



Projeto

Mestrado em Engenharia da Conceção e Desenvolvimento do Produto

***Moldes de injeção com desenroscamento
automático: casos de estudo.***

Márcio Fernando Nascimento Tavares

Leiria, março de 2016



Projeto

Mestrado em Engenharia da Conceção e Desenvolvimento do Produto

***Moldes de injeção com desenroscamento
automático: casos de estudo.***

Márcio Fernando Nascimento Tavares

Projeto de Mestrado realizado sob a orientação do Doutor Carlos Alexandre Bento Capela, Professor coordenador da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, março de 2016

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Dedicatória

À Andreia, minha esposa, pelo apoio e carinho e à Matilde Sofia, nossa filha, por ser a fonte da inspiração que me permite vencer todos os obstáculos.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Agradecimentos

Este projeto, embora sendo um trabalho individual, não teria sido possível sem a partilha de conhecimento, o apoio, o incentivo e o contributo, direto ou indireto, de várias pessoas e instituições.

Ao meu orientador, Doutor Carlos Alexandre Bento Capela um agradecimento especial, pois, para além da transmissão dos seus conhecimentos científicos, disponibilizou todo o tempo necessário e a sua amizade para que este projeto fosse possível

Ao Mestre André Santos pelo seu apoio e ajuda durante o processo de injeção dos provetes utilizados nos ensaios deste projeto.

Quero também agradecer ao Sr. Emídio Barbeiro, Vânia Sousa e restante equipa da empresa Moldemba pelo conhecimento, tempo e material disponibilizado, pois só desta forma foi possível a execução deste projeto.

E por fim, mas não menos importante, agradeço à minha família pelo incentivo, pela compreensão, pelas horas que se privaram da minha presença e pelo apoio incondicional ao longo destes anos.

Um muito obrigado a todos.

Márcio Tavares

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

“Tudo é considerado impossível até acontecer.”

Nelson Mandela

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Resumo

O fabrico de componentes em plástico pode apresentar várias vantagens relativamente aos materiais metálicos e cerâmicos. Podem ser processados em quantidades relativamente elevadas e a baixo custo, no entanto, estes componentes em plástico têm baixa resistência e são sensíveis à temperatura.

O desenvolvimento e o fabrico de moldes de injeção é uma área importante em que são utilizados *softwares* de modelação e simulação, bem como, tecnologias avançadas de fabrico (equipamentos de 5 eixos de alta velocidade, tanto de maquinação como de electroerosão) e tecnologias convencionais de maquinação e montagem.

O projeto de moldes é naturalmente uma área extremamente importante na obtenção das peças plásticas, de acordo com o pretendido pelo cliente, com tempos de ciclo de moldação adequados e dimensionado para o número de peças pretendidas.

O objetivo final deste trabalho foi o de desenvolver e fabricar dois moldes de desenroscamento automático, com recurso ao *software* de modelação TopSolid e ao *software* de simulação Moldflow.

Foi possível também, obter peças plásticas no material POM, material escolhido pelo cliente, dentro dos critérios dimensionais, estruturais e tempos de ciclo de injeção pretendidos pelo cliente.

Palavras-chave: moldes de injeção, plásticos, procedimento de projeto de moldes, fabrico de moldes

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Abstract

The manufacture of plastic components may provide several advantages over metallic materials and ceramics. They can be processed in relatively large quantities and at low cost, however, these plastic parts have low resistance and are sensitive to temperature.

The development and manufacture of injection molds is an important area in which they are used modeling and simulation software, as well, advanced manufacturing technologies (High speed 5 axis equipment so as milling and electrical Discharge Machining) and conventional machining and assembly technologies.

The mold design is naturally an extremely important area for obtaining the plastic parts, according to the customer's choice, with suitable molding cycle times and dimensioned for the desired number of pieces.

The ultimate goal of this work was to develop and manufacture two automatic unscrewing molds, using the TopSolid modeling software and Moldflow simulation software.

It was possible to obtain plastic parts in the material POM, material selected by the customer, criteria within the desired dimensional, structural and injection cycle time.

Keywords: injection mold, plastics, mold project procedure, mold manufacturing

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de figuras

Capítulo 2

Figura 2.1 - Processamento de termoplásticos: injeção.	2
Figura 2.2 - Exemplos típicos de moldes de injeção: molde de canais (esq.) e molde de canais quentes (dir.).	3
Figura 2.3 - Elementos moldantes (cavidade e bucha): esquema de montagem e ilustração da zona moldante.	4
Figura 2.4 - Postiço moldante (bucha) a montar na chapa das buchas (lado esquerdo). No lado direito da figura a zona moldante é maquinada diretamente na chapa das cavidades.	5
Figura 2.5 - Tipos de centragem das zonas moldantes: centramento por réguas, cantos, caixa e guiamento.	5
Figura 2.6 - Molde de injeção: estrutura (parte fixa e móvel).	6
Figura 2.7 - Corte de um molde onde se pode ver o guiamento da extração e o guiamento principal do molde.	7
Figura 2.8 – Guiamento: interação entre guia e casquilho.	8
Figura 2.9 – Extração: sistema guiamento.	8
Figura 2.10 – Sistema de alimentação por canais frios.	9
Figura 2.11 - Sistema de alimentação por canais quentes.	9
Figura 2.12 – Canais de alimentação: tipos de geometria.	10
Figura 2.13 – Ataque direto ou tipo gito.	11
Figura 2.14 – Ataque em diafragma ou disco.	12

Figura 2.15 – Ataque avançado ou padrão.	12
Figura 2.16 – Ataque em leque.	13
Figura 2.17 – Ataque em película ou rebarba.	13
Figura 2.18 – Ataque sobreposto.	14
Figura 2.19 – Ataque anel.	14
Figura 2.20 – Ataque aranha.	15
Figura 2.21 – Ataque tabular.	15
Figura 2.22 – Ataque canal quente ou <i>hot-probe</i> .	16
Figura 2.23 – Ataque pino ou bico de alfinete.	17
Figura 2.24 – Ataque submarino, túnel ou cinzel.	17
Figura 2.25 – Ataque submarino - variante ataque num extrator.	18
Figura 2.26 – Ataque submarino (ataque submarino curvo).	18
Figura 2.27 – Ataque valvulado, pormenor da esquerda sistema em aberto, pormenor da direita sistema em fechado.	19
Figura 2.28 – Combinação dos ataques e canais de alimentação.	19
Figura 2.29 – Exemplo de escapes de gases.	20
Figura 2.30 - Exemplo de soluções de fabrico de escape de gases.	20
Figura 2.31 - Escape de gases por extrator numa nervura da zona moldante.	21
Figura 2.32 - Escape de gases por posição moldante.	21
Figura 2.33 - Circuito de refrigeração de uma zona moldante de um molde de injeção.	22

Figura 2.34 - Circuito em U - ligação por furação cruzada.	23
Figura 2.35 - Circuito em U - ligação através de mangueira.	23
Figura 2.36 - Circuito em U - ligação por chapa de ligação.	24
Figura 2.37 - Circuito em zig-zag.	24
Figura 2.38 - Circuito para cavidades retangulares.	25
Figura 2.39 - Circuito de refrigeração para cavidades circulares.	25
Figura 2.40 - Circuito de refrigeração em cascata com palheta.	26
Figura 2.41 - Sistema convencional de extração.	27
Figura 2.42 - Tipos de extratores mais comuns.	28
Figura 2.43 - Extrator laminar aplicado num rib de uma peça plástica.	28
Figura 2.44 - Extrator cilíndrico aplicado na peça plástica.	29
Figura 2.45 - Extrator respigado aplicado num molde.	29
Figura 2.46 - Extrator tubular: sistema que permite moldar e extrair a peça plástica.	29
Figura 2.47 – Sistema de extração por placa extratora.	30
Figura 2.48 – Sistema extração por aro extrator.	30
Figura 2.49 - Extração por barras extradoras.	31
Figura 2.50 - Extração com balancé.	32
Figura 2.51 – Elemento móvel: principais componentes.	32
Figura 2.52 -Acionamento por guia.	33

Figura 2.53 -Acionamento por mola.	34
Figura 2.54 -Acionamento por hidráulico ou pneumático.	34
Figura 2.55 -Movimento rotativo de extração acionado pela abertura do molde pelo plano de junta (caso de estudo 1).	35
Figura 2.56 -Movimento rotativo de extração acionado por motor hidráulico/pneumático (caso de estudo 2).	35
Figura 2.57 - Molde de duas placas.	36
Figura 2.58 - Molde de duas placas-Molde solido (MS).	36
Figura 2.59 - Molde de duas placas - Molde Estruturado (ME) -à esquerda recurso a caixa, à direita recurso ao aro.	37
Figura 2.60 - Molde de duas placas - Molde Estruturado (ME) -à esquerda recurso a caixa, à direita recurso ao aro.	37
Figura 2.61 - Molde de três placas ou flutuante.	38
Figura 2.62 - Molde com elementos móveis.	39
Figura 2.63 - Molde com canais quentes.	39
Figura 2.64 – Sistemas de injeção com carburador (marca yudo).	40
Figura 2.65 – Molde com sistema de injeção com carburador.	40
Figura 2.66 – <i>Stack mold</i> .	41
Figura 2.67 – Peças diferentes a ser moldadas- <i>Stack mold</i> .	41
Figura 2.68 – <i>Stack mold</i> – identificação das aberturas e suporte das cavidades.	42
Figura 2.69 – Molde com núcleo rotativo com 32 cavidades – acionamento por cremalheira e rodas dentadas.	43

Figura 2.70 – Molde com núcleo rotativo (com 4 cavidades) – acionamento por fuso e porca helicoidal.	44
Figura 2.71 – Exemplo molde família com peças com diferentes geometrias.	44
Figura 2.72 – Exemplo <i>split</i> molde – acionamento por mola.	45
Figura 2.73 – Exemplo peça bi-material - Lexan (azul) +TPE (vermelho).	45
Figura 2.74 – Molde bi-material, processo transferência – duas posições de injeção.	46
Figura 2.75 – Molde bi-material processo automático – lado esquerdo chapa rotativa, lado direito prato rotativo.	46
Figura 2.76 – Ciclo de Injeção.	47
Figura 2.77 – Classificação geral dos polímeros.	48
 Capítulo 3 	
Figura 3.1 - Vista explodida da montagem recebida do cliente.	49
Figura 3.2 – Peça plástica modelada e referente ao molde de injeção 827.	50
Figura 3.3 - 2D recebido do cliente após aprovação da modelação da peça plástica.	51
Figura 3.4 – Exemplo de uma zona negativa.	52
Figura 3.5 – Preliminar 2D do molde.	53
Figura 3.6- Vistas do molde de injeção (827) fechado. Na figuração estão indicadas a numeração das chapas.	54
Figura 3.7 -Vista global molde de injeção (827): lado injeção e lado da extração.	55
Figura 3.8 – Molde de injeção com indicação dos vários componentes do molde 827 (vista em corte: seção A-A (desenho 2D final para montagem)).	58

Figura 3.9 - Molde de injeção com indicação dos vários componentes do molde 827 (vista em corte: seção B-B (desenho 2D final para montagem)).	59
Figura 3.10 – Circuito de refrigeração do lado da injeção (molde 827).	60
Figura 3.11 – Circuitos de refrigeração do lado da extração (molde 827).	61
Figura 3.12 – Pormenor da injeção do molde (827) em corte (retirado do 2D).	62
Figura 3.13 – Pormenor do ataque submarino em corte (retirado do 2D).	62
Figura 3.14 – Pormenor da calote em planta (retirado do 2D).	62
Figura 3.15 – Corte ilustrativo do canal de injeção (retirado do 2D).	62
Figura 3.16 – Enchimento da peça plástica obtido por software Moldflow (material POM) a 25%.	63
Figura 3.17 – Enchimento da peça plástica obtido por software Moldflow (material POM) a 50%.	64
Figura 3.18 – Enchimento da peça plástica obtido por software Moldflow (material POM) a 75%.	64
Figura 3.19 – Enchimento da peça plástica obtido por software Moldflow (material POM) a 100%.	65
Figura 3.20 – Linhas de soldadura da peça plástica obtidas por software Moldflow (material POM).	65
Figura 3.21 – Zonas de prisão de gases (pontos a verde) da peça plástica obtidas por software Moldflow (material POM).	66
Figura 3.22 – Zonas de escapes de gases entre peças do molde (linhas a vermelho) (retirado do 2D).	66
Figura 3.23 – Sistema de guiamento principal do molde (retirado do 2D).	67

Figura 3.24 – Sistema de guiamento da extração do molde (retirado do 2D).	67
Figura 3.25 – Centramento da peça 86 (lado da extração, com setas a indicar a zona de centramento).	68
Figura 3.26 – Centramento da peça 340 (lado da injeção com setas a indicar a zona de centramento).	68
Figura 3.27 – Zona de centramento (linha a vermelho, mostra o ajustamento entre as peças 86 e 340 com o molde fechado (retirado do 2D)).	68
Figura 3.28 – Zona de centramento (linha a vermelho, mostra o ajustamento entre as peças 200A e 100, com o molde fechado (retirado do 2D)).	69
Figura 3.29 – Extrator tubular (E3) - vista em corte (retirado do 2D).	69
Figura 3.30 – Zona negativa do gito (retirado do 2D).	70
Figura 3.31 – Norma interna para a extração de ataques submarinos (retirado do 2D).	70
Figura 3.32 – Negativo maquinado na peça 200A (assinalado com as setas vermelhas e desenhado com linha verde no pormenor 2D).	70
Figura 3.33 – Funcionamento do molde 827, ponto 1 e ponto 2.	71
Figura 3.34 – Pormenor do desenroscamento, ponto 2.	72
Figura 3.35 – Funcionamento do molde 827, ponto 3.	72
Figura 3.36 - Peça plástica modelada, referente ao molde de injeção 828.	73
Figura 3.37 - 2D recebido do cliente após aprovação da modelação da peça plástica.	74
Figura 3.38 – Exemplo de zona negativa.	75
Figura 3.39 – Preliminar 2D do molde.	76

Figura 3.40 – Vistas do molde de injeção (828) fechado. Na figuração estão indicadas a numeração das chapas.	77
Figura 3.41- Vista global do molde de injeção (828): lado da injeção e lado da extração.	78
Figura 3.42 – Molde de injeção com indicação dos vários componentes do molde 828 (vista em corte: seção A-A (desenho 2D final para montagem)).	82
Figura 3.43 - Molde de injeção com indicação dos vários componentes do molde 828 (vista em corte: seção B-B (desenho 2D final para montagem)).	82
Figura 3.44 - Molde de injeção com indicação dos vários componentes do molde 828 (vista em corte: seção C-C (desenho 2D final para montagem)).	83
Figura 3.45 - Circuito de refrigeração do lado da injeção (molde 828).	84
Figura 3.46 - Circuitos de refrigeração do lado da extração (molde 828).	85
Figura 3.47 – Pormenor da injeção do molde (828) em corte (retirado do 2D).	86
Figura 3.48 – Pormenor do ataque à junta em corte longitudinal (à esquerda) e transversal (à direita) (retirado do 2D).	86
Figura 3.49 – Pormenor do ataque à junta e da calote em planta (retirado do 2D).	87
Figura 3.50 – Corte ilustrativo do canal de injeção (retirado do 2D).	87
Figura 3.51 – Enchimento da peça plástica obtido por software Moldflow (material POM) a 25%.	88
Figura 3.52 – Enchimento da peça plástica obtido por software Moldflow (material POM) a 50%.	88
Figura 3.53 – Enchimento da peça plástica obtido por software Moldflow (material POM) a 75%.	89

Figura 3.54 – Enchimento da peça plástica obtido por software Moldflow (material POM) a 100%.	89
Figura 3.55 – Linhas de soldadura da peça plástica obtidas por software Moldflow (material POM).	90
Figura 3.56 – Zonas de prisão de gases (pontos a verde) da peça plástica obtidas por software Moldflow (material POM).	90
Figura 3.57 – Zonas de escapes de gases entre peças do molde (linhas a vermelho) (retirado do 2D).	91
Figura 3.58 – Sistema de guiamento principal do molde (retirado do 2D).	92
Figura 3.59 - Sistema de guiamento secundário do molde (retirado do 2D).	92
Figura 3.60 – Sistema de guiamento da extração do molde (retirado do 2D).	92
Figura 3.61 – Peças 200A e 100 com setas a indicar a zona de centramento.	93
Figura 3.62 – Linha a vermelho a mostrar o ajustamento entre as peças 200A e 100 com o molde fechado (retirado do 2D).	93
Figura 3.63 – Ilustrativo das peças intervenientes na extração da peça plástica (retirado do 2D).	94
Figura 3.64 – Desenho 2D da peça 301/EF1 – extrator fixo (retirado do 2D).	95
Figura 3.65 - Peças intervenientes na extração do gito (retirado do 2D).	95
Figura 3.66 – Funcionamento do molde 828, ponto 1.	96
Figura 3.67 – Funcionamento do molde 828, ponto 2.	97
Figura 3.68 – Funcionamento do molde 828, pormenor peças 100A.	97
Figura 3.69 – Funcionamento do molde 828, ponto 3.	98
Figura 3.70 – Funcionamento do molde 828, ponto 4.	99

Figura 3.71 – Funcionamento do molde 828, ponto 5.	99
Figura 3.72 – Funcionamento do molde 828, ponto 6.	100
Figura 3.73 – Funcionamento do molde 828, ponto 7.	101
Figura 3.74 – Máquinas utilizadas no processo de fabrico do molde.	103
Figura 3.75 – Exemplos de peças executadas pelos variados processos de maquinação utilizados.	104

Capítulo 4

Figura 4.1 – Máquina de injeção Euro Inj Série D-080 da Lien Yu.	106
Figura 4.2 – Geometria dos provetes de tração (dimensões em mm).	106
Figura 4.3 - Equipamento de ensaio de tração: à esquerda) máquina; à direita) pormenor do sistema de amarras.	107
Figura 4.4 – Módulos de operação de um conjunto DMA: a) compressão; b) fadiga; c) oscilação com carga estática; d) tração e e) flexão em três pontos.	107
Figura 4.5 – Equipamento DMA usado nos estudos.	108
Figura 4.6 – Balança eletrónica de precisão usada na determinação das densidades.	108

Capítulo 5

Figura 5.1 – Valores de densidade experimental obtidos com os materiais e compósitos com fibras curtas de vidro processados por injeção.	110
Figura 5.2 - Curvas típicas de tensão máxima à tração <i>versus</i> extensão, para POM virgem, POM10% FC.	110
Figura 5.3 - Resultados relativos à tensão em tração do POM virgem e POM10%FC obtidos nos ensaios mecânicos.	111

Figura 5.4 - Resultados relativos ao módulo em tração do POM virgem e POM10%FC obtidos nos ensaios mecânicos. 112

Figura 5.5 - Curvas de variação do módulo de elasticidade à flexão (Eflexão) *versus* temperatura para os compósitos de matriz POM com fibras curtas. 112

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de tabelas

Capítulo 3

Tabela 3.1 - Lista de aços referentes à estrutura do molde: pedidos de orçamento.	56
Tabela 3.2 - Composição química do aço 1.1730.	56
Tabela 3.3 - Propriedades físicas do aço 1.1730.	56
Tabela 3.4 - Lista final de material do molde 827.	56
Tabela 3.5 - Lista de aços referentes à estrutura do molde: pedidos de orçamento.	79
Tabela 3.6 - Composição química do aço 1.1730.	79
Tabela 3.7 - Propriedades físicas do aço 1.1730.	79
Tabela 3.8 - Lista final de material do molde 828.	79

Capítulo 4

Tabela 4.1 - Propriedades do material polióxido de metileno (pom).	105
--	-----

Capítulo 5

Tabela 5.1 - Valores de densidade medida e valores de densidade obtidos pela lei das misturas.	109
Tabela 5.2 - Resultados relativos às propriedades mecânicas à tração do POM virgem, POM 10% FC, obtidos nos ensaios mecânicos.	111
tabela 5.3 - Valores médios e desvios padrão relativos às propriedades mecânicas à tração do POM virgem e POM 10%FC.	111

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de siglas

DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
MS	moldes sólidos
ME	moldes estruturados
PL	<i>Parting line</i> (linha de junta)
POM	Polióxido de metileno, acetal ou poliacetal
3D	três dimensões
IGS	<i>Initial Graphics Exchange Specification</i>
CAD	<i>Computador Aided Design</i>
CAM	<i>Computador Aided Manufacturing</i>
2D	duas dimensões
C	Carbono
Mn	Manganês
Si	Silício
P	Fósforo
S	Enxofre
HB	Dureza <i>Brinell</i>
R _m	Resistência à tração
N	<i>Newton</i>
mm	milímetros
mm ²	milímetros quadrados
cm ²	centímetros quadrados
HRC	Dureza <i>Rockwell</i> (com cone de diamante)
°C	graus <i>Celsius</i>
°K	graus <i>Kelvin</i>
°	graus

m	metro
W	<i>Watt</i>
n°	número
L	comprimento
s	segundos
KN	Quilo <i>Newton</i>
Ø	diâmetro
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MPa	Mega <i>Pascal</i>
KJ	Quilo <i>Joule</i>
m ²	metros quadrados
g	gramas
min	minutos
Kg	Quilograma
h	hora
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
DMA	<i>Dynamic Mechanical Analysis</i>
<i>T_g</i>	temperatura de transição vítrea
<i>m_c</i>	massa do material
<i>m_a</i>	massa aparente
<i>T_{H2O}</i>	temperatura da água
ρ	densidade
ρ_{H2O}	densidade da água
rpm	rotações por minuto
FC	fibras curtas
MEV	Análise de microscopia eletrónica de varrimento

Índice

DEDICATÓRIA	III
AGRADECIMENTOS	V
RESUMO	IX
ABSTRACT	XI
LISTA DE FIGURAS	XIII
LISTA DE TABELAS	XXV
LISTA DE SIGLAS	XXVII
ÍNDICE	XXIX
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Estrutura	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1. Processos de transformação de termoplásticos	2
2.2. Moldes de injeção	3
2.2.1. Elementos estruturais: zonas moldantes e estrutura	4
2.2.2. Guiamento	7
2.2.3. Sistema de alimentação	8
2.2.3.1. Sistema de canais frios	9
2.2.3.2. Sistema de canais quentes	10
2.2.3.3. Ataques	10
2.2.4. Escape de gases	19
2.2.5. Sistema de refrigeração do molde	22

2.2.6.	Extração	26
2.2.6.1.	Sistemas de extração convencionais	28
2.2.6.2.	Sistemas de extração complexos	31
2.3.	Tipos de moldes	35
2.3.1.	Moldes de duas placas	36
2.3.2.	Moldes de três placas ou flutuante	38
2.3.3.	Moldes com elementos móveis	38
2.3.4.	Moldes de canais quentes	39
2.3.5.	<i>Stack mold</i> (moldes <i>sandwich</i>)	40
2.3.6.	Moldes com núcleo rotativo (moldes de desenroscamento automático)	42
2.3.7.	Molde família	44
2.3.8.	<i>Split</i> molde	45
2.3.9.	Molde bi-Material	45
2.4.	Ciclo de injeção	47
2.5.	Materiais plásticos (poliméricos)	47

3. PROJETO E FABRICO DE MOLDES DE DESENROSCAMENTO AUTOMÁTICO 49

3.1.	Introdução	49
3.2.	Projeto Moldes 827 e 828: considerações	50
3.2.1.	Caso de estudo 1: Molde 827	50
3.2.1.1.	Constituintes do molde	56
3.2.1.2.	Refrigeração	59
3.2.1.3.	Sistema de injeção e escape de gases	61
3.2.1.4.	Guiamento e centramento no molde	66
3.2.1.5.	Extração no molde	69
3.2.1.6.	Funcionamento do molde 827	71
3.2.2.	Caso de Estudo 2: Molde 828	73
3.2.2.1.	Constituintes do molde	79
3.2.2.2.	Refrigeração	83
3.2.2.3.	Sistema de injeção e escape de gases	85
3.2.2.4.	Guiamento e centramento no molde	91
3.2.2.5.	Extração no molde	94
3.2.2.6.	Funcionamento do molde 828	96
3.3.	Fabrico dos moldes presentes nos casos de estudo e processos utilizados	102

4.	MATERIAIS E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	105
4.1.	Materiais utilizados no fabrico das peças plásticas	105
4.2.	Processamento por injeção dos provetes	105
4.3.	Caraterização mecânica e física dos materiais injetados	106
4.3.1.	Geometria e dimensões dos provetes	106
4.3.2.	Equipamentos utilizados nos ensaios realizados	106
5.	ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	109
5.1.	Projeto e fabrico de moldes	109
5.2.	Materiais utilizados no fabrico das peças plásticas	109
6.	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	113
	BIBLIOGRAFIA (REFERENCIADA E CONSULTADA)	115
	ANEXOS	117
	Anexo 1 - Especificações rolamento referência 81113-TV da Ina-FAG	119
	Anexo 2a – Cálculos relativos à escolha do rolamento 81113-TV da Ina-FAG	120
	Anexo 2b - Verificação da viabilidade deste rolamento com base no catálogo WL 41 520/3 PB da Ina-FAG	121
	Anexo 3 - Especificações rolamento referência 16008 da Ina-FAG	125
	Anexo 4 - Especificações Motor referência BMR-80-C25-A-G da Blumec	126
	Anexo 5 - Especificações máquina de injeção usada no teste do molde 827 (caso de estudo1)	129
	Anexo 6 - Especificações de exemplo para o aço 1.1730	130
	Anexo 7 - Análise estrutural da chapa 3 sobre o efeito da pressão de injeção na zona da cavidade	131
	Anexo 8 - Análise estrutural da chapa 11 sobre o efeito da pressão de injeção na zona das cavidades	134

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

1. Introdução

1.1. Enquadramento

O processamento de termoplásticos, bem como, o desenvolvimento e fabrico de moldes de injeção é uma atividade importante na região de Leiria. Os primeiros moldes foram concebidos, ainda no século XIX, quando os irmãos Hyatt, nos Estados Unidos patentearam a primeira máquina de injeção para um material celulósico. O fabrico de componentes em plástico podem apresentar várias vantagens relativamente aos materiais metálicos e podem ser processados em quantidades relativamente elevadas e a baixo custo.

O desenvolvimento e o fabrico de moldes de injeção é uma área importante em que são utilizados *softwares* de modelação e simulação, bem como, tecnologias avançadas (equipamentos de maquinação de 5 eixos de alta velocidade e equipamentos de electroerosão) e tecnologias convencionais de maquinação e montagem.

O projeto de moldes é naturalmente uma área extremamente importante na obtenção das peças plásticas, de acordo com o pretendido pelo cliente, com tempos de ciclo de moldação adequados e dimensionado para o número de peças pretendidas.

O objetivo final deste trabalho foi o de desenvolver e fabricar dois moldes de desenroscamento automático. Este trabalho de desenvolvimento, foi realizado com recurso ao *software* de modelação Topsolid e ao *software* de simulação Moldflow.

1.2. Estrutura

Capítulo 1 – Introdução: neste capítulo é feita uma breve introdução ao aparecimento e mais-valias da indústria dos moldes para termoplásticos, à importância do projeto na obtenção de peças plásticas conforme pretendido e uma descrição do estudo efetuado.

Capítulo 2 – Revisão bibliográfica: neste capítulo foi realizado uma revisão bibliográfica na área dos principais processos de transformação de polímeros termoplásticos utilizados na indústria, moldes de injeção, tipos de moldes, ciclo de injeção e materiais plásticos.

Capítulo 3 – Projeto e fabrico de moldes de desenroscamento automático: neste capítulo é apresentado o desenvolvimento de dois moldes de desenroscamento automático, ao nível do projeto, estudo reológico e fabrico dos mesmos.

Capítulo 4 – Materiais e procedimentos experimentais: neste capítulo foram processados e caracterizados em termos mecânicos e físicos as propriedades dos materiais considerados no estudo.

Capítulo 5 - Análise e discussão de resultados: neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados dos ensaios realizados.

Capítulo 6 – Conclusões e trabalhos futuros: neste capítulo são apresentados as principais conclusões obtidas neste estudo.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Processos de transformação de termoplásticos

Os materiais plásticos são muito utilizados no fabrico de peças plásticas para as diferentes áreas industriais tais como: indústria automóvel, aeronáutica, alimentar, naval, domestica, etc. Os processos mais utilizados no processamento de termoplásticos são: extrusão, moldação por injeção, moldação por sopro, filme, termoformação e moldagem rotacional [1]. O processamento de termoplásticos é constituído pelas seguintes fases: aquecimento da matéria-prima até à fusão; transporte do fundido até ao molde ou a uma fieira; arrefecimento do fundido até a peça adquirir suficiente consistência. A matéria-prima, na maioria dos processos, é constituída por grânulos ou pós. Estes materiais têm uma condutividade térmica (cerca de $0,1\text{W/m}^{\circ}\text{C}$) o que tem grande influência no processamento.

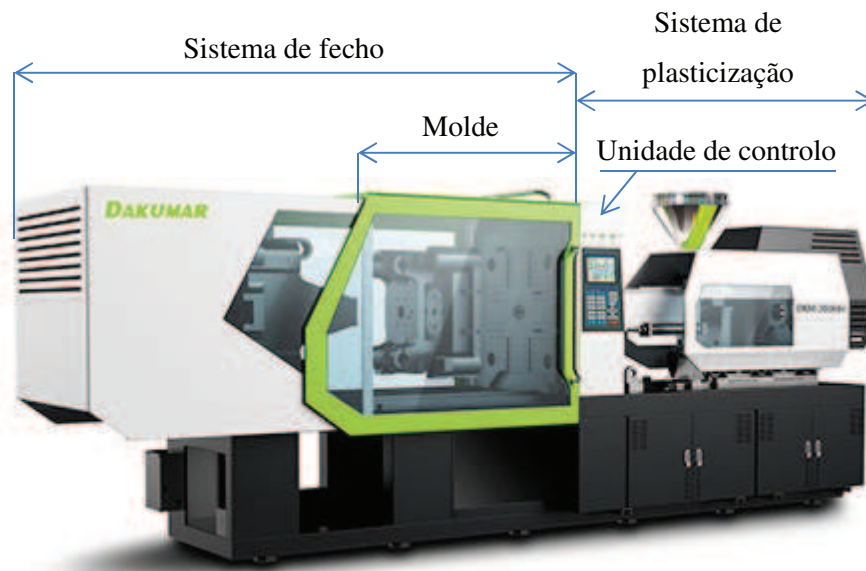


Figura 2.1 - Processamento de termoplásticos: injeção [2].

A máquina de injeção é constituída, essencialmente, por quatro sistemas funcionais (figura 2.1):

1. Sistema de plasticização: promove o aquecimento, fusão e transporte do material da tremonha para o molde;
2. Molde: constituído por duas partes (injeção e extração) mantidas fechadas durante a injeção do material fundido e que abrem para extração da peça plástica;
3. Sistema de fecho: sistema que garante o fecho do molde durante a fase de injeção e que movimenta a parte móvel durante o ciclo;
4. Sistema de potência: constituído por um sistema hidráulico para acionamento do sistema de fecho e sistema de injeção.

Neste estudo pretende-se projetar moldes de desenroscamento automático por injeção de peças, para o fabrico de equipamentos para a área da saúde. Consequentemente, vai ser dado o enfoco no processo de moldação por injeção e na área do projeto de molde de injeção. Este processo permite produzir elevadas quantidades de peças plásticas (material polimérico ou compósito com fibras ou *fillers*) a custos bastante competitivos.

Permite também a obtenção de peças de grandes dimensões e peso, bem como, peças de

dimensões reduzidas. A produção de peças plásticas pode ser em larga escala, com boa precisão dimensional, bom acabamento superficial, selecionar o material mais adequado (material plástico ou material compósito com fibras), boas propriedades mecânicas, etc.

2.2. Moldes de injeção

Os moldes de injeção, (Figura 2.2) têm como finalidade processar peças plásticas com boas propriedades mecânicas, bom acabamento superficial e dimensões de acordo com as especificações do cliente. O funcionamento de um molde de injeção consiste num somatório de sistemas funcionais, com o objetivo de injetar material termoplástico dentro do espaço formado pela cavidade e bucha (zonas moldantes). Este processo é naturalmente realizado em condições controladas (temperatura cilindro de plasticização, temperatura do molde, pressão de injeção e pressão de manutenção) [3].

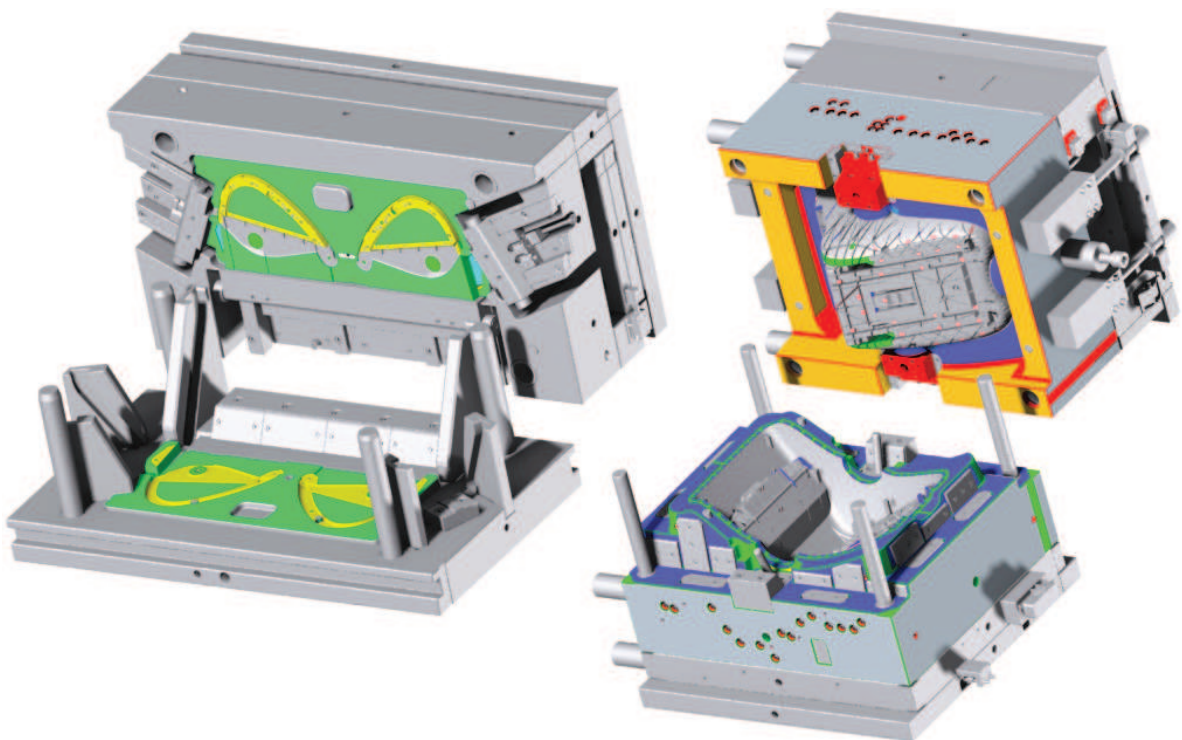


Figura 2.2 - Exemplos típicos de moldes de injeção: molde de canais (esq.) e molde de canais quentes (dir.).

Os sistemas funcionais que constituem os moldes de injeção são:

- Zonas moldantes: têm como objetivo definir a forma final da peça plástica, estas zonas podem estar integradas na estrutura do molde ou podem ser elementos postiços;
- Guiamento: garante o alinhamento de toda a estrutura do molde, bem como, o guiamento da cavidade com a bucha;
- Sistema de alimentação: é formado pelo gito, canal de alimentação e ataque. Este sistema vai permitir o fluxo de material plástico no estado de fundido, desde o bico da máquina de injeção até à zona moldante;
- Escape de gases: este sistema tem como objetivo deixar escapar o ar/gases existentes no interior da zona moldante, de modo a poder ser substituído pelo material plástico no estado de fundido, para a execução da peça plástica sem o aparecimento de zonas

- queimadas;
- Sistema de controlo de temperaturas: tem como objetivo a homogeneização (e estabilização) do molde (zonas moldantes - cavidade e bucha) e o seu consequente arrefecimento de forma eficiente e rápida;
 - Sistema de extração: sistema mecânico que permite a remoção da peça plástica da zona moldante (bucha).

2.2.1. Elementos estruturais: zonas moldantes e estrutura

Os componentes que definem a geometria da peça plástica a processar, bem como, o sistema de alimentação de plástico, constituem os elementos fundamentais a ter em conta no projeto e fabrico do molde de injeção de peças técnicas. A zona moldante é o espaço vazio que é definido pelo fecho dos elementos moldantes (cavidade e a bucha) que será preenchido pelo material termoplástico fundido (figura 2.3).

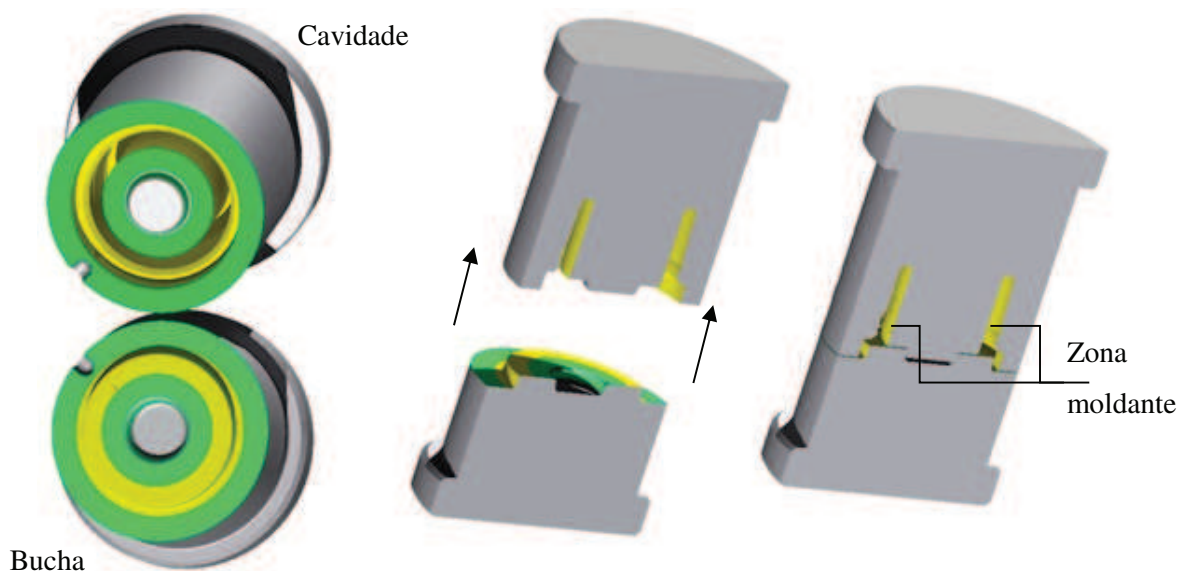


Figura 2.3 - Elementos moldantes (cavidade e bucha): esquema de montagem e ilustração da zona moldante.

As zonas moldantes podem ser maquinadas diretamente nas chapas das buchas e/ou cavidades. Normalmente são utilizados postigos maquinados (elementos moldantes - buchas e cavidades) que são posteriormente montados nas chapas da estrutura do molde (chapa das buchas e chapa das cavidades). Segue abaixo um exemplo, em que são aplicados ambos os conceitos, isto é, no lado da extração as buchas são postigos e no lado da injeção as cavidades são executadas diretamente na chapa das cavidades (figura 2.4).

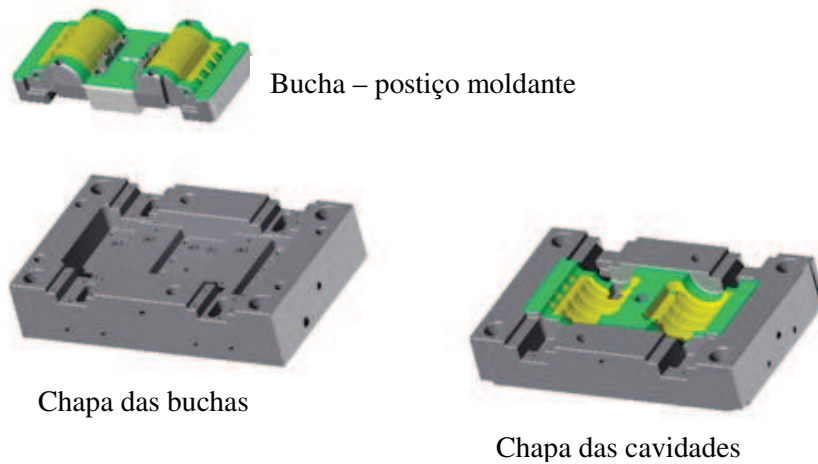


Figura 2.4 - Posição moldante (bucha) a montar na chapa das buchas (lado esquerdo). No lado direito da figura a zona moldante é maquinada diretamente na chapa das cavidades.

Para ser possível remover a moldação (peça mais canais no caso de um molde de canais frios), o molde abre pelo plano de junta.

No fecho do molde, pode-se verificar defeitos nas peças a processar que podem resultar de descentramentos entre a bucha e a cavidade. Para minimizar este tipo de problemas podem ser utilizadas varias opções de centragem (figura2.5): centragem por réguas, cantos, caixa ou centragem por guiamento.

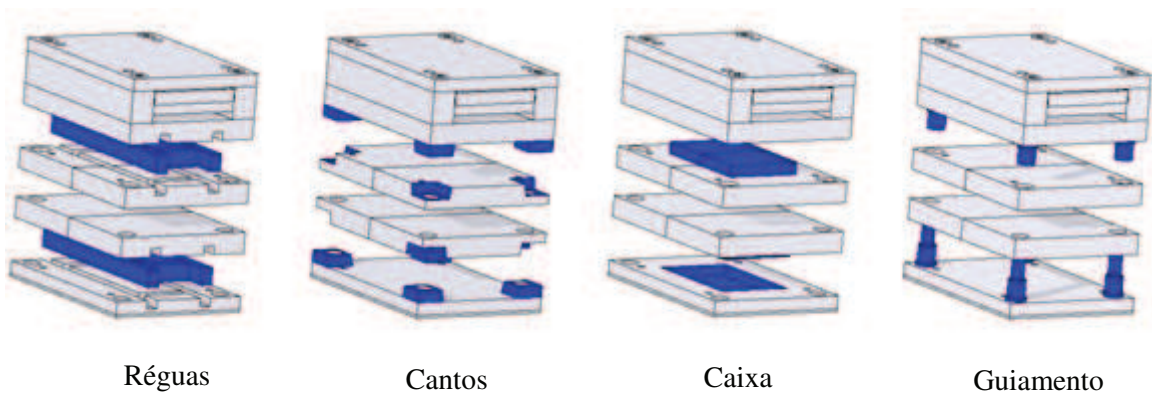


Figura 2.5 - Tipos de centragem das zonas moldantes: centramento por réguas, cantos, caixa e guiamento.

A estrutura do molde é constituída por chapas com diferentes dimensões em função da geometria, do tamanho da peça plástica a processar e das pressões de injeção. O molde é basicamente constituído por duas partes: a móvel e a fixa (figura 2.6). A parte móvel é constituída pela chapa de aperto da extração, calços, chapa de fixação dos extratores, chapa dos extratores, chapa de reforço das buchas e chapa das buchas. A parte fixa do molde é constituída pela chapa de aperto da injeção e pela chapa das cavidades.

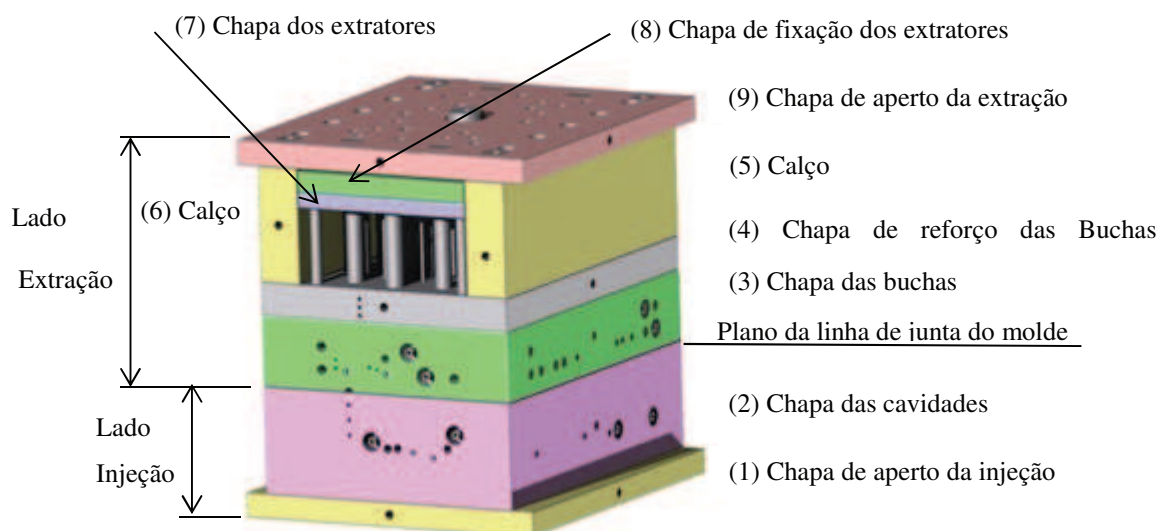


Figura 2.6 - Molde de injeção: estrutura (parte fixa e móvel).

As diferentes chapas que constituem a estrutura de um molde de injeção podem ainda ser definidas como:

Chapa de aperto da injeção - localizada no lado da injeção (lado fixo), esta chapa tem como principal função promover a fixação do lado da injeção no prato da máquina de injeção. Tem, também, como função alojar e dar apoio ao injetor (sistema de injeção), fixar o anel de centragem e apoiar as cabeças das guias principais e posições moldantes da cavidade.

Chapa das cavidades - localizada no lado da injeção (lado fixo), tem como função alojar as cavidades (caso estas sejam postiças, pois, também podem ser maquinadas diretamente nesta chapa), alojar o sistema de refrigeração das cavidades (circuitos maquinados no interior da chapa em torno da zona moldante) e as guias principais são encastradas nesta chapa.

Chapa das Buchas - localizada no lado da extração (lado móvel), tem como função alojar as buchas (caso estas sejam postiças, pois, também podem ser executadas diretamente nesta chapa), alojar o sistema de refrigeração para as buchas e os casquilhos principais são também encastrados nesta chapa.

Chapa de reforço das buchas - localizada no lado da extração (lado móvel), tem como função suportar a pressão de injeção exercida pela máquina de injeção sobre o molde. Nesta chapa são executados furos de passagem para os extratores e é fixa à chapa das buchas através de parafusos.

Calços - localizados no lado da extração (lado móvel), a sua função é alojar as chapas dos extratores e a chapa de fixação dos extratores, dando espaço para o seu funcionamento e suporte a toda a montagem do lado da extração.

Chapa dos extratores - localizada no lado da extração (lado móvel), tem como função alojar a cabeça dos extratores (sistema de extração), é fixa à chapa de fixação dos extratores através de parafusos.

Chapa de fixação dos extratores - localizada no lado da extração (lado móvel), tem como função transmitir o movimento recebido do KO da máquina de injeção e dar apoio às cabeças dos extratores. Esta chapa aloja a cabeça dos parafusos que executam a sua fixação à chapa dos extratores.

Chapa de aperto da extração - localizada no lado da extração (lado móvel), tem

como principal função promover a fixação do lado da extração ao prato móvel da máquina de injeção. Nesta chapa são executados os alojamentos para os parafusos que promovem o aperto de todo o lado da extração e o furo de passagem para a haste do KO da máquina de injeção de modo a transmitir o movimento ao sistema de extração.

2.2.2. Guiamento

O molde de injeção é constituído por vários sistemas mecânicos com movimento alternado perpendicular ao plano de junta (sistema de extração e sistema de abertura do molde pelo plano de junta) e, conseqüentemente necessitam de ser guiados. Este guiamento é feito com guias e casquilhos (figura 2.7).

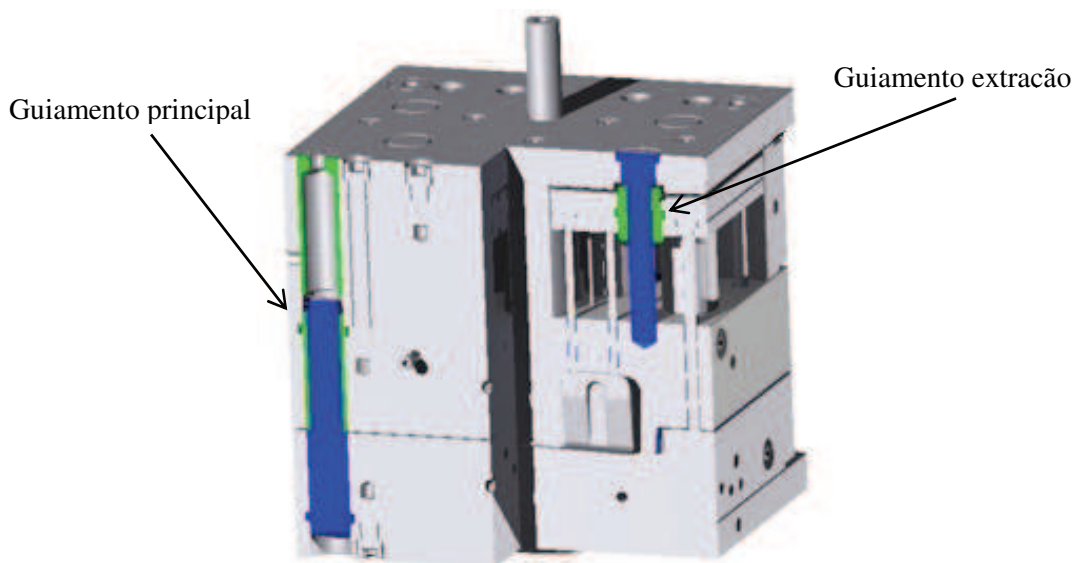


Figura 2.7 - Corte de um molde onde se pode ver o guiamento da extração e o guiamento principal do molde.

O guiamento principal do molde, (abertura e fecho do molde) tem como função garantir o transporte do molde fechado em condições de segurança, montagem do molde na máquina de injeção e funcionamento guiado do molde na máquina de injeção. Este guiamento é muito importante quando é necessário fazer operações de ajustamento. A seleção do diâmetro e dimensões das guias são função da rigidez e resistência mecânica inerentes, necessárias ao bom funcionamento do molde (garantir alinhamentos do sistema e suportar as solicitações de carregamento), bem como considerações relativas à geometria e dimensões da peça plástica a processar. Existem no mercado, fornecedores com soluções para este tipo de aplicações.

O comprimento das guias é, como referido em acima, em função da geometria da zona moldante, isto é, o comprimento da guia tem de ser o suficiente para que a guia seja guiada pelos casquilhos antes de existir contato entre as cavidades e buchas do molde. É de salientar que, a zona do cone de alinhamento entre a guia e o casquilho tem de ser descontado ao comprimento útil da guia (figura 2.8) [4].

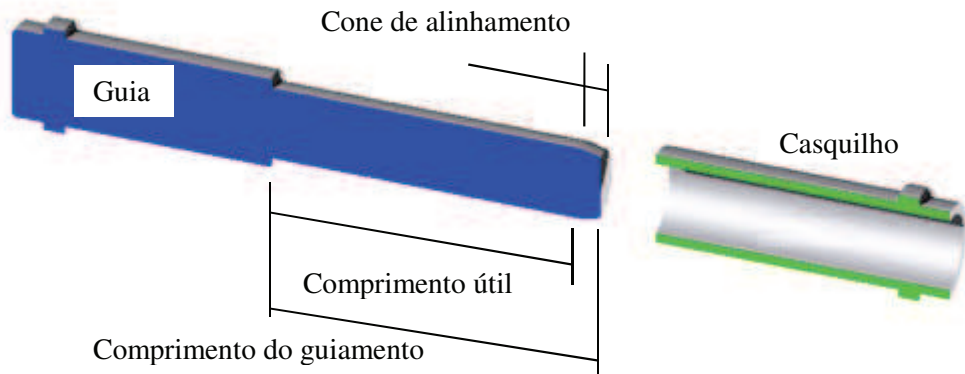


Figura 2.8 – Guiamento: interação entre guia e casquilho.

O guiamento do sistema de extração tem como função guiar as chapas 7 e 8 do molde, quando o sistema é acionado para extrair a moldação, garantindo o correto funcionamento do sistema. Este aspecto é extremamente importante quando os extratores utilizados, devido à geometria da peça, são de diâmetro reduzido ou a distribuição da força de extração não for balanceada (figura 2.9) [4].

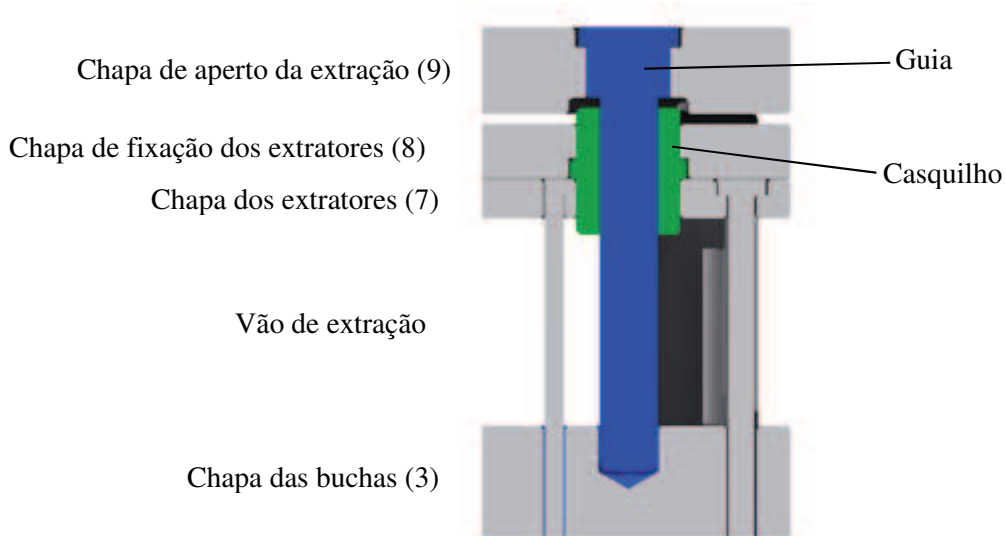


Figura 2.9 – Extração: sistema guiamento.

2.2.3. Sistema de alimentação

O sistema de alimentação (injeção do fundido) pode ser realizado de duas maneiras: canais frios ou por canais quentes. Nas figuras 2.10 e 2.11 podemos observar as diferenças destes dois sistemas de alimentação.

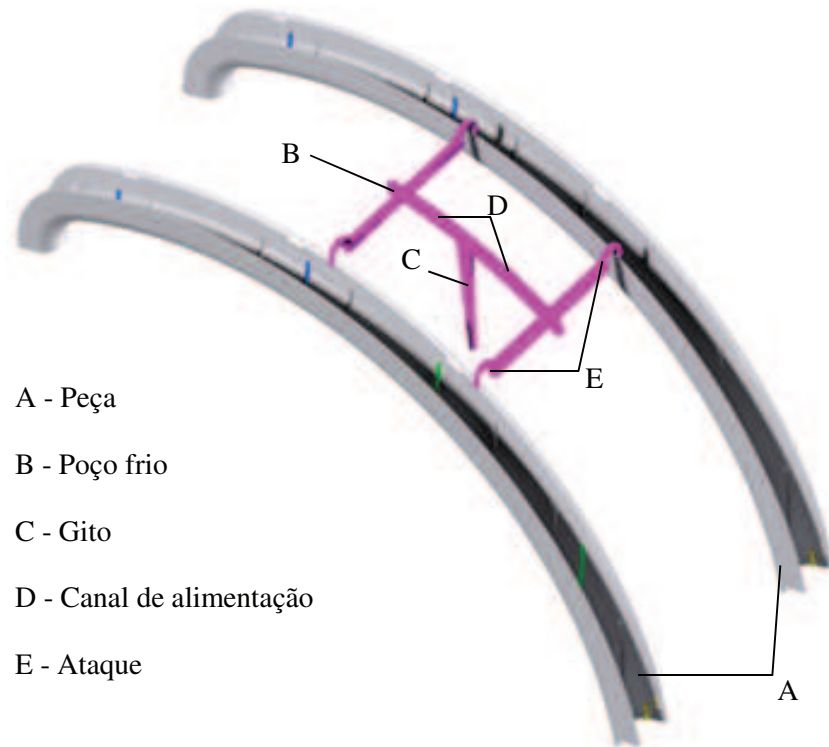


Figura 2.10 – Sistema de alimentação por canais frios.

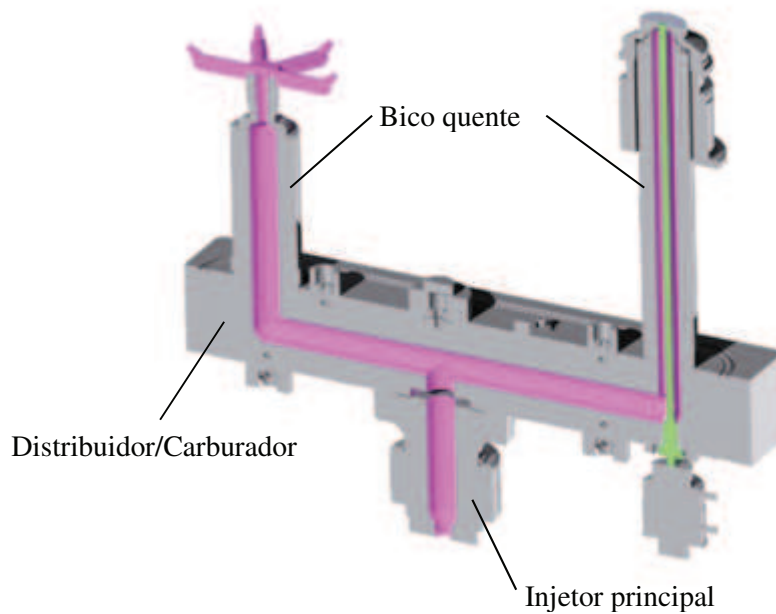


Figura 2.11 - Sistema de alimentação por canais quentes.

2.2.3.1. Sistema de canais frios

Os canais frios são maquinados numa ou mais chapas do molde, pelos quais o material termoplástico (fundido) é encaminhado desde o bico de injeção até às zonas moldantes. O material

ao sair do bico de injeção passa pelo canal gito que pode estar ligado diretamente à zona moldante ou distribuir o material por um ou mais canais de alimentação. Estes, por sua vez, podem estar ligados às zonas moldantes através de ataques (pontos de injeção) ou pode existir ainda uma subdivisão em canais de alimentação secundários, em que estes estão ligados à zona moldante através dos ataques (figura 2.10).

Os canais de alimentação podem apresentar variadas geometrias conforme se pode observar na figura 2.12. A geometria trapezoidal adaptada é a mais utilizada apesar do canal circular ser mais eficiente. Este canal, obriga a que a sua maquinação seja executada em ambos os lados do molde. Assim, o canal trapezoidal adaptado é a opção mais viável tendo em conta a sua maquinação *versus* eficiência [5].

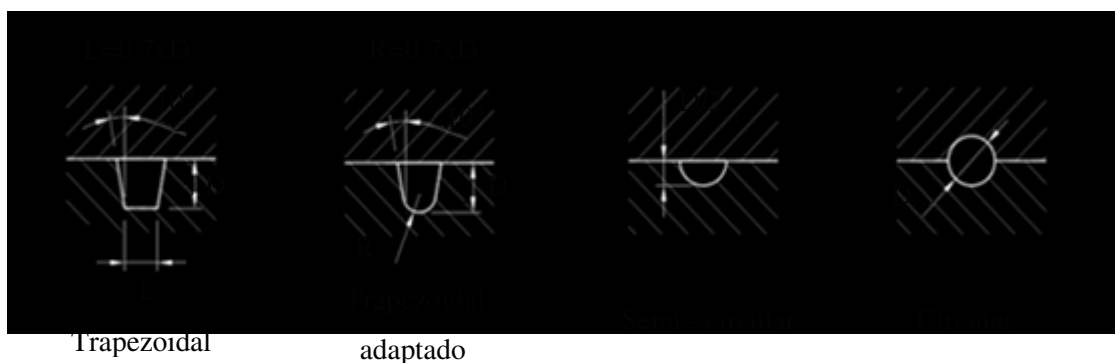


Figura 2.12 – Canais de alimentação: tipos de geometria.

2.2.3.2. Sistema de canais quentes

Neste sistema de alimentação são utilizados canais e bicos para o escoamento do plástico à temperatura de processamento, controlados termicamente por um controlador e termopares (figura 2.11). O plástico no estado de fundido entra no molde (zona moldante) à temperatura de processamento e o percurso do material fundido desde a máquina de injeção até à zona moldante é o seguinte: bico da máquina de injeção, injetor principal, carburador/distribuidor e bicos de injeção. Os componentes que mantêm o material no estado de fundido durante todo o tempo de funcionamento do molde, são o distribuidor e os bicos que possuem resistências elétricas (15 a 25 W/cm²). Este sistema de alimentação tem as seguintes vantagens relativamente ao sistema de canais frios: inexistência de desperdício de material plástico processado, a moldação não ter canais nem gito, menor tempo de ciclo de moldação, permite o processamento de peças complexas e minimiza as marcas de injeção. No entanto, este tipo de sistemas não é aconselhável para ser utilizado com materiais termodegradáveis e/ou com retardante de chamas adicionado [5].

2.2.3.3. Ataques

A geometria do ataque (ponto de injeção) pode ter diferentes formas e dimensões. Esta pode ser separada em dois grupos: corte manual (necessitam de ser removidos após a extração da peça plástica) e corte automático [6].

Ataque por corte manual

A separação do ataque da peça plástica é realizada após a extração da peça plástica do molde. A utilização deste sistema prende-se com os seguintes motivos:

- Dimensões do ataque serem demasiado grandes para ser feito por corte automático a quando da extração do molde;
- Materiais que não devem ser submetidos a elevadas taxas de corte;
- Ataque ao longo de uma grande parte da peça de modo a orientar especificamente moléculas e fibras (este tipo de ataque anula qualquer tipo de corte automático) [6].

Os ataques por corte manual podem ser ainda subdivididos em ataque direto (ou tipo gito), diafragma ou disco, avançado ou à junta, leque, película ou lamina, sobreposto, anel, aranha ou estrela e tabular (figuras 2.13 a 2.21).

Ataque direto ou tipo gito

Este tipo de ataque é utilizado frequentemente em moldes de uma só cavidade, onde o material é injetado diretamente na cavidade através do gito, o que tem como consequência uma mínima queda de pressão. Tem como desvantagens: marca do gito após o seu corte; tempo de solidificação do material ser definido pela espessura da peça e não da espessura do ataque; diferentes contrações entre a zona de ataque (ponto de injeção) e o gito (a contração na zona de ataque é baixa, mas, no gito é alta) criam naturalmente tensões na zona do ataque [6].

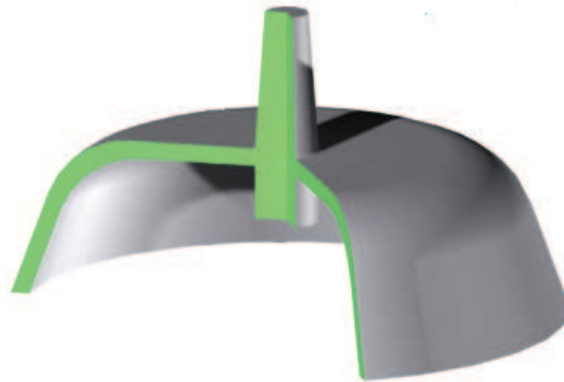


Figura 2.13 – Ataque direto ou tipo gito.

Ataque diafragma ou disco

Este tipo de ataque tem uma área de contato com a zona interior da peça plástica muito fina, facilitando deste modo a sua posterior remoção (é de salientar que este tipo de ataque é de difícil remoção). A alimentação deste ataque é executada por gito concêntrico ou até pode ser alimentado por bico quente, o que permite um fluxo constante e uniforme em todo o diâmetro da peça. Este tipo de alimentação é utilizado em peças plásticas de formato tubular (formato exterior circular com furo central). Este ataque é utilizado quando se pretende ter peças que não tenham qualquer tipo de empeno/deformação no seu diâmetro (exterior e interior) [5].

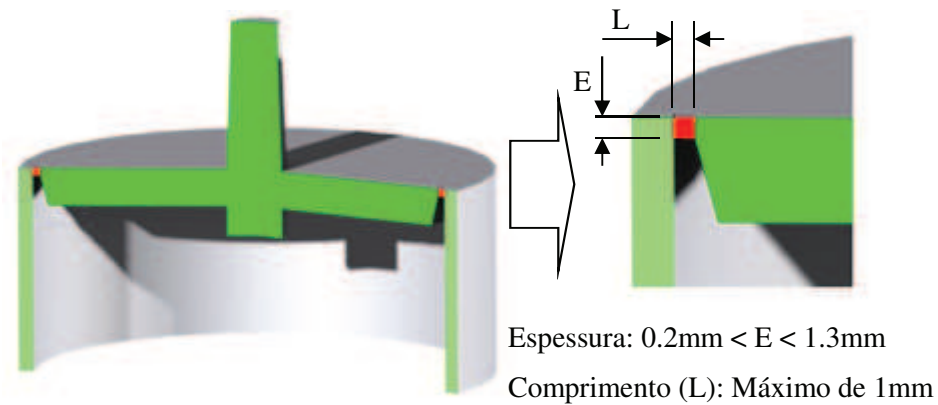
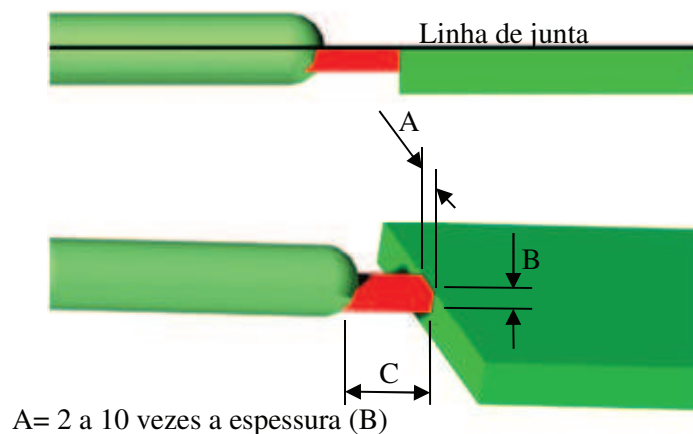


Figura 2.14 – Ataque em diafragma ou disco.

Ataque avançado ou à junta

Este ataque é aplicado à linha de junta do molde conforme se pode observar na figura 2.15 [5] [6].



A= 2 a 10 vezes a espessura (B)

B= 25% a 75% da espessura da parede plástica

C= de 0.5mm a 1mm de comprimento

Figura 2.15 – Ataque avançado ou padrão.

Ataque em leque

Este ataque permite um rápido enchimento de peças de dimensões consideráveis e/ou zonas de difícil enchimento. Este tipo de ataque é aplicado em peças onde os empenos e a estabilidade dimensional são bastante relevantes para a funcionalidade da peça plástica a processar. Este ataque, nas zonas externas do ponto de contato com a peça plástica, tem uma espessura maior que a zona central por forma a distribuir o fluxo uniformemente e garantir que a velocidade do fluxo e a pressão no ponto de entrada na zona moldante sejam uniformes em toda a sua extensão [5] [6].

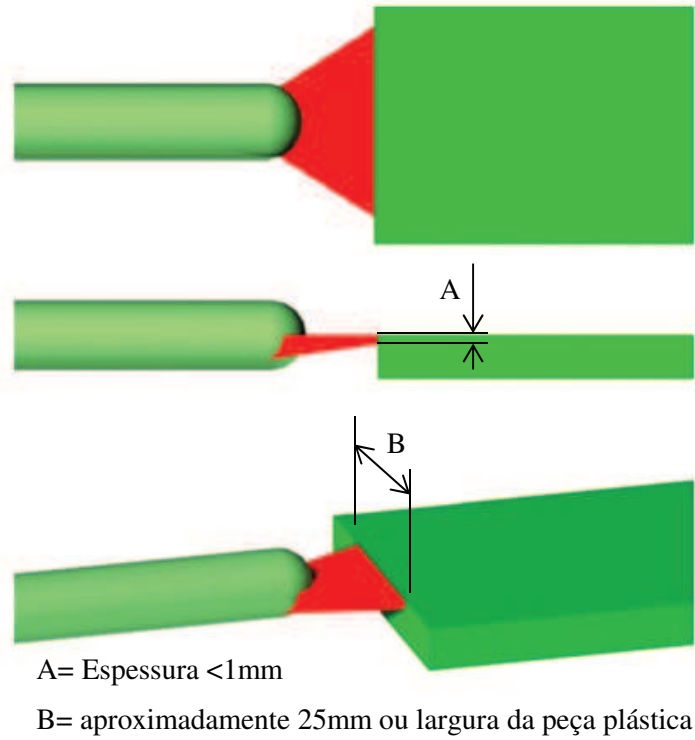


Figura 2.16 – Ataque em leque.

Ataque em película ou lâmina

Este sistema é formado por um canal de alimentação e uma zona de área transversal retangular de ataque, em todo o comprimento da peça plástica ou só numa seção da mesma. A sua finalidade é a mesma que a do canal em leque, mas a sua estabilidade ao nível do fluxo e pressão é muito mais difícil de ser mantida [5] [6].

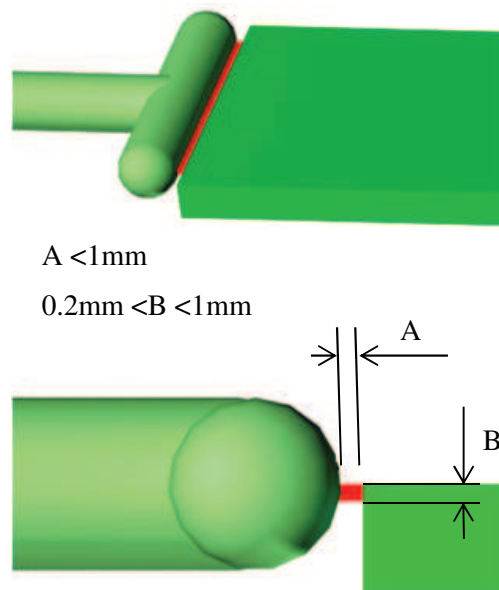


Figura 2.17 – Ataque em película ou rebarba.

Ataque sobreposto

Este ataque tem características iguais ao ataque avançado, porém, uma parte do ataque é sobreposto à peça plástica (característica que denomina o ataque) [6].

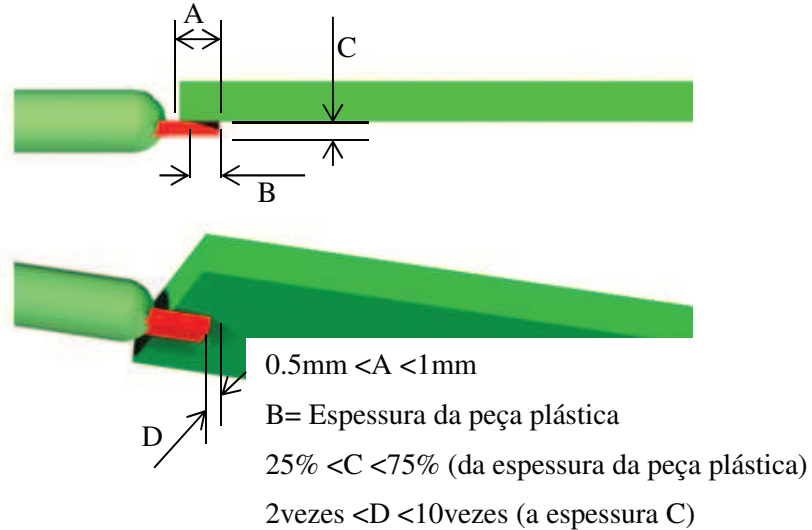


Figura 2.18 – Ataque sobreposto.

Ataque anel

Este ataque é de difícil execução, visto ter de ser garantido o enchimento do canal de alimentação antes da passagem do material através do ataque, deste modo, obtém-se um enchimento uniforme em todo o diâmetro da peça plástica. Só após esta fase é que irá encher a restante zona moldante como se de uma extrusão tubular se tratasse [5] [6].

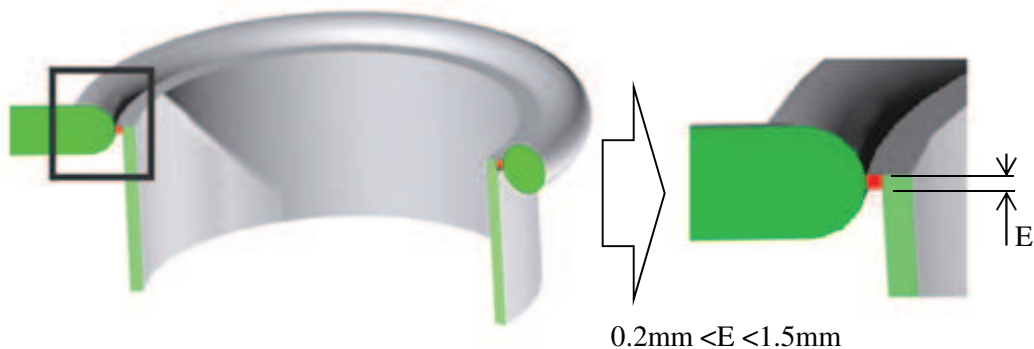
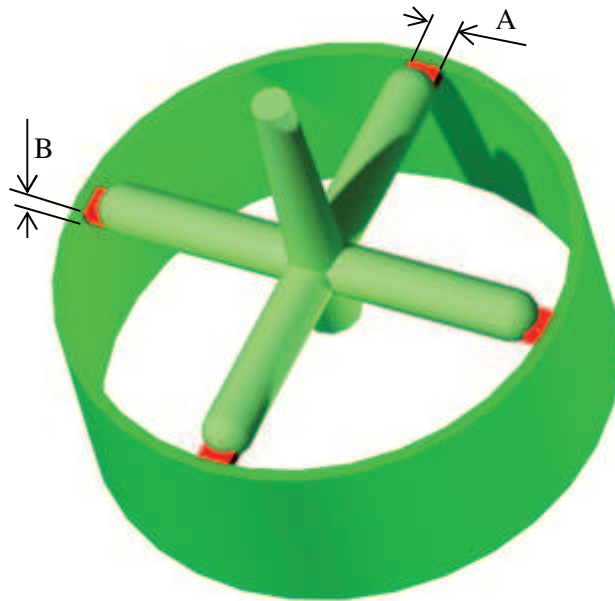


Figura 2.19 – Ataque anel.

Ataque aranha ou estrela

Também chamado de ataque cruzado ou ataque em quatro pontos, este tipo de ataque é normalmente aplicado a peças plásticas com formato tubular. Este ataque permite poupar material plástico e tem uma remoção do ataque mais fácil que o ataque em diafragma. As suas desvantagens prendem-se com as dificuldades de se obter peças plásticas circulares (peças ficam ovalizadas) e também, o possível aparecimento de linhas de soldadura nas peças a processar [5] [6].



$2\text{vezes} < A < 10\text{vezes}$ (a espessura B)
 $25\% < B < 75\%$ (espessura parede peça plástica)

Figura 2.20 – Ataque aranha.

Ataque tabular

Este ataque permite a injeção de peças plásticas com baixas tensões de corte durante o processamento, por forma a minimizar o aparecimento de distorções superficiais (caso de peças plásticas óticas) [6].

A= largura mínima de 5mm
 B= 75% da espessura da peça plástica

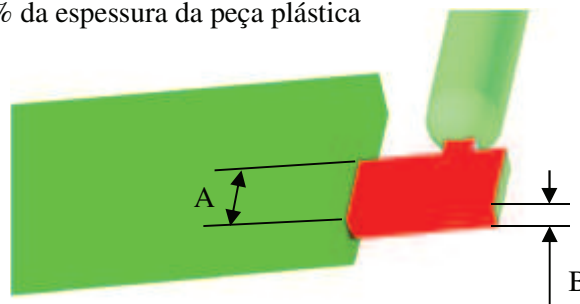


Figura 2.21 – Ataque tabular.

Ataque de corte automático

A separação do ataque da peça plástica é, nestes casos, executada sem intervenção de um operador. A utilização deste tipo de ataque prende-se com a necessidade de evitar trabalhos

posteriores ao processamento das peças plásticas e a necessidade de minimizar ao máximo as marcas do ataque nas peças plásticas [7].

Os ataques de corte automático podem ser do tipo de ataque canal quente ou hot-probe, ataque pino ou bico de alfinete, ataque submarino e ataque válvula.

Ataque canal quente ou *hot-probe*

Este tipo de ataque consiste na injeção do material plástico através de canais aquecidos diretamente às zonas moldantes, permitindo a produção de peças plásticas sem qualquer tipo de canal de alimentação, obtendo-se deste modo uma poupança de material plástico. A marca deste tipo de ataque pode ter configurações: redonda e anelar [7].

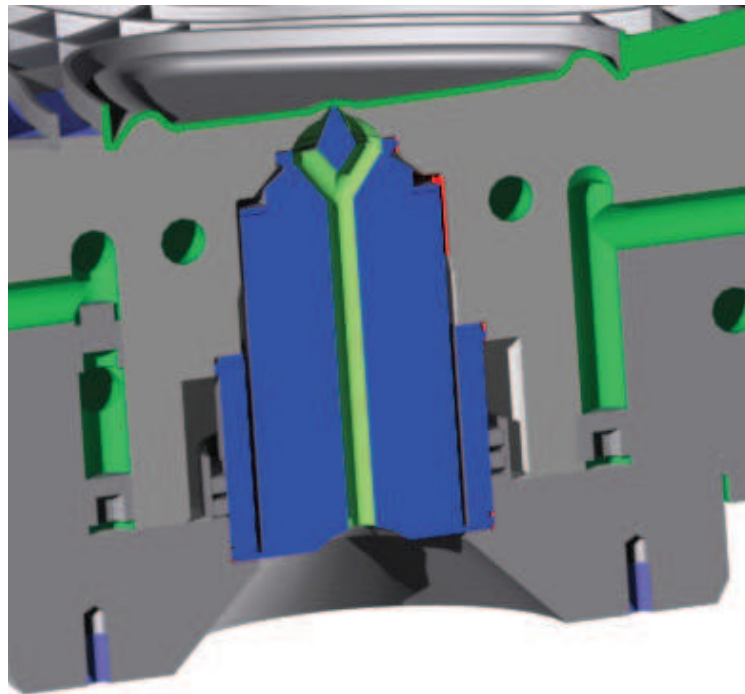


Figura 2.22 – Ataque canal quente ou *hot-probe*.

Ataque pino ou bico de alfinete

Este ataque é característico de moldes de três placas, em que o molde tem duas aberturas obrigatórias, uma à linha de junta e outra em linha com os canais de alimentação. Os canais de alimentação e os ataques caem pelo espaço da abertura em linha com os canais de alimentação (ilustrado na figura 2.23 e ver figura 2.61), sendo esta abertura efetuada em primeiro lugar por forma a separar o ataque da peça plástica [5] [7].

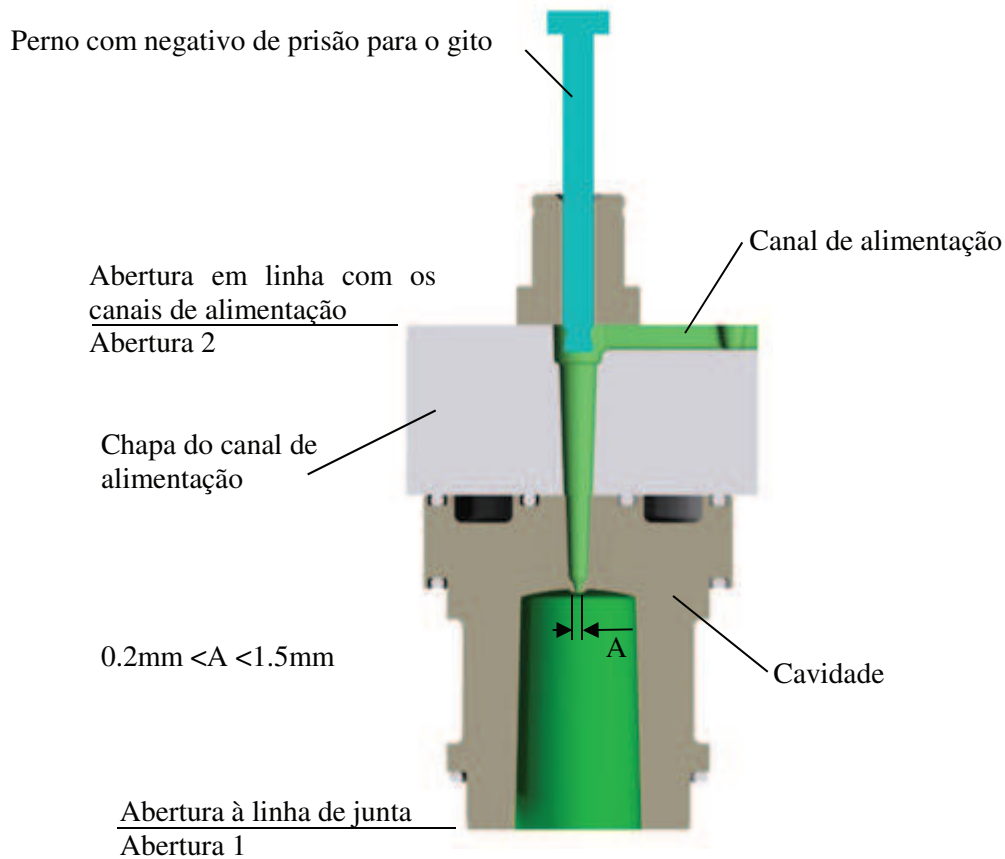


Figura 2.23 – Ataque pino ou bico de alfinete.

Ataque submarino, túnel ou cinzel

Consiste num furo cônico aplicado em ângulo que faz a ligação do canal de alimentação à cavidade, situado mesmo abaixo da linha de junta (figura 2.24). Este ataque é utilizado em moldes de duas placas e o corte automático ocorre quando a extração da peça plástica é efetuada.

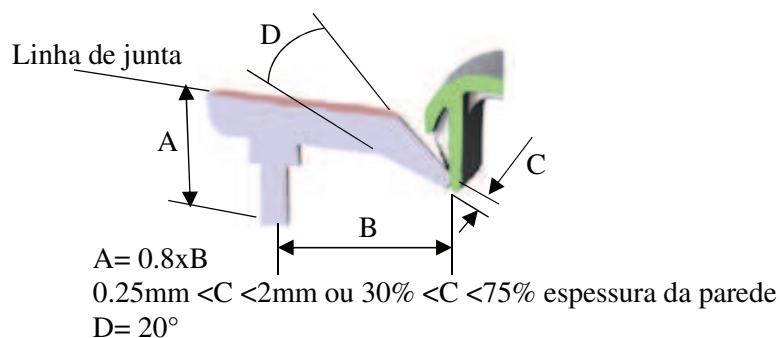


Figura 2.24 – Ataque submarino, túnel ou cinzel.

Este ataque pode ter duas variações, o ataque num extrator e o ataque submarino curvo.

Ataque num extrator

Esta versão do ataque submarino consiste no ataque indiretamente à cavidade através de um extrator. Este tipo de ataque permite ter-se um ataque submarino (com corte automático) sem necessidade de se ter uma parede vertical da peça plástica, para aplicar o ataque diretamente a esta.

O inconveniente desta solução é ter parte do sistema de ataque preso à peça plástica, obrigando a trabalhos posteriores de acabamento [5] [7].

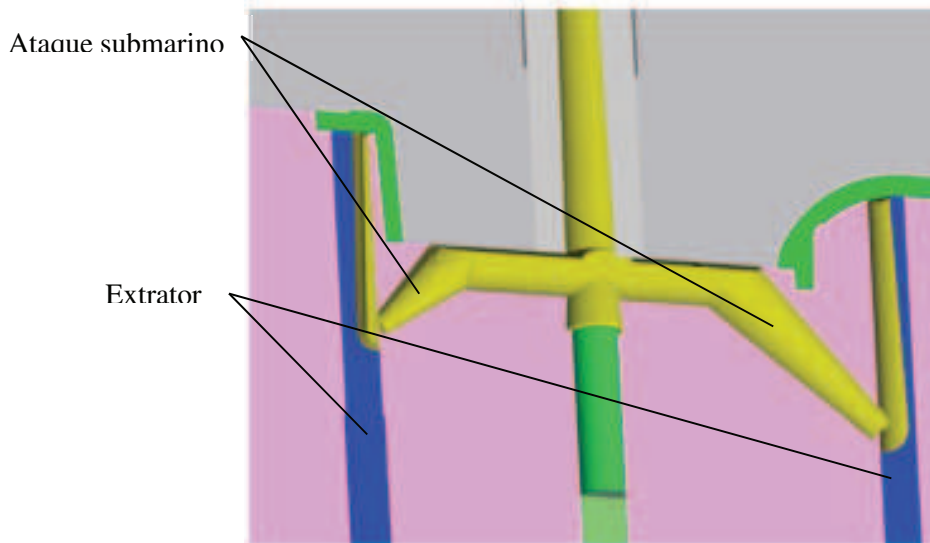
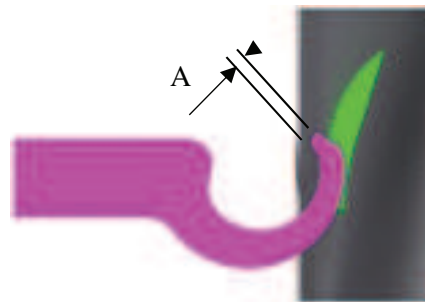


Figura 2.25 – Ataque submarino - variante ataque num extrator.

Ataque submarino curvo

A vantagem desta variante do ataque submarino é a marca deste ficar escondida (interior da peça plástica). As desvantagens deste sistema prendem-se com a sua complexidade de fabrico e o perigo de ocorrer bloqueios da injeção do molde, devido ao ataque partir de forma não controlada. Neste tipo de ataque não é aconselhável a utilização de materiais poliméricos com fibras [5].



$$0.25\text{mm} < A < 2\text{mm}$$

$$\text{ou } 30\% < A < 75\% \text{ espessura da parede}$$

Figura 2.26 – Ataque submarino (ataque submarino curvo).

Ataque valvulado

O ataque valvulado não é constituído por um sistema de canal quente, com a aplicação de um pin para executar a sua abertura e fecho quando necessário. Esta solução permite obter uma marca mais suave na peça plástica (no ponto de injeção) e também, ter um maior controlo sobre o ciclo de compactação, garantindo peças plásticas com maior qualidade [7].

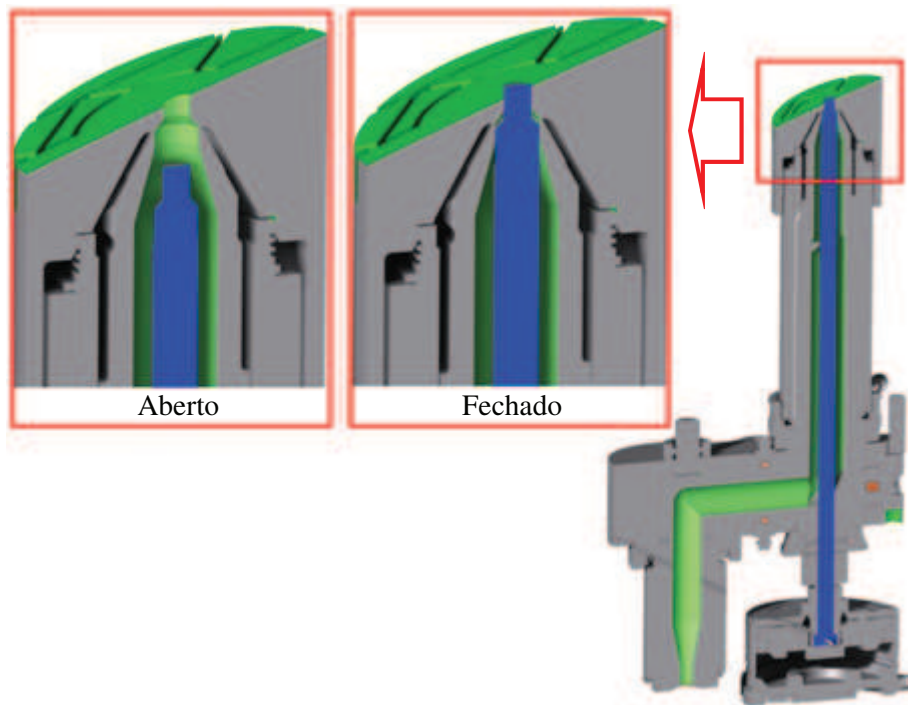


Figura 2.27 – Ataque valvulado, pormenor da esquerda sistema em aberto, pormenor da direita sistema em fechado.

Pode-se utilizar inúmeras combinações dos vários tipos de ataques com os vários tipos de canais de alimentação. Na figura abaixo pode observar-se um sistema de alimentação executado por canais quentes com uma distribuição de ataque em aranha e pontos de entrada em submarina.

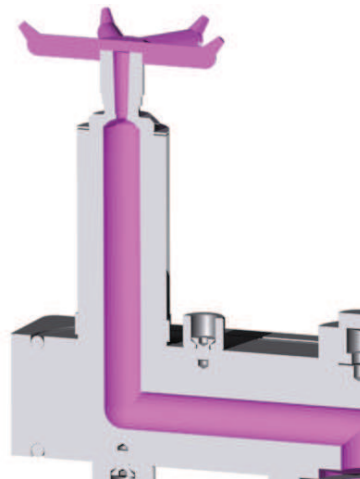


Figura 2.28 – Combinação dos ataques e canais de alimentação.

2.2.4. Escape de gases

O sistema de escape de gases permite a saída destes gases quando o material plástico é injetado na cavidade. Na figura 2.29 pode-se observar um sistema de escape de gases maquinado no plano de junta.

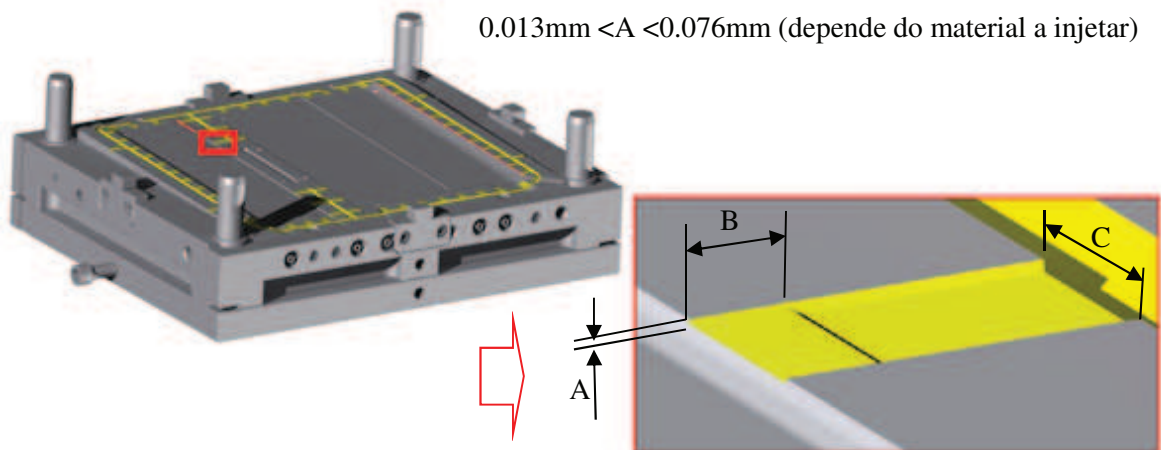


Figura 2.29 – Exemplo de escapes de gases.

A localização destas saídas de escape de gases é de elevada importância por forma a minimizar as consequências da eventual incorporação destes gases na moldação. As saídas dos gases devem ser preferencialmente na direção de fluxo do material plástico, em áreas onde termina o enchimento e zonas onde se verifica a ligação de duas ou mais frentes de fluxo de plástico. A geometria da zona moldante (complexidade) condiciona a necessidade e a localização dos escapes de gases. No caso em que a geometria da peça crie dificuldades na implementação de escapes é necessário encontrar soluções alternativas em zonas onde não é possível aplicar rasgos normais de escape de gases. As soluções para este escape podem então ser: escape de gases pelos extratores, postigos e materiais especiais (aços porosos), figura 2.30 [5].

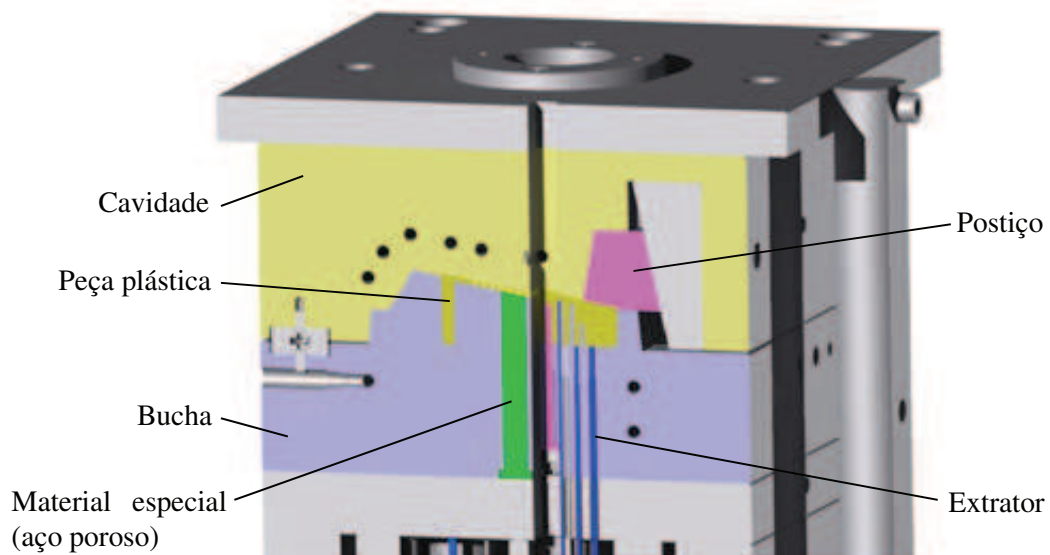


Figura 2.30 - Exemplo de soluções de fabrico de escape de gases.

Extratores

Estes componentes são utilizados no sistema mecânico de extração das peças plásticas. No entanto, estes extratores podem ser utilizados para o escoamento de gases, nomeadamente em zonas como as nervuras, (peça plástica) devido ao fato de estes serem as zonas da peça plástica a encher

por último, acumulando-se nessa zona os gases o que vai ter como consequência o aparecimento de zonas queimadas [5].

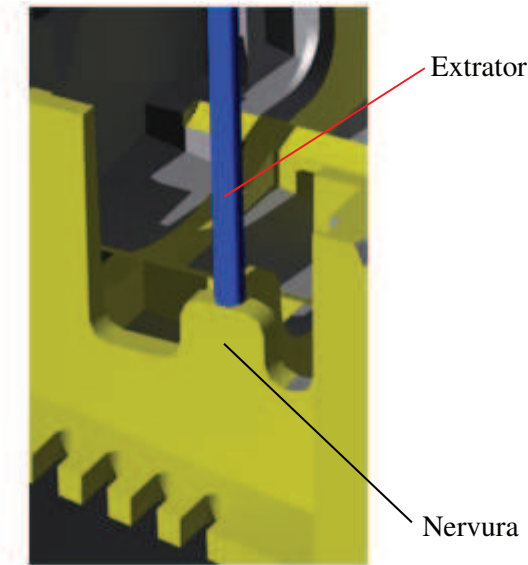


Figura 2.31 - Escape de gases por extrator numa nervura da zona moldante.

Postiços

Os postiços fazem parte das zonas moldantes a partir das quais se molda a peça plástica. Estes postiços podem também ser aplicados em zonas potenciais de acumulação de gases e deste modo promover a libertação dos mesmos, pela linha de ajustamento entre o postiço e a restante zona moldante [5].

Materiais especiais (aços porosos)

Esta solução consiste na aplicação de postiços, tal como a solução anterior, mas neste caso o escape de gases este é executado não só pela linha de ajustamento entre a zona moldante e o postiço, mas também, através do próprio postiço fabricado em material poroso [5].

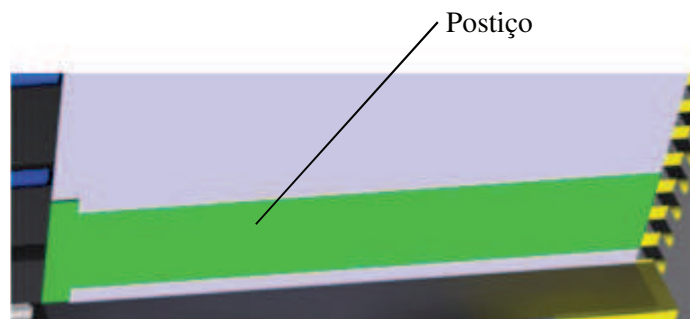


Figura 2.32 - Escape de gases por postiço moldante.

Os problemas que decorrem de um mau sistema de escape de gases são os seguintes: enchimento deficiente da peça plástica (peça incompleta); formação de linhas de soldadura (marcas

de união de frentes de fluxo); zonas mais frágeis que a restante peça plástica; contração não uniforme da peça (aumenta o risco de peças com problemas dimensionais) [5].

2.2.5. Sistema de refrigeração do molde

O processo de moldação por injeção consiste no escoamento de material termoplástico (estado de fundido sob pressão) para a cavidade moldante. Após a fase de injeção e pressurização, as zonas moldantes são refrigeradas (figura 2.33), até uma temperatura que se possa extrair a moldação, sem esta sofrer deformações e manter a forma pretendida. O arrefecimento das zonas moldantes (e da peça plástica) é gerido por uma unidade de controlo de temperatura e de termopares [8]. O tempo de arrefecimento é função da complexidade da peça plástica a processar, do projeto de refrigeração considerado, materiais a injetar e materiais utilizados no fabrico das zonas moldantes. No ciclo de moldação de uma peça plástica o tempo de refrigeração é cerca de 70 % do ciclo. Naturalmente, quando se pretende baixar o tempo de ciclo, para uma dada geometria, é necessário ter um bom projeto e utilizar-se materiais que sejam melhores condutores de calor nas zonas mais críticas.

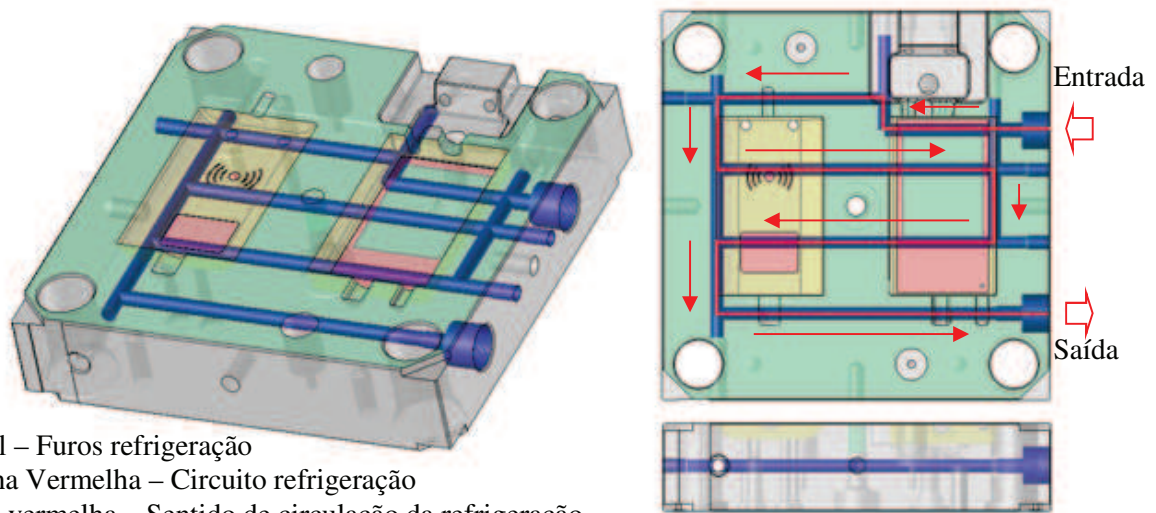


Figura 2.33 - Circuito de refrigeração de uma zona moldante de um molde de injeção.

Os circuitos de refrigeração são constituídos por furos maquinados nos blocos moldantes, para a passagem de um fluido refrigerante. Estes furos são unidos entre si, formando circuitos, a distâncias da zona moldante que permitam uma boa e uniforme dissipação de calor, por forma a minimizar empenos e ter tempos ciclo de moldação reduzidos. Existem diferentes tipos de disposição dos circuitos de refrigeração, nomeadamente: circuito em U, circuito em zig-zag, circuito para cavidades retangulares, circuito para cavidades circulares e circuito de águas em cascata com palheta.

Circuito em U

Este tipo de circuito é normalmente aplicado a zonas moldantes de forma longa e estreita. A ligação entre os dois furos longitudinais pode ser feita de três formas, por meio de furação cruzada, por ligação através de mangueira ou por ligação através de chapa de ligação. A ligação por furação cruzada, consiste na execução de um furo que liga os dois furos longitudinais (figura 2.34), esta

forma é a mais utilizada, porque apresenta menores fugas de líquido refrigerante e é a mais eficiente de ambas as soluções [8].

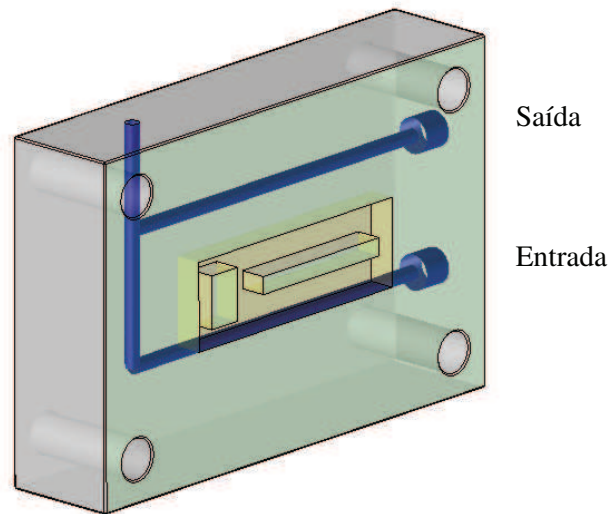


Figura 2.34 - Circuito em U - ligação por furação cruzada.

A ligação através de mangueira, consiste na utilização de uma mangueira no exterior da chapa que faz a ligação entre os dois furos longitudinais (figura 2.35). Esta é a solução de mais baixa eficiência, tem mais trabalho de montagem e pode existir o risco de danificar a mangueira durante o transporte do molde ou durante a fase de montagem.

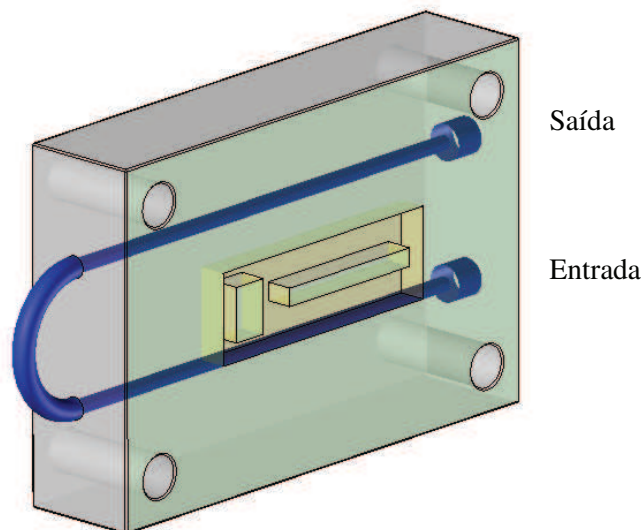


Figura 2.35 - Circuito em U - ligação através de mangueira.

A ligação através de chapa de ligação consiste na maquinação de um rasgo para aplicação de uma chapa aparafusada e com uma junta de vedação. O rasgo de ligação pode ser feito nesta chapa de conexão ou pode ser feito na chapa a ser refrigerada.

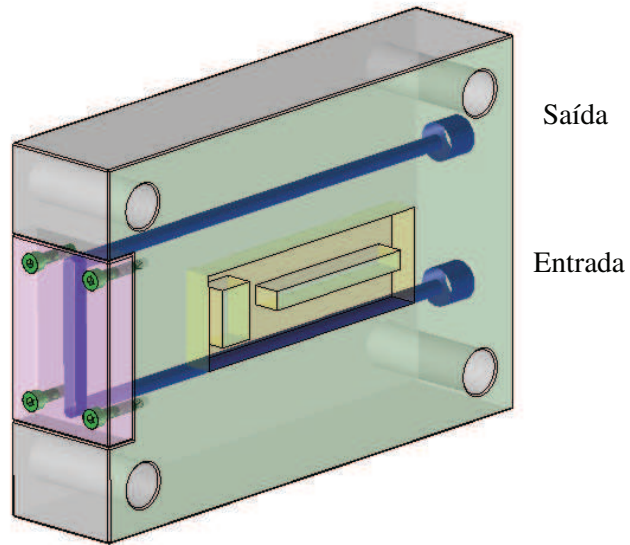


Figura 2.36 - Circuito em U - ligação por chapa de ligação.

Circuito em zig-zag

Este circuito é normalmente utilizado na refrigeração de zonas moldantes de peças com grandes áreas. Pode-se caracterizar este sistema como uma aplicação de circuitos em U interligados, por forma a se ter um circuito com maiores dimensões.

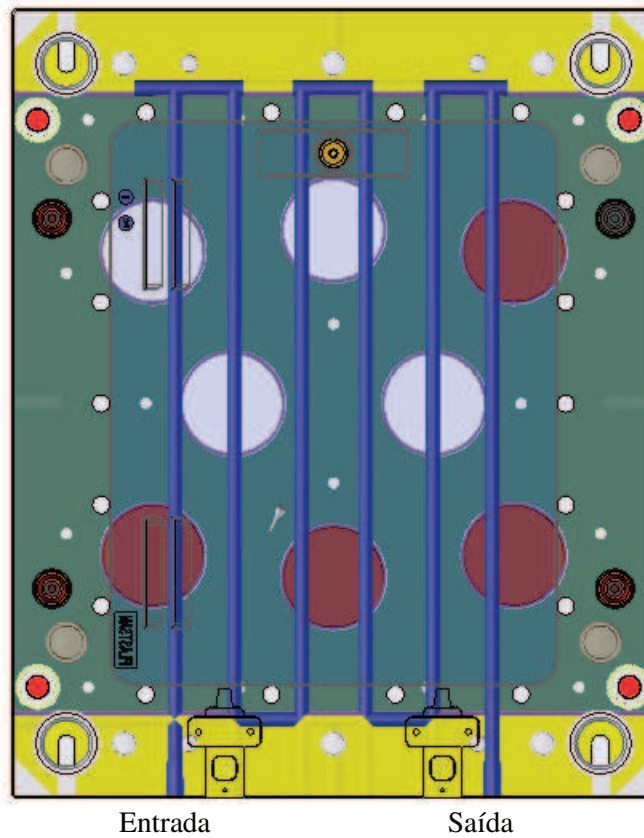


Figura 2.37 - Circuito em zig-zag.

Circuito para cavidades retangulares

Este circuito é utilizado para refrigerar as paredes laterais de moldes de peças retangulares. O controle de temperaturas é superior ao circuito em U, pois este não refrigera uma das paredes. É de salientar que, quanto menor for a distância entre a entrada e a saída do circuito, maior é a eficiência do mesmo.

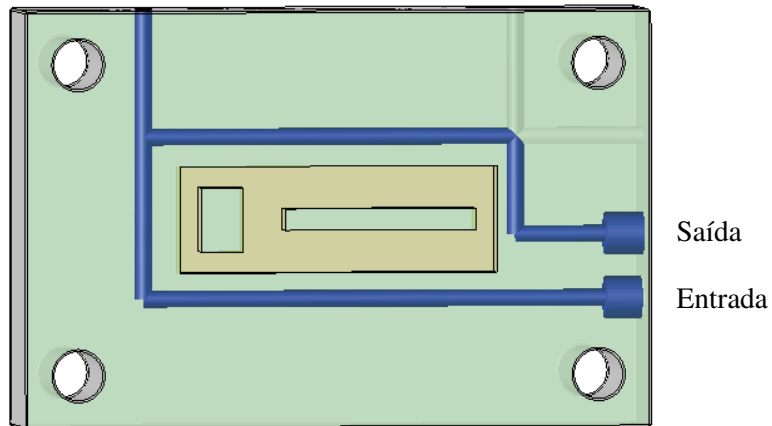


Figura 2.38 - Circuito para cavidades retangulares.

Circuito para cavidades circulares

Neste caso os furos de refrigeração são do tipo circular, pois estes garantem uma refrigeração uniforme, assegurando peças com geometria mais conforme. Desta forma, a solução é executar as buchas e cavidades cilíndricas, com canais de refrigeração maquinados na superfície lateral das mesmas. A vedação destes circuitos é naturalmente feita com recurso a vedantes circulares.

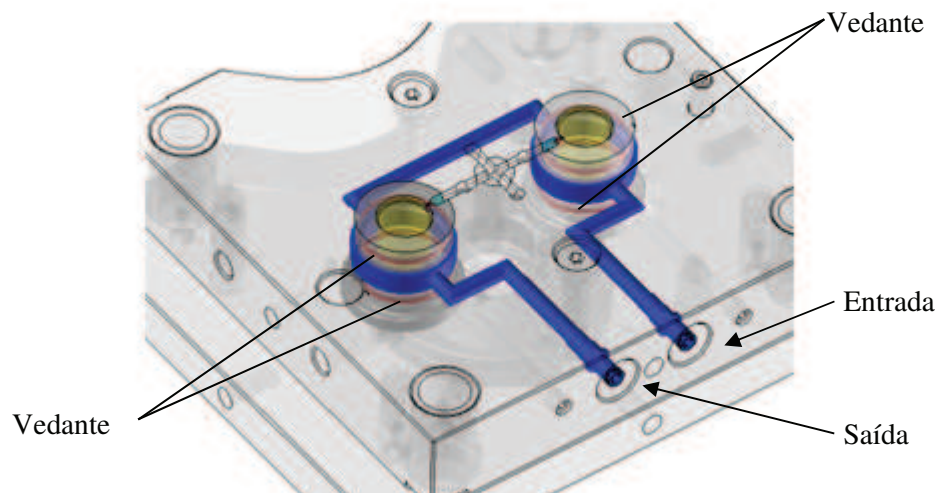


Figura 2.39 - Circuito de refrigeração para cavidades circulares.

Circuito de águas em cascata com palheta

Este tipo de circuito é normalmente utilizado nas buchas e consiste na maquinação de furos de diâmetro superiores e perpendiculares aos furos de passagem. É nestes furos que são aplicadas as palhetas perpendiculares ao sentido do fluxo refrigerante, obrigando este a subir por um lado e a descer pelo outro lado da palheta. Este tipo de circuito permite refrigerar zonas moldantes, onde de outra forma era impossível refrigerar.

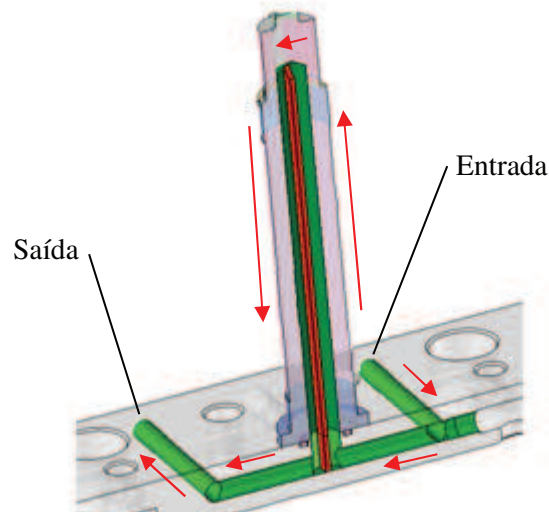


Figura 2.40 - Circuito de refrigeração em cascata com palheta.

O controlo de temperatura é de grande importância na obtenção de peças plásticas de qualidade e com baixos tempos de ciclo de moldação. Pode-se analisar o efeito de se ter temperaturas altas e baixas:

Temperatura mais alta - o fluxo do material termoplástico no estado de fundido flui mais facilmente, as peças plásticas processadas tem melhor aspeto final, apresentam menores tensões internas mas, o tempo de ciclo moldação é naturalmente maior o que tem como consequência peças mais caras.

Temperatura baixa - o fluxo do material termoplástico no estado de fundido flui com maior dificuldade, o fundido pode solidificar antes de preencher a totalidade da zona moldante, obtendo-se assim peças plásticas inacabadas, pior aspeto final das peças, maiores tensões internas nas peças processadas e menor tempo de ciclo de moldação, o que pode originar peças mais baratas.

2.2.6. Extração

Após a fase de refrigeração é necessário remover/extrair a moldação. Como a peça plástica contrai sobre os elementos moldantes machos, (buchas) é necessário aplicar forças de extração no contorno da peça no sentido perpendicular à abertura do molde.

O acionamento do sistema de extração é realizado em geral pela máquina de injeção mas, podem existir casos em que este é realizado por um sistema exterior à máquina, tal como, sistemas mecânicos atuados por hidráulicos ou pneumáticos. A extração pode ainda ser executada de uma forma completa, com a queda da peça plástica ou libertação parcial desta, em que a peça é

libertada/aliviada das zonas de maior atrito (sistema de extração) após a qual é movimentada por um robô que completa a extração

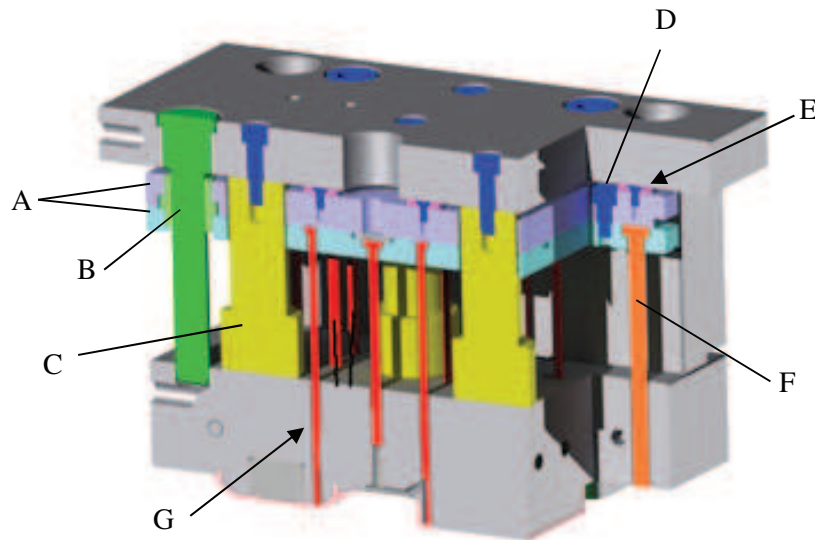


Figura 2.41 - Sistema convencional de extração.

A figura 2.41 ilustra um sistema convencional de extração. Este tipo de sistema mecânico de extração pode ser constituído por:

A - Chapa de fixação dos extratores e chapa dos extratores que fixam e acionam os extratores;

B - Casquilhos e guias de extração que tem como função fazer o guiamento das chapas do ponto **A** durante a fase de extração;

C - Suportes, não fazem diretamente parte do sistema de extração mas, suportam a zona moldante durante o processo de injeção (e fecho do molde) por forma a evitar a flexão da chapa das buchas (chapa 3);

D - Parafuso (P 8), parafusos que fixam a chapa dos extratores e a chapa de fixação dos extratores entre si;

E - Botões de encosto, tem como função servir de batente entre o sistema de extração e a chapa de aperto da extração, permitindo assim utilizar chapas de menor acabamento superficial. Tem também como função, garantir o funcionamento do sistema de extração mesmo com a existência de impurezas entre as chapas 9 e chapas 7 e 8;

F - Pernos de retorno (extratores cilíndricos), em número de quatro (prevenir qualquer tipo de empeno do sistema de extração durante o funcionamento), tem como função promover e garantir o retorno da extração à sua posição inicial, após a extração da peça e fecho do molde;

G - Extratores, tem como função empurrar a moldação e remove-la da bucha (sendo que a área de contato direto, deve de ser a maior possível por forma a minimizar as marcas de extração).

Pode-se, no entanto, ter peças com geometrias complexas onde só um sentido de extração não chega, sendo necessário aplicar dois ou mais sentidos de extração da moldação plástica, como são os casos de sistemas mecânicos tais como: balancés, elementos móveis e movimentos rotativos (moldes de desenroscamento automático) [9]

2.2.6.1. Sistemas de extração convencionais

Estes tipos de sistemas de extração são utilizados quando a geometria das peças é relativamente simples, sem zonas negativas ou necessidade de aplicação de mais sentidos de extração. A extração nestes casos é executada com o avanço das chapas extratoras, que acionam os componentes de extração e que promovem a extração da moldação (peças plásticas, gito e canais, caso existam). Este sistema de extração pode ainda ser dividido em: extração através de extratores, extração com placa extratora, extração por aro extrator e extração por barras extratoras [9].

Extração através de extratores

Estes componentes têm como principal função extrair as peças plásticas e o sistema de alimentação quando necessário. O seu funcionamento consiste na aplicação de forças localizadas, normalmente em zonas como nervuras, encaixes e saliências existentes na geometria da peça plástica a ser processada (figura 2.41). Os extratores podem ser de vários tipos e formatos conforme se pode observar na figura 2.42.

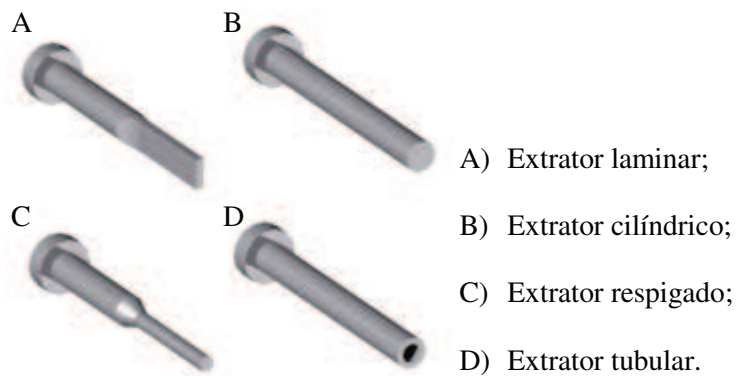


Figura 2.42 - Tipos de extratores mais comuns.

Extrator laminar – este tipo de extrator tem uma seção retangular na zona de contato com a peça e é aplicado em nervuras de pequena espessura ou zonas de contorno da peça plástica. Como possuem um formato retangular, garantem uma maior zona de contato que um extrator, por exemplo, cilíndrico aplicado à mesma nervura, minimizando assim a deformação provocada na peça nessa zona.



Figura 2.43 - Extrator laminar aplicado num rib de uma peça plástica.

Extrator cilíndrico – este tipo de extratores são os mais utilizados num sistema de extração e são aplicados quando existe a necessidade de extrair o sistema de alimentação (canais mais gito).

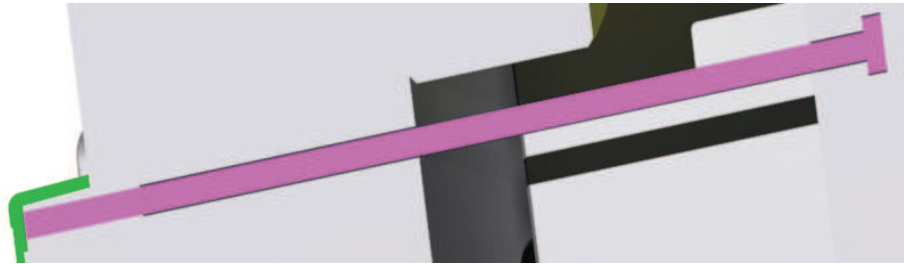


Figura 2.44 - Extrator cilíndrico aplicado na peça plástica.

Extrator respigado - esta variante do extrator cilíndrico, é aplicado em casos onde não existe muito espaço disponível e o curso de extração tem de ser longo. Este tipo de extrator tem um diâmetro reduzido na área de contato com a peça, com um grande comprimento, o que pode provocar a flexão e empeno do extrator. A solução para este potencial problema passa por se ter dois diâmetros diferentes no extrator (um pequeno devido à geometria da peça e um maior na ligação à cabeça do extrator de modo a aumentar a rigidez do extrator).

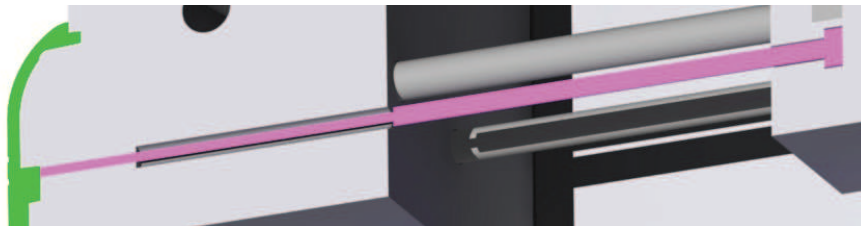


Figura 2.45 - Extrator respigado aplicado num molde.

Extrator tubular – este tipo de extrator é utilizado na extração de seções tubulares, como é o caso de uma caixa para alojamento de um parafuso de aperto da peça plástica (figura 2.46, por exemplo). Com a utilização deste tipo de extrator não é necessário criar um reforço na nervura tubular da peça, para poder ser extraída com recurso a extratores cilíndricos, em dois ou mais pontos da sua superfície, em que a força de extração a ser exercida pelo extrator tubular irá ser distribuída pela superfície da área tubular, minimizando a deformação da peça plástica a processar.

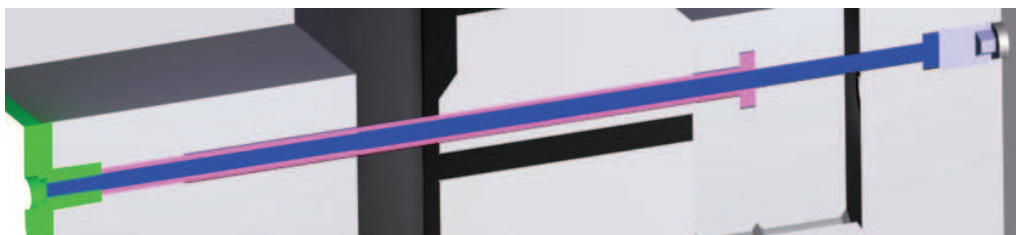


Figura 2.46 - Extrator tubular: sistema que permite moldar e extrair a peça plástica.

Extração por placa extratora

O sistema de extração por placa extratora permite uniformizar a força de extração por toda a área de extração da peça plástica. Este sistema é utilizado quando existem limitações de espaço para a utilização de extratores ou, também quando existe a necessidade de se ter um sistema de extração que permita ter uma distribuição uniforme da força de extração. Este sistema é

naturalmente mais caro pois é necessário utilizar mais uma placa com guiamento (placa com casquilhos) (figura 2.47).

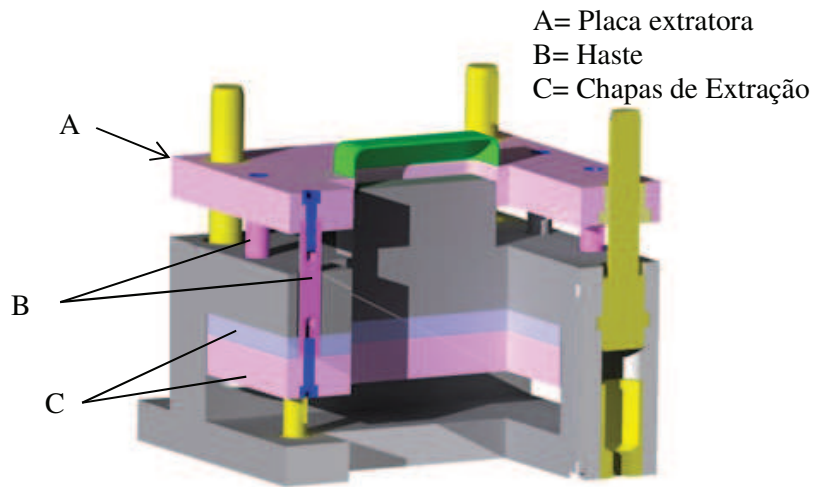


Figura 2.47 – Sistema de extração por placa extratora.

Extração por aro extrator

Este sistema mecânico de extração, similar ao sistema de extração por placa extratora, tem dimensões mais reduzidas e o seu funcionamento é, neste caso, executado pelas chapas do sistema de extração através de hastes (ligação entre o aro e as chapas de extração). O aro é normalmente alojado numa caixa maquinada (na chapa das buchas) com saída de 15° a 20° por forma a minimizar a área de contato durante o movimento de extração (diminuição do atrito). Este componente é normalmente maquinado com o material utilizado no fabrico da zona moldante, mas com as superfícies tratadas superficialmente ou termicamente (figura 2.48).

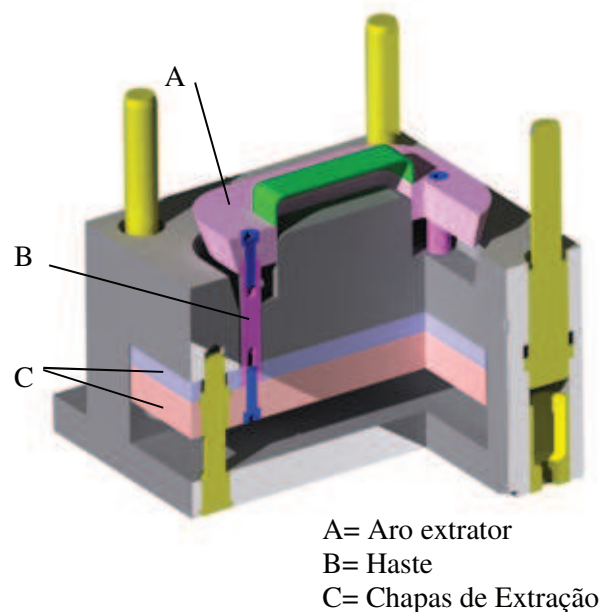


Figura 2.48 – Sistema extração por aro extrator.

Extração por barras extradoras

Este sistema de extração é caracterizado por não atuar em toda a superfície de extração da peça plástica mas apenas em algumas zonas.

O funcionamento deste sistema mecânico é executado pelo acionamento das chapas da extração, através de hastes que fazem a ligação entre a barra (ou barras) e as chapas de extração. Estas são em geral alojadas em caixas maquinadas na chapa das buchas com saída de 15° a 20° por forma a minimizar o desgaste destes elementos mecânicos (figura 2.49).

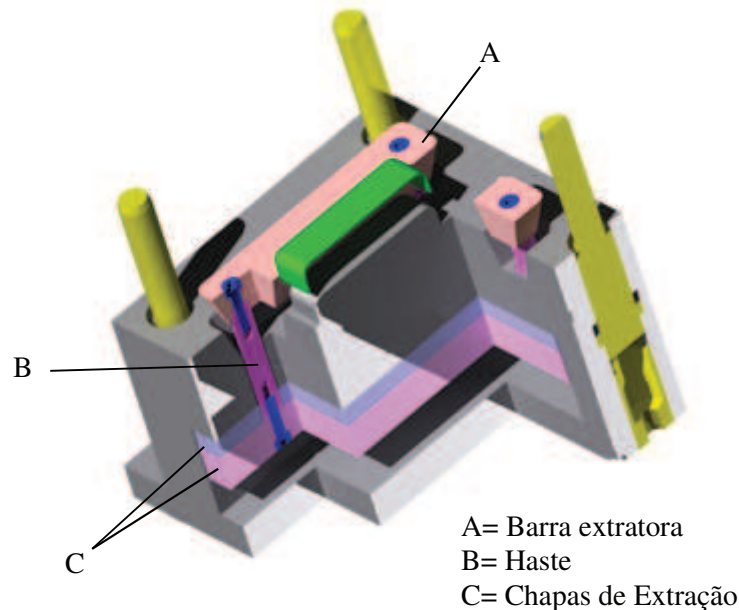


Figura 2.49 - Extração por barras extradoras.

2.2.6.2. Sistemas de extração complexos

Este sistema é utilizado no fabrico de moldes de peças com geometrias complexas e com zonas negativas, em que se tem de aplicar diferentes direções de movimento de extração da peça plástica. Existem diferentes soluções para estes movimentos de extração, tais como: balancés, elementos móveis e movimentos rotativos [9].

Balancés

Este sistema de extração é montado nas chapas de extração, eliminando deste modo o recurso a sistemas mecânicos com movimentos laterais ao molde, minimizando assim custos de fabrico do molde. O movimento deste sistema mecânico de extração é executado com o avanço das chapas de extração que transmitem movimento ao balancé (deslocamento perpendicular ao sentido de abertura do molde), libertando a zona negativa da peça (figura 2.50).

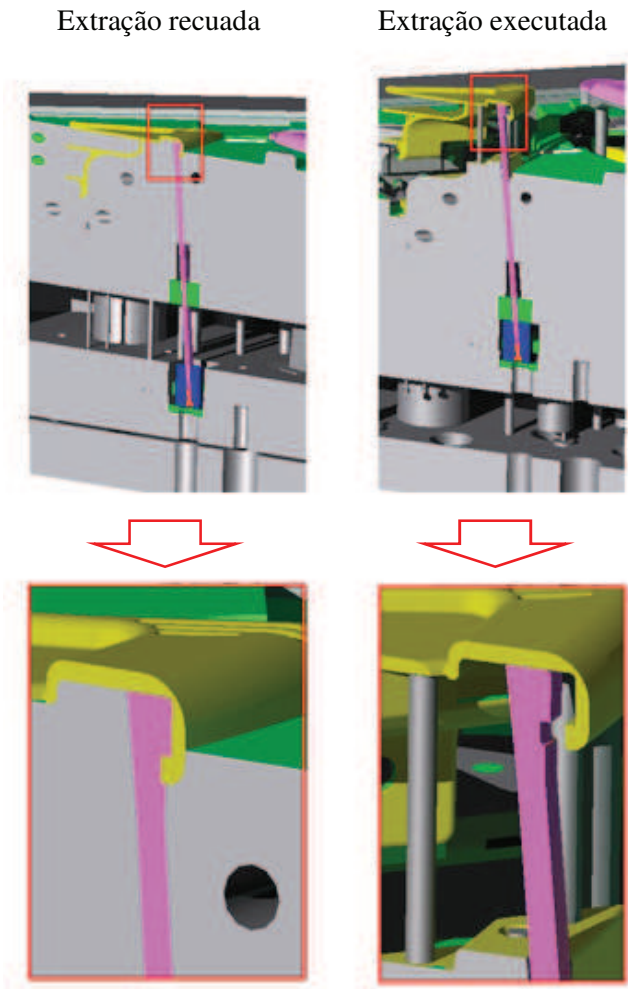


Figura 2.50 - Extração com balancé.

Elementos Móveis

Este sistema mecânico de elementos móveis tem como função moldar zonas que sejam negativas ou salientes lateralmente e permitir com o seu movimento lateral, a remoção da peça plástica (figura 2.51).

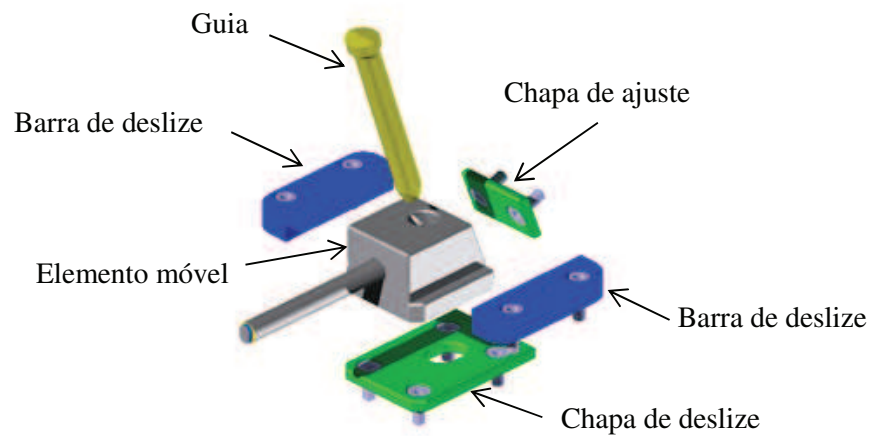


Figura 2.51 – Elemento móvel: principais componentes.

Os elementos móveis podem ser acionados por guias inclinadas, molas e sistemas hidráulicos ou pneumáticos, conforme se descrevem abaixo:

1 - Elementos móveis: sistemas de acionamento por guia.

O movimento do elemento móvel é iniciado pela abertura do molde pelo plano de junta. Este elemento móvel vai deslizar sobre a chapa de deslize, acionado pela guia inclinada (guia com ângulos entre 10° a 25°). A direção do movimento do elemento móvel é garantida pelas barras de deslize, (granzepes) que mantêm o elemento móvel guiado e em contato com a chapa de deslize. A chapa de ajuste com ou sem bloco de travamento, mantem o elemento móvel na posição correta durante o processo de injeção, evitando recuo do elemento móvel devido à pressão da injeção. A zona de contato entre a chapa de ajuste e o elemento móvel deve ter inclinação de 2° a 3° que a inclinação aplicada na guia [9].

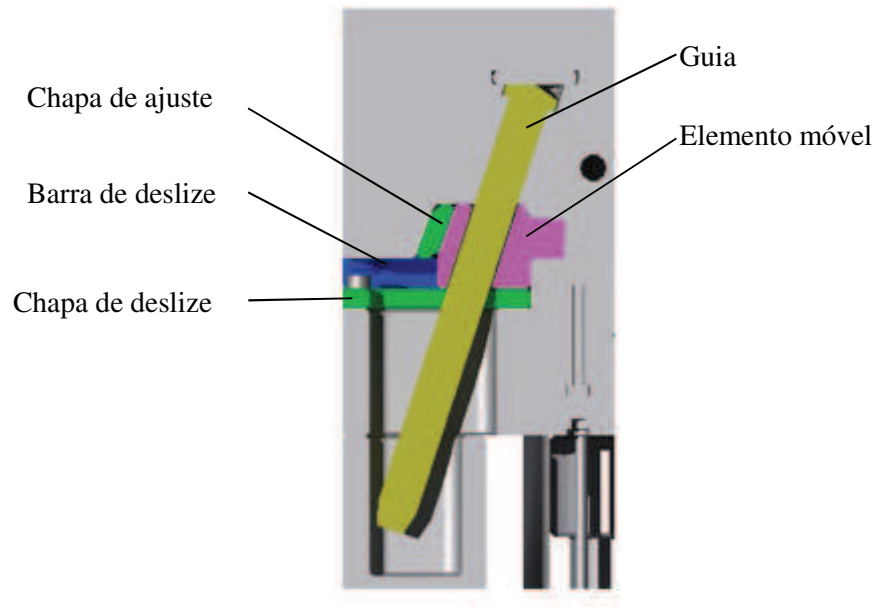


Figura 2.52 -Acionamento por guia.

2 - Elementos móveis: acionamento por mola

O movimento dos elementos móveis é também iniciado pela abertura do molde no plano de junta. Estes elementos móveis são mantidos na posição pela chapa de ajuste, com a mola (ou molas) comprimida. Com o início da abertura do molde, as molas libertam energia (compressão), permitindo o movimento do elemento móvel, desmoldando as zonas negativas e/ou salientes da peça plástica. Este movimento é controlado/limitado pelo ângulo de inclinação da chapa de ajuste (10° a 25°). Por outro lado, o acionamento de fecho dos elementos móveis também é executado pela chapa de ajuste, o que pode traduzir-se num maior desgaste destas, que no caso da opção de acionamento por guia [9].

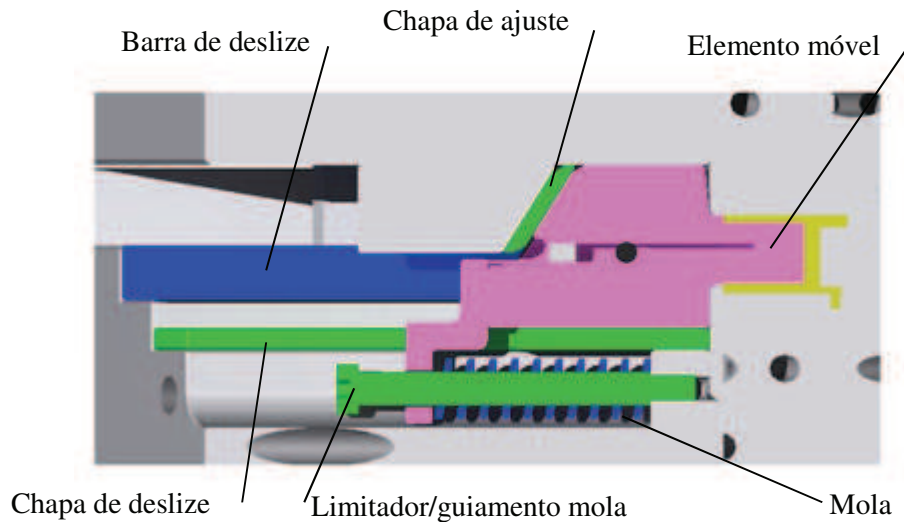


Figura 2.53 -Acionamento por mola.

3 - Elementos móveis: acionamento por sistemas hidráulicos ou pneumáticos.

Este acionamento é independente da abertura do molde pelo plano de junta. Este sistema é muito usado em casos em que é necessário ter cursos de movimento do elemento móvel muito longos e, também inclinações muito acentuadas em relação ao plano de junta do molde. Este movimento é totalmente controlado pelo cilindro hidráulico ou pneumático, no sentido de abertura ou de fecho do elemento móvel (figura 2.54) [9].

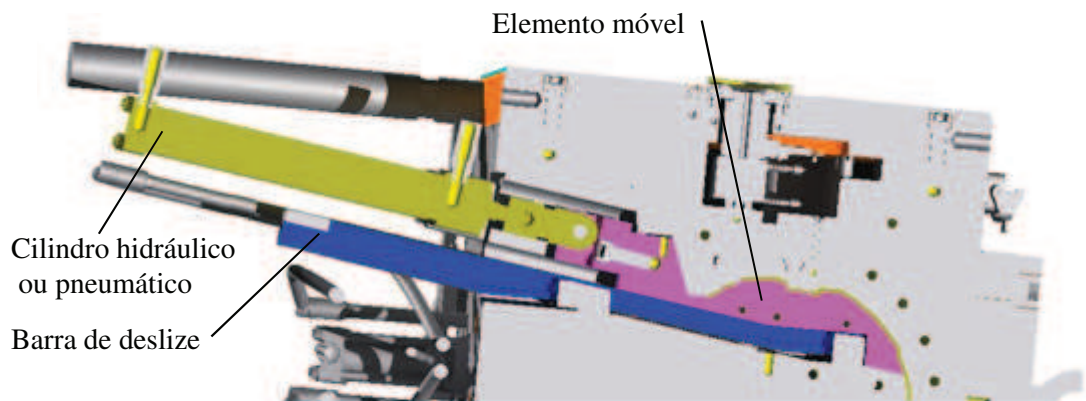


Figura 2.54 -Acionamento por hidráulico ou pneumático.

Movimentos Rotativos

Este tipo de movimento é normalmente utilizado no processamento de peças plásticas com roscas internas ou externas (só quando se pretende não ter marcas de linha de junta na rosca; exemplo de linha de junta em elementos moveis convencionais). Este sistema tem como desvantagens a sua complexidade, o custo envolvido, o sistema de arrefecimento da bucha ser insuficiente, ter tempos de ciclo de moldação maiores, obrigatoriedade de se aplicarem prisões à

peça plástica por forma a impedir a sua rotação durante o processo de desmoldação, o espaço entre cavidades ser definido pelo espaço necessário para o sistema de transmissão mecânico (rodas dentadas). O movimento de rotativo de extração pode ser acionado pela abertura do molde (figura 2.55) ou por um motor hidráulico ou pneumático (figura 2.56). O movimento rotativo da zona moldante de uma peça plástica com rosca, tem de ter dois movimentos por forma a garantir uma boa desmoldação da rosca da peça plástica: rotação e translação.

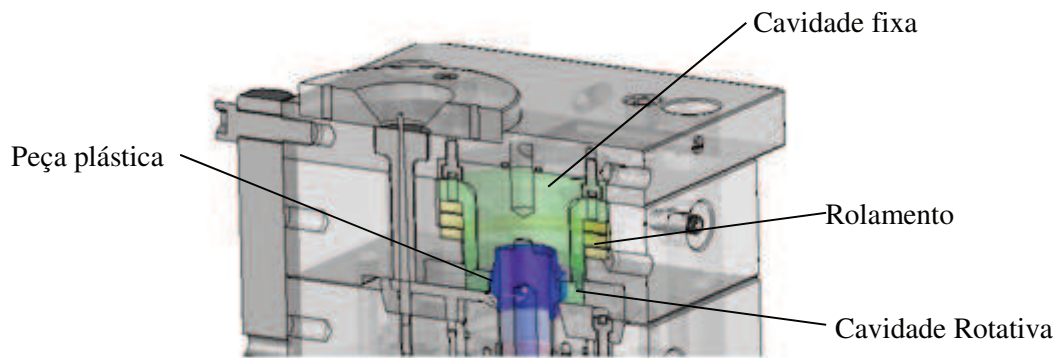


Figura 2.55 -Movimento rotativo de extração acionado pela abertura do molde pelo plano de junta (caso de estudo 1).

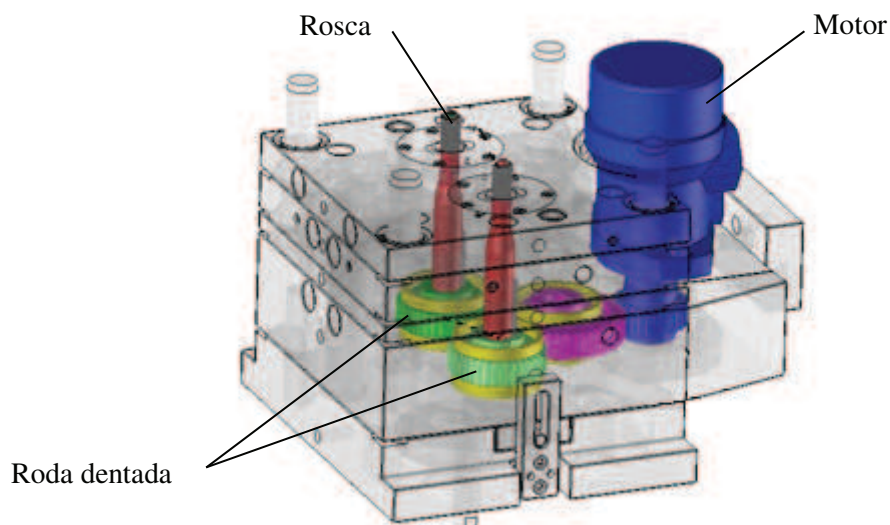


Figura 2.56 -Movimento rotativo de extração acionado por motor hidráulico/pneumático (caso de estudo 2).

2.3. Tipos de moldes

Um molde de injeção de termoplásticos pode ter um grau de complexidade que é função da complexidade da peça plástica que se pretende processar e a sua construção é determinada pela geometria da peça plástica e tempo de ciclo de moldação. Estes objetivos podem ser alcançados com a combinação dos vários sistemas funcionais que constituem o molde (descritos nas alíneas anteriores) e materiais utilizados no fabrico dos sistemas mecânicos. Os moldes podem ser, de acordo com a norma DIN 1670, divididos em: moldes de duas placas, molde de três placas ou placa

flutuante, moldes com partes móveis, moldes com canal quente, *Stack molds* (moldes *sandwich*) e moldes com núcleo rotativo [10]. Além desta classificação, vai-se explicar de forma sucinta, tendo em conta as suas características particulares, os moldes família, *split mold* e moldes bi-material

2.3.1. Moldes de duas placas

Nesta tipologia são considerados todos os moldes que se dividem em lado da injeção (lado fixo) e lado da extração (lado móvel). Estes são dos moldes de produção em serie os que tem menos complexidade mecânica e custo mais baixo.

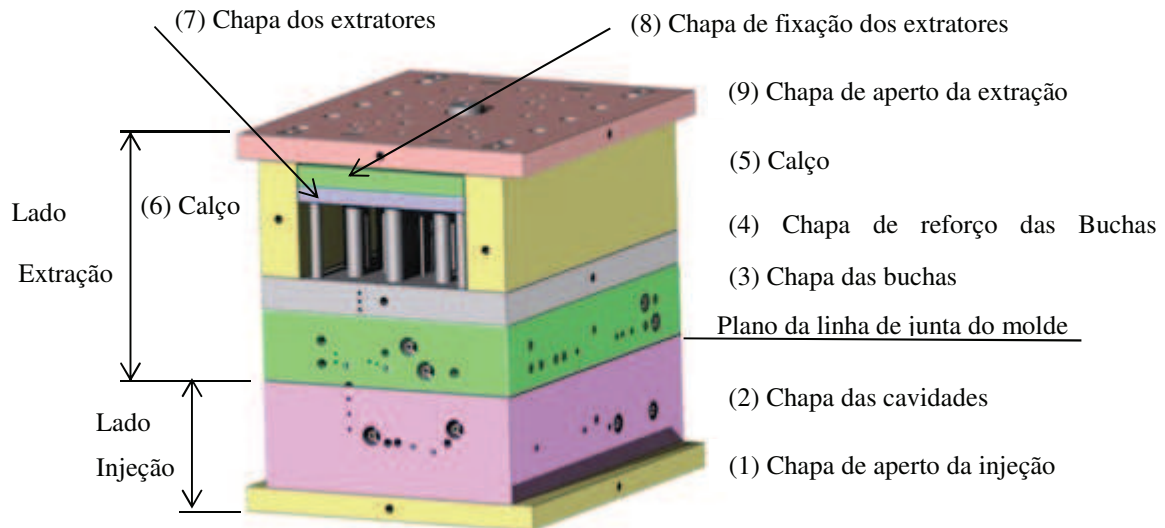


Figura 2.57 - Molde de duas placas.

Os moldes de duas placas com 2 ou mais cavidades podem classificar-se ainda em: moldes sólidos (MS) e moldes estruturados (ME) [3].

i - Moldes sólidos (MS)

Estes moldes permitem moldar várias peças plásticas. As cavidades e buchas são rígidas (tem de suportar a pressão de injeção sem o reforço da chapa das cavidades e da chapa das buchas), com travamento e com o sistema de refrigeração bem projetado [3].

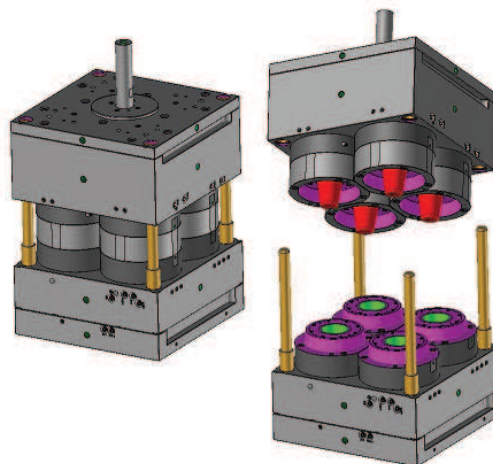


Figura 2.58 - Molde de duas placas-Molde solido (MS).

ii - Moldes estruturados (ME)

Os moldes estruturados podem ser definidos como ferramentas em que as zonas moldantes não são maquinadas diretamente na chapa das cavidades ou nas chapas das buchas, mas sim em postigos maquinados (cavidades e buchas) montados nestas duas chapas. A montagem destes postigos maquinados pode ser feita de duas formas: em caixa ou aro maquinados nas chapas da cavidade e/ou da bucha. A solução com recurso a aro permite ter maior precisão que a solução por caixa, pois permite o recurso a tecnologias que permitem garantir um melhor centramento ente bucha e cavidade [3].

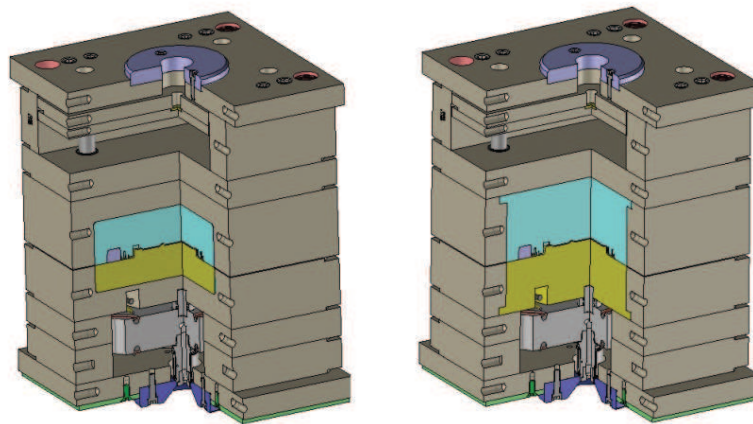


Figura 2.59 - Molde de duas placas - Molde Estruturado (ME) - à esquerda recurso a caixa, à direita recurso ao aro.

Moldes estruturados (ME) - cavidades cilíndricas

Esta aplicação só difere da anterior no que se refere ao formato das cavidades e buchas, que são neste caso, cilíndricas.

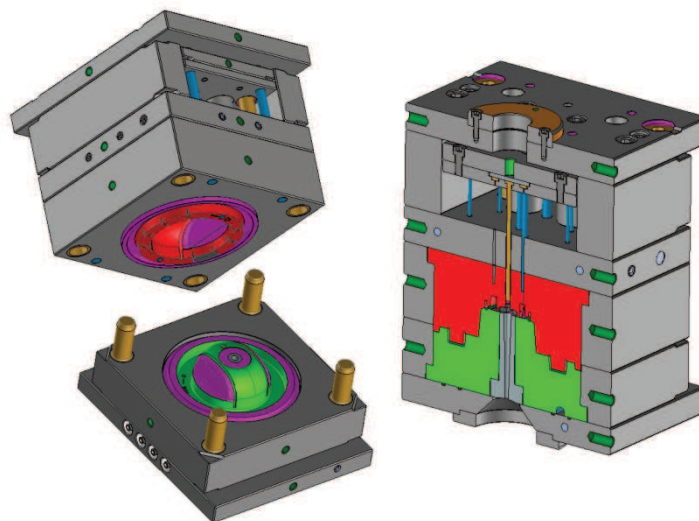


Figura 2.60 - Molde de duas placas - Molde Estruturado (ME) - à esquerda recurso a caixa, à direita recurso ao aro.

2.3.2. Moldes de três placas ou flutuante

Esta tipologia de moldes tem duas aberturas obrigatórias: 1ª canais de alimentação; 2ª plano de junta. Os canais de alimentação e os ataques caem quando a chapa flutuante abre (1ª abertura - canais de alimentação). Quando se verifica a 2ª abertura (plano de junta) as peças plásticas caem. Por outro lado, o tipo de ataque utilizado nesta tipologia de moldes, é o bico de alfinete, permite a minimização das marcas de injeção. No entanto, este tipo de molde tem vindo a cair em desuso devido à quantidade de material desperdiçado (a dimensão do canal de injeção é grande - cor azul na figura 2.61), à manutenção que é dispendiosa (quando comparada com a manutenção de um molde de duas placas), não ser adequado para o processamento de peças plásticas de grandes dimensões tendo em conta o curso de abertura do molde e, finalmente o peso que este tipo de molde acarreta. Tendo em consideração estes pontos negativos, esta tipologia de molde tem vindo a ser substituída por moldes com sistemas de canais quentes.

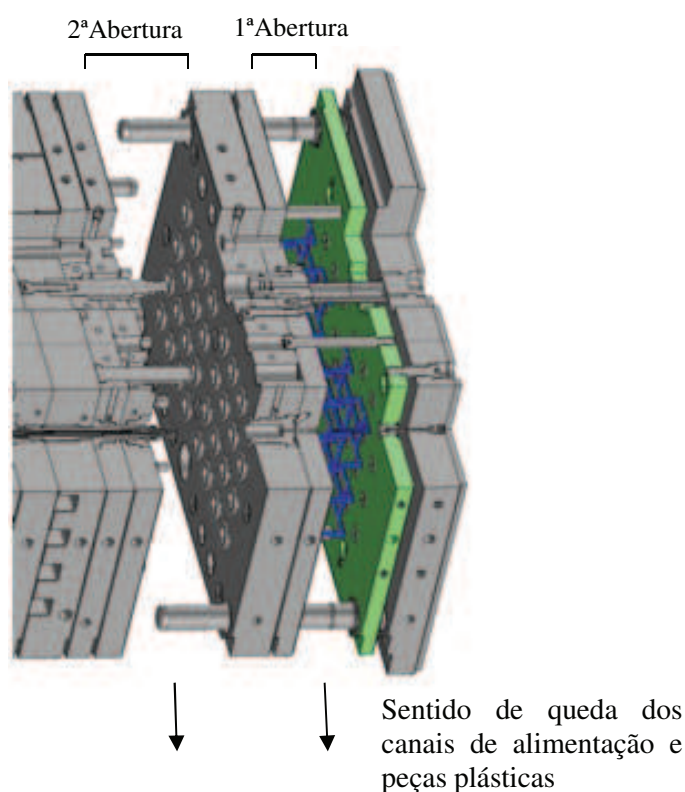


Figura 2.61 - Molde de três placas ou flutuante.

2.3.3. Moldes com elementos móveis

Este tipo de molde é caracterizado por ter componentes móveis que se movimentam na mesma direção ou em direções diferentes do sentido de abertura do molde (figura 2.62). Estes moldes permitem a obtenção de peças plásticas com geometrias complexas e com saídas negativas. Estes elementos podem ser acionados por guia, mola ou sistema hidráulico/pneumático, antes, depois ou a quando da abertura do molde ao plano de junta. Estes moldes necessitam, naturalmente de uma manutenção mais complexa que os moldes de duas ou três placas.

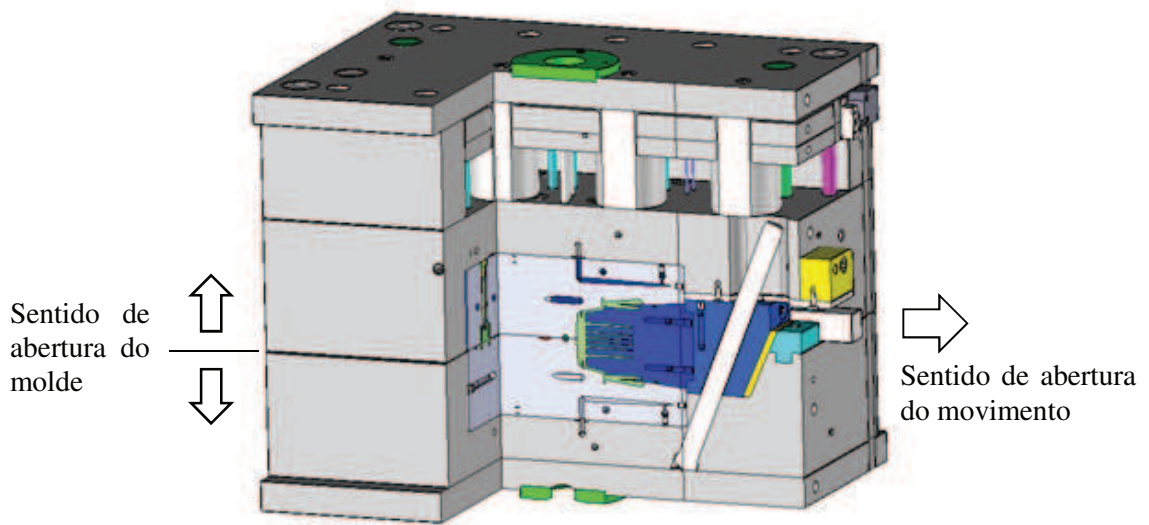


Figura 2.62 - Molde com elementos móveis.

2.3.4. Moldes de canais quentes

Nesta tipologia de moldes o material polimérico chega às cavidades por canais que são aquecidos por resistências elétricas, em que o material é mantido fluído a uma temperatura constante. Como tal, neste tipo de moldes não existem canais frios a ser preenchidos após a extração das peças plásticas, o que se traduz em ciclos de moldação mais curtos. Por outro lado, estes moldes têm uma manutenção mais cuidada, quer ao nível de mudança de cor do material a processar, em que é preciso efetuar uma limpeza que inclui a desmontagem/montagem do molde, quer após a paragem da produção para ser efetuado um novo arranque. Consequentemente este tipo de moldes tem vindo a ser menos utilizado (figura 2.63).

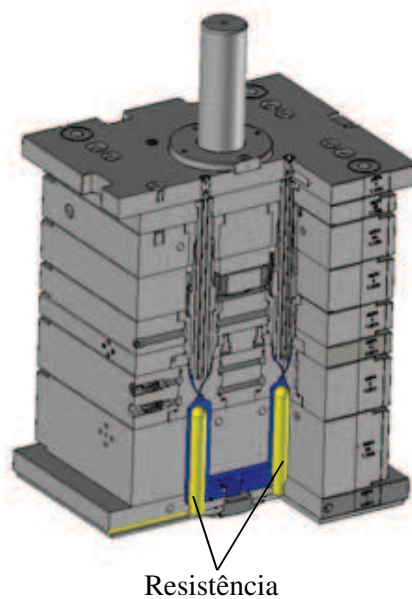


Figura 2.63 - Molde com canais quentes.

Os sistemas de injeção com carburador/distribuidor e bicos aquecidos (figuras 2.64 e 2.65), apesar de serem mais caros têm vindo a substituir o sistema de canais quentes pois, apresentam menores tempos de ciclo de moldação, menores marcas de injeção, fácil mudança de cor, menor manutenção (e custo) e menores tempos de arranque após paragem de produção.

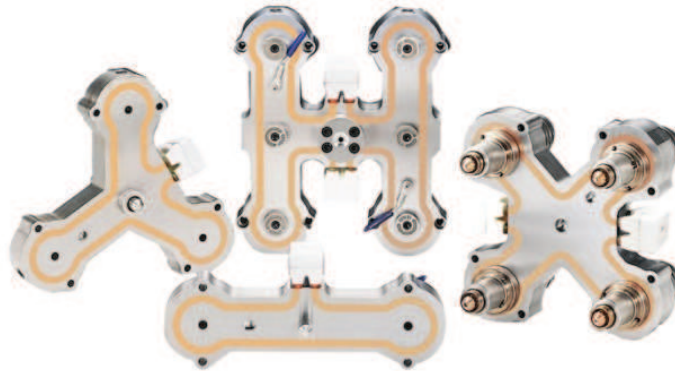


Figura 2.64 – Sistemas de injeção com carburador (marca yudo) [11].

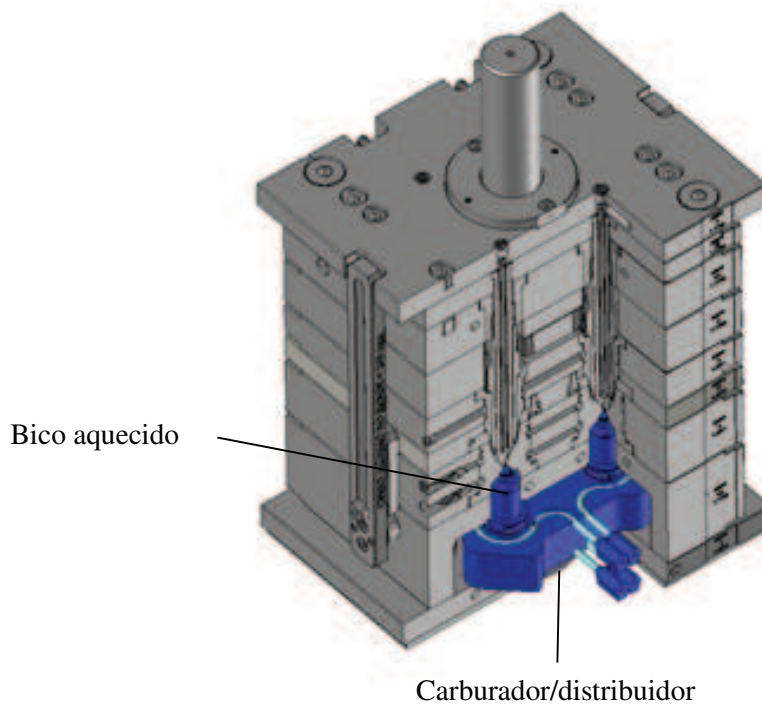


Figura 2.65 – Molde com sistema de injeção com carburador.

2.3.5. *Stack mold (moldes sandwich)*

Esta tipologia de molde é caracterizada por poder processar duas ou mais peças utilizando a mesma força de fecho da máquina de injeção pois, a área projetada destas peças é igual, pelo que para efeitos de cálculo da força de fecho só se considera uma. Este tipo de moldes permite “n” peças mas tem como limitações a afinação e manutenção do molde, bem como, limitações ao nível de plastificação e injeção da máquina (figura 2.66) [12].

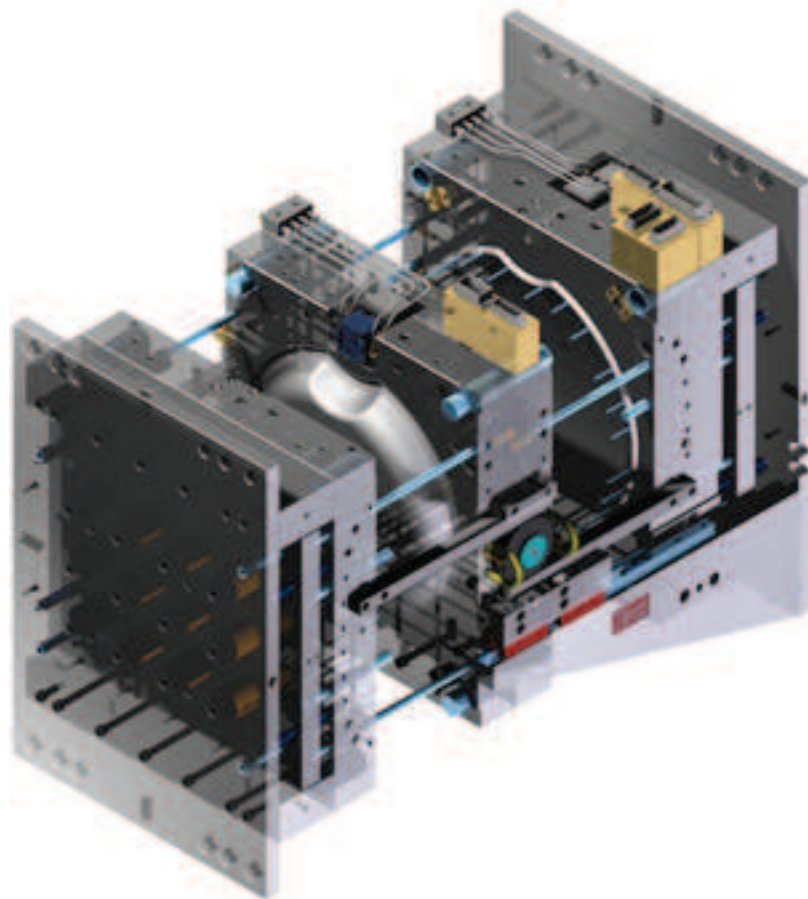


Figura 2.66 – *Stack mold* [13].

Naturalmente, o sistema de injeção para este tipo de molde pode ser caro e complexo. Por outro lado, pode-se considerar que a manutenção é equivalente à manutenção de dois moldes e que o seu fabrico é equivalente ao fabrico de dois moldes de injeção. Além disso deve-se ter em conta a abertura máxima da máquina de injeção e as dimensões finais do molde pois estes dois aspetos são fulcrais para esta solução ser exequível.

Também pode ser executada a moldação de peças diferentes utilizando esta solução conforme se pode observar na figura 2.67.

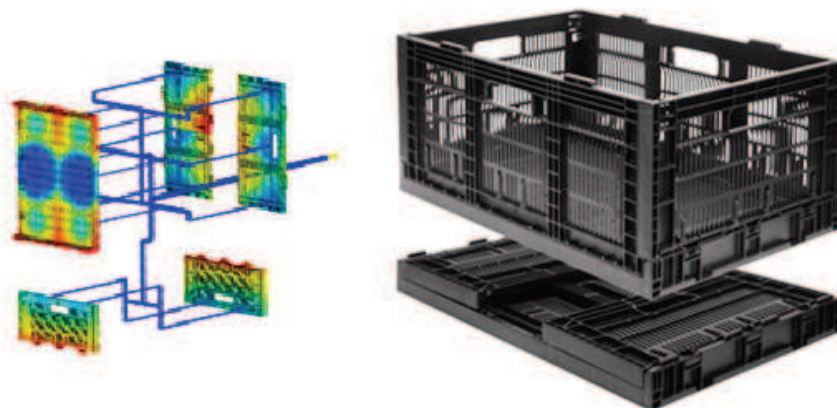


Figura 2.67 – Peças diferentes a ser moldadas- *Stack mold* [12].

A parte que suporta as cavidades na abertura do molde tem de ficar a meio, pois deste modo tem-se a abertura para a extração das peças, com recurso a acionamentos necessários que podem ser efetuados por cremalheira com roda dentada, fusos com porcas helicoidais, sistemas hidráulico/pneumático, alavanca ou tirantes [3].

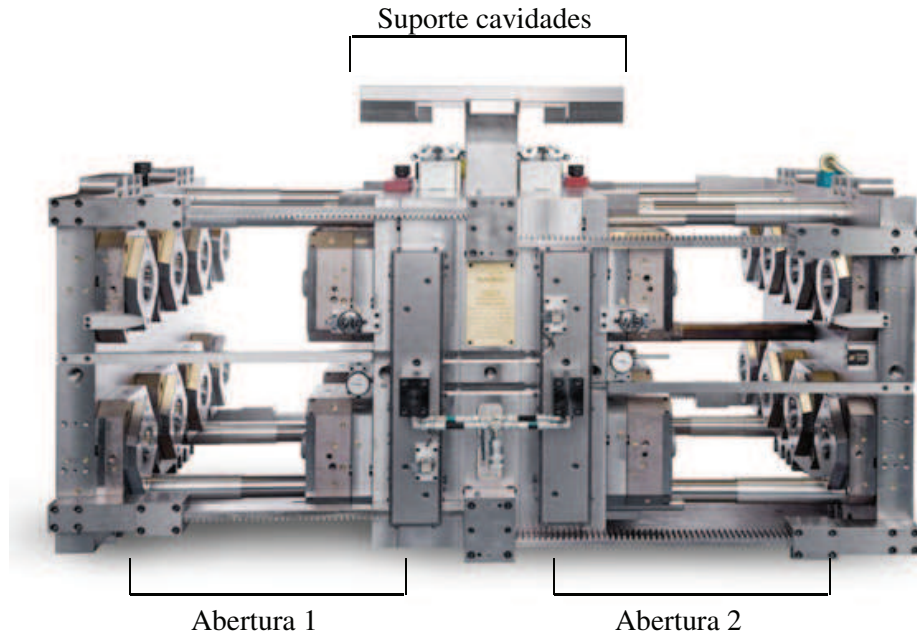


Figura 2.68 – *Stack mold* – identificação das aberturas e suporte das cavidades [12].

2.3.6. Moldes com núcleo rotativo (moldes de desenroscamento automático)

Esta tipologia de moldes é específica para o fabrico de peças plásticas com rosca interiores que não são exequíveis por métodos convencionais, como por exemplo, desmoldação por pressão (este processo é aplicável a peças onde a geometria da sua rosca interna permite a sua desmoldação forçada). Este tipo de moldes pode ter um funcionamento complexo, com sistema mecânico que permita desmoldar as peças sem danificar os filetes da rosca. Tais moldes são constituídos em geral por múltiplas cavidades (moldes com 64 cavidades, por exemplo, são bastante comuns) [14].

As buchas que moldam as peças plásticas com rosca têm movimento de rotação e translação sobre o seu eixo, quando a extração é acionada para a remoção das peças. Esta rotação pode ser efetuada por vários sistemas mecânicos: cremalheiras e rodas dentadas, fusos e porcas helicoidais, sistemas hidráulicos, alavancas e tirantes [3]. No entanto, os dois processos de desenroscamento mecânicos mais utilizados são: o processo cremalheiras e rodas dentadas e o processo fusos e porcas helicoidais. Consequentemente irão ser abordados mais particularmente estes dois sistemas mecânicos.

No caso do sistema por cremalheiras e rodas dentadas, (figura 2.69) o movimento de desenroscamento consiste no acionamento das cremalheiras (A) pelo atuador hidráulico (B), que por sua vez transmitem movimento de rotação às buchas (C – elementos moldantes). O movimento de rotação das buchas moldantes (C) que moldam a peça plástica com rosca, tem que ser

acompanhado com movimento de translação (pois sem este movimento a rosca da peça poderia ser destruída. Assim, para ser possível este movimento, é aplicado um casquilho (D) com rosca idêntica à rosca a ser moldada. Deste modo, a bucha vai ter um movimento horizontal ao mesmo tempo que roda sobre si, como a peça plástica não pode rodar é, por exemplo, aplicado um casquilho com um recartilhado de fixação (E), o que vai permitir um desenroscamento sem danos na rosca da peça plástica. A remoção das peças plásticas é executada através do acionamento do sistema de extração (32 buchas) que é acionado pelo KO da máquina de injeção (F).

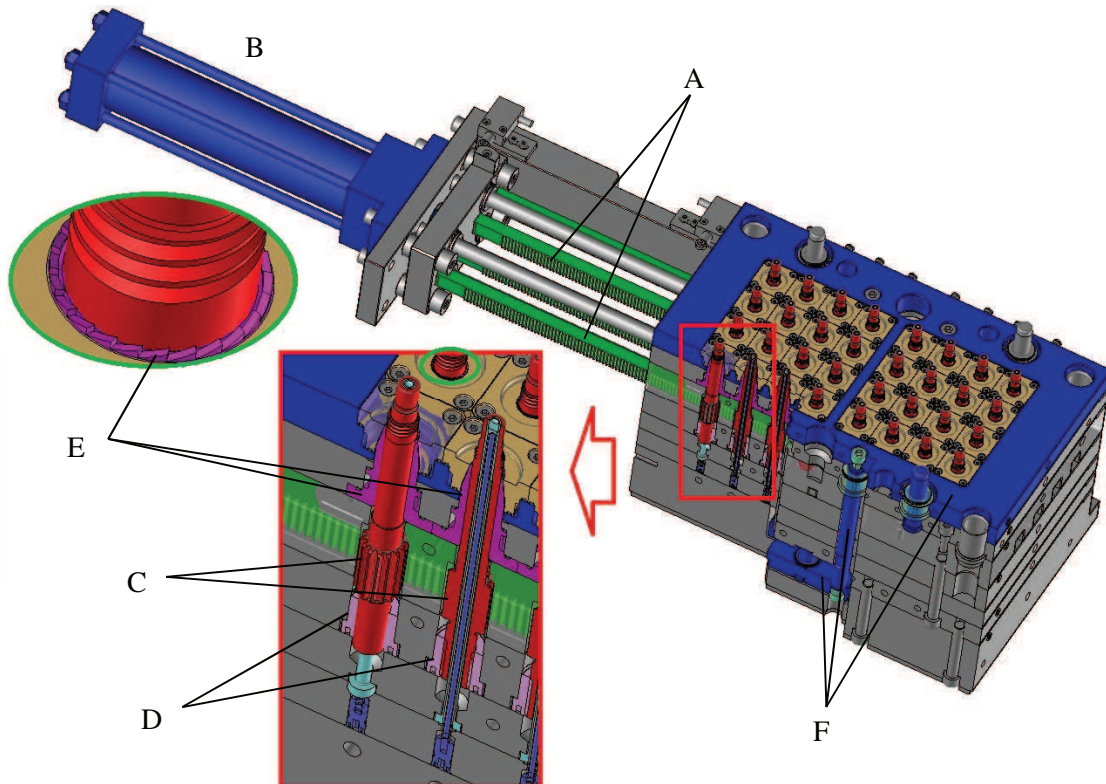


Figura 2.69 – Molde com núcleo rotativo com 32 cavidades – acionamento por cremalheira e rodas dentadas.

No caso do acionamento de desenroscamento ser por fuso e porca helicoidal (figura 2.70), este sistema consiste basicamente no acionamento da porca helicoidal (A) pelo fuso (B - fuso encastrado no lado da injeção) que decorre do movimento de abertura do molde pela linha de junta (PL). Por outro lado, a porca helicoidal está solidária com a roda dentada maior, (C) que por sua vez está engrenada na bucha moldante (D) que recebe movimento de rotação. O movimento horizontal é conseguido (como no exemplo anterior) por um casquilho (E). Neste caso particular, o casquilho de acionamento horizontal (E) é dentado por forma a poder ser afinado através de uma barra de posicionamento (F). A peça plástica é mantida na sua posição (injeção) sem rodar por um casquilho com um recartilhado de fixação (G). O sistema de extração (H) é acionado pela abertura total do molde pelo plano de junta, ou seja, o molde funciona, neste caso, só com o movimento de abertura do molde de injeção.

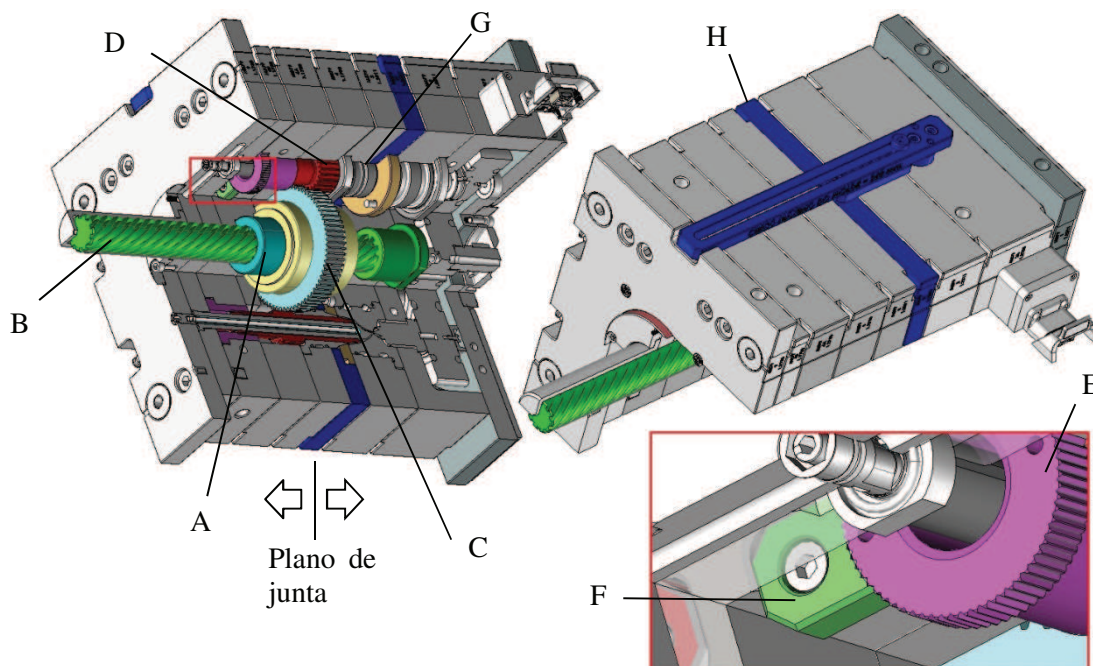


Figura 2.70 – Molde com núcleo rotativo (com 4 cavidades) – acionamento por fuso e porca helicoidal.

2.3.7. Molde família

Neste tipo de moldes, pretende-se processar num só molde um conjunto de peças de geometria distinta. Apesar das óbvias vantagens deste tipo de molde, a sua maior desvantagem é a necessidade de balancear a injeção de modo a todas as peças terminem o seu enchimento ao mesmo tempo, por forma a se ter peças plásticas com boas propriedades físicas e mecânicas.

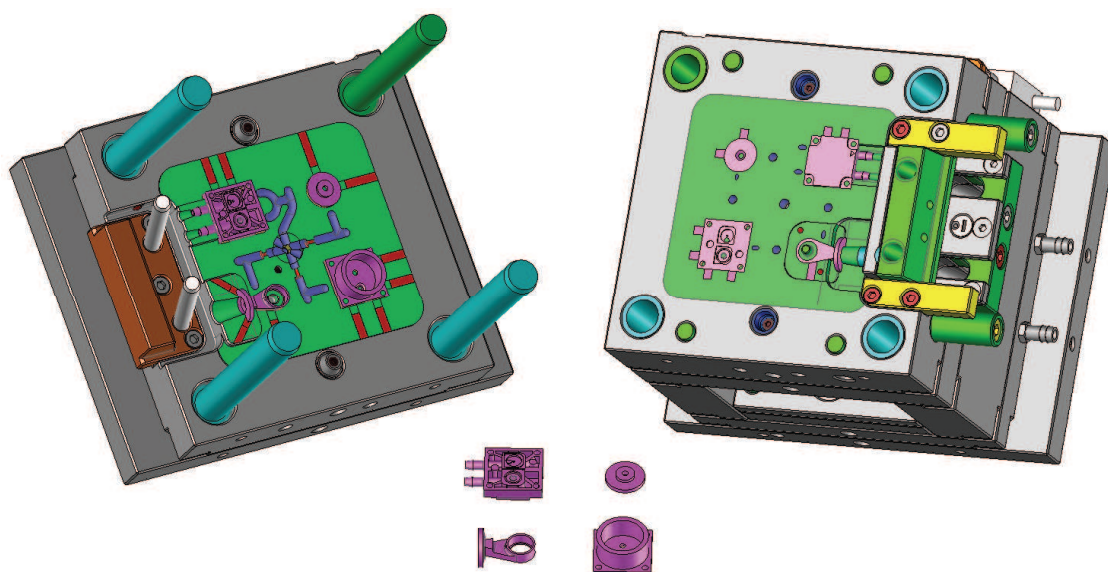


Figura 2.71 – Exemplo molde família com peças com diferentes geometrias.

2.3.8. *Split* molde

Estes tipos de moldes são caracterizados por terem elementos móveis do lado da injeção, que podem ser acionados por guia, mola ou por sistema mecânico hidráulico/pneumático. Podendo ser acionados antes, depois ou aquando da abertura do molde à junta.

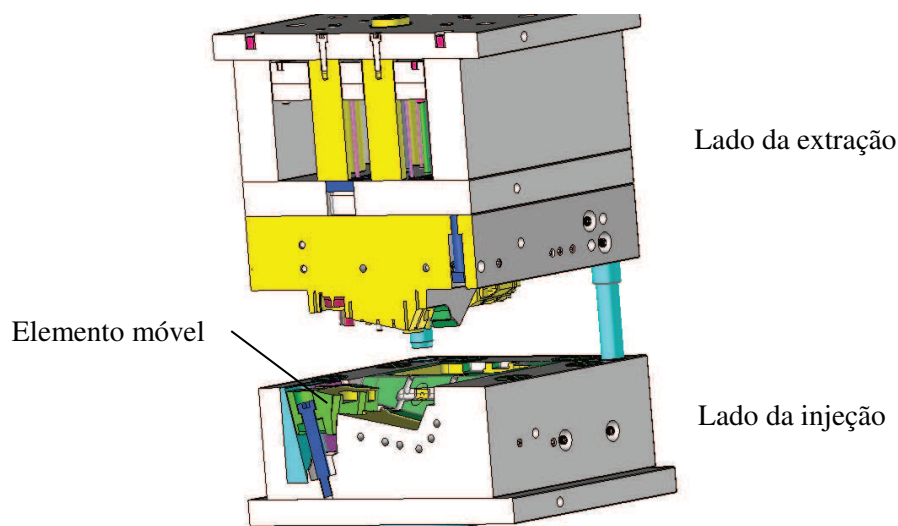


Figura 2.72 – Exemplo *split* molde – acionamento por mola.

2.3.9. Molde bi-Material

Esta tipologia de moldes consiste na moldação de dois ou mais tipos de materiais diferentes que podem ser compatíveis ou não, ou com cores diferentes [3].



Figura 2.73 – Exemplo peça bi-material - Lexan (azul) +TPE (vermelho).

Este processamento pode ser executado por movimento de transferência ou rotação das buchas:

- No processo de transferência a peça plástica pode ser transferida pela ação de um robot, de uma máquina para outra ou da primeira posição de injeção para a segunda no mesmo molde, sendo que esta opção implica que a máquina de injeção tenha mais uma unidade de injeção (figura 2.74) [3].

- No processo por rotação, a transferência da 1ª para a 2ª posição de injeção é executada através de rotação implícita no molde ou pela rotação do prato da máquina de injeção. Também, neste caso, é necessário a máquina de injeção possuir mais uma unidade de injeção (figura 2.75) [3].

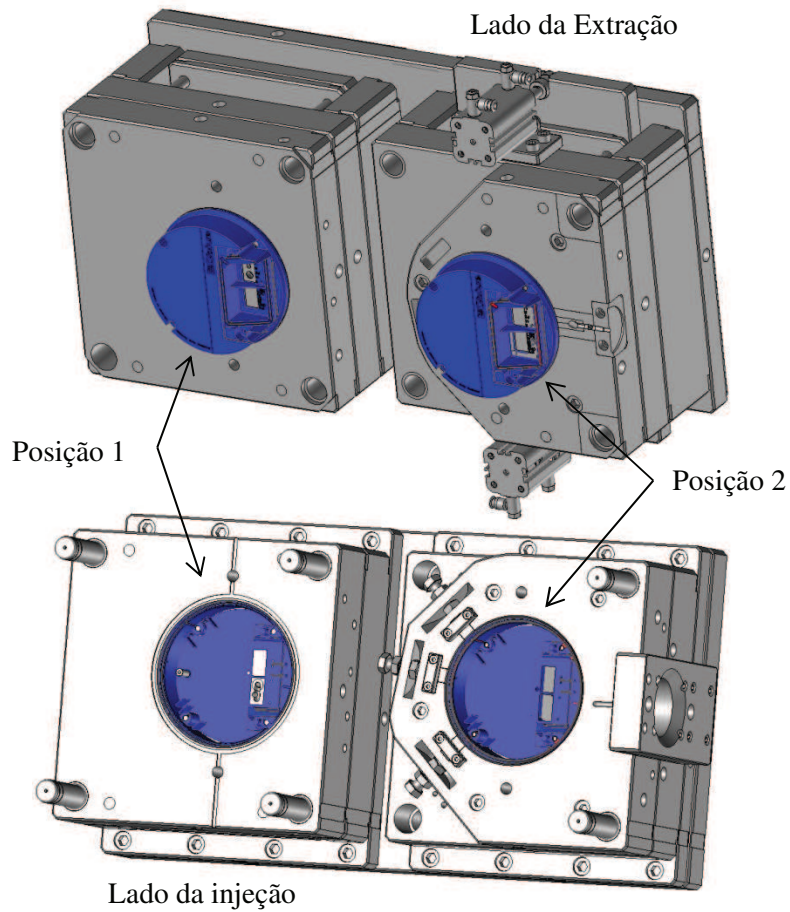


Figura 2.74 – Molde bi-material, processo transferência – duas posições de injeção.

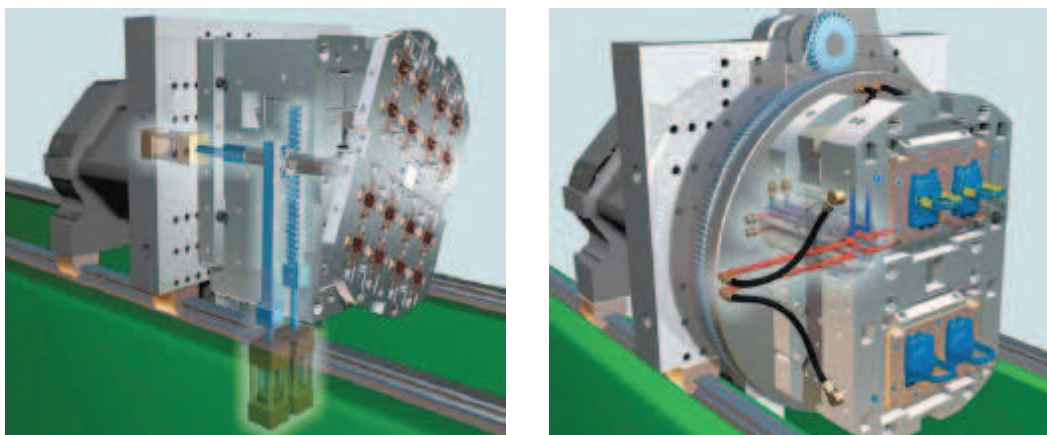


Figura 2.75 – Molde bi-material processo automático – lado esquerdo chapa rotativa, lado direito prato rotativo [15].

2.4. Ciclo de injeção

O processo de moldação por injeção é um processo cíclico que consiste num conjunto de operações de processamento necessárias ao fabrico de uma peça plástica. Este processo de processamento de termoplásticos é muito utilizado no fabrico de componentes plásticos para as várias indústrias. Este tipo de processamento por injeção tem, no entanto, um elevado investimento em equipamento e ferramentas (molde). Após o fabrico do molde (que pode ser caracterizado por ter uma elevada complexidade técnica), a otimização do ciclo de injeção é de extrema importância por forma a se ter peças plásticas com boas propriedades físicas, mecânicas, dimensões e geometria de acordo com as necessidades do cliente. Na otimização do ciclo de injeção, os parâmetros podem ser ajustados e conjugados tendo em consideração as propriedades reológicas e térmicas do material a injetar, tendo em conta a geometria da moldação considerada e as especificações do produto final que são: temperatura do fundido, temperatura do molde, velocidade de injeção, pressão de injeção, pressurização e temperatura de extração [16]. O objetivo de processamento por injeção é o de obter peças plásticas em conformidade com as especificações do cliente.

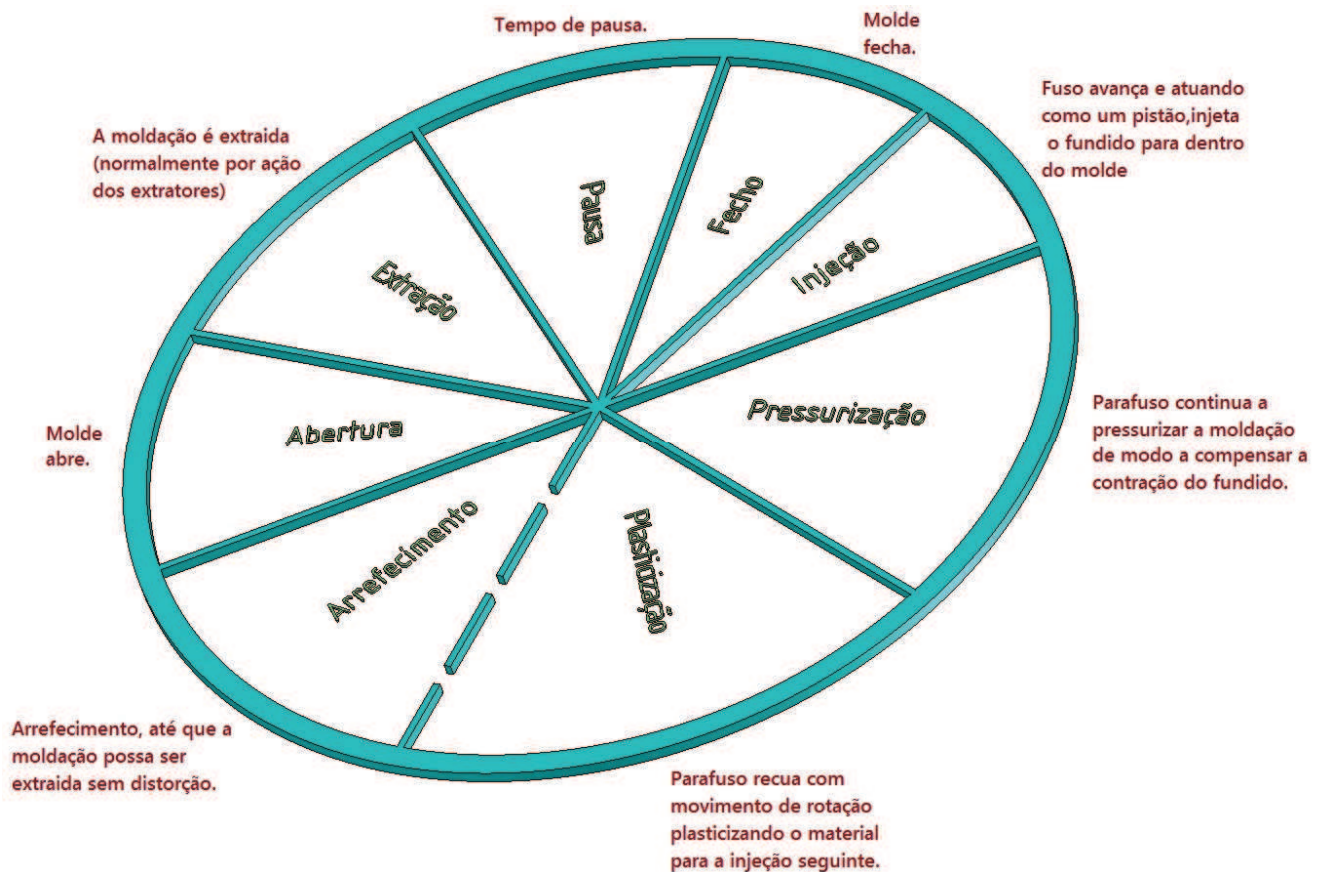


Figura 2.76 – Ciclo de Injeção.

2.5. Materiais plásticos (poliméricos)

Os materiais plásticos são caracterizados por terem baixa densidade, boa resistência à corrosão, versáteis, de fácil conformação de peças complexas, baixo custo de transformação associado a

baixas temperaturas e pressões. Os polímeros têm vindo a substituir de uma forma crescente os materiais metálicos e cerâmicos por apresentarem vantagens competitivas significativas.

Os polímeros são constituídos por macromoléculas (moléculas de grandes dimensões), que por sua vez, são constituídas por unidades estruturais repetitivas de menor dimensão (o seu número pode atingir os milhares de unidades) ligadas entre si por ligações covalentes, podendo as cadeias ser lineares, com ou sem ramificações. Estas cadeias formam estruturas tridimensionais ao ligarem-se entre si [17].

A classificação dos polímeros pode ser feita da seguinte forma:

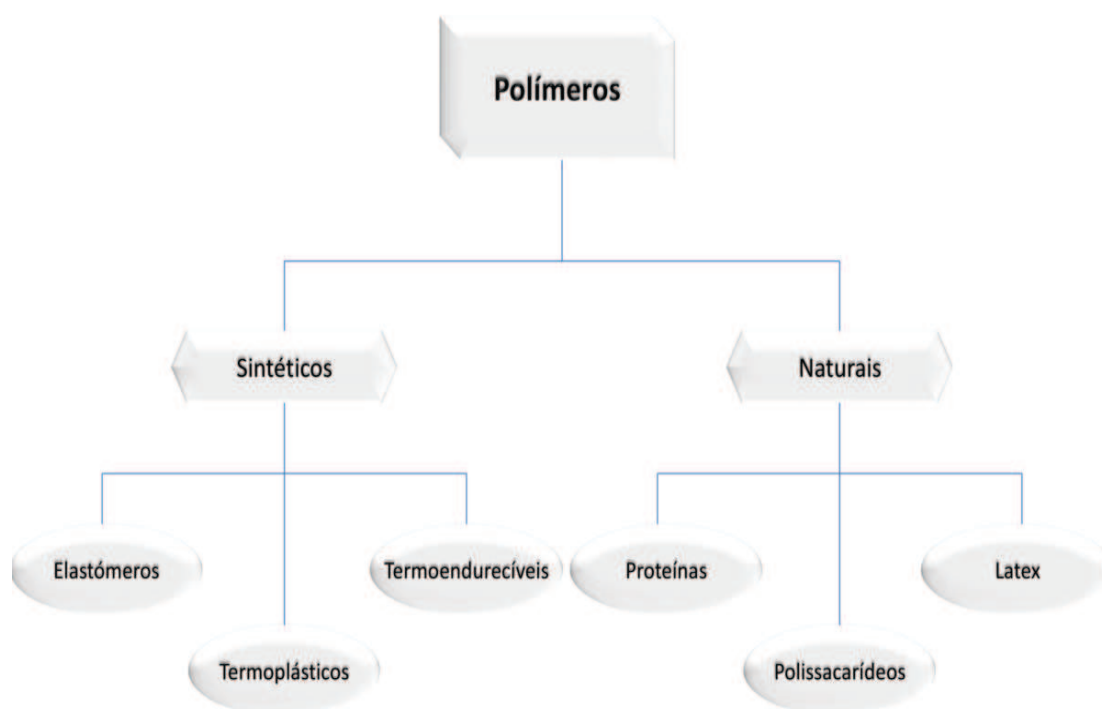


Figura 2.77 – Classificação geral dos polímeros.

Esta classificação pode ser feita agrupando os polímeros por propriedades semelhantes, tendo a vantagem de mostrar a estrutura molecular. Desta forma, os termoplásticos podem ainda ser subdivididos em cristalinos, semi-cristalinos e amorfos [18]. Os polímeros são obtidos a partir de monómeros da mesma natureza sendo classificados como homopolímeros, mas também podem ser obtidos a partir de monómeros de diferente natureza (as cadeias são constituídas por mais de um tipo de unidades repetitivas) designados por copolímeros [17]. Pode ainda dividir-se os copolímeros em quatro tipos fundamentais: copolímeros aleatórios, alternantes, em bloco e os de inserção. Os copolímeros aleatórios são constituídos por monómeros distribuídos na cadeia sem ordem aparente. No caso dos copolímeros alternantes os monómeros estão distribuídos de forma alternada e regular. Os copolímeros em bloco são constituídos por monómeros que estão distribuídos em blocos sequenciais. Nos copolímeros de inserção, os blocos de monómeros estão inseridos como ramificações, na cadeia constituída por outro monómero [17].

3. Projeto e fabrico de moldes de desenroscamento automático

3.1. Introdução

Os projetos de moldes de injeção desenvolvidos e apresentados neste trabalho tiveram como objetivo satisfazer o pedido de um cliente para o fabrico de duas peças plásticas funcionais de um novo equipamento que foi, entretanto, comercializado. Na figura 3.1 pode observar-se a sequência de montagem de todos os componentes constituintes do equipamento a ser comercializado, com as duas peças plásticas desenvolvidas e fabricadas na empresa *Moldemba*: peça plástica **A** (molde 827) e peça **B** (molde 828).

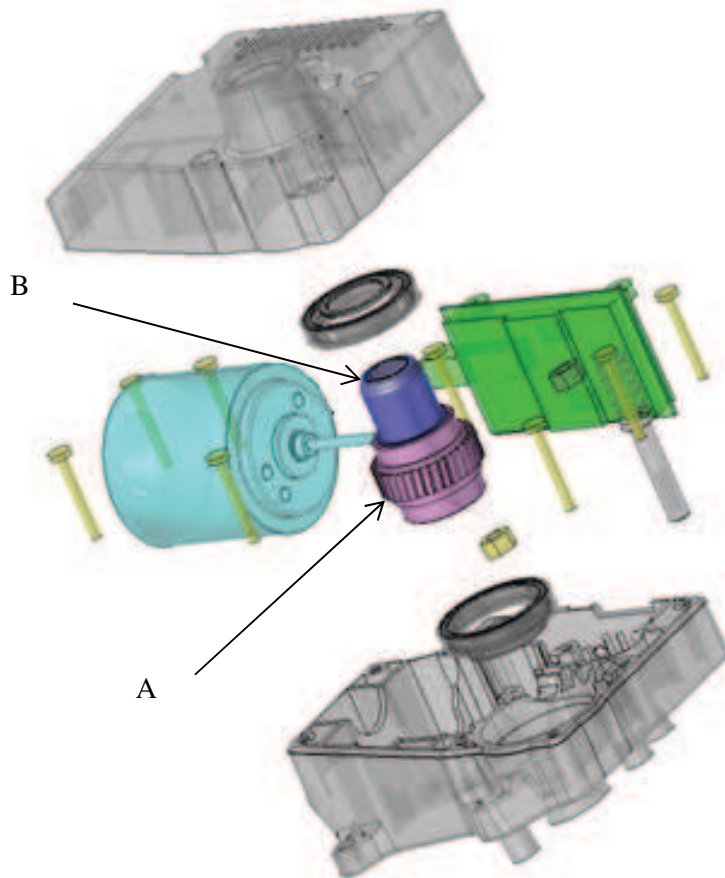


Figura 3.1 - Vista explodida da montagem recebida do cliente.

As peças a processar devem ser resistentes em termos mecânicos e devem possuir um baixo coeficiente de atrito. Por forma a responder a estes requisitos, foi seleccionado o material termoplástico POM (Polióxido de Metileno, acetal ou poliacetal) virgem e com reforço de 10% de fração em peso de fibras curtas de vidro. Nos dois projetos realizados, das peças plásticas processadas por injeção, considerou-se apenas os valores de contração referentes ao material termoplástico POM, sem reforço de fibras curtas de vidro.

3.2. Projeto Moldes 827 e 828: considerações

No projeto de moldes de injeção deve ter-se em atenção um conjunto de fatores (nº de cavidades e disposição das mesmas, sistema de injeção, sistema de extração, máquina de injeção (força de fecho, peso da moldação, área projetada, etc.) e materiais a injetar, etc.) que podem ser determinantes no fabrico dos vários componentes do molde (projeto, seleção de materiais e requisitos impostos pelo cliente), processamento das peças plásticas e máquina de injeção considerada para o processamento. O ciclo de moldação estimado pelo cliente é naturalmente determinante no projeto de fabrico, seleção de materiais dos vários componentes do molde de injeção (sistema de refrigeração) e seleção do sistema de alimentação. Deve-se no projeto de um molde de injeção de peças plásticas ter em atenção o sentido de desmoldação, as áreas visíveis das mesmas, prever eventuais defeitos/marcas (linhas de soldadura, linhas de junta, marcas de extratores, marcas de pontos de injeção, etc.) por forma a poder minimiza-los ou elimina-los em função dos requisitos do projeto e do cliente [4].

3.2.1. Caso de estudo 1: Molde 827

A partir do desenho preliminar, fornecido pelo cliente, referente à peça plástica a processar, esta foi remodelada em Topsolid (por forma a ser possível a sua moldação por injeção.) que foi enviado para o cliente, para aprovação (ficheiro 3D no formato IGS, tipo de formato neutro para programas de CAD/CAM, figura 3.2), sendo posteriormente a aprovação recebida da modelação acompanhada por um desenho 2D (figura 3.3) com as cotas fundamentais/funcionais de forma a garantir o processamento da peça plástica. A partir da aprovação da modelação, foi desenvolvido o projeto preliminar (figura 3.5) que foi enviado para o cliente, de modo ter-se a aprovação do cliente e dar inicio aos trabalhos de fabrico (corte de aços, compra de acessórios, maquinação, electro erosão, etc.).

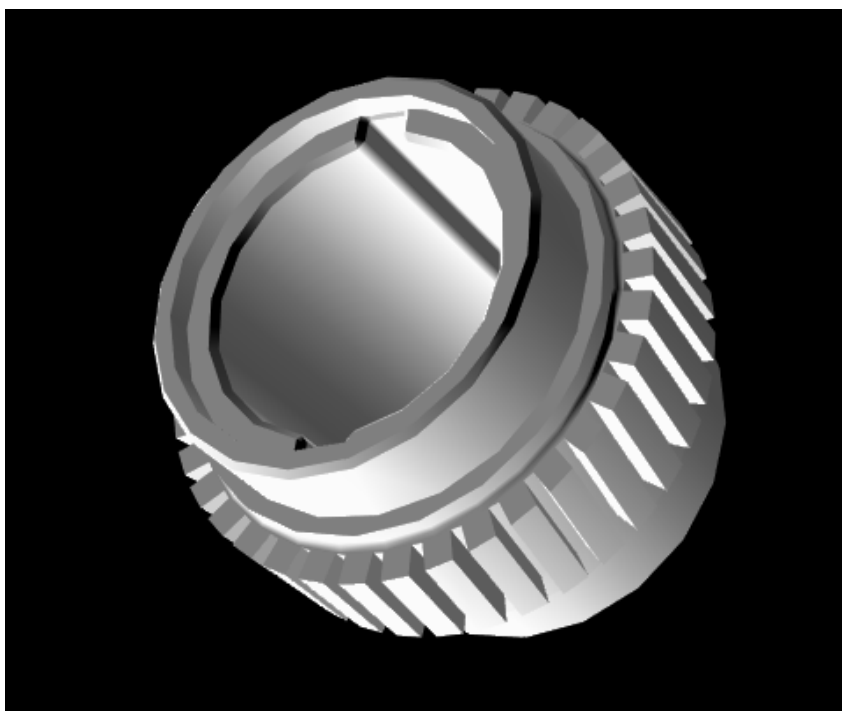


Figura 3.2 – Peça plástica modelada e referente ao molde de injeção 827.

A partir do desenho preliminar enviado pelo cliente, foram efetuados estudos relativos à desmoldação da peça, existência de zonas negativas, ponto de injeção (tendo em consideração a zona visível da peça), etc.. A título exemplificativo, na figura 3.4 é possível observar através da definição de um plano de junta num plano errado, o que é uma zona negativa. O diâmetro da zona de saída no plano de junta é $\varnothing 32.50$ mm e a peça mais abaixo tem $\varnothing 37.80$ mm, como tal, essa zona seria negativa e teria de ser deformada para ser possível a sua extração da zona moldante.

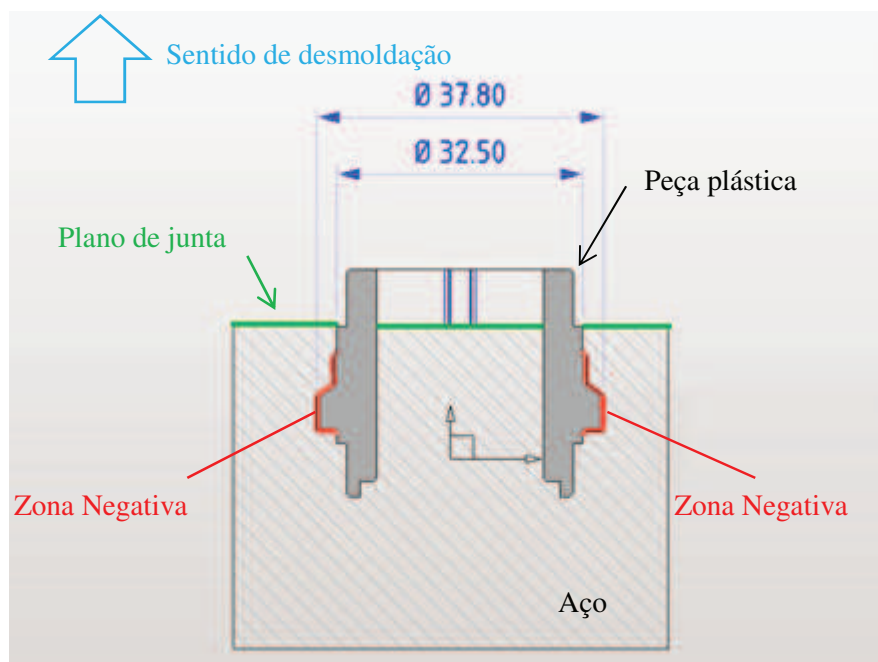


Figura 3.4 – Exemplo de uma zona negativa.

Após esta análise e com a informação recebida do cliente pode-se dar início ao preliminar do molde de injeção, com recurso ao *software* TopSolid. Um preliminar é, como o próprio nome indica, um primeiro esboço 2D do molde de injeção, para se ter dimensões de aços (para compra e corte de aços), opções de funcionamento do molde de injeção para processamento da peça plástica, verificar-se a viabilidade da máquina de injeção considerada (pelo cliente) e iniciar os trabalhos de maquinação. (figura 3.5).

Assim, após a aprovação por parte do cliente, dá-se início à modelação 3D do molde de injeção (figura 3.6 e 3.7), elaboração da lista de aços para a estrutura do molde de injeção para pedidos de orçamento e compra (tabela 3.1), execução de desenhos 2D dos componentes estruturais, nomeadamente chapas da estrutura e acessórios do molde não Standard, completando em simultâneo a lista de materiais (tabela 3.4), após a confirmação das dimensões das varias chapas e acessórios, durante a execução dos respetivos desenhos 2D.

É de referir as vantagens que decorrem da execução da modelação 3D do molde no que se refere à verificação de possíveis interferências mecânicas entre peças móveis, fixas, circuitos de águas de refrigeração e estrutura do molde, reduzindo assim a probabilidade de se verificarem erros de interferência entre componentes mecânicos, erros dimensionais de componentes mecânicos, etc.

O aço selecionado para a estrutura do molde foi o aço *1.1730* (tabela 3.2 e 3.3), pois trata-se de um aço que é muito utilizado em estruturas de moldes e também muito utilizado na construção mecânica em geral (aço mais usado nas estruturas standard de empresas que fornecem esse tipo de componentes, tais como *Hasco*, *Meusburger*, *Bruy Rubio*, etc). É um aço com um bom comportamento mecânico e apresenta uma boa maquinabilidade [19] [20].

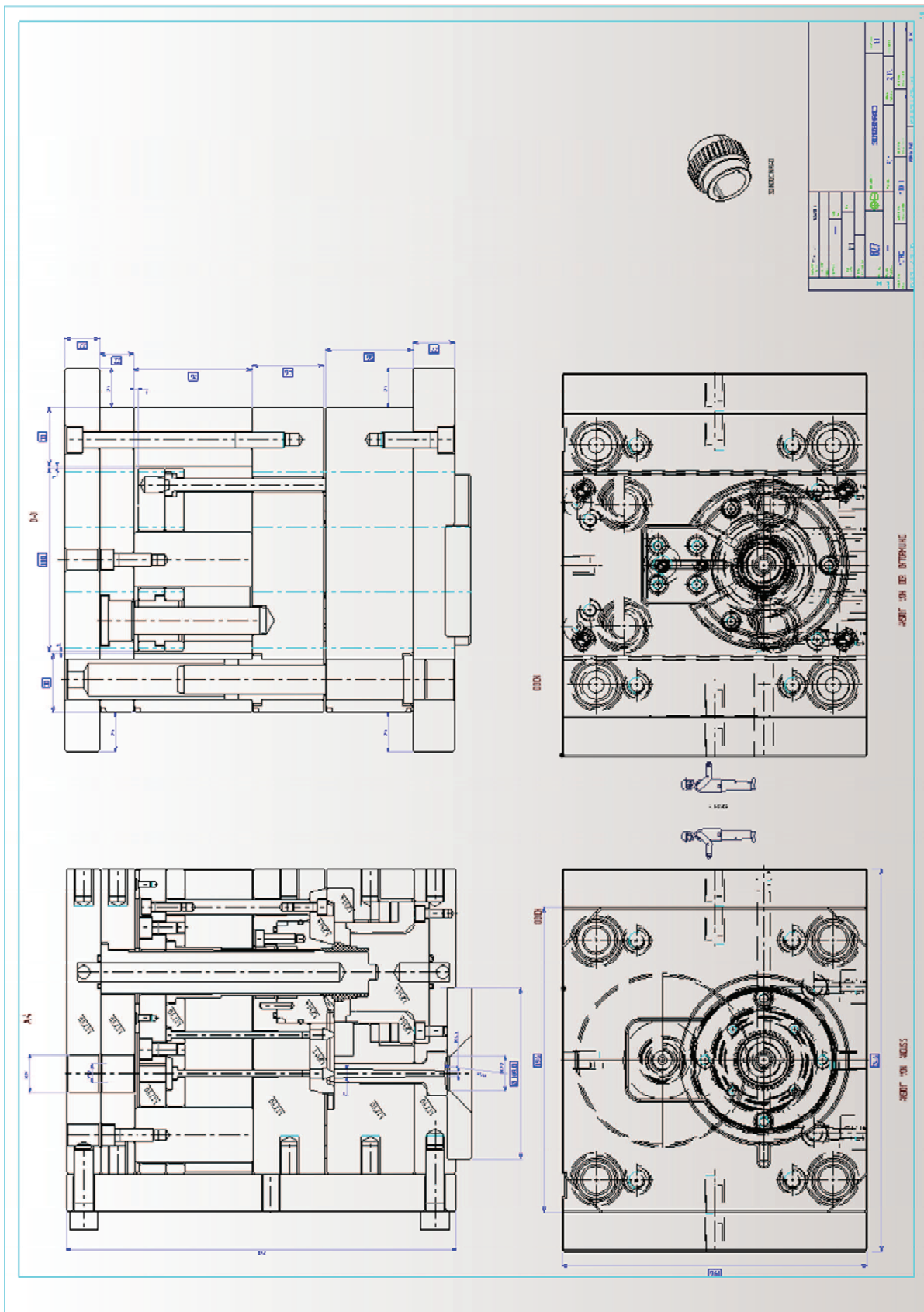


Figura 3.5 – Preliminar 2D do molde.

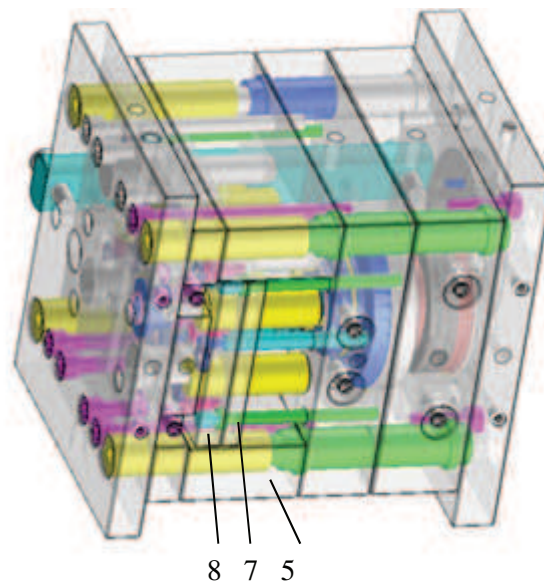
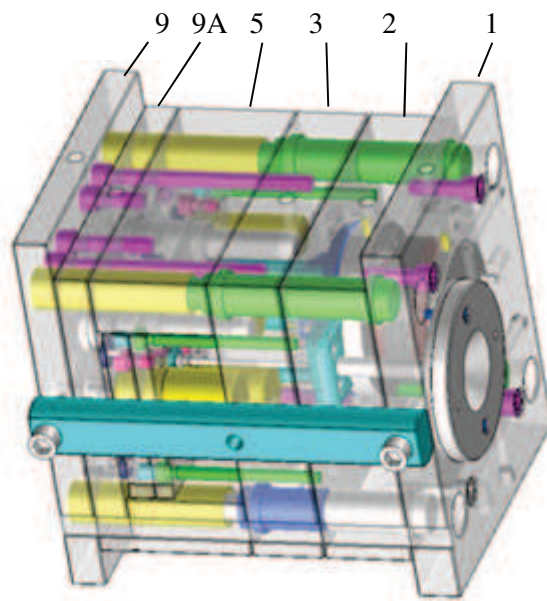


Figura 3.6- Vistas do molde de injeção (827) fechado. Na figuração estão indicadas a numeração das chapas.

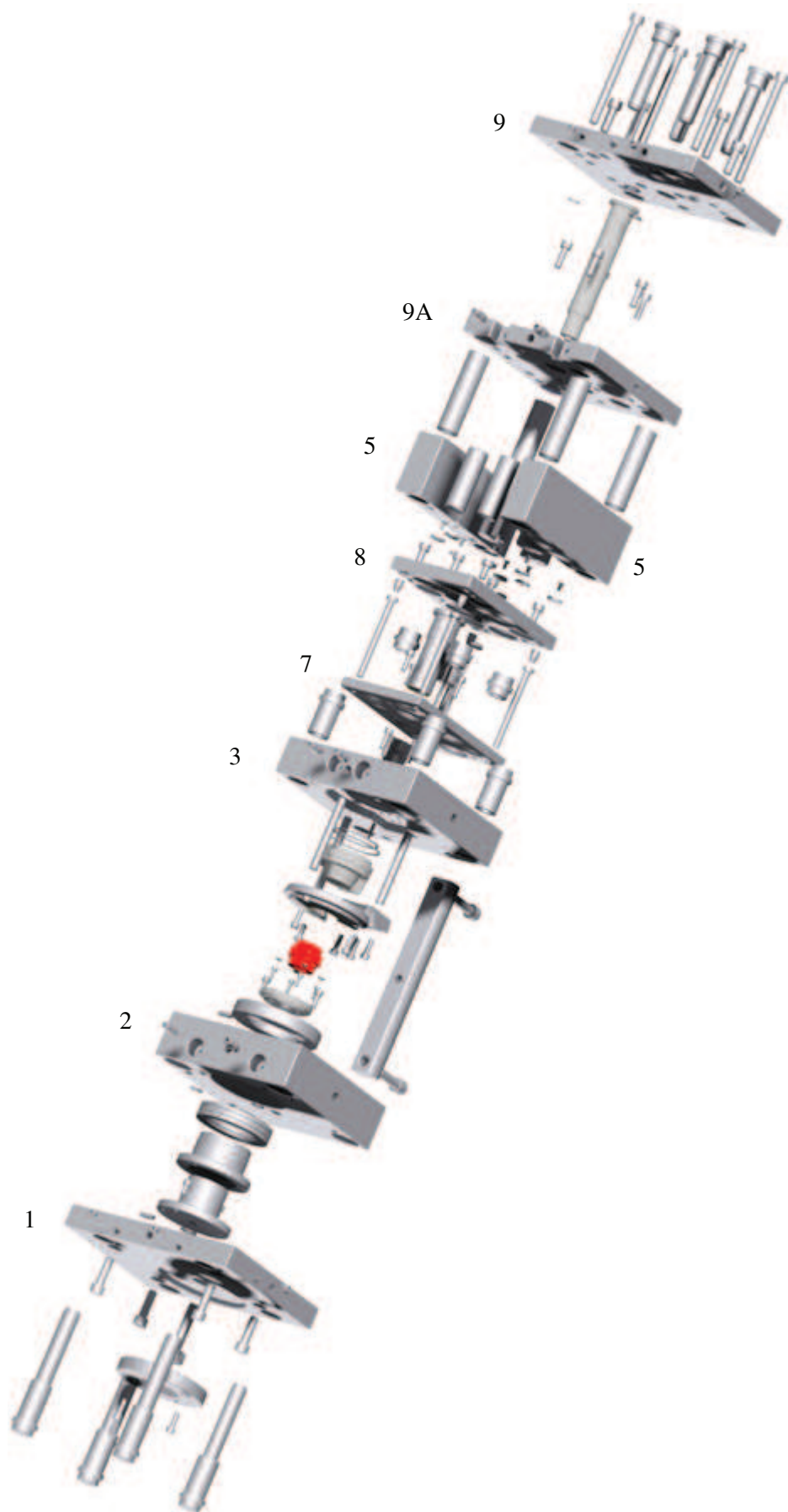


Figura 3.7 -Vista global molde de injeção (827): lado injeção e lado da extração.

Tabela 3.1 - Lista de aços referentes à estrutura do molde: pedidos de orçamento.

Nº	Designação	Quant.	Dimensões	Materiais
1	Chapa de Aperto da injeção	1	246x196x27	1.1730
2	Chapa da Cavidade	1	196x196x56	1.1730
3	Chapa da Bucha	1	196x196x46	1.1730
5	Calços	2	196x38x76	1.1730
7	Chapa dos Extratores	1	196x118x12	1.1730
8	Chapa de Fixação dos Extratores	1	196x118x17	1.1730
9	Chapa de Aperto Extração	1	246x196x22	1.1730
9A	Chapa de Suporte da Extração	1	196x196x22	1.1730

Tabela 3.2 - Composição química do aço 1.1730 [20].

C %	Mn %	Si %	P %	S %
0.42-0.5	0.6-0.8	0.15-0.4	0-0.03	0-0.03

Tabela 3.3 - Propriedades físicas do aço 1.1730 [20].

Dureza	Máx. 190 HB			
Resistência à tração, R _m	Apróx.650N/mm ²			
Dureza de Trabalho	Máx. 54 HRc (superficial)			
Expansão térmica (10 ⁻⁶ m/(m ^o k)	20-100°C	20-300°C	20-300°C	20-400°C
	12.5	13.0	13.6	14.1
Condutibilidade Térmica W/(m.°k)	20°C		350°C	
	44.9		41.6	

3.2.1.1. Constituintes do molde

Após a execução da modelação (3D final) é realizada a listagem final de todos os componentes mecânicos do molde (acessórios, blocos moldantes, posições moldantes, etc.) conforme se pode observar na tabela 3.4. Em seguida procede-se ao pedido de orçamentos das peças *standard* e material (para a maquinação de componentes não *standard*), estando já a ser maquinadas as chapas da estrutura do molde.

Tabela 3.4 - Lista final de material do molde 827.

Nº	Designação	Quant.	Dimensões	Materiais	Tratamento / comprimento
0	Barra de Transporte	1	Ø35x250	Calibrado	
1	Chapa de Aperto da injeção	1	246x196x27	1.1730	
2	Chapa da Cavidade	1	196x196x56	1.1730	
3	Chapa da Bucha	1	196x196x46	1.1730	
5	Calços	2	196x38x76	1.1730	
7	Chapa dos Extratores	1	196x118x12	1.1730	
8	Chapa de Fixação dos Extratores	1	196x118x17	1.1730	
9	Chapa de Aperto Extração	1	246x196x22	1.1730	
9A	Chapa de Suporte da Extração	1	196x196x22	1.1730	
12	Suportes	2	Ø25x76	Calibrado	
13	Suportes	3	Ø35x76	Calibrado	

15	Guia Principal	3	Z00/56/20x95	Hasco	
16	Guia Principal	1	Z00/56/18x95	Hasco	
23	Guia de Extração	4	Z03/22/18x85	Hasco	
25	Casquilho da Guia Principal	3	Z10/46/20	Hasco	
26	Casquilho da Guia Principal	1	Z10/46/18	Hasco	
27	Casquilho de Centragem	4	Z20/26x100	Hasco	
29	Casquilho da G. de Extração	2	Z10/17/18	Hasco	
30	Perno de Retorno	4	Z41/8x125	Hasco	L = 103 mm
32	Anel de Centragem	1	Ø109,80x16	1.1730	
33	Injetor	1	Ø28x72	1.2344	Temp. 48/52 HRc
86	Aro Extrator	1	Ø108x16	1.2344	Temp. 48/52 HRc
86A	Haste Extratora	3	Ø10x92	1.2311	Nitruado
100	Cavidade	1	Ø91x50,79	1.2344	Temp. 48/52 HRc
100A	Postiço da Cavidade	1	Ø91x43,79	1.2344	Temp. 48/52 HRc + NIT.
100A1	Postiço da Cavidade	1	Ø64x10,21	1.2344	Temp. 48/52 HRc + NIT.
200	Bucha	1	Ø 66x37,26	1.2344	Temp. 48/52 HRc
200A	Perno Moldante	1	Ø36,50x176,75	1.2344	Temp. 48/52 HRc + NIT.
340	Aro de Centragem das Cavidades	1	Ø108x17	1.2344	Temp. 48/52 HRc + NIT.
341	Chapa Canal de Injeção	1	51,71x50x16	1.2311	Nitruado
342	Bolacha KO	1	Ø20x4	1.1730	
343	Molas PR	4	395-10	Rabourdin	
344	Rolamento Axial	1	81113-TV	INA-FAG	
345	Taco Tapa Parafuso 100A1	4	Ø7,5x2	Cobre	
E1	Extractor	1	Z41/4x100	Hasco	L = 83 mm
E2	Extractor	1	Z41/4x100	Hasco	L = 87 mm
E3	Extractor Tubular Não Standard	1	Ø40x99,12	1.2311	Nitruado
P0	Paraf. de Cabeça Cilíndrica	2	M12x40	Stand.	
P1	Paraf. de Cabeça Cilíndrica	4	M10x35	Stand.	
P5	Paraf. de Cabeça Cilíndrica	2	M10x50	Stand.	
P8	Paraf. de Cabeça Cilíndrica	6	M8x16	Stand.	
P9	Paraf. de Cabeça Cilíndrica	4	M10x130	Stand.	
P9A	Paraf. de Cabeça Cilíndrica	2	M10x30	Stand.	
P12	Paraf. de Cabeça Cilíndrica	5	M8x25	Stand.	
P32	Paraf. de Cabeça Cilíndrica	2	M6x20	Stand.	
P86	Paraf. de Cabeça Cilíndrica	3	M6x16	Stand.	
P86A	Paraf. de Cabeça Cilíndrica	3	M6x20	Stand.	
P100	Paraf. de Cabeça Cilíndrica	2	M6x12	Stand.	
P100A1	Paraf. de Cabeça Cilíndrica	4	M4x12	Stand.	
P200	Paraf. de Cabeça Cilíndrica	3	M6x20	Stand.	
P340	Paraf. de Cabeça Cilíndrica	2	M6x16	Stand.	
P341	Paraf. de Cabeça Cilíndrica	4	M6x20	Stand.	

PBE	Paraf. de Cabeça de Embutir	10	M4x10	Stand.	
C100	Cavilha	1	Ø6x20	Stand.	
C200	Cavilha	1	Ø4x20	Stand.	
C340	Cavilha	1	Ø6x20	Stand.	
BE	Botão de Encosto	10	Ø18x3	Stand.	
	Raccords	6	Z81/9/10	Hasco	
	Tampões 1/8'	6	1/8' BSPT	Stand.	
	O' Ring	4	2-111	Parker	
	O' Ring	2	2-114	Parker	
	O' Ring	1	2-137	Parker	
	O' Ring	1	2-143	Parker	
	Palheta	1	7x3.7x2	Latão	

Nas figuras 3.8 e 3.9 são indicados os vários componentes bem como a sua localização (e montagem) no molde de injeção

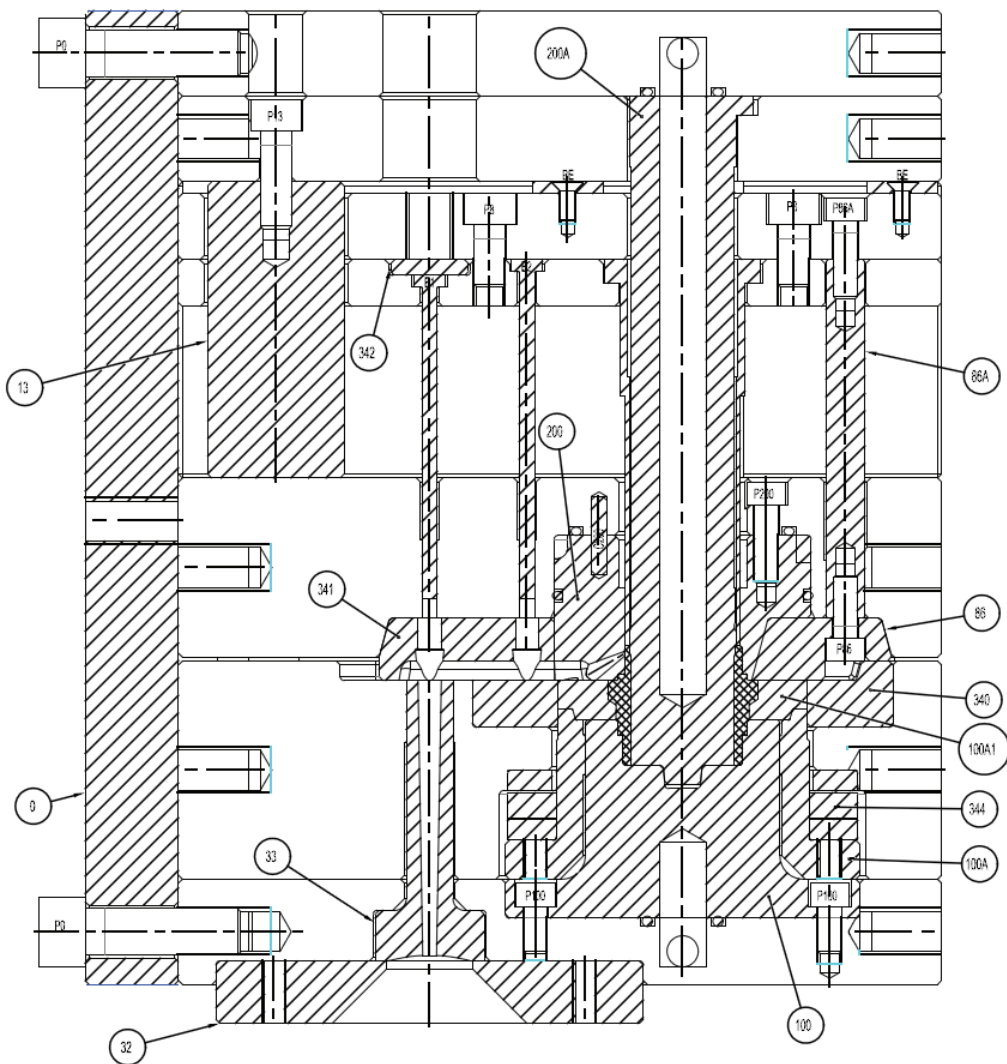


Figura 3.8 – Molde de injeção com indicação dos vários componentes do molde 827 (vista em corte: seção A-A (desenho 2D final para montagem)).

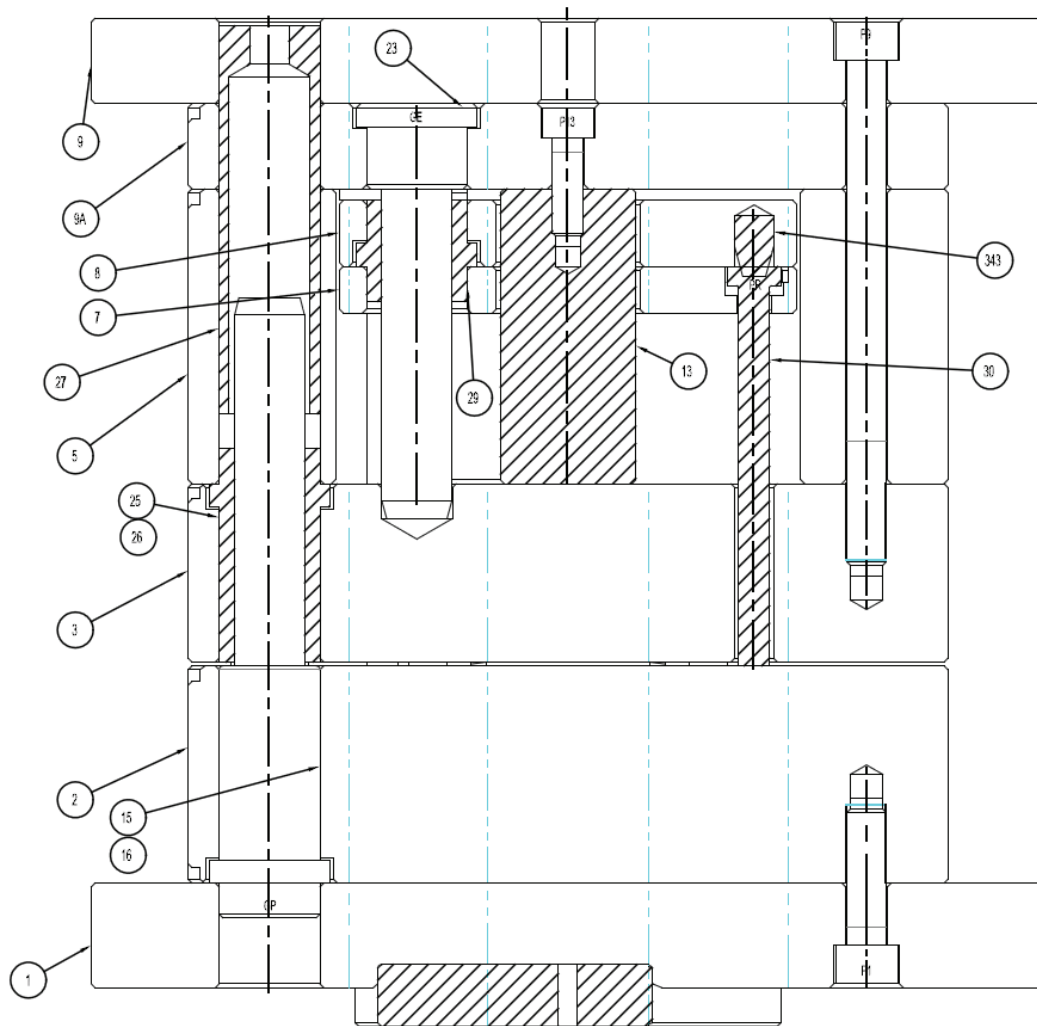


Figura 3.9 - Molde de injeção com indicação dos vários componentes do molde 827 (vista em corte: seção B-B (desenho 2D final para montagem)).

3.2.1.2. Refrigeração

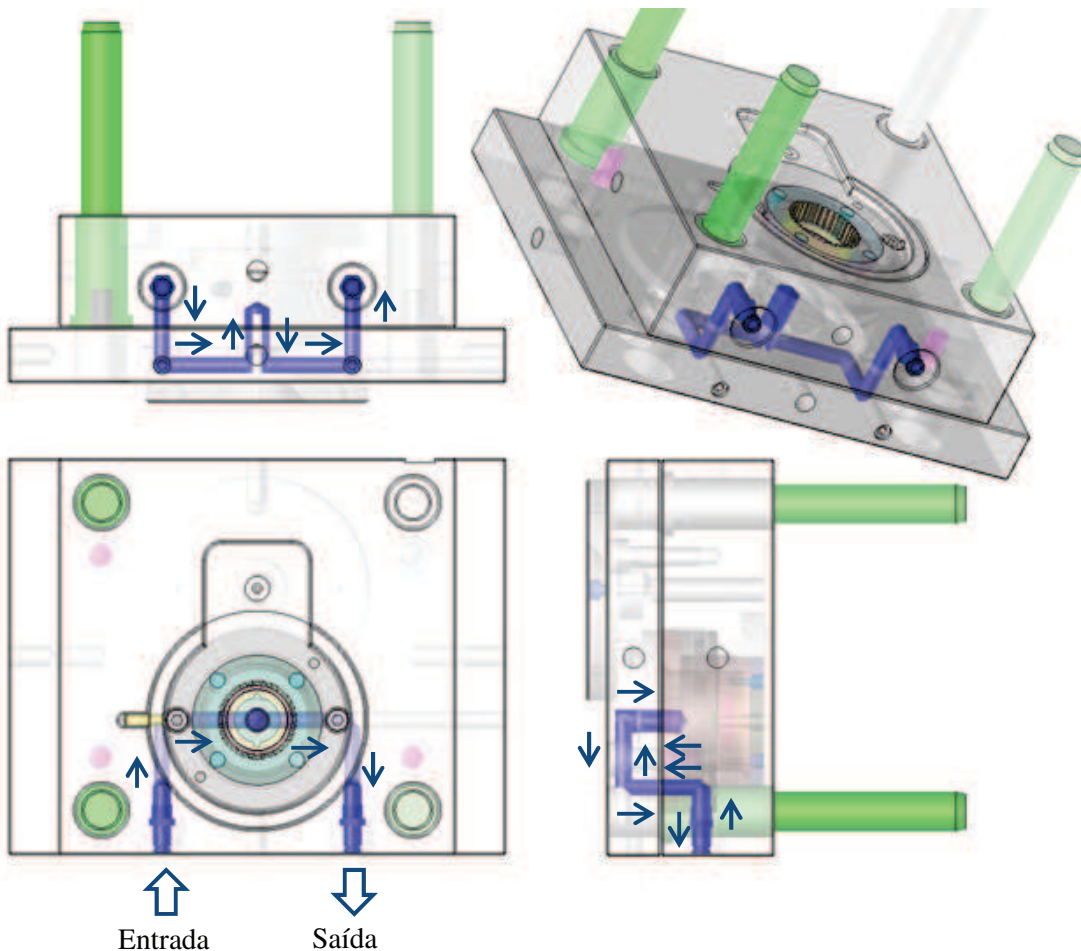
O projeto de um bom sistema de refrigeração permite a extração das peças plásticas de boa qualidade (peças sem empenos, sem deformações, etc.), com tempos de ciclo de moldação relativamente baixos. O tempo de refrigeração necessário é, de uma forma geral, cerca de 70 a 80% do tempo do ciclo de moldação.

Os circuitos de refrigeração não podem ser posicionados a pouca distância da zona moldante (distâncias inferiores a 15 mm) pois pode correr-se o risco da pressão de injeção poder romper o furo (maquinado abaixo da zona moldante). Podem também, ocorrer diferenças de temperatura na zona moldante que podem ter como consequência o aparecimento de defeitos na superfície da peça plástica.

As ligações para a entrada e saída do líquido de refrigeração devem estar posicionadas na parte de baixo do molde (montado na máquina de injeção) e/ou no lado oposto ao operador da máquina de injeção.

Por forma a ser mais uniforme a remoção de calor, nas superfícies moldantes, deve utilizar-se circuitos de pequena extensão e assim obter uma maior eficiência na dissipação do calor.

No caso da cavidade do molde 827, o sistema de refrigeração, foi aplicado na chapa 2, entra pelo lado da base do molde, descendo à chapa 1 para refrigerar a cavidade (peça 100) através de uma cascata; retorna à chapa 1, sobe à chapa 2 e sai (figura 3.10, o circuito de refrigeração bem como o seu sentido de circulação da água de refrigeração, pontos de entrada e de saída.) para a unidade de frio. Os pontos de entrada e saída foram aplicados na chapa 2 simplesmente para facilitar o acesso do operador para executar a ligação das mangueiras da máquina de injeção aos *records* do molde (figura 3.10).



↓ Seta exemplificativa do sentido do fluxo de refrigeração

⇅ Seta exemplificativa da entrada e saída do circuito de refrigeração

Figura 3.10 – Circuito de refrigeração do lado da injeção (molde 827).

No lado da extração do molde, o sistema de refrigeração está dividido em dois circuitos: circuito que refrigera o perno moldante (peça 200A) e circuito que refrigera a bucha (peça 200) (figura 3.11, os circuitos de refrigeração bem como os seus sentidos de circulação da água de refrigeração, pontos de entrada e de saída.).

No circuito1 (entrada1/saida1), a água entra na chapa 9A pelo lado da base do molde, sobe para a chapa 9 para refrigerar o perno moldante por um processo de cascata, retorna à chapa 9, desce à chapa 9A e sai para a unidade de frio. Os pontos de entrada e saída foram aplicados na chapa 9A

simplesmente para facilitar o acesso do operador (ligação das mangueiras da máquina de injeção aos *records* do molde (figura 3.11)).

No circuito 2 (entrada2/saida2) a água entra para a chapa 3, pelo lado da base do molde, passa para a bucha, circula em torno da mesma, retorna à chapa 3 e sai (figura 3.11) para a unidade de frio.

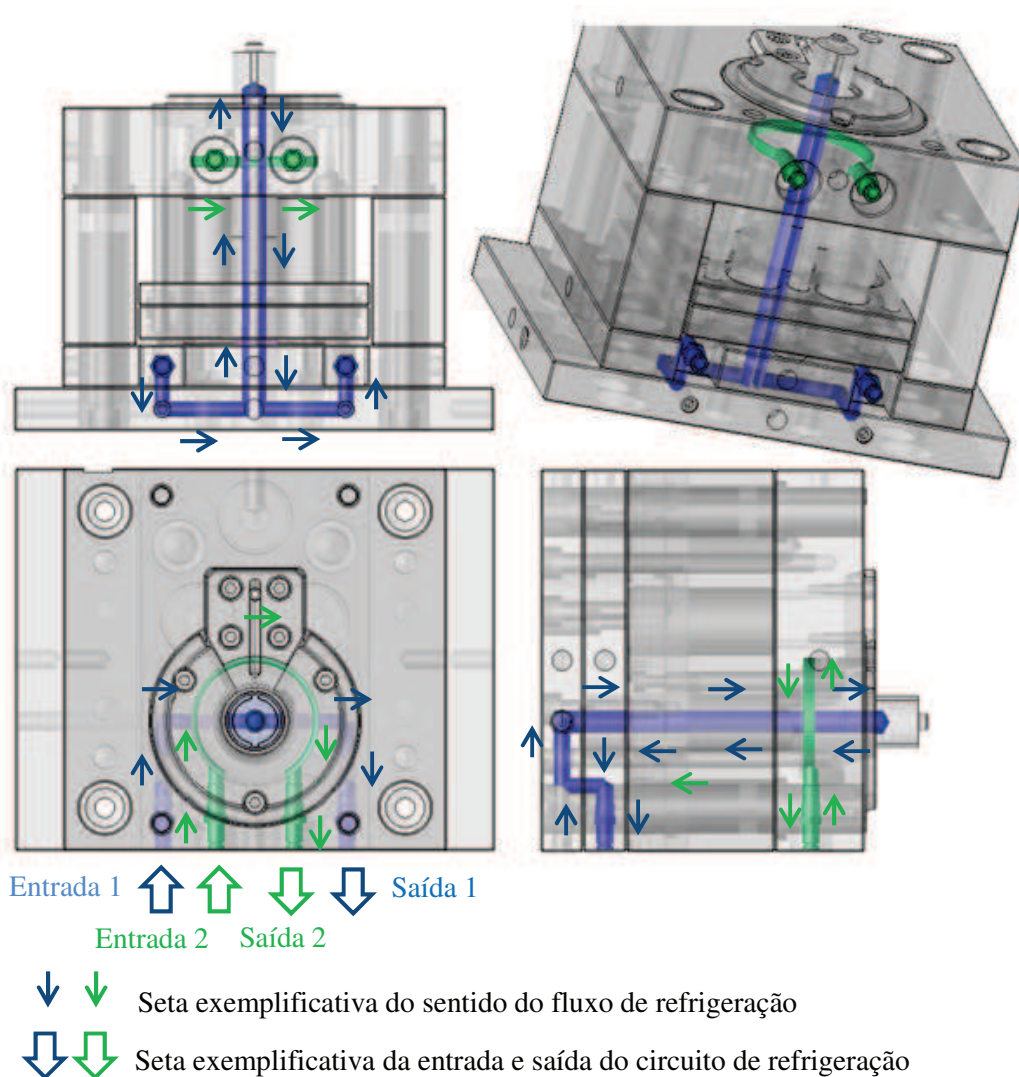


Figura 3.11 – Circuitos de refrigeração do lado da extração (molde 827).

3.2.1.3. Sistema de injeção e escape de gases

A tipologia do sistema de alimentação aplicado ao molde de injeção é por canal frio com ataque submarino (figura 3.12). O ataque submarino tem diâmetro de 1 mm, com um ângulo de abertura de 20°; o ângulo de entrada é de 30° com a linha de junta. No entanto, este ataque apenas rasga a zona moldante em 0.5 mm (figura 3.13). Esta interrupção serve para poder otimizar a separação entre a peça plástica e a submarina, minimizando a marca de injeção na peça plástica. Neste ponto, foi também executada uma calote (figura 3.14) de modo a prevenir que qualquer “rebarba” do ponto de injeção pudesse interferir com o funcionamento da peça plástica.

O Canal que alimenta o ataque Submarino do molde é de tipologia trapezoidal adaptado (figura 3.15).

O diâmetro de entrada do injetor (peça numero 33 do molde) que alimenta o canal é de 3.5 mm com abertura de 2° (graus), comprimento de 70.6 mm e um raio de encosto para o bico da máquina (definido pelo cliente) de 40 mm. (figura 3.12).

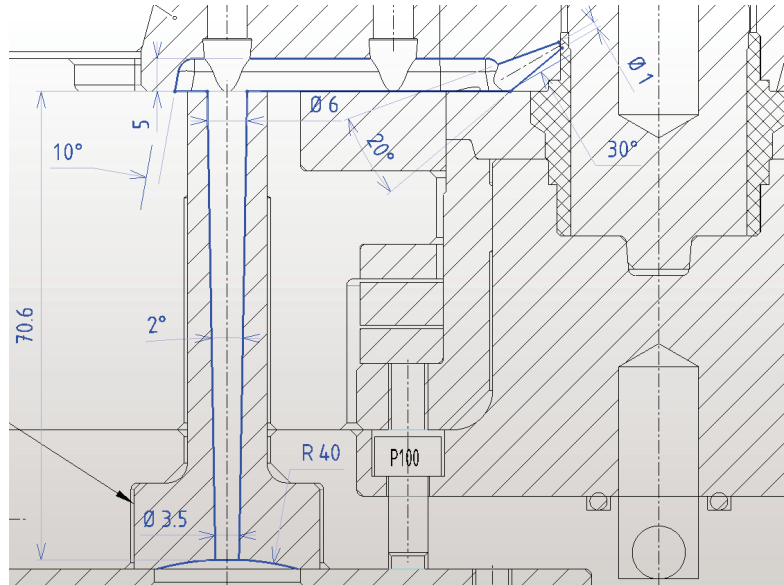


Figura 3.12 – Pormenor da injeção do molde (827) em corte (retirado do 2D).

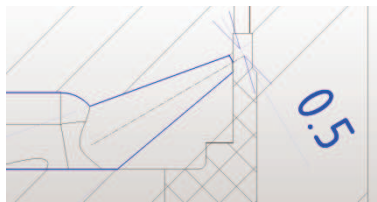


Figura 3.13 – Pormenor do ataque submarino em corte (retirado do 2D).

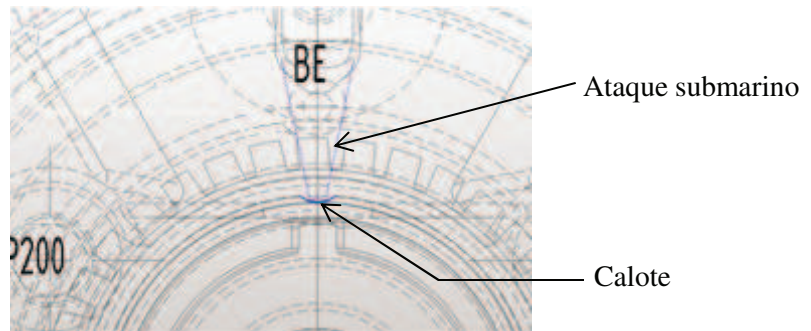


Figura 3.14 – Pormenor da calote em planta (retirado do 2D).

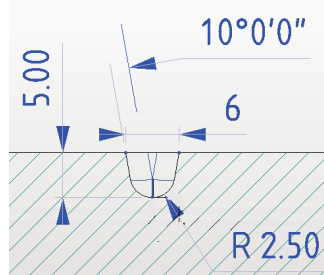


Figura 3.15 – Corte ilustrativo do canal de injeção (retirado do 2D).

O enchimento da peça plástica ocorre de modo balanceado e com espessuras uniformes (conforme se pode observar nas figuras 3.16, 3.17, 3.18 e 3.19 referentes ao processo de enchimento da peça plástica nos 25%, 50%, 75% e 100% respectivamente), de tal modo, que as linhas de soldadura ocorrem numa zona que não apresenta qualquer problema a nível funcional da peça, ou seja, no lado oposto ao ponto de injeção (figura 3.20).

A peça plástica atinge os 25% do seu enchimento aos 0.1624s, os 50% aos 0.3247s, os 75% aos 0.4871s e os 100% aos 0.6494s, conforme pode ser verificado na barra lateral das figuras 3.16, 3.17, 3.18 e 3.19. É de salientar que, o enchimento da peça se mantém equilibrado ao longo de todo o processo de enchimento.

A partir do estudo de enchimento do molde, é possível observar que a acumulação de gases se verifica nas extremidades dos dentes funcionais da peça plástica (figura 3.21). Consequentemente, para se verificar o escape de gases, a peça 100A foi dividida em duas peças (100A e 100A1) por forma a permitir a libertação dos gases da zona moldante (figura 3.22). Os escapes de gases foram maquinados com uma profundidade de 0.02 mm de acordo com norma interna da empresa. Com a introdução de zonas de escape de gases, evita-se o aparecimento de zonas “queimadas” na peça plástica, defeitos típicos de peças plásticas com défice de zonas de escape de gases.

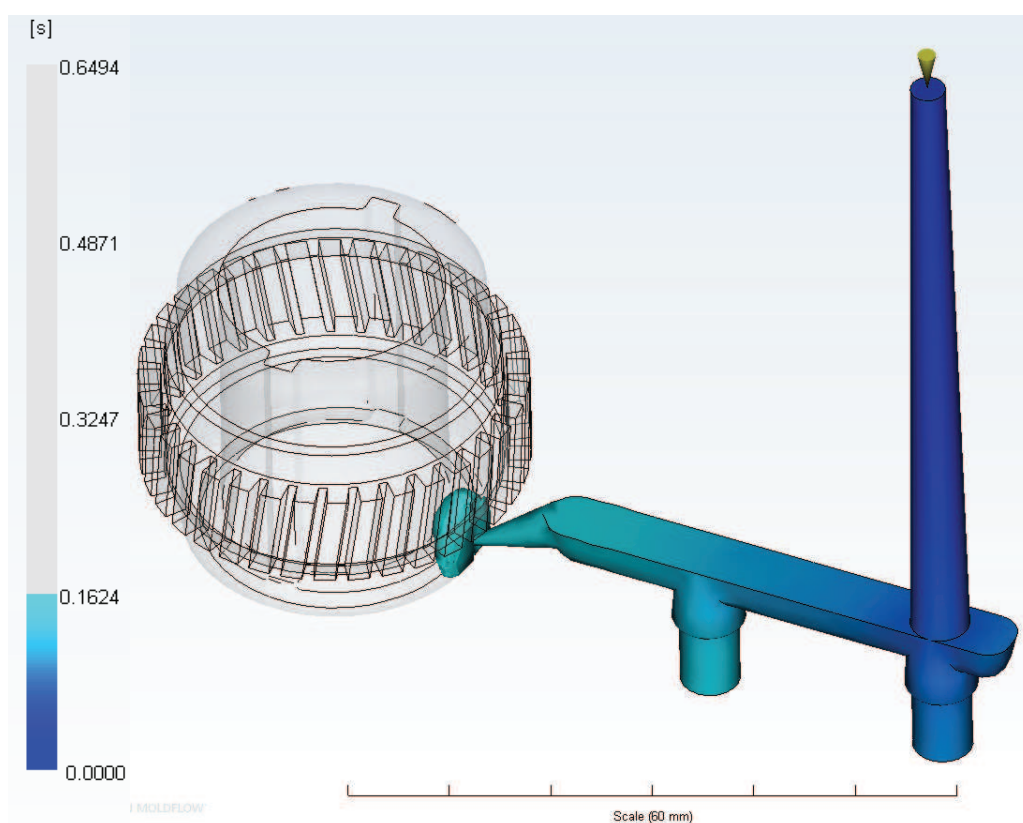


Figura 3.16 – Enchimento da peça plástica obtido por software Moldflow (material POM) a 25%.

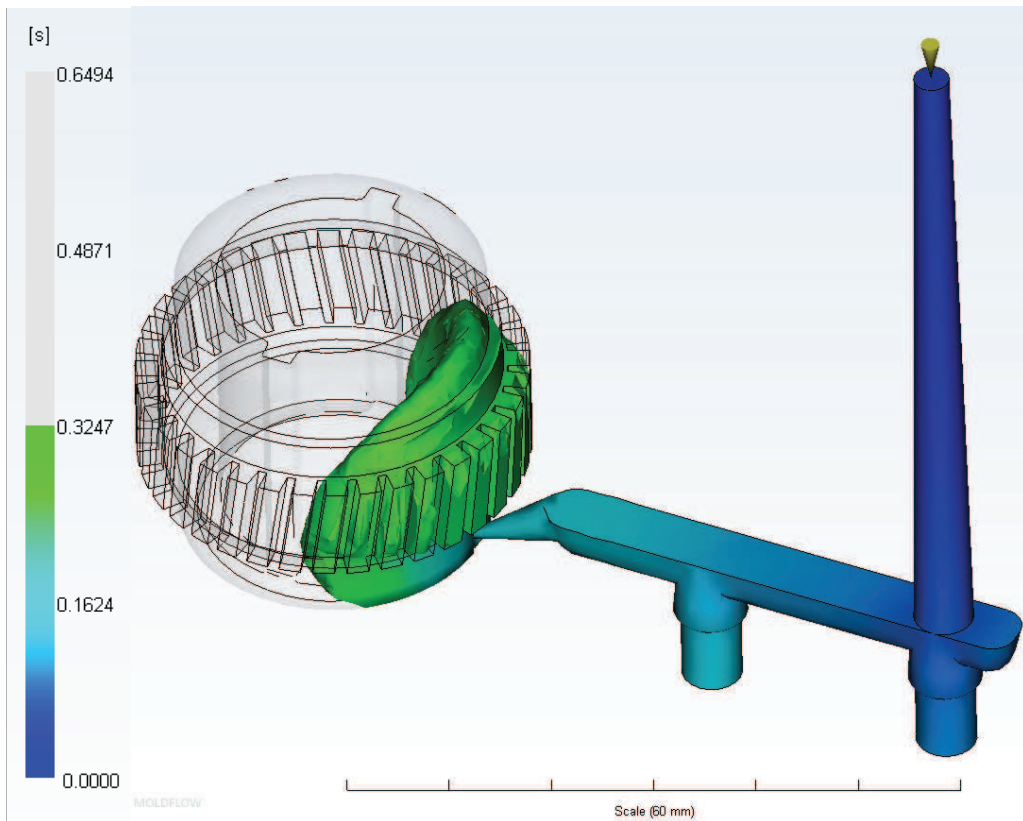


Figura 3.17 – Enchimento da peça plástica obtido por software Moldflow (material POM) a 50%.

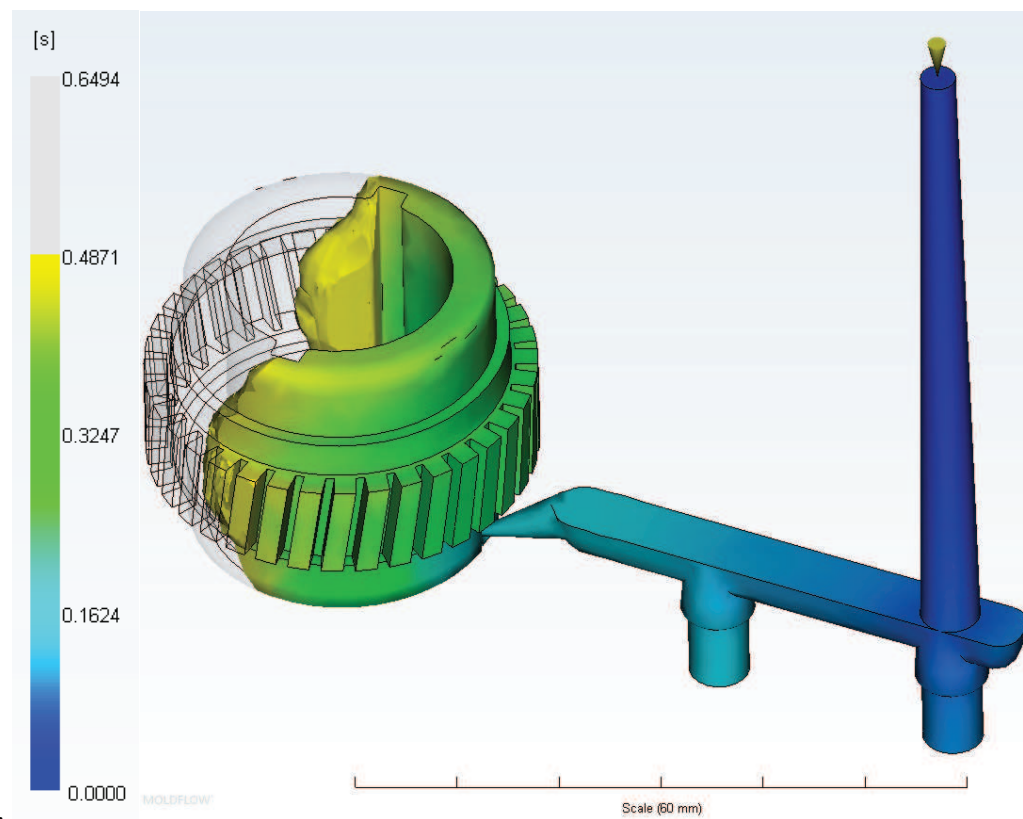


Figura 3.18 – Enchimento da peça plástica obtido por software Moldflow (material POM) a 75%.

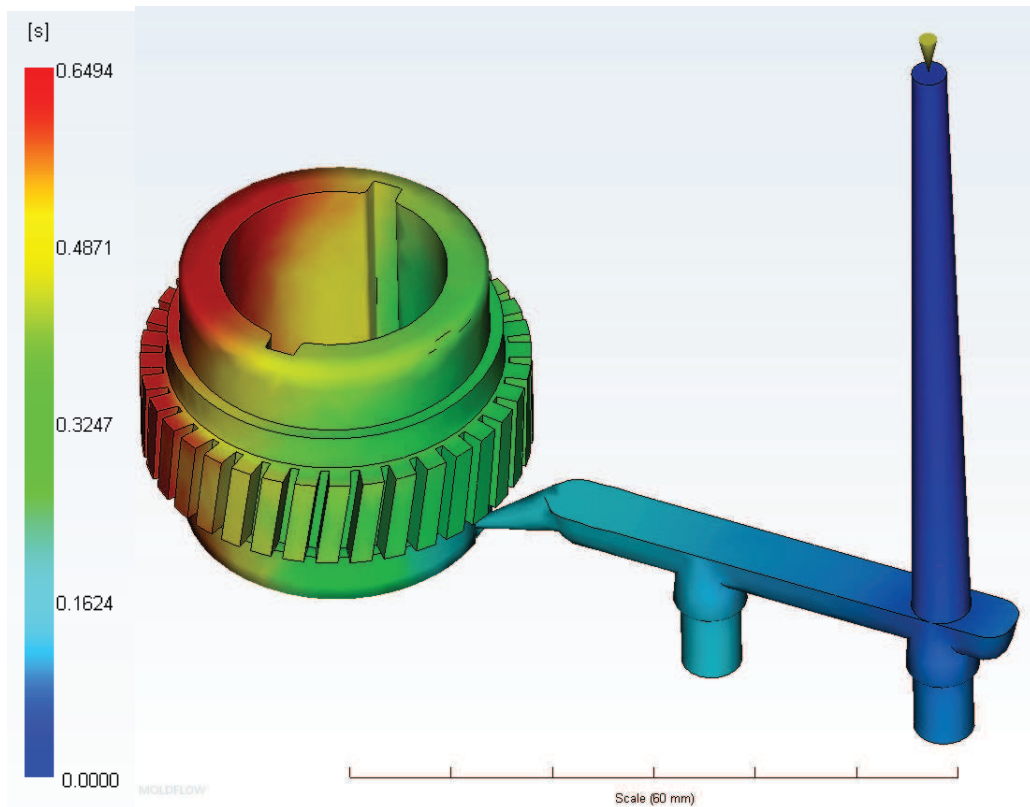


Figura 3.19 – Enchimento da peça plástica obtido por software Moldflow (material POM) a 100%.

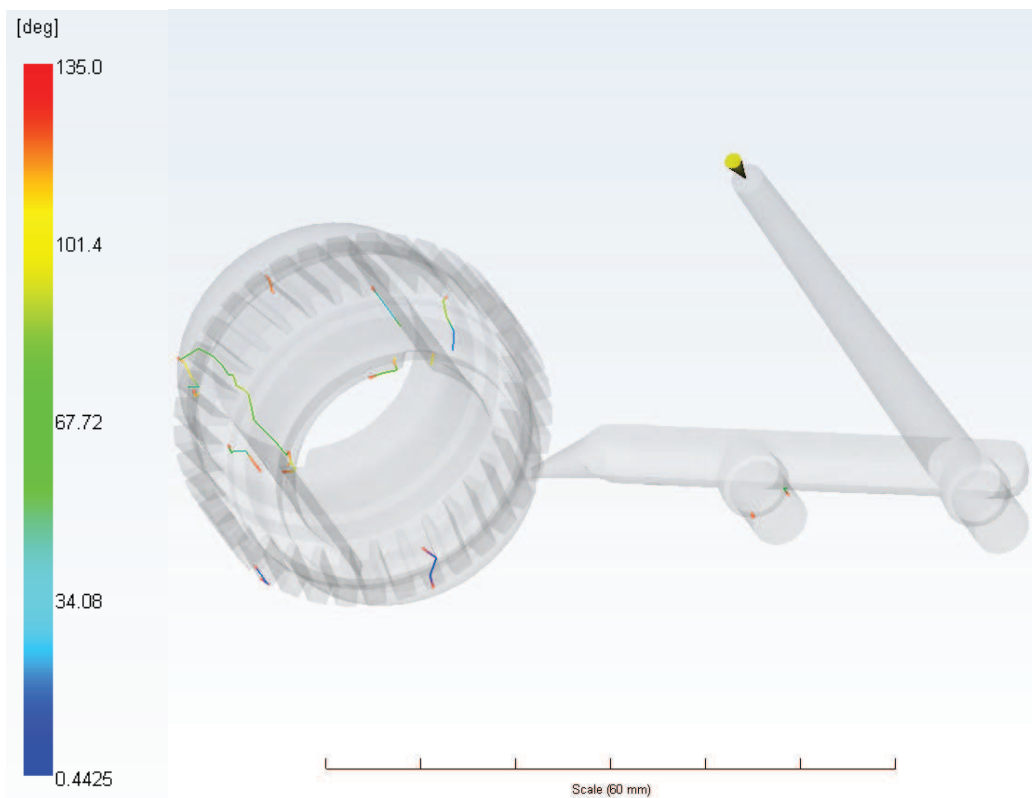


Figura 3.20 – Linhas de soldadura da peça plástica obtidas por software Moldflow (material POM).

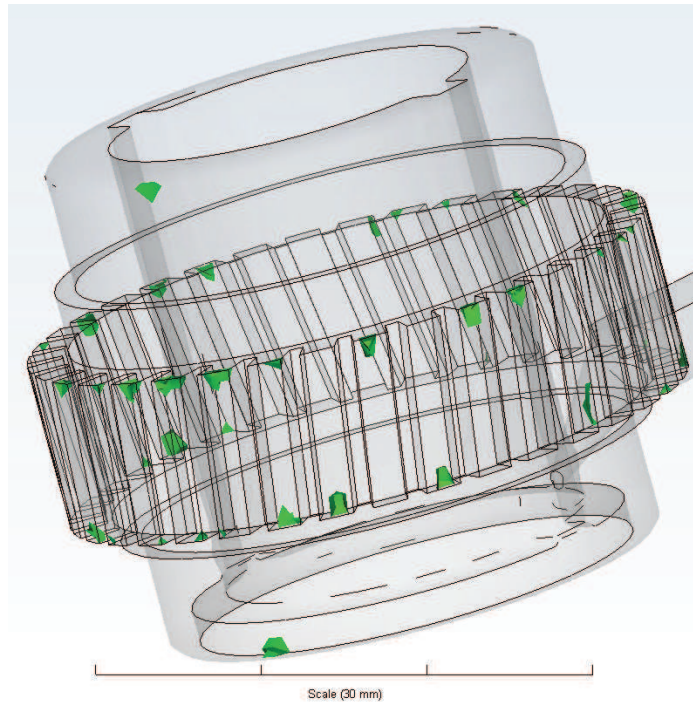


Figura 3.21 – Zonas de prisão de gases (pontos a verde) da peça plástica obtidas por software Moldflow (material POM).

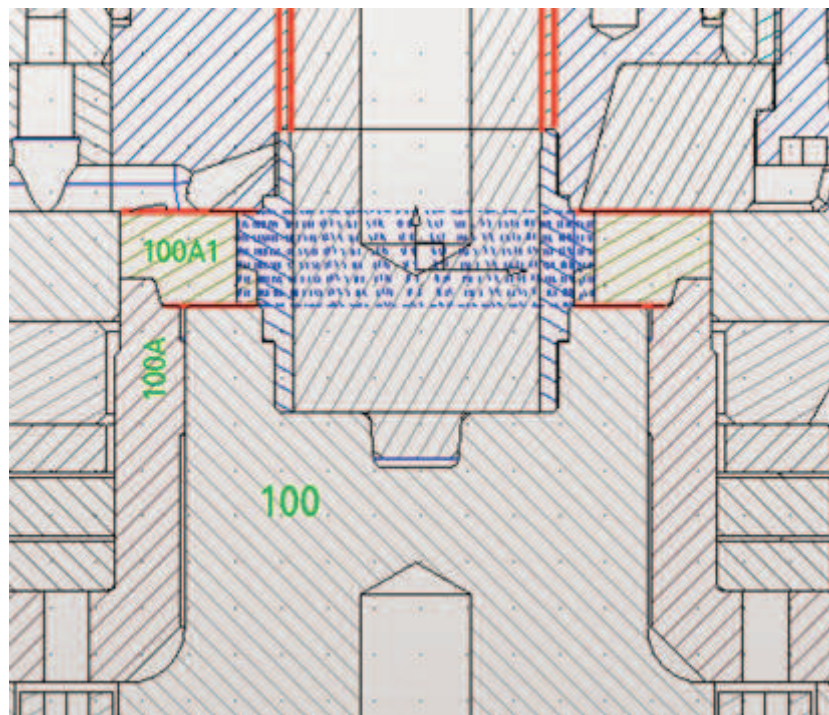


Figura 3.22 – Zonas de escapes de gases entre peças do molde (linhas a vermelho) (retirado do 2D).

3.2.1.4. Guiamento e centramento no molde

O molde tem dois sistemas de guiamento distintos: o guiamento principal e guiamento do sistema de extração.

O guiamento principal (figura 3.23) é constituído por quatro guias, três guias da Hasco referência Z00/56/20x95 e uma guia Hasco referência Z00/56/18x95, no lado da injeção. No lado

da extração o guiamento é constituído por quatro casquilhos, três da Hasco referência Z10/46/20 e um casquilho da Hasco referência Z10/46/18. A existência de uma guia e um casquilho de referência diferente tem como finalidade garantir que o molde não é montado de forma incorreta.

Para evitar descentramentos na montagem do molde também foram aplicados quatro casquilhos da Hasco referência Z20/26x100 para executar o centramento entre a chapa 9, chapa 9A e Calços 5, deste modo garantimos que o molde está centrado no seu todo.

O guiamento da extração (figura 3.24) é constituído por quatro guias da Hasco referência Z03/22/18x85, mais quatro casquilhos da Hasco referência Z10/17/18, deste modo garante-se que a extração do molde funciona corretamente.

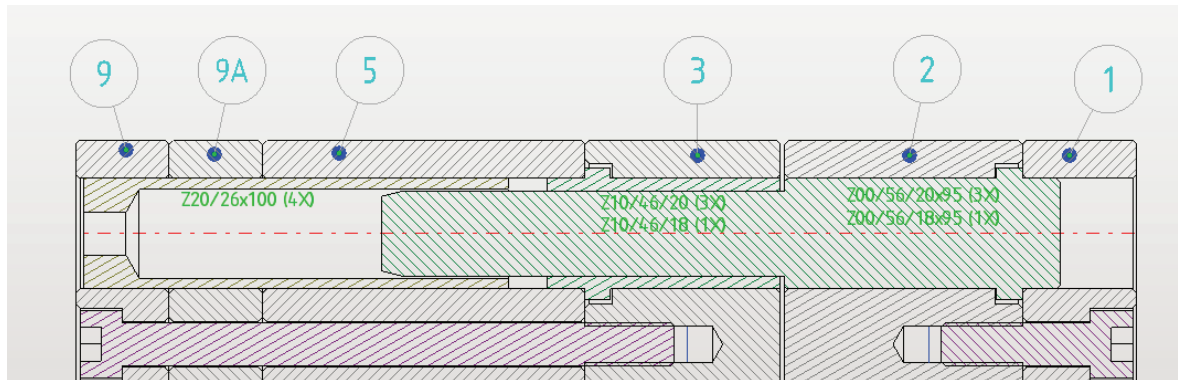


Figura 3.23 – Sistema de guiamento principal do molde (retirado do 2D).

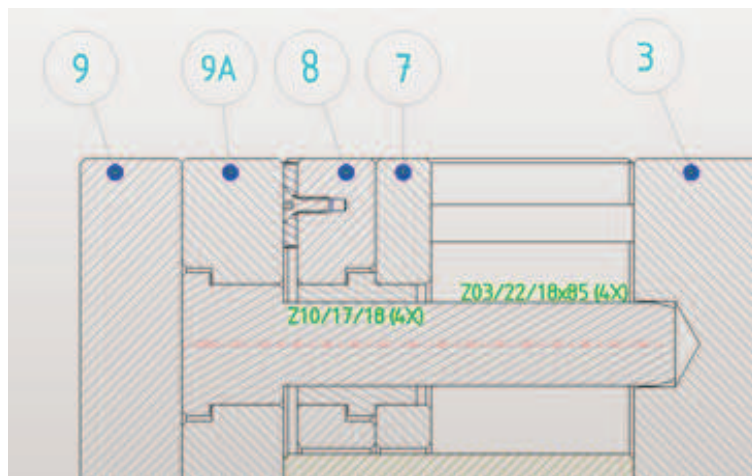


Figura 3.24 – Sistema de guiamento da extração do molde (retirado do 2D).

O centramento entre o lado da extração e lado da injeção é obtido com recurso às peças 86-aro extrator (lado da extração, figura 3.25) e peça 340-aro de centragem das cavidades (lado da injeção, figura 3.26). Na figura 3.27 é possível observar o centramento entre a peça 340 e 86, é conseguido por um ajustamento circular cónico, maquinado diretamente no aço. Este método é bastante utilizado, visto não ser necessária a aplicação de interlocks adicionais, traduzindo-se numa diminuição do custo do molde.

A zona interior da peça plástica também necessita de centramento e para essa função foi executado o mesmo processo, centramento circular cónico entre a peça 200A-perno moldante (lado da extração) e a peça 100-cavidade (lado da injeção) como se pode observar na figura 3.28.

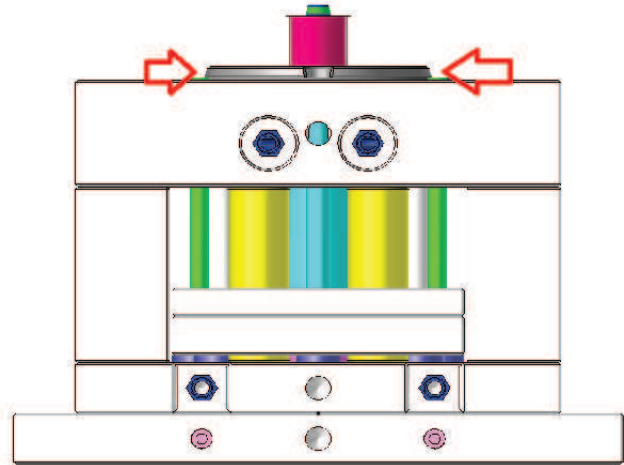
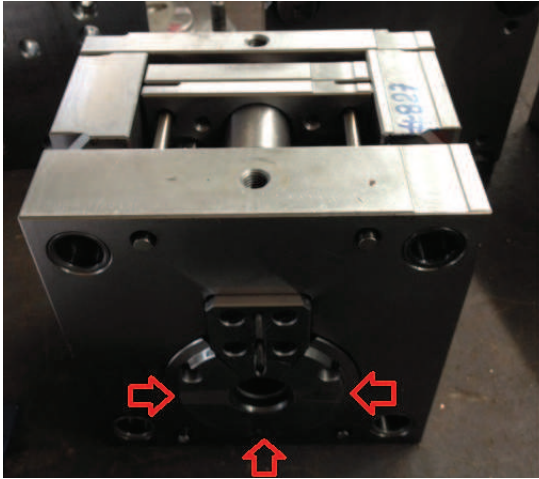


Figura 3.25 – Centramento da peça 86 (lado da extração, com setas a indicar a zona de centramento).

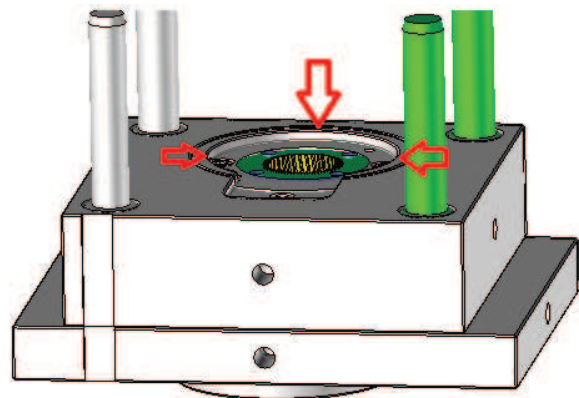
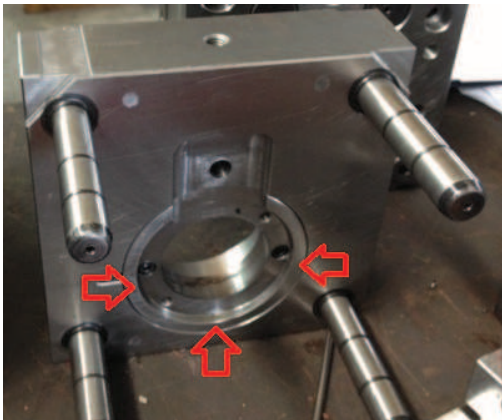


Figura 3.26 – Centramento da peça 340 (lado da injeção com setas a indicar a zona de centramento).

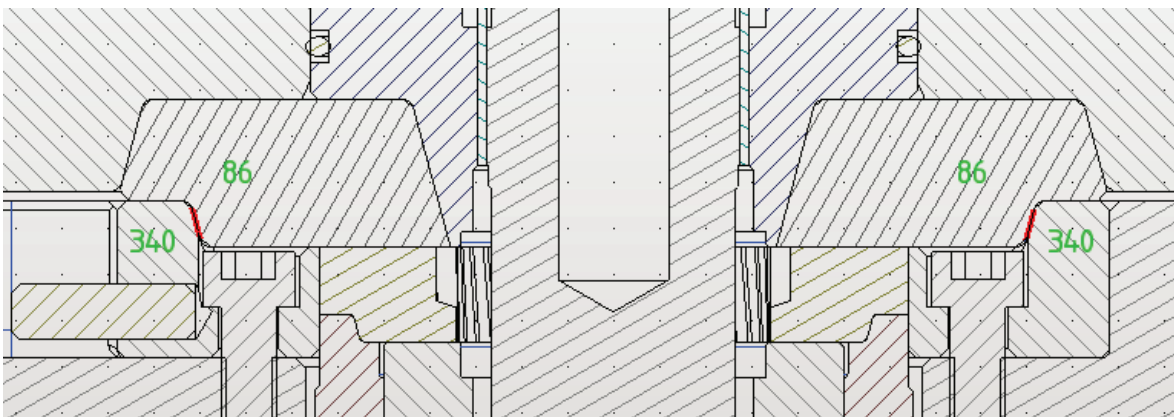


Figura 3.27 – Zona de centramento (linha a vermelho, mostra o ajustamento entre as peças 86 e 340 com o molde fechado (retirado do 2D)).

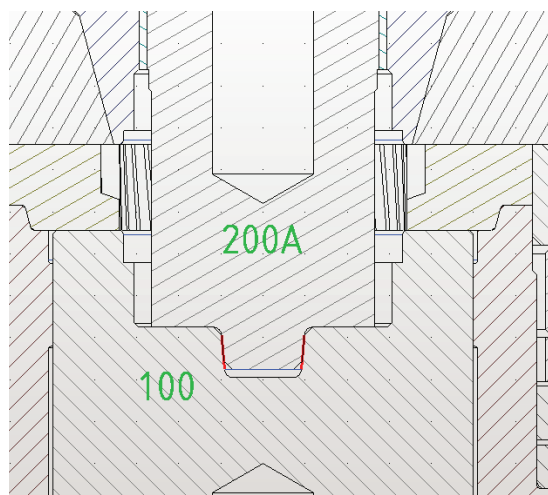


Figura 3.28 – Zona de centramento (linha a vermelho, mostra o ajustamento entre as peças 200A e 100, com o molde fechado (retirado do 2D)).

3.2.1.5. Extração no molde

Como a peça plástica possui uma configuração cilíndrica, optou-se por considerar um sistema de extração por extrator tubular. Este tipo de extrator permite ter uma distribuição uniforme da força de extração (na peça plástica). Como consequência das dimensões da peça plástica, foi necessário fabricar um extrator tubular com as seguintes dimensões: diâmetro de 40 mm e comprimento de 99,11 mm, em aço 1.2311 (nitruado; com zonas H7/g6, de modo a evitar “gripagens” (figura 3.29)).

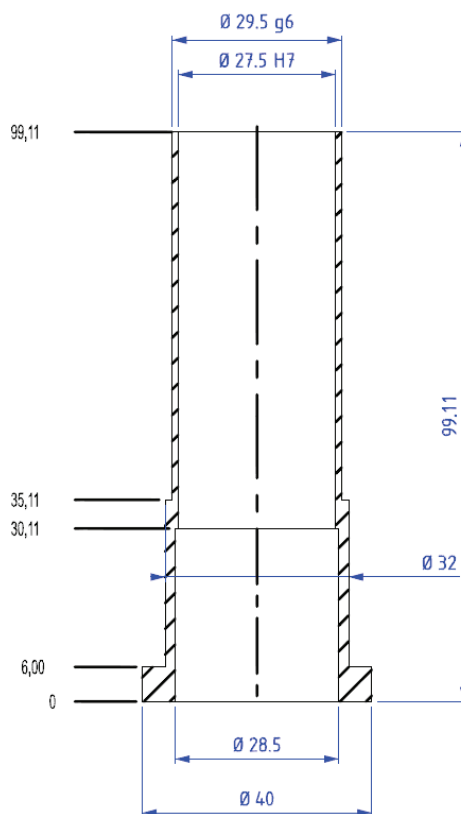


Figura 3.29 – Extrator tubular (E3) - vista em corte (retirado do 2D).

A extração do gito da peça plástica é feita por dois extratores E1 e E2 (Hasco, referência Z41/4x100). Para garantir que o gito fica do lado da extração foi maquinada uma zona negativa nos furos onde trabalham os extratores (figura 3.30) e, também foi deixada uma zona de folga para encher com plástico, de modo a garantir a extração do ataque submarino com uma profundidade de aproximadamente 0.8 vezes a distância do centro do extrator ao ponto de injeção (conforme norma interna da empresa) e os extratores do gito foram cortados com os comprimentos de E1 83 mm e o extrator E2 87 mm (figura 3.31).

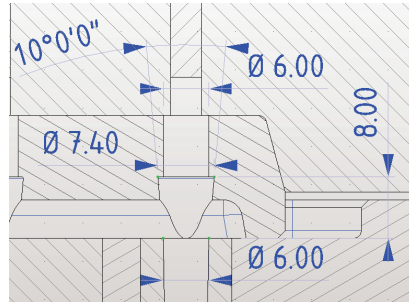


Figura 3.30 – Zona negativa do gito (retirado do 2D).

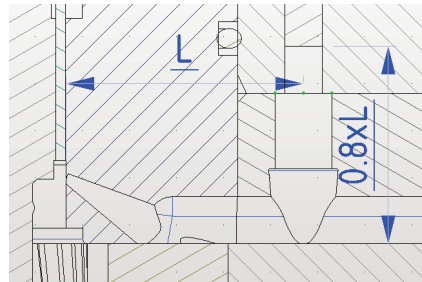


Figura 3.31 – Norma interna para a extração de ataques submarinos (retirado do 2D).

Devido à configuração da peça plástica, recorreu-se à maquinação de um negativo na peça 200A (perno moldante) de modo a garantir que aquando da abertura do molde pela linha de junta, a peça plástica deve ficar no lado da extração, para ser possível o molde trabalhar em automático (figura 3.32)

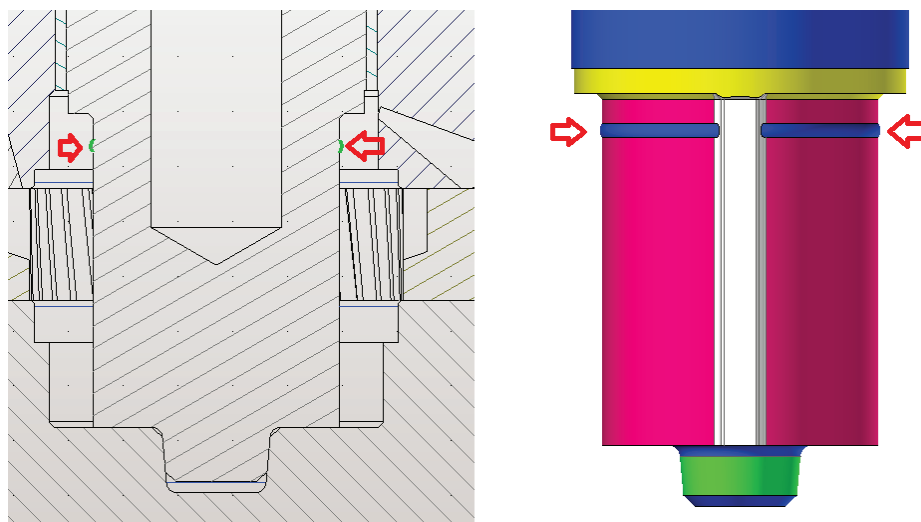


Figura 3.32 – Negativo maquinado na peça 200A (assinalado com as setas vermelhas e desenhado com linha verde no pormenor 2D).

3.2.1.6. Funcionamento do molde 827

O funcionamento do molde foi realizado com base nos dados do teste de injeção numa máquina de 110 toneladas de força de fecho e com fuso de diâmetro 40 mm:

Com o molde fechado (pressão de fecho utilizada 520 KN), foi injetado material POM (com uma temperatura no bico de 200 °C) no molde (durante 0.65 segundos e com uma pressão de injeção de 105 bar). Após a injeção, foi aplicada uma pressão de compactação (40 bar, durante 7 segundos). Esta segunda pressão é importante para garantir o total enchimento das zonas moldantes do molde. A fase seguinte foi a de refrigeração com as seguintes temperaturas da água: 75 °C na cavidade e 25 °C na bucha.

Com a abertura do molde à linha de junta (ponto 1, figura 3.33), é executada a desmoldação dos dentes inclinados da peça plástica, que foram moldados no lado da injeção do molde (ponto 2, figuras 3.33 e 3.34). Esta ação é acionada pela simples abertura do molde e a rotação aplicada pela própria peça plástica, executando um movimento de desenroscamento do tipo acionado por veio sem-fim, sendo neste caso, a própria peça plástica a executar o papel de sem-fim, o atrito (ao nível da rotação entre as peças moveis do molde) é diminuído por meio de um rolamento axial da INA Schaeffler com referência 81113-TV.

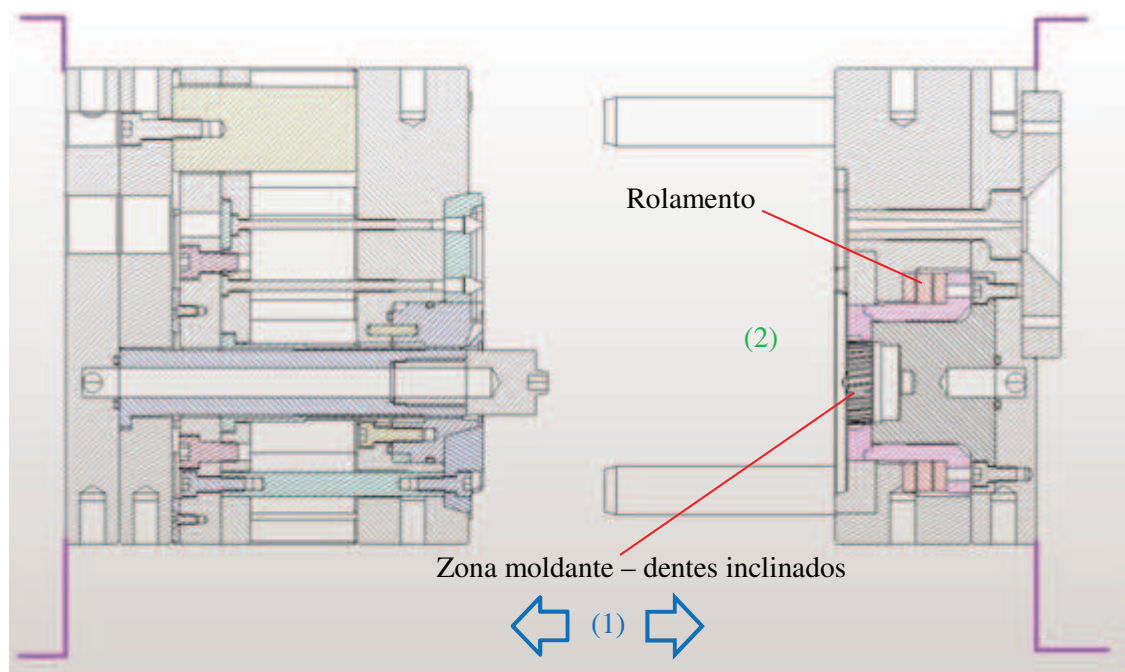


Figura 3.33 – Funcionamento do molde 827, ponto 1 e ponto 2.

Os dados que estão na base da escolha deste rolamento são inumerados de seguida.

O diâmetro disponível no local da sua aplicação Ø65 mm (diâmetro interno do rolamento).

A sua localização, pois o ponto onde este rolamento foi aplicado sofre forças de compressão e rotação, provocadas pela abertura do molde e conseqüente desmoldação da peça plástica.

A força de abertura que a máquina de injeção aplica ao molde, sendo esta de 70 KN.

As rotações por minuto que a desmoldação da peça plástica aplica ao rolamento, que são na ordem de 251.177 rpm (os cálculos executados para chegar a este valor estão no anexo 2a).

A força de abertura que a máquina de injeção aplica ao molde é relativamente baixa, como tal, foi efetuado o cálculo do dimensionamento estático do fator de esforço, que é um valor de segurança contra deformações elásticas elevadas para o rolamento (Anexo 2b), onde se obteve o valor de 4.86, sendo este, um valor favorável para aplicações de exigências elevadas.

A duração da vida deste rolamento serve inteiramente as necessidades desta aplicação, visto o valor calculado (em anexo 2b) ser de 7.65×10^6 [rotações] e no tempo de vida do molde em estudo apenas é necessário que este rolamento execute 34160 [rotações]. Assim sendo, o rolamento em análise, irá executar a sua função durante o tempo de vida útil do molde de injeção.

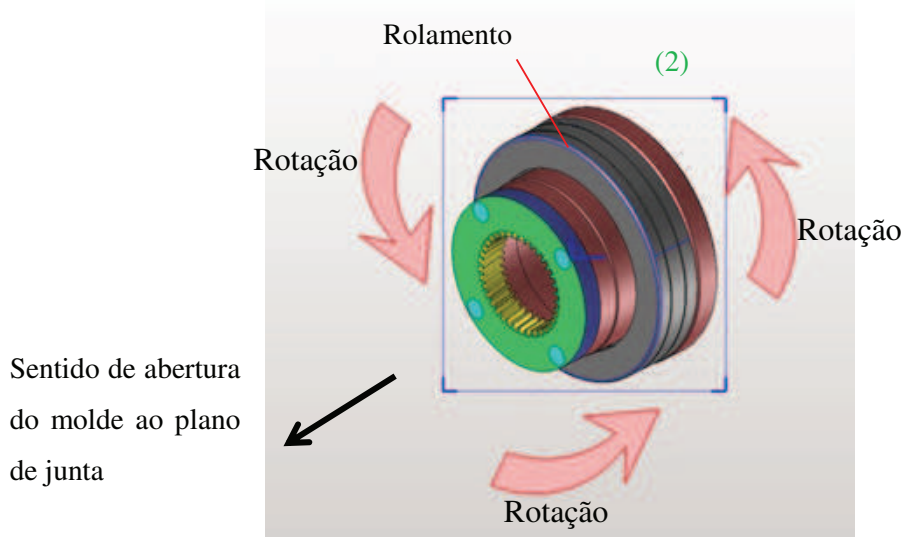


Figura 3.34 – Pormenor do desenroscamento, ponto 2.

Após o desenroscamento do lado da injeção, a peça plástica fica segura no lado da extração, sendo acionado o KO da máquina de injeção com um avanço de 44 mm da extração até se dar a consequente extração da peça plástica e do gito (ponto 3, figura 3.35).

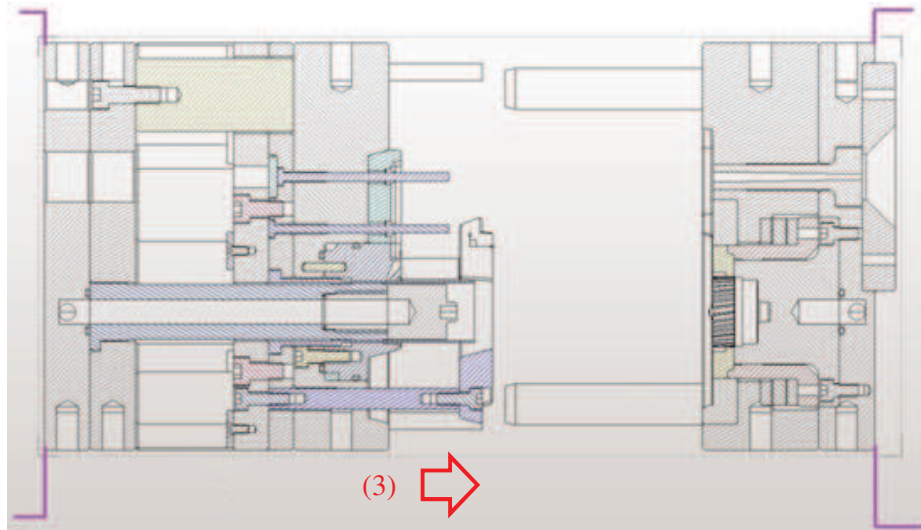


Figura 3.35 – Funcionamento do molde 827, ponto 3.

Finalmente a extração recua através do acionamento do KO e o molde fecha pela linha de junta finalizando assim, o ciclo de moldação que teve uma duração total de 36 segundos.

Este processo será repetido para moldar todas as peças sendo produzida uma peça a cada 36 segundos.

3.2.2. Caso de Estudo 2: Molde 828

A partir do desenho preliminar, fornecido pelo cliente, referente à peça plástica a processar, esta foi remodelada em TopSolid (por forma a ser possível a sua moldação por injeção.) que foi enviado para o cliente, para aprovação (ficheiro 3D no formato IGS, tipo de formato neutro para programas de CAD/CAM, figura 3.36), sendo posteriormente a aprovação recebida da modelação acompanhada por um desenho 2D (figura 3.37), com as cotas fundamentais/funcionais de forma a garantir o processamento da peça plástica. A partir da aprovação da modelação, foi desenvolvido o projeto preliminar (figura 3.39) que foi enviado para o cliente, de modo a ter-se a aprovação do cliente e dar início aos trabalhos de fabrico (corte de aços, compra de acessórios, maquinaria, electro erosão, etc.).



Figura 3.36 - Peça plástica modelada, referente ao molde de injeção 828.

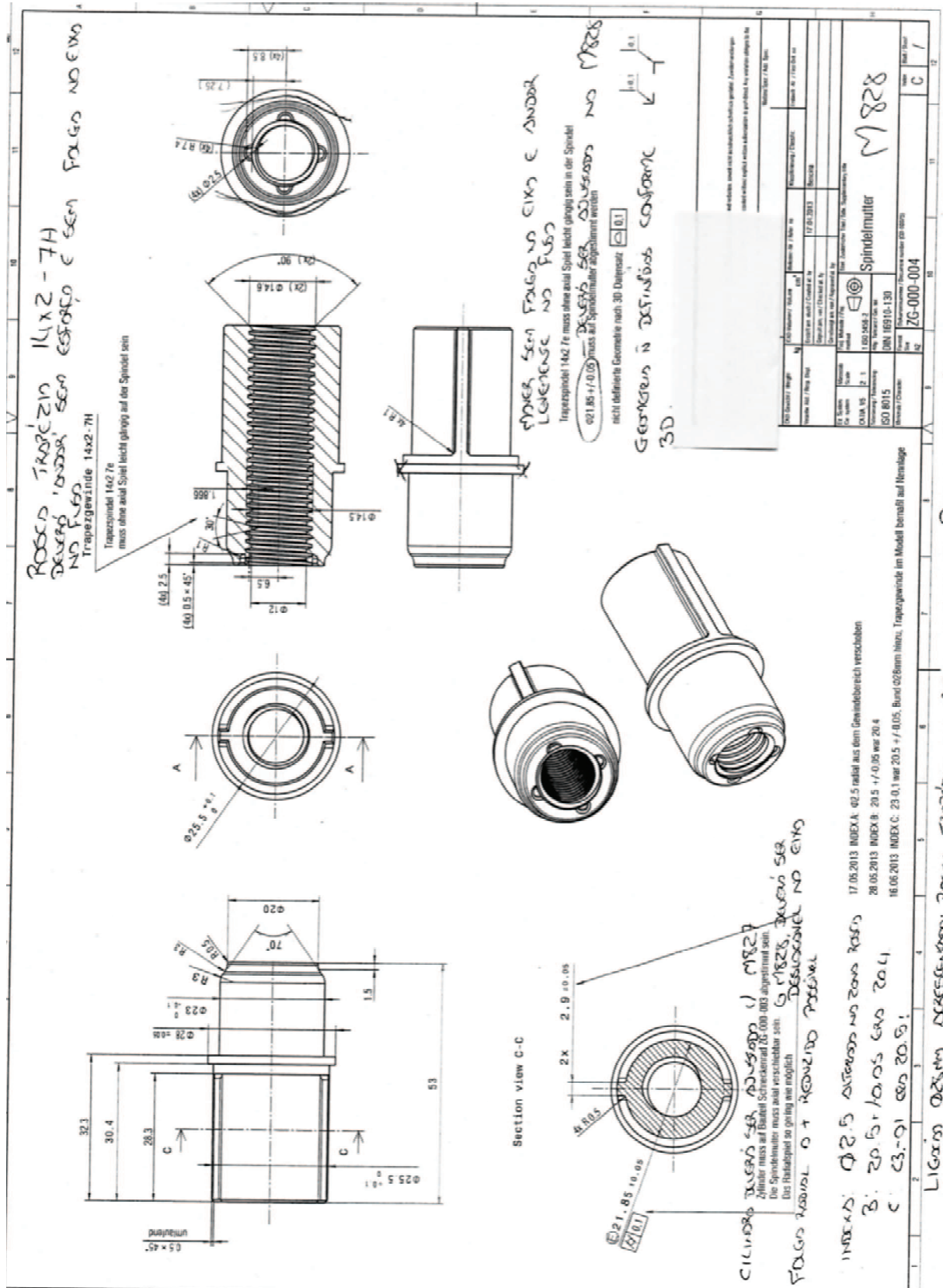


Figura 3.37 - 2D recebido do cliente após aprovação da modelação da peça plástica.

A partir do desenho preliminar enviado pelo cliente, foram efetuados estudos relativos à desmoldação da peça, existência de zonas negativas, ponto de injeção (tendo em consideração a zona visível da peça), etc.. A título exemplificativo, na figura 3.38 é possível observar através da definição de um plano de junta num plano errado, o que é uma zona negativa. O diâmetro da zona de saída no plano de junta é $\varnothing 21.85$ mm e a peça mais abaixo tem $\varnothing 25.50$ mm, como tal, essa zona seria negativa e teria de ser deformada para ser possível a sua extração da zona moldante.

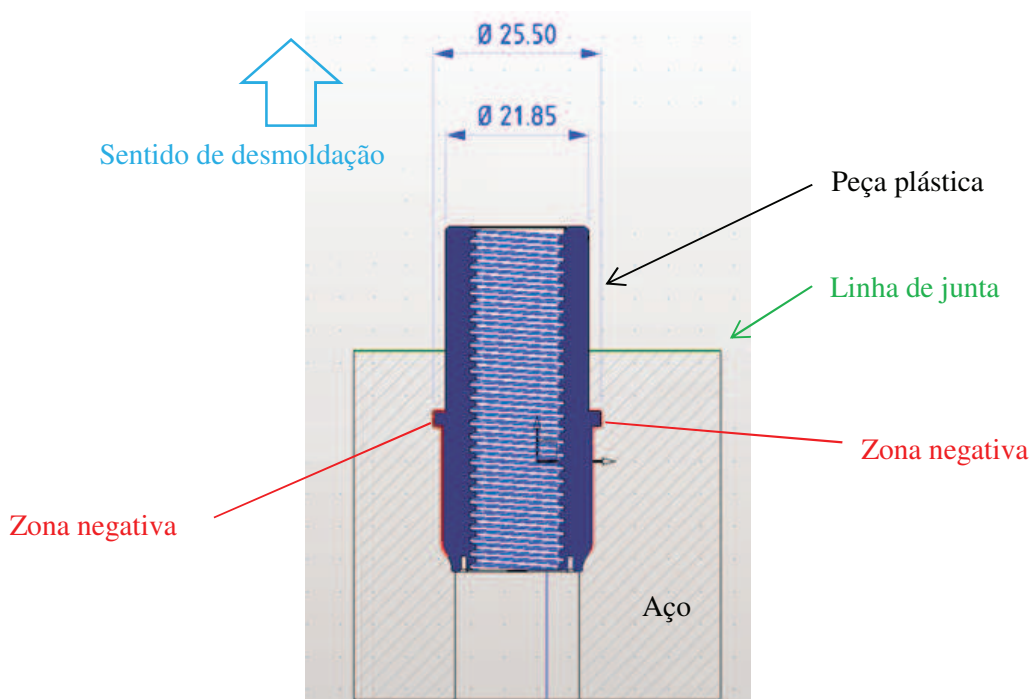


Figura 3.38 – Exemplo de zona negativa.

Após esta análise e com a informação recebida do cliente pode-se dar início ao preliminar do molde de injeção, com recurso ao *software* TopSolid. Um preliminar é, como o próprio nome indica, um primeiro esboço 2D do molde de injeção, para se ter dimensões de aços (para compra e corte de aços), opções de funcionamento do molde de injeção para processamento da peça plástica, verificar a viabilidade da máquina de injeção considerada (pelo cliente) e iniciar os trabalhos de maquinação. (Figura 3.39).

Assim, após a aprovação por parte do cliente, dá-se início à modelação 3D do molde de injeção (figuras 3.40 e 3.41), elaboração da lista de aços para a estrutura do molde de injeção para pedidos de orçamento e compra (tabela 3.5), execução de desenhos 2D dos componentes estruturais, nomeadamente chapas da estrutura e acessórios do molde não Standard, completando em simultâneo a lista de materiais (tabela 3.8), após a confirmação das dimensões das varias chapas e acessórios, durante a execução dos respetivos desenhos 2D.

É de referir as vantagens que decorrem da execução da modelação 3D do molde no que se refere à verificação de possíveis interferências mecânicas entre peças móveis, fixas, circuitos de águas de refrigeração e estrutura do molde, reduzindo assim a probabilidade de se verificarem erros de interferência entre componentes mecânicos, erros dimensionais de componentes mecânicos, etc.

O aço selecionado para a estrutura do molde foi o aço *1.1730* (tabelas 3.6 e 3.7), pois trata-se de um aço que é muito utilizado em estruturas de moldes e também muito utilizado na construção mecânica em geral (aço mais usado nas estruturas standard de empresas que fornecem esse tipo de componentes, tais como *Hasco*, *Meusburger*, *Bruy Rubio*, etc). É um aço com um bom comportamento mecânico e apresenta uma boa maquinabilidade [19] [20].

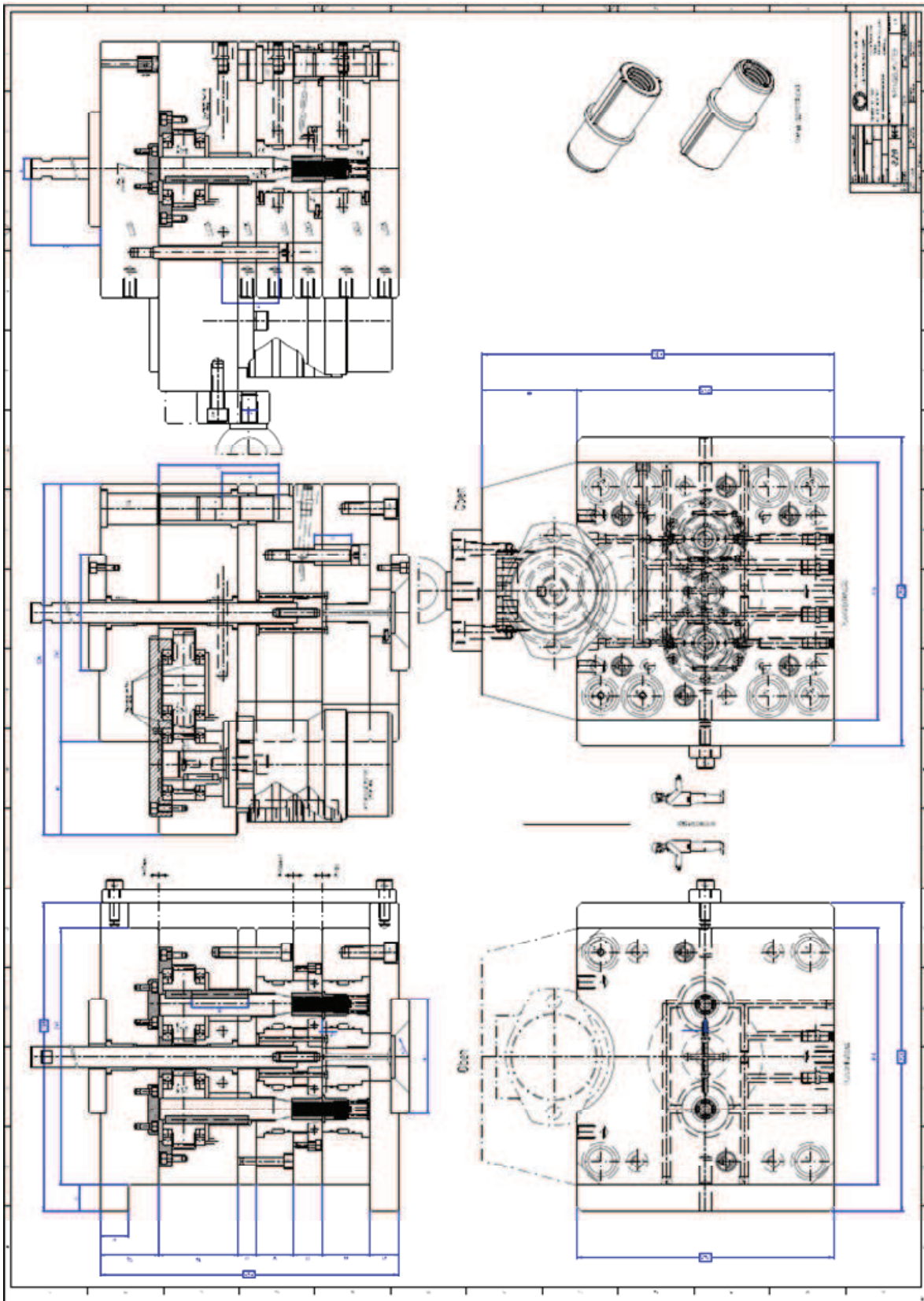


Figura 3.39 – Preliminar 2D do molde.

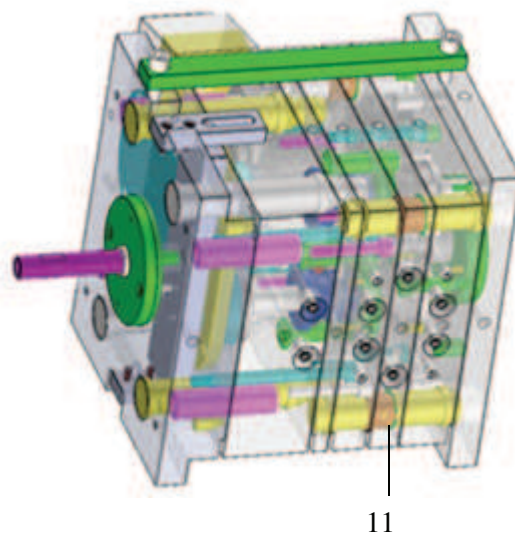
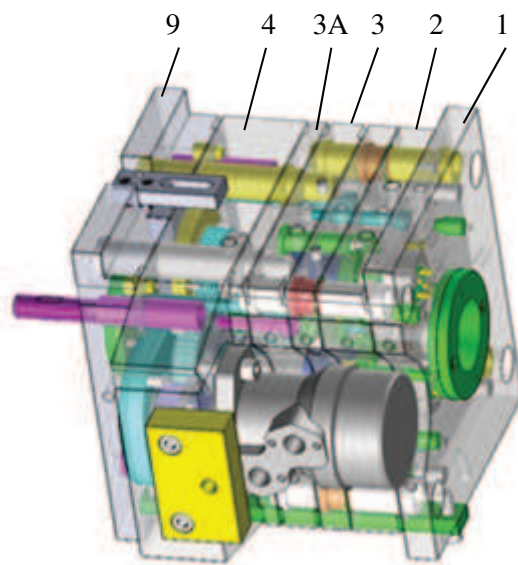


Figura 3.40 – Vistas do molde de injeção (828) fechado. Na figuração estão indicadas a numeração das chapas.

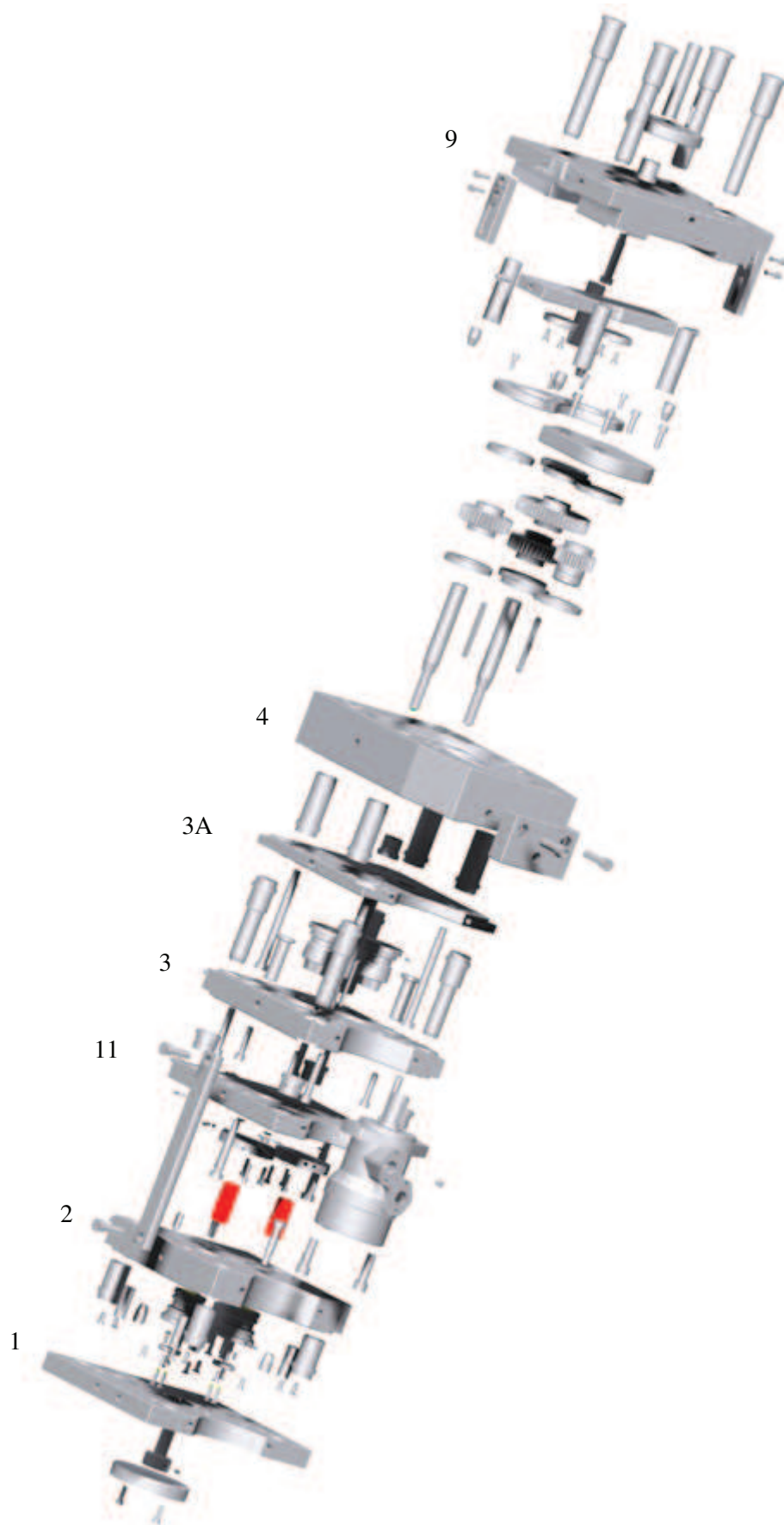


Figura 3.41- Vista global do molde de injeção (828): lado da injeção e lado da extração.

Tabela 3.5 - Lista de aços referentes à estrutura do molde: pedidos de orçamento.

Nº	Designação	Quant.	Dimensões	Materiais
1	Chapa de Aperto da injeção	1	296x246x27	1.1730
2	Chapa da Cavidade	1	246x246x46	1.1730
3	Chapa da Bucha	1	246x246x36	1.1730
3A	Chapa de Reforço	1	246x246x17	1.1730
4	Chapa de Reforço	1	336x246x76	1.1730
9	Chapa de Aperto Extração	1	296x246x56	1.1730
11	Chapa de Suporte da Extração	1	246x246x27	1.1730

Tabela 3.6 - Composição química do aço 1.1730 [20].

C %	Mn %	Si %	P %	S %
0.42-0.5	0.6-0.8	0.15-0.4	0-0.03	0-0.03

Tabela 3.7 - Propriedades físicas do aço 1.1730 [20].

Dureza	Máx. 190 HB			
Resistência à tração, R _m	Apróx. 650N/mm ²			
Dureza de Trabalho	Máx. 54 HRc (superficial)			
Expansão térmica (10 ⁻⁶ m/(m°k))	20-100°C	20-300°C	20-300°C	20-400°C
	12.5	13.0	13.6	14.1
Condutibilidade Térmica W/(m°k)	20°C		350°C	
	44.9		41.6	

3.2.2.1. Constituintes do molde

Após a execução da modelação (3D final) é realizada a listagem final de todos os componentes mecânicos do molde (acessórios, blocos moldantes, postigos moldantes, etc.) conforme se pode observar na Tabela 3.8. Em seguida procede-se ao pedido de orçamentos das peças *standard* e material (para a maquinação de componentes não *standard*), estando já a ser maquinadas as chapas da estrutura do molde.

Tabela 3.8 - Lista final de material do molde 828.

Nº	Designação	Quant.	Dimensões	Materiais	Tratamento / comprimento
0	Barra de Transporte	1	116x70x30	1.1730	
1	Chapa de Aperto da injeção	1	296x246x27	1.1730	
2	Chapa da Cavidade	1	246x246x46	1.1730	
3	Chapa da Bucha	1	246x246x36	1.1730	
3A	Chapa de Reforço	1	246x246x17	1.1730	
4	Chapa de Reforço	1	336x246x76	1.1730	
9	Chapa de Aperto Extração	1	296x246x56	1.1730	
11	Chapa Extratora	1	246x246x27	1.1730	
15	Guia Principal	3	Z00/36/24x75	Hasco	
16	Guia Principal	1	Z00/36/22x75	Hasco	
23	Guia Secundaria	3	Z03/56/24x115	Hasco	
24	Guia Secundaria	1	Z03/56/22x115	Hasco	
25	Casquilho Principal	3	Z10/46/24	Hasco	

26	Casquilho Principal	1	Z10/46/22	Hasco	
27	Casquilho principal grafitado	3	Z1100W/27/24	Hasco	
27A	Freio	4	Z67/30x1.5	Hasco	
28	Casquilho principal grafitado	1	Z1100W/27/22	Hasco	
29	Casquilho Secundário	3	Z10/76/24	Hasco	
29A	Casquilho Secundário	1	Z10/76/22	Hasco	
32	Anel de Centragem	1	Ø109.8x19	1.1730	
32A	Anel de Centragem	1	Ø109.8x16	1.1730	
33	Injetor	1	Ø38x64	1.2311	
50	Barra de Fecho	1	Ø 30x283	1.1730	
75	Haste de KO1	1	Ø20x106	1.2312	
75A	Casquilho KO	2	Z11/27/20	Hasco	
75B	Limitador	1	1021-10x55	Rabourdin	
75C	Haste de KO2	1	Ø20x117	1.2312	
100	Cavidade	2	Ø56x46	1.2311	Nitrurado
100A	Postiço Cavidade	8	Z40/4x100	Hasco	
200	Bucha	2	Ø56x63	1.2311	Nitrurado
200A	Postiço Bucha (Elemento Rosca)	2	Ø22x184	1.2311	Nit. (0.08prof) Não nitrurar Rosca
200A1	Escatel	2	80x7x6	1.2311	
200B	Aro Extrator moldante	2	Ø80x14	1.2311	Nitrurado
301	EF1 - Extrator Fixo	4	Z41/4x100	Hasco	
341	Chapa Batente Elem. Rosca	2	Ø48x10	1.2311	Nitrurado
342	Chapa Fixação Rolamentos	1	210x108cx13	1.1730	
343	Chapa Fixação Rolamentos	1	169x124x22	1.1730	
344	Mola Polyuretano	4	395-16	Rabourdin	
345	Mola Polyuretano	4	395-16	Rabourdin	
347	Roda dentada	1	Ø56x55	1.2311	M=2 Dp=52 Z=26
348	Roda dentada	1	Ø104x40	1.2311	M=2 Dp=100 Z=50
349	Roda dentada	2	Ø74x40	1.2311	M=2 Dp=70 Z=35
350	Chapa Fixação	2	Ø32x6	1.1730	
351	Postiço Arrastador	2	Ø28x63	1.1730.	
352	Arrastador	2	Z172/10	Hasco.	
353	Chapa de Guiamento	2	94x30x15	1.1730	
354	Chapa Extratora	1	246x60x20	1.1730	
355	Mola	4	356-25x139	Rabourdin	
P0	Paraf. de Cabeça Cilíndrica	2	M12x40	Stand.	
P1	Paraf. de Cabeça Cilíndrica	4	M12x35	Stand.	
P3	Paraf. de Cabeça Cilíndrica	4	M8x40	Stand.	
P4	Paraf. de Cabeça Cilíndrica	6	M10x60	Stand.	
P11	Paraf. de Cabeça Cilíndrica	3	M10x40	Stand.	
P32	Paraf. de Cabeça Cilíndrica	2	M6x20	Stand.	
P32A	Paraf. de Cabeça Cilíndrica	2	M6x20	Stand.	
P33	Paraf. de Cabeça de Embutir	4	M6x16	Stand	
P50	Paraf. de Cabeça Cilíndrica	2	M12x35	Stand.	
P75	Perno Roscado	1	M10x30	Stand.	

P100	Paraf. de Cabeça de Embutir	8	M6x16	Stand.	
P200B	Paraf. de Cabeça Cilíndrica	10	M5x20	Stand.	
P341	Paraf. de Cabeça Cilíndrica	4	M5x12	Stand.	
P342	Paraf. de Cabeça Cilíndrica	4	M6x16	Stand.	
P343	Paraf. de Cabeça Cilíndrica	4	M8x25	Stand.	
P350	Paraf. de Cabeça de Embutir	4	M5x16	Stand.	
P353	Paraf. de Cabeça Cilíndrica	4	M6x20	Stand.	
Parrast.	Perno Roscado	2	M16x25	Stand.	
PMotor	Paraf. de Cabeça Cilíndrica	2	M12x40	Stand.	
Pcasq.	Paraf. de Cabeça de Embutir	8	M6x16	Stand.	
PL1	Limitador1	4	1021-10x120	Rabourdin	
PL2	Limitador2	2	1021-10x60	Rabourdin	
PL3	Limitador3	2	1021-10x40	Rabourdin	
C1	Cavilha	4	Ø16x44	Stand.	
C33	Cavilha	1	Ø4x10	Stand.	
C100	Cavilha	2	Ø4x10	Stand.	
C200	Cavilha	2	Ø4x10	Stand.	
C200B	Cavilha	2	Ø4x10	Stand.	
C350	Cavilha	4	Ø4x10	Stand.	
C353	Cavilha	4	Ø6x10	Stand.	
C354	Cavilha	2	Ø10x25	Stand.	
	Motor Hidráulico	1	BMR-80-C25-A-G	Blumec	
	O-Ring	4	2-108	Parker	
	O-Ring	4	2-130	Parker	
	O-Ring	4	2-131	Parker	
	Rolamento	8	16008-A	Ina-Fag	
	Recores	8	Z81/9/10x1	Hasco	

Nas figuras 3.42, 3.43 e 3.44 são indicados os vários componentes bem como a sua localização (e montagem) no molde de injeção

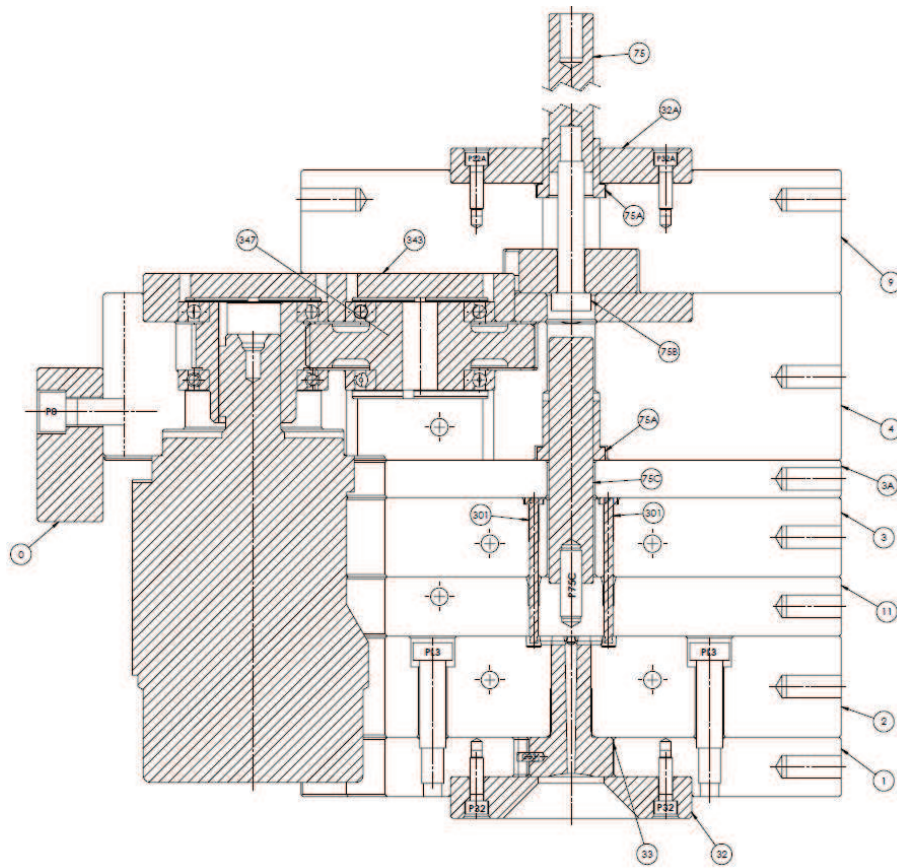


Figura 3.42 – Molde de injeção com indicação dos vários componentes do molde 828 (vista em corte: seção A-A (desenho 2D final para montagem)).

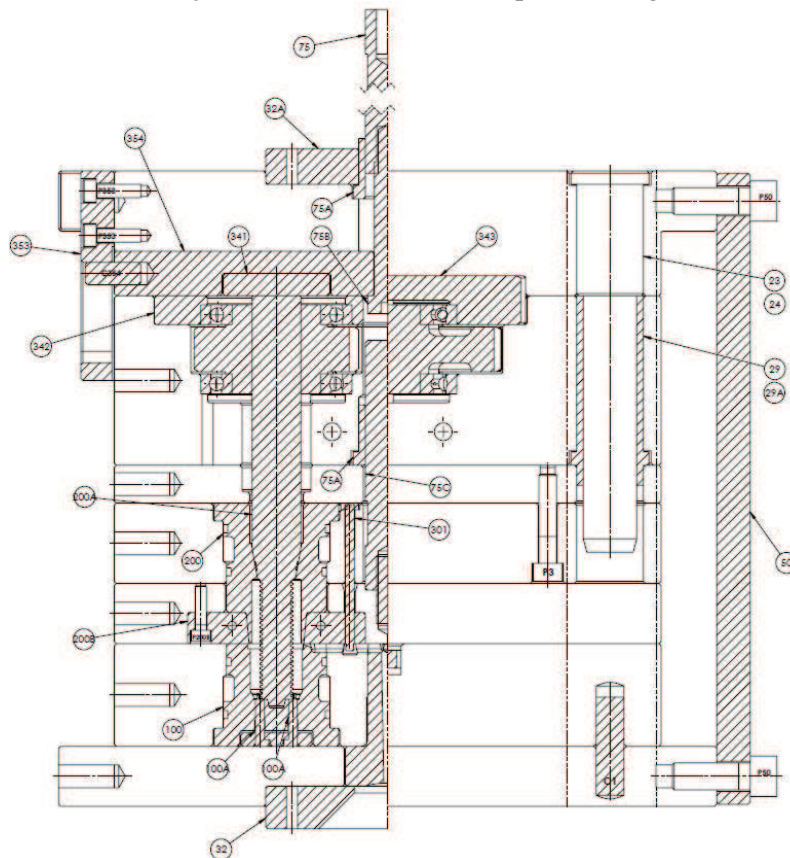


Figura 3.43 - Molde de injeção com indicação dos vários componentes do molde 828 (vista em corte: seção B-B (desenho 2D final para montagem)).

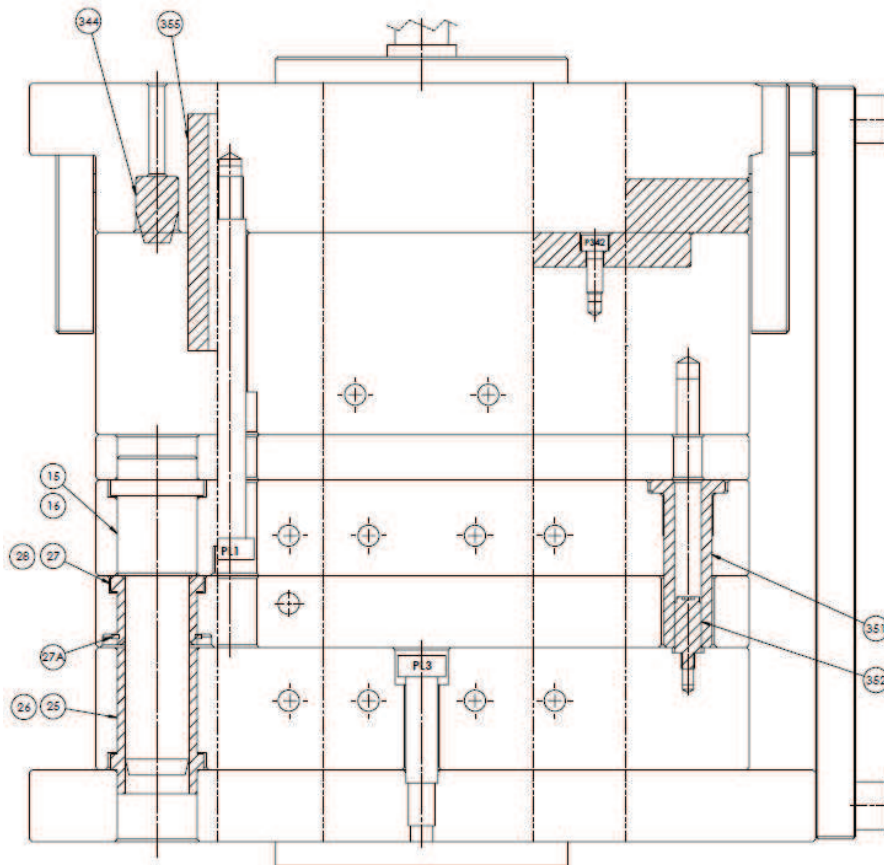


Figura 3.44 - Molde de injeção com indicação dos vários componentes do molde 828 (vista em corte: seção C-C (desenho 2D final para montagem)).

3.2.2.2. Refrigeração

O projeto de um bom sistema de refrigeração permite a extração das peças plásticas de boa qualidade (peças sem empenos, sem deformações, etc.), com tempos de ciclo de moldação relativamente baixos. O tempo de refrigeração necessário é, de uma forma geral, cerca de 70 a 80% do tempo do ciclo de moldação.

Os circuitos de refrigeração não podem ser posicionados a pouca distância da zona moldante (distâncias inferiores a 15 mm), pois pode correr-se o risco da pressão de injeção poder romper o furo (maquinado abaixo da zona moldante). Podem também, ocorrer diferenças de temperatura na zona moldante, que podem ter como consequência o aparecimento de defeitos na superfície da peça plástica.

As ligações para a entrada e saída do líquido de refrigeração devem estar posicionadas na parte de baixo do molde (montado na máquina de injeção) e/ou no lado oposto ao operador da máquina de injeção.

Por forma a ser mais uniforme a remoção de calor, nas superfícies moldantes, deve utilizar-se circuitos de pequena extensão e assim obter uma maior eficiência na dissipação do calor.

No caso das cavidades do molde 828, o sistema de refrigeração, foi aplicado na chapa 2, entra pelo lado da base do molde, refrigerando as cavidades (peças 100), primeiro a cavidade 1 e depois a cavidade 2, através de um canal circular executado nas mesmas, no final do circuito sai (figura 3.45 – o circuito de refrigeração bem como o seu sentido de circulação da água de refrigeração, pontos de entrada e de saída) para a unidade de frio.

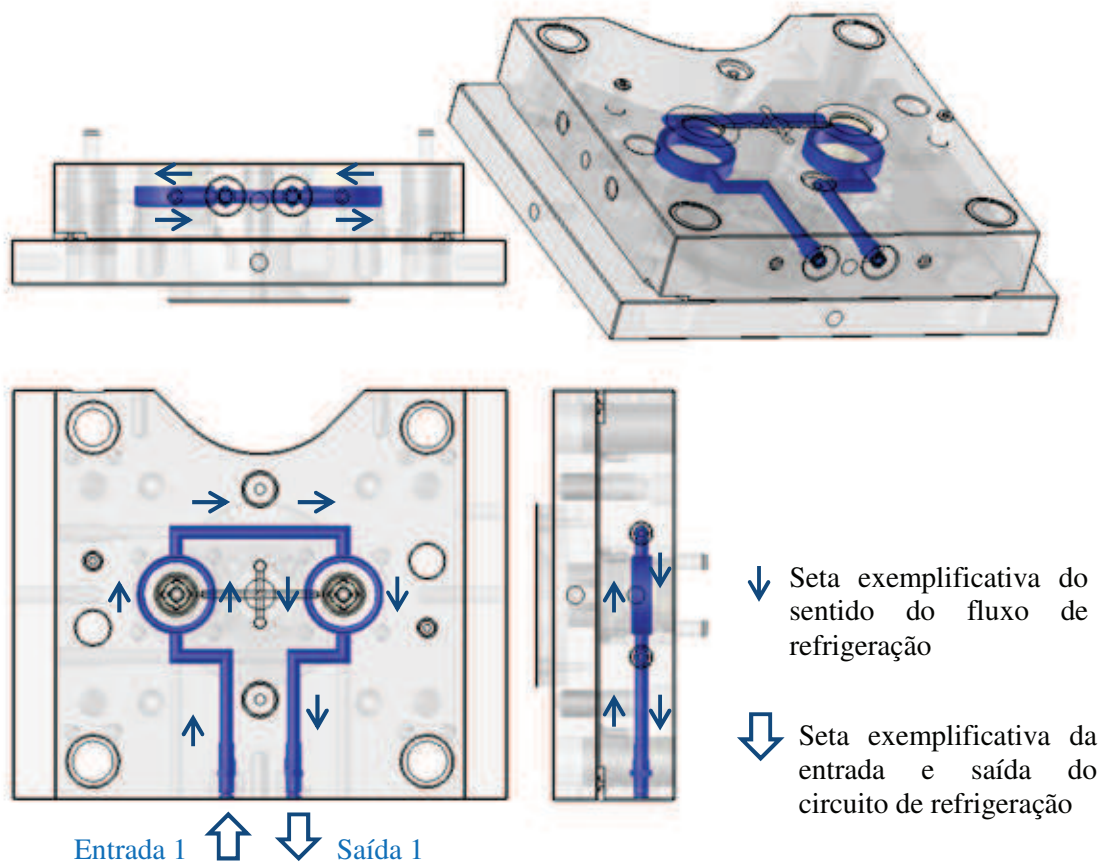


Figura 3.45 - Circuito de refrigeração do lado da injeção (molde 828).

No lado da extração do molde, o sistema de refrigeração está dividido em três circuitos: circuito que refrigera os aros extratores moldantes (peça 200B), circuito que refrigera as buchas (peças 200) e circuito que refrigera a chapa de reforço (chapa 4) (figura 3.46, os circuitos de refrigeração bem como os seus sentidos de circulação da água de refrigeração, pontos de entrada e de saída).

No circuito1 (entrada1/saida1) a água entra na chapa 11 pelo lado da base do molde refrigerando os aros extratores moldantes (peça 200B), primeiro o aro extrator moldante 1, voltando à chapa 11 e depois o aro extrator moldante 2 através de um pequeno circuito hexagonal executado nos mesmos, no final retorna à chapa 11 e sai para a unidade de frio (Figura 3.46).

No circuito 2 (entrada2/saida2) a água entra na chapa 3 pelo lado da base do molde refrigerando as cavidades, primeiro a bucha 1, voltando à chapa 3 e depois a bucha 2 através de um canal circular executado nas mesmas, no final retorna à chapa 3 e sai para a unidade de frio (figura 3.46).

No circuito 3 (entrada3/saida3) a água entra na chapa 4 pelo lado da base do molde, executa um circuito em forma de “U” e sai para a unidade de frio. Este ultimo circuito de refrigeração (circuito 3), foi aplicado para retirar o calor produzido pelo funcionamento das partes móveis do sistema de desenroscamento (figura 3.46).

desenroscamento, graças às negativas presentes no gito (figura 3.47)). Foi aplicada uma calote à peça no ponto de injeção (figura 3.49) para prevenir que “rebarba” resultante do corte manual do gito, possa interferir com o funcionamento da peça plástica.

O canal que alimenta os ataques à junta é de tipologia trapezoidal adaptado (figura 3.50).

O diâmetro de entrada do injetor (peça numero 33 do molde) que alimenta o canal é de 3.5mm com abertura de 2° (graus), comprimento de 64mm e um raio de encosto para o bico da máquina (definido pelo cliente) de 40mm (figura 3.47).

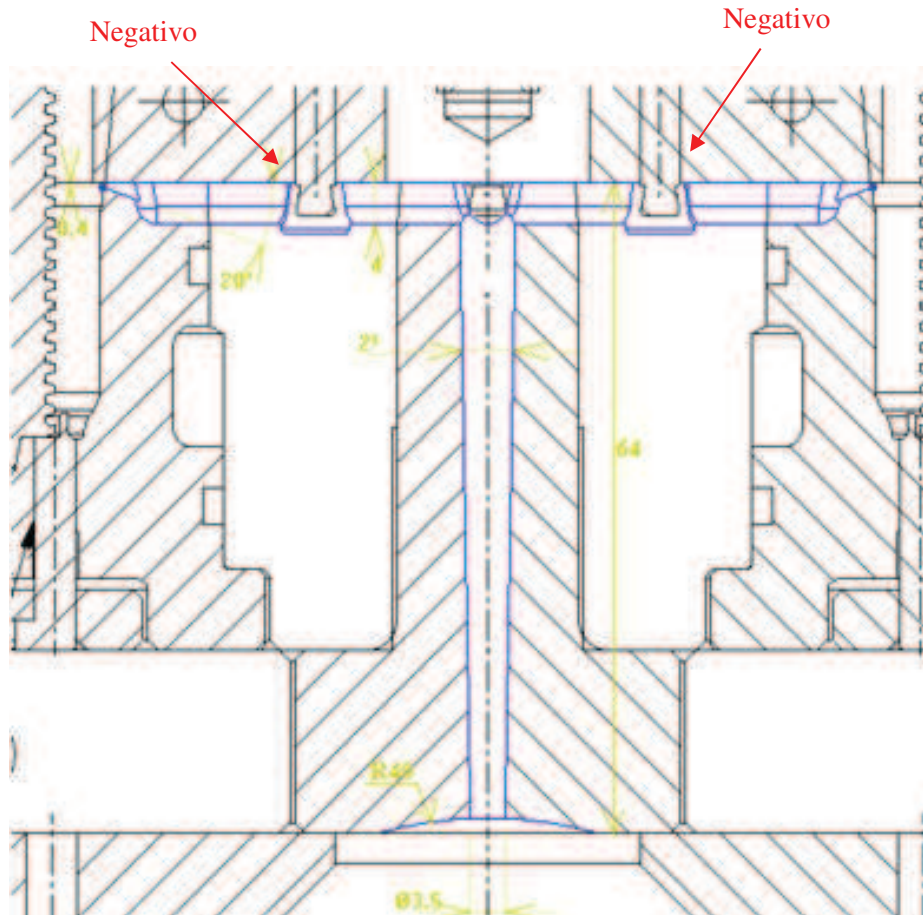


Figura 3.47 – Pormenor da injeção do molde (828) em corte (retirado do 2D).

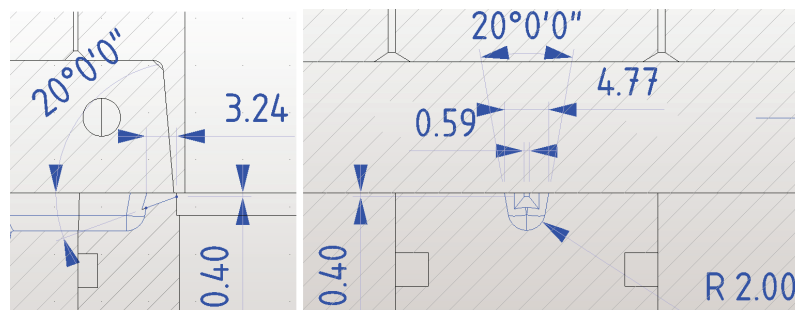


Figura 3.48 – Pormenor do ataque à junta em corte longitudinal (à esquerda) e transversal (à direita) (retirado do 2D).

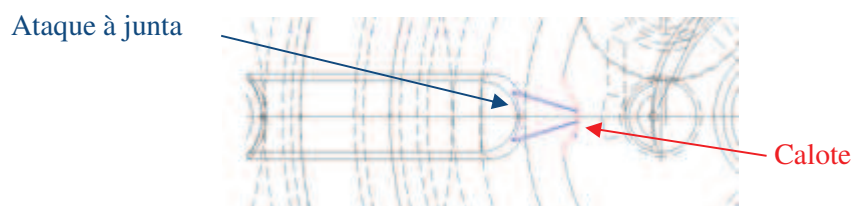


Figura 3.49 – Pormenor do ataque à junta e da calote em planta (retirado do 2D).

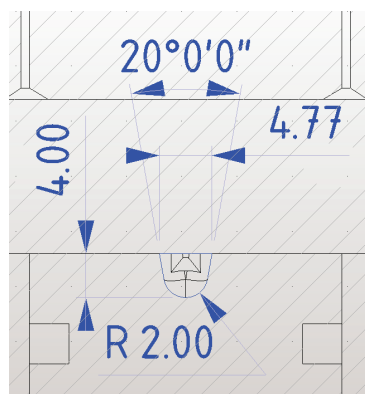


Figura 3.50 – Corte ilustrativo do canal de injeção (retirado do 2D).

O enchimento das peças plásticas ocorre de modo balanceado e com espessuras uniformes (conforme se pode observar nas figuras 3.51, 3.52, 3.53 e 3.54 referentes ao processo de enchimento da peça plástica nos 25%, 50%, 75% e 100% respetivamente), de tal modo que, as linhas de soldadura ocorrem numa zona que não apresenta qualquer problema a nível funcional da peça, ou seja, o lado oposto ao ponto de injeção (figura 3.55).

A peça plástica atinge os 25% do seu enchimento aos 0.3756s, os 50% aos 0.7515s, os 75% aos 1.127s e os 100% aos 1.502s, conforme pode ser verificado na barra lateral das figuras 3.51, 3.52, 3.53 e 3.54. É de salientar que o enchimento das peças se mantém equilibrado ao longo de todo o processo de enchimento.

A partir do estudo de enchimento do molde, é possível observar que a acumulação de gases se verifica nas extremidades dos furos executados pelas peças 100A, na zona do plano de linha de junta do molde e na zona do fim da rosca do lado da extração (zona do ajustamento entre a peça 200A e a peça 200 da peça plástica) (figura 3.56). Consequentemente para se verificar o escape de gases, no lado da injeção, a peça 100 foi dividida em cinco peças (100 e quatro peças 100A) por forma a permitir a libertação dos gases da zona moldante (figura 3.57), foi aproveitado também para executar fugas de gases entre as peças 200 e 200A e no plano de junta entre as peças 200, 200B e 100 (figura 3.57). Os escapes de gases foram maquinados com uma profundidade de 0.02 mm de acordo com norma interna da empresa. Com a introdução de zonas de escape de gases, evita-se o aparecimento de zonas “queimadas” na peça plástica e defeitos típicos de peças plásticas com défice de zonas de escape de gases.

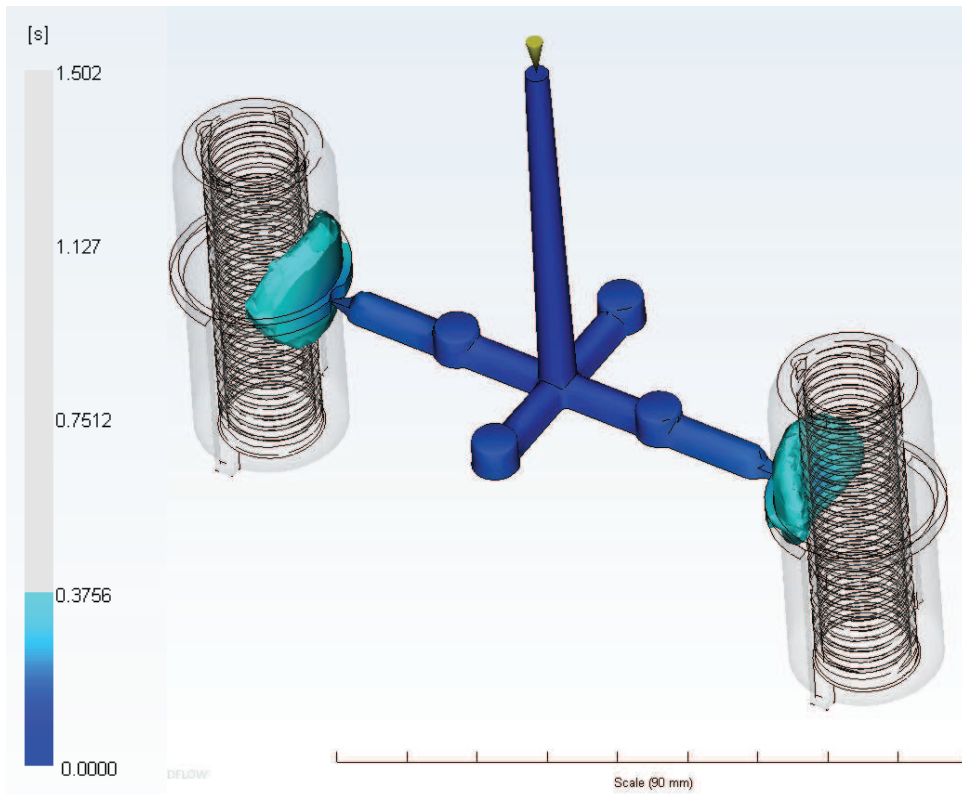


Figura 3.51 – Enchimento da peça plástica obtido por software Moldflow (material POM) a 25%.

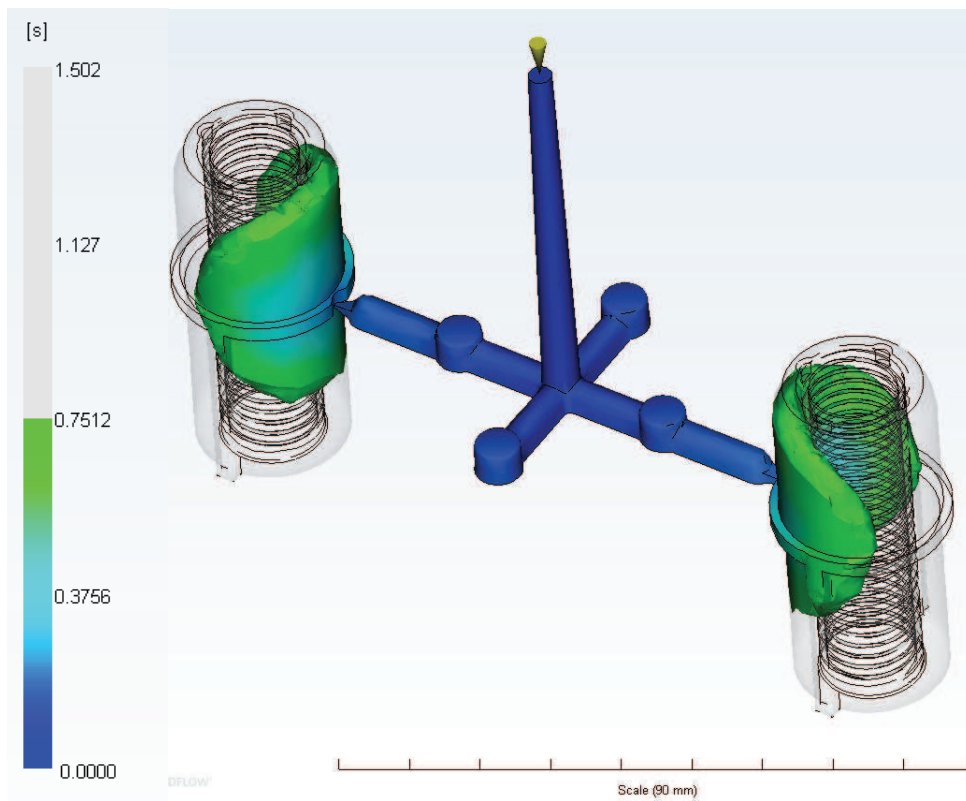


Figura 3.52 – Enchimento da peça plástica obtido por software Moldflow (material POM) a 50%.

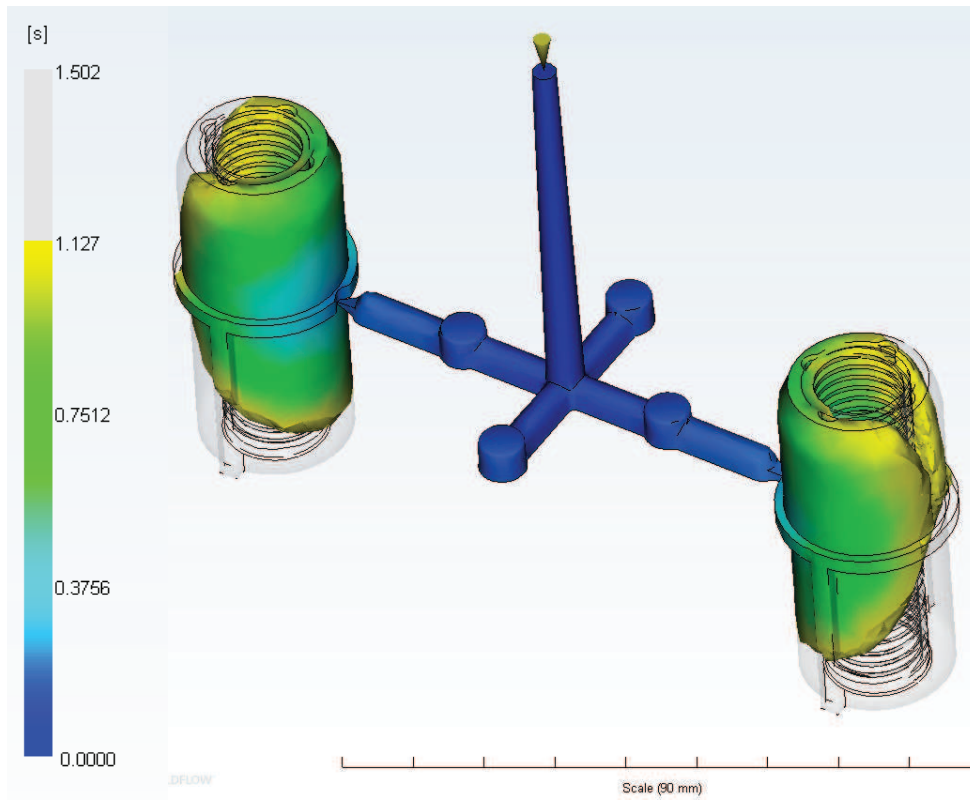


Figura 3.53 – Enchimento da peça plástica obtido por software Moldflow (material POM) a 75%.

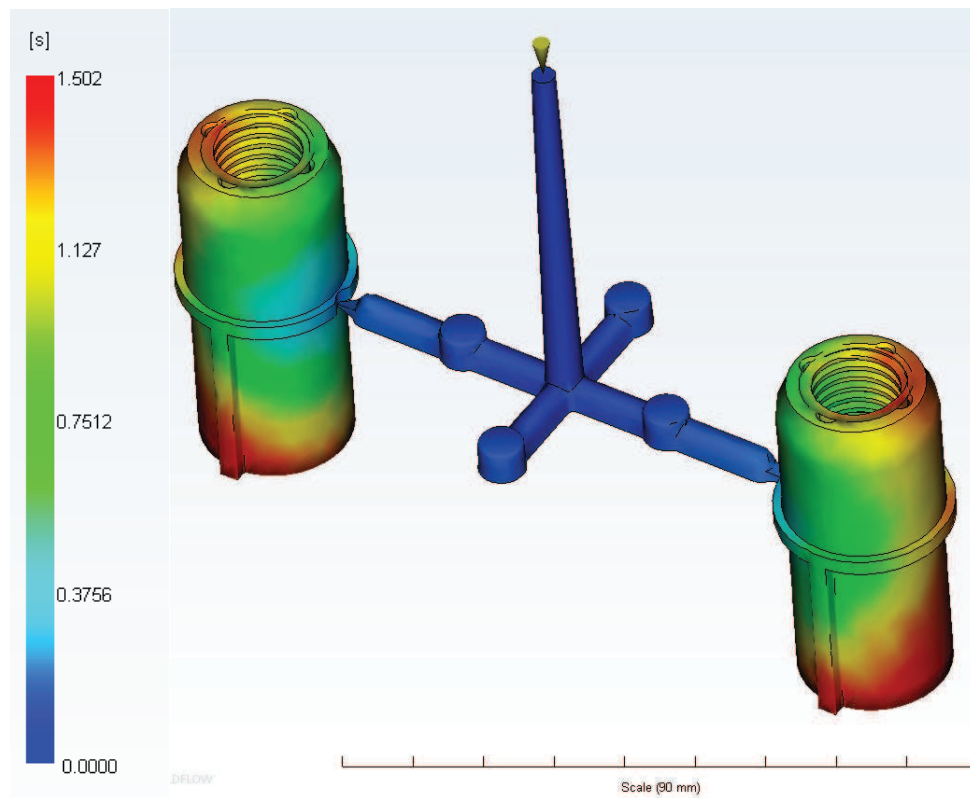


Figura 3.54 – Enchimento da peça plástica obtido por software Moldflow (material POM) a 100%.

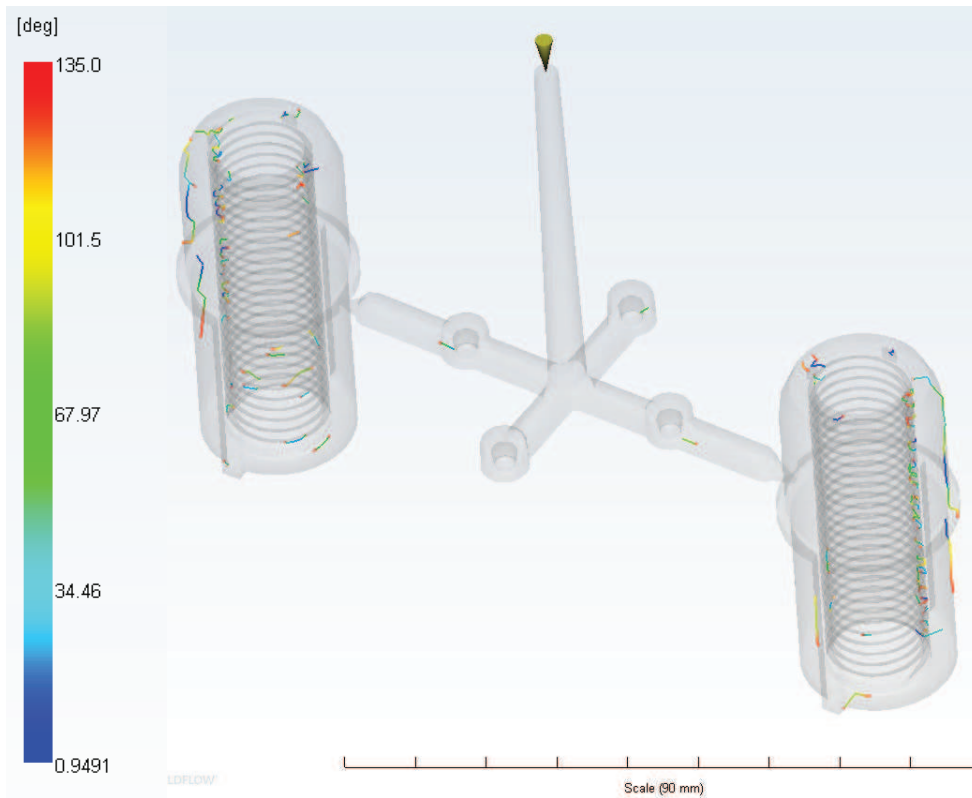


Figura 3.55 – Linhas de soldadura da peça plástica obtidas por software Moldflow (material POM).

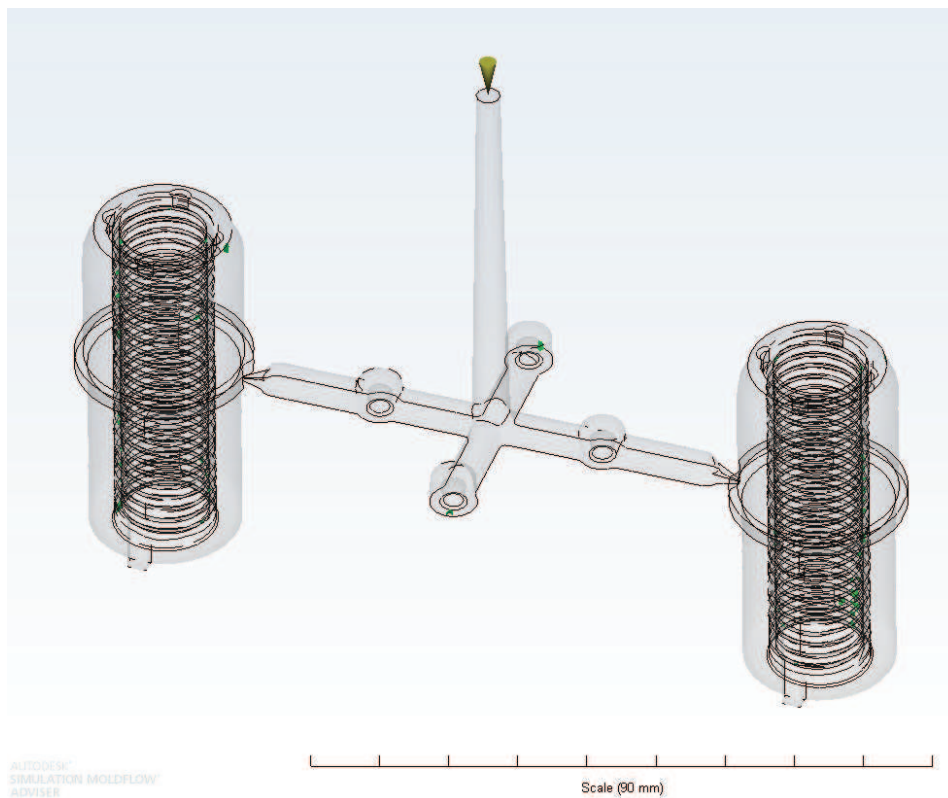


Figura 3.56 – Zonas de prisão de gases (pontos a verde) da peça plástica obtidas por software Moldflow (material POM).

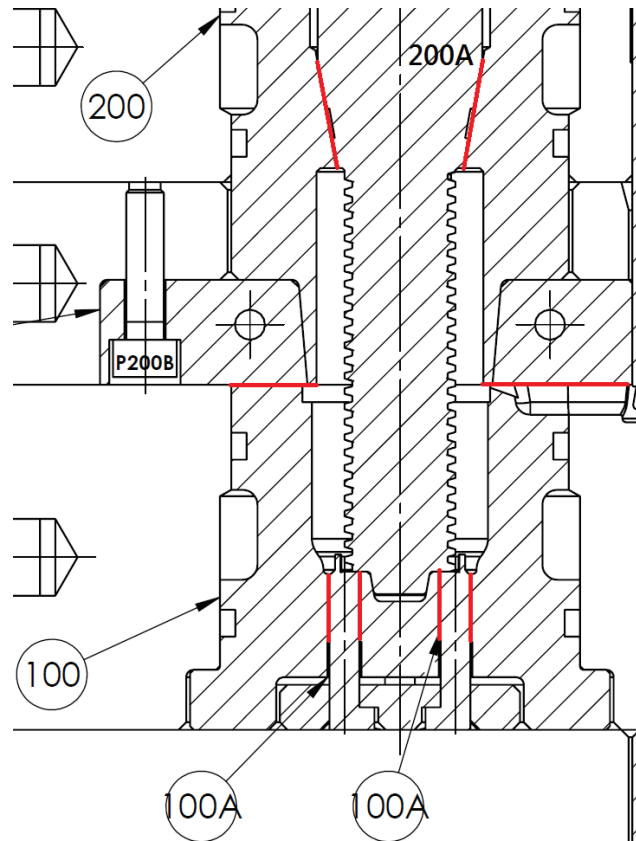


Figura 3.57 – Zonas de escapes de gases entre peças do molde (linhas a vermelho) (retirado do 2D).

3.2.2.4. Guiamento e centramento no molde

O molde tem três sistemas de guiamento distintos: o guiamento principal, o guiamento secundário e o guiamento do sistema de extração.

O guiamento principal (figura 3.58) no lado da extração é constituído por quatro guias, três guias da Hasco referência Z00/36/24x75 e uma guia Hasco referência Z00/36/22x75. Na chapa 11 o guiamento é constituído por quatro casquilhos, três casquilhos grafitados da Hasco referência Z1100W/27/24 e um casquilho grafitado da Hasco referência Z1100W/27/22, estes casquilhos são grafitados para auxiliar na diminuição do atrito durante o processo de extração. No lado da injeção o guiamento é constituído por quatro casquilhos, três casquilhos da Hasco referência Z10/46/24 e um casquilho da Hasco referência Z10/46/22.

O guiamento secundário (figura 3.59) é constituído por quatro guias, três guias da Hasco referência Z03/56/24x115 e uma guia Hasco referência Z03/56/22x115 na chapa 9. Na chapa 4 o guiamento é constituído por quatro casquilhos, três casquilhos da Hasco referência Z10/76/24 e um casquilho da Hasco referência Z10/76/22. A existência de uma guia e um casquilho de referência diferente tem como finalidade garantir que o molde não é montado de forma incorreta.

O guiamento de extração (figura 3.60) é constituído pelas duas chapas de guiamento (peça 353) fixas na chapa 9, este guiamento consiste no deslizar de uma cavilha (C354) num rasgo executado nesta chapa, guiando assim o movimento da chapa extratora (peça 354).

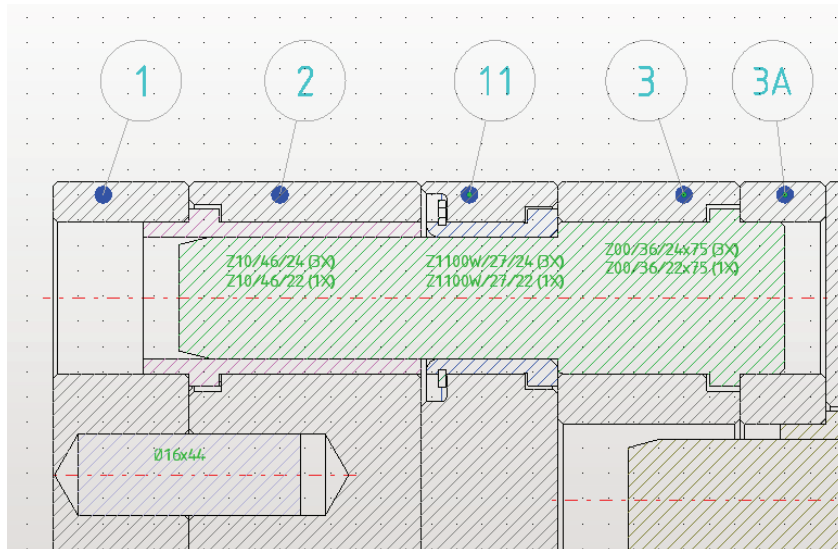


Figura 3.58 – Sistema de guiamento principal do molde (retirado do 2D).

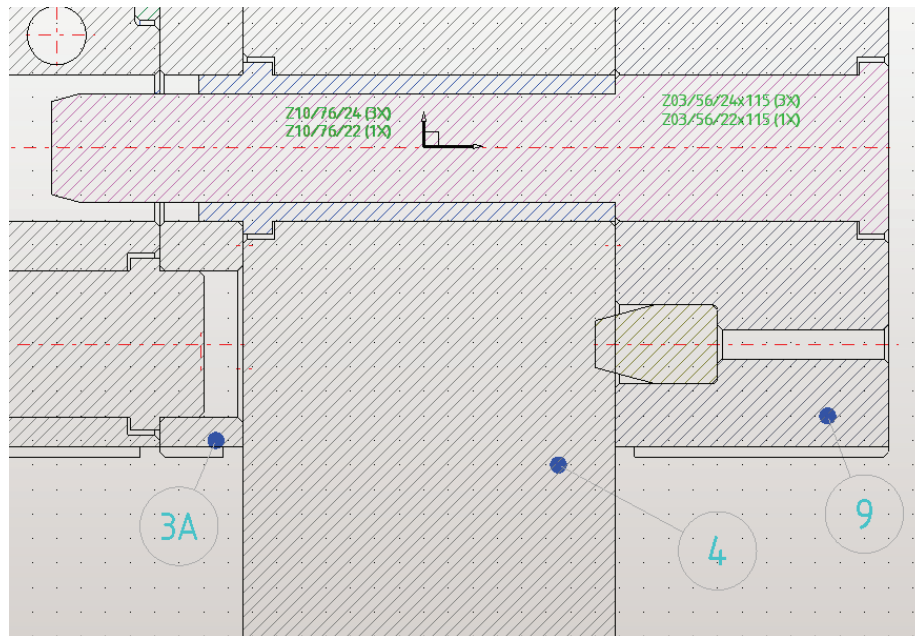


Figura 3.59 - Sistema de guiamento secundário do molde (retirado do 2D).

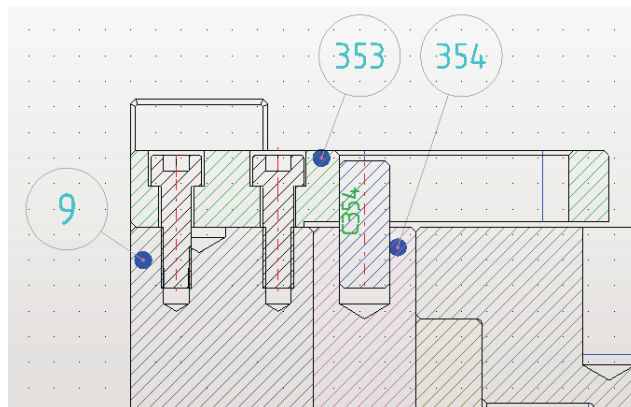


Figura 3.60 – Sistema de guiamento da extração do molde (retirado do 2D).

O centramento entre o lado da extração e lado da injeção é obtido com recurso às peças 200A - posição bucha (lado da extração, figura 3.61, parte superior da figura) e peça 100 – cavidade (lado da injeção, figura 3.61, parte inferior da figura) Na figura 3.62 é possível observar o centramento entre a peça 340 e 86, este é conseguido por um ajustamento circular cónico, maquinado diretamente no aço. Este método é bastante utilizado, visto não ser necessária a aplicação de *interlocks* adicionais, traduzindo-se numa diminuição do custo do molde.

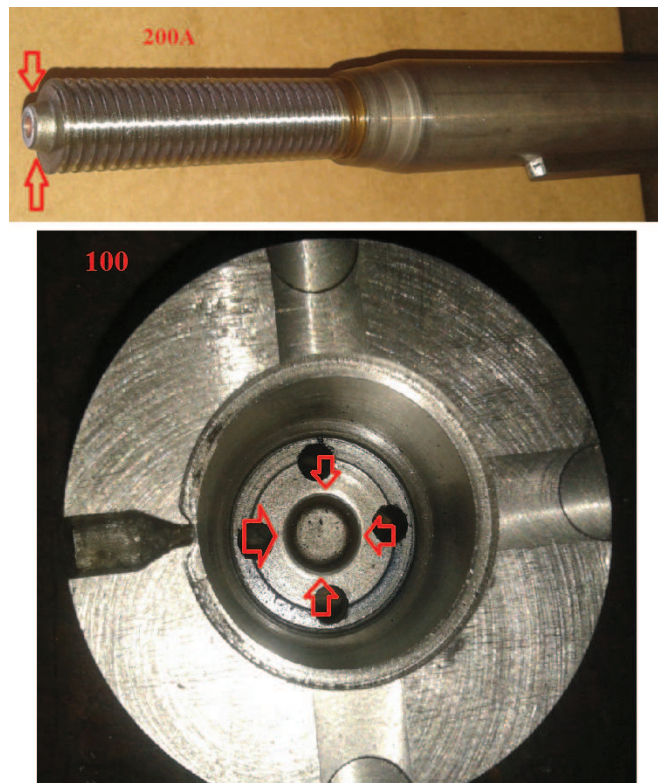


Figura 3.61 – Peças 200A e 100 com setas a indicar a zona de centramento.

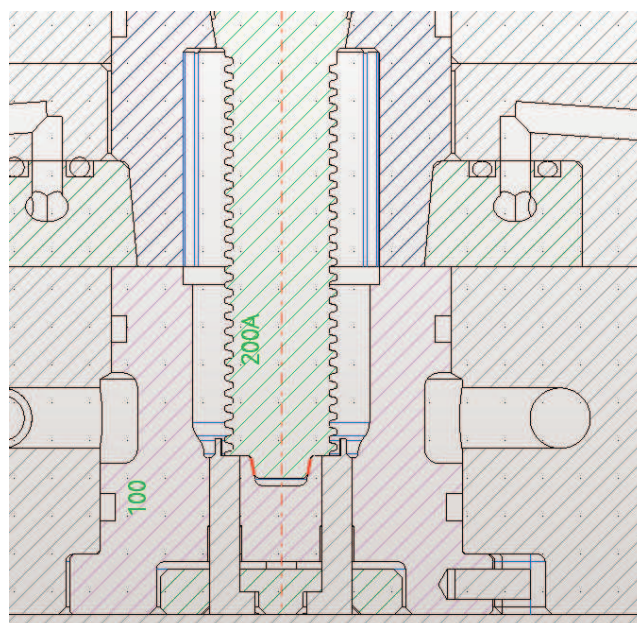


Figura 3.62 – Linha a vermelho a mostrar o ajustamento entre as peças 200A e 100 com o molde fechado (retirado do 2D).

3.2.2.5. Extração no molde

A extração da peça plástica é executada pela peça 200A - posição bucha (elemento rosca) que após o desenroscamento é acionada pela chapa 354 - chapa extratora, sendo o encosto entre as duas peças reforçado pela peça 341 - chapa batente elem. rosca (esta peça e a peça 200A serão em aço 1.2311 recebendo um tratamento térmico de nitruração para aumentar a sua resistência superficial), e com recurso à peça 200B – aro extrator moldante nos últimos 5mm (garantindo a total extração da peça plástica) (figura 3.63).

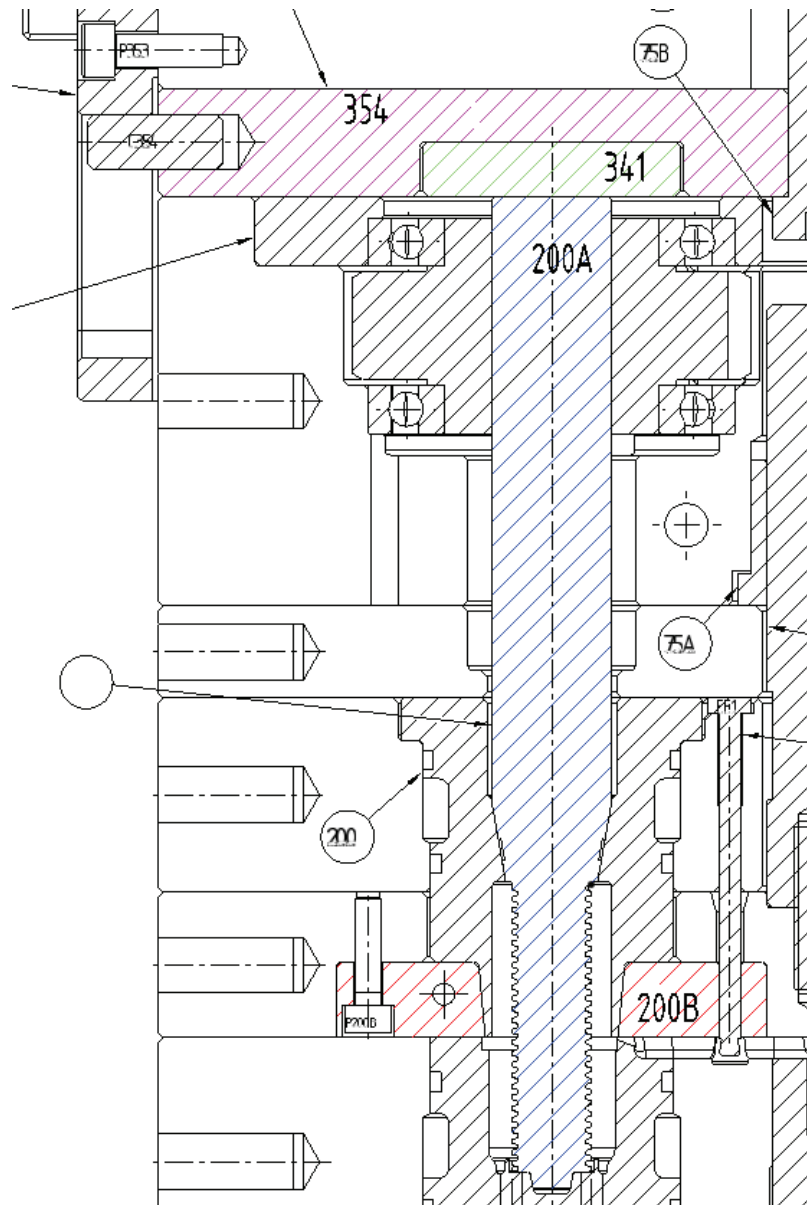


Figura 3.63 – Ilustrativo das peças intervenientes na extração da peça plástica (retirado do 2D).

A extração do gito da peça plástica é feita pela chapa 11- chapa extratora e pela peça 200B – aro extrator moldante. Para garantir que o gito fica do lado da extração foi torneada uma zona negativa nos pernos fixos 301/EF1da Hasco com referência Z41/4x100 (figuras 3.64 e 3.65).

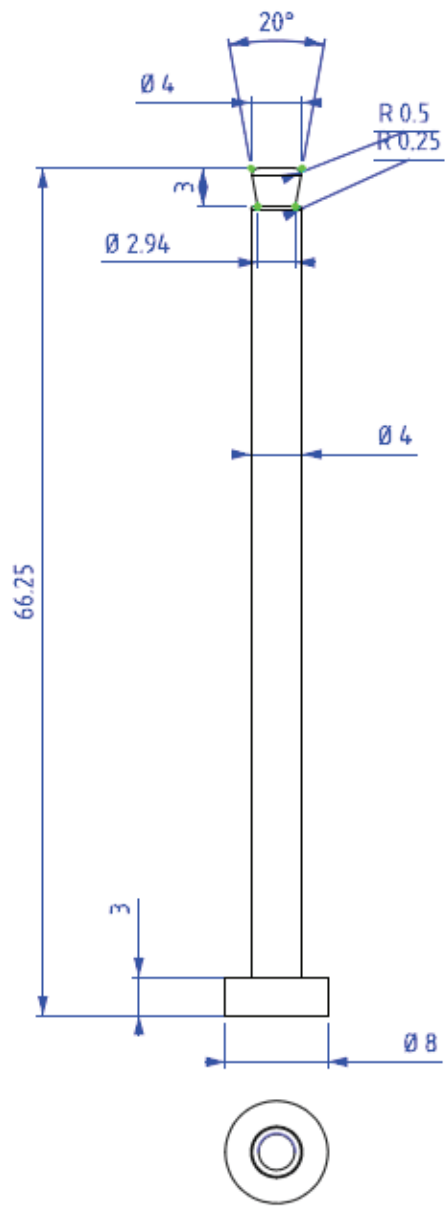


Figura 3.64 – Desenho 2D da peça 301/EF1 – extrator fixo (retirado do 2D).

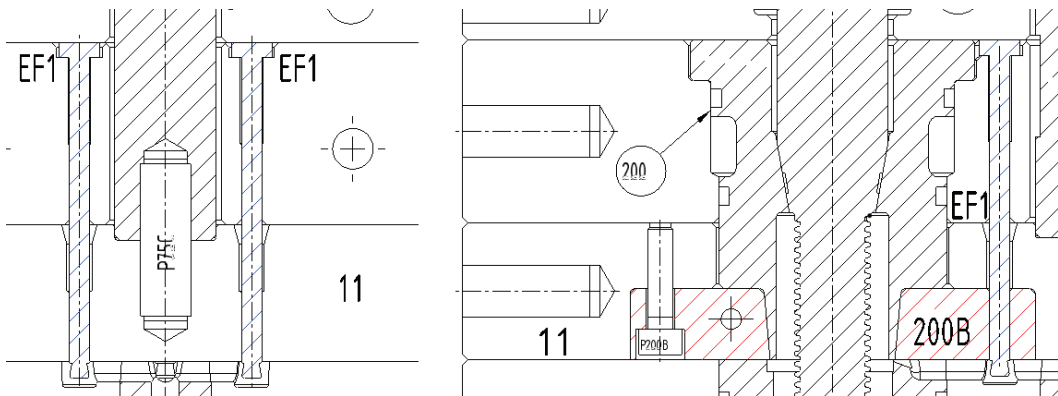


Figura 3.65 - Peças intervenientes na extração do gito (retirado do 2D).

3.2.2.6. Funcionamento do molde 828

A descrição relativa ao funcionamento do molde foi feita com base nos dados obtidos no ensaio de injeção:

Em primeiro lugar garantir que a haste de KO do sistema de extração se encontra com o limitador (cor verde) encostado à chapa 354 (cor azul) conforme se pode observar na figura 3.66.

Com o molde fechado (com uma força de fecho de 1100 KN), foi injetado material POM (com uma temperatura no bico de 210 °C) no molde (durante 1,5 segundos e com uma pressão de injeção de 125 bar). Após a fase de injeção, foi aplicada uma pressão de compactação de 20 bar (durante 6 segundos; ponto 1 na figura 3.66). Esta segunda pressão é importante para garantir o total enchimento/compactação das zonas moldantes do molde. A fase seguinte foi a de refrigeração com a água à temperatura ambiente tanto na cavidade como na bucha.

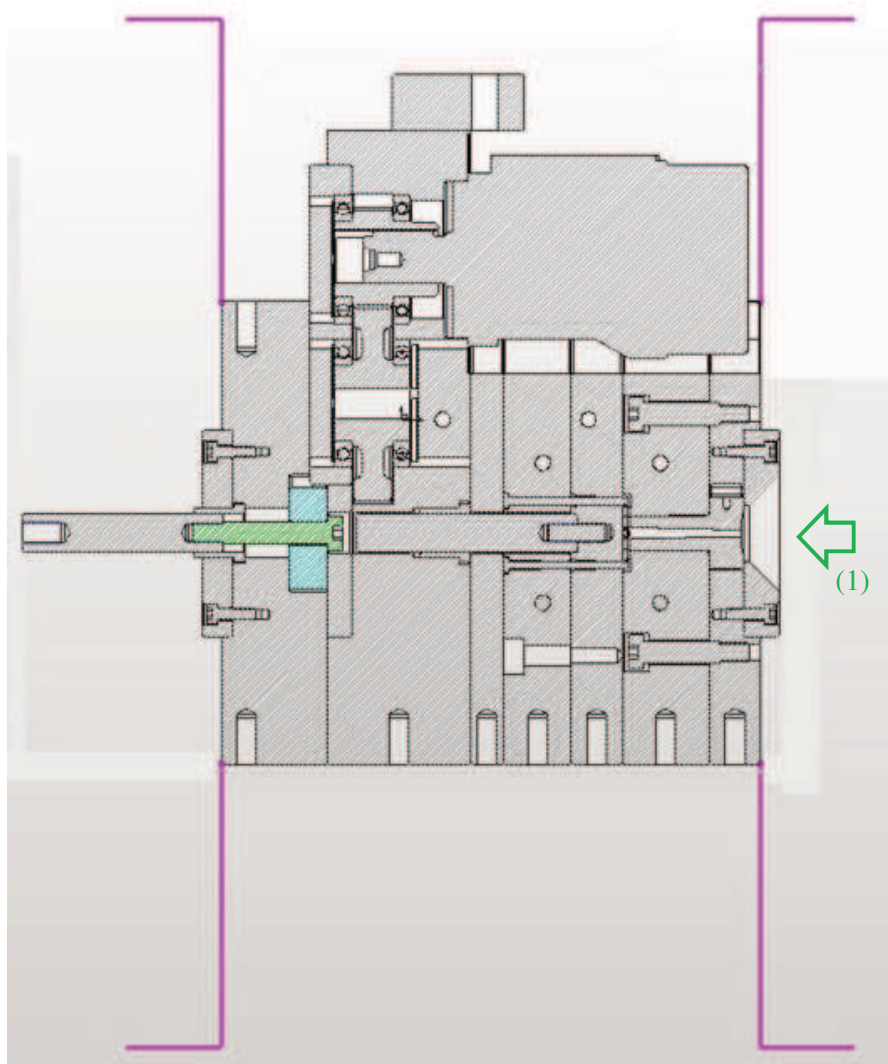


Figura 3.66 – Funcionamento do molde 828, ponto 1.

Após a fase de injeção e do arrefecimento da moldação é executada uma fase de pré-abertura no molde (2) que consiste em duas pré-aberturas, em que a maior (A) abre 55mm e a menor (B) abre 3mm (figura 3.67). A pré-abertura maior (A) tem como objetivo dar a folga necessária à realização do desenroscamento acionado pelo motor hidráulico (Blumec Ref: BMR-80-C25-A-G). A pré-abertura menor (B) tem como função desmoldar os postigos da cavidade 100A (figura 3.68).

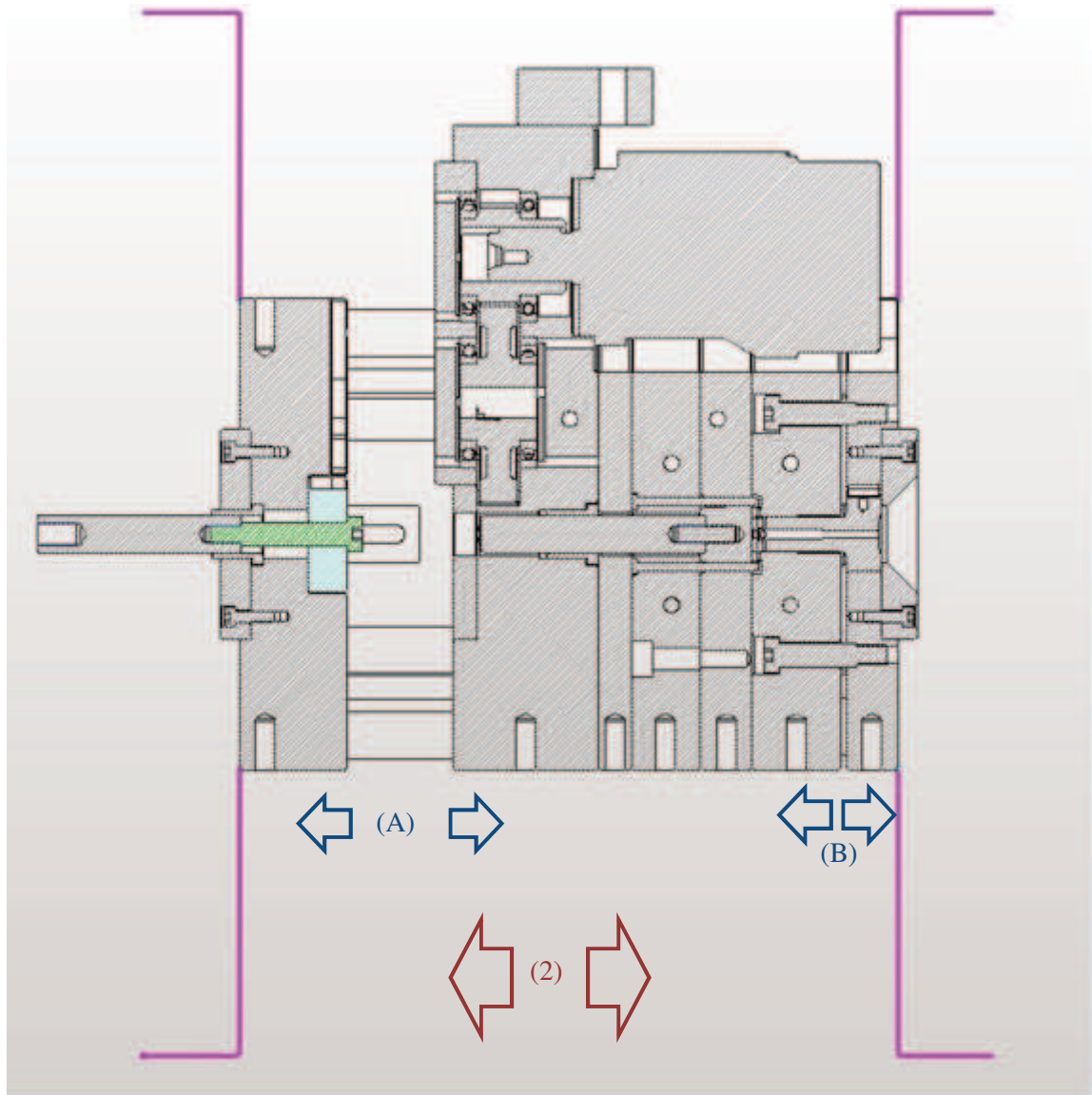


Figura 3.67 – Funcionamento do molde 828, ponto 2.

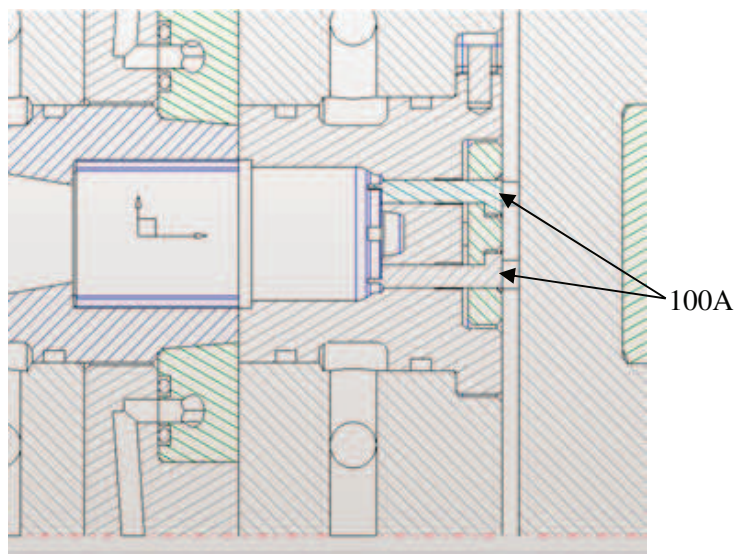


Figura 3.68 – Funcionamento do molde 828, pormenor peças 100A.

Em seguida à fase das pré-aberturas é executado o desenroscamento (ponto 3, figura 3.69). A rosca a ser moldada é uma rosca M14 (com passo de 2) com uma altura de 54.113 mm (esta altura da peça plástica é resultante da aplicação da contração de 2.10 %). O postigo da bucha (elemento rosca - 200A) terá de executar 27,5 rotações (calculado abaixo) até percorrer a totalidade dos 55 mm da pré-abertura.

Calculo das rotações necessárias:

Altura a percorrer = 55 mm

Passo = 2 mm

$$\frac{55}{2} = 27.5$$

Serão necessárias 27.5 rotações (voltas sobre si mesmo).

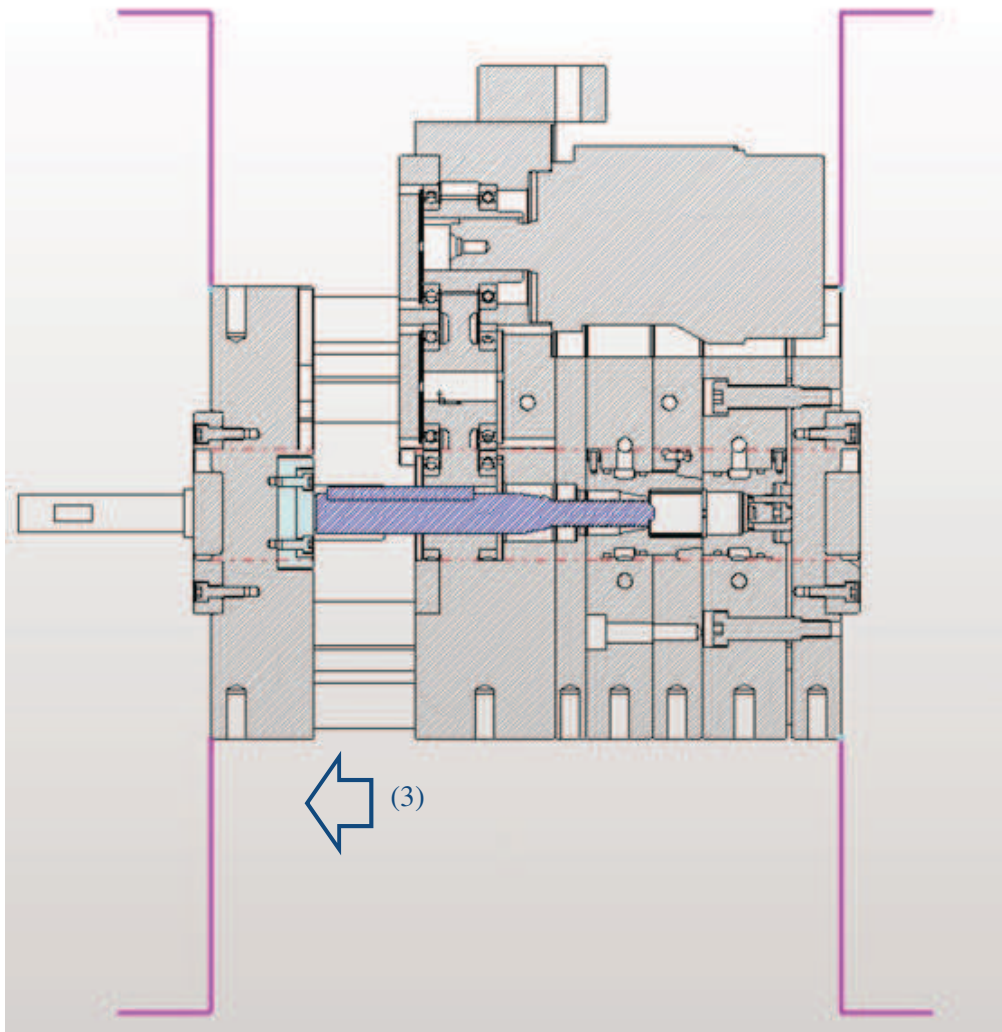


Figura 3.69 – Funcionamento do molde 828, ponto 3.

Após o desenroscamento é realizada a abertura do molde pelo plano de junta (ponto 4, figura 3.70).

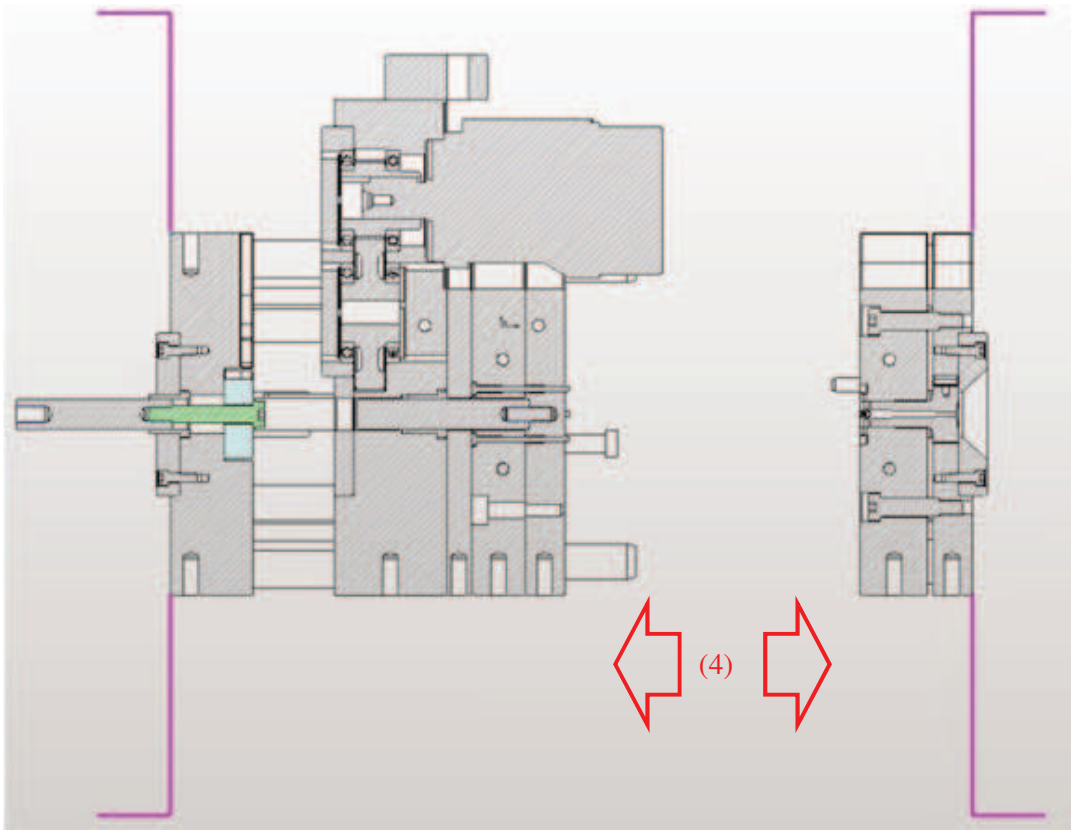


Figura 3.70 – Funcionamento do molde 828, ponto 4.

Nesta fase do ciclo de moldação, a haste de KO é acionada pela máquina, avançando 35 mm até encostar na chapa 354 “Chapa Extratora” (ponto 5, figura 3.70).

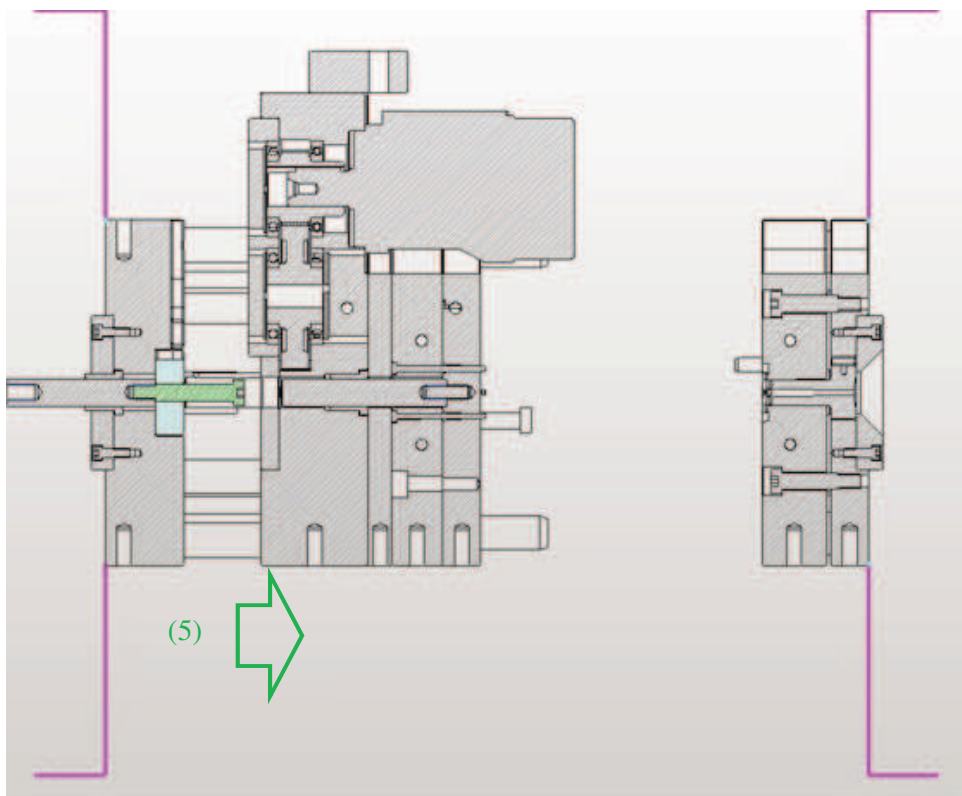


Figura 3.71 – Funcionamento do molde 828, ponto 5.

Em seguida, é acionado o sistema de extração, através do postigo da bucha (elemento rosca 200A) atuado pela ação da haste de KO sobre a chapa 354 “chapa extratora”, extraindo-se assim a peça plástica (ponto 6, figura 3.72) até existir contato com a haste da extração do gito (peça a cor salmão, figura 3.72).

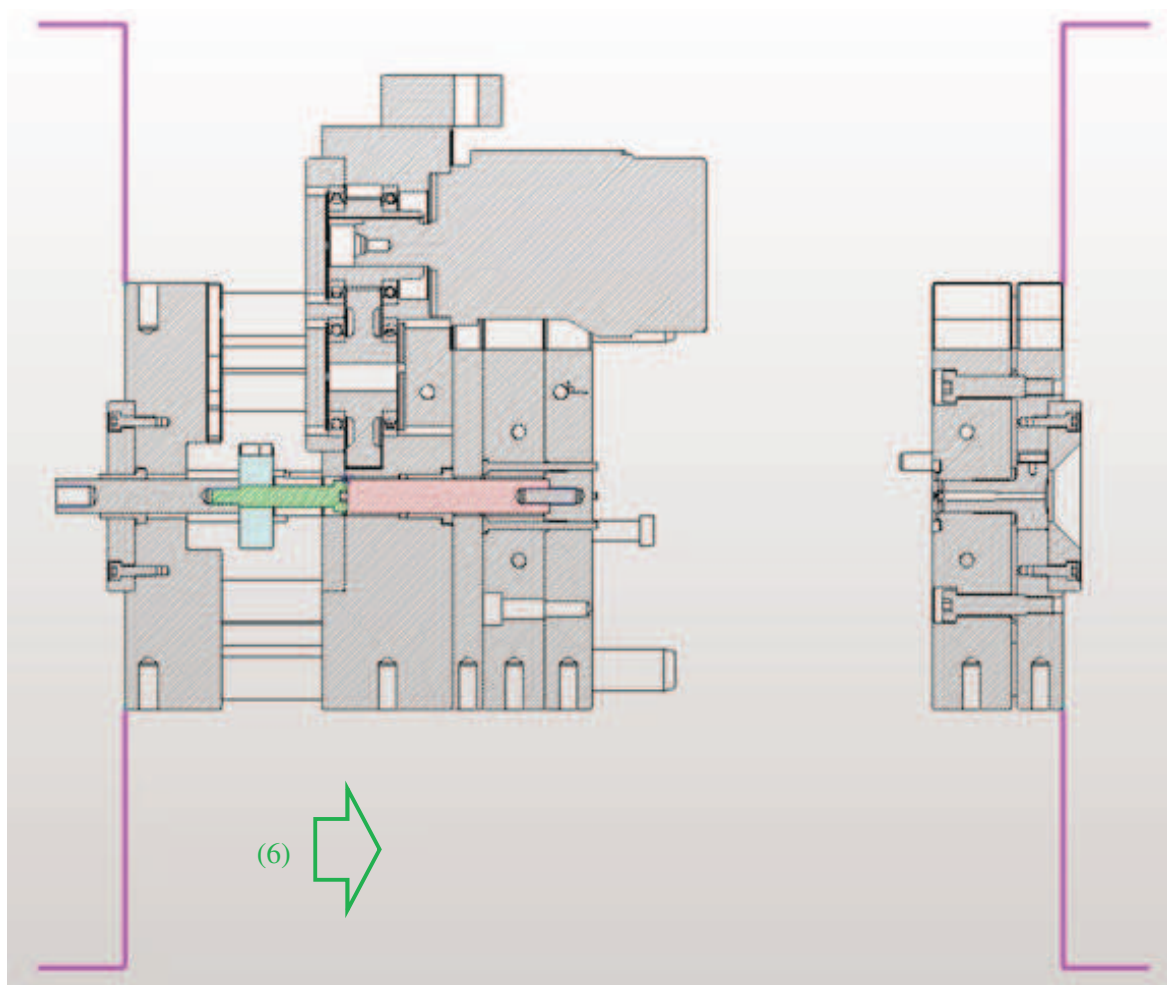


Figura 3.72 – Funcionamento do molde 828, ponto 6.

O avanço da extração acionado pelo KO da máquina de injeção percorre mais 5mm de extração libertando assim a peça plástica e o gito do molde de injeção (ponto7, figura 3.73).

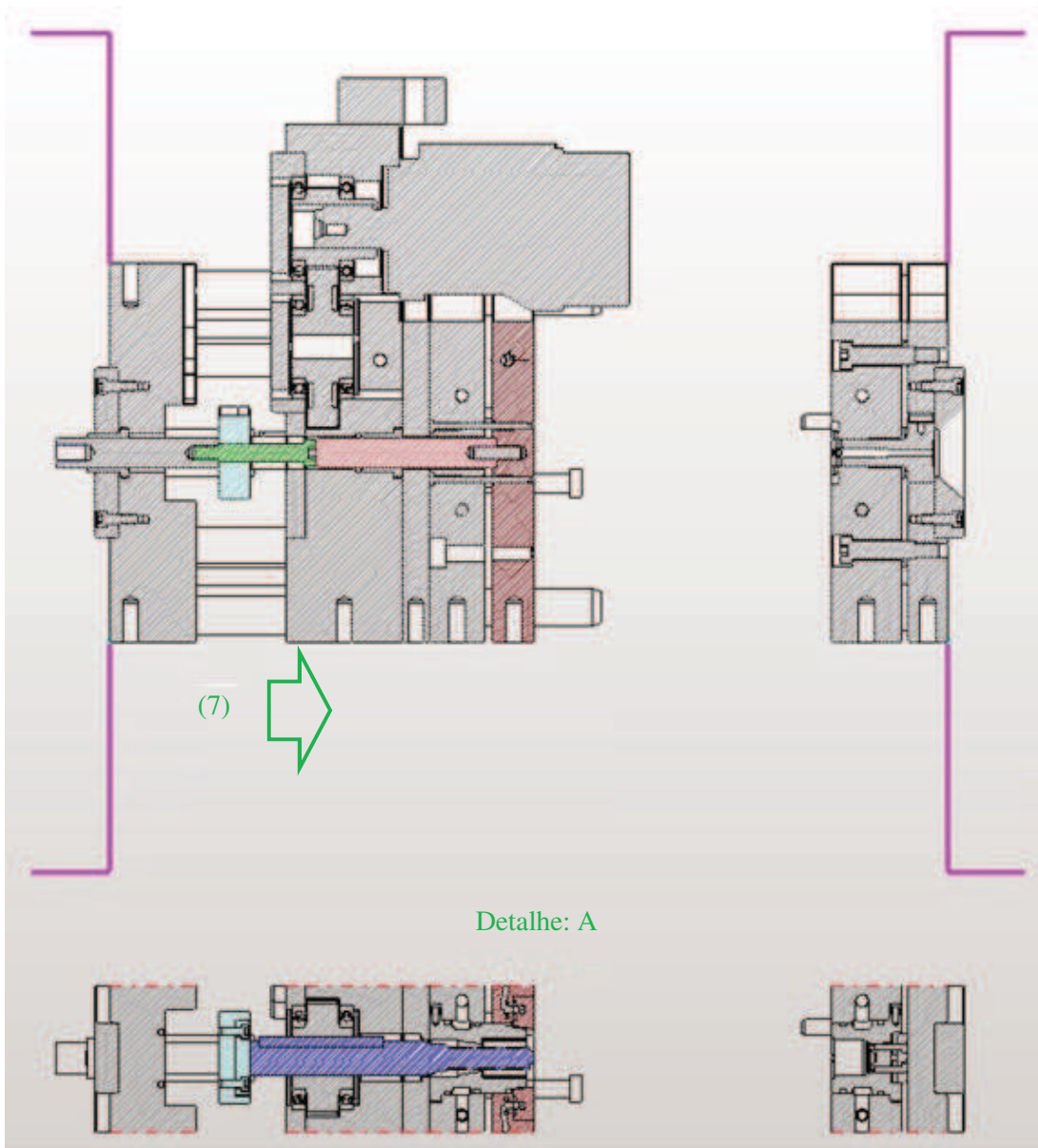


Figura 3.73 – Funcionamento do molde 828, ponto 7.

Finalmente a extração recua através do acionamento do KO e o molde fecha à linha de junta, finalizando assim, o ciclo de moldação que teve uma duração total de 60 segundos.

3.3. Fabrico dos moldes presentes nos casos de estudo e processos utilizados

Os moldes de desenroscamento automático fabricados, foram projetados tendo em atenção as necessidades do cliente, tempos de ciclo de moldação e as limitações de custos de fabrico. Naturalmente, no fabrico destes moldes teve-se em atenção a utilização dos equipamentos existentes na empresa e também a fabricação de componentes a serem adjudicados em empresas externas. Os componentes mecânicos fabricados com recurso aos equipamentos existentes nas nossas instalações, foram distribuídos da seguinte forma:

- Eletroerosão: os eléctrodos foram maquinados num centro de maquinação por fresagem CNC Lagun GVC1000 (figura 3.74 - (A)).

- Eletroerosões por penetração: foram executadas em duas máquinas distintas:

A primeira é uma Charmilles roboform 55 4-axis CNC (figura 3.74 - (B)) onde foram executadas todas as erosões que necessitavam de rotações em torno do eixo dos zz do eléctrodo para erodir;

A segunda é uma JSedm M707N (figura 3.74 - (C)) onde foram executadas todas as erosões em que os eléctrodos eram posicionados em paralelo com os eixos de trabalho dos xx e yy.

- Maquinação por fresagem: foram realizadas em duas Fresadoras CNC distintas:

A primeira Microcut Challenger MVC 1275 (figura 3.74 - (D)) onde foram executadas as maquinações das peças de maiores dimensões;

A segunda Bridgeport VMC 1000 (figura 3.74 - (E)) onde foram executados posições e peças de pequenas dimensões.

- Engenho de furar: as águas dos moldes foram maquinadas num engenho de furar MAS – V050 (figura 3.74 - (F)).

Na figura 3.75 pode observar-se peças referentes aos moldes, como exemplo de utilização dos vários equipamentos de corte por arranque de aparta: torno convencional/CNC (figura 3.75 - (A)), eletroerosão por penetração (figura 3.75 - (B)), centro de maquinação por fresagem (CNC) (figura 3.75 - (C)) e engenho de furar (figura 3.75 - (D)).

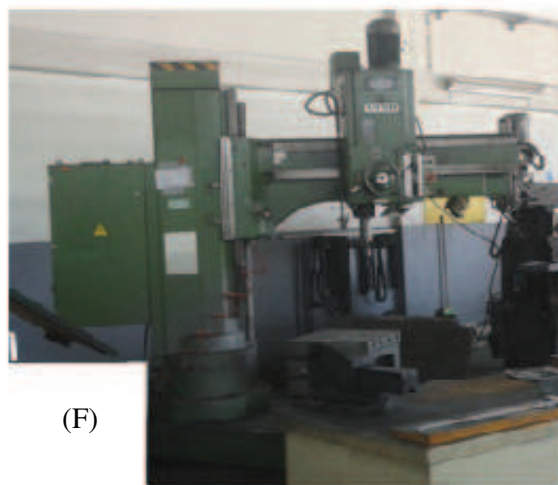
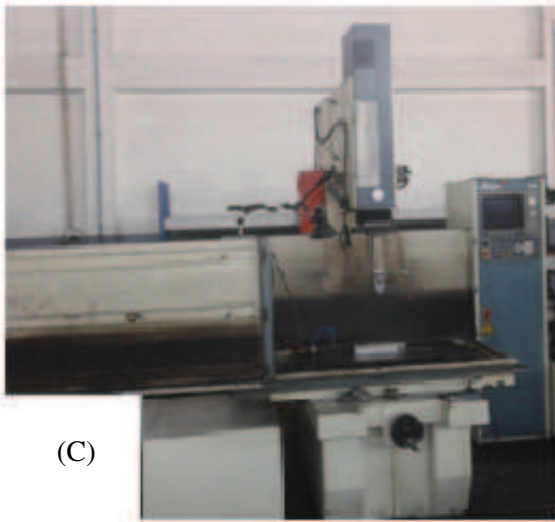
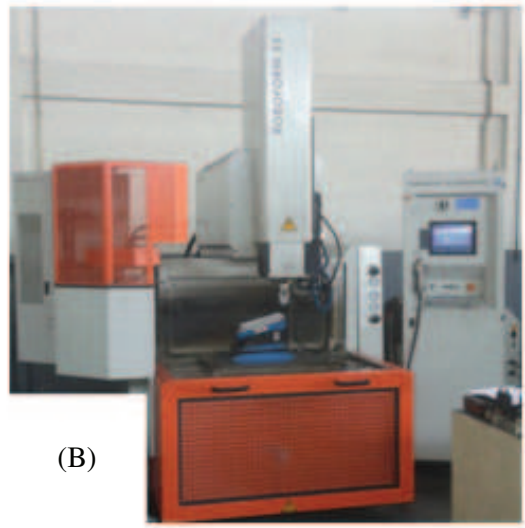


Figura 3.74 – Máquinas utilizadas no processo de fabrico do molde.



Figura 3.75 – Exemplos de peças executadas pelos variados processos de maquinação utilizados.

4. Materiais e procedimentos experimentais

Neste capítulo são apresentados os materiais e a metodologia utilizada na realização dos ensaios físicos, térmicos e mecânicos dos materiais processados por injeção. Os materiais processados por injeção, são materiais compósitos de matriz de POM com 0 e 10% de fibras curtas de vidro.

4.1. Materiais utilizados no fabrico das peças plásticas

O material indicado na tabela 4.1, foi o material considerado como possibilidade de ser utilizado no fabrico por injeção dos componentes projetados neste trabalho. Neste estudo, pretendeu-se também, utilizar materiais compósitos de matriz POM com fibras curtas de vidro por forma a ter-se melhores propriedades mecânicas para o tipo de aplicações em causa.

Tabela 4.1 - Propriedades do material polióxido de metileno (POM) [21].

Propriedades	Normas	Valor*	Unidade
<i>Físicas</i>			
Índice de fluidez (190°C/2.16 Kg)	ISO 1133	27	g/10 min
<i>Mecânicas</i>			
Módulo de Flexão (a 23°C)	ISO 178	2700	MPa
Resistência à tração	ISO 527-1/-2	60	MPa
Impacto Charpy com entalhe (a +23°C)	ISO 179/1eA	6	KJ/m ²
Deformação (no escoamento)	ISO 527-1/-2	10	%
<i>Térmicas</i>			
Temperatura de deflexão térmica HDT (1.80 MPa)	ISO 75-1/-2	106	°C
Temperatura Vicat (50 °C/h 50N)	ISO 306	152	°C

* Valores típicos; não podem ser considerados especificações.

4.2. Processamento por injeção dos provetes

Na injeção dos vários materiais (tabela 4.1) foi utilizada a máquina de injeção Euro Inj Série D-080 da Lien Yu, apresentada na figura 4.1, máquina disponível nos laboratórios do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.



Figura 4.1 – Máquina de injeção Euro Inj Série D-080 da Lien Yu.

4.3. Caracterização mecânica e física dos materiais injetados

Nesta seção pretende-se caracterizar os materiais a utilizar no fabrico das peças plásticas a serem injetadas, em moldes de canais frios com sistema de desenroscamento automático.

4.3.1. Geometria e dimensões dos provetes

Na figura 4.2 pode observar-se a geometria e as dimensões dos provetes obtidos por injeção, utilizados nos ensaios de caracterização mecânica em tração.



Figura 4.2 – Geometria dos provetes de tração (dimensões em mm).

4.3.2. Equipamentos utilizados nos ensaios realizados

Caracterização mecânica: ensaios de tração

A avaliação da resistência mecânica dos materiais é um fator importante na seleção de materiais para aplicações em engenharia. Os ensaios clássicos de tração foram realizados de acordo com a norma ASTM D638. Estes, foram realizados numa máquina electromecânica Zwick/Z100 à temperatura ambiente. Os ensaios foram realizados em controlo de deslocamento, com a velocidade do carregamento em todos os ensaios de 1 mm/min, registando-se a força, deslocamento e extensão dos provetes. Esta máquina possui uma consola de controlo e acoplamento a um computador,

permitindo, através de um *software* específico, o controlo e tratamento de todos os parâmetros (carga, velocidade, deslocamento); permite também, visualizar a evolução da curva carga – deslocamento ao longo do ensaio, bem como, o tratamento e armazenamento de resultados. Na figura 4.3 pode observar-se o equipamento utilizado nestes ensaios.

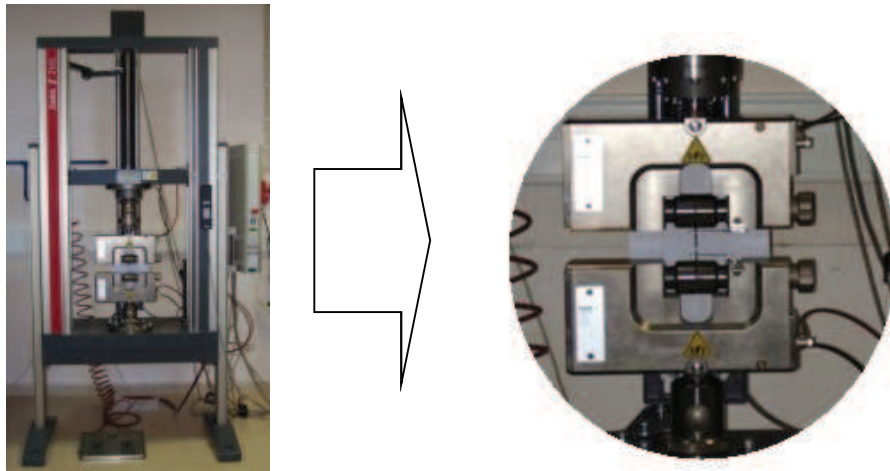


Figura 4.3 - Equipamento de ensaio de tração: à esquerda) máquina; à direita) pormenor do sistema de amarras.

DMA (*Dynamic Mechanical Analysis*)

A *Dynamic Mechanical Analysis* (DMA) é uma técnica onde é medido o comportamento mecânico de um material, quando sujeito a um programa de temperatura controlada e sob o efeito de uma força mecânica que se altera com o tempo. Geralmente uma análise de DMA depende do módulo de operação, como se pode verificar pela Figura 4.4.

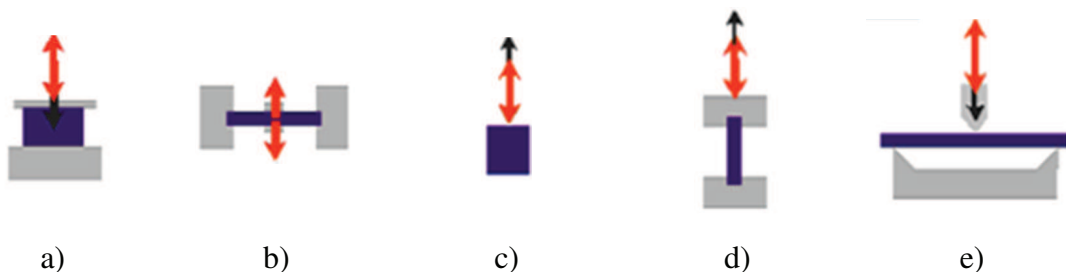


Figura 4.4 – Módulos de operação de um conjunto DMA: a) compressão; b) fadiga; c) oscilação com carga estática; d) tração e e) flexão em três pontos.

Com este tipo de análise pode-se obter a temperatura de transição vítrea (T_g). A temperatura de transição vítrea é a propriedade do material onde se pode obter a temperatura da passagem do estado vítreo para um estado “maleável”. A transição vítrea é um importante parâmetro nas áreas de processamento, pesquisa e desenvolvimento de materiais, devido à grande importância com relação às mudanças das propriedades relacionadas a esses materiais, onde se pode estudar o comportamento em função da temperatura.

Os ensaios realizados foram de flexão em 3 pontos com variação de temperaturas entre os 20°C e os 165°C. A norma alemã DIN53457 é referência neste tipo de análise térmica.

O equipamento utilizado nos ensaios foi um DMA-SMART (figura 4.5).

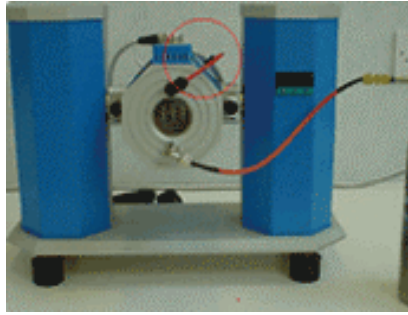


Figura 4.5 – Equipamento DMA usado nos estudos.

Os provetes ensaiados têm dimensões de 42 mm de comprimento, 4 mm de largura e altura 4mm.

Determinação de densidades

O objetivo destes ensaios é determinar as densidades experimentais dos materiais processados. No cálculo das densidades dos materiais, foi utilizada uma balança eletrônica de precisão (Figura 4.6) equipada com uma balança que permite calcular as densidades pelo método descrito abaixo. Não é obrigatório possuir nenhum provete específico, bastando para tal, uma pequena amostra do material.



Figura 4.6 – Balança eletrônica de precisão usada na determinação das densidades.

O método usado para a determinação das densidades foi o método de flutuação – Princípio de Arquimedes.

- 1) Determinação da massa do material (m_c);
- 2) Determinação da massa aparente (m_a);
- 3) Cálculo da temperatura da água (T_{H_2O});
- 4) Cálculo da densidade da amostra pela fórmula

$$\rho = \left(\frac{m_c}{m_c - m_a} \right) \rho_{H_2O}$$

A densidade da água (ρ_{H_2O}) deve ter em conta a temperatura da água medida no ponto 3.

5. Análise e discussão de resultados

5.1. Projeto e fabrico de moldes

Foram projetados e fabricados dois moldes de injeção de canais frios de desenroscamento automático. Os moldes foram ensaiados e aprovados e estão neste momento no cliente em produção. As peças plásticas produzidas em POM em material compósito cumprem com o objetivo inicial pretendido.

5.2. Materiais utilizados no fabrico das peças plásticas

Densidade

Neste trabalho foram avaliadas as densidades dos seguintes materiais processados por injeção: POM virgem, POM com 10% de fibras curtas (FC) de vidro. Os resultados experimentais e teóricos (Lei das misturas; $\rho_{\text{vidro}}=2,4 \text{ g/cm}^3$ e $\rho_{\text{POM}}=1,41 \text{ g/cm}^3$) são apresentados na tabela 5.1. São, também, apresentadas as diferenças entre os valores medidos e os teóricos. As diferenças observadas são pouco significativas e podem ser explicadas com o processo de mistura e de injeção.

Tabela 5.1 - Valores de densidade medida e valores de densidade obtidos pela Lei das misturas.

Material	Densidade [g/cm ³]		Densidade [g/cm ³] (Lei das misturas)	Diferença relativa [%]
	Média	Desvio padrão		
POM virgem	1,405	0,001	1,410	0,331
POM10% FC	1,453	0,001	1,509	3,711

Na figura 5.1 são apresentados os valores médios de densidade e os respetivos desvios padrão, obtidos nos ensaios de determinação de densidade. Nestes ensaios foram utilizados cinco amostras por condição.

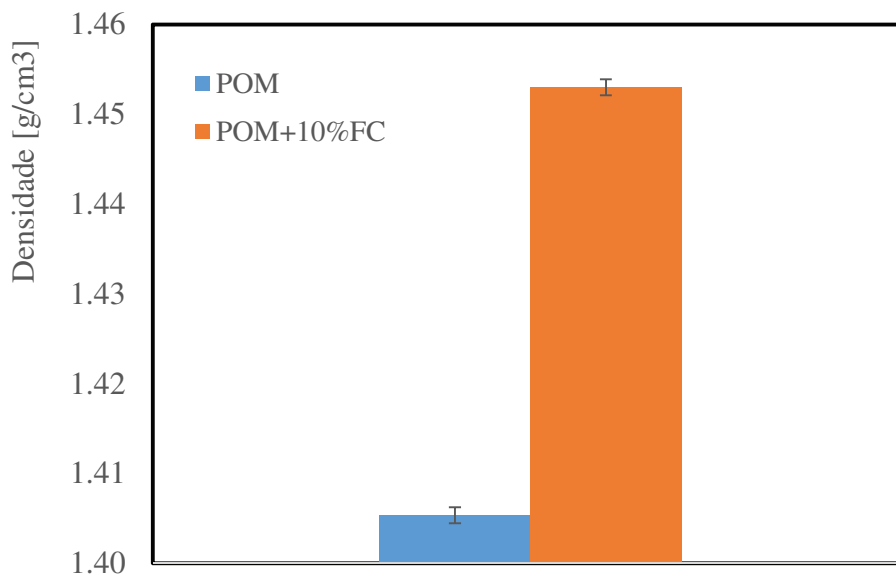


Figura 5.1 – Valores de densidade experimental obtidos com os materiais e compósitos com fibras curtas de vidro processados por injeção.

Propriedades mecânicas

Os resultados das propriedades mecânicas, módulo de elasticidade à tração, $E_{\text{tração}}$ e tensão máxima à tração, $\sigma_{\text{máx.tração}}$, são apresentados em seguida para os materiais ensaiados: POM virgem, POM com 10% de fibras curtas de vidro (POM10% FC).

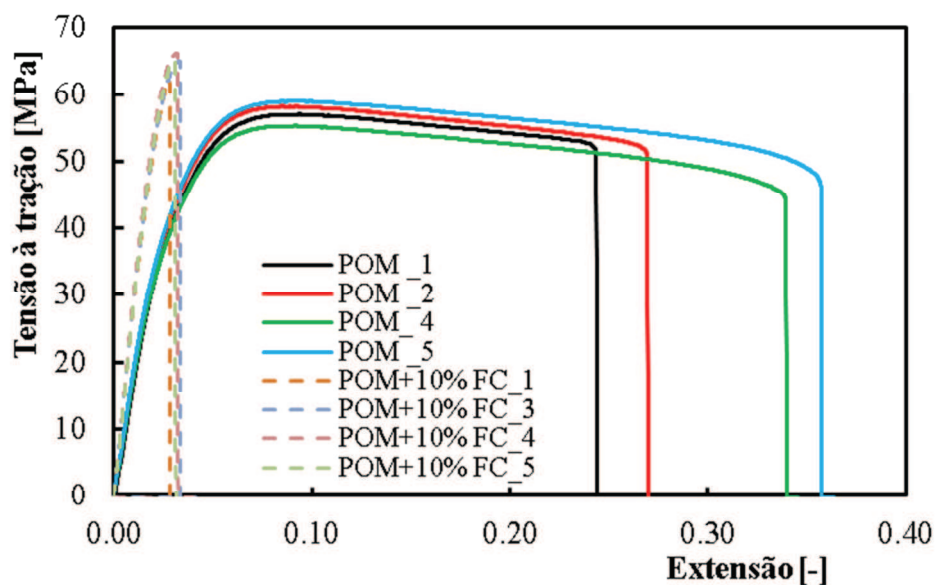


Figura 5.2 - Curvas típicas de tensão máxima à tração *versus* extensão, para POM virgem, POM10% FC.

Na tabela 5.2 são apresentados todos os valores do módulo de elasticidade à tração ($E_{\text{tração}}$) e tensão máxima à tração ($\sigma_{\text{máx.tração}}$) obtidos para os materiais processados por injeção.

Tabela 5.2 - Resultados relativos às propriedades mecânicas à tração do POM virgem, POM 10% FC, obtidos nos ensaios mecânicos.

Material/referência	$E_{\text{tração}}$ [MPa] / R^2		$\sigma_{\text{máx. tração}}$ [MPa]
<i>POM virgem_1</i>	1725,6	0,9988	57,01
<i>POM virgem_2</i>	1755,5	0,9986	58,16
<i>POM virgem_4</i>	1702,5	0,9986	55,28
<i>POM virgem_5</i>	1818,0	0,9986	58,97
<i>POM +10%FC_1</i>	2780,3	0,9984	62,31
<i>POM +10%FC_3</i>	2689,5	0,9933	64,88
<i>POM +10%FC_4</i>	2794,4	0,9965	66,08
<i>POM +10%FC_5</i>	2818,7	0,9987	65,18

Na tabela 5.3 são apresentados os valores médios e desvios padrão de módulo de elasticidade à tração ($E_{\text{tração}}$) e de tensão máxima à tração ($\sigma_{\text{máx.tração}}$) obtidos para os materiais processados por injeção.

Tabela 5.3 – Valores médios e desvios padrão relativos às propriedades mecânicas à tração do POM virgem e POM10%FC.

Material	$E_{\text{tração}}$ [MPa]		$\sigma_{\text{máx. tração}}$ [MPa]	
	Média	DP	Média	DP
<i>POM virgem</i>	1750,4	50,0	57,4	1,6
<i>POM10%FC</i>	2770,7	56,4	64,6	1,6

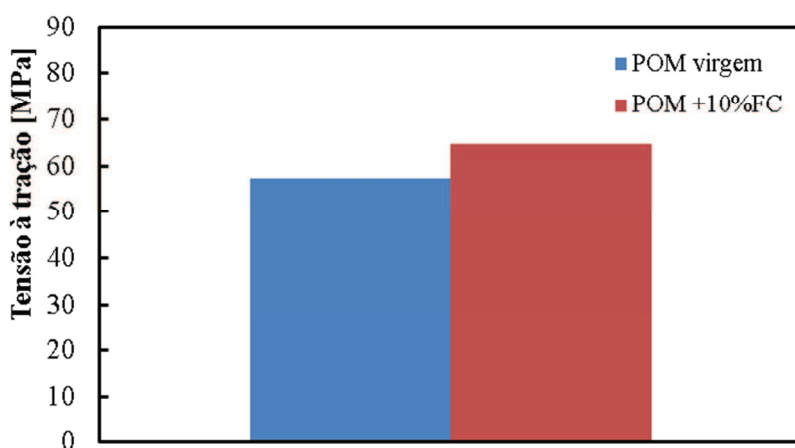


Figura 5.3 - Resultados relativos à tensão em tração do POM virgem e POM10%FC obtidos nos ensaios mecânicos.

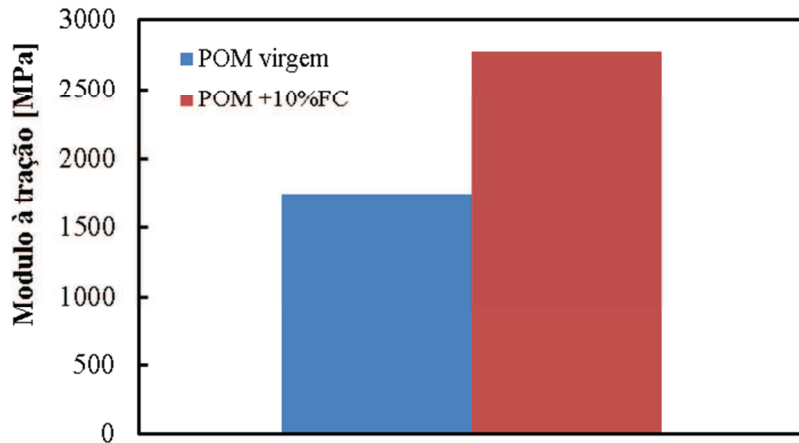


Figura 5.4 - Resultados relativos ao módulo em tração do POM virgem e POM10%FC obtidos nos ensaios mecânicos.

A partir da análise dos resultados indicados nas figuras 5.2, 5.3, 5.4 e tabelas 5.2, 5.3 é possível observar o aumento da resistência mecânica e do módulo de elasticidade com o aumento da fração em peso das fibras curtas de vidro

Efeito da temperatura no módulo de elasticidade à flexão, $E_{flexão}$

A partir da análise DMA realizada é possível determinar as curvas de variação do módulo com a temperatura. Na figura 5.5 são apresentadas as curvas de variação do módulo de elasticidade à flexão ($E_{flexão}$) com a variação da temperatura para o material POM virgem e para os compósitos processados com 10% de fração em peso de fibras curtas de vidro. Pode observar-se que as curvas de variação do módulo com o aumento da temperatura diminuem e que os valores de rigidez estão de acordo com os valores obtidos nos ensaios estáticos à tração.

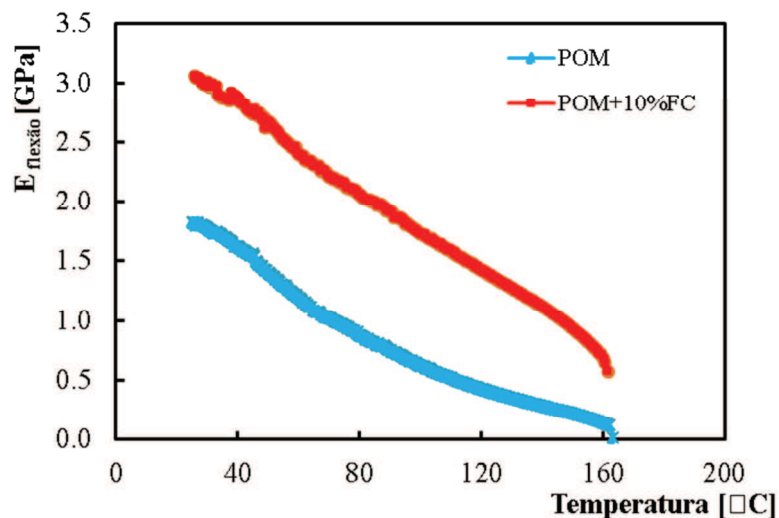


Figura 5.5 - Curvas de variação do módulo de elasticidade à flexão ($E_{flexão}$) *versus* temperatura para os compósitos de matriz POM com fibras curtas.

6. Conclusões e trabalhos futuros

Moldes de desenroscamento automático

Foram projetados e fabricados dois moldes de injeção com sistema de desenroscamento automático para a produção de peças para o sistema mecânico de uma cama hospitalar articulada. No desenvolvimento dos moldes relativos às duas peças, foram realizados os seguintes estudos: estudo do sistema mecânico dos moldes; sistema de extração das peças plásticas; sistema de refrigeração dos moldes; sistema de enchimento das peças plásticas; sistema de escape de gases.

Seleção de materiais para o fabrico das duas peças plásticas.

Com base no pedido do cliente, que pretendia processar as duas peças em POM com e sem fibras curtas, foram processados por injeção compósitos de matriz de POM com 10% de frações em peso de fibras de vidro, por forma a poder seleccionar o material mais adequado para o fabrico das peças plásticas. Assim, foram realizados estudos de caracterização física e mecânica.

Consequentemente, foram realizados ensaios de tração para obter as curvas de tensão máxima à tração *versus* extensão e os valores de módulo de elasticidade à tração dos diferentes materiais processados por injeção.

Com o aumento da fração em peso de fibras de vidro observou-se, como seria de esperar, o aumento do valor das propriedades mecânicas: tanto o valor da tensão máxima à tração como o valor do módulo de elasticidade à tração aumentam com o aumento da fração em peso das fibras curtas de vidro (10 %). Com base nos ensaios de densidade foi possível observar um natural aumento da densidade com o aumento da fração em peso das fibras curtas de vidro e que os valores obtidos apresentaram pequenas diferenças relativamente à lei das misturas. As diferenças observadas são pouco significativas e podem ser explicadas com o processo de mistura e de injeção.

Nos ensaios DMA, e de acordo com o que seria expectável, foi observada a diminuição dos valores de rigidez com o aumento de temperatura, para os diferentes materiais processados (POM e compósitos com 10 % de fibras curtas). Com o aumento da temperatura, as diferenças de rigidez entre os vários materiais processados mantiveram-se praticamente constantes e que os valores de rigidez estão de acordo com os valores obtidos nos ensaios estáticos à tração.

Trabalhos futuros

Como ponto de partida para trabalhos futuros, na área de processamento de materiais compósitos de matriz termoplástica e reforço de fibras, podem ainda ser desenvolvidos outros estudos, tais como:

- Ensaio estruturais das peças plásticas processadas;
- Ensaio de fadiga das peças plásticas;
- Análise de microscopia eletrónica de varrimento (MEV), para estudar os mecanismos de rotura;
- Investigar formas de melhorar a adesão entre as fibras e a matriz;
- Estudar o efeito da absorção de água no comportamento mecânico das peças plásticas.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Bibliografia (referenciada e consultada)

- [1]. http://www.chemtrend.com/pt-br/por_aplicacao/processo_termoplastico (10-06-2015 às 17:48).
- [2]. <http://www.dakumar.com/High-precision-injection-machine.html> (22-11-2015 às 18:30).
- [3]. Centimfe, (2003) Manual do projetista para moldes de injeção de plástico, Tipificação dos moldes, Volume 3.
- [4]. A.B.Glanvill, E.N.Denton (1980) Princípios Básicos e Projetos Moldes de Injeção.
- [5]. Centimfe, (2003) Manual do projetista para moldes de injeção de plástico, Sistema de alimentação e escapes de gases, Volume 6.
- [6]. <http://help.autodesk.com/view/MFAA/2014/PTG/?guid=GUID-4776EB36-456F-4A07-BE26-22B2FADAF0EC> (27-06-2015 às 15:50).
- [7]. <http://help.autodesk.com/view/MFAA/2014/PTG/?guid=GUID-A0A78735-DD8A-4135-8D24-1089461E921E> (27-06-2015 às 15:50).
- [8]. Centimfe, (2003) Manual do projetista para moldes de injeção de plástico, Sistema de controlo de temperatura, Volume 7.
- [9]. Centimfe, (2003) Manual do projetista para moldes de injeção de plástico, Sistema de extração, Volume 8.
- [10]. SACHELLI, Carlos Maurício. (2007) Sistematização do processo de desenvolvimento Integrado de Moldes de Injeção de Termoplásticos, Universidade Federal de Santa Catarina.
- [11]. <http://www.yudo.com/EN/business/productDetail.do?idx=379> (09-11-2015 às 20:42).
- [12]. <http://www.moldhotrunnersolutions.com/stack.html> (09-11-2015 às 19:49).
- [13]. <http://www.cn-mold.com/index.asp?u=10> (09-11-2015 às 20:23).
- [14]. L.Sors, L.Bardócz, I. Radnóti (2002) Plásticos, moldes e Matrizes, Hemus S.A.
- [15]. <http://www.moldesinjecao plasticos.com.br/multicomponentes.asp> (17-11-2015 às 23:47).
- [16]. Centimfe, (2003) Manual do projetista para moldes de injeção de plástico, Moldação por Injeção e Materiais Plásticos, Volume 2.
- [17]. Pouzada, António Sérgio; Bernardo, Carlos Alves. (1983) Introdução à Engenharia de Polímeros, Universidade do Minho.
- [18]. Davim, J.Paulo. (1998) Tecnologia dos Materiais Plásticos, Universidade Aberta.

- [19]. <http://www.yourmould.com/pdfs/aco.pdf> (01-02-2015 às 01:21).
- [20]. <http://www.industrystock.es/uploads/files/keyword/731022f8ff866412a0ad92a68a4e3802.pdf> (01-02-2015 às 00:44).
- [21]. <http://www.materialdatacenter.com/ms/pt/tradenames/Polyform/Polykemi+AB/POLYform+POM+C+M270/79cdc99a/1909> (08-03-2016 às 22:20)
- [22]. Rolamentos FAG LTDA, Rolamentos FAG, Catálogo WL 41 520/3 PB, 1999
- [23]. Lyman, D; Rowland, S. - Polymers: biomaterials and medical applications. Kroschwitz, J.(eds), John Wiley and Sons, (1989).
- [24]. Fakirov, S. and D. Bhattacharyya, Handbook of Engineering Biopolymers: Homopolymers, Blends and Composites. 2007: Hanser.
- [25]. Biron, M., Thermosets and Composites: Technical Information for Plastics Users: Technical Information for Plastics Users. 2003: Elsevier Science.
- [26]. Bank, L.C., Composites for Construction: Structural Design with FRP Materials. 2006: Wiley.
- [27]. <http://www.poliversal.pt/pt/produtos/os-plasticos/pom-121.html> (25-01-2015 às 12:34).
- [28]. Rosato,D.;Rosato,V.;Dominick,V. (1995) Injection moulding handbook. New York: Chapman & Hall
- [29]. A. J. Pontes, University of Minho, (2002), Shrinkage and Ejection forces in injection Moulded Products
- [30]. Cefamol, Associação Nacional da Indústria de Moldes, A Indústria Portuguesa de Moldes 2012
- [31]. Engº. Ind. Francesco Provenza (1976) Moldes para plásticos, Editor F. Provenza.
- [32]. Silva, Lucas F. M. (2012) Comportamento Mecânico dos Materiais, Publíndustria.
- [33]. Michaeli, Greif, Kaufmann, Vossebürger (2005) “Tecnologia dos Plásticos”, Editora Edgard Blücher Ltda.
- [34]. K. G. Budinski, M. K. Budinski (2005) Engineering Materials Properties and Selection, Pearson Education International.
- [35]. L. F. M. Silva, A. G. Magalhães, M. F. S. F. Moura (2007) Juntas adesivas Estruturais, Publíndústria.
- [36]. Shackelford, James F. (2005) Introduction to Materials Science for Engineers, sixth edition, Pearson Education International.

Anexos

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Anexo 1 - Especificações rolamento referência 81113-TV da Ina-FAG



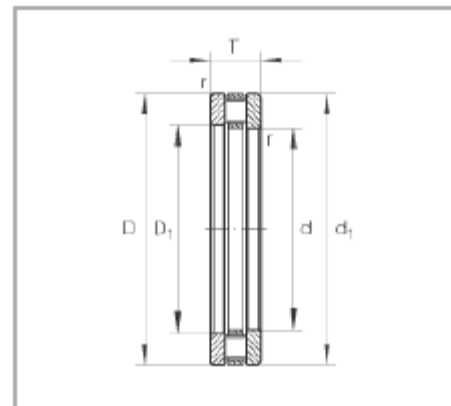
Axial cylindrical roller bearings

81113-TV (Series 811)

single direction, comprising K811, GS, WS

The datasheet is only an overview of dimensions and basic load ratings of the selected product. Please always observe all the guidelines in these overview pages. Further information is given on many products under the menu item "Description". You can also order comprehensive information via the Catalogue ordering system (<http://www.ina.de/content/ina.de/en/medialibek/library/library.jsp>) or by telephone.

d	65 mm
D	90 mm
T	18 mm
D ₁	67 mm
d ₁	60 mm
mm	1 mm
m	0,31 kg Mass
C _d	107000 N Basic dynamic load rating, axial
C _{0r}	340000 N Basic static load rating, axial
C _u	34000 N Fatigue limit load
n ₀	3700 1/min Limiting speed
n _B	1250 1/min Reference speed
	K81113-TV Allocated axial cylindrical roller and cage assembly
	GS81113 Allocated housing locating washer
	WS81113 Allocated shaft locating washer
	LS6590 Allocated bearing washer



Lubrication data:

Permitted lubricants	Oil or grease	
Type of lubrication	grease	
Type of grease	GA01	
Viscosity at 40°C	ny 40	102.0 mm ² /s
Viscosity at 100°C	ny 100	12.9 mm ² /s
Contamination	normal cleanliness	

Anexo 2a – Cálculos relativos à escolha do rolamento 81113-TV da Ina-FAG

O tempo de abertura do molde que não foi especificado nos dados do teste, foi deduzido da seguinte forma, através dos dados fornecidos:

- Tempo total de ciclo = 36 s.
- Tempo de arrefecimento da moldação = 25 s.
- 1º Tempo de injeção = 0.65 s.
- 2º Tempo de injeção = 7 s.

O tempo que sobra para a abertura, fecho do molde ao plano de junta e acionamento do sistema de extração do molde é:

$$36 - 25 - 0.65 - 7 = 3.35 \text{ s.}$$

Assim, ficamos com aproximadamente 1 s para cada um dos 3 passos do ciclo de moldação (sendo este o valor a ser considerado).

As rotações necessárias à desmoldação dos dentes da peça plástica foram obtidas através do seguinte cálculo:

- Altura a percorrer para desmoldar os dentes (medido no sentido de desmoldação do molde) = 10.21 mm.
- O passo do dente da peça plástica = 23.91 mm

$$\frac{10.21}{23.91} = 0.427 \text{ (rotação necessária para desmoldar os dentes da peça plástica).}$$

O tempo necessário para esta rotação é:

- Tempo de abertura total do molde ao plano de junta = 1 s.
- Distância percorrida na abertura total do molde ao plano de junta = 100 mm.
- Altura a percorrer para desmoldar os dentes (medido no sentido de desmoldação do molde) = 10.21 mm.

Desta forma, aplicando a regra de três simples, obtém-se o tempo necessário para desmoldar os dentes da peça plástica (X).

$$\begin{array}{l} 100 \text{ — } 1 \\ 10.21 \text{ — } X \end{array}$$

$$X = \frac{10.21 \times 1}{100}$$

$$X = 0.1021 \text{ s, passando a minutos temos que } X = 1.7 \times 10^{-3} \text{ min.}$$

De modo a obtermos o valor de rotações por minuto, do processo de desmoldação dos dentes da peça plástica, simplesmente tem de se dividir a rotação necessária para desmoldar os dentes da peça plástica, pelo tempo necessário para desmoldar os dentes da peça plástica em minutos.

Assim:

$$\frac{0.427}{1.7 \times 10^{-3}} = 251.177 \text{ rpm.}$$

Anexo 2b - Verificação da viabilidade deste rolamento com base no catálogo WL 41 520/3 PB da Ina-FAG

Fator de esforço estático

A força de abertura que a máquina de injeção aplica ao molde é relativamente baixa, 70 KN. Como tal, efetuou-se o cálculo do fator de esforço estático para o rolamento.

$$f_s = \frac{C_0}{P_0}$$

Onde:

f_s = fator de esforços estáticos

C_0 = capacidade de carga estática [KN]

P_0 = Carga estática Equivalente [KN]

Sendo que, o C_0 do rolamento 81113-TV é de 340 KN e o P_0 aplicado considerou-se a força de abertura aplicada ao molde de 70 KN.

Desta forma:

$$f_s = \frac{340}{70}$$

$$f_s = 4.86$$

Como este valor é superior ao máximo tabelado (2.5), segundo o catálogo WL 41 520/3 PB da FAG o rolamento encontra-se nos valores para exigências elevadas.

Cálculo ampliado da duração de vida

Segundo a DIN ISO 281 a duração atingível (modificada) da vida é obtida pela fórmula:

$$L_{na} = a_1 \times a_2 \times a_3 \times L \text{ [} 10^6 \text{ rotações]}$$

Onde:

L_{na} = duração atingível (modificada) da vida [10^6 rotações].

a_1 = fator para a probabilidade de falha.

a_2 = fator para o material.

a_3 = fator para as condições em serviço.

L = duração da vida nominal [10^6 rotações]

A FAG reuniu os fatores a_2 e a_3 mencionados na DIN ISO 281 no fator a_{23} (fator para o material e as condições de serviço)

Sendo este calculado da seguinte forma:

$$a_{23} = a_2 \times a_3$$

A nível do catálogo este pode ser calculado retirando os valores a_{23II} e s dos respetivos diagramas.

Calculando-se o valor do fator a_{23} da seguinte forma:

$$a_{23} = a_{23II} \times s$$

Onde:

a_{23} = fator para o material e as condições de serviço.

a_{23II} = valor básico.

s = fator de limpeza.

Procedeu-se então ao cálculo ampliado da duração de vida do rolamento 81113-TV.

Valor a_1 :

Fiabilidade de 95% = $a_1 = 0.62$ (foi utilizada uma probabilidade de falha na ordem dos 5%)

Valor a_{23} :

Para este passo, precisou-se de calcular os valores de a_{23II} e s :

Para chegar ao valor do a_{23II} através do diagrama presente no catálogo da FAG foi necessário:

Cálculo relação de viscosidade:

$$\kappa = v / v_1$$

Onde:

κ = relação de viscosidade.

v = viscosidade de serviço.

v_1 = viscosidade de referência

Sendo os valores de v e v_1 retirados a partir de diagramas existentes no catálogo da FAG

Valor v_1 :

Sendo retirado do diagrama presente no catálogo da FAG a partir dos valores de n (numero de rotações em serviço) e d_m (diâmetro médio).

Valor d_m :

D (diâmetro externo do rolamento) = $\varnothing 90$ mm

d (diâmetro interno do rolamento) = $\varnothing 65$ mm

Assim obteu-se o valor para o d_m de $\varnothing 77.5$ mm

Valor n :

O número de rotações em serviço pode ser obtido da seguinte forma:

O molde foi concebido para executar 10000 peças plásticas por ano durante 8 anos, através de cálculos executados anteriormente retira-se que a rotação necessária para desmoldar os dentes da peça plástica é 0.427.

Desta forma pode-se dizer que:

$$n = 10000 \times 8 \times 0.427$$

$$n = 34160 \text{ [rotações]}$$

Com recurso a estes resultados e recorrendo ao diagrama do catálogo da FAG

O valor de v_1 é aproximadamente $3.5 \text{ mm}^2/\text{s}$

Valor v :

Sendo retirado do diagrama do catálogo da FAG a partir dos valores de t (temperatura de serviço) e a viscosidade a $40 \text{ }^\circ\text{C}$.

Onde a temperatura de serviço é de $75 \text{ }^\circ\text{C}$ (foi tida em consideração a temperatura aplicada ao lado da cavidade do molde).

O tipo de lubrificação utilizado para o cálculo foi “graxa” que a $40 \text{ }^\circ\text{C}$ (tipo GA01) tem viscosidade = $102 \text{ mm}^2/\text{s}$.

Com recurso a estes resultados e recorrendo ao diagrama do catálogo da FAG

O valor de v é aproximadamente $22 \text{ mm}^2/\text{s}$.

$$\kappa = \frac{22}{3.5} = 6.286$$

Cálculo do valor de K

$$K = K_1 + K_2$$

Onde o valor de K_1 é retirado do diagrama presente no catálogo da FAG a partir do valor de f_s^* e da curva correspondente ao tipo de rolamento pretendido (a curva a ter em conta é a “c” para rolamento axial de rolos).

Cálculo do valor de f_s^*

$$f_s^* = \frac{C_0}{P_0^*}$$

Onde:

f_s^* = fator de esforços estáticos

C_0 = capacidade de carga estática [KN]

P_0^* = Carga Equivalente rolamento [KN]

Sendo que, o C_0 do rolamento 81113-TV é de 340 KN e o P_0^* aplicado considerou-se a força de abertura aplicada ao molde de 70 KN.

Desta forma:

$$f_s^* = \frac{340}{70} = 4.86$$

Valor K_1 aproximadamente 2.3

O valor de K_2 é retirado do diagrama presente no catálogo da FAG a partir do valor de f_s^* e do κ .

Valor K_2 aproximadamente 0

Assim sendo:

$$K = 2.3 + 0 = 2.3$$

Pode-se então retirar o valor de a_{23II} do diagrama presente no catálogo da FAG a partir dos valores de K e κ .

Verificou-se que os valores calculados encontram-se no campo II (limpeza normal) e o valor de a_{23II} é aproximadamente 3.

Deste modo e estando no campo II, o valor de s é de 1.

Então $a_{23} = a_{23II} = 3$.

Cálculo do valor de L .

$$L = \left(\frac{C}{P} \right)^P$$

Onde:

L = vida nominal.

C = capacidade dinâmica.

P = carga dinâmica equivalente.

P = expoente de duração da vida.

O valor de C é retirado do catálogo FAG do rolamento 81113-TV, sendo o seu valor de 107 KN.

Para o valor de P (carga dinâmica equivalente) aplicado, considerou-se a força de abertura aplicada ao molde que é 70 KN.

O valor de P (expoente de duração da vida) é retirado do catálogo FAG, para um rolamento de rolos tem o valor de $10/3$.

Logo:

$$L = \left(\frac{107}{70} \right)^{\frac{10}{3}}$$

Assim sendo, são conhecidos todos os dados necessários para o cálculo da duração atingível (modificada) da vida.

$$L_{na} = 0.62 \times 3 \times \left(\frac{107}{70} \right)^{\frac{10}{3}} = 7.65 \times 10^6 \text{ [rotações].}$$

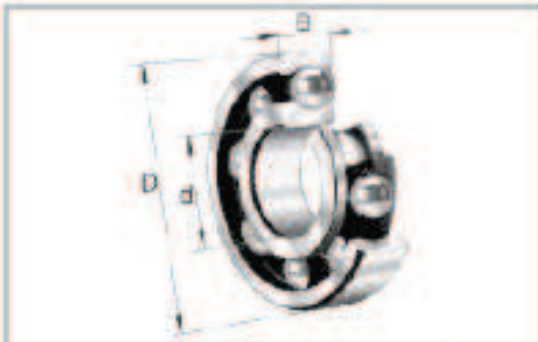
Anexo 3 - Especificações rolamento referência 16008 da Ina-FAG



Radial ball bearings 160

main dimensions to DIN 625-1

The data sheet is only an overview of dimensions and basic load ratings for the selected series. Please ensure that you note all the guarantees in these overview pages. Further information is given on many products under the menu item "Description". You can also request comprehensive information material by e-mail (sales_promotion@fag.de) or by telephone +49 (0)21 91 - 4584.

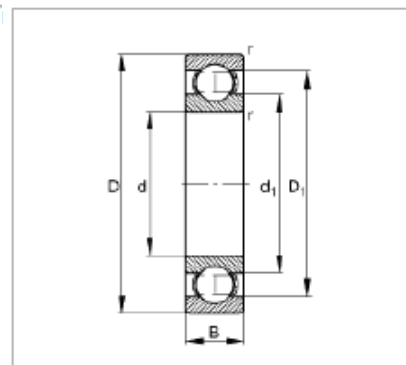


	d mm	D mm	B mm
16002	15	32	8
16003	17	35	8
16004	20	42	8
16005	25	47	8
16006	30	55	9
16007	35	62	9
16008	40	68	9
16009	45	70	10
16010	50	80	10

16008

Figure 1, Figure 2.

d	40 mm	
D	68 mm	
B	9 mm	
D _i	59,3 mm	
d _i	49,4 mm	
D _{a max}	66 mm	
d _{a min}	42 mm	
r _{a max}	0,3 mm	
r _{min}	0,3 mm	
m	0,12 kg	Mass
C _r	13200 N	Basic dynamic load rating, radial
C _{0r}	10200 N	Basic static load rating, radial
n _G	13000 1/min	Limiting speed
n _B	9000 1/min	Reference speed
C _{ur}	465 N	Fatigue limit load, radial



Anexo 4 - Especificações Motor referência BMR-80-C25-A-G da Blumec



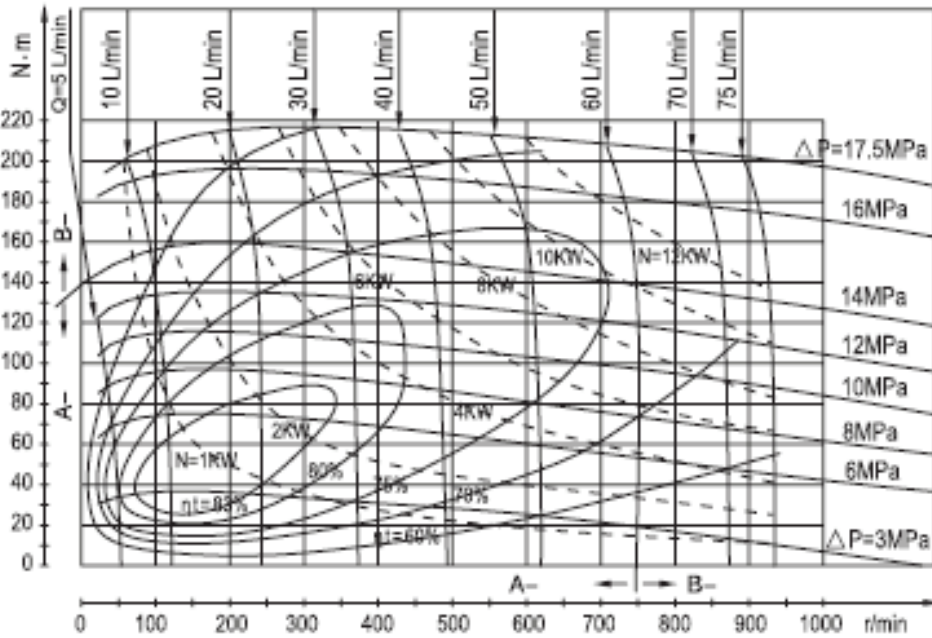
■ BMR TECHNICAL SPECIFICATIONS

TYPE	BMR-50 BMRW-50	BMR-80 BMRW-80	BMR-100 BMRW-100	BMR-125 BMRW-125	BMR-160 BMRW-160	BMR-200 BMRW-200	BMR-250 BMRW-250	BMR-315 BMRW-315	BMR-400 BMRW-400
Displacement (cm ³ /rev)	51.7	80.5	100.5	126.3	160.8	200.9	252.6	321.5	401.9
cont.	14	14	14	14	14	14	11	9	7
Max.Pressure.Drop (Mpa)	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	14	11	9
peak.	20	20	20	20	20	20	16	13	11
Max.torque (N.m)	93	152	194	237	310	369	380	380	380
int.	118	189	236	296	378	450	470	470	470
peak.	135	216	270	338	433	509	540	540	540
Speed.Range(cont.)(r/min)	10-775	10-750	10-600	9-475	7-375	5-300	5-240	5-190	5-160
Max.Flow(cont.)(L/min)	40	60	60	60	60	60	60	60	60
Max.Output.Power(cont.)(Kw)	7	10	10	10	10	8	6	5	4
Weight (kg)	6.5	6.9	7.0	7.3	7.5	8.0	8.5	9.0	11

Intermittent operation the permissible values may occur for max. 10% of every minute
Peak load: the permissible values may occur for max. 1% of every minute

■ BMR FUNCTION DIAGRAMS

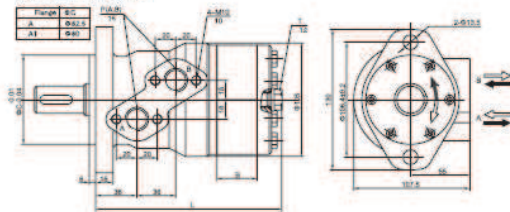
BMR-80



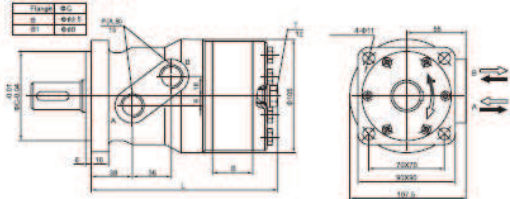
BMR Spool Valve Hydraulic Motors

■ BMR DIMENSIONS AND MOUNTING DATA

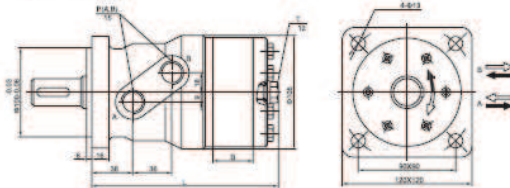
A. A1 Version 2-hole oval flange



B. B1 Version Square flange



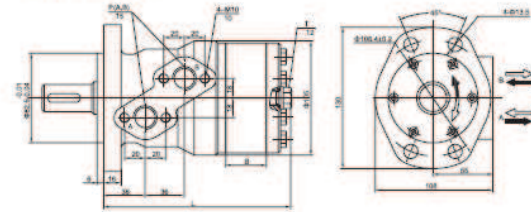
C. Version Square flange



BMR Spool Valve Hydraulic Motors

■ BMR INSTALLATION AND MOUNTING FLANGE

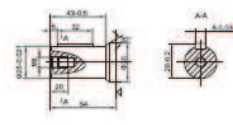
D. Version 4-hole oval flange



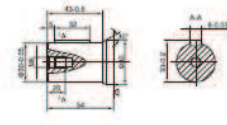
TYPE	BMR-80	BMR-85	BMR-100	BMR-120	BMR-160	BMR-200	BMR-250	BMR-315	BMR-400
L	130	140	140	150	155	165	170	190	200
B	9	14	18	22	28	35	44	56	70

■ BMR SHAFT VERSION

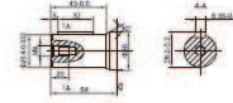
C.25 Cylindrical shaft, parallel key 6X7X32



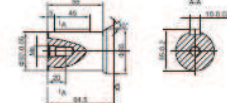
C.30 Cylindrical shaft, parallel key 6X7X32



C.25.4 Cylindrical shaft, parallel key 6.30X6.30X32

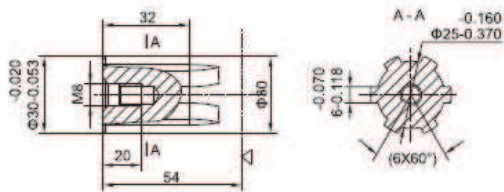


C.32 Cylindrical shaft, parallel key 106XK45

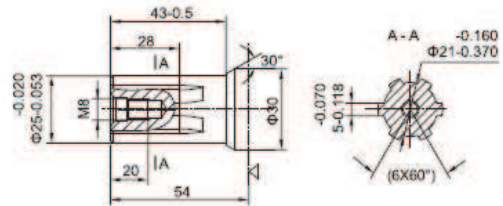


■ BMR SHAFT VERSION

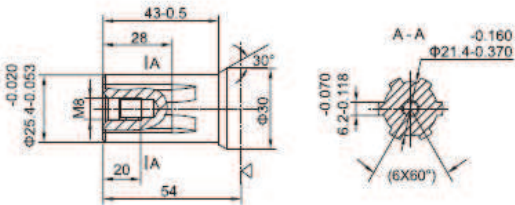
S 30 $\Phi 30$ Splined shaft, 6-30X25X6



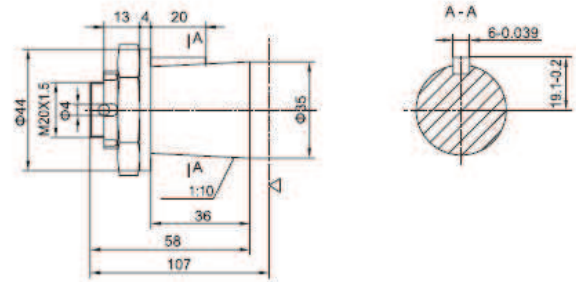
S 25 $\Phi 25$ Splined shaft, 6-25X21X5



S 25.4 $\Phi 25.4$ Splined shaft, 6-25.4X21.4X6.2



T 35 $\Phi 35$ Tapered shaft, taper1: 10, parallel key B6X6X20



1	Displacement
50	80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400

2	Shaft
C 25	$\Phi 25.8 \times 7 \times 32$
C 30	$\Phi 30.8 \times 7 \times 32$
C 25.4	$\Phi 25.4 \times 6.35 \times 32$
C 32	$\Phi 32 \times 10 \times 45$
S 30	$\Phi 30, 6-30 \times 25 \times 6$
S 25	$\Phi 25, 6-25 \times 21 \times 5$
S 25.4	$\Phi 25.4, 6-25.4 \times 21.4 \times 6.2$
T 35	$\Phi 35-1:10.B6 \times 6 \times 20$

3	Mounting Flange
A	2- $\Phi 13.5$ $\Phi 82.5$
A1	2- $\Phi 13.5$ $\Phi 60$
B	4- $\Phi 11$ $\Phi 82.5$
B1	4- $\Phi 11$ $\Phi 80$
C	4- $\Phi 13$ $\Phi 100$
D	4- $\Phi 13.5$ $\Phi 82.5$

4	Ports	
	P(A,B)	T
G	G1/2	M14X1.5
M1	M16X1.5	M14X1.5
M2	M22X1.5	M14X1.5
U	7/8-14UNF	M14X1.5
N	NPT 1/2	M14X1.5

Anexo 5 - Especificações máquina de injeção usada no teste do molde 827 (caso de estudo1)

Máquina Krauss Maffei 110 T

KRAUSS MAFFEI 110 TON

▲ Subir um nível



■ UNIDADE DE FECHO

- Força de Fecho - 1100 KN (110 Ton)
- Força de Abertura do Molde - 70 KN
- Altura Mínima do Molde - 195 mm
- Abertura Máxima da Máquina - 900 mm
- Distância entre Colunas - (470 * 470 mm)
- Diâmetro do Anel de Centragem - 125 mm
- KO Central
- KO 'S Descentrados (conforme esquema em anexo)
- 2 Machos Hidráulicos (com ligação para Micros/ Sensores de Posição)
- 3 Válvulas de Ar
- 1 Valve-Gate Hidráulico ou Pneumático

Anexo 6 - Especificações de exemplo para o aço 1.1730

Thyrodur 1730

SCHMOLZ + BICKENBACH
Providing special steel solutions



Aço para Trabalho a Frio e Moldes para Plásticos

Composição Química:

C%	Si%	Mn%
0,45	0,20	0,70

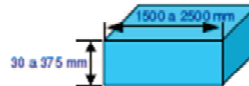
Material nº: 1.1730

Normas Equivalentes: AISI/ABNT 1045

Características Principais e Aplicações:

Aço Carbono tradicional equivalente ao ABNT 1045 com boa tenacidade, indicado para componentes para ferramentas em geral tais como bases para moldes de plásticos e moldes para plásticos sem requisitos de polimento. Pode ser usado também para eixos em geral, ferramentas manuais e ferramental agrícola.

Dimensões



* Para dimensões diferentes, consulte o Depto. de Vendas da Schmolz-Bickenbach

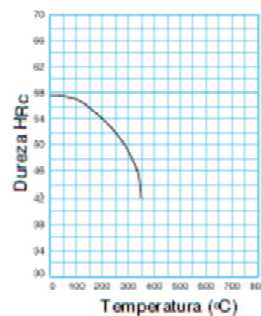
Tratamento Térmico:

Recozimento °C	Resfriamento	Dureza HB	Alívio Tens. °C	Resfriamento
680 - 710	Forno	Max. 207	600 - 650	Forno

Têmpera °C	Resfriamento	Dureza após têmpera (HRc)
800 - 830	Água	57

Revenimento °C	100	200	300	350
Dureza HRc	57	54	49	42

Curva de Revenimento:



SCHMOLZ + BICKENBACH
Providing special steel solutions



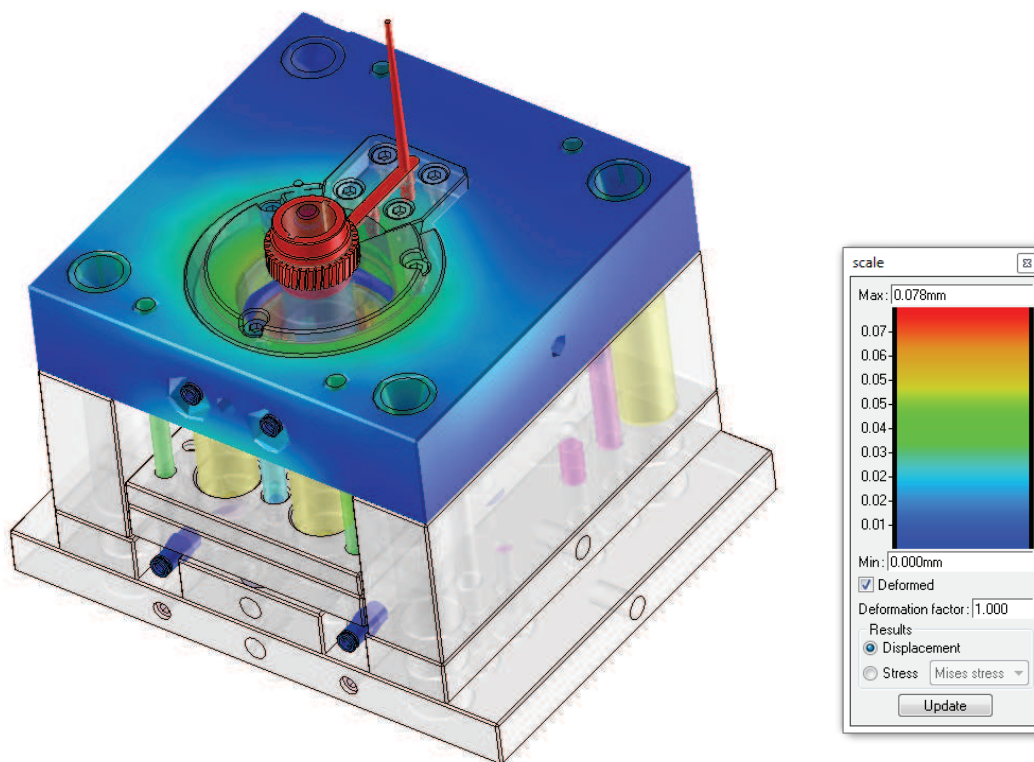
Central de Distribuição
São Paulo - Rua Roberto Koch 277
Ipiranga - São Paulo - SP
Tel: (11) 6165-5600
Fax: (11) 6165-5601

Filial Joinville
Rua Tenente Antonio João 750
Bom Retiro - Joinville - SC
Tel: (47) 3435-1731
Fax: (47) 3435-1741

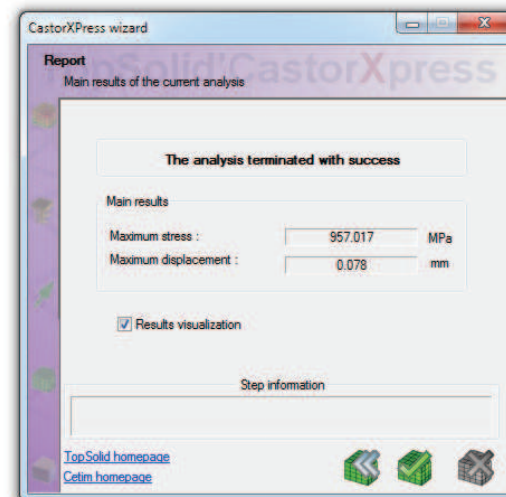
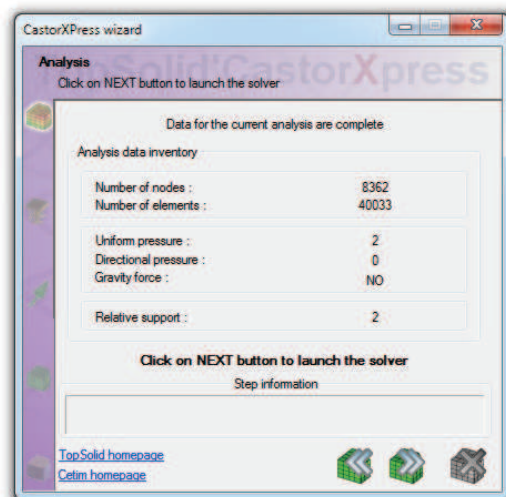
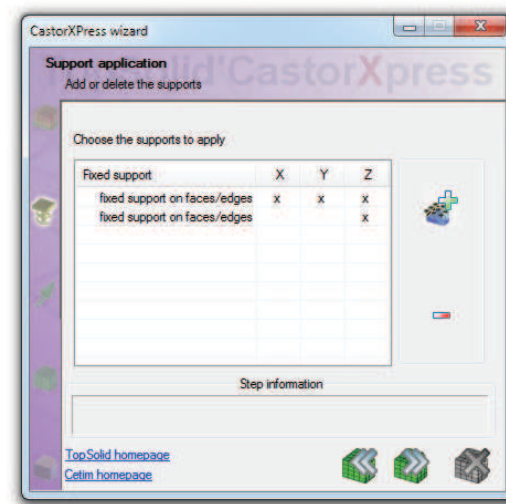
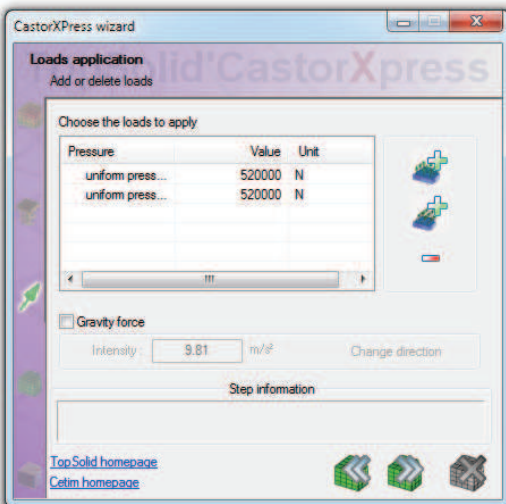
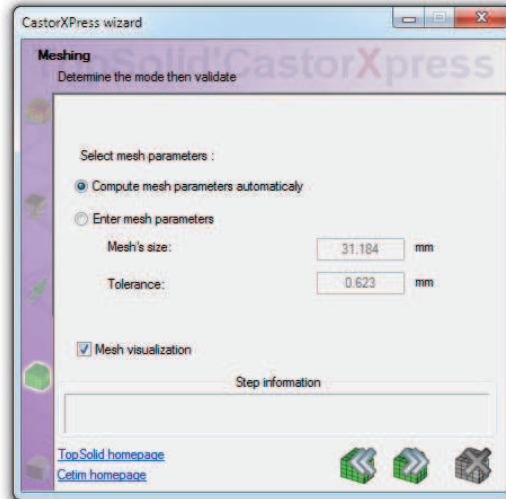
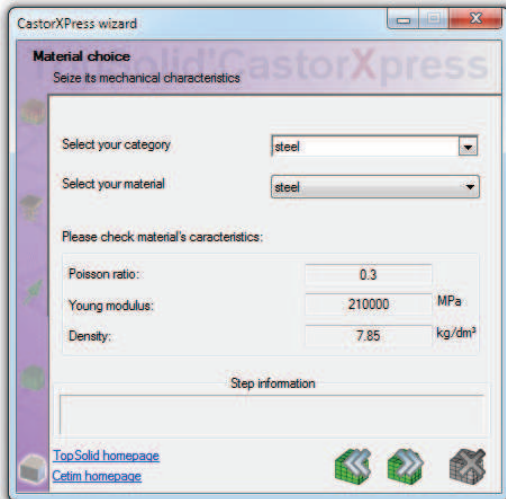
Filial Caxias
Rua Gusepe Formolo 400
Cruzeiro - Caxias do Sul - RS
Tel: (54) 3212-1300
Fax: (54) 3212-1214

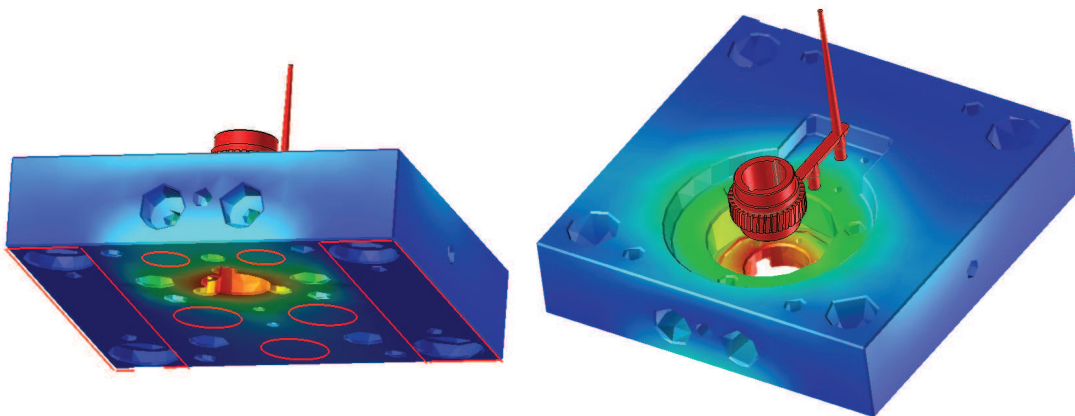
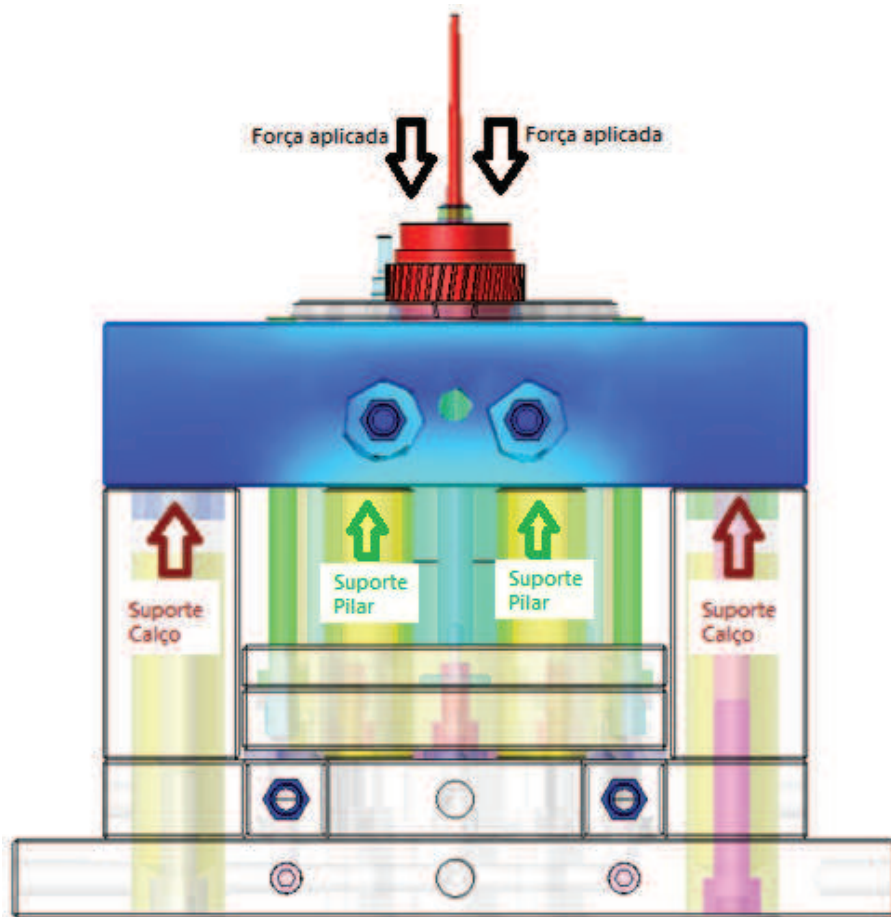
www.schmolz-bickenbach.com.br

Anexo 7 - Análise estrutural da chapa 3 sobre o efeito da pressão de injeção na zona da cavidade



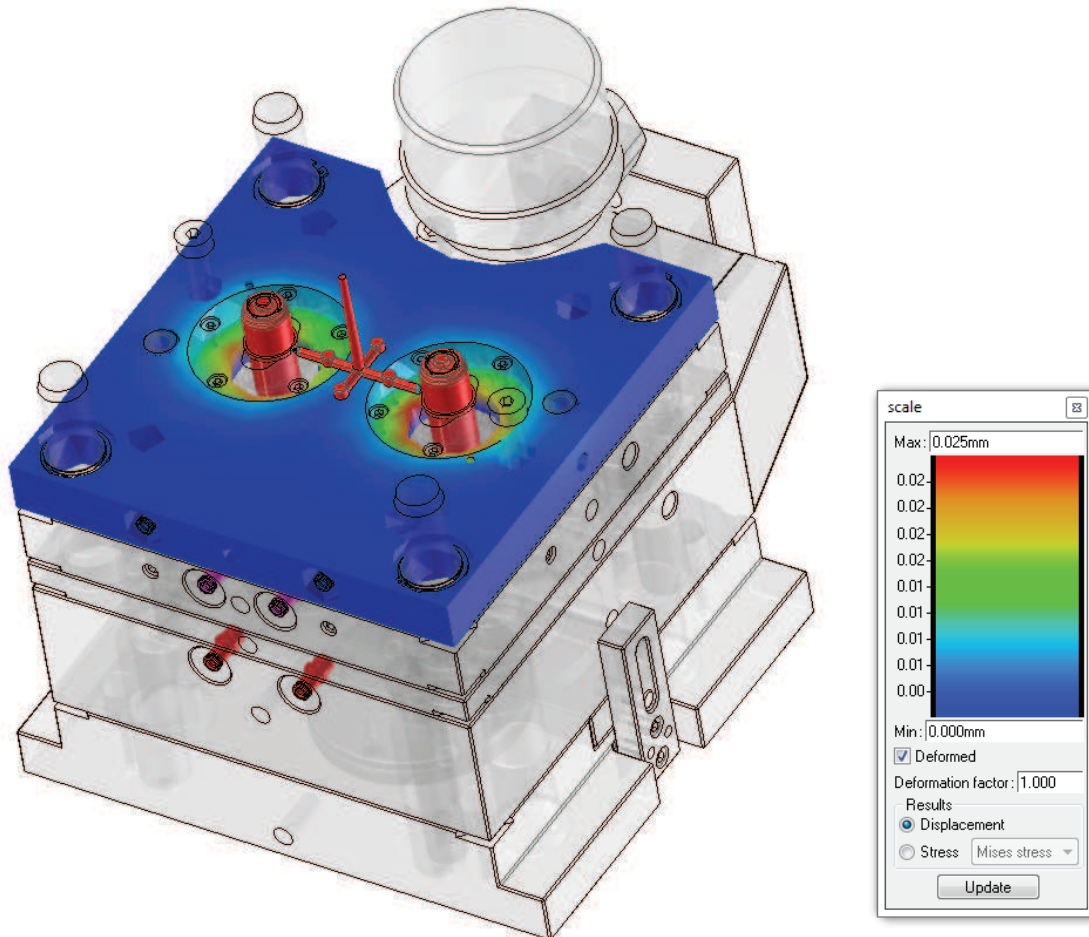
Força tida em atenção para este estudo: pressão de injeção de **520 KN**.



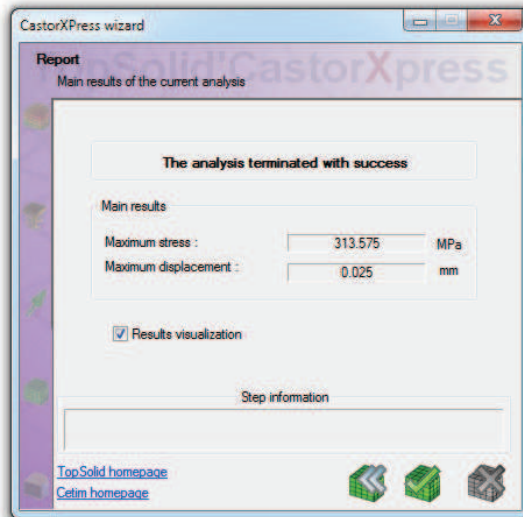
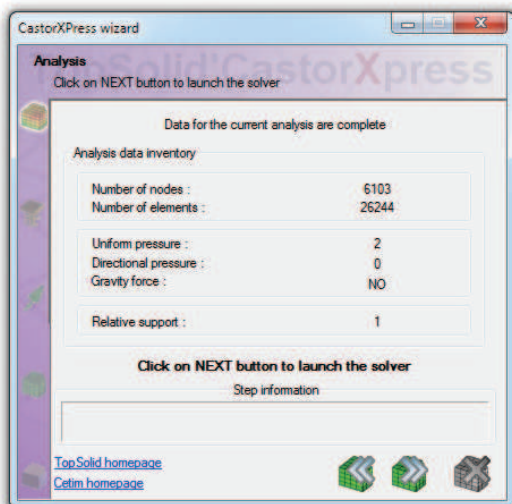
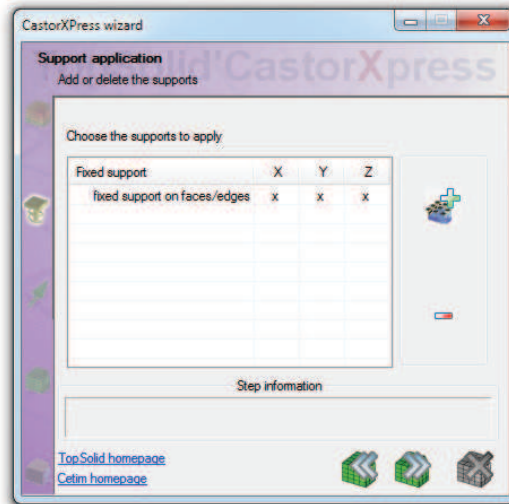
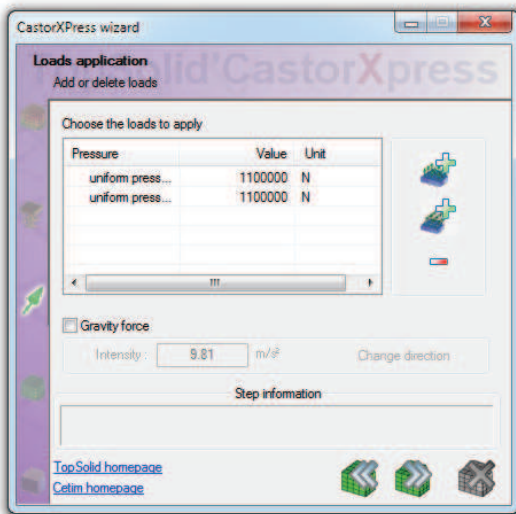
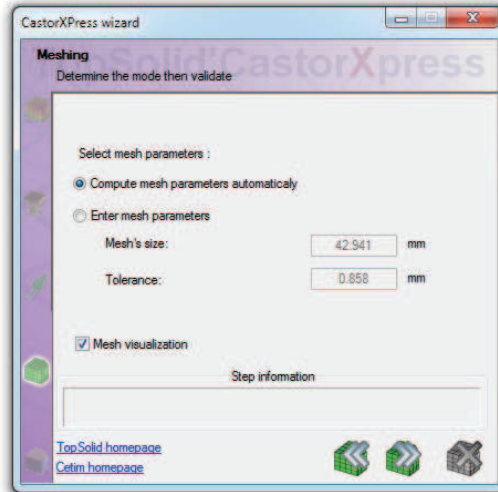
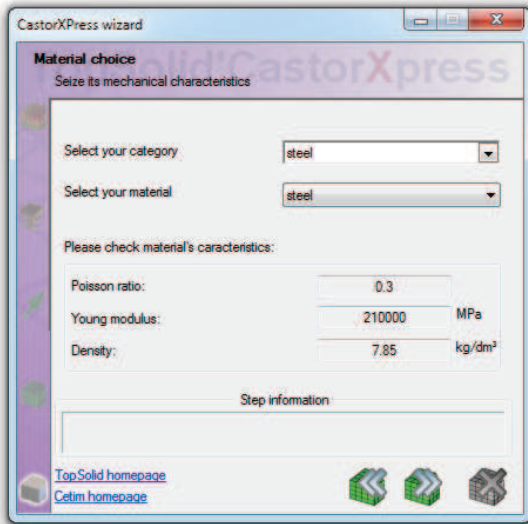


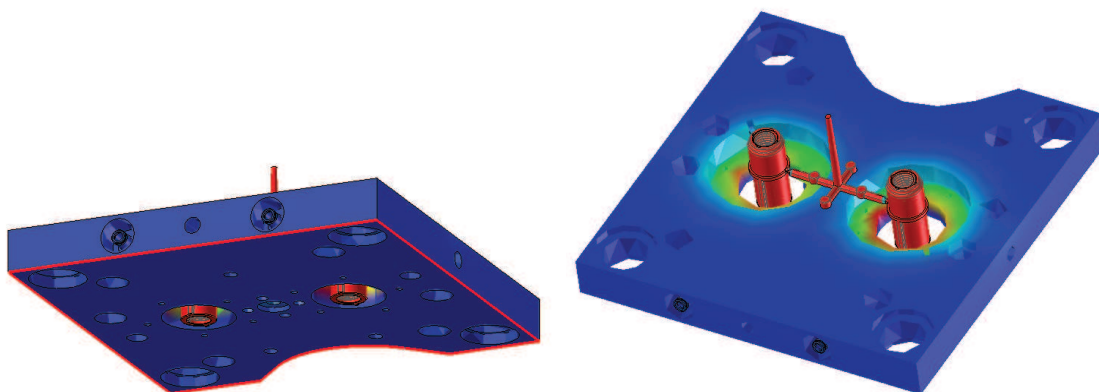
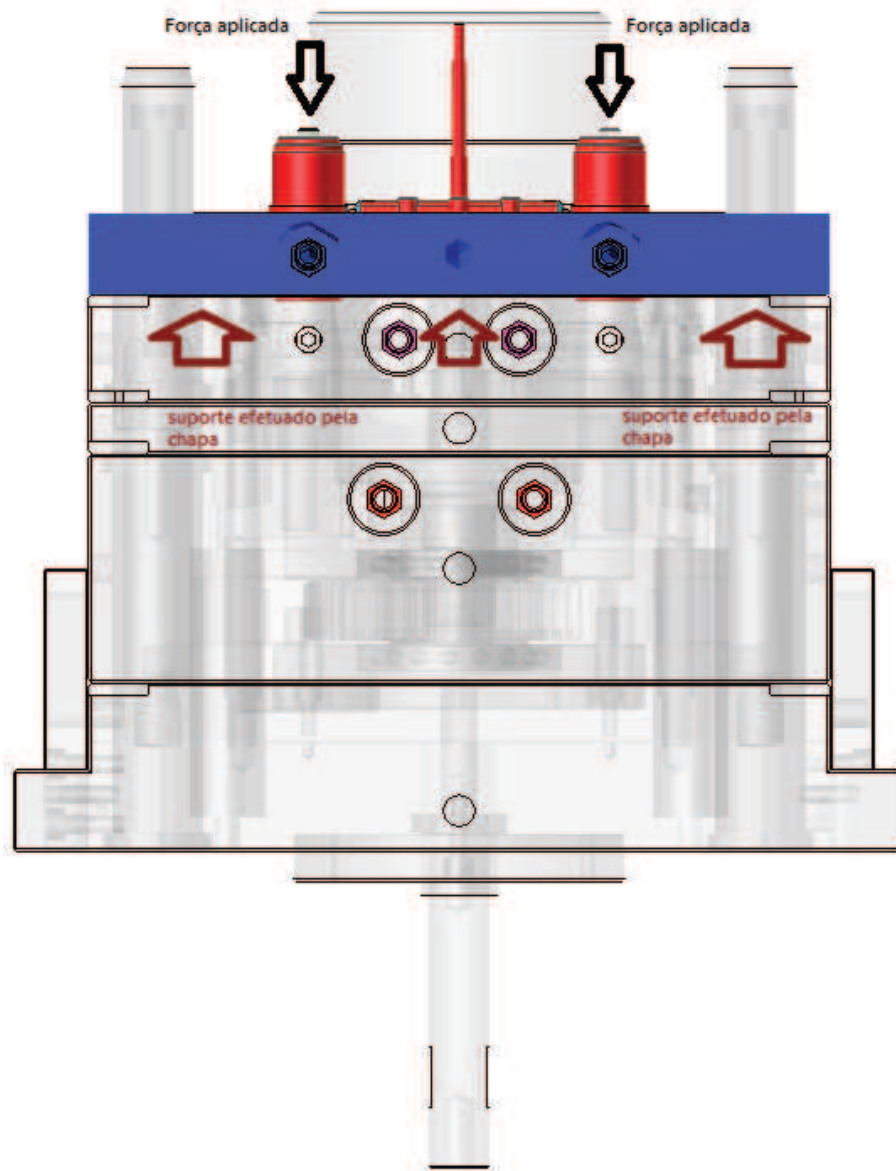
Zonas de apoio assinaladas com linhas vermelhas: calços (retângulos) e suportes de pilar (círculos).

Anexo 8 - Análise estrutural da chapa 11 sobre o efeito da pressão de injeção na zona das cavidades



Força tida em atenção para este estudo: pressão de injeção de **1100 KN**.





Zona de apoio assinalada com linhas vermelhas: chapa 3 e seguintes.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco