D para o Moldflow®.

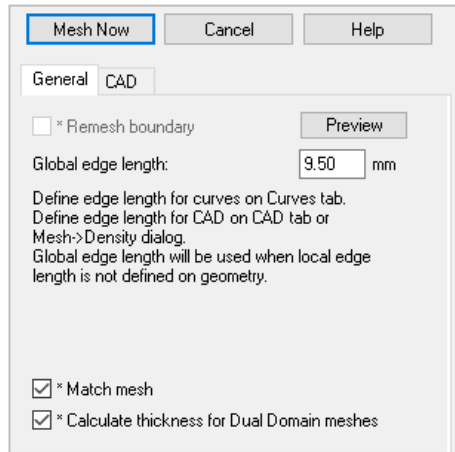


Figura 176 - Geração da malha em *Dual Domain*.

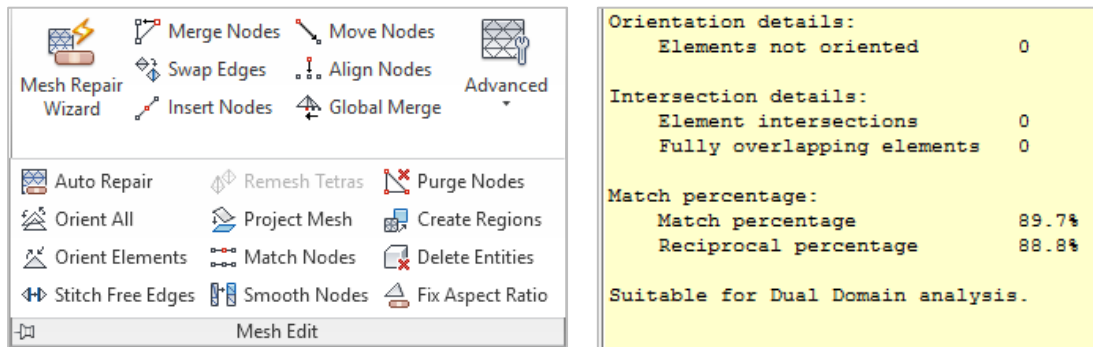


Figura 177 - À esquerda, estão as várias funções para o tratamento de malha e, à direita, os valores percentuais da qualidade de malha.

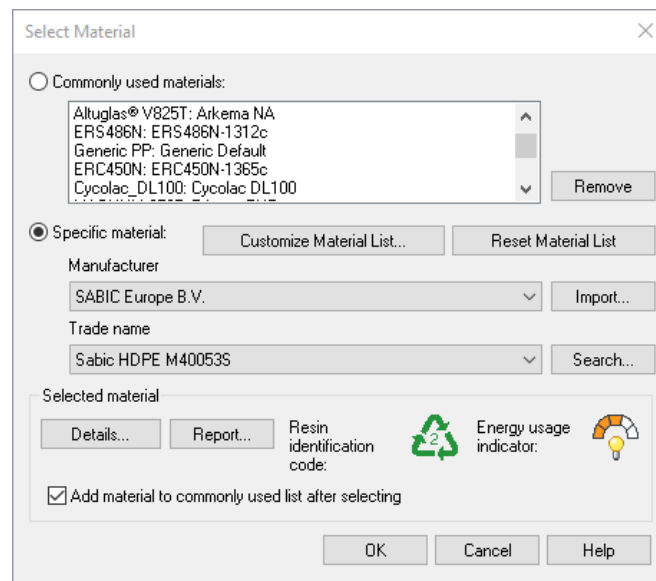


Figura 178 - Seleção do material no Moldflow®.

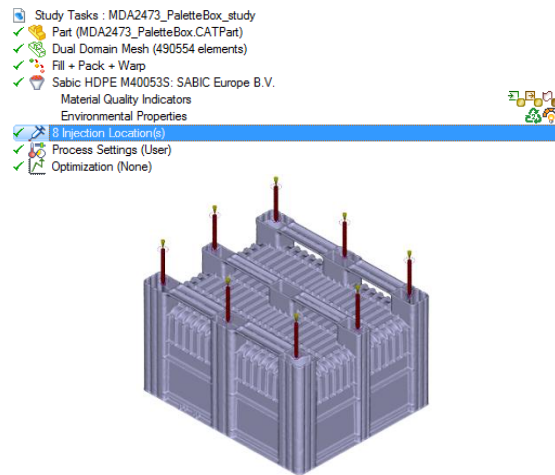


Figura 179 - Indicação dos pontos de injeção no Moldflow®.

Todos os materiais têm os seus parâmetros ideais de processamento, informação que é muito útil pois, logo à partida, evita-se injetar o material quente demais, ao ponto de o degradar, ou frio demais, ao ponto de ele nem sequer ter capacidade suficiente para fluir. Toda a informação acerca do material em questão foi retirada do anexo 3 e pode ser encontrada na tabela 25.

Tabela 25 - Parâmetros a ter em conta para o processamento do polímero.

Descrição							
Nome	Abreviatura		Estrutura		Fabricante		
Polietileno de alta densidade	HDPE		Cristalina		SABIC		
Processamento							
			Mínimo				Máximo
Temp. molde (°C)			20				40
Temp. injeção (°C)			232				260
Taxa de corte máxima (1/s)			40000				
Viscosidade			230				
Temp. de extração (°C)			105				
Propriedades mecânicas							
Módulo de Young (MPa)		Coef. de Possion		Massa Volúmica (sólido) (g/cm <sup>3</sup> )		Massa volúmica (fundido) (g/cm <sup>3</sup> )	
911		0,426		0,9509		0,7303	

As espessuras da peça estão representadas na figura 180.

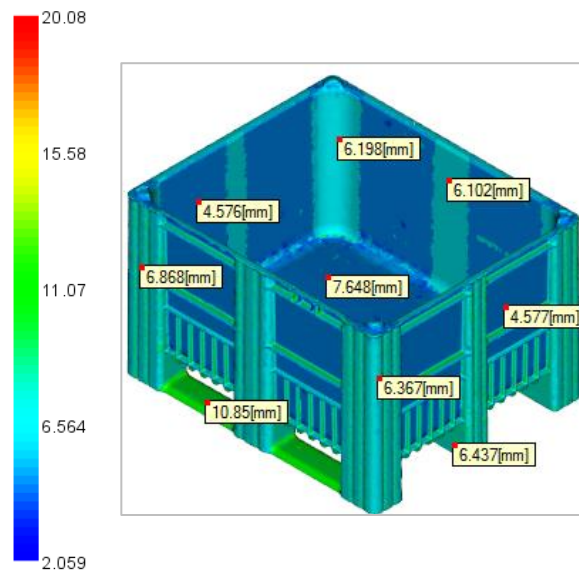


Figura 180 - Espessuras da peça em mm.

- **Simulação de enchimento da paleta sem agente expensor (primeiro estudo)**

Para uma simulação de injeção normal (sem agente expensor), no programa deve-se selecionar a opção ilustrada na figura 181.

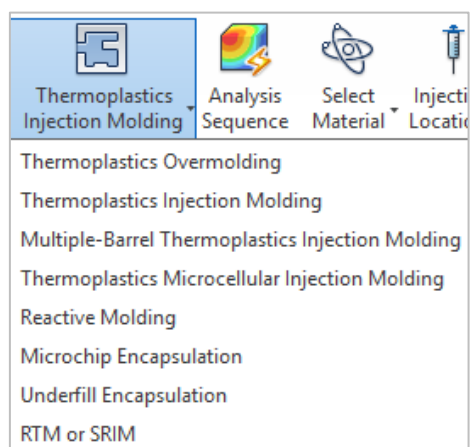


Figura 181 - Tipo de simulação para uma injeção *standard*.

As variáveis de entrada para este estudo, encontram-se na tabela 26.

Tabela 26 – Variáveis de entrada do primeiro estudo.

Variáveis de entrada	Valores
Temperatura de injeção (°C)	240
Temperatura do molde (°C)	40
Tempo de injeção (s)	Automático
Perfil de compactação	Figura 182
Temperatura ambiente (°C)	25

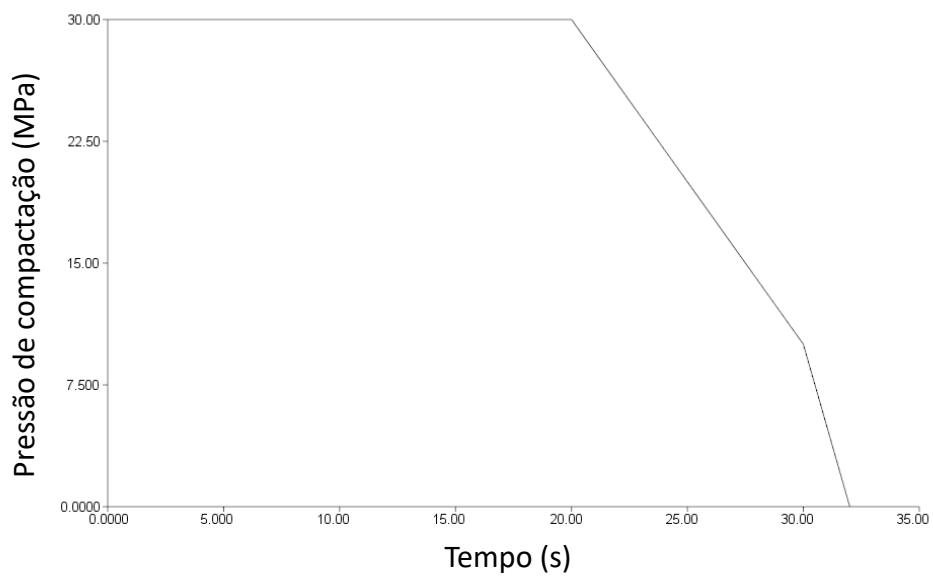


Figura 182 - perfil de compactação do primeiro estudo.

## Resultados do primeiro estudo:

Tabela 27 - Resultados do primeiro estudo.

O enchimento da peça é feito em 12,95 s, com bicos diretos e abertos em simultâneo.

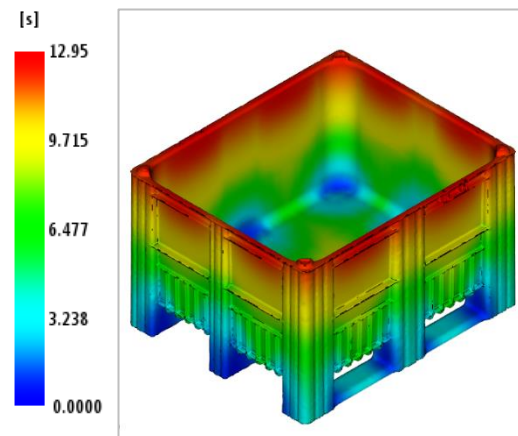


Figura 183 - Enchimento do primeiro estudo.

Não há hesitações do fluxo de enchimento na peça. Trata-se de uma peça com uma espessura considerável (figura 180), o que é favorável para o fluxo de enchimento.

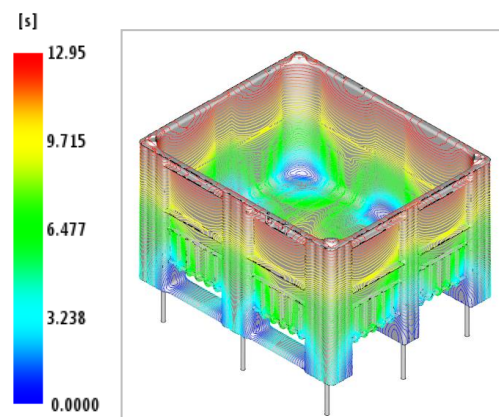


Figura 184 - Linhas isocrônicas do enchimento do primeiro estudo.

O fluxo entra com uma temperatura de 240°C, aquece por corte até aos 242°C, e arrefece no final do enchimento até aos 233°C.

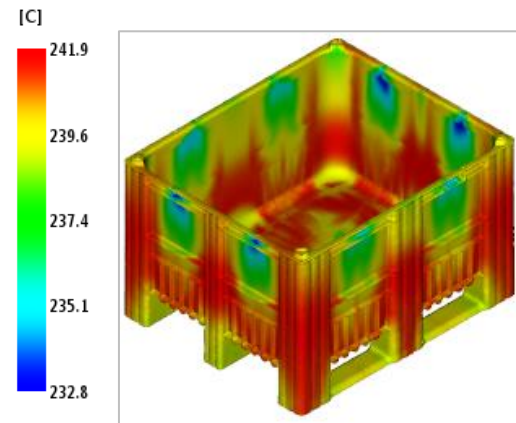


Figura 185 - Temperatura da frente de fluxo do primeiro estudo.

A peça não tem grande exigência a nível estético, logo linhas de união visíveis não seriam um problema. Apenas há que ter cuidado com linhas de soldadura que fragilizem a peça, visto que se trata de uma peça estrutural. As linhas de união são formadas a convenientes temperaturas e com ângulos de contacto favoráveis, por isso, tudo indica que não haverá problemas deste tipo.

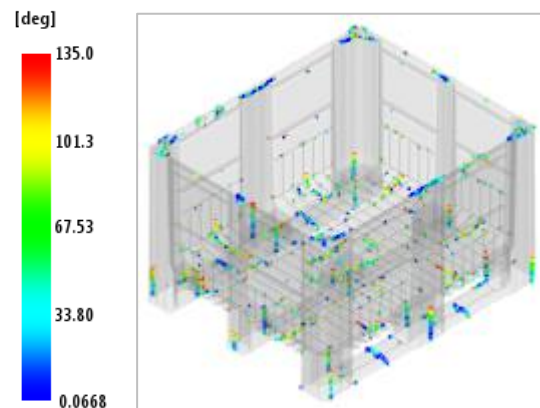


Figura 186 - Linhas de união do primeiro estudo.

Existem na peça muitas zonas com aprisionamento de ar, zonas essas que têm de ser acompanhadas com um bom sistema de fugas de gases, para evitar queimados e vazios.

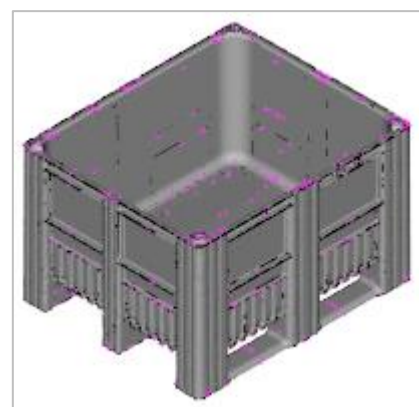


Figura 187 - Prisões de ar do primeiro estudo.

Regra geral, chupados com um valor maior que 0,04 mm, serão visíveis na peça. Como era de esperar, os chupados aparecem nas zonas opostas aos frisos.

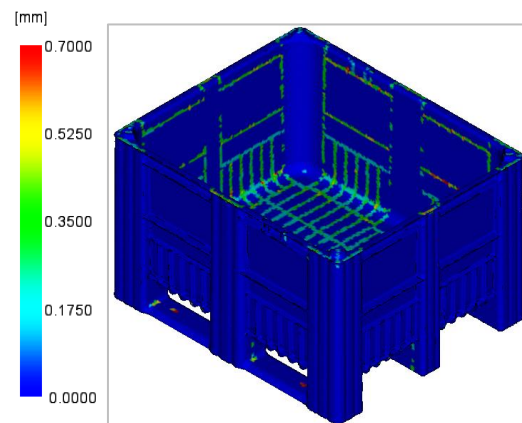


Figura 188 - Chupados do primeiro estudo.

A pressão máxima de injeção é de 58,7 MPa, e pressão de compactação de 30 MPa.

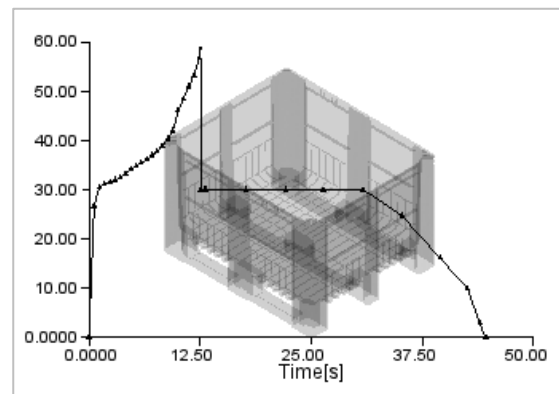


Figura 189 - Pressão de injeção do primeiro estudo.

A força de fecho máxima ocorre na altura da compactação da peça, com um valor de 4800 ton.

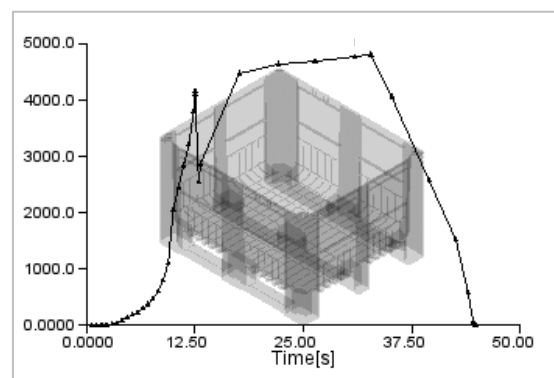


Figura 190 - Força de fecho do primeiro estudo.

A contração volumétrica é maior junto aos bicos de injeção e zonas de maior espessura, com um valor médio de 13 %.

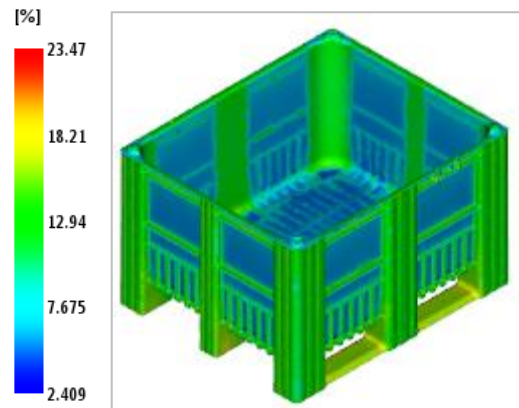


Figura 191 - Contração volumétrica do primeiro estudo.

Tempo necessário para a peça arrefecer e ser extraída sem problemas (material atinge a temperatura de extração). Nas zonas mais espessas o tempo de extração é de 208 s.

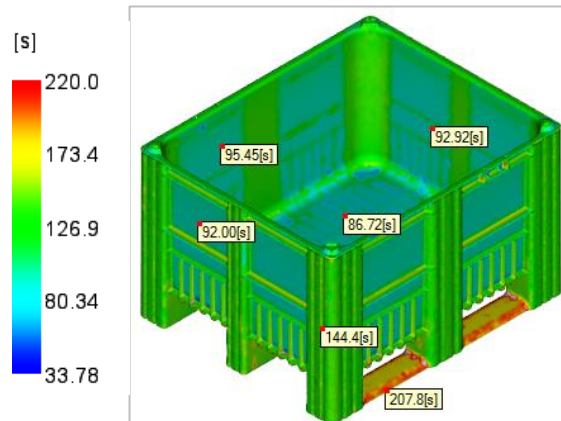


Figura 192 - Tempo necessário para efetuar a extração do primeiro estudo.

O peso da peça é de, aproximadamente, 33,7 kg.

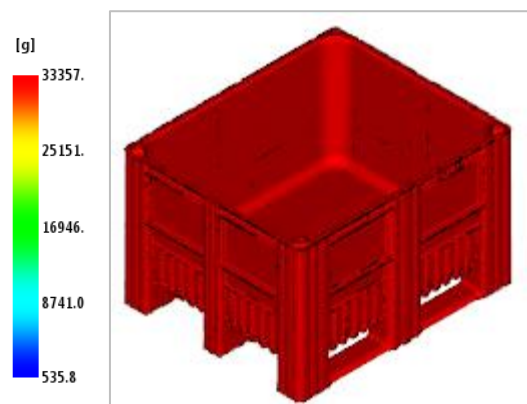


Figura 193 - Peso da peça do primeiro estudo

A peça tem uma deformação máxima de 14,4 mm. Como se pode ver nos resultados relativos ao eixo do X e Y. A deformação da paleta vai de encontro ao que já foi referido anteriormente, já que a peça contrai na direção do postigo do macho e fica agarrada a este.

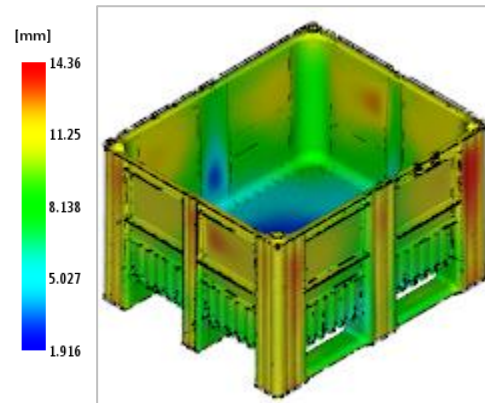


Figura 194 - Deformação geral do primeiro estudo.

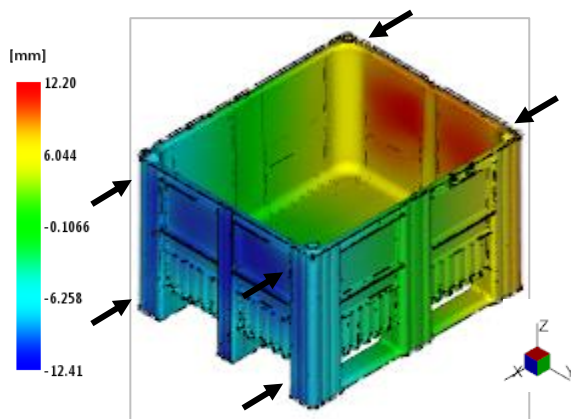


Figura 195 - Deformação em X do primeiro estudo.

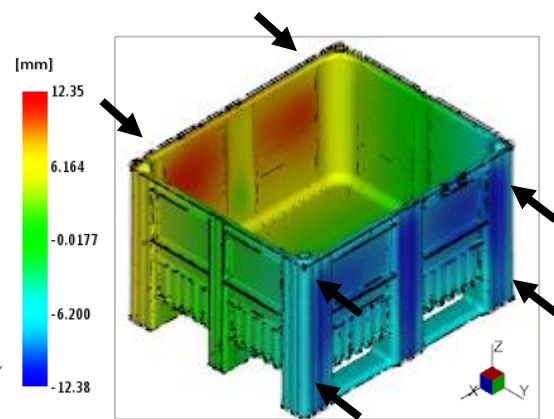


Figura 196 - Deformação em Y do primeiro estudo.

- **Simulação de enchimento da palete com agente expansor (segundo estudo)**

Para uma simulação de injeção com agente expansor, deve ser selecionada no programa a opção ilustrada na figura 197.

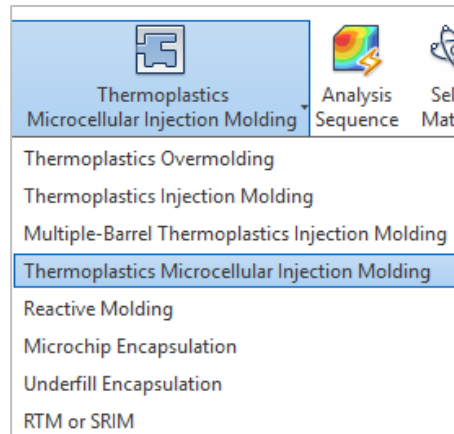


Figura 197 - Tipo de simulação para injeção com agente expansor.

As variáveis de entrada para este estudo, encontram-se na tabela 28.

Tabela 28 - Variáveis de entrada do segundo estudo.

Variáveis de entrada	Valores
Temperatura de injeção (°C)	240
Temperatura do molde (°C)	40
Tempo de injeção (s)	Automático
Redução de peso (%)	10
Temperatura ambiente (°C)	25

No estudo com agente expansor, são precisas informações adicionais, entre as quais:

- o tipo de agente expansor: se é químico ou físico;
- o gás de expansão;
- a percentagem de agente expansor na mistura com o polímero;
- a percentagem de conversão de gás por grama de agente expansor.

Na figura 198 estão exemplificadas essas mesmas informações.

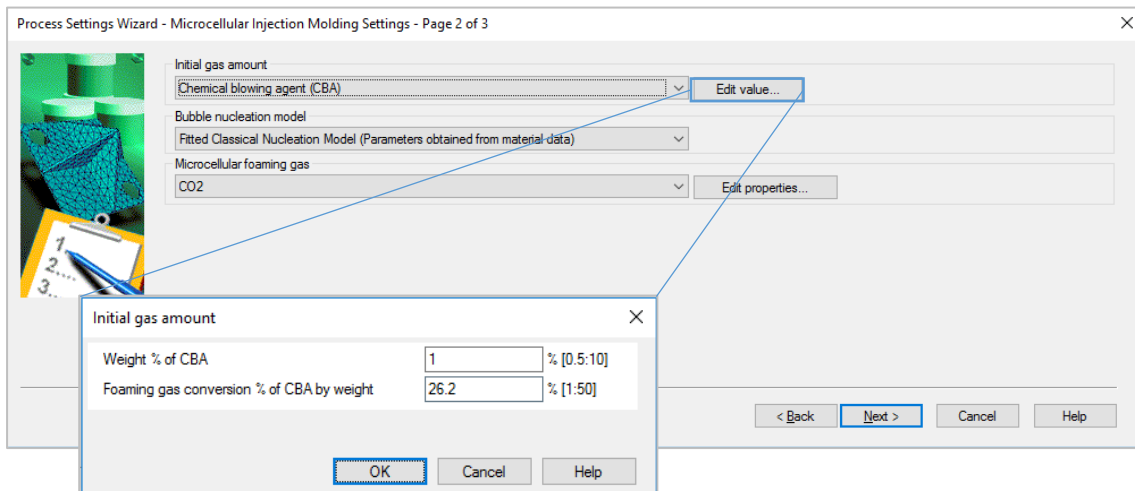
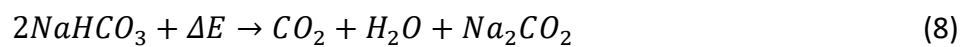


Figura 198 – Configurações do processo.

A percentagem de CBA a utilizar, é normalmente um valor recomendado pelo fornecedor. Por outro lado, a percentagem de conversão de gás por grama de CBA, resulta da seguinte reação química:



Desta reação, obtém-se que, por cada grama de bicarbonato de sódio, são geradas 0,262 g de dióxido de carbono, daí os 26,2 %.

**Resultados do segundo estudo:**

Tabela 29 - Resultados do segundo estudo.

O enchimento da peça é feito em 12,66 s, utilizando bicos diretos e abertos em simultâneo.

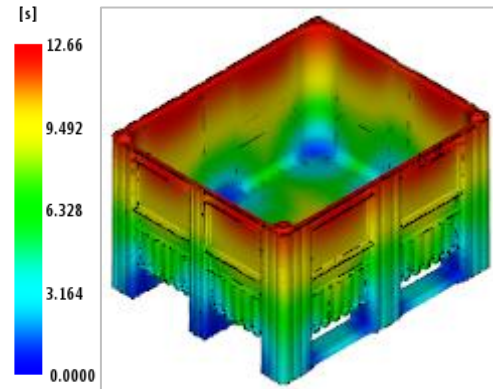


Figura 199 - Enchimento do segundo estudo.

O fluxo entra com uma temperatura de 240°C, aquece por corte até aos 242°C, e arrefece no final do enchimento até aos 232°C.

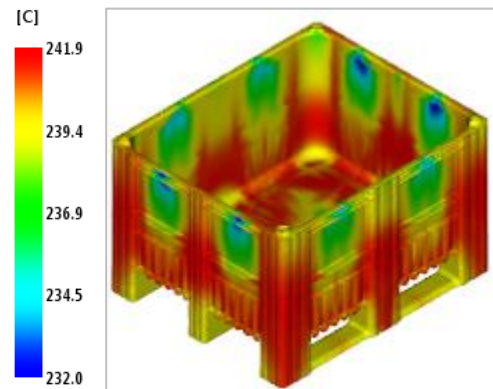


Figura 200 - Temperatura da frente de fluxo do segundo estudo.

Devido à expansão do gás, praticamente todos os chupados são eliminados, restando apenas uma pequena probabilidade de aparecerem chupados junto aos bicos.



Figura 201 - Chupados do segundo estudo.

A pressão máxima de injeção é de 56,2 MPa. A fase de compactação é substituída pela expansão do gás.

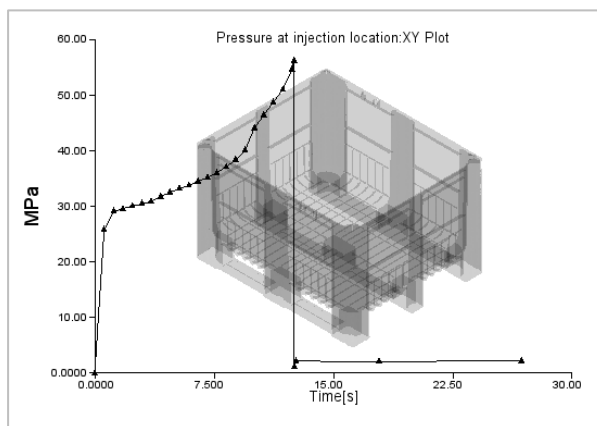


Figura 202 - Pressão de injeção do segundo estudo.

A força máxima de fecho ocorre no final da injeção, com um valor de 4000 ton.

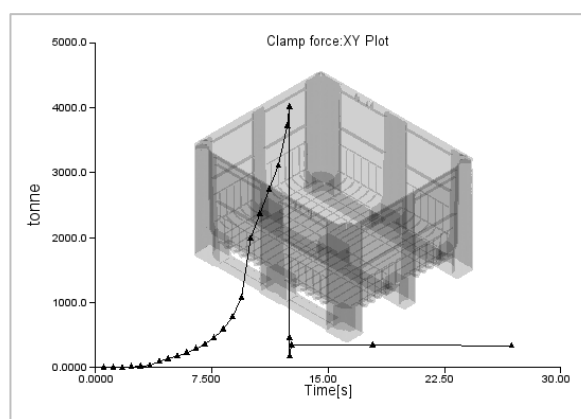


Figura 203 - Força de fecho do segundo estudo.

A expansão do gás contraria o efeito de contração, logo, é natural que a contração seja menor com o agente expensor. O valor médio é de 6 %.

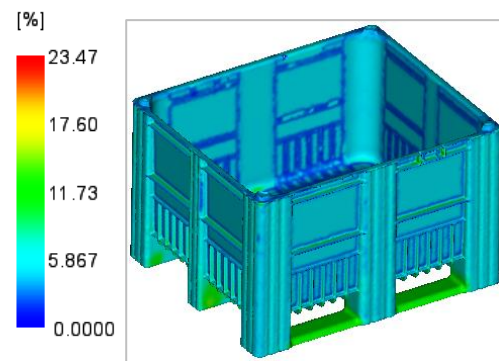


Figura 204 - Contração volumétrica do segundo estudo.

Com o agente expensor, é necessário menos tempo de arrefecimento, como se pode ver na zona mais espessa da peça, onde se passa de 208 s da simulação anterior para 192 s.

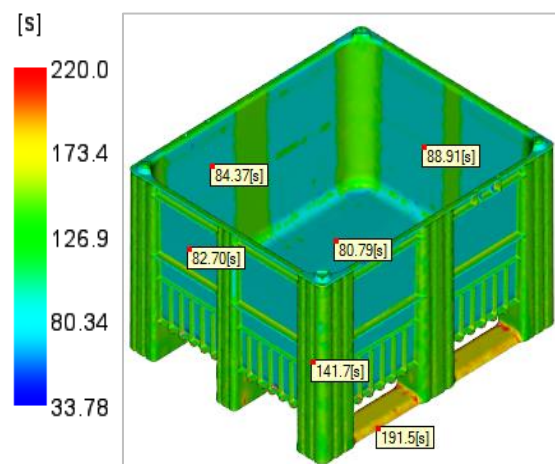


Figura 205 - Tempo necessário para efetuar a extração do segundo estudo.

O peso da peça é de, aproximadamente de 30,7 kg. Com o agente expensor a peça perdeu 10% de peso relativamente do valor introduzido como variável de entrada.

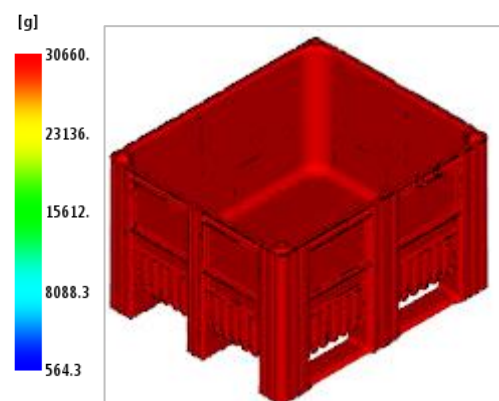


Figura 206 - peso da peça do segundo estudo.

Com o agente expansor a deformação geral da peça passou de 14,4 mm para 8,2 mm. Neste caso com a diminuição da deformação geral não é tão evidente que a peça fique agarrada ao macho, mas o fenómeno permanece ativo.

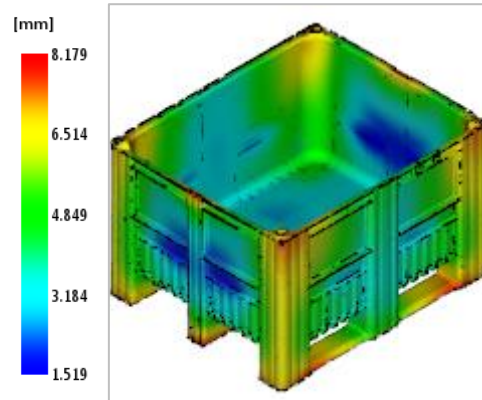


Figura 207 - Deformação geral do segundo estudo.

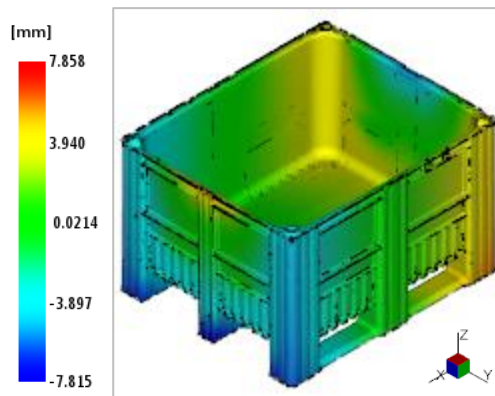


Figura 208 - Deformação em X do segundo estudo.

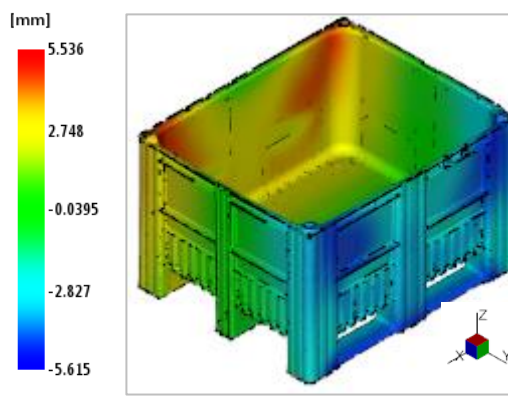


Figura 209 - Deformação em Y do segundo estudo.

- **Simulação com agente expensor e 8 s de injeção (terceiro estudo)**

Esta simulação é em quase tudo igual à anterior, tendo só a diferença do tempo de injeção passar de automático para 8 s.

Tabela 30 - Variáveis de entrada do terceiro estudo.

Variáveis de entrada	Valores
Temperatura de injeção (°C)	240
Temperatura do molde (°C)	40
Tempo de injeção (s)	8
Redução de peso (%)	10
Temperatura ambiente (°C)	25

### Resultados do terceiro estudo:

Tabela 31 - Resultados do terceiro estudo.

O enchimento da peça é feito em 9,2 s, com bicos diretos e abertos em simultâneo.

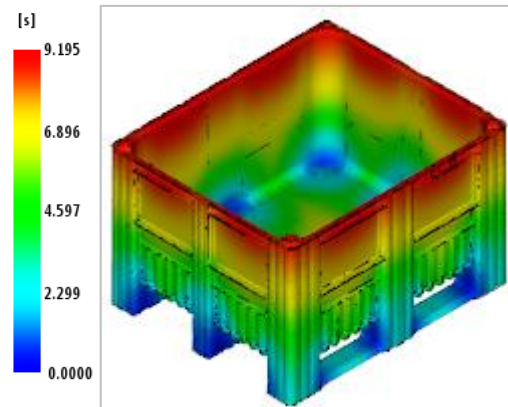


Figura 210 - Enchimento do terceiro estudo.

O polímero entra com uma temperatura de 240°C, aquece por corte até aos 242°C, e arrefece no final do enchimento até aos 238,5°C.

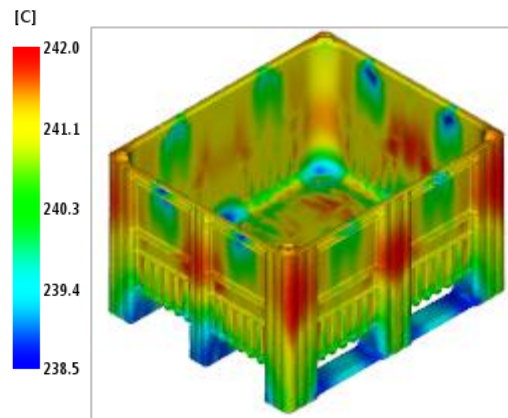


Figura 211 - Temperatura da frente de fluxo do terceiro estudo.

Com uma injeção mais rápida, a probabilidade de aparecimento de chupados quase não sofre alterações.

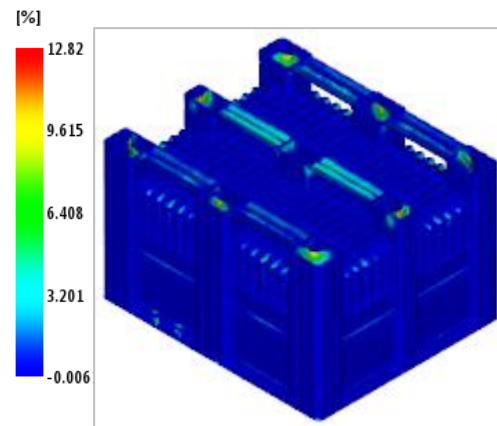


Figura 212 - Chupados do terceiro estudo.

A pressão máxima de injeção é de 62,5 MPa. Como era de esperar, com uma injeção mais rápida, a pressão iria aumentar.

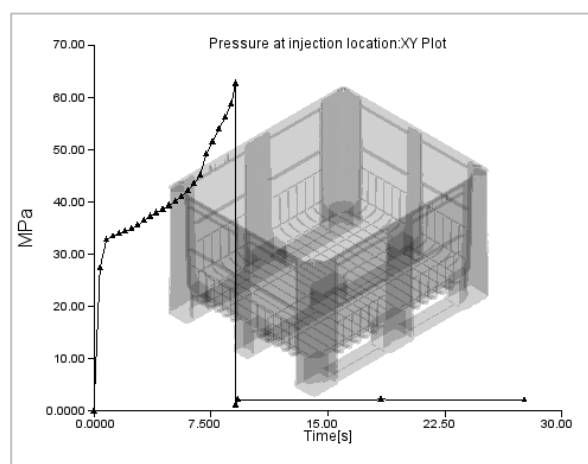


Figura 213 - Pressão de injeção do terceiro estudo.

A força máxima de fecho ocorre no final da injeção, com um valor de 4300 ton. Com o aumento da pressão de injeção, há também um aumento da força de fecho.

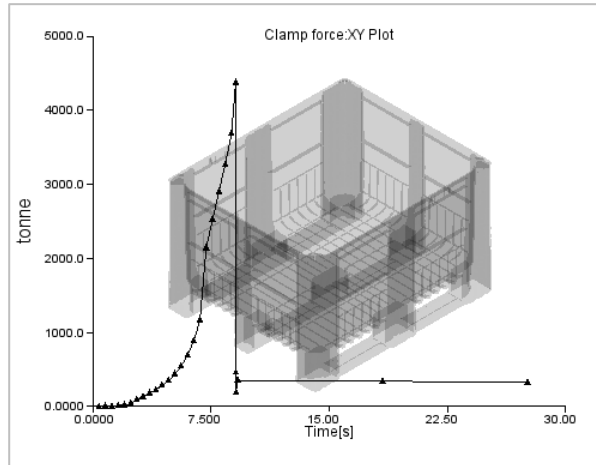


Figura 214 - Força de fecho do terceiro estudo.

A contração volumétrica quase não varia em relação ao estudo anterior. O valor médio é de 6 %.

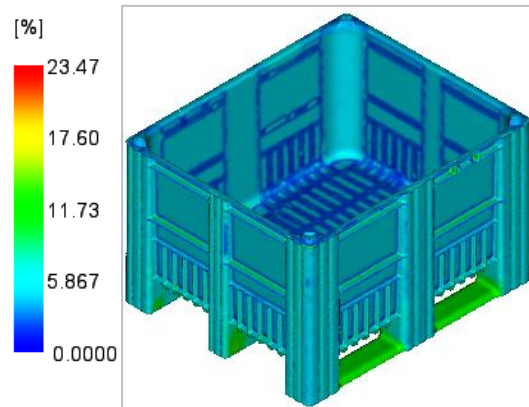


Figura 215 – Contração volumétrica do terceiro estudo.

O tempo de arrefecimento também não sofre grandes alterações, em relação ao estudo anterior.

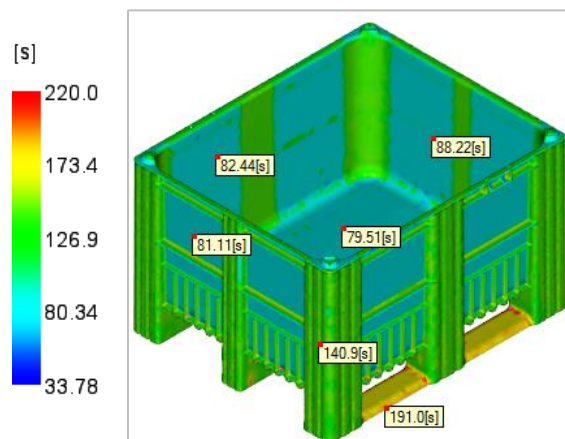


Figura 216 – Tempo necessário para efetuar a extração do terceiro estudo.

O peso da peça diminui ligeiramente.

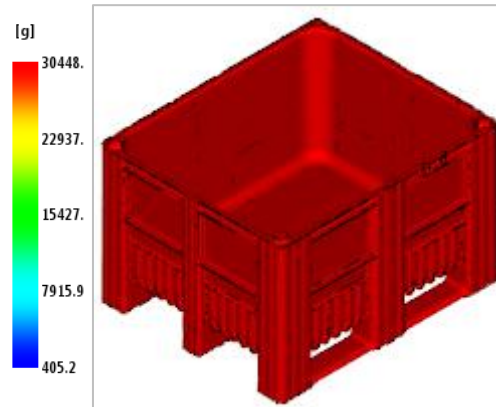


Figura 217 - Peso da peça do terceiro estudo.

A deformação também se mantém praticamente igual.

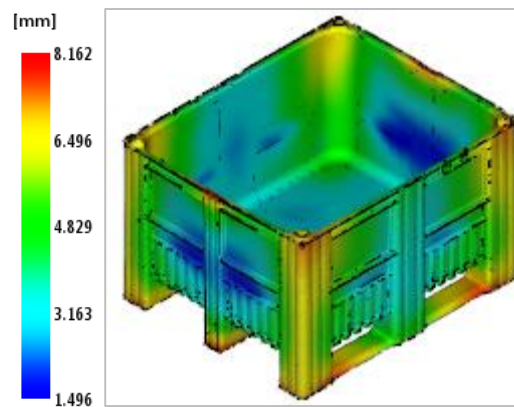


Figura 218 - Deformação geral do terceiro estudo.

Na tabela 32 pode ver-se, em resumo, a comparação entre alguns resultados das três simulações.

Tabela 32 - Comparação de resultados.

	1º Estudo	2º Estudo	3º Estudo
Tempo de enchimento (s)	12,95	12,66	9,2
Chupados (mm)	0,7	-	-
Pressão de injeção (MPa)	58,7	56,2	62,5
Força de fecho (ton)	4800	4000	4300

Valor médio da contração (%)	13	6	6
Tempo necessário para atingir a temperatura de extração (s)	207,8	191,5	191
Peso da peça (kg)	33,7	30,7	30,4
Valor máximo de empeno (mm)	14,36	8,18	8,16

Para uma peça como esta, onde a qualidade superficial não é relevante, os resultados da injeção com agente expensor são significativamente melhores do que os resultados da injeção normal.

Ao nível do tempo de injeção, conseguiu-se simulações mais rápidas, ou seja com velocidades de injeção maiores, sem que isso levasse a uma peça com maiores deformações. Esse aumento de velocidade levou a uma maior pressão de injeção e força de fecho, no entanto, são ainda valores perfeitamente suportáveis pela máquina de injeção.

Os chupados foram praticamente eliminados e os valores da contração diminuídos, isto porque estes dois fenômenos passaram a ser contrabalançados com a expansão do material.

A força de fecho foi menor na injeção com agente expensor. Na primeira simulação pode observar-se que o valor máximo da força de fecho é atingido na fase de compactação. Nas duas simulações seguintes, a fase de compactação foi substituída pela expansão do gás, logo é natural que se obtenham forças de fecho menores.

No que diz respeito ao arrefecimento da peça, verificou-se que, da primeira simulação para as restantes, houve uma diminuição do tempo em quase 20 segundos. Esta diferença deve-se à reação endotérmica desencadeada pelo agente expensor, que consome energia na forma de calor e promove o arrefecimento da peça.

As deformações das duas últimas simulações baixaram quase para metade, comparativamente com a primeira simulação, o que se deve à significativa redução do valor médio de contração do material e à quase eliminação dos chupados.

Nas duas últimas simulações foi colocado como valor de entrada os 10 % de redução de peso, isto significa que o molde é injetado até 90% do seu volume e os restantes 10%

vão ser preenchidos pela expansão do material. Daí a perda de 3 kg de material da primeira simulação para as seguintes. Esta redução de material será bastante benéfica para o cliente, uma vez que o custo da matéria-prima será menor.

### 3.8 Dimensionamento do molde

- **Dimensionamento da espessura mínima dos movimentos hidráulicos**

Por motivos de cálculo, considera-se o volume gravado pelos movimentos hidráulicos um sólido simples, com as dimensões representadas na figura 219.

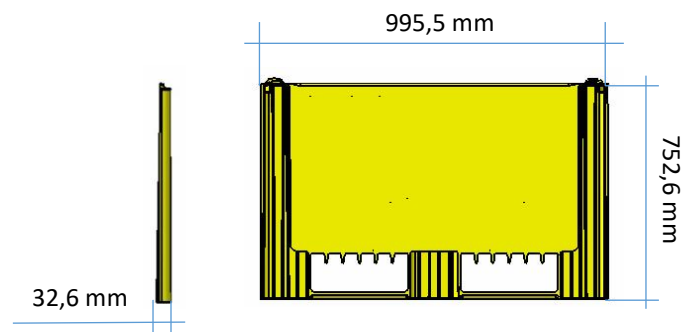


Figura 219 – Volume de peça gravado pelo movimento hidráulico.

$$t = \left[ \frac{5wL^4}{32EyH} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (11)$$

$$w = P \times h \quad (12)$$

Onde:

- t – Espessura mínima do movimento (mm);
- w – Carga aplicada no movimento (N/mm);
- L – Comprimento da gravação no movimento (mm);
- E – Módulo de Young do material (MPa);
- y – Deflexão permitida (mm);
- H – Espessura do movimento (mm);
- P - Pressão de injeção (MPa);
- h – Altura da gravação no movimento (mm).

$$t = \left[ \frac{5 \times (62,5 \times 32,6) \times 995,5^4}{32 \times 210E^3 \times 0,025 \times 511} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$= 488,5 \text{ mm}$$

A espessura mínima para os movimentos hidráulicos é de 488,5 mm. Este valor é inferior à espessura real dos movimentos (511 mm), pelo que os movimentos suportam os esforços solicitados.

- **Dimensionamento das guias principais**

Para o comprimento das guias, teve-se o cuidado de as colocar mais altas que a gravação do macho. Ficou-se, então, com as guias 216 mm mais altas que a gravação do macho. No total, a altura das guias foi de 950 mm.

Para calcular o diâmetro mínimo das guias, recorre-se às fórmulas seguintes, onde, para a carga nas guias, se divide as 4300 toneladas da força de fecho pelas quatro guias.

$$F = \frac{m \times \pi^2 \times E \times I}{L^2} \quad (13)$$

$$I = \frac{\pi \times D^4}{64} \quad (14)$$

Onde:

- F – Carga na guia (N);
- m – Constante figura 46;
- E – Módulo de Young (MPa);
- I – Momento de inércia (mm<sup>4</sup>)
- L – Comprimento útil da guia (mm)
- D – Diâmetro da secção da guia (mm)

$$F = \frac{4300000 \times 9,81}{4} = 9810000 \text{ N}$$

$$9810000 = \frac{1 \times \pi^2 210E^3 \times I}{950^2} = 4733146,7 \text{ mm}^4$$

$$4733146,7 = \frac{\pi \times D^4}{64} = 98,3 \text{ mm}$$

O diâmetro mínimo para as guias principais é de 98,3 mm. Este valor é inferior ao diâmetro real das guias (100 mm), pelo que as guias suportam os esforços solicitados.

- **Dimensionamento das chapas de pressão**

A área de contacto entre o macho e a cavidade é representado pela zona de vedação, acrescida das chapas de pressão. A força de fecho a dividir pela área de contacto, deve originar uma pressão máxima de 80 MPa. Sendo a zona de vedação uma constante, a única forma de diminuir o valor da pressão, é aumentar o número de chapas de pressão (figura 220).

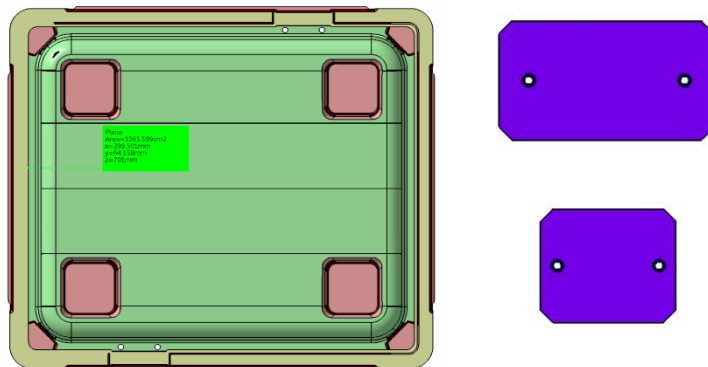


Figura 220 - Zona de vedação, à esquerda, e chapas de pressão, à direita.

$$P = \frac{F}{A_T} \quad (15)$$

$$A_T = A_v + A_{ch} \quad (16)$$

$$A_{ch} = n \times l \times c \quad (17)$$

Onde:

- P – Pressão admissível (MPa);
- F – Força de fecho (N);
- $A_v$  – Área de vedação projetada no plano da figura 221 (mm<sup>2</sup>);
- $A_{ch}$  - Área das chapas de pressão (mm<sup>2</sup>);
- $A_T$  – Área total de contacto entre macho e cavidade (mm<sup>2</sup>);
- n – Número de chapas;
- l – Largura das chapas (mm);
- c – Comprimento das chapas (mm).

$$A_T = 1365,6 + (32 \times 180 \times 100) + (6 \times 120 \times 100) = 649365,6 \text{ mm}^2$$

$$P = \frac{4300 \times 1000 \times 9,81}{649365,6} = 64,9 \text{ MPa}$$

A pressão real na área de contacto é inferior a 80 MPa, o que indica que o número de chapas no molde é suficiente.

### 3.9 Processos de fabrico e respetiva sequência

O fluxograma da figura 221 representa as várias etapas necessárias para o fabrico de um molde, desde a chegada da banda em 3D do cliente, até ao molde estar finalizado.

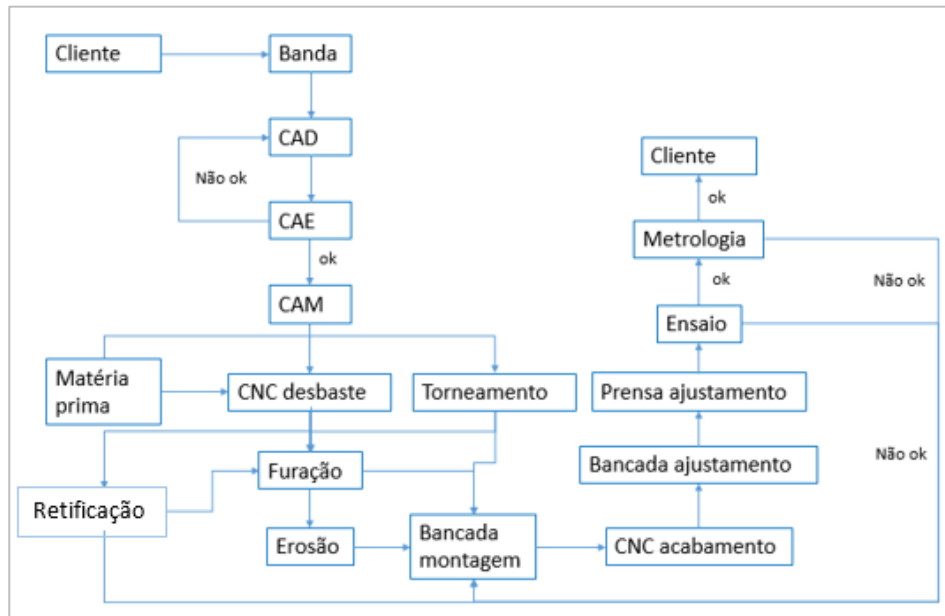


Figura 221 - Fluxograma do processo de fabrico.

Na tabela 33, encontram-se as funções de cada setor.

Tabela 33 - Setores e respetivas funções.

CAD:

Análise da peça recebida e elaboração do modelo 3D.

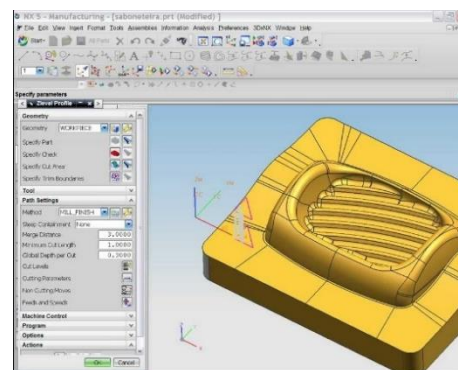


Figura 222 – Software Unigraphics®.

CAE:  
Análise do modelo 3D, a nível reológico e estrutural.

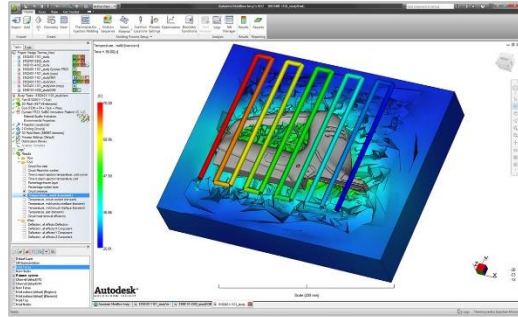


Figura 223 - Software Moldflow®.

CAM:  
Recebe os modelos 3D e elabora programas de maquinação.

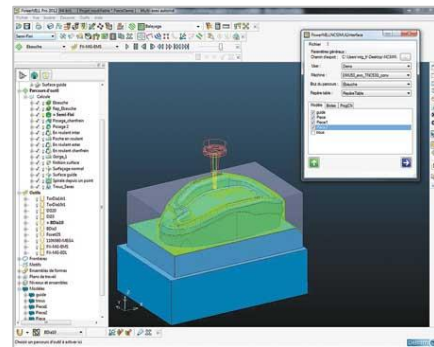


Figura 224 - Software Powermill®.

Fresagem:  
Desbaste de blocos de aço, ligas CuBe, grafite, acabamento e redução de raios ou acerto dos componentes da extração.



Figura 225 - Maquinação CNC.

### Torneamento:

Maquinação de componentes redondos como anilhas de centragem, veios, casquilhos, pernos, etc.



Figura 226 - Torno mecânico.

### Erosão:

Normalmente utiliza-se como último recurso, pois é um processo muito demorado. Recorre-se a este tipo de solução quando os frisos são muito altos e estreitos ou quando se pretende zonas com arestas vivas.



Figura 227 - Máquina de erosão.

### Furação:

Processo ligado normalmente à furação das águas do molde. No entanto, existem outros exemplos, como furos para parafusos, cavilhas, veios, pernos, componentes da extração, etc.



Figura 228 - Máquina de furação rápida.

---

**Retificação:**

Retificação das placas do macho, da cavidade e da extração, para garantir as cotas pretendidas e a planeza da montagem do molde. Retificação de chapas de ajuste, na fase de ajustamento do molde, para um ajuste equilibrado de todos os lados do molde.



Figura 229 - Retificadora plana.

---

**Bancada:**

Ajustamento de posições, movimentos, levantadores. Montagem, afinação de componentes de extração e polimento.



Figura 230 - Nave de bancadas.

---

**Ajustamento na prensa:**

Ajustamento final do molde.



Figura 231 - Prensa hidráulica para moldes.

Metrologia:  
Controlo dimensional do molde.



Figura 232 - Máquina de controlo dimensional.

### 3.10 Estimativa de custos de fabrico

Segue-se agora a apresentação das estimativas de custos associados às compras, aos serviços subcontratados, ao *design* e ao fabrico molde.

Tabela 34 - Estimativa de custos das compras.

<b>Compras</b>	
<b>Componentes</b>	<b>Custo (€)</b>
Aço de estrutura	22.624,59
Aço do macho, cavidade, movimentos e postigos	148.953,62
Liga de cobre dos postigos e movimentos	81.826,30
Acessórios (veios, casquilhos, chapas etc.)	24.050,00
Sistema de injeção	56.000,00
Normalizados	44.250,00
<b>Total</b>	<b>377.704,51</b>

Tabela 35 – Estimativa de custos dos subcontratados.

<b>Subcontratados</b>	
<b>Tipo</b>	<b>Custo (€)</b>
Moldflow®	10.500,00
Ensaios	8.250,00

Transporte	33.876,00
<b>Total</b>	<b>52.626,00</b>

Tabela 36 - Estimativa de custos do *design*.

<b>Design</b>		
<b>Processo</b>	<b>Tempo (h)</b>	<b>Custo (€)</b>
CAM	300	5.500,00
CAD	220	5.250,00
DC	60	1.500,00
<b>Total</b>	-	<b>12.250,00</b>

Tabela 37 - Estimativas de custos da produção.

<b>Produção</b>		
<b>Processo</b>	<b>Tempo (h)</b>	<b>Custo (€)</b>
CNC	1086	68.591,00
CNC (maquinação de elérodos)	310	14.462,00
Fresadora convencional e torno	417	26.520,00
Eletroerosão	550	25.429,00
Furação de águas	789	18.936,00
Bancada	2347	35.205,00
Prensa (ajustamento)	160	2.400,00
<b>Total</b>	-	<b>191.543,00</b>

Tabela 38 - Somatório das estimativas de custo.

<b>Custo total</b>	
<b>Estimativas</b>	<b>Custo (€)</b>
Compras	377.704,51
Subcontratados	52.626,00
<i>Design</i>	12.250,00
Produção	191.543,00
<b>Total</b>	<b>634.123,51</b>

Depois de todas estas estimativas, soma-se um erro de 5% do custo total e tem-se então o custo final do molde, de aproximadamente 666.000,00€. Na figura 233 encontram-se as percentagens associadas a cada tipo de custos.

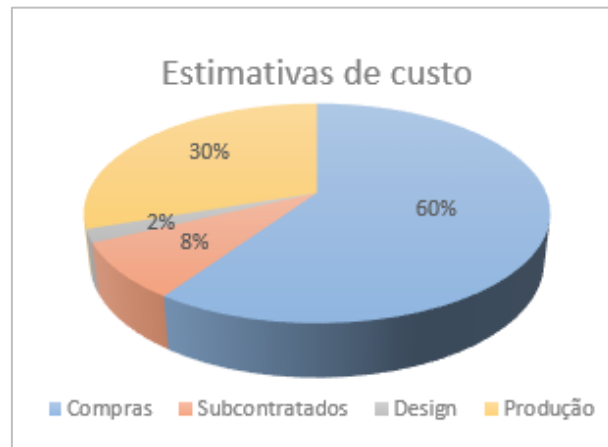


Figura 233 - Percentagens das estimativas de custos.

### 3.11 Montagem final do molde

Nas tabelas 39 e 40 pode ver-se respetivamente montagem do lado móvel (macho) e do lado fixo (cavidade).

Tabela 39 - Montagem do lado móvel

Começa-se então com o porta machos. Todos os componentes devem ser devidamente limpos, antes de se começar a montagem.

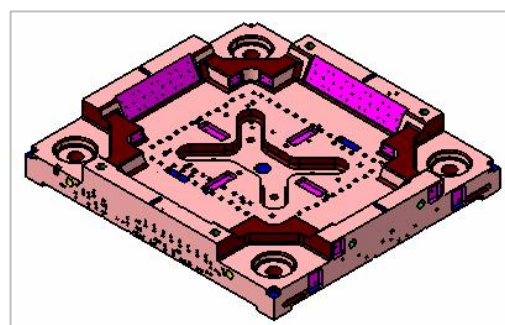


Figura 234 - Porta machos.

No porta machos, apertam-se as guias principais, as guias da placa de extração e as chapas de ajustamento.

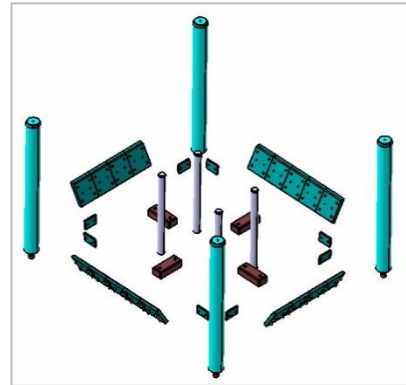


Figura 235 - Acessórios do macho.

Fica-se então com os elementos do porta machos quase todos apertados.

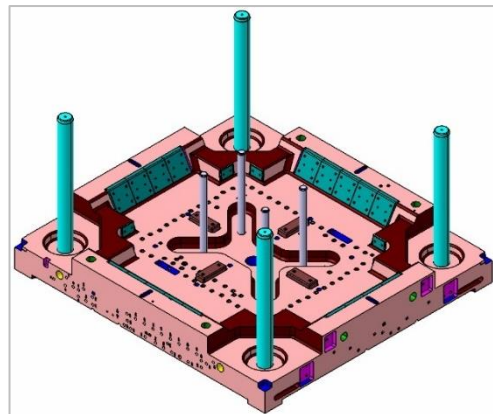


Figura 236 - Porta machos com os acessórios.

Passa-se agora para o postição do macho.

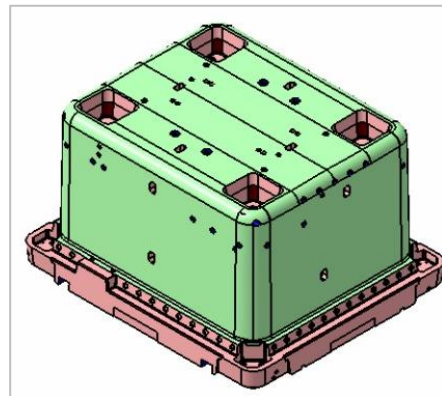


Figura 237 - Postição 200.

Apertam-se todos os postigos ao postigo 200.

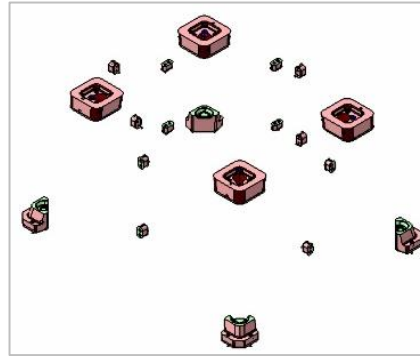


Figura 238 - Postigos pertencentes ao postigo 200.

Depois de todos os postigos estarem apertados, pode-se então colocar os levantadores.

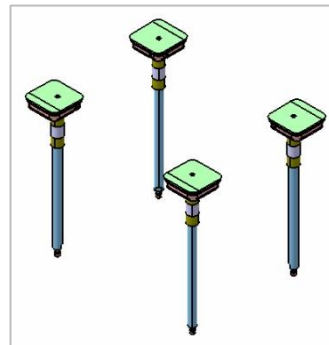


Figura 239 - Levantadores do macho.

Antes de se apertar a placa de extração aos veios dos levantadores, que já se encontram montados no postigo 200, é preciso aplicar-lhes os casquilhos. Estes casquilhos vão deslizar nas guias já colocadas no porta macho.

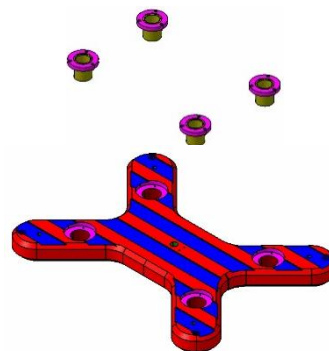


Figura 240 - Placa de extração e casquilhos.

Depois deste conjunto todo montado, pode-se juntá-lo ao porta machos.

As guias da extração, previamente montadas no porta macho, vão facilitar a tarefa de montagem.

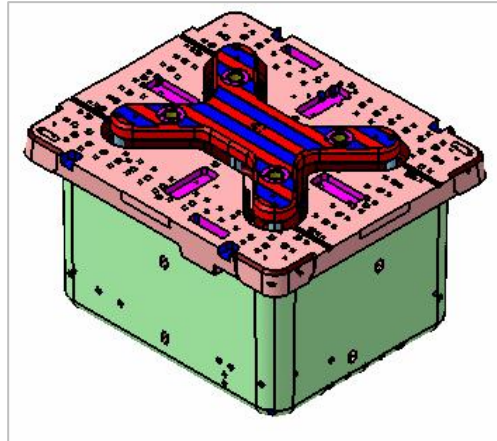


Figura 241 - Postiço 200 com os elementos da extração.

Fica-se então com o porta macho, o postiço 200 e os elementos da extração todos montados.

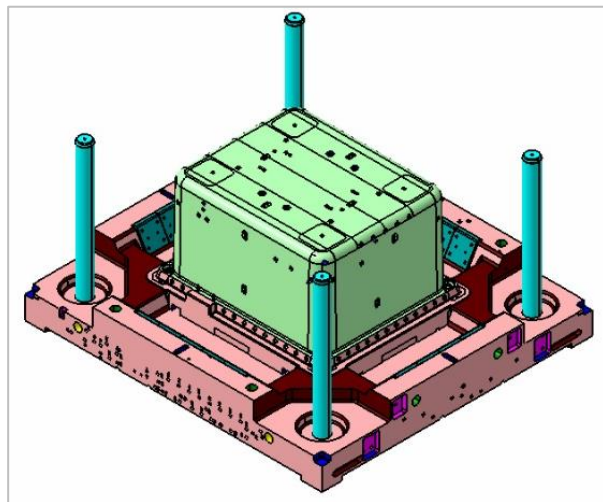


Figura 242 - Porta machos e postiço 200 montados.

Pode-se então agora montar a placa traseira, pois todos os componentes que apertavam ao porta machos já estão montados.

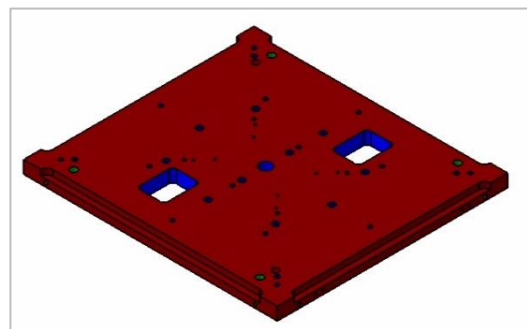


Figura 243 - Placa traseira do macho.

Aplica-se a anilha de centragem.

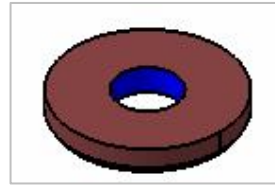


Figura 244 - Anilha de centragem.

Monta-se os movimentos hidráulicos e seus respectivos cilindros no porta machos.

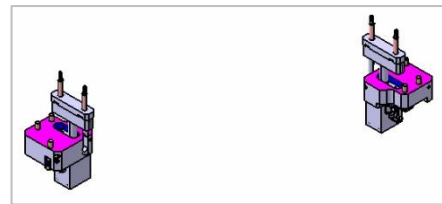


Figura 245 - Movimentos hidráulicos do macho.

Fica-se então com o lado móvel todo montado.

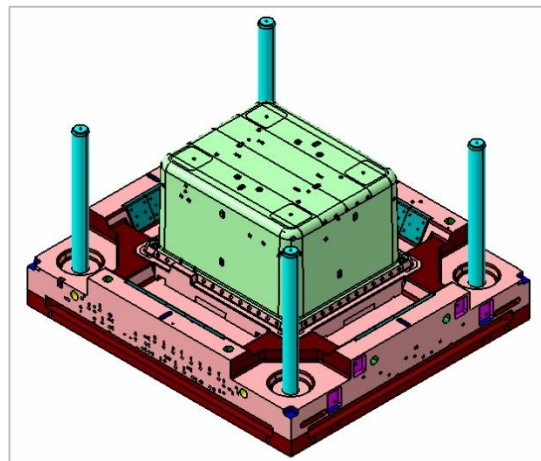


Figura 246 - Lado móvel completo.

Montagem de periféricos do macho (pés do molde, acessórios de água e óleo, sensores de fim de curso dos cilindros).

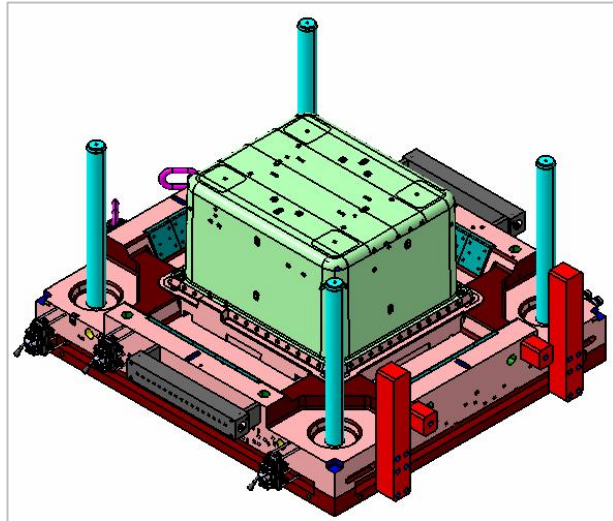


Figura 247 - Lado móvel com periféricos montados.

Tabela 40 - Montagem do lado fixo.

Começa-se então a montar os quatro posições do porta cavidades: 100J, 100K, 100L e 100M.

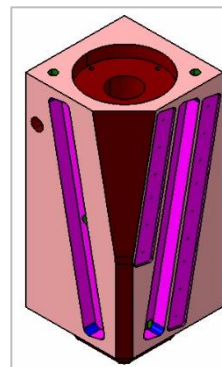


Figura 248 - Posição 100M.

Aplicam-se as chapas de deslize, os casquilhos das guias principais, e as régulas de deslize dos movimentos hidráulicos.

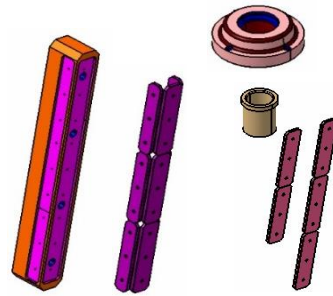


Figura 249 - Componentes do postigo 100M.

Depois dos postigos montados, aplicam-se no porta cavidades.

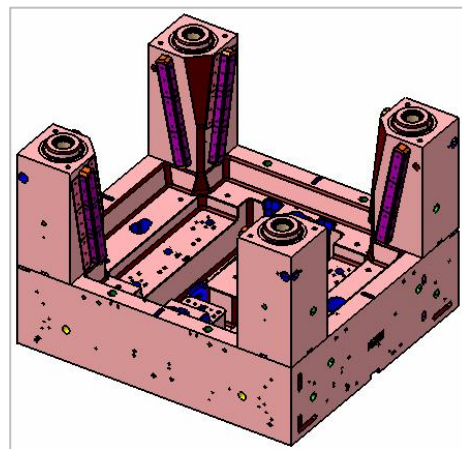


Figura 250 - Porta cavidades com os postigos 100J

Passa-se agora à montagem do postigo 100A.

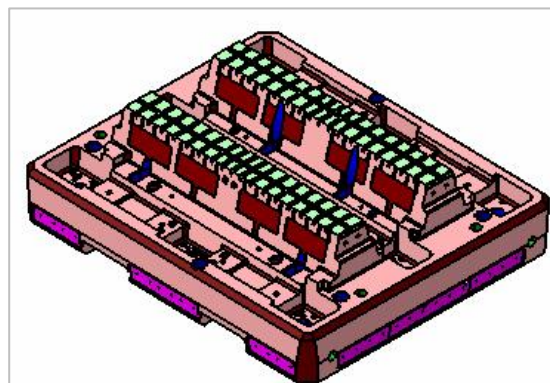


Figura 251 - Postigo 100A

Monta-se primeiro no postigo 100A os postigos 100R, 100S e 100T, pois estes vão ficar sobrepostos pelos movimentos à extração, que serão montados mais à frente.

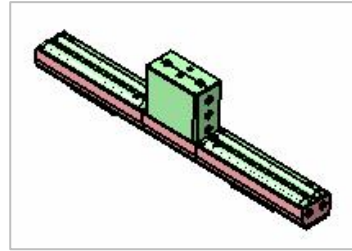


Figura 252 – Postigos 100R, 100S e 100T.

Depois dos três postigos centrais montados, vira-se o postigo 100A ao contrário e montam-se as guias da extração.

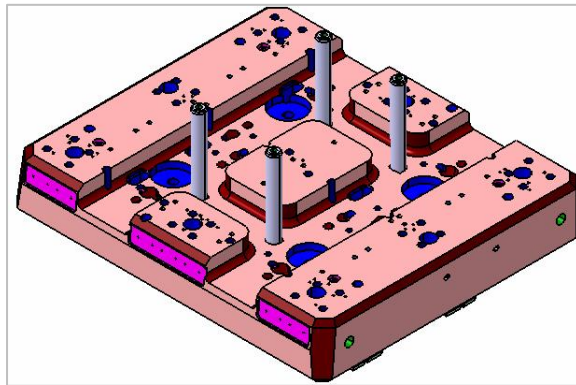


Figura 253 - Postigo 100A com as guias da extração.

Antes de se montar a placa de extração nas guias, é primeiro preciso montar os casquilhos e os acessórios de aperto aos cilindros hidráulicos, na placa de extração.

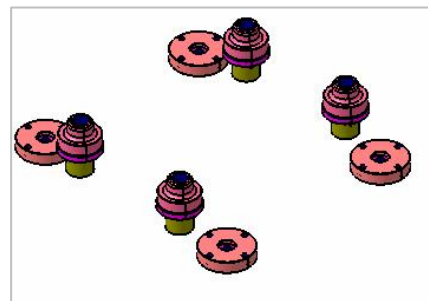


Figura 254 - Acessórios da placa de extração.

Fica-se então com a placa de extração montada no postigo 100A. Com a ajuda de um calço, mantêm-se a placa suspensa, para montar os restantes componentes da extração.

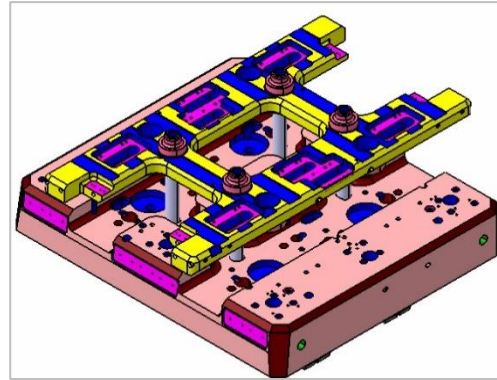


Figura 255 - Placa de extração montada com as guias no postigo 100A.

Com a placa suspensa, pode-se montar os carrinhos e as suas respectivas pistas na placa de extração.

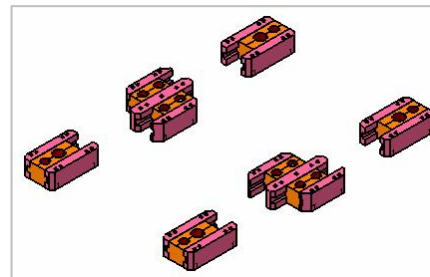


Figura 256 - Carrinhos dos movimentos à extração.

Vira-se novamente o postigo 100A ao contrário, mas desta vez já com a placa de extração montada. Montam-se os casquilhos dos veios dos movimentos no 100A e, em seguida, os movimentos à extração, previamente montados com os seus respectivos veios. Esses veios serão apertados aos carrinhos.

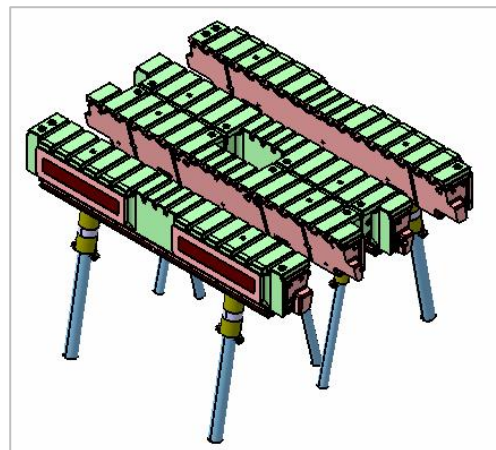


Figura 257 - Movimentos à extração.

Apertam-se os pernos de retorno à placa de extração, as chapas de ajuste e os restantes postigos no postigo 100A. Tem-se agora o conjunto pronto para montar no porta cavidade.

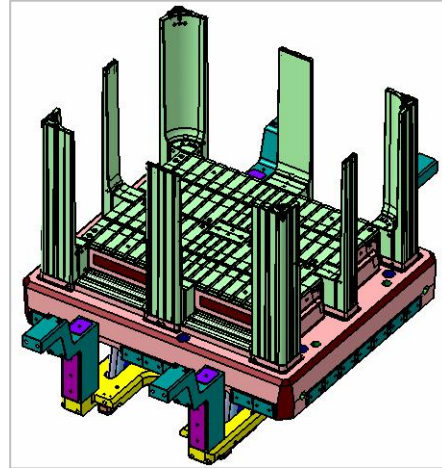


Figura 258 - Postigo 100A montado com os componentes da extração.

Fica-se então com a cavidade quase completa. Em seguida passa-se para os movimentos hidráulicos.

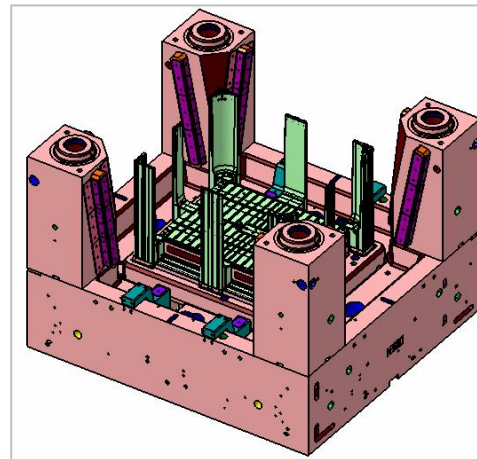


Figura 259 - Cavidade sem os movimentos hidráulicos.

Como se sabe, existem quatro movimentos hidráulicos no molde. Portanto, a montagem deste servirá de exemplo para os outros.

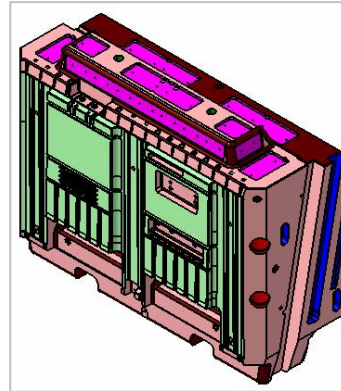


Figura 260 - Movimento hidráulico 700.

Começa-se então por montar os postigos dos movimentos hidráulicos.

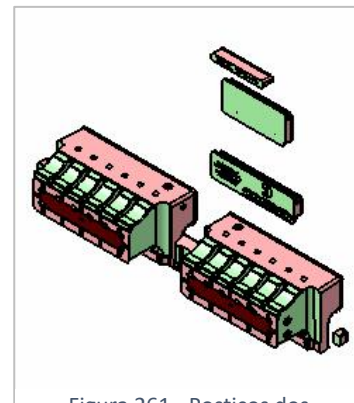


Figura 261 - Postigos dos movimentos hidráulicos.

Em seguida, montam-se as chapas de ajuste e de pressão.

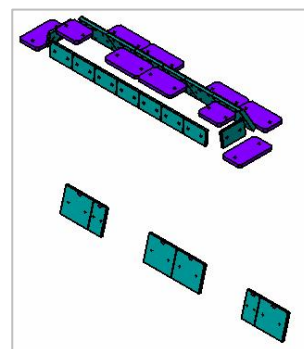


Figura 262 - Chapas de ajuste e de pressão das maxilas.

O sistema de segurança da extração, é apenas aplicado nos movimentos hidráulicos 702 e 703.

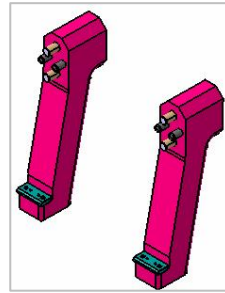


Figura 263 - Sistema de segurança da extração.

Para os movimentos serem montados com sistema de segurança no porta cavidade, a extração tem de ser previamente subida.

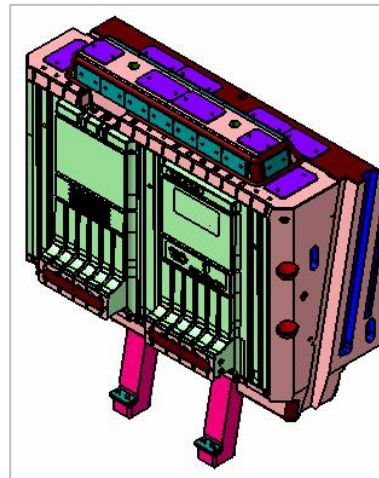


Figura 264 - Movimento hidráulico 702 completo.

Tem-se então os movimentos hidráulicos montados no porta cavidade.

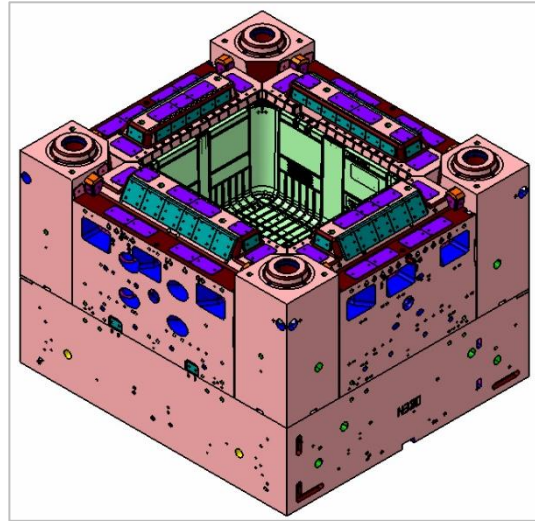


Figura 265 - Porta cavidades mais os movimentos hidráulicos.

Montam-se em seguida as guias dos movimentos hidráulicos.

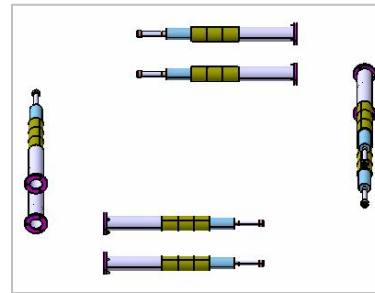


Figura 266 - Guias dos movimentos hidráulicos.

Depois vira-se todo este conjunto ao contrário, para posteriormente ser montado o sistema de injeção.

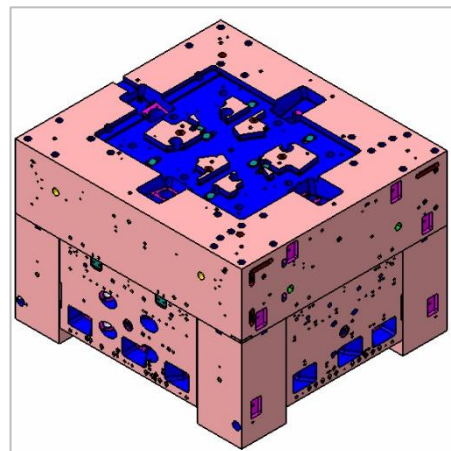


Figura 267 - Cavidade em posição de montagem do sistema de injeção.



Figura 268 - Cilindros dos movimentos hidráulicos.

Antes de montar o sistema de injeção, é preciso montar os cilindros das maxilas e os veios de reforço dos movimentos à extração. Estes componentes encontram-se sobrepostos pelo sistema de injeção.

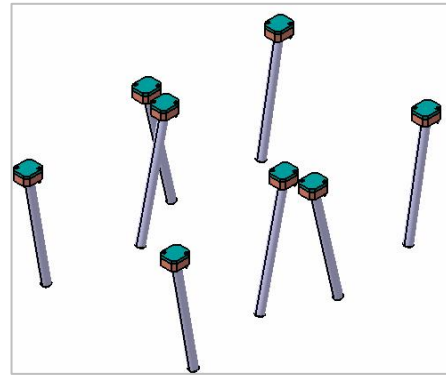


Figura 269 - Veios de reforço dos movimentos á extração.

Depois destes componentes estarem montados, pode-se passar à montagem do sistema de injeção. O sistema de injeção tem de ser montado com atenção especial, pois qualquer pancada mais brusca pode danificá-lo.

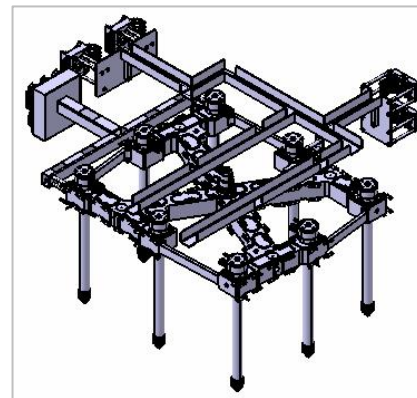


Figura 270 - Sistema de injeção.

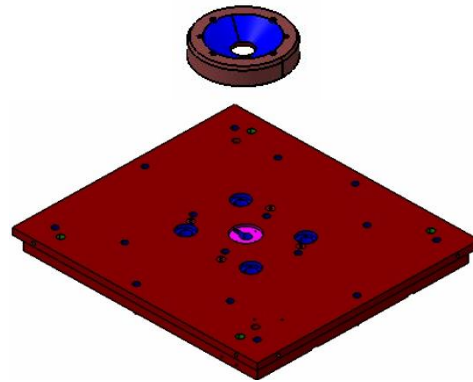


Figura 271 - Placa traseira da cavidade e anilha de centragem.

Depois do sistema de injeção montado, monta-se a placa traseira, de seguida a anilha de centragem e, posteriormente, os pernos hidráulicos.

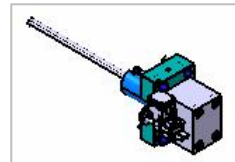


Figura 272 - Perno hidráulico da cavidade.

Fica-se então com o lado fixo quase montado, ficando só a faltar os periféricos do lado fixo (caixa elétrica, distribuidores de água e óleo, mangueiras, etc.).

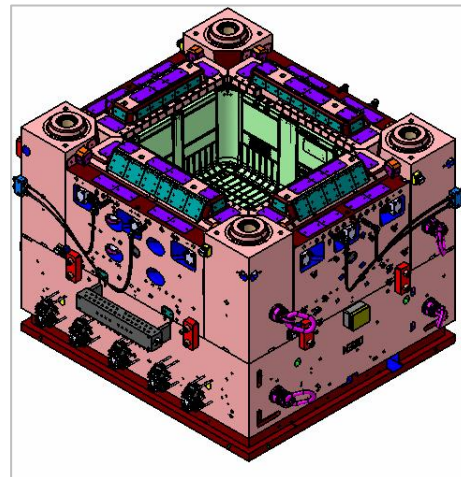


Figura 273 - Lado fixo com periféricos.

### 3.12 Ligações elétricas

Este sistema de injeção tem seis *conectores* elétricos, onde três deles são destinados ao aquecimento, e os restantes para o controlo da temperatura. Na figura 274 estão os seis *conectores* elétricos do lado esquerdo, e do lado direito está um mapa do sistema de injeção, onde se pode observar os vários bicos de injeção e respetivas resistências legendadas.

Nas tabelas 41, 42 e 43, pode-se ver quais os componentes que estão ligados aos respetivos conectores de aquecimento, e a sua potência.

Nas tabelas 44, 45 e 46 veem-se os respetivos componentes que cada *conector* de controlo de temperatura controla.

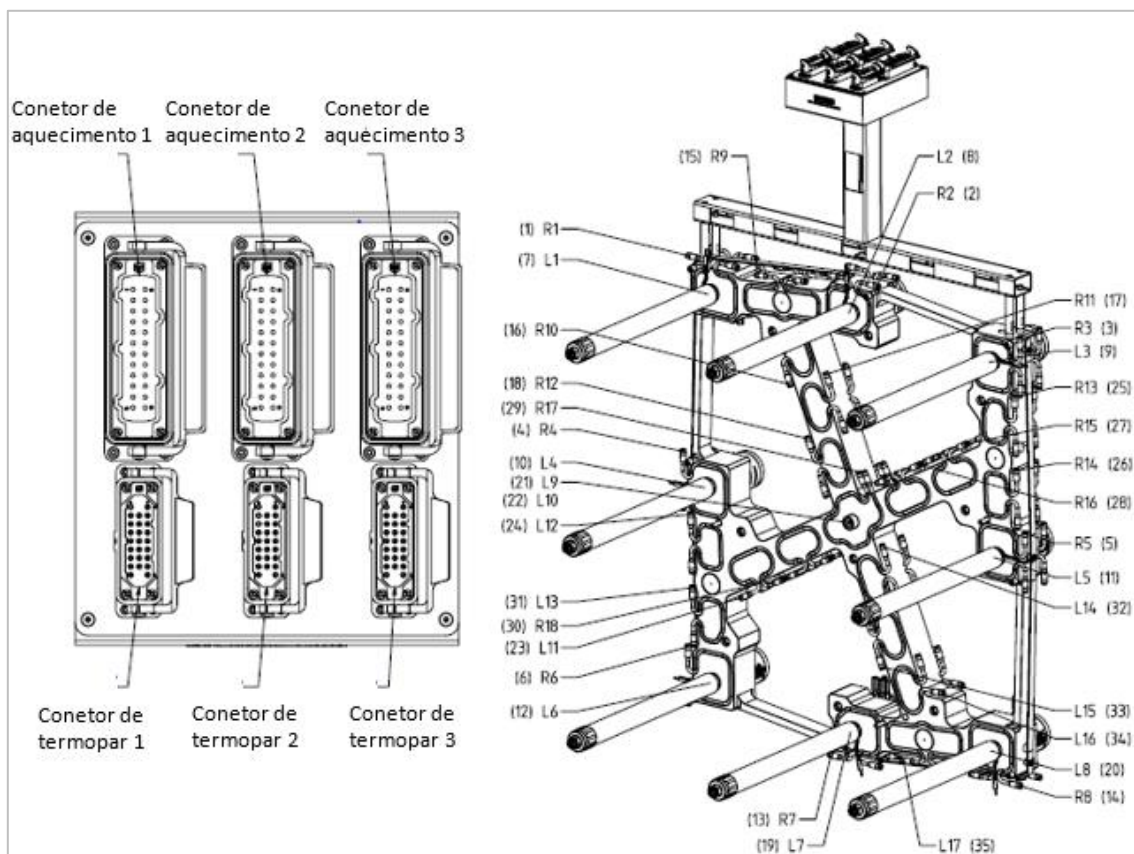


Figura 274 - Ligações elétricas.

Tabela 41 - Conector de aquecimento 1.

	Legenda	Zona	Potência (kW)
Conector de aquecimento 1	1	Resistência carburador	2
	2	Resistência carburador	2
	3	Resistência carburador	2
	4	Resistência carburador	2
	5	Resistência carburador	2
	6	Resistência carburador	2
	7	Bico 1	1,91
	8	Bico 2	1,91
	9	Bico 3	1,91
	10	Bico 4	1,91
	11	Bico 5	1,91
	12	Bico 6	1,91
	-	Potência total	23,46

Tabela 42 - Conector de aquecimento 2.

	Legenda	Zona	Potência (kW)
Conector de aquecimento 2	13	Resistência carburador	2
	14	Resistência carburador	2
	15	Resistência carburador	2,2
	16	Resistência carburador	1,8
	17	Resistência carburador	2
	18	Resistência carburador	2
	19	Bico 7	1,91
	20	Bico 8	1,91
	21	Sprue	0,3
	22	Sprue	0,3
	23	Resistência carburador	2
	24	Resistência carburador	2
	-	Potência total	20,42

Tabela 43 - Conector de aquecimento 3.

	Legenda	Zona	Potência (kW)
Conector de aquecimento 3	25	Resistência carburador	2
	26	Resistência carburador	2
	27	Resistência carburador	2
	28	Resistência carburador	2
	29	Resistência carburador	2
	30	Resistência carburador	2
	31	Resistência carburador	2
	32	Resistência carburador	2
	33	Resistência carburador	2
	34	Resistência carburador	1,8
	35	Resistência carburador	2,2
	-	Potência total	22

35 circuitos

Potência total

65,88 kW

Tabela 44 - Conector de termopar 1.

	Legenda	Zona
Conector de termopar 1	1	Resistência carburador
	2	Resistência carburador
	3	Resistência carburador
	4	Resistência carburador
	5	Resistência carburador
	6	Resistência carburador
	13	Resistência carburador
	14	Resistência carburador
	15	Resistência carburador
	16	Resistência carburador
	17	Resistência carburador
	18	Resistência carburador

Tabela 45 - Conector de termopar 2.

	Legenda	Zona
Conector de termopar 2	25	Resistência carburador
	26	Resistência carburador
	27	Resistência carburador
	28	Resistência carburador
	29	Resistência carburador
	30	Resistência carburador
	31	Resistência carburador
	32	Resistência carburador
	33	Resistência carburador
	34	Resistência carburador
	35	Resistência carburador

Tabela 46 - Conector de termopar 3.

	Legenda	Zona
Conector de termopar 3	7	Bico 1
	8	Bico 2
	9	Bico 3
	10	Bico 4
	11	Bico 5
	12	Bico 6
	19	Bico 7
	20	Bico 8
	21	Sprue
	22	Sprue
	23	Resistência carburador
	24	Resistência carburador

### 3.13 Ajuste final do molde e teste

O ajuste final do molde, tem como principal função acertar a junta da cavidade com a junta do macho, para um fecho perfeito do molde e sem rebarbas na fase de injeção.

Esta etapa realiza-se da seguinte maneira:

1. Pinta-se a cavidade com zarcão as zonas de vedação (figura 275);
2. Fecha-se o molde na prensa;
3. Abre-se o molde novamente;
4. No macho, com a ajuda de um retificador ou uma lixa, eliminam-se, as zonas pintadas com o zarcão;
5. Repete-se este processo até o molde estar perfeitamente fechado.

Este processo é lento, e em moldes de grandes dimensões tem que ser feito de uma maneira equilibrada, ou seja, a remoção de material a mais tem que ser bem distribuída por toda a junta do macho. Se assim não for pode-se correr o risco de retirar aço a mais em algumas zonas, e não é aconselhável soldar nas linhas de junta de um molde.



Figura 275 - Cavidade pintada com zarcão.

# CONCLUSÕES



## 4 CONCLUSÕES

O projeto do molde começa com a receção da peça em 3D. Aquando da receção da peça em 3D, o projetista tem de decidir a direção de extração da peça, a separação do macho e da cavidade, e os mecanismos de extração. Só quando estes três pontos estão definidos é que se dá início à modelação. Estes três pontos são a base do início de qualquer projeto de molde.

No projeto do molde existem alguns requisitos impostos pelo cliente. Estes requisitos devem ser cumpridos para o bem comum das duas partes. Se, por algum motivo, alguma das exigências não poder ser cumprida, a razão deve ser explicada ao cliente e, de seguida, deve ser apresentada uma proposta exequível. Neste projeto, foi respeitado o tipo de máquina de injeção, os materiais para os vários componentes do molde, os cilindros hidráulicos utilizados, os circuitos de ar exigidos e o número de bicos de injeção com sistema *valve gate*.

Não é usual, em moldes de injeção, a extração da peça dar-se em simultâneo com a abertura do molde mas, neste caso em concreto, esta de solução foi crucial para o sucesso do projeto. Com os quatro movimentos hidráulicos da cavidade a “puxar” a peça do macho, em simultâneo com o sistema de insuflação de ar, conseguiu-se combater a força de vácuo gerada pela contração da peça.

A injeção com agente expensor é um processo muito vantajoso para peças de grande porte. Segundo os estudos realizados, conseguem-se peças com menor empeno num ciclo mais curto, e com máquinas de injeção mais pequenas. Isto tudo, sem ser necessário qualquer tipo de equipamento especial. Além disso, é possível poupar imensa matéria-prima, com as percentagens de redução de peso possíveis.

Os custos associados ao fabrico do molde são oriundos de vários campos como o *design* da ferramenta, a produção, os serviços subcontratados e a compra das matérias-primas. Esta última é, de longe, a que mais contribui para o preço final do molde (60%). É por isso, importante conseguir o melhor preço do aço, aliado sempre à sua qualidade. É

muito importante também diferenciar as áreas do molde, onde é ou não preciso material melhor/mais caro. O preço do molde é fulcral para as empresas conseguirem os projetos de moldes.

Em relação ao ensaio do molde, as primeiras peças tiveram alguns problemas de rebarba na zona dos pernos hidráulicos, o que levou a uma revisão do ajuste destes componentes. Contudo, o projeto foi concluído com sucesso.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES  
DE INFORMAÇÃO**



## 5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

### 5.1 Bibliografia

- [1] D. M. Bryce, Plastic Injection Molding, Dearborn, Michigan: Society of Manufacturing Engineers, 1999.
- [2] A. Matos, Manual do projetista para molde de injeção de plástico, Lapa & Franco-estúdio gráfica, Lda, 2003.
- [3] L. B. I. R. L. Sors, Plásticos, Moldes e Matrizes, Curitiba: Hemus, 2002.
- [4] V. Goodship, Pratical Guide to Injection Moulding, Shrewsbury: Rapra Technology, 2004.
- [5] G. S. - T. Division, Caderno Técnico, Oliveira de Azemeis, 2017.
- [6] D. V. Rosato, Injection Molding Handbook (3ª ed), Norwell, 2000.
- [7] J. Harada, Moldes para Injeção de Termoplásticos - Projetos e Princípios Básicos, São Paulo: Artliber, 2004.
- [8] P. P. J. W. E. Bociaga, "Investigations of sink marks of foam polypropylene injection moulded parts," 2009.
- [9] M. V. J.-F. A. T. S. C. P. José António Regelero Ruiz, "Polymer foaming with chemical blowing agents: Experiment and modeling," 16 October 2015.
- [10] H. G. a. W. Yue, "Microcellular Foam Injection Molding Process, Some critical Issues for Injection Molding," 2012.
- [11] K. W. Doak, Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, New York: John-Wiley & Sons, 1986.

### 5.2 Outras fontes de informação

**Cumsa.** Obtido em Junho 2017

[https://www.cumsa.com/imgoriginales/cumsa\\_catalogue.pdf](https://www.cumsa.com/imgoriginales/cumsa_catalogue.pdf)

**Danly.** Obtido em Agosto 2017

<http://www.daytonlamina.com/sites/default/files/doc/DanlyIEM-JIS-Springs.pdf>

**DME.** Obtido em Julho 2017

<https://www.dme.net/catalog/DME/PDF/Mold%20Components.pdf>

**Ewikon.** Obtido em Junho 2017

[http://www.ewikon.com/fileadmin/template/Download\\_Dateien/Betriebsanleitungen/Allgemein/Heisskanalinbetriebnahme\\_E.pdf](http://www.ewikon.com/fileadmin/template/Download_Dateien/Betriebsanleitungen/Allgemein/Heisskanalinbetriebnahme_E.pdf)

**Hasco.** Obtido em Agosto 2017

<https://www.hasco.com/hasco/en/Product-catalogue/c/1>

**Kistler.** Obtido em Julho 2017

<https://www.kistler.com/fileadmin/files/divisions/sensor-technology/test-and-measurement/t-m-acceleration/900-380a.pdf>

**Parker.** Obtido em Junho 2017

[https://www.parker.com/literature/Tube%20Fittings%20Division/4300\\_Catalog\\_Cover.pdf](https://www.parker.com/literature/Tube%20Fittings%20Division/4300_Catalog_Cover.pdf)

**Power Hydraulik.** Obtido em Agosto 2017

[http://www.power-hydraulik.de/download/produkte/PowerStromteiler\\_Datenbl\\_engl.pdf](http://www.power-hydraulik.de/download/produkte/PowerStromteiler_Datenbl_engl.pdf)

**Raufilam.** Obtido em Julho 2017

<https://www.rehau.com/download/1763068/catalogo-mangueras-industriales.pdf>

**RUD.** Obtido em Junho 2017

[http://res.rud.com/webcatalog/rud/index.html?catalog=MA\\_Anschlagpunkte\\_Ed01\\_EN#page\\_1](http://res.rud.com/webcatalog/rud/index.html?catalog=MA_Anschlagpunkte_Ed01_EN#page_1)

**Staubli.** Obtido em Junho 2017

<http://pdf.directindustry.com/pdf/staebli-connectors/htm-multi-couplings-temperature-control/7527-565535.html>

**Syventive.** Obtido em Agosto 2017

[http://www.synventive.com/uploadedFiles/Products/Hot\\_Runner\\_Systems/Manifolds/PDFs/CAT-14-0001\\_EN.pdf](http://www.synventive.com/uploadedFiles/Products/Hot_Runner_Systems/Manifolds/PDFs/CAT-14-0001_EN.pdf)

**Unbraku.** Obtido em Agosto 2017

<http://www.unbrako.com/images/downloads/engguide.pdf>

**Weidmuller.** Obtido em Julho 2017

<http://www.clrwtr.com/PDF/Weidmuller/Weidmuller-Modular-Terminals.pdf>



# ANEXOS

6.1 Anexo 1

6.2 Anexo 2

6.3 Anexo 3



## 6 ANEXOS

### 6.1 ANEXO1

#### 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-hardenableity
  - 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)

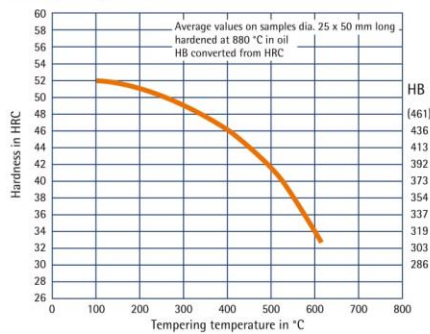
Thermal expansion coefficient (10 <sup>-6</sup> /K)	20–100 °C	20–250 °C	20–500 °C
	11.6	12.8	14.3
Thermal conductivity (W/mK)	20 °C	250 °C	500 °C
	34.0	33.5	33.0
	20 °C	250 °C	500 °C
Young's modulus (GPa)	20 °C	250 °C	500 °C
	212	197	175

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

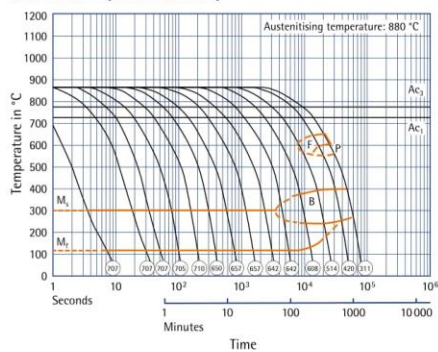
## I 2738 ISO-BM

Heat treatment		
Stress relieving	Temperature:	Approx. 600 °C in the annealed state Approx. 550 °C in the quenched and tempered state
	Duration:	1 hour per 50 mm wall thickness
	Cooling:	Furnace
Soft annealing	Temperature:	720 °C
	Duration:	1 hour per 25 mm wall thickness
	Cooling:	Furnace
Hardening	Temperature:	880 °C
	Duration:	1 minute per mm wall thickness
Quenching hardness	Max. 54 HRC	in oil, hot bath or vacuum
Tempering	Temperature:	See tempering curve
	Duration:	1 hour per 25 mm wall thickness
	Cooling:	Air
Working hardness	280–325 HB	

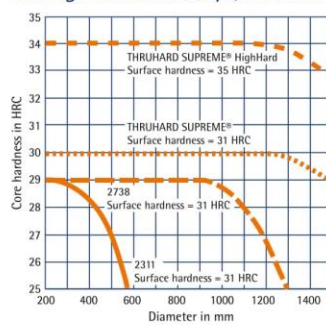
### Tempering curve



### TTT curve (continuous)



### Through-hardability (schematic)



Legal notice: Buderus Edelstahl GmbH has taken every possible care in compiling this information; the data is nevertheless subject to intervening changes. Buderus Edelstahl GmbH disclaims all liability for loss or damage of any kind, including consequential loss, arising in connection with use of the information provided. Buderus Edelstahl GmbH reserves the right to make changes at any time without prior notice. Buderus Edelstahl GmbH disclaims all liability for loss or damage of any kind, including consequential loss, arising in connection with use of the information provided. This publication supersedes all previous ones. © Buderus Edelstahl GmbH, Weitzlar, 07/2010

## 6.2 ANEXO2

## Technical Data Sheet

# AMPCOLOY® 83

### Extrusions

**Nominal composition:**

Beryllium	(Be)	1.9%
Cobalt + Nickel	(Co + Ni)	0.5%
Others		0.5% max.
Copper	(Cu)	balance

**Specifications:**

EN	101C	A4/2
D	DIN 17672	W. Nr. 2.1247
F	AFNOR	UBe2
GB	BS	
	CDA	C17200
USA	RWMA	Class 4

Mechanical and physical properties	Units	Nominal Values
Tensile strength Rm	MPa	1310
Yield strength Rp 0.5	MPa	1000
Elongation A5	%	4
Brinell hardness	HB 30	380
Rockwell hardness	HRC	40
Modulus of elasticity E	GPa	131
Density $\rho$	g / cm <sup>3</sup>	8.26
Coefficient of expansion $\alpha$	10 <sup>-6</sup> / K	17.5
Thermal conductivity $\lambda$	W / m · K	106
Electrical conductivity $\gamma$	m / $\Omega$ · mm <sup>2</sup>	12.8
Electrical conductivity	% I.A.C.S.	22
Specific heat Cp	J / g · K	0.42

Assurances given with respect to properties or uses are subject to written approval from AMPCO METAL.

AMPCOLOY® 83 is a 2 % Beryllium copper alloy which displays very high mechanical properties with a reasonably good electrical and thermal conductivity.

**APPLICATIONS:**

Wherever good wear resistance or high mechanical properties are desired coupled with a good electrical or thermal conductivity, such as:

Flash butt welding and butt welding

Parts for electrical components

In the plastic mould industry AMPCOLOY® 83 is sometimes used as chill plates and inserts in the moulds, cooling pins and neck rings or bottom plates for blow moulds of plastic bottles.

**WARNING**

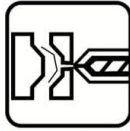
Since the alloy contains 2 % Beryllium, it is recommended that during any operation which is liable to create dust or fumes (for example dry grinding, polishing or welding) precautions should be taken to ensure there is no inhalation or exposure to eyes or skin. Conventional machining (for example milling and turning) is not generally considered hazardous.

**AMPCO METAL EXCELLENCE IN ENGINEERED ALLOYS**

info@ampcometal.com

www.ampcometal.com

## 6.3 ANEXO 3



## SABIC® HDPE M40053S

High density polyethylene for Injection moulding

### Description.

SABIC® HDPE M40053S is typically used for the high demanding dustbin market. It is an UV stabilized HDPE copolymer grade. It typically shows a good combination of processability, consistency and product properties, good stiffness/cold impact-balance, surface quality and weatherability properties.

### Typical applications.

SABIC® HDPE M40053S is typically used for the manufacture of injection molded dustbins (waste containers on wheels and household containers), crates & boxes (pallet boxes, pallets, boxes applied at low temperatures) and pails & container applications (industrial, shipping).

### Processing conditions.

Typical moulding conditions for SABIC® HDPE M40053S are:

Melt temperature: 232 - 260 °C (450 - 500 °F); Mould temperature: 20 - 40 °C (70 - 104 °F)

Injection pressure: 93 - 103 MPa (13500 - 15000 PSI)

This product is not intended for and must not be used in any pharmaceutical/medical applications.

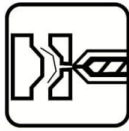
### Typical data.

Revision 20160425

Properties	Units SI	Values	Test methods
<b>Polymer properties</b>			
<b>Melt flow rate (MFR)</b>			
at 190 °C and 2.16 kg	dg/min	<b>4.0</b>	ISO 1133
at 190 °C and 5 kg	dg/min	<b>10.5</b>	
<b>Density</b>	kg/m <sup>3</sup>	<b>953</b>	ISO 1183
<b>Mechanical properties</b>			
<b>Tensile test</b>			
stress at yield	MPa	<b>26</b>	ISO 527-2
stress at break	MPa	<b>25</b>	
strain at break	%	<b>&gt;200</b>	
tensile modulus	MPa	<b>1050</b>	
<b>Flexural test</b>			
Flexural modulus	MPa	<b>1200</b>	ISO 178
Flexural strength	MPa	<b>26</b>	
<b>Izod impact notched</b>			
at 23 °C	kJ/m <sup>2</sup>	<b>4</b>	ISO 180/A
<b>Hardness Shore D</b>	-	<b>61</b>	ISO 868
<b>Thermal properties</b>			
<b>Heat deflection temperature</b>			
at 0.45 MPa (HDT/B)	°C	<b>81</b>	ISO 75-2
<b>Vicat softening temperature</b>			
at 10 N (VST/A)	°C	<b>124</b>	ISO 306
<b>DSC test</b>			
melting point	°C	<b>132</b>	ISO 11357-3
enthalpy change	J/g	<b>203</b>	

- 1) Compression moulding of test specimen according to ISO 1872-2  
 2) Conditioning of test specimen: temp. 23 °C, relative humidity 50 %, 24 hours  
 3) Speed of testing: 50 mm/min  
 4) Test specimen according to ISO 527-2 type 1BA, thickness 2 mm

Internet: [www.SABIC-europe.com](http://www.SABIC-europe.com)



## SABIC® HDPE M40053S

High density polyethylene for Injection moulding

**Health, Safety and Food Contact regulations.** Detailed information is provided in the relevant Material Safety Datasheet and or Standard Food Declaration, available on the Internet ([www.SABIC-europe.com](http://www.SABIC-europe.com)). Additional specific information can be requested via your local Sales Office.

**Quality.** SABIC Europe is fully certified in accordance with the internationally accepted quality standard ISO 9001.

**Storage and handling.** Polyethylenes resins (in pelletised or powder form) should be stored in such a way that it prevents exposure to direct sunlight and/or heat, as this may lead to quality deterioration. The storage location should also be dry, dust free and the ambient temperature should not exceed 50 °C. Not complying with these precautionary measures can lead to a degradation of the product which can result in colour changes, bad smell and inadequate product performance. It is also advisable to process the polyethylene resins (in pelletised or powder form) within 6 months after delivery, this because also excessive aging of polyethylene can lead to a deterioration in quality.

**Environment and recycling.** The environmental aspects of any packaging material do not only imply waste issues but have to be considered in relation with the use of natural resources, the preservations of foodstuffs, etc. SABIC Europe considers polyethylene to be an environmentally efficient packaging material. Its low specific energy consumption and insignificant emissions to air and water designate polyethylene as the ecological alternative in comparison with the traditional packaging materials. Recycling of packaging materials is supported by SABIC Europe whenever ecological and social benefits are achieved and where a social infrastructure for selective collecting and sorting of packaging is fostered. Whenever 'thermal' recycling of packaging (i.e. incineration with energy recovery) is carried out, polyethylene -with its fairly simple molecular structure and low amount of additives- is considered to be a trouble-free fuel.

**Disclaimer.** The information contained herein may include typical properties of our products or their typical performances when used in certain typical applications. Actual properties of our products, in particular when used in conjunction with any third party material(s) or for any non-typical applications, may differ from typical properties.

It is the customer's responsibility to inspect and test our product(s) in order to satisfy itself as to the suitability of the product(s) for its and its customers particular purposes. The customer is responsible for the appropriate, safe and legal use, processing and handling of all product(s) purchased from us.

Nothing herein is intended to be nor shall it constitute a warranty whatsoever, in particular, warranty of merchantability or fitness for a particular purpose.

SABIC as referred to herein means any legal entity belonging to the group of companies headed by SABIC Europe B.V.

Internet: [www.SABIC-europe.com](http://www.SABIC-europe.com)