



Projeto

Mestrado em Engenharia da Conceção e Desenvolvimento do Produto

***Conceção e desenvolvimento de produto, ferramenta
e célula de produção***

Hélder Manuel Gaspar Cordeiro

Leiria, Março de 2016



Projeto

Mestrado em Engenharia da Conceção e Desenvolvimento do Produto

***Conceção e desenvolvimento de produto, ferramenta
e célula de produção***

Hélder Manuel Gaspar Cordeiro

Dissertação de Mestrado realizada sob a orientação dos Doutores Carlos Alexandre Bento Capela e Irene Sofia Carvalho Ferreira, Professores da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, Março de 2016

“No meio da dificuldade encontra-se a oportunidade.”

Albert Einstein (1938)

Agradecimentos

Aos professores Carlos Capela e Irene Ferreira, meus orientadores, pelo apoio, conselhos e diretrizes concedidas na elaboração deste trabalho.

Para que a realização deste trabalho fosse possível, foi crucial o impulso do Sr. Rui Pinho, gestor da empresa Moldes RP que me propôs a conceção e desenvolvimento do produto, ferramenta e célula de fabrico descritos. Agradeço ainda a todos colaboradores da Moldes RP e parceiros que participaram neste projeto.

Aos meus pais, Fernanda Gaspar e Sérgio Silva pelo constante apoio e motivação durante todo o meu percurso académico.

Por fim e não por último, aos meus amigos que me acompanharam neste período, incentivando-me e respeitando as frustrações de quem procura soluções que nem sempre são fáceis.

Resumo

O trabalho apresentado descreve todo o processo de concepção e desenvolvimento de um produto, ferramenta e célula de fabrico, realizado numa empresa de moldes situada na zona da Marinha Grande e denominada por Moldes RP – Indústria Moldes, Sociedade Unipessoal, Lda. Com o desenvolvimento deste novo produto, a empresa pretende atingir novos mercados, alargando a sua cadeia de valor a jusante do fabrico de moldes, integrando a componente de moldação por injeção e sopro, como forma de cimentar a sua posição no mercado global e assumir a concepção e desenvolvimentos de produtos como um eixo estratégico de negócios.

Uma das formas de despoletar processos de desenvolvimento de produtos reside na identificação de oportunidades. Neste âmbito, e no respeitante ao produto em foco neste trabalho, verifica-se uma tendência para a proibição de utilização de copos de vidro em espaços públicos, nomeadamente concertos, eventos desportivos e praias, entre outros, o que força os promotores e consumidores a consumir bebidas em copos que respeitem estas condições. Neste contexto, foi identificada como oportunidade o desenvolvimento e produção de um copo de formas complexas e que respeite as condições descritas, tendo por base uma metodologia de concepção e desenvolvimento de produto eficaz. Para tal, o processo adotado como suporte ao desenvolvimento deste produto envolveu, desde os conceitos iniciais de identificação da ideia, pesquisa do estado da arte, análise do meio envolvente e a identificação de vantagens competitivas, até à definição clara de requisitos do produto para a geração do modelo.

Complementarmente, e ao nível da produção do produto desenvolvido foi desenvolvida uma tecnologia que permite a obtenção do produto idealizado, através da integração da moldação por injeção sobreposta e moldação por sopro. De destacar que este desenvolvimento culminou num pedido de patente. Por último, e tendo em consideração a análise da viabilidade financeira do produto e processo de produção, é ainda efetuada uma estimativa inicial do custo do produto e o cálculo final do produto tendo em conta as condicionantes relativas ao processo de fabrico.

Palavras-chave: Concepção e desenvolvimento de produto, Moldação por injeção, moldação por sopro, célula de fabrico.

Abstract

The presented work describes the entire design process, development a product, tools and manufacturing cell, performed in a mold company located in the area of Marinha Grande and called for Moulds RP - Industry Molds, Sociedade Unipessoal, Lda.

With the development of this new product, the company it aims to reach new markets, expanding its value chain downstream manufacturing mold, integrating the molding component by injection and blowing, in order cementing its position in the global market and take the design and product development as a strategic line of business.

One way to onset product development processes resides in identifying opportunities. In this context, and with regard to the product in focus in this work, there is a tendency for the prohibition of the use of glasses glass in public spaces, including concerts, sporting events and beaches, among others, which forces developers and consumers to consume drinks in cups to respect these conditions.

In this context, opportunity has been identified as the development and production of a glass of complex shapes and to respect the conditions described, based on a method of designing and effective product development. To this end, the process adopted to support the development of this product involved, from the initial concepts of idea identification, research state of the art, analysis surroundings and the identification of competitive advantage to the clear definition of product requirements for the generation of the model.

In addition, and at the level of production of the product was developed the technology that allows to obtain the idealized product through integration of overlapped injection molding and blow molding.

Highlight this development culminated in a patent application. Finally, and in account the analysis of the financial viability of the product and production process, it is also made an initial estimate of the cost of the product and the final calculation of the product taking into account constraints on the manufacturing process.

Keywords: Design and product development, injection molding, injection blow molding, the manufacturing cell.

Lista de figuras

Figura 1- Variação do volume específico com a temperatura para termoplásticos amorfos e semicristalinos	9
Figura 2 - Ciclo de moldação	11
Figura 3 - Tempos típicos de cada uma das fases do processo de injeção	12
Figura 4- Efeito do tempo de injeção na pressão de injeção e temperatura do fundido	13
Figura 5- Pressão de injeção em função da viscosidade, comprimento de fluxo, caudal e espessura da peça.....	14
Figura 6 - Tensões de corte versus tempo de injeção	15
Figura 7 - Gráfico da variação mássica em função do tempo de pressurização.....	16
Figura 8 - Classificação de máquinas de injeção	19
Figura 9 - Unidades da máquina de injeção	19
Figura 10 - Unidade de injeção	20
Figura 11 - Evolução do estado do plástico ao longo das zonas do fuso	21
Figura 12- PvT durante o ciclo de injeção do ABS	25
Figura 13 - Efeito de parâmetros da MI e da espessura da peça na contração	25
Figura 14 - Orientação molecular na direção do fluxo	26
Figura 15- Efeito da orientação do fluxo em materiais com e sem fibras	26
Figura 16 - Linha de partição	27
Figura 17 - Simplificação de linhas/ superfícies de partição.....	27
Figura 18 - Linha de partição não planar.....	28
Figura 19 - Superfícies de partição.....	28
Figura 20 - Ângulos de ajustamento em linhas de partição.....	28
Figura 21 - Guias e casquilhos	30
Figura 22 - Blocos de travamento.....	31
Figura 23- Sistema de alimentação de canais frios.....	32
Figura 24 - Dimensionamento de poços frios.....	32
Figura 25 - Sistema de alimentação de canais quentes	33
Figura 26 - Termorreguladores de canais quentes.....	34
Figura 27 - Sistemas de canais quentes valvulados	35
Figura 28 - Chapa de acionamento de válvulas.....	36

Figura 29 - Injeção sequencial com sistemas valvulados	37
Figura 30 - Canais de fugas de gás	37
Figura 31 - Grelha de som com utilização de aço poroso	38
Figura 32 - Canais de um sistema de controlo de temperatura.....	39
Figura 33 - Sistema de controlo de temperatura com ar.....	39
Figura 34 - Canais conformáveis para peça da indústria automóvel	40
Figura 35 - Tipos de extratores	41
Figura 36 - Vista explodida do mecanismo de elementos móveis	42
Figura 37 - Secção do mecanismo de elemento móvel	43
Figura 38 - Mecanismo em cunha	43
Figura 39 - Mecanismo de buchas colapsáveis	44
Figura 40 - Acumulador de êmbolo tubular	46
Figura 41 - Moldação por injeção e sopro	47
Figura 42 - Molde de sopro de moldação por injeção e sopro	49
Figura 43 - Molde de compressão	50
Figura 44 - Termoformação mecânica assistida a vácuo.....	51
Figura 45- Termo formação por vácuo	52
Figura 46 - Termoformação por pressão	52
Figura 47 - Processo de rotomoldação	54
Figura 48 – Potenciais defeitos da MI (moldação por injeção) e MS (moldação por sopro) na obtenção do copo de gin	63
Figura 49 – Tecnologia de moldação por injeção sobreposta e sopro.....	64
Figura 50 - Desenho detalhado do produto	64
Figura 51 - Vistas tridimensionais do lado fixo e móvel do molde.....	68
Figura 52 - Conjunto de guias e casquilhos para guiamento do molde.....	69
Figura 53 - Barras de travamento do molde	69
Figura 54 - Sistema de impressão da pré-forma.....	70
Figura 55 - Sistema de impressão da pré-forma e da insuflação	71
Figura 56 - Sistemas de alimentação	72
Figura 57 - Sistema de escape de gás	72
Figura 58 - Circuito da cavidade de pré-forma.....	73
Figura 59 - Sistema de controlo de temperatura das buchas	74
Figura 60 - Sistema de controlo de temperatura da cavidade do segundo componente.....	74
Figura 61 - Sistema de controlo de temperatura dos elementos móveis	75

Figura 62 - Sistema de insuflação.....	76
Figura 63 - Abertura do canal de insuflação.....	77
Figura 64 - Sequência de moldação do produto na fase de insuflação.....	78
Figura 65 - detalhe de contra saída na pré-forma	79
Figura 66 - Funcionamento do elemento móvel.....	79
Figura 67 - Detalhes e secções do mecanismo de elemento móvel.....	80
Figura 68 - Elemento móvel e posição do elemento móvel	81
Figura 69 - Planta do molde com o diâmetro útil do prato rotativo e colunas da máquina de injeção.....	85
Figura 70 - Compressores K3 a K8 da Boge.....	86
Figura 71 - Variação da pressão com o volume específico para vários regimes de compressão	87
Figura 72- Esquema pneumático de insuflação, descompressão e extração	88
Figura 73 - Sistema de funcionamento em válvulas pneumáticas angulares	89
Figura 74 - Electroválvulas do lado fixo e do lado móvel.....	89
Figura 75 - Funcionamento dos sensores de deteção da posição das buchas	92
Figura 76 - Cilindros hidráulicos e sensores	93
Figura 77 - Quadro elétrico da máquina de injeção.....	94
Figura 78 - Caixa do CLP e consola de controlo de parâmetros.	95
Figura 79 - Montagem do molde na máquina de injeção	97
Figura 80 - Copos de gin em PC.	101
Figura 81 – Defeitos visuais identificados.	101
Figura 82 - Evolução das formas do produto	102
Figura 83 – Diversas rúbricas de custos para custeio da peça.....	107

Lista de tabelas

Tabela 1 - Comparação de propriedades de termoplásticos semicristalinos e amorfos	9
Tabela 2 - Viscosidade para vários tipos de materiais	15
Tabela 3 - Velocidades de injeção em função da viscosidade e volume da peça	15
Tabela 4- Comparativo dos sistemas de canais quentes de aquecimento interno e externo	35
Tabela 5 - Comparativo de copos de gin	57
Tabela 6 - Transformação da voz do cliente em requisitos do produto e identificação das áreas responsáveis.....	60
Tabela 7 - Características técnicas do produto	61
Tabela 8 - Comparativo de propriedades de materiais pré-selecionados	62
Tabela 9 - Características dos equipamentos versus características do molde /produto	84
Tabela 10 - Entradas do CLP.....	91
Tabela 11 - Saídas do CLP	91
Tabela 12 - Parâmetros de injeção do primeiro componente	98
Tabela 13 - Parâmetros de injeção do segundo componente.....	99
Tabela 14 - Parâmetros de insuflação	100
Tabela 15 - Produção diária expectável.....	105

Lista de siglas e variáveis

ABS- Acrilonitrilo butadieno estireno

C_p – Calor específico a pressão constante

C_v – Calor específico a volume constante

CLP- Controlador lógico programável

C_{mola} – Compressão da mola

K – Constante elástica da mola

MI- Moldação por injeção

MS- Moldação por sopro

P - Pressão

PC- Policarbonato

PE- Polietileno

P_{em} – Peso do elemento móvel

PMMA- Polimetilmetacrilato

POM- Poliacetal

PP- Polipropileno

PS- Poliestireno

P_vT - Pressão volume específico e temperatura

RM- Rotomoldação

SUN- Estireno acrilonitrilo

T - Temperatura

TF- Termoformação

Tg- Temperatura de transição vítrea

Tm- Temperatura de fusão

TPs- Termoplásticos

Índice

Agradecimentos.....	v
Resumo.....	vii
Abstract	ix
Lista de figuras.....	xi
Lista de tabelas	xv
Lista de siglas e variáveis	xvii
Índice.....	xix
1. Introdução.....	1
1.1. <i>Enquadramento e motivação</i>	<i>1</i>
1.2. <i>Objetivos do trabalho</i>	<i>3</i>
1.3. <i>Organização da tese.....</i>	<i>5</i>
2. Revisão bibliográfica.....	7
2.1. <i>Materiais Termoplásticos.....</i>	<i>7</i>
2.2. <i>Moldação por injeção.....</i>	<i>10</i>
2.2.1. <i>Processo de injeção</i>	<i>11</i>
2.2.2. <i>Máquinas de injeção de termoplásticos.....</i>	<i>18</i>
2.2.3. <i>Molde para injeção de plásticos.....</i>	<i>22</i>
2.3. <i>Moldação por sopro</i>	<i>45</i>
2.3.1. <i>Moldação por sopro e extrusão.....</i>	<i>46</i>
2.3.2. <i>Moldação por injeção e sopro</i>	<i>47</i>
2.3.1. <i>Moldes de sopro</i>	<i>48</i>
2.4. <i>Moldação por compressão</i>	<i>49</i>
2.5. <i>Termoformação.....</i>	<i>50</i>
2.5.1. <i>Termoformação mecânica.....</i>	<i>51</i>
2.5.2. <i>Termoformação por vácuo</i>	<i>52</i>
2.5.3. <i>Termoformação por pressão</i>	<i>52</i>

2.6.	<i>Rotomoldação</i>	53
3.	Conceção e desenvolvimento de copo para gin	55
3.1.	<i>Identificação da ideia</i>	55
3.2.	<i>Definição dos requisitos do produto</i>	56
3.3.	<i>Requisitos técnicos do produto</i>	60
3.4.	<i>Desenvolvimento do produto</i>	61
3.5.	<i>Seleção da matéria-prima</i>	61
3.6.	<i>Desenvolvimento do processo de fabrico</i>	62
4.	Conceção e desenvolvimento da ferramenta	67
4.1.	<i>Sistema de guiamento e trancamento</i>	68
4.2.	<i>Sistema de impressão</i>	70
4.3.	<i>Sistema de alimentação</i>	71
4.4.	<i>Sistema de escape de gás</i>	72
4.5.	<i>Sistema de controlo de temperatura</i>	73
4.6.	<i>Sistema de insuflação</i>	76
4.7.	<i>Sistema de extração</i>	78
4.7.1.	<i>Desmoldação por elemento móvel</i>	79
5.	Desenvolvimento da célula de injeção sobreposta e insuflação	83
5.1.	<i>Seleção do equipamento de moldação por injeção sobreposta</i>	83
5.2.	<i>Seleção do compressor</i>	86
5.3.	<i>Sistema pneumático</i>	88
5.4.	<i>Controlador lógico programável</i>	90
5.4.1.	<i>Identificação da cavidade</i>	92
5.4.2.	<i>Controlo da posição dos cilindros hidráulicos</i>	93
5.4.3.	<i>Insuflação e extração</i>	94
5.4.4.	<i>Controlo manual</i>	95
5.4.5.	<i>Seguranças e controlos implementados no programa do PLC</i>	96
6.	Validação do molde e sistema desenvolvido	97
6.1.	<i>Resultados de testes de moldação por injeção sobreposta e insuflação</i>	97

7. Estimativa de custos	103
7.1. Custos do molde	104
7.2. Custos de montagem.....	104
7.3. Custos máquina de injeção.....	106
7.4. Custos matéria-prima.....	106
7.5. Custeio das peças	107
8. Conclusões e trabalhos futuros.....	109
8.1. Conclusões.....	110
8.2. Trabalhos futuros	112

1. Introdução

A criatividade é considerada como sendo algo inerente ao ser humano. Assim, este potencial deve ser estimulado para poder transformar esta habilidade num processo que facilite a resolução de problemas e a resposta às oportunidades identificadas. Durante muito tempo a arte e a técnica seguiram caminhos diferentes, e considerava-se que a criatividade estava ligada às artes devido ao seu carácter imprevisível. Hoje, com o avanço tecnológico, a perceção, a intuição e a sensibilidade passaram a ter um papel fundamental no processo de desenvolvimento das capacidades do ser humano. De facto, estas são as características que conferem ao Homem a capacidade de encontrar soluções para problemas que determinam novos caminhos [1].

Neste contexto, a inovação assume um papel fundamental para o sucesso dos negócios e da competitividade industrial, e cujo objetivo é de superar os resultados da concorrência, cada vez mais agressiva, de forma a cimentar e alargar a área de atuação a novos mercados através da oferta de produtos e serviços inovadores que proporcionem acréscimo de valor às empresas.

1.1. Enquadramento e motivação

A indústria de moldes para termoplásticos e elastómeros em Portugal têm apresentado ao longo dos tempos uma forte consolidação e crescimento, devido principalmente à sua elevada competitividade em termos de qualidade, preços e prazos de entrega. Em 2014, o setor português de moldes possuía cerca de 450 empresas, de pequena e média dimensão, empregando cerca de 8000 trabalhadores, com uma disposição geográfica bipolar assente nas regiões da Marinha Grande e Oliveira de Azeméis. Este setor representou neste ano 560 milhões de euros de exportações [2], valores que evidenciam o crescimento sustentado da indústria ao longo dos anos, assente na sua capacidade de adaptação às necessidades dos seus clientes e às evoluções, quer dos mercados, quer das tecnologias.

Apesar dos números do setor serem bastante satisfatórios, uma visão mais alargada permite ver que ao nível da conceção, desenvolvimento e produção de produtos, o setor dos moldes atua apenas numa pequena parte de todo o processo, em particular no que concerne apenas à conceção e fabrico do molde, i.e. da ferramenta.

Tendo a Moldes RP (empresa onde se realizou o trabalho que aqui se apresenta), se mostrado atenta a todo o processo de evolução do mercado, e com a noção do potencial de crescimento que a etapa de conceção e desenvolvimento de produto, i.e. peça plástica, poderá apresentar, assumiu-a como um dos seus eixos estratégicos de evolução. De facto, é sua pretensão que esta aposta possibilite, a médio-prazo o aumento de receitas e a longo prazo o aumento da sua credibilização junto dos seus habituais clientes, permitindo que estes vejam a Moldes RP cada vez mais como um parceiro de soluções e não apenas como um fornecedor de moldes.

Para tal, a Moldes RP tem efetuado um esforço constante em vigilância tecnológica e na procura de novas oportunidades de negócios. E como fruto deste trabalho, foi identificada uma oportunidade na área de produção de copos de plástico com formas complexas, sendo necessária para tal a integração de processos originando uma nova tecnologia. Esta, para além de produzir copos com formas parcialmente ocas pode ser ainda utilizada na produção de outros produtos com características similares, tais como por exemplo: reservatórios de líquidos tipicamente feitos com a tecnologia de sopro, pois quando existe a necessidade de fixar estes reservatórios a uma determinada estrutura é necessário produzir um componente auxiliar que possibilite a fixação do reservatório à estrutura. Com a tecnologia desenvolvida neste trabalho pode-se obter um produto que contenha o reservatório e formas geométricas que possibilitem o acoplamento do mesmo a uma estrutura sem necessidade de peças auxiliares. Face ao exposto, é objetivo da Moldes RP potenciar os resultados deste trabalho e alargar os seus mercados na área da produção de peças plásticas de geometria complexas utilizando a tecnologia desenvolvida no âmbito deste trabalho.

1.2. Objetivos do trabalho

A conceção e desenvolvimento de produtos, ferramentas e processos produtivos é um processo contínuo e iterativo que requer um conhecimento multidisciplinar. Normalmente, todo este processo é iniciado com a criatividade, sendo posteriormente usada a inovação como caminho para a rentabilização. Neste sentido, o principal objetivo deste trabalho é a conceção e fabrico de um copo de gin em material plástico, com características inovadoras, sendo que para tal será necessário desenvolver as ferramentas e o processo de fabrico que concretize a produção deste produto. De destacar que face à necessidade de conseguir, de forma rentável, produzir os copos de gin em material polimérico, e em paralelo assegurar um conjunto de requisitos estéticos e de segurança alimentar específicos, foi necessário desenvolver os moldes, ferramenta, e uma tecnologia inovadora que conjuga moldação por injeção sobreposta com moldação por sopro, âmbito deste trabalho.

Face ao exposto, foram estabelecidos como objetivos deste trabalho, os seguintes:

- 1) Definir e projetar solução para o copo de gin, tendo em conta requisitos específicos;
- 2) Definir e projetar ferramentas/molde que permitissem a sua produção (i.e 1000000 de copos);
- 3) Desenvolver uma tecnologia que permita a produção de formas complexas ocas, com zonas tipicamente obtidas com a tecnologia de moldação por sopro e moldação por injeção num só produto, em apenas um ciclo produtivo;
- 4) Validar a tecnologia desenvolvida em termos produtivos no sentido de assegurar a rentabilidade da ferramenta, do processo e do produto, e efetuar os ajustes necessários de parâmetros;
- 5) Analisar custos e viabilidade do processo de produção dos produtos projetados de acordo com a solução preconizada.

Para tal, e como suporte ao processo de conceção e desenvolvimento, foram definidas as seguintes etapas a realizar:

- 1) Identificação dos requisitos do produto;
- 2) Identificação dos pontos críticos ao produto;
- 3) Conceção e desenvolvimento do produto;
- 4) Idealização de processo produtivo que possibilite a produção do produto, respeitando os requisitos do produto;
- 5) Conceção e desenvolvimento de ferramenta (molde) que possibilite a obtenção do produto tendo usando os requisitos do produto e a tecnologia de produção idealizada;
- 6) Conceção e desenvolvimento de uma célula de produção interligando as tecnologias de Moldação por Injeção (MI) e Moldação por Sopros (MS);
- 7) Cálculo dos custos de produção.

Como objetivos pessoais inerentes a este trabalho procura-se ainda o desenvolvimento e aplicação de conceitos teóricos, usado a sua aplicabilidade prática nas diversas áreas, buscando o acréscimo da sua aplicabilidade prática ao longo das diversas fases do presente trabalho.

1.3. Organização da tese

A presente dissertação encontra-se estruturada em oito capítulos.

No primeiro capítulo é feito um enquadramento da indústria de moldes para plásticos em Portugal, uma abordagem geral à empresa e às motivações que conduziram à realização da conceção e desenvolvimento do produto, ferramenta e processo descritos neste trabalho.

No segundo capítulo é realizado um levantamento bibliográfico, iniciando-se com uma breve introdução aos materiais termoplásticos seguindo-se uma caracterização das tecnologias mais utilizadas para o processamento destes materiais (i.e. moldação por injeção, moldação por sopro/insuflação, moldação por compressão, termoformação e rotomoldação).

No terceiro capítulo é feita a descrição da conceção e desenvolvimento do produto idealizado, iniciando-se com a identificação da oportunidade, passando pelo levantamento dos requisitos do produto, e culminando com o seu desenvolvimento e seleção da tecnologia de fabrico.

No quarto capítulo é feita a descrição do processo e da ferramenta que proporciona a produção do produto idealizado, respeitando os requisitos deste.

No quinto capítulo descreve-se o desenvolvimento da integração de tecnologias de moldação por injeção sobreposta e insuflação originando uma célula de produção.

No sexto capítulo é feita uma descrição e definição dos parâmetros utilizados no processo de moldação por injeção sobreposta e insuflação.

No sétimo capítulo é feita uma análise de custos inerentes ao processo de produção.

Por fim, no oitavo capítulo são feitas as conclusões do trabalho, evidenciando as vantagens e desvantagens da solução encontrada ao nível de produção e identificados trabalhos futuro

2. Revisão bibliográfica

“O desenvolvimento tecnológico irá sempre oferecer novas oportunidades para um design inovador, e o design inovador desenvolve-se em conjunto com a tecnologia inovadora, portanto, nunca irá colocar um fim em si mesmo.”

Dieter Rams (1970)

2.1. Materiais Termoplásticos

Os materiais plásticos foram inicialmente vistos como substitutos de materiais tradicionais, como metais e madeira. Eles rapidamente atingiram o estatuto de insubstituíveis. A conquista dos plásticos deriva da sua versatilidade e capacidade de adaptação das suas propriedades, atingindo uma variabilidade de características dificilmente acompanhada por outros materiais. Segundo Alfredo Campo, *“Os materiais plásticos são o último tributo à criatividade e inventividade do homem”*, evidenciando claramente o seu papel na sociedade atual [3], [4].

Os termoplásticos (TPs) são constituídos por macromoléculas de cadeia linear ou ramificada, que fundem quando aquecidos e assumem formas específicas nesse estado que retêm quando arrefecem, este processo pode ser repetido sem perda significativa de propriedades. Os TPs devido ao seu rápido e fácil processamento possibilitam a produção de produtos economicamente acessíveis, levando a que sejam muito utilizados do ponto de vista industrial. As suas grandes vantagens ao nível das propriedades são [5] :

- Baixa densidade (entre 0.9 a 2.2 para materiais não reforçados);
- Elevada resistência (entre 10 a 50 [MPa] se forem reforçados com fibras a sua resistência pode triplicar);
- Dependendo da natureza química podem ter elevada resistência ao impacto;
- Transparência e brilho (em alguns materiais);
- Resistência química e ambiental em alguns materiais.

Um das possíveis classificações dos TPs baseia-se na semelhança de propriedades, refletindo a sua estrutura molecular, sendo divididos nos seguintes grupos:

- Amorfos – Os polímeros amorfos não apresentam organização das cadeias moleculares;
- Semicristalinos - Estes polímeros são bifásicos, combinam zonas amorfas com zonas cristalinas;
- Elastómeros - Estes materiais são caracterizados por possuírem cadeias moleculares longas, flexíveis e capazes de sofrerem grandes extensões, que podem ser destruídas por aquecimento do material;
- Cristais líquidos – Estes polímeros possuem estruturas moleculares com moléculas longas, rígidas e extremamente orientadas, conferindo-lhes excelentes propriedades mecânicas.

Entre os materiais apresentados os mais utilizados são os amorfos e os semicristalinos. Os polímeros semicristalinos tendem a ter moléculas organizadas na sua estrutura com uma repetição regular, exemplos destes materiais são o poliacetal (POM), polietileno (PE), polipropileno (PP) entre outros. Os polímeros amorfos não possuem zonas cristalinas, exemplos destes materiais são o policarbonato (PC), acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), estireno acrilonitrilo (SAN), polimetilmetacrilato (PMMA) e poliestirenos (PS). Os materiais amorfos têm como vantagem poderem ser transparente com boas propriedades óticas.

As diferenças ao nível da estrutura molecular originam comportamentos distintos da variação do volume específico (v) com a temperatura. Embora não seja possível definir claramente a temperatura de fusão (T_m) para materiais de base polimérica, na Figura 1 pode-se observar que o volume específico de ambos os materiais é idêntico para temperaturas próximas de T_m , durante o arrefecimento e a partir de T_m , ocorre uma diminuição rápida do volume específico nos materiais semicristalinos. Tal facto deve-se à formação de estruturas cristalinas rodeadas de estruturas amorfas. A partir de temperatura de transição vítrea (T_g) verifica-se que tanto nos amorfos como nos semicristalinos ocorre uma variação da inclinação das curvas do volume específico.

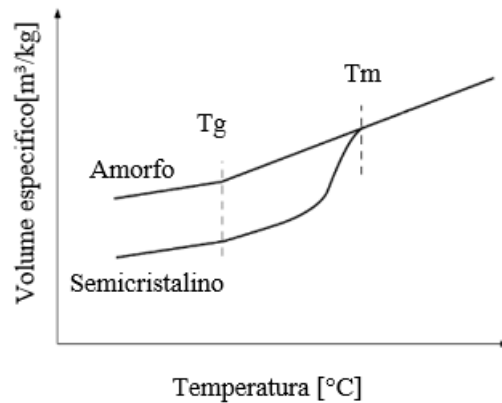


Figura 1- Variação do volume específico com a temperatura para termoplásticos amorfos e semicristalinos [6]

As diferenças da organização das macromoléculas entre os dois tipos de materiais, originam diferenças ao nível de propriedades. Na Tabela 1 são ilustradas as principais diferenças entre os amorfos e os semicristalinos.

Tabela 1 - Comparação de propriedades de termoplásticos semicristalinos e amorfos [7]

Propriedades	Semicristalinos	Amorfos
Densidade	Maior	Menor
Resistência à tração	Maior	Menor
Módulo de elasticidade	Maior	Menor
Ductilidade	Menor	Maior
Temperatura de utilização	Maior	Menor
Contração	Maior	Menor
Resistência química	Maior	Menor

As propriedades dos TPs e a sua relativa fácil processabilidade fizeram com que várias tecnologias de produção se desenvolvessem ao longo do tempo. Destas tecnologias as que mais destacam a sua ampla utilização são:

- Moldação por injeção;
- Moldação por sopro;
- Moldação com compressão;
- Termoformação;
- Rotomoldação.

2.2. Moldação por injeção

Em 1868 John Wesley Hyatt impulsionado por um concurso da firma Phelan & Collander, que pretendia encontrar uma solução inovadora para produzir bolas de bilhar, substituído o marfim por outra matéria-prima, injetou pela primeira vez celuloide, vencendo o concurso. Em 1872 John e o seu irmão Isaiah patentearam a primeira máquina de moldação por injeção usando um êmbolo para fazer a injeção. Durante os anos seguintes vários investigadores debruçaram-se sobre este processo, utilizando-o para a produção de botões e pentes de cabelo entre outros produtos [8].

A moldação por injeção (MI) foi evoluindo e em 1946 James Hendry, patenteou a primeira máquina de injeção utilizando um fuso para a plasticização do material polimérico. No final da segunda guerra mundial iniciou-se o consumo massivo de produtos estimulando a evolução da tecnologia. Em 1972 foi adicionado um sistema robotizado para a remoção das peças do molde e em 1985 foi utilizada em ambiente industrial pela primeira vez uma máquina de injeção completamente elétrica no Japão. Esta tecnologia apesar de madura, continua a evoluir surgindo variantes dela, apresentando vantagens em áreas e produtos específicos. Atualmente as áreas de utilização desta tecnologia vão desde a aeronáutica, automóvel, construção civil, embalagem, eletrónica e electricidade entre outras [8], [9].

As vantagens que têm alavancado o crescimento da MI são [10]:

- Elevadas cadências de produção;
- Elevada precisão dimensional;
- Reprodutibilidade;
- Flexibilidade geométrica;
- Grande variedade de dimensões (podendo-se produzir peças com massa inferior a 1mg até mais de 100 Kg).

As desvantagens desta tecnologia residem essencialmente nos elevados investimentos de equipamentos (máquinas de injeção) e ferramentas (moldes). A MI atualmente permite a injeção de termoplásticos, termoendurecíveis e elastómeros, podendo também ser utilizada na injeção de pós cerâmicos ou metálicos usando um material polimérico como ligante [5].

2.2.1. Processo de injeção

A MI é um processo intermitente e cíclico de obtenção de peças. A otimização do ciclo produtivo é crucial para assegurar a rentabilidade económica do investimento na máquina de injeção, equipamentos auxiliares e moldes. O processo de injeção para máquinas de parafuso alternativo é constituído tipicamente pelas seguintes fases: i) Fecho e trancamento; ii) Injeção; iii) Pressurização; iv) Arrefecimento e Plasticização; v) Abertura e extração; vi) e tempo de pausa (Figura 2) [5].

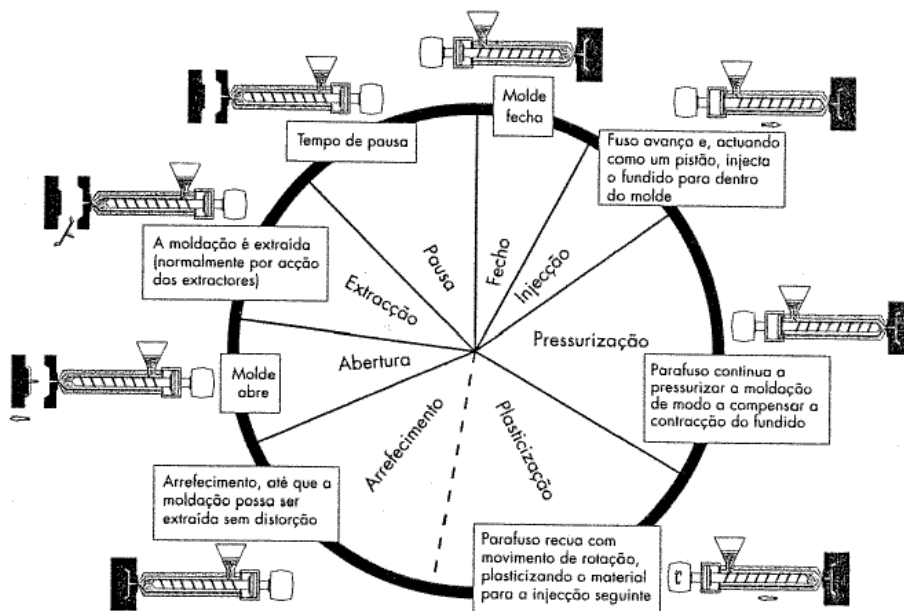


Figura 2 - Ciclo de moldação[5]

Na Figura 3 é possível observar os tempos típicos de cada uma das fases para uma peça com 2mm de espessura. O tempo de injeção é uma pequena parte do ciclo, sendo frequentemente otimizado para minimizar a pressão de injeção e as tensões internas na peça. O tempo de pressurização é otimizado à custa da verificação da variação da massa da peça com o tempo de injeção, existindo uma altura em que o tempo de pressurização deixa de ter impacto sobre a massa da peça. A fase de arrefecimento é a que têm mais

significado sobre o tempo total de ciclo. A plasticização do material ocorre simultaneamente ao tempo de arrefecimento [11].

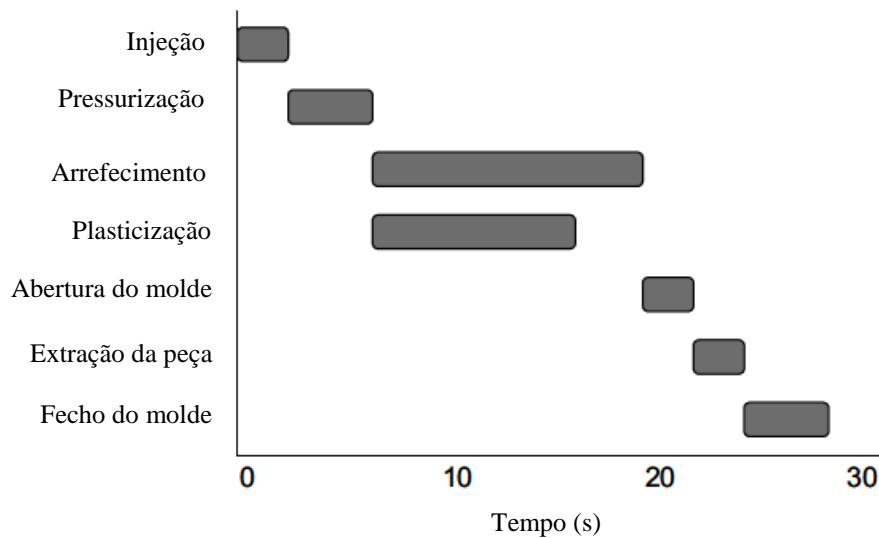


Figura 3 - Tempos típicos de cada uma das fases do processo de injeção [11]

2.2.1.1. Fecho e Trancamento

O ciclo no molde inicia-se com o fecho, esta fase deve ser o mais breve possível. A velocidade de fecho encontra-se limitada pelos seguintes fatores [5]:

- A inercia do conjunto molde/máquina de injeção;
- A necessidade do encosto das duas partes do molde ser suave para evitar danos nas superfícies de ajustamento;
- Dinâmica dos movimentos internos que ocorram simultaneamente com o fecho do molde.

No sentido de se minimizar o tempo desta fase pode-se variar as velocidades de fecho ao longo da fase, sendo possível utilizar uma velocidade mais elevada enquanto as duas partes do molde não têm contacto e reduzir a rapidez antes de se dar o contato[4], [5].

2.2.1.2. Injeção

A fase de injeção inicia-se com o encosto do bico da injetora ao molde (em alguns casos o bico da unidade de injeção pode estar permanentemente encostado). Por ação do avanço linear do fuso de injeção o volume de material fundido correspondente à quantidade de material que se pretende injetar e mais uma pequena quantidade de material (almofada), previamente depositado na sua frente do fuso é forçado a entrar no molde através do sistema de alimentação. A injeção termina tipicamente quando 98% do volume da peça se encontra preenchido pelo fundido[5], [12].

Os parâmetros de injeção são de grande importância para a qualidade da peça plástica. Velocidades demasiado elevadas podem causar efeito de jato, sobreaquecimento da matéria-prima (efeito de dissipação viscosa) e incremento dos efeitos de orientação originando anisotropia de contrações volumétricas. Por outro lado tempos de injeção demasiado longos provocam a redução da temperatura da frente de fundido, aumento da camada solidificada, resultando num aumento da pressão de injeção que em casos extremos impossibilitam a injeção total da peça. Na Figura 4 pode-se observar de uma forma genérica o efeito do tempo de injeção na temperatura do fundido e na pressão máxima de injeção. Para tempos de injeção reduzidos as pressões de injeção são elevadas devido ao aumento da velocidade do polímero junto às paredes do molde. Por outro lado velocidades demasiado longas, originam diminuição da temperatura da frente do fundido incrementando a viscosidade do material e simultaneamente aumento da espessura da camada solidificada incrementando a pressão máxima de injeção [4], [12].

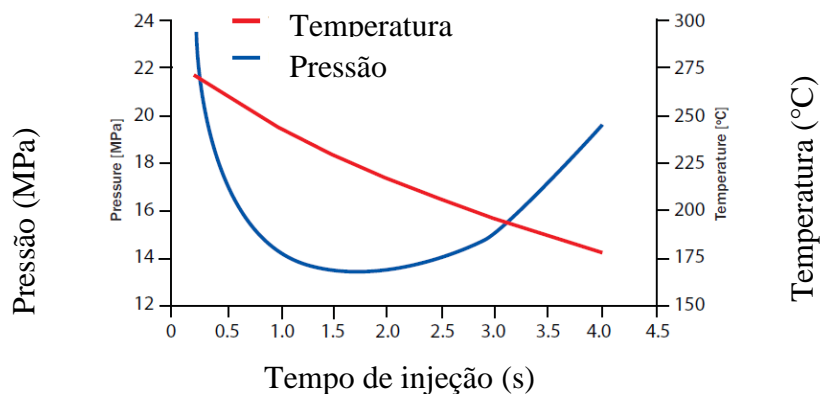


Figura 4- Efeito do tempo de injeção na pressão de injeção e temperatura do fundido [12]

Para além da velocidade de injeção a espessura da peça, a viscosidade do polímero e o comprimento de fluxo também afetam a pressão de injeção, conforme se pode observar na Figura 5. A pressão de injeção varia de forma linear com a viscosidade e o comprimento de fluxo. A espessura da peça influencia de forma exponencial a pressão de injeção e o caudal afeta a pressão através de uma curva em “U” tal como explicado anteriormente [12].

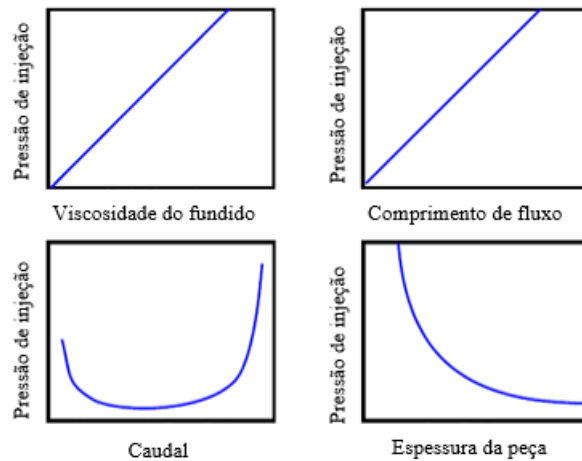


Figura 5- Pressão de injeção em função da viscosidade, comprimento de fluxo, caudal e espessura da peça [12]

Porem durante o enchimento a qualidade da peça depende também da variação de temperatura ao longo do enchimento, das tensões e taxas de corte. Caso a variação térmica, taxas e tensões de corte sejam mínimos para a velocidade que corresponde à menor pressão recomenda-se a utilização dessa velocidade.

As tensões de corte dependem essencialmente das taxas de corte e viscosidade do fundido. Na Figura 6 pode-se analisar a variação das tensões de corte com a velocidade de injeção, a azul esta representado a zona junto ao ataque e a vermelho as tensões no ponto mais longe da injeção. Na primeira zona da peça a encher junto ao ataque ainda não ocorreu arrefecimento do material injetado, pelo que as tensões de corte dependem essencialmente da velocidade de injeção e por consequência das taxas de corte, fazendo com que as tensões de corte diminuam à medida que se reduz a velocidade de injeção. Nas zonas mais distantes ao ponto de injeção ocorre o conflito entre as velocidades de injeção e o aumento de viscosidade devido à redução de temperatura originando uma curva em “U” [6], [12].

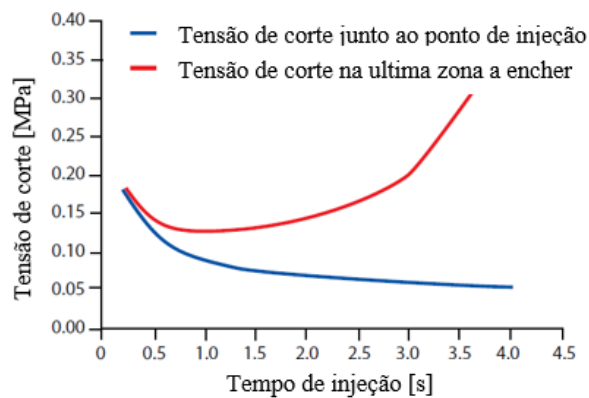


Figura 6 - Tensões de corte versus tempo de injeção [12]

Apesar dos vários fatores que influenciam a velocidade de injeção é possível encontrar na literatura algumas indicações que permitem estimar o tempo de injeção tendo por base a viscosidade do material (Tabela 2) e o volume de injeção, podendo-se utilizar os valores obtidos como uma primeira iteração do refinamento dos tempos de injeção consultando a Tabela 3 [4].

Tabela 2 - Viscosidade para vários tipos de materiais [4]

Viscosidade	Tipos de plástico
Baixa	PE, PA4.6, PA6, PA66, POM, PET, PBT, PPS, TPE
Media	PS, SB,SAN,ABS, PVC, PP, PVC
Alta	PVC rígido, PMMA, PC, PSU, PES, PEI, PAI, PVDF

Tabela 3 - Velocidades de injeção em função da viscosidade e volume da peça [4]

Volume de injeção (cm ³)	Tempo de injeção [s]		
	Baixa viscosidade	Media viscosidade	Alta viscosidade
1-8	0.2-0.4	0.25-0.5	0.3-0.6
8-15	0.4-0.5	0.5-0.6	0.6-0.75
15-30	0.5-0.6	0.6-0.75	0.75-0.9
30-50	0.6-0.8	0.75-1.0	0.9-1.2
50-80	0.8-1.2	1.0-1.5	1.2-1.8
80-120	1.2-1.8	1.5-2.2	1.8-2.7
120-180	1.8-2.6	2.2-3.2	2.7-4.0
180-250	2.6-3.5	3.2-4.4	4.0-5.4
250-350	3.5-4.6	4.4-6.0	5.4-7.2
350-550	4.6-6.5	6.0-8.0	7.2-9.5

2.2.1.3. Pressurização

A pressurização inicia-se no final da injeção. Na injeção o processo é controlado tipicamente pela velocidade (fase dinâmica), enquanto na pressurização o processo é controlado pela pressão (fase estática). A pressurização da impressão têm como principal objetivo contrariar a diminuição do volume específico da peça, resultante das transferências térmicas entre o fundido e o molde resultando no decréscimo de temperatura da peça. A pressão e o tempo de pressurização têm um forte impacto sobre a contração volumétrica do plástico, repercutindo-se nas dimensões finais das peças moldadas. Tipicamente a pressão de compactação é entre 70 a 80% da pressão máxima de injeção, contudo em alguns casos existe necessidade de variar este valor para se alcançarem os requisitos do produto. A pressão contudo não deve ser demasiadamente alta, uma vez que pode originar elevadas tensões internas na peça, gerando deformações e diminuição da resistência mecânica. A fase de compactação termina quando a entrada do material no sistema de impressão (ataque) ou a própria peça, estejam suficientemente frios de forma a impedir o fluxo do material[4], [5].

O tempo máximo de pressurização pode ser estimado variando o tempo de pressurização (Figura 7) e analisando o seu impacto na massa da peça, a partir do momento em que deixa de ocorrer variação mássica a pressurização deixa de ter efeito sobre a qualidade da peça, indicando que o ataque se encontra solidificado [13].

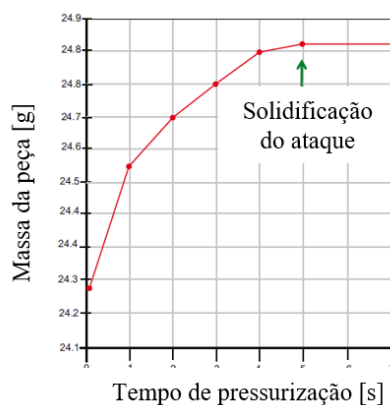


Figura 7 - Gráfico da variação mássica em função do tempo de pressurização [13]

2.2.1.4. Arrefecimento e plasticização

Embora o arrefecimento do fundido inicie-se na injeção, normalmente considera-se que o seu enceto ocorre depois da pressurização. Simultaneamente ao arrefecimento ocorre a plasticização do material para o ciclo seguinte. Assim que o ataque à peça não permita o fluxo de material pode-se iniciar a rotação do fuso. A rotação do fuso origina um diferencial de pressão promovendo o depósito do fundido na frente deste, terminando quando se atinge o volume necessário para a próxima injeção. Paralelamente a esta fase ocorre o arrefecimento da peça até que esta apresente a resistência suficiente as cargas de desmoldação e extração sem que ocorra deformação da peça. O tempo de arrefecimento é essencialmente dependente da espessura da peça, da temperatura de injeção e do molde e do sistema de controlo de temperatura do molde. Durante a fase de arrefecimento formam-se tensões térmicas que podem ser minimizada com o aumento de temperatura da ferramenta, no entanto este aumento de temperatura diminui a cadência produtiva [4], [5].

2.2.1.5. Abertura e extração

Os tempos de abertura e extração dependem essencialmente das características da máquina de injeção e do curso necessário de abertura e de extração do molde. As velocidades de extração em alguns casos podem originar marcas nas peças plásticas, podendo a extração estar dependente dos requisitos de qualidade da peça moldada. Atualmente a extração da peça pode ser assistida por sistemas auxiliares de manipulação, garantindo a automatização do processo [5].

2.2.1.6. Tempo de pausa

O tempo de pausa é o tempo que separa o final da extração do início do novo ciclo sendo desejável que seja nulo ou constante, a variabilidade deste tempo afeta a reprodutibilidade das peças moldadas. A necessidade de remover a peça manualmente ou a colocação de insertos para posterior sobre moldação forçam a existência deste tempo[5].

2.2.2. Máquinas de injeção de termoplásticos

As máquinas de moldação por injeção têm evoluído fortemente ao longo dos tempos, acompanhando e tirando partido de diversas áreas tecnológicas. A evolução da eletrónica permite atualmente um controlo muito preciso sobre o processo de injeção. A gama de materiais que se podem processar também têm sido incrementada. Hoje em dia são comercializadas máquinas com várias unidades de injeção que possibilitam a injeção de vários materiais simultaneamente. Ao nível de dimensões atualmente produzem-se peças com pormenores desde a escala micro até grandes dimensões. A última geração de máquinas pode ser conectado a qualquer computador do mundo através da *internet* e monitorizado remotamente, ajudando a depuração e solução de problemas não sendo necessário o deslocamento de um técnico especializado ao local da máquina [4], [13].

As máquinas de injeção podem ser classificadas de diferentes formas (Figura 8). Uma das classificações possíveis diz respeito ao sentido do movimento da unidade de fecho, podendo ser horizontais ou verticais. As máquinas com a unidade de fecho horizontal são indicadas para a maioria das peças, onde elas são extraídas para fora do molde, caindo por efeito de gravidade para uma caixa ou tapete por, outra alternativa é a remoção da peça por robot. As máquinas verticais com unidade de fecho vertical são utilizadas preferencialmente quando as peças moldadas contêm insertos que são colocados no molde no início do ciclo. Nestes casos o inserto é colocado na parte inferior do molde, garantindo que o posicionamento do inserto não é afetado pela gravidade [13].

As máquinas de injeção também podem ser classificadas quando à posição da unidade de injeção. As máquinas com injetoras horizontais, paralelas ao chão, são as mais comuns. Nesta solução o material têm se ser transportado através do sistema de alimentação desde o bico de injeção até às superfícies de partição, em canais quentes ou frios. No caso de a alimentação ser feita em canais frios, é necessária a moldação do gito, levando ao aumento de desperdício de material. No caso de se utilizarem máquinas com injetoras verticais em alguns casos é possível a redução do desperdício de material, ou redução de custos com sistemas de alimentação de canais quentes. Tipicamente as máquinas com injeção vertical permitem o posicionamento da unidade de injeção, possibilitando o seu posicionamento no plano de partição [13].

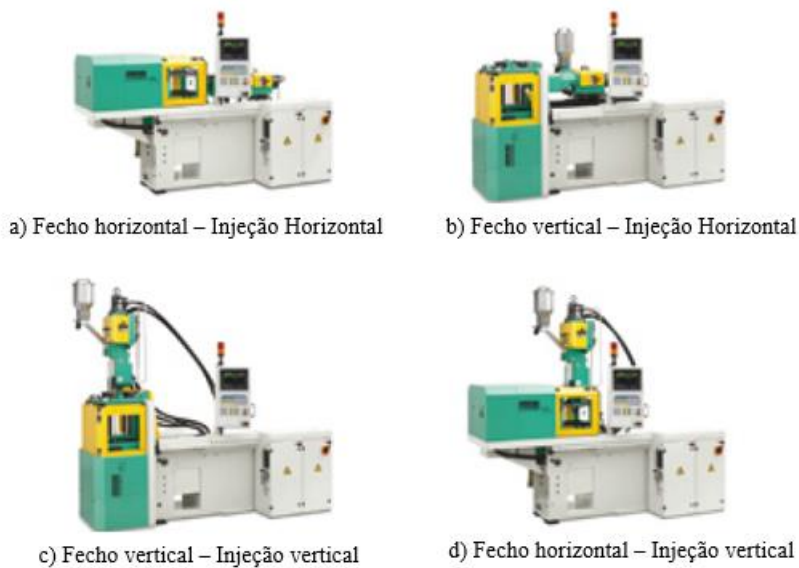


Figura 8 - Classificação de máquinas de injeção [13]

Uma das variantes da MI é a injeção sobreposta, sendo tipicamente utilizados materiais diferentes. Para tal é necessário serem adicionadas unidades de injeção à máquina de injeção, em alguns casos as máquinas são comercializadas com várias unidades, podendo também serem adicionadas unidades móveis de injeção que podem ser fixas a um prato da máquina de injeção ou no molde.

A máquina de injeção pode ser dividida nas seguintes unidades:

- Unidade de potência;
- Unidade de injeção;
- Unidade de controlo;
- Unidade de fecho.



Figura 9 - Unidades da máquina de injeção

Unidade de potência

A unidade de potência é responsável por fornecer energia a todos os atuadores da máquina de injeção. A energia pode ser transmitida por tecnologia óleo-hidráulica, elétrica ou sistemas híbridos. As máquinas totalmente elétricas têm a vantagem de reduzir os consumos energéticos em aproximadamente 50%, são mais silenciosas, limpas, de maior

precisão e redução dos custos de manutenção, a sua desvantagem é o elevado investimento no equipamento quando comparado às máquinas hidráulicas [5], [14].

Unidade de injeção

A unidade de injeção é responsável pela plasticização e homogeneização do material, desde a tremonha até ao bico de injeção, garantindo a injeção do fundido para o molde e a sua pressurização. O material é colocado na tremonha de forma manual ou por sistemas de alimentação automatizados. Este por efeito de gravidade cai sobre o fuso na zona de alimentação. O fuso está dentro do cilindro que têm bandas de aquecimento (Figura 10).

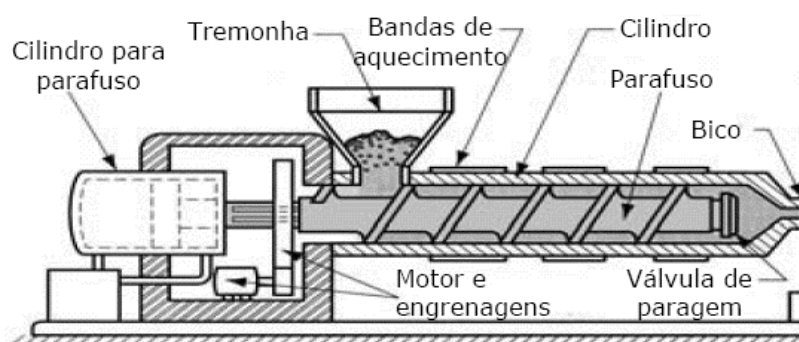


Figura 10 - Unidade de injeção [15]

Inicialmente o material é depositado sobre a zona de alimentação (Figura 11), iniciando-se o amolecimento do material e transporte até à zona de transição, devido à rotação do fuso. Nesta zona do fuso a profundidade do canal é constante. Na zona de alimentação o material nunca deve ser completamente derretido, pois afetaria a colheita do material da depositado na tremonha [13].

Na parte inicial da zona de transição a profundidade do canal é igual à zona de transporte, no entanto vai sendo diminuído até à zona de medição. A redução gradual do canal faz com que o plástico seja comprimido e as gases sejam forçados a sair da matéria plástica. Com a ajuda de calor a partir das bandas de aquecimento instaladas no cilindro e a existência de taxas de corte devido à rotação do fuso dá-se o amolecimento progressivo do plástico, chegando ao final da zona de transição no estado de pasta amolecida e homogénea[13].

A zona de medição é a última zona e a mais próxima do bico da máquina. A profundidade dos canais desta seção é constante e mínima em comparação com as outras secções. Dado que o volume definido para a injeção é resultado da rotação do fuso e da profundidade do canal, quanto menor este for maior será a precisão do material depositado na frente do fuso, no entanto quanto menor for o canal maior serão as taxas de corte, podendo gerar degradação do material, especialmente em matérias muito sensíveis às taxas de corte [13].

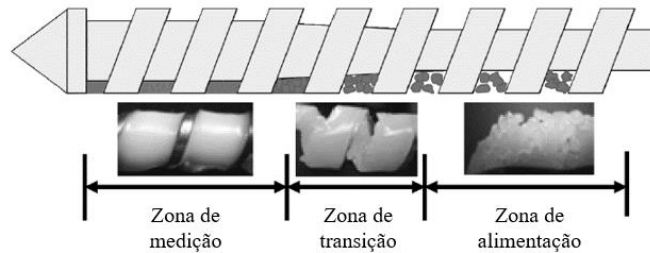


Figura 11 - Evolução do estado do plástico ao longo das zonas do fuso [13]

Unidade de controlo

A unidade de controlo é responsável por assegurar a monitorização e controlo das diversas variáveis do processo, através da interface com o operador e as comunicações com sistemas de informação. Permite ainda controlar electroválvulas que possibilitam a realização de movimentos no molde a partir de atuadores hidráulicos ou pneumáticos.

Unidade de fecho

O plástico é injetado dentro do molde sob alta pressão. Esta pressão gera uma força sobre as faces do sistema de impressão do molde que pode muito facilmente abrir o molde durante a injeção. Para contrariar a força devido à pressão de injeção e pressurização é aplicada uma carga no prato móvel da máquina para contrariar a força resultante da pressão de injeção. A força de fecho máxima da máquina de injeção é normalmente especificado em toneladas força.

2.2.3. Molde para injeção de plásticos

O molde é uma ferramenta que permite a obtenção de peças plásticas, podendo também ser visto como um sistema funcional da máquina de injeção. Independentemente da complexidade da peça moldada o molde deve satisfazer as seguintes funções primárias [11]:

- Conter o polímero fundido dentro do espaço formado pelos elementos moldantes, replicando a forma da peça pretendida;
- Garantir a transferência térmica do fundido injetado através das paredes do molde, permitindo uma produção uniforme e económica;
- Efetuar a extração da peça injetada do molde.

Uma descrição detalhada do molde permite a sua descaracterização nos seguintes sistemas funcionais [5]:

- Sistema de impressão;
- Sistema de alimentação;
- Sistema de controlo de temperatura;
- Sistema de escape de gases;
- Sistema de extração;
- Sistema de guiamento e travamento.

O projeto da peça plástica é de extrema importância para a conceção e desempenho do molde. O conceito de *design for manufacturing* é fundamental no projeto de peças plásticas, e este é normalmente revisto quando se inicia o projeto da ferramenta. Durante todo o desenvolvimento do molde este conceito deve ser utilizado juntamente com o *design for assembly*, para evitar custos desnecessários de maquinação e reduzir os tempos de montagem a utilização deste tipo de projeto têm impacto também na utilização e manutenção dos moldes em produção.

2.2.3.1. Sistema de impressão

O sistema de impressão é o espaço definido pela conjugação entre os elementos moldantes (cavidade, bucha, posições, elementos moveis e balances ...) que permite a criação de um volume que é preenchido pelo fundido durante a injeção. As geometrias dos componentes moldantes têm a geometria inversa da zona que irão moldar. Uma das metodologias recomendadas para o projeto do sistema de impressão é [11]:

- 1- Seleção da posição de desmoldação;
- 2- Análise geométrica da peça plástica;
- 3- Aplicação do fator de correção da contração;
- 4- Criação de linhas de partição;
- 5- Criação de superfícies de partição;
- 6- Criação de zonas moldantes.

Seleção da posição de desmoldação

A seleção da posição de desmoldação é a primeira fase do projeto do molde, as escolhas feitas nesta fase têm um forte impacto sobre todos os sistemas funcionais do molde. A eleição da posição de desmoldação deve ter em conta os seguintes aspetos [11]:

- A peça deve ser posicionada de tal modo que a maior parte das forças de compressão existentes durante a injeção estejam alinhadas com o sentido de desmoldação, ou seja com a força de fecho da máquina de injeção, evitando o aumento das dimensões do molde para suportar as pressões de injeção;
- O posicionamento da peça deve minimizar a existência de zonas negativas que não permitam a desmoldação da peça, apenas com a abertura do molde e com uma extração que se mova no sentido de desmoldação.

Análise geométrica da peça

A análise geométrica da peça nesta fase permite a identificação de lacunas do projeto de peças plásticas e por outro lado a adaptação/verificação desta para o processo de moldação por injeção. A verificação geométrica deve ter em conta os seguintes aspetos [9], [11]:

- Dimensões máximas da peça;
- Volume e massa da peça;
- Perfil de espessuras da peça/ espessura média da peça;
- Análise de raios/ arestas vivas;
- Leitura do desenho 2D da peça a moldar (tolerâncias, material a moldar, acabamento superficial, requisitos do produto);
- Análise de ângulos de desmoldação versus material a injetar e acabamento superficial;
- Identificação de zonas com contra saída.

Fator de compensação de contração

Devido às diferenças entre as temperaturas e pressões a que o fundido está sujeito durante o processo de injeção relativamente à temperatura e pressão ambiente, ocorre variação do volume específico do material, traduzindo-se em contrações da peça.

Conforme ilustrado na Figura 12 durante a fase de plastificação, a temperatura do fundido é incrementada até à temperatura de processamento, provocando aumento do volume específico. Durante o enchimento a temperatura sofre ligeiras variações, mas as pressões são aumentados de forma muito significativa causando diminuição do volume específico. Na fase seguinte (pressurização) o material arrefece, podendo também ocorrer variações de pressões originando redução do volume específico. No arrefecimento não ocorre entrada do material para dentro do sistema de impressão, diminuindo a pressão, temperatura e volume específico. Posteriormente à fase de arrefecimento a peça é extraída ocorrendo o alívio de tensões e a peça arrefece até a temperatura ambiente. Na Figura 12 pode-se observar que o volume específico no final do arrefecimento é $0.97 \text{ cm}^3/\text{g}$ e o volume específico à temperatura e pressão ambiente é de $0.955 \text{ cm}^3/\text{g}$, fazendo com que a sua variação seja de $-0.015 \text{ cm}^3/\text{g}$, esta variação irá originar uma contração volumétrica e consequentemente linear [11].

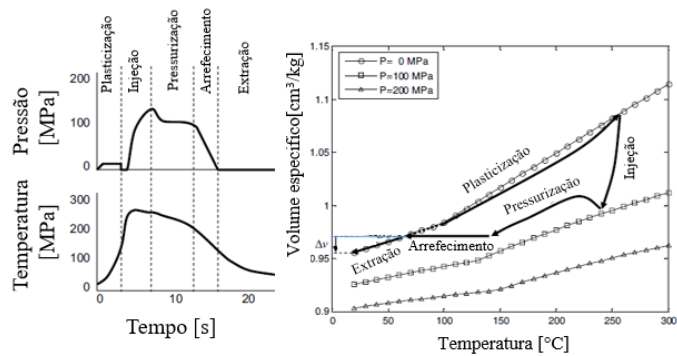


Figura 12- PvT durante o ciclo de injeção do ABS [11]

Analisando os gráficos PvT percebe-se que os parâmetros do processo de MI têm um forte impacto na contração final das peças plásticas. Na Figura 13 pode-se observar o efeito de alguns dos parâmetros da MI e da espessura da peça na contração.

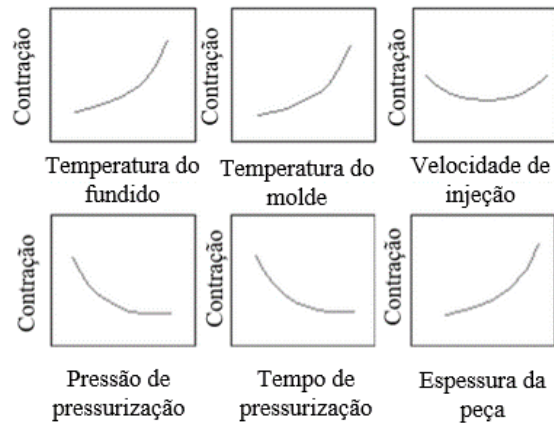


Figura 13 - Efeito de parâmetros da MI e da espessura da peça na contração [16]

Para além do impacto que as variações de temperatura e pressão têm na contração das peças, as tensões térmicas, tensões residuais da injeção e da pressurização, grau de cristalinidade, taxas de arrefecimento e orientação da frente de fluxo durante a injeção dos materiais também afetam as contrações volumétricas[6].

Alguns materiais polímeros carregados com fibras de vidro, apresentam contrações anisotrópicas dependentes da direção do fluxo. Em materiais que não são carregados com fibras verifica-se que as moléculas do polímero são parcialmente orientadas e estiradas no sentido do fluxo. As moléculas tendem a relaxar a partir desta condição, originando

maiores contrações na direção do fluxo comparativamente às contrações transversais [16].

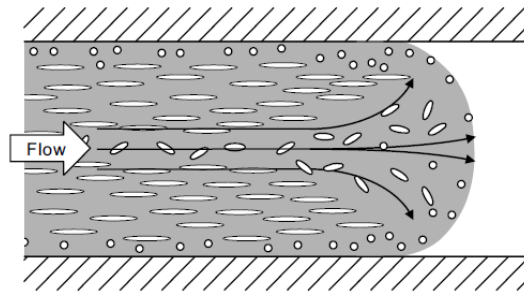


Figura 14 - Orientação molecular na direção do fluxo [11]

Nos materiais carregados com fibras, por exemplo com fibra de vidro, devido a este ter um coeficiente de expansão térmica baixo comparativamente aos materiais termoplásticos e as fibras tenderem a ficar alinhadas junto à superfície do molde com a direção do fluxo, a peça injetada tendencialmente tem uma contração menor na direção do fluxo do que nas outras direções [16].

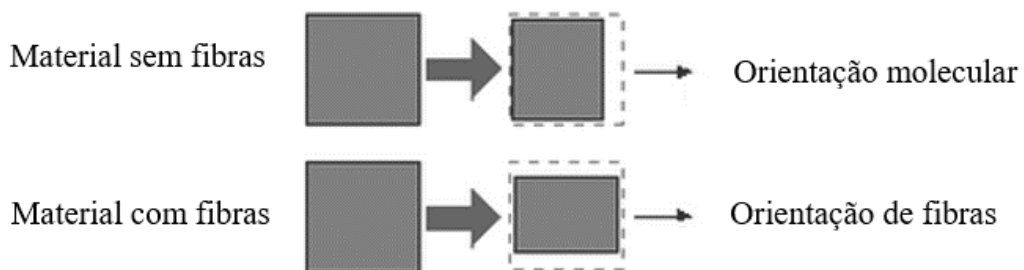


Figura 15- Efeito da orientação do fluxo em materiais com e sem fibras [11]

Linhas de partição

A linha de partição (junta do molde) é formada onde os componentes moldantes se encontram entre si e a peça moldada (Figura 16). Estas linhas originam a presença de uma

marca (junta) mais ou menos suave na peça moldada. O projeto do molde é uma etapa decisiva para a simplificação e otimização dos processos e tarefas que irão influenciar o aspecto da junta do molde. A aparência desta linha depende da precisão de maquinação, ajustamento, montagem, travamento e centramento do molde.

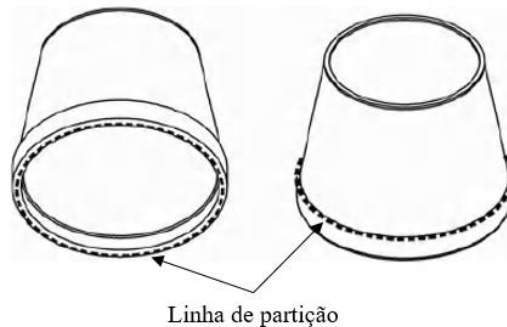


Figura 16 - Linha de partição [11]

Durante a definição das linhas de partição devem se ter em conta os seguintes fatores:

- A linha de partição deve ficar o mais possível afastada de zonas visíveis;
- As zonas das peças que vão desempenhar funções de guiamento no produto não devem conter linhas de partição;
- As linhas de partição devem ser constituídas por formas simples para facilitar o ajustamento do molde;
- Caso seja manifestamente benéfico para a qualidade da linha de junta deve-se analisar a possibilidade de efetuar pequenas alterações ao produto para que se consiga garantir um bom ajustamento da linha de partição (Figura 17).

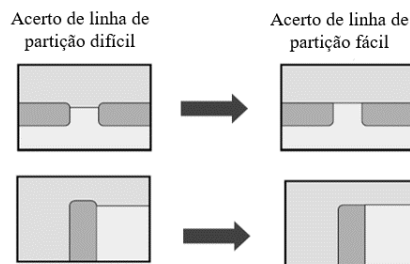


Figura 17 - Simplificação de linhas/ superfícies de partição [17]

Se a geometria da peça (Figura 18) não permitir que as linhas de partição sejam complanares deve-se procurar que as mudanças de direção sejam o mais suave possível e preferencialmente definidas por segmentos de reta com um raio na sua interseção. Dando

posteriormente origem a superfícies planas que podem ser ajustadas com o uso de retificadoras planas.



Figura 18 - Linha de partição não planar [11]

Superfícies de partição

As superfícies de partição (Figura 19) são criadas a partir das linhas de partição. As superfícies de partição irão formar uma “casca” em volta das linhas de junta, estas em conjunto com a peça definem a geometria dos elementos moldantes. As superfícies de partição podem ser divididas em internas e externas.

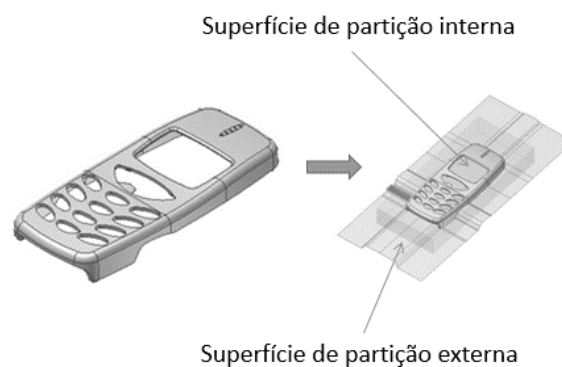


Figura 19 - Superfícies de partição [18]

Sempre que possível as superfícies de partição devem ser a continuidade de uma das faces da peça. As superfícies de ajustamento não devem ser paralelas à direção de abertura dos elementos (Figura 20), para evitar que ocorra o deslizamento ou colisão da bucha sobre a cavidade.

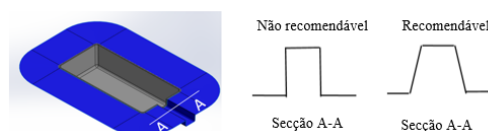


Figura 20 - Ângulos de ajustamento em linhas de partição

Blocos moldantes

Os elementos moldantes são criados a partir de um bloco que é dividido pela junção da peça com as superfícies de partição, dando origem à cavidade e bucha. A cavidade é a zona normalmente visível da peça e que apresenta menos restrições à extração da peça, pertence habitualmente ao lado fixo do molde. A bucha normalmente pertence ao lado móvel do molde, e uma vez que tem mais restrições à extração da peça, faz com que esta se mova solidariamente com ela a quando da abertura do molde. Os elementos moldantes devem ser suficientemente grandes para permitir [11]:

- Moldar a peça pretendida;
- Suportar as forças resultantes da pressão de injeção;
- Conter o sistema de injeção;
- Conter os circuitos de arrefecimento (sistema de controlo de temperatura);
- Extratores (sistema de extração);
- Parafusos de fixação entre outros.

Porem o sobredimensionamento dos elementos moldantes tem graves implicações económicas no custo do molde e das peças moldadas. A dimensão da altura dos elementos moldantes é muitas vezes determinado pelos seguintes requisitos:

- A altura deve ser suficientemente alta para que se consiga projetar com segurança um furo de refrigeração que diste da cavidade o suficiente para que se consiga uma homogeneização térmica da peça durante o arrefecimento;
- As dimensões máximas dos elementos moldantes devem de se aproximar das medidas normalizadas do fornecedor da matéria-prima a fim de evitar desperdícios;
- Em buchas com uma elevada razão de aspecto deve-se garantir que as peças fiquem suficientemente encastradas na estrutura do molde para evitar a deformação destas quando sujeitas à pressão de injeção.

2.2.3.2. Sistema de guiamento e travamento

O sistema de guiamento é responsável por garantir o correto alinhamento do molde, conferindo-lhe uma elevada fiabilidade durante a produção de peças plásticas. Os sistemas de guiamento dividem-se nos subsistemas de guiamento entre o molde e a máquina de injeção e o guiamento interno do molde[5].

O guiamento entre o molde e a máquina de injeção é feito utilizando anéis de centragem nas chapas de aperto do molde aos pratos da máquina de injeção, usando-se entre os componentes de guiamento tolerâncias de deslize [5].

Os sistemas de guiamento interno do molde são tipicamente feitos à custa de guias e casquilhos normalizados aplicados nas várias chapas do molde (Figura 21). Entre o componente e a chapa utilizam-se tolerâncias de aperto, e entre as guias e casquilhos tolerâncias de deslize. O guiamento interno do molde divide-se em [5]:

- Guiamento entre a parte fixa e móvel;
- Guiamento do sistema de extração;
- Centramento entre as várias chapas do molde.



Figura 21 - Guias e casquilhos

O travamento é normalmente feito à custa de blocos de travamento (Figura 22), que procuram garantir que não irá ocorrer deformações no molde, quando este for sujeito às pressões de injeção, para além de também garantirem o correto alinhamento dos vários componentes.

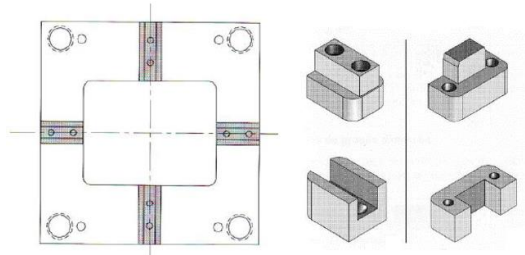


Figura 22 - Blocos de travamento

2.2.3.3. Sistema de alimentação

Os sistemas de alimentação têm como objetivo transportar o fundido desde o bico da injetora até às cavidades do molde, tendo o menor impacto sobre as propriedades do fundido, minimizando os consumos energéticos e os desperdícios. Os sistemas de alimentação podem ser divididos em [11]:

- Canais frios (sem sistema de aquecimento nos canais de alimentação);
- Canais quentes (com sistema de aquecimento e controle de temperatura nos canais de alimentação).

O sistema de alimentação pode ser constituído por canais quentes (que conduzem o fundido desde o bico da máquina de injeção até ao plano de partição) e por canais frios que conduzem o material desde a ponteira do bico aquecido até à peça [5].

Canais Frios

Nos casos em que o sistema de alimentação é constituído por canais frios (Figura 23), o canal que leva o material desde o bico da injetora até ao plano de partição é o gito, aos canais que fazem a distribuição no plano de partição são os alimentadores, e o que transporta o material desde os alimentadores até á peça de ataque[5].

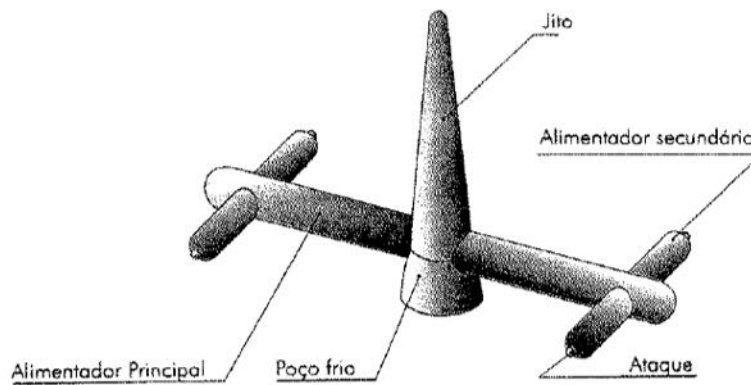


Figura 23- Sistema de alimentação de canais frios [5]

O diâmetro mínimo dos canais frios devem ser pelo menos 1,5 vezes a espessura geral da peça, garantindo que a solidificação deste ocorre posteriormente à solidificação da peça permitindo boas condições de pressurização. Na interseções entre os diversos ramos dos canais frios (Figura 24) devem-se criar poços frios, para alojar eventuais zonas frias do plástico formadas junto ao injetores, com um comprimento de 1,5 vezes o diâmetro do canal frio [19].

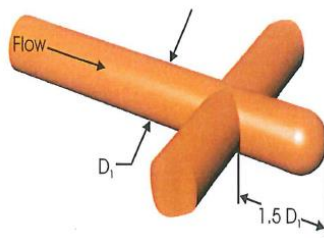


Figura 24 - Dimensionamento de poços frios [19]

O projeto dos sistemas de alimentação de canais frios devem cumprir os seguintes requisitos [19]:

- O enchimento da cavidade deve ser feito com o mínimo de linhas de orientação;
- Deve existir o mínimo de restrições ao fluxo possível;
- A incidência do peso do canal no peso total deve ser mínima;
- A extração do canal deve ser fácil;
- A aparência da peça não deve ser afetada pela geometria do canal;
- O comprimento dos canais deve ser o mínimo possível;

- A secção dos canais deve permitir que estas solidifiquem um pouco mais tarde que a(s) peça(s);
- O enchimento e o arrefecimento dos canais devem ter um efeito mínimo no ciclo de moldação;
- A localização dos ataques deve ser feita nas secções mais espessas;
- A localização e o desenho das injeções devem ser feitos de modo a prevenir o efeito de jato.

Canais quentes

Os canais quentes (Figura 25) são sistemas que no seu interior têm orifícios que permitem a passagem do fundido desde o bico da injetora até ao sistema de impressão ou canais frios. A homogeneidade térmica do sistema de alimentação é conseguido através de resistências que fornecem energia na forma calorífica e sensores de temperatura que permitem a sua monitorização.

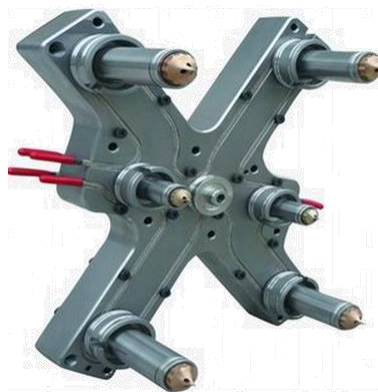


Figura 25 - Sistema de alimentação de canais quentes [20]

No molde devem ser abertas caixas que permitam a passagem dos fios das resistências e dos sensores até ao topo do molde. Os alojamentos devem ter raios em todas as arestas e devem ser suficientemente largos para que consigam acomodar os fios sem dano. No topo do molde são instaladas fichas elétricas e efetuadas as respetivas ligações de acordo com as especificações de máquina. A quando da montagem do molde na máquina de injeção as fichas elétricas são ligadas através de cablagem própria a um sistema de

controlo de temperatura. O controlo de temperatura é efetuado através de termorreguladores (Figura 26). Nestes aparelhos é indicada a temperatura pretendida nas diversas zonas dos canais quentes, e este automaticamente regula a potência ao longo do tempo para que se atinja e mantenha a temperatura pretendida [21], [22] .



Figura 26 - Termorreguladores de canais quentes [23]

Os sistemas de canais quentes podem ser divididos quanto à localização das resistências relativamente ao fluxo do material, existindo sistemas de aquecimento interno e de aquecimento externo.

Nos sistemas de aquecimento interno é colocada uma resistência no centro de um furo e o material flui entre a resistência e o furo, a utilização destes sistemas é residual, só podem ser injetados materiais fáceis de injetar e pouco sensíveis a taxas de corte e tensões.

Nos sistemas de aquecimento externo é colocada uma resistência anelar no exterior de um casquilho e o fluxo do material ocorre no furo central. A esmagadora maioria dos sistemas de canais quentes utilizados é deste tipo e possibilita a injeção de todos os materiais que são possíveis de injetar em canais quentes. Na Tabela 4 é feito um comparativo de vantagens e desvantagens dos dois tipos de aquecimento de canais quentes [21].

Tabela 4- Comparativo dos sistemas de canais quentes de aquecimento interno e externo [19]

Tipo de aquecimento	Vantagens	Desvantagens
Aquecimento interno	Bom isolamento; Redução de espaço ocupado;	Perdas de pressão elevada; Taxas de corte e tensões elevadas; Mudança de cor difícil e degradação do material;
Aquecimento externo	Perdas de pressão reduzidas; Tensões baixas; Mudança de cor relativamente rápida; Pouca ou inexistente degradação do material;	Menor isolamento; Maior espaço ocupado;

Aos sistemas de canais quentes pode ser juntado um sistema valvulado (Figura 27), adicionando a possibilidade de controlar o fluxo de material plástico. Isto é conseguido com a colocação de uma válvula no interior do bico que tem por função abrir e fechar a passagem do material plástico pelo orifício da injeção. Os sistemas de acionamento mais utilizados são os hidráulicos ou pneumáticos, embora os sistemas elétricos estejam a ganhar cota de mercado [21][24].

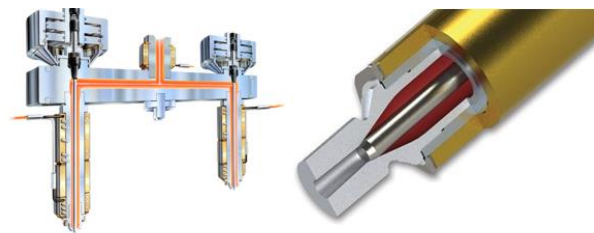


Figura 27 - Sistemas de canais quentes valvulados [15], [20]

Os sistemas hidráulicos têm a vantagem do seu tempo de resposta ser mais rápido e a força resultante ser superior, uma vez que tipicamente a pressão do ar comprimido disponível nas instalações fabris é de 8 bar e os cilindros hidráulicos vêm habitualmente preparados para trabalhar até aos 30 bar. Os sistemas pneumáticos têm a vantagem de

serem mais limpos e não existindo a probabilidade de contaminação das peças moldadas com óleo proveniente de fugas do fluido de acionamento dos cilindros.

Nos casos em que os moldes são de múltiplas cavidades e pretende-se o funcionamento simultâneo, é necessário efetuar um correto dimensionamento dos circuitos que alimentam as entradas e saídas do fluido que acionam o movimento das válvulas, para que as perdas de carga sejam iguais em todos os ramos dos circuitos. Uma alternativa à utilização de cilindros individuais para cada válvula é a utilização de uma chapa em que se alojam todas as válvulas (Figura 28), reduzindo assim o número de cilindros necessários e garantindo a simultaneidade de movimento entre todas as válvulas [21].



Figura 28 - Chapa de acionamento de válvulas [23]

Os cilindros acionados por motores elétricos têm vindo a ganhar espaço no mercado, por serem sistemas limpos tal como os pneumáticos e os tempos de resposta serem mais rápidos que estes. Estes sistemas possibilitam a regulação dinâmica da posição da válvula ao longo do enchimento, conseguindo regular desta forma as velocidades das frentes de fluxo (balanceamento e eliminação de defeitos).

Os consumos energéticos destes sistemas são menores que nos sistemas hidráulicos e pneumáticos. A sua grande desvantagem está relacionada com os custos [15], [24]. A utilização de sistemas valvulados permite a utilização de injeção sequencial (Figura 29). Esta metodologia de injeção possibilita a abertura e fecho dos bicos de injeção ao longo do tempo, apresentando como grande vantagem a eliminação de linhas de soldadura e a redução de marcas de injeção [19].

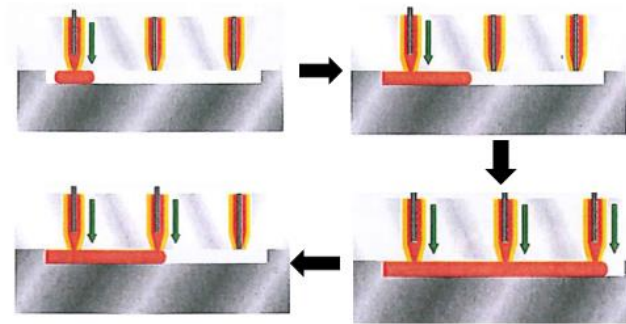


Figura 29 - Injeção sequencial com sistemas valvulados [19]

2.2.3.4. Sistema de escapes de gás

O sistema de escape de gás tem a função de expelir o ar que se encontra dentro das cavidades e os gases voláteis que se formam durante a injeção. A ineficiência deste sistema provoca aumentos de pressão dentro da cavidade, queimados nas peças plásticas e contrações irregulares ao longo da peça. Este sistema consiste em canais suficientemente grandes junto às linhas de partição que permitam o escape do ar mas que não permitam a penetração do fundido no sistema. Caso existam zonas no interior da peça que necessitam de um sistema de extração de gases pode-se recorrer à utilização de postigos (Figura 30) para se projetarem canais para a extração de gases [5] [25].

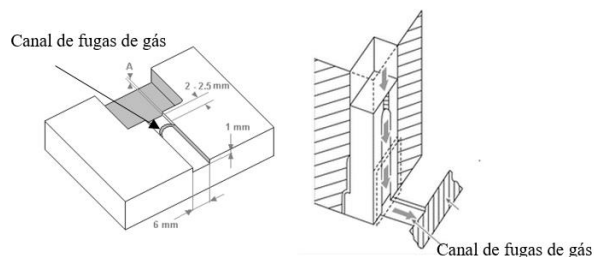


Figura 30 - Canais de fugas de gás

Uma alternativa que permite a libertação de gases é a utilização de aço poroso como por exemplo o Porcerax II. Este material devido à sua porosidade possibilita a passagem de ar. Esta solução afeta o acabamento superficial, sendo por este motivo utilizado em partes do sistema de impressão que irão moldar zonas não visíveis da peça plástica. Um exemplo

da sua aplicação é nas grelhas de colunas de som conforme ilustrado na Figura 31 [5], [26].

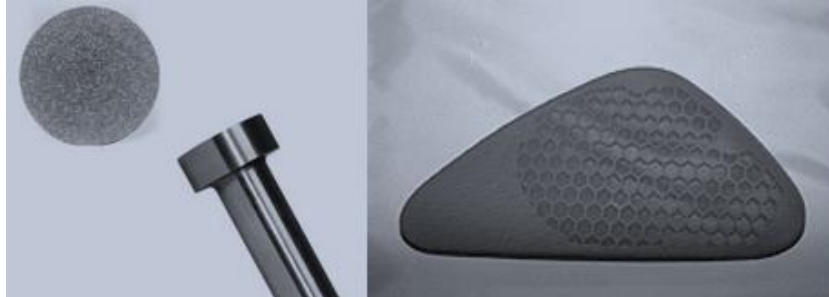


Figura 31 - Grelha de som com utilização de aço poroso [26]

Atualmente existem soluções no mercado que permitem a formação de vácuo no sistema de impressão, podendo o extração de gases estar ou não ativa durante a injeção. Esta solução permite a eliminação de defeitos devido à eliminação de gases e a redução da pressão máxima de injeção [27].

2.2.3.5. Sistema de controlo de temperatura

O sistema de controlo de temperatura, também denominado de sistema de arrefecimento, é responsável por garantir a temperatura uniforme do molde e o arrefecimento homogéneo do termoplástico até à temperatura de extração. No entanto, em alguns casos este sistema também pode ser utilizado para aquecer o molde [5].

Na grande maioria dos moldes o controlo de temperatura é feito através dos seguintes fluidos:

- Água, tipicamente até 100°C (podendo exceder este valor se pressurizada);
- Óleo, para temperaturas acima de 100 °C;
- Ar.

Em alguns casos podem ser utilizadas resistências elétricas ou utilizadas fontes externas de calor, nomeadamente em sistemas de aquecimento e arrefecimento rápido através de sistemas vário-térmicos [11].

O sistema de controlo de temperatura é feito com furos nos elementos moldantes e na estrutura do molde de modo a permitir a circulação do fluido que transporta a energia calorífica. Os sistemas de controlo de temperatura podem ser feitos através de diversas arquiteturas. Na Figura 32 está descrita uma arquitetura utilizada para refrigerar as paredes laterais de caixas.[5].

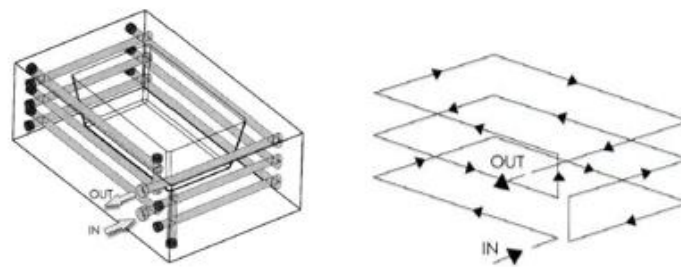


Figura 32 - Canais de um sistema de controlo de temperatura [5]

Em alguns casos pode-se recorrer à utilização de ar em zonas muito localizadas ou difíceis de refrigerar com outros sistemas. A refrigeração com ar de elementos moldantes é utilizada em zonas críticas e onde os outros métodos /estratégias não são exequíveis. A refrigeração com ar é tipicamente utilizada na fase de abertura do molde, onde este é injetado através de um dispositivo sobre a zona crítica. Este sistema apresenta uma baixa eficiência e pode originar a redução da estabilidade do processo de injeção. Uma outra aplicação é a utilização em pernos de reduzida dimensão (Figura 33), porém a sua eficiência é menor do que outras soluções (pinos térmicos ou pernos de elevada condutibilidade) [11].

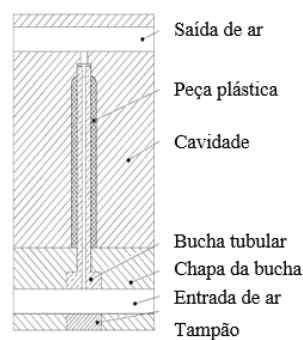


Figura 33 - Sistema de controlo de temperatura com ar [11]

A eficiência dos circuitos de refrigeração é maior quando os circuitos do sistema de controlo de temperatura acompanham o perfil da peça moldada. Nos casos em que os processos convencionais não permitem o tempo de ciclo desejado, ou não se traduzem na qualidade desejada das peças plásticas, a utilização de canais conformáveis (Figura 34) pode ser uma solução. No entanto os seus custos são relativamente elevados. Contudo, a utilização desta arquitetura potencia a redução do tempo de ciclo, atingindo-se ganhos económicos significativos uma vez que os moldes de injeção são tipicamente utilizados para produções cima de 100 000 peças podendo ultrapassar os milhões [11].

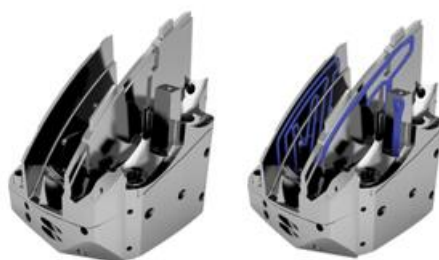


Figura 34 - Canais conformáveis para peça da indústria automóvel [28]

A transferência de calor da peça injetada para o molde depende fortemente da condutibilidade dos componentes do molde. Em casos onde a complexidade geométrica da peça ou do molde não permite a criação de circuitos de refrigeração devidamente próximos da zona moldante pode-se recorrer ao uso de ligas de cobre de alta condutibilidade térmica para garantir o arrefecimento homogéneos e reduções do tempo de ciclo.

Os sistemas apresentados anteriormente são adequados para a maioria das peças. No entanto, existem algumas aplicações em que a utilização de modelos convencionais de refrigeração não é aceitável devido à formação de uma camada solidificada excessiva, originando diferenças de temperatura que originam diferenças de brilho ou linhas de soldadura de baixa qualidade. Exemplos destes produtos são as lentes, molduras de televisões e dispositivos óticos. Para reduzir a probabilidade dos defeitos descritos anteriormente pode-se fazer uso de sistemas vario-térmicos, promovendo o aquecimento da ferramenta durante a fase de injeção e posteriormente arrefecer rapidamente o molde. A variação das temperaturas da ferramenta ao longo do ciclo de moldação permitem

melhorar a qualidade das peças. A desvantagem da utilização destes sistemas são a diminuição da cadência de produção, o incremento de custos no fabrico do molde e dos equipamentos. Estes sistemas de controlo de temperatura dividem-se em dois grupos [29]:

- Aquecimento de volume - Neste tipo de sistema o aquecimento é feito através de sistemas/canais no interior do molde, promovendo as variações térmicas através de vapor de água, óleo, resistências elétricas e azoto;
- Aquecimento de superfície - O aquecimento é feito por sistemas que promovem o aquecimento localizado da superfície moldante com luzes infravermelhas ou sistemas eletromagnéticos de indução.

2.2.3.6. Sistema de extração

Posteriormente à injeção, pressurização e arrefecimento do plástico até à temperatura de extração, ocorre a abertura do molde. Neste momento a peça irá mover-se solidariamente com o lado que apresente uma maior adesão às superfícies do molde. A adesão é devida à contração, contra saídas e coeficiente de atrito entre o material plástico e o material dos componentes do sistema de impressão. A peça tipicamente move-se solidariamente com a bucha, sendo necessário posteriormente extrair a peça da parte do molde onde ela ficou durante a abertura deste. A complexidade do sistema de extração depende essencialmente da geometria da peça injetada. O sistema de extração é, normalmente, atuado pela máquina de moldação por injeção através de um movimento linear acionado pelo cilindro de extração da máquina. Alternativamente pode ser usado um sistema hidráulico ou pneumático, existindo alguns casos em que a extração é feita unicamente com o auxílio de robot. Os componentes mais utilizados no sistema de extração são os extratores. Estes extratores podem ser divididos segundo as seguintes tipologias [5][11]

(Figura 35):

- Extrator cilíndrico (a);
- Extrator respigado ou rebaixado (b);
- Extrator laminar (c);
- Extrator tubular (d)



Figura 35 - Tipos de extratores [30]

Elementos móveis

O mecanismo de desmoldação dos elementos móveis (Figura 36) é provavelmente o mecanismo mais regularmente utilizado para desmoldar zonas geometricamente negativas em relação ao plano de abertura do molde. O elemento móvel deve deslocar-se sob uma barra de deslize, de modo a evitar o desgaste da estrutura e deve ser escolhido um material que proporcione um coeficiente de atrito menor, podendo-se optar pela aplicação de materiais grafitados e assim evitar a necessidade de lubrificação. O guiamento do elemento móvel pode ser realizado através de guias laterais, que se encontram nas partes laterais do elemento móvel, devidamente ajustados de modo a evitar qualquer deslocação lateral ou empeno durante a abertura ou fecho do molde. O elemento móvel é travado através de um bloco de encosto que permite fazer o seu ajuste quando o molde se encontra fechado e impede que exista algum deslocamento provocado pela força de injeção.

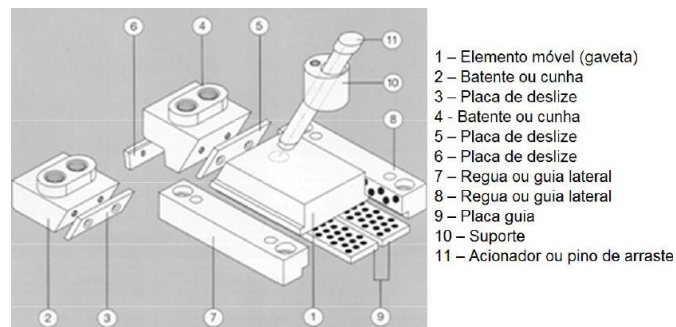


Figura 36 - Vista explodida do mecanismo de elementos móveis [30]

Na Figura 37 é possível observar em corte o mecanismo de um elemento móvel, onde a linha de abertura do molde separa o lado fixo do lado móvel, e a guia inclinada encontra-se solidária com a parte fixa. Aquando da abertura do molde o elemento móvel é forçado a deslocar-se o curso M. Neste tipo de mecanismo quanto maior for o ângulo da guia inclinada maior será o esforço a que ela irá estar sujeita, o ângulo habitual de trabalho é de 18°.

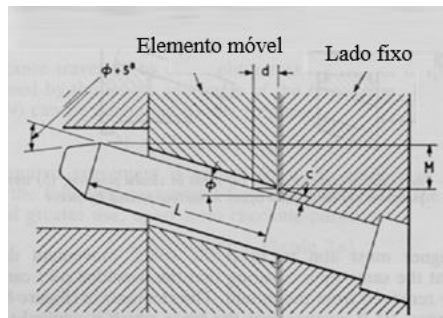


Figura 37 - Secção do mecanismo de elemento móvel [31]

Mecanismos em cunha

Os mecanismos em cunha (Figura 38) permitem a transformação de movimentos lineares em outro movimento, também linear, mas segundo outra direção. Este é um tipo de mecanismo vulgarmente usado nos moldes para moldar zonas negativas angulares, tendo ainda a vantagem de permitir suportar as elevadas pressões de injeção o que não seria possível caso o movimento fosse atuado diretamente sobre um cilindro hidráulico.

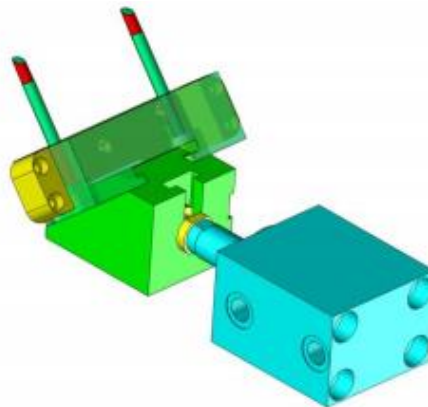


Figura 38 - Mecanismo em cunha

Buchas colapsáveis

Por vezes surgem peças que apresentam geometria interior com zonas negativas em relação ao sentido de desmoldação do molde, como por exemplo no caso de roscas interiores. Nestes casos uma das soluções possíveis é recorrer ao uso de sistemas de buchas colapsáveis,

contudo estes, em relação aos sistemas de desenroscamento, têm a desvantagem de criar marcas de juntas nas roscas.

As soluções disponíveis no mercado permitem a desmoldação por ação de sistemas baseados em cunhas ou com a utilização de aço mola. As soluções com recurso a aço mola são mais baratas, tendo no entanto a desvantagem de ocorrer diminuição da constante elástica do material ao longo do tempo, o que faz diminuir a fiabilidade do mecanismo. Estes sistemas encontram-se disponíveis no mercado e são comercializados por diversas marcas tais como a Hasco, Cumsa, Progressive e D.M.E. entre outras.

Na Figura 39 pode-se observar um sistema de buchas colapsáveis. Neste sistema as cunhas estão fixas a uma chapa fixa (A) e os postiços flutuantes, que deslizam sobre as cunhas estão solidários com uma chapa móvel (B), aquando do movimento da chapa móvel e devido ao constrangimento dos guiamentos dos vários postiços estes irão se aproximar entre si fazendo com que as zonas negativas possam ser extraídas.

O ângulo formado entre os postiços do tipo 2 com a cunha é diferente daquele que é formado entre o postigo 3 e a cunha permitindo que estes se aproximem do centro sem colidirem, e assim libertarem o espaço suficiente para que a peça possa ser extraída.

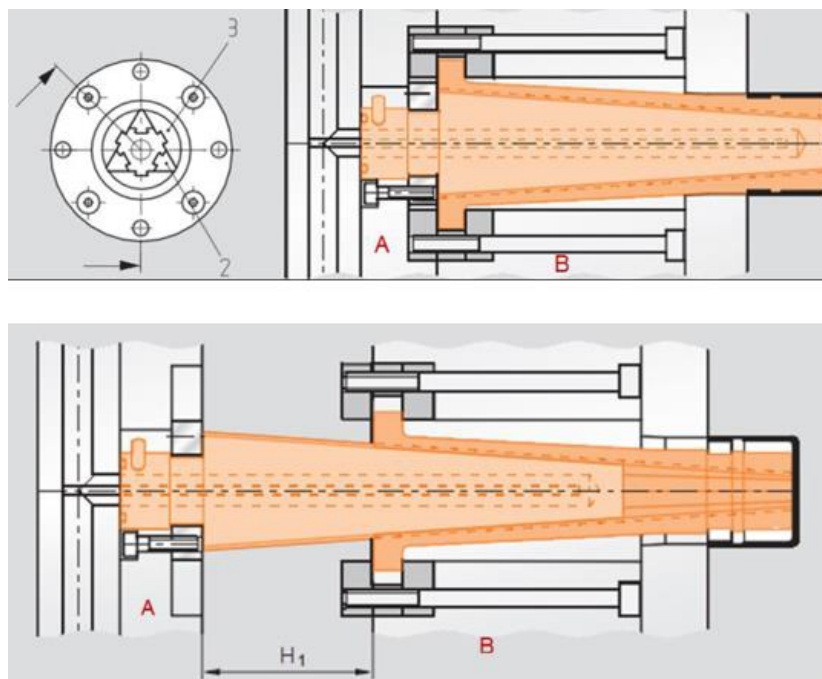


Figura 39 - Mecanismo de buchas colapsáveis [30]

2.3. Moldação por sopro

A moldação por sopro (MS) é um termo coletivo para o fabrico de produtos termoplásticos ocos, segundo o qual uma pré-forma é soprada para a sua forma desejada num molde de sopro. Os moldes de sopro têm a sua origem na indústria do vidro. Ferngren e Kopitke produziram a primeira máquina de moldagem por sopro e que foi usada pela Hartford Empire Company em 1938, dando início ao processo comercial de moldagem por sopro. A partir dos anos 40 verificou-se a evolução da tecnologia, tendo esta sido usada inicialmente para substituir o vidro em muitas aplicações (pelo facto do vidro ser quebradiço). Atualmente esta indústria apresenta-se num estado maduro, apresentando várias soluções de processabilidade, sendo que a grande maioria dos TPs são possíveis de processar através desta tecnologia. As principais vantagens da moldação por sopro são:

- Produção de peças ocas;
- Baixo custo de ferramentas;
- Material para as ferramentas são mais baratos que na MI devido às pressões serem mais baixas;
- Cadência produtiva superior à rotomoldação;
- Produção de peças com boa resistência ao impacto.

As principais desvantagens da MS são a dificuldade em controlar a espessura das peças moldadas e o desperdício de material em alguns processos, embora este possa ser reutilizável [10].

Os processos de MS podem ser classificadas quanto ao número de fases em [10]:

- Processo de uma fase: Criação de um pré-molde e transportá-lo enquanto ainda está quente para o molde de sopro;
- Processo de duas fases: Aquecer uma pré-forma feita anteriormente, fria, e transportá-lo para o molde de sopro.

O processo de uma fase implica o aumento dos consumos energéticos ao nível do processamento, tendo a vantagem de redução de custos de transporte, uma vez que as pré-formas ocupam menos volume que o produto acabado. Assim, este processo possibilita que seja transportado até grandes centros neste estado e só posteriormente seja feita a

insuflação, reduzindo os custos de transporte. No processo de duas fases a pré-forma é tipicamente obtida por extrusão, por MI, ou por moldação por mergulho. Os moldes de sopro usados nos processos de uma fase ou de duas fases são idênticos [32].

2.3.1. Moldação por sopro e extrusão

Na MS com extrusão, uma pré-forma tubular (forma preliminar) é colocada no molde de sopro, sendo injetado ar no seu interior para que se realize a insuflação da pré-forma, obtendo-se assim o produto acabado. A pré-forma pode ser obtida por um processo de extrusão contínua ou intermitente [33].

Na extrusão contínua, a forma preliminar é realizada pelo próprio molde de sopro sendo este responsável por fazer o corte da pré-forma extrudida. Alternativamente o corte pode ser feito por um robot, que posteriormente a transporta para o molde de sopro. A utilização de robots permite a utilização de vários moldes e uma única extrusora. O método de extrusão contínua é limitado pela fluidez do fundido, comprimento da pré-forma e os tempos de ciclo necessários, e apesar das suas limitações é possível moldar peças até 100 l de volume [32].

Na MS com extrusão intermitente, a extrusora funciona continuamente, mas a massa fundida é armazenada no acumulador de êmbolo tubular (Figura 40), que é aberto quando se pretende processar a pré-forma. A existência do acumulador permite ultrapassar as limitações do processo de sopro, moldando peças desde as 500g até aos 250 kg, com volumes que podem chegar aos 1000 l. A produção de tanques de combustível e barris são alguns dos exemplos de produtos obtidos com esta tecnologia [33].

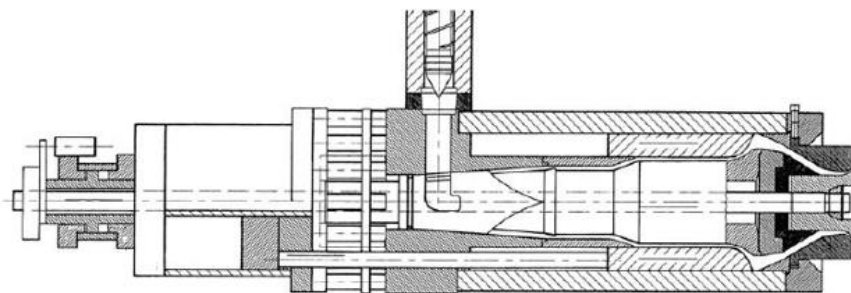


Figura 40 - Acumulador de êmbolo tubular [10]

2.3.2. Moldação por injeção e sopro

A moldação por injeção e sopro combina os processos de moldação por injeção com a moldação por sopro (Figura 48). O processo tipicamente consiste em três estágios, injeção da pré-forma, insuflação e extração. As máquinas mais utilizadas são constituídas por um prato rotativo que habitualmente roda 120° entre cada fase do processo, num plano horizontal. No prato rotativo central são instaladas buchas que se encontram uniformemente espaçadas 120°. No primeiro estágio é injetada a pré-forma através de uma unidade de injeção (semelhante às usadas na MI), horizontal, realizando-se um ciclo de injeção. Assim que a peça apresenta a resistência suficiente para ser extraída, o molde da pré-forma é aberto através do movimento da metade superior, posteriormente, ou simultaneamente, o prato rotativo desloca-se para cima, abrindo caminho para que as buchas possam rodar sem riscos de colisão. De seguida, o prato rotativo roda 120° entrando a bucha com a pré-forma na zona do molde de sopro, e posteriormente o molde é fechado com a pré-forma no seu interior e através do interior da bucha é injetado ar ou outro gás, insuflado a pré-forma contra o sistema de impressão do molde de sopro. Segue-se o arrefecimento do produto. Assim que o produto apresenta a resistência suficiente, o molde de sopro é aberto o prato rotativo volta a mover-se verticalmente, entrando o produto acabado na estação de extração, e onde, tipicamente através de chapas de extração, o produto é expulso das buchas. O processo repete-se ciclicamente. Em alguns casos são utilizadas máquinas de quatro estações, sendo possível obter peças com dois materiais, formando duas camadas de polímero [32].

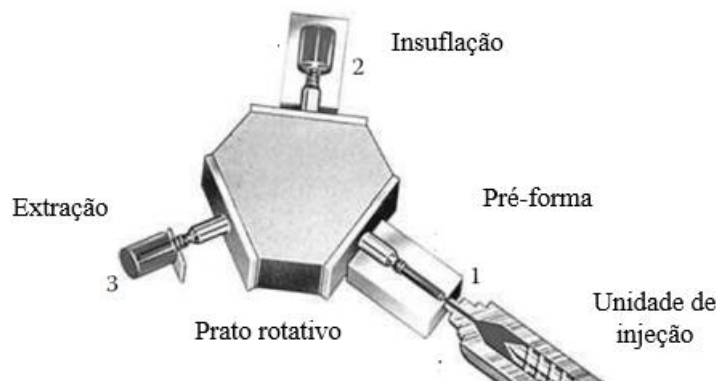


Figura 41 - Moldação por injeção e sopro [32]

O coração de moldagem por sopro de injeção encontra-se na forma da pré-forma. Cada produto deve ter a sua pré-forma específica, e se esta não corresponder ao produto final que se pretende obter, dificilmente se irão obter produtos conformes. Assim, o primeiro passo é a definição da forma do recipiente, sendo que a relação entre o diâmetro do gargalo e o comprimento da pré-forma não deve exceder a relação de 1/12 (isto para evitar a deflexão da pré-forma aquando da insuflação e garantir espessuras uniformes na peça moldada). Em paralelo, a razão entre o diâmetro da pré-forma e o diâmetro final do produto não deve exceder a razão de 2,5/1 para que se consiga garantir uma espessura constante. Valores mais elevados podem ser conseguidos, mas o risco de variações de espessura é incrementado [32].

2.3.1. Moldes de sopro

Os moldes da MS tal como os de MI dependem da geometria da peça e do número de cavidades que se pretendem produzir. Contudo, as pressões utilizadas na moldação por sopro são mais baixas que na injeção fazendo com que os requisitos ao nível dos materiais sejam menores.

Assim, o molde de sopro é constituído pela bucha e por duas metades (lado fixo e lado móvel), que na grande maioria dos casos são simétricas entre si e fixas aos pratos de uma prensa (Figura 49). Estas duas metades formam o sistema de impressão, geometria que irá dar origem às formas pretendidas da peça que se pretende obter. Em cada uma das metades existem sistemas de controlo de temperatura, constituídas por canais onde circula um fluido, tipicamente água, com o objetivo de arrefecer a peça no fim da insuflação. Na junta entre as duas metades e em comunicação com o sistema de impressão são projetados canais para o escape do ar existente entre a pré-forma e o sistema de impressão. A bucha que se encontra fixa ao prato rotativo é responsável por moldar a pré-forma e garantir o transporte da peça entre os diversos estágios [32].

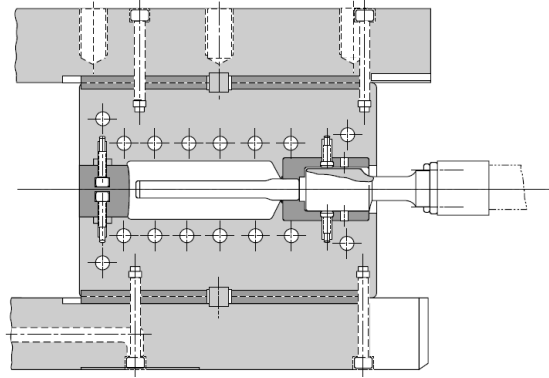


Figura 42 - Molde de sopro de moldação por injeção e sopro

2.4. Moldação por compressão

Os processos de moldação por compressão são utilizados principalmente para o processamento de compostos termoendurecíveis. Estes compostos são processados sobre calor e pressão. As principais indústrias que utilizam a moldação por compressão são a indústria eletrônica e automóvel. As suas grandes vantagens são:

- Produção de peças com elevada resistência;
- Boa resistência química;
- Boa estabilidade dimensional.

Este processo é especialmente vantajoso para peça moldadas de elevadas dimensões e que têm tendência a deformar. Durante o processo de moldação por compressão o composto é aquecido e colocado num molde aquecido (Figura 43). Posteriormente ocorre o fecho do molde forçando a carga colocada a distribuir-se por todo o volume de impressão formado pelas zonas moldantes. De seguida ocorre o endurecimento do composto através de pressão e temperatura. Finalmente o molde é aberto, a peça é extraída e efetua-se a limpeza do molde, estando assim preparado para um novo ciclo [33].

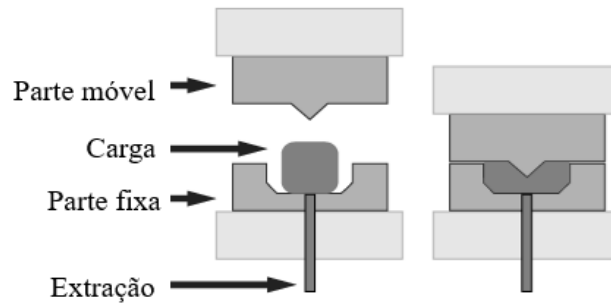


Figura 43 - Molde de compressão

2.5. Termoformação

A tecnologia de termoformação faz uso de uma folha de material plástico formando-a à custa das seguintes fases: aquecimento, moldação e arrefecimento. Esta tecnologia é relativamente barata quando comparada a outros processos nomeadamente a moldação por injeção. As ferramentas necessárias para o fabrico de peças são normalmente pouco complexas e de fabrico rápido, possibilitando a redução de tempos de fabrico. Embora a termoformação esteja normalmente associada ao fabrico de embalagens e copos de café as vantagens desta tecnologia fazem com que ela utilize uma elevada gama de materiais e sirva variadas indústrias. Esta tecnologia continua-se a desenvolver, aumentando a sua aplicabilidade especialmente em peças de elevadas dimensões. As vantagens que a evidenciam são:

- Produção de peças de elevadas dimensões;
- Custos de equipamentos e ferramentas relativamente reduzidos devido ao processo ser feito com pressões relativamente baixas;
- Possibilidade de produzir peças com espessura muito fina;
- Elevadas cadências de produção para peças de espessura fina;
- Processo rentável para pequenas produções devido ao baixo custo das ferramentas.

As principais desvantagens deste processo é a peça não estar acabada no fim do processo sendo necessário remover as zonas em excesso e dificuldade ou mesmo impossibilidade de moldar peças com nervuras ou detalhes geométricos mais complexos. Ao nível da moldagem podem ser utilizados métodos com vácuo, pressão de ar ou força mecânica

através de punções. A moldagem pode ser realizada utilizando só um dos métodos ou combinando vários métodos de forma simultânea ou sequencial [34], [35],

2.5.1. Termoformação mecânica

Alguns dos primeiros produtos obtidos por termoformação, usaram o aquecimento de uma folha de material polimérico e em seguida puncionados por um macho, forçando a folha a tomar a forma deste. Este processo faz com que as espessuras nas zonas laterais (verticais) e nos cantos sejam menores que no topo da ferramenta. Este processo é utilizado tipicamente para produzir peças para interiores de frigoríficos, caixas, e sinais de trânsito. Podendo-se utilizar moldes abertos (apenas com cavidade ou bucha) ou moldes fechados (com cavidade e bucha). Com este processo consegue-se garantir boas tolerâncias dimensionais internas das peças moldadas. A utilização exclusiva do processo mecânico (punção) tende a originar defeitos nas peças devido à formação de bolsas de ar, por este motivo na grande maioria dos casos é auxiliado por um sistema de vácuo (Figura 44). As peças obtidas por este processo tendem a ter variações de espessura nas zonas faces verticais e nos raios [35].

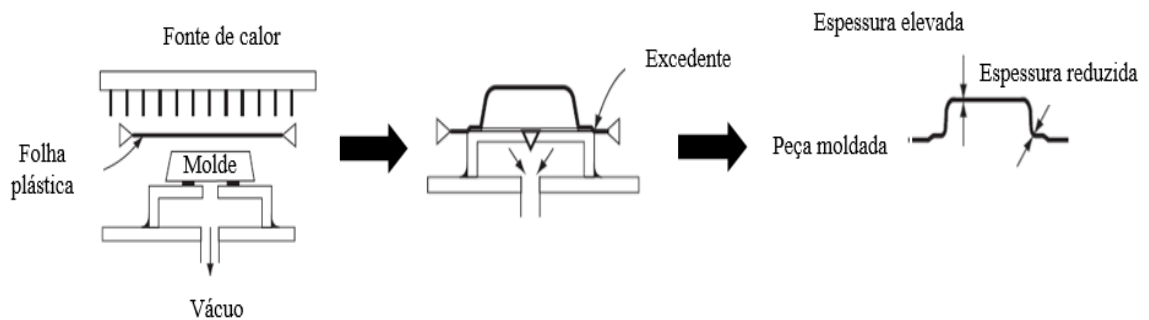


Figura 44 - Termoformação mecânica assistida a vácuo [35]

2.5.2. Termoformação por vácuo

Na termoformação por vácuo a folha de material polimerico é colocada e fixada sobre um molde aberto (fêmea), criando um volume de ar, entre a folha e a cavidade, posteriormente é aquecida, e o ar que se encontra entre a folha polimerica e o molde é aspirado, formando vácuo, fazendo com que a folha tenda a adaptar-se à geometria do molde[34].

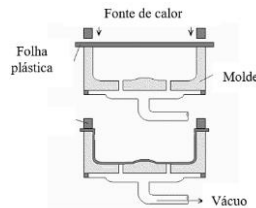


Figura 45- Termo formação por vácuo [34]

2.5.3. Termoformação por pressão

A termoformação por pressão é idêntica ao vácuo, só que neste caso em vez de se diminuir a pressão no volume definido entre a folha e o molde, é aumentado a pressão do lado externo, fazendo com que a folha se acomode ao molde. Neste caso é necessário um sistema para a expulsão do ar que se encontra entre a folha e o molde.

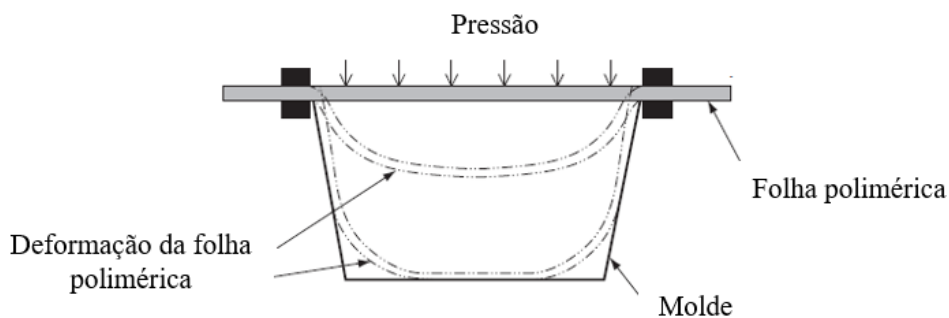


Figura 46 - Termoformação por pressão [34]

2.6. Rotomoldação

A rotomoldação (RM) é um processo para fabricação de produtos plásticos ocos. Esta tecnologia tem como grandes vantagens as baixas tensões residuais das peças obtidas e o baixo custo dos moldes. A RM é tipicamente utilizada para a produção de tanques (reservatórios de líquidos) mas também é utilizado para a fabricação de produtos da indústria medica, brinquedos e barcos de recreio entre outros . As principais vantagens da RM são [36]:

- A parte oca pode ser feita em uma única peça sem linhas de solda ou nas articulações;
- O produto final é essencialmente livre de tensões residuais;
- Os moldes são relativamente baratos;
- O tempo de espera para o fabrico de um molde é relativamente curto;
- Ciclos de produção curtos podem ser economicamente viável;
- Não há desperdício de material em que a carga total de material é normalmente consumido na fabricação da peça;
- É possível fazer produtos multicamada;
- Diferentes tipos de produto podem ser moldado em simultaneamente por uma máquina;
- Inserções são relativamente fáceis de moldar em rotomoldação.

As principais desvantagens de rotomoldação são:

- Os tempos de fabricação são longos;
- A escolha de materiais de moldagem é limitado;
- Os custos dos materiais são relativamente elevados devido à necessidade de aditivos especiais pacotes e o facto de que o material deve ser moído para um pó fino;
- Algumas características geométricas (tais como nervuras) são difíceis de moldar.

O processo de RM descrito na (Figura 47) consiste na introdução de uma quantidade conhecida de plástico em pó, granulado, ou líquido viscoso sobre uma das metades do molde. Posteriormente o molde é fechado à custa da outra metade do molde. De seguida o molde é aquecido e rodado em torno de dois eixos. O aquecimento permite o amolecimento da matéria-prima que se irá moldar junto às superfícies do molde. As velocidades de rotação são relativamente baixas. Posteriormente ocorre o arrefecimento da peça, continuando a rotação da ferramenta, para que se consiga garantir a forma desejada. Quando a peça apresenta a resistência suficiente para ser extraída o molde é aberto e a peça removida, repetindo-se este ciclo para a produção de todas as peças [36].

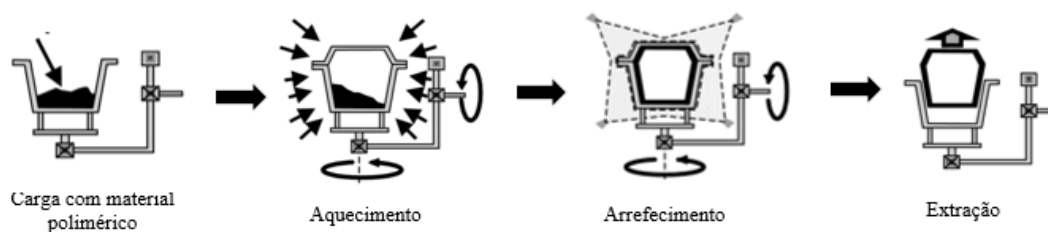


Figura 47 - Processo de rotomoldação [36]

3. Conceção e desenvolvimento de copo para gin

O tempo de vida de um produto é cada vez mais curto, muito devido à concorrência e ao surgimento de novas técnicas, processos ou materiais. Neste contexto, é premente que o desenvolvimento de produto seja um processo rápido e eficaz, ou seja conseguir no menor espaço de tempo conceber e detalhar a melhor solução que responda aos requisitos pretendidos. Para tal, é essencial adotar uma metodologia de suporte a este processo de Conceção e Desenvolvimento (C&D), onde a definição de etapas e tarefas torna mais fácil a criação de um planeamento que sistematize todo o processo de desenvolvimento de produtos e que potencie o seu grau de sucesso (o que é crucial dado que um projeto de C&D envolve sempre altos custos e elevado dispêndio de tempo) [1].

Existem várias metodologias para suporte do processo de desenvolvimento de produtos[37], sendo que o procedimento adotado neste trabalho foi o seguinte:

- Identificação da ideia;
- Definição dos requisitos do produto;
- Desenvolvimento do produto;
- Produção (ferramenta e desenvolvimento de célula de fabrico).

3.1. Identificação da ideia

A geração da ideia para a produção de copos de gin em material plástico, resultou do esforço que a Moldes RP tem vindo a fazer no sentido de identificar necessidades específicas do mercado para que possa continuar a alargar os seus serviços. A identificação da oportunidade para o desenvolvimento do copo de gin partiu da insatisfação dos promotores de eventos consumidores de gin, que são forçados a servir a referida bebida em copos não adequados à mesma. De facto, atualmente, caminha-se no sentido da imposição legal de proibição cada vez mais alargada na utilização de vidro em eventos e em alguns estabelecimentos comerciais, nomeadamente em espaços de diversão noturna.

3.2. Definição dos requisitos do produto

Identificada a ideia, foi necessário efetuar a definição dos requisitos do produto. No sentido de definir da melhor forma os requisitos do produto foi elaborada uma lista de requisitos para responder às necessidades dos potenciais clientes e orientar todo o processo de desenvolvimento do produto. Foram então usada uma lista de questões apresentadas a seguir, para as quais se organizaram respostas da forma mais sucinta e objetiva possível, tendo sempre em conta que todo este processo é alvo de sucessivas iterações, alterando alguns destes requisitos [38].

Quem irá utilizar o produto?

Tratando-se de um copo de gin, os possíveis clientes serão os consumidores da referida bebida. No entanto devido à característica diferenciadora (matéria prima polimérica) os principais clientes serão proprietários de estabelecimentos de restauração, hotelaria e promotores de eventos, podendo também ser vendida a clientes finais ou produtores de gin, utilizando o produto como suporte de publicidade.

Quais os requisitos do cliente?





Após algumas conversas informais com consumidores da bebida e proprietários de espaços noturnos, chegou-se à conclusão que o cliente pretende que o produto seja inquebrável, rígido, com formas e capacidade do reservatório idênticas às soluções existentes, esteticamente apelativo, reutilizável e lavável em máquinas automáticas.

Quanto irá custar o produto?

A estimativa para o preço de venda do produto assentou na pesquisa de produtos idênticos existentes no mercado (Tabela 5). Ao nível das soluções em material polimérico encontraram-se soluções em polipropileno e policarbonato. Em polipropileno os produtos apresentam um aspeto translúcido, e em policarbonato são transparentes. Em material polimérico não foram encontradas soluções bicolores e as formas não correspondem aos copos de gin em que o diâmetro do bocal é menor que o diâmetro máximo do reservatório. Nos copos em vidro foram encontradas soluções bicolores em que o seu preço mínimo é de 2.5€. Tendo em atenção as características inovadoras do produto considerou-se que

seria aceitável o incremento de 20% relativamente aos copos de vidro, indicando que o preço de venda será de 3€.

Tabela 5 - Comparativo de copos de gin [39]–[41]

				
Fornecedor	Copos Plástico	Copos plásticos	Continente	Jumbo
Dimensões [mm]	Ø105 x 185	Ø105x 185	Ø105 x 200	Não disponível
Volume do reservatório [cl]	68	68	68	72
Material	Polipropileno	Policarbonato	Vidro	Vidro
Custo [€]	0,60	1,50	1,90	2,50
Cor	Translúcido	Transparente	Transparente	Bicolor

Qual a quantidade expectável de vendas?

De acordo com o departamento comercial da Moldes RP o número expectável de vendas é de 1000 000 de peças em 6 anos.

Onde irá ser vendido?

O produto é passível de ser vendido em armazéns, retalhistas, lojas, hipermercados e internet.

Qual o *timing* de venda?

O produto será para vender em qualquer altura do ano, com a expectativa de obter um maior número de vendas em épocas sazonais como a primavera e o verão.

Qual a vida expectável do produto?

A expectativa é de o produto ser vendido durante pelo menos 6 anos e de lhe ser acrescentado valor com a possibilidade de desenvolver novas cores e formas.

Como irá ser o produto posto no mercado?

Como estes tipos de produtos são bastante semelhantes ao nível de características, a destacar as dimensões e o volume do reservatório, o produto preconizado pretende distinguir-se pela elevada resistência ao impacto, durabilidade e reutilização através da resistência aos abrasivos utilizados nas máquinas de lavar.

O produto será embalado em caixas de cartão de acordo com as dimensões standard “euro paletes”. Devido ao facto do produto ter elevada resistência ao impacto, a embalagem deste não terá de ser tão robusta quando comparada ao mesmo produto em vidro.

Como é utilizado?

Devido aos utilizadores estarem habituados ao manuseio de copos é esperado da parte destes o seu uso correto. A utilização do copo pode ser dividida em três etapas. A primeira diz respeito à preparação da bebida, onde este será colocado sobre uma superfície plana, e onde serão colocados e misturados os ingredientes no reservatório. Posteriormente, o utilizador irá transportar o copo e vai bebendo a bebida. Finalmente, o copo é lavado por processos manuais ou colocado em máquinas de lavagem automática.

Qual a utilização esperada?

De forma a impedir danos causados pelo mau manuseamento ou queda do produto este será de material polimérico com elevada resistência ao impacto a fim de evitar danos para os utilizadores e diminuindo a probabilidade de este ser usado como objeto cortante em eventuais desaccatos.

Quais os fatores de segurança envolvidos?

O material polimérico deverá ser compatível com a indústria alimentar e a interface entre o copo e os lábios dos utilizadores deverá apresentar formas suaves que não coloquem em causa a integridade física dos consumidores.

Quais os pontos fortes da ideia?

Os pontos fortes do produto são essencialmente a utilização de uma matéria-prima polimérica que melhore a resistência ao impacto relativamente aos produtos em vidro.

Os pontos flexíveis serão a estética, a capacidade do reservatório, e a possível adaptação a diversas formas e cores.

Será concedida garantia do produto?

Será concebida garantia contra qualquer defeito de fabrico ou nos materiais, durante o período de 2 anos a partir da data de compra, conforme as regras em vigor na União Europeia (Diretiva 1999/44/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de Maio de 1999) [42].

Quais as normas e regulamentação a que o produto está sujeito?

Terá de ser construído com materiais que permitam o contacto com alimentos. (Regulamento (CE) n.º1935/2004 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 27 de Outubro de 2004, relativo aos materiais e objetos destinados a entrar em contacto com os alimentos e que revoga as Diretivas 80/590/CEE e 89/109/CEE) [42].

Quais as preocupações legais?

Ao nível das preocupações legais foi efetuada uma pesquisa de mercado no sentido de verificar que não existe nenhum produto igual. Paralelamente, e no respeitante à propriedade industrial, não foi identificada qualquer colisão tendo-se efetuado o pedido provisório de patente da tecnologia que originou a produção do produto.

Quais as preocupações sociais?

Serão utilizados ao máximo materiais recicláveis ou reutilizáveis, bem como o mínimo de redução de desperdícios na produção no sentido de minimizar o impacto ambiental relativamente à produção e ao produto no decurso da sua vida.

Aspetos de fabricação?

O produto será constituído em material termoplástico, sendo necessária a seleção da tecnologia de fabrico e a construção de ferramentas.

Local de fabricação do produto?

O local de fabricação e embalagem do produto é um aspecto de elevada importância, uma vez que devido ao produto ocupar um volume relativamente grande quando comparado com a sua massa, os custos de transporte serão elevados especialmente quando se pretende a sua distribuição e venda a uma escala mundial.

3.3. Requisitos técnicos do produto

Com base na informação anterior, reforçada por entrevistas com possíveis clientes e consumidores do produto, foram identificados alguns dos requisitos do produto, sendo estes posteriormente transformados em requisitos técnicos e identificadas as áreas críticas de desenvolvimento de produto (Tabela 6).

Tabela 6 - Transformação da voz do cliente em requisitos do produto e identificação das áreas responsáveis

Voz do cliente	Requisitos do produto	Áreas responsáveis
Inquebrável	Elevada resistência ao impacto	Seleção de matéria-prima
Rígido	Elevado módulo de elasticidade	Seleção de matéria-prima Projeto do produto
Resistente	Elevada resistência à tração	Projeto do produto
Formas idênticas aos produtos existentes	O diâmetro do bocal deverá ser de menor dimensão que o maior diâmetro do reservatório	Projeto do produto
Capacidade do reservatório idêntico aos produtos existentes	O reservatório terá uma capacidade entre 68 e 72 cl	Projeto do produto
Esteticamente apelativo	Bicolor Minimização de linhas de partição	Projeto do produto Projeto da ferramenta
Reutilizável	O produto deve possibilitar a sua reutilização e reciclagem	Seleção da matéria-prima
Lavável em máquinas automáticas	As temperaturas de serviço do produto ente os 0°C e os 100°C	Seleção da matéria-prima

3.4. Desenvolvimento do produto

As formas do produto são semelhantes aos copos de gin em vidro existentes. Contudo, importa destacar que a geometria do produto foi sofrendo evoluções ao longo de trabalho em coerência com melhorias identificadas. Uma vez que o produto consiste na junção de dois materiais que possibilitem a conjugação de uma cor diferente do pé relativamente à zona do reservatório, existe a necessidade de se efetuar o produto em duas partes, bem como definir a interface entre os produtos. Na Tabela 7 encontram-se descritas as características técnicas do produto.

Tabela 7 - Características técnicas do produto

Dimensões máximas do produto [mm]	Ø116 x 198
Volume total do produto [cm ³]	82,2
Massa do produto [g]	98,6
Capacidade do reservatório [cm ³]	71,5
Volume de material do reservatório [cm ³]	56,8
Volume de material do pé [cm ³]	25,4

3.5. Seleção da matéria-prima

Tendo em conta as características do produto e sabendo que é necessário obter produtos transparentes, foram eliminados da seleção inicial os materiais semicristalinos. Entre os materiais amorfos foram selecionados dois copolímeros de estireno (ABS e SUN), o PMMA e o PC. O ABS apresenta uma boa resistência ao impacto devido à adição do butadieno e um excelente brilho garantido pela presença de acrilonitrilo. O SUN devido a não conter o butadieno, a sua resistência ao impacto é inferior ao ABS, apresentado no entanto uma excelente transparência. O PC é um material que alia uma elevada transparência, rigidez e excepcional resistência ao impacto. O PMMA é um material rígido e transparente, no entanto com baixa resistência ao impacto [5].

Através da Tabela 8 é possível verificar que apenas o ABS e o PC podem suportar as temperaturas de serviço de serviço necessitadas. Para além deste fator, o material durante a lavagem irá estar em contacto com partículas abrasivas, desgastando o produto, e neste sentido o facto de o policarbonato ter uma maior resistência à tração e rigidez, indica que

será mais resistente à abrasão. Desta forma o material selecionado foi o Policarbonato. Adicionalmente, dado que foram encontrados copos feitos a partir deste material, a seleção deste material foi reforçada em termos de grau de confiança.

Tabela 8 - Comparativo de propriedades de materiais pré-selecionados [5][43]

	Requisito	ABS	PMMA	PC	SUN
Rigidez [GPa]	Elevada	2,1-2,7	2,8	3,0	3,6
Resistência ao impacto [kJ/m ²]	Elevada	5	1.3	5	-
Compatibilidade com a indústria alimentar	Sim	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível
Temperatura de serviço [°C]	[0-100]	90-110	70-80	140	70
Resistência à tração [MPa]	Alta	35-50	40	65	67
Tecnologias de processamento		MI MS TF RM	MI MS TF RM	MI MS TF RM	MI MS TF RM

Foi então selecionado o Policarbonato Lexan IR2040 da Sabic. Este material apresenta um índice de fluidez médio de 18 [g/10min], sendo indicado para o processo de MI, mas podendo também ser utilizado na MS. Este material é indicado para reservatórios de alimentos e é aprovado para a indústria alimentar. As características em detalhe deste material encontram-se no Anexo I.

3.6. Desenvolvimento do processo de fabrico

A seleção do processo de fabrico tem por base os requisitos funcionais do produto e as tecnologias de fabrico apresentadas na revisão bibliográfica. A MC, TF e RM devido à geometria do produto não apresentam as características indicadas para a moldação das formas do produto idealizado. As tecnologias que apresentam condições para a produção do produto são a MI e a MS. Na MI é possível obter o produto, no entanto para se poder

desmoldar o interior do reservatório seria necessária a utilização de um sistema de buchas colapsáveis originando marcas de linhas de partição no interior e no exterior dos reservatórios, pondo em causa o requisito do produto que estabelece a minimização destas (Figura 57). Por outro lado, esta em conjunto com a MS, e devido ao transporte do produto entre estágios e sendo necessário a que este se encontre a uma temperatura elevada para que posteriormente se possa efetuar a insuflação, poderá ocorrer a deformação da zona do pé entre os estágios o que também é de evitar.

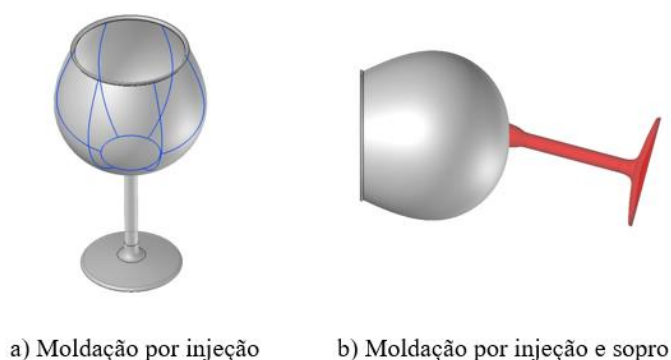


Figura 48 – Potenciais defeitos da MI (moldação por injeção) e MS (moldação por sopro) na obtenção do copo de gin

A MI e MS apesar de apresentarem características que possibilitam a produção do produto, por si só tendem a originar defeitos que inviabilizam a produção e não respeitando os requisitos do produto. No sentido de viabilizar a produção do produto foi idealizada uma tecnologia que integre a MI sobreposta e moldação por injeção e sopro.

A tecnologia idealizada assenta o processo em quatro fases (Figura 58). Na primeira fase é injetada a parte superior do reservatório no estado de pré-forma. Posteriormente o molde é aberto ocorrendo uma rotação de 180° da parte móvel, por ação de um prato rotativo instalado na máquina de injeção transportando a pré-forma para outro sistema de impressão. De seguida é injetado o pé do produto (segundo componente), sem que a peça seja transportada, evitando a deformação do pé. Posteriormente, a pré-forma é insuflada formando a zona do reservatório, sendo seguida da descompressão do sistema de impressão da insuflação. Finalmente o molde é aberto e a peça é extraída sem ser

necessário um sistema de buchas colapsáveis e que iriam originar marcas resultantes da linha de partição.

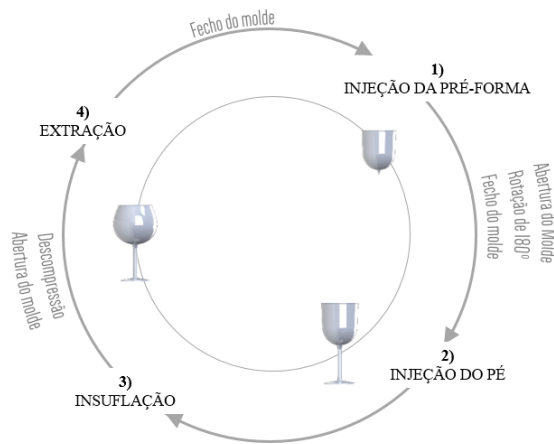


Figura 49 – Tecnologia de moldação por injeção sobreposta e sopro

Devido ao processo de fabrico idealizado foi necessário segmentar e detalhar o desenho do produto (Figura 50). Assim, foi definido que a pré-forma terá de apresentar uma forma em espigão na zona da interface com o pé, possibilitando a união dos dois componentes. Posteriormente, a pré-forma irá ser insuflada dando a forma final à zona do reservatório.

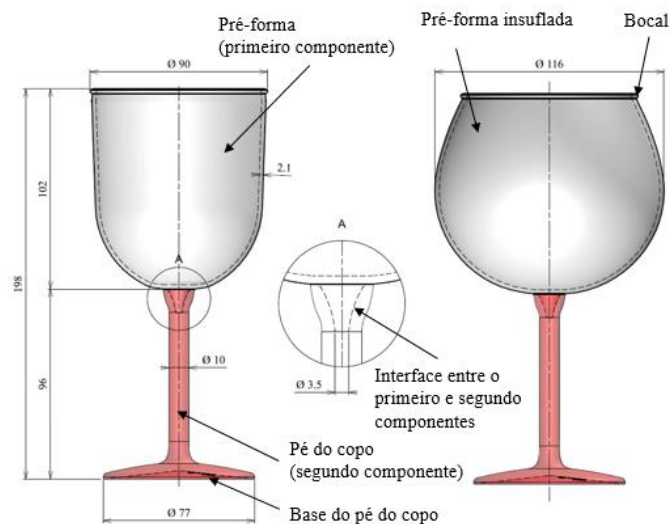


Figura 50 - Desenho detalhado do produto

Após a idealização da tecnologia de moldação por injeção sobreposta e sopro, foi feita uma pesquisa no estado da arte da utilização desta tecnologia não se encontrando evidência

da utilização desta metodologia para o processamento de plásticos. Assim, foi necessário partir para a conceção e desenvolvimento de uma ferramenta que possibilitasse a produção do produto, da mesma forma que foi ainda necessário desenvolver uma célula de fabrico que materializasse a ideia. Importa destacar que este desenvolvimento encontra-se descrito no capítulo 4, sendo que este nem sempre foi feito de forma sequencial, tendo sido necessárias várias iterações entre o projeto do molde e da célula de fabrico, por forma a conseguir atingir o objetivo de concretizar um processo eficaz que possibilitasse a produção do copo de gin concebido.

4. Conceção e desenvolvimento da ferramenta

A conceção e desenvolvimento da ferramenta teve por objetivo criar um molde, que viabilizasse a integração de tecnologias de MI sobreposta com MS, visando a produção dos copos de gin concebidos, mas deixando espaço para a futura produção de outros produtos poliméricos que na sua génese apresentem características de forma similares ao copo e que por esse motivo, possam vir a ser produzidos tendo por base a MI sobreposta com MS. No respeito a este desenvolvimento em particular, o molde/ferramenta foi projetado de forma a respeitar os requisitos do produto, tendo como objetivos ainda as maiores cadências de produção possíveis ao mais baixo custo.

Na Figura 51 é possível observar o lado fixo e móvel do molde. A estrutura do molde é constituída pelas chapas de aperto do lado da injeção, chapa das cavidades, chapa da bucha e chapa de aperto da extração e chapas de isolamento colocadas atrás das chapas de aperto. Relativamente aos moldes típicos, este não apresenta o conjunto de extração devido à extração ser feita através da injeção de ar proporcionada pelo sopro. O lado móvel de molde será fixo a um prato rotativo, possibilitando a sua rotação de 180° e o transporte da pré-forma para o conjunto dos elementos móveis (sistema de impressão da insuflação). Os elementos móveis, juntamente com a cavidade do segundo componente, irão também formar o sistema de impressão do pé (segundo componente). O molde projetado tem os habituais sistemas funcionais dos moldes de injeção de termoplásticos, à exceção do sistema de extração, mais o sistema de insuflação que irá permitir a implementação da tecnologia de MS. Assim, a ferramenta projetada vai ser descrita seguidamente tendo por base os seus sistemas funcionais.

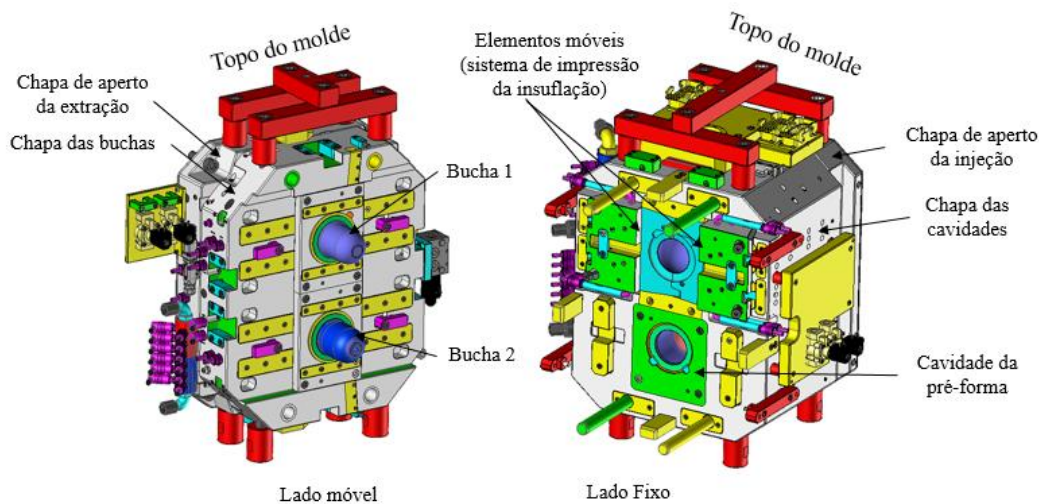


Figura 51 - Vistas tridimensionais do lado fixo e móvel do molde

4.1. Sistema de guiamento e trancamento

O guiamento do molde na máquina de injeção é garantido através de anéis de centragem com dimensões de acordo com a máquina de injeção selecionada. O guiamento entre as partes fixa e móvel é feito com recurso a quatro conjuntos de guias e casquilhos (Figura 61). As guias principais encontram-se alojadas entre a chapa de aperto do lado da injeção e a chapa das cavidades, possibilitando o alinhamento destas chapas. Os casquilhos das guias principais são alojados entre a chapa das buchas e a chapa de aperto da extração garantindo o correto posicionamento destas. A existência do conjunto das guias e casquilhos possibilitam o correto posicionamento do lado móvel, relativamente ao lado fixo, durante abertura e fecho do molde, e durante a montagem do molde.

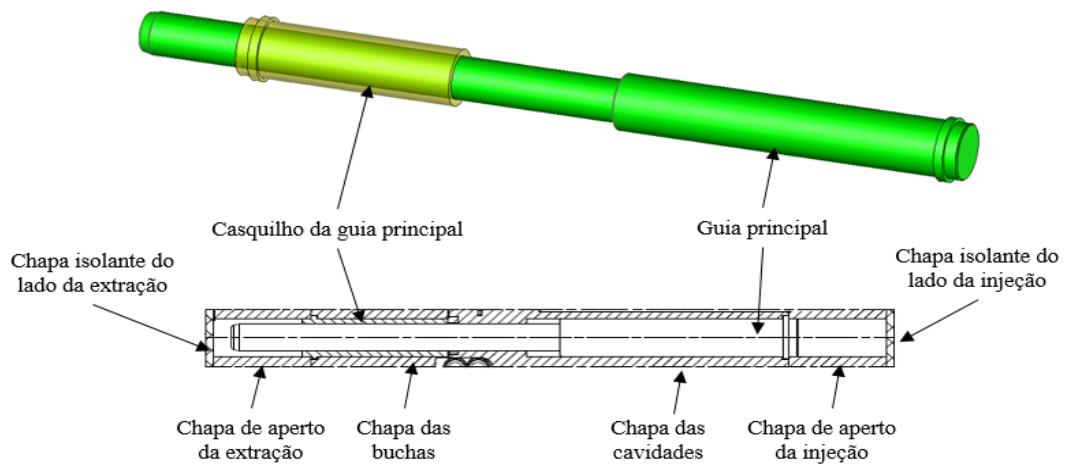


Figura 52 - Conjunto de guias e casquilhos para guiamento do molde

O trancamento do molde é feito através de barras de travamento do lado fixo e lado móvel (Figura 53). Estas barras para além de contribuírem para o alinhamento das duas partes do molde têm, também a função de travarem as duas partes do molde quando este tem de suportar as pressões de injeção.

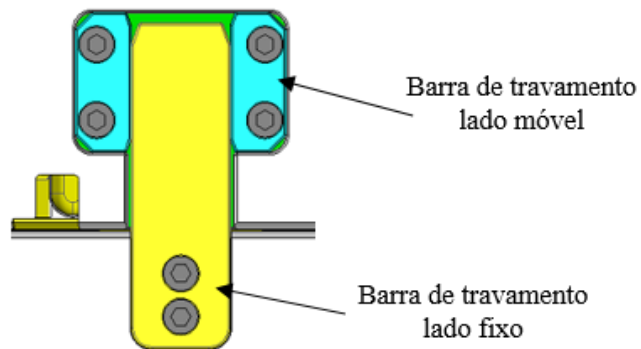


Figura 53 - Barras de travamento do molde

4.2. Sistema de impressão

A ferramenta idealizada é constituída por três sistemas de impressão. O sistema de impressão do primeiro componente (pré-forma), o segundo componente (pé do copo) e o sistema de impressão do sopro ou insuflação. O sistema de impressão da pré-forma (Figura 54) consiste na formação de um volume que irá ser preenchido pelo plástico durante a injeção desta. Este volume é definido pela cavidade da pré-forma, bucha, perno da bucha e tubular. Na zona superior da pré-forma é moldado um bordo que permite a retenção da pré – forma aquando da fase de insuflação.

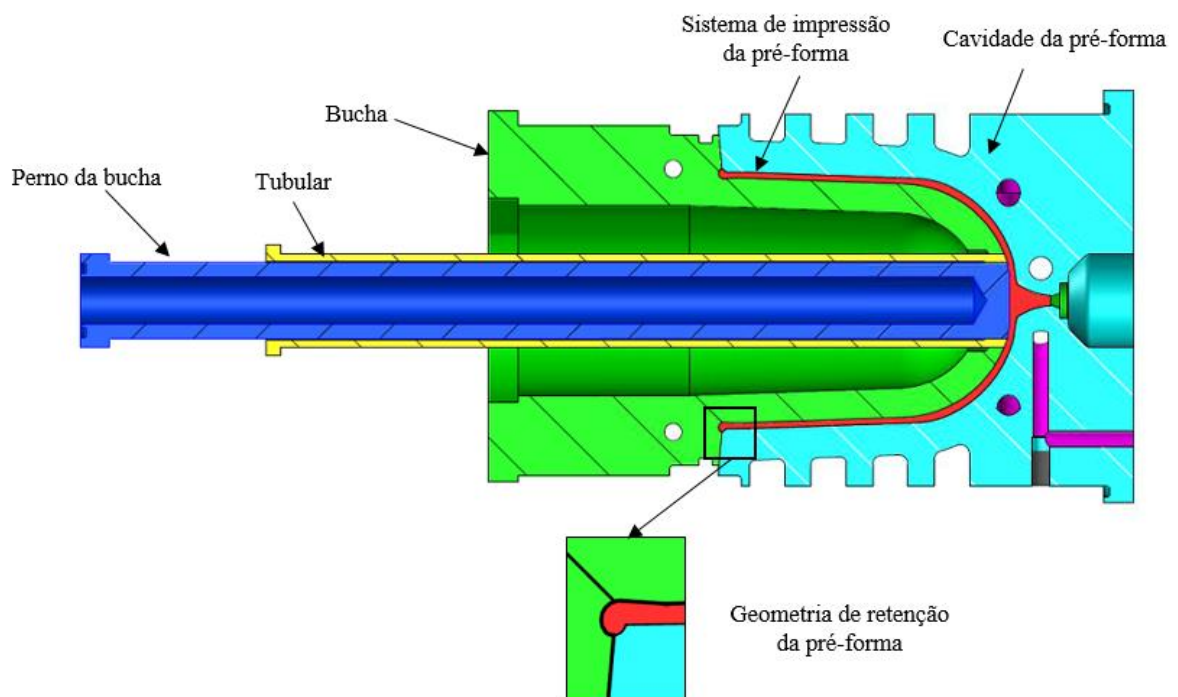


Figura 54 - Sistema de impressão da pré-forma

Posteriormente à moldação da pré-forma, o molde é aberto e ocorre a rotação e fecho do molde, entrando a pré-forma dentro dos outros componentes. Aquando do fecho do molde são formados dois volumes, dando origem ao sistema de impressão do segundo componente e da insuflação (Figura 55). O sistema de impressão do segundo componente é formado pela pré-forma, pelos elementos móveis e pela cavidade do segundo componente. O sistema de impressão da insuflação é formado pela pré-forma, bucha e

elementos móveis. A geometria de retenção da pré-forma têm a função de garantir a fixação da zona do bucal a fim de se poder dar a insuflação sem que o bucal se mova.

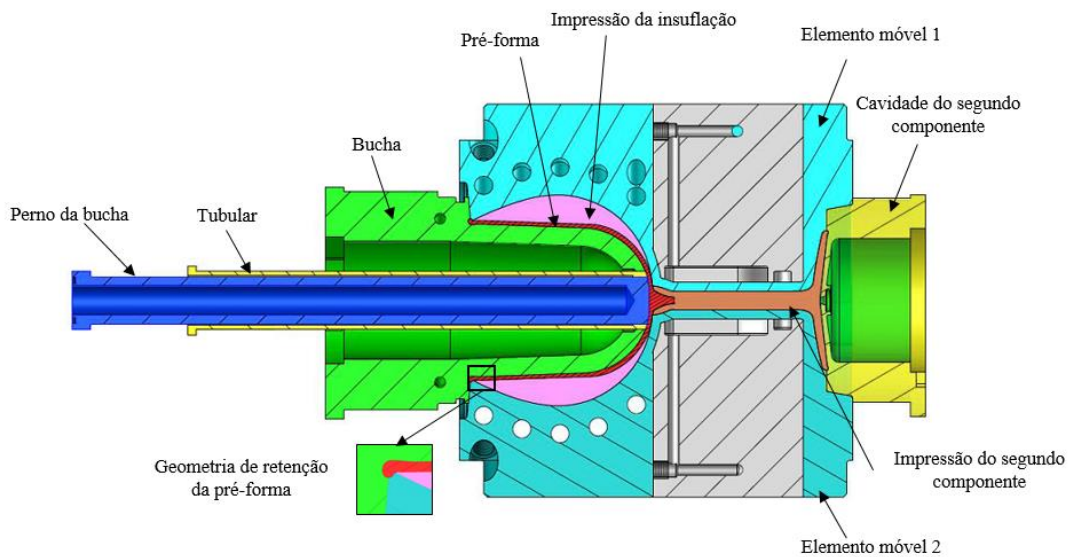


Figura 55 - Sistema de impressão da pré-forma e da insuflação

4.3. Sistema de alimentação

O produto irá ser produzido em duas cores, uma na zona do reservatório (pré-forma) e outra na zona do segundo componente (pé do copo). Devido a este requisito, são então necessários dois sistemas de alimentação distintos. A fim de evitar desperdícios de material foram selecionados sistemas de alimentação de canais quentes. Entre estes, foram selecionados sistemas de injeção valvulados, de forma a incrementar as condições de compactação e reduzir as taxas de corte, uma vez que a zona do ataque nestes sistemas é maior que nos sistemas de bico aberto. Na Figura 56 podem observar-se os dois sistemas de alimentação: i) o sistema de alimentação do primeiro componente é alimentado pelo bico da injetora principal da máquina de injeção; ii) o sistema de alimentação do segundo componente irá ser alimentado por um sistema auxiliar montado no topo do molde.

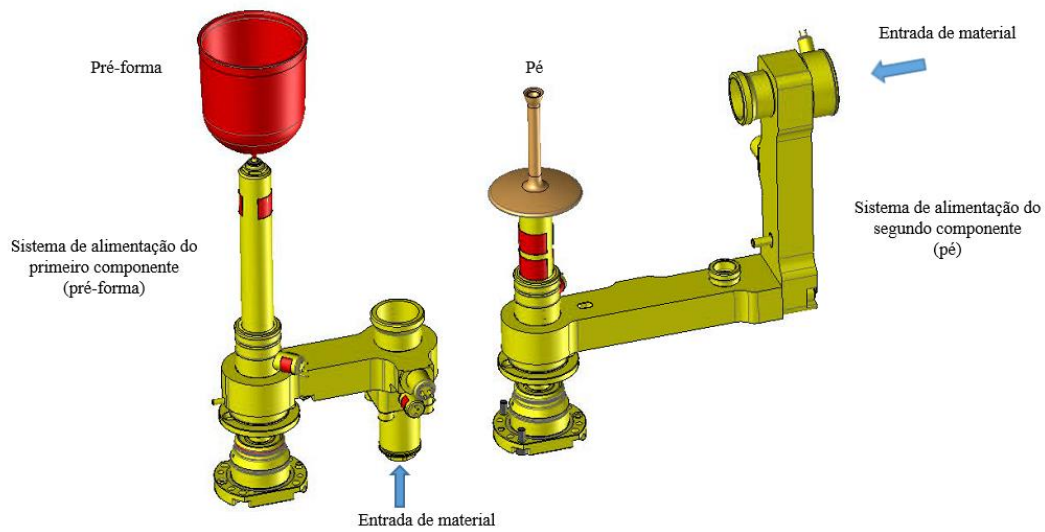


Figura 56 - Sistemas de alimentação

4.4. Sistema de escape de gás

Para o sistema de escape de gás (Figura 57) da pré-forma, foram definidas as fugas de gás no plano de abertura e a sua maquinação nas buchas. Para as fugas de gás da injeção do segundo componente e da insuflação optou-se pela maquinação de fugas de ar na superfície de partição existente entre os posições dos elementos móveis.

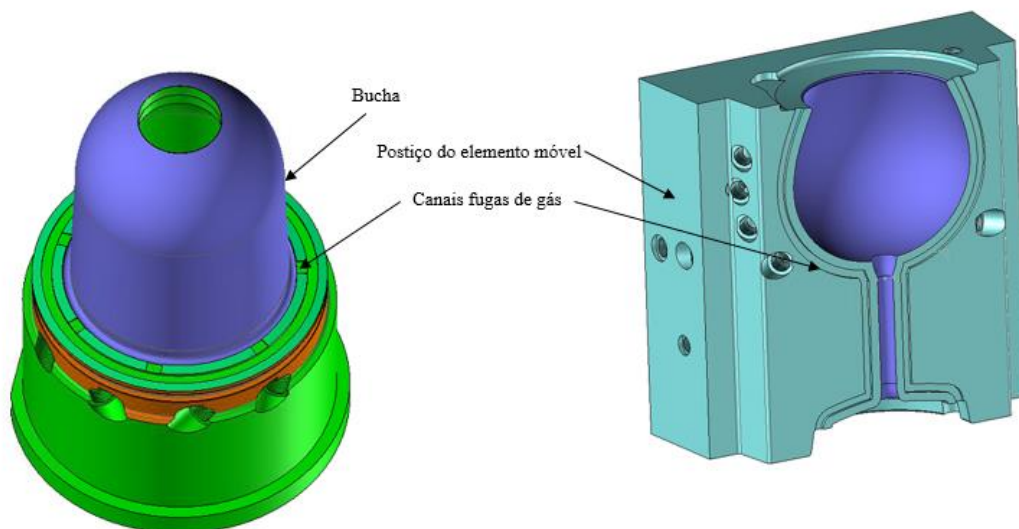


Figura 57 - Sistema de escape de gás

4.5. Sistema de controlo de temperatura

O sistema de controlo de temperatura implementado no molde faz uso de dois métodos de transferência de calor. Assim, foram definidos circuitos onde circula água (cavidades, perno da bucha e elementos móveis), enquanto nas buchas, devido a estas conterem a pré-forma, foi estabelecida a utilização de resistências elétricas.

Na cavidade da pré-forma definiram-se três circuitos (Figura 58). No circuito 1, a água circula a toda a volta do sistema de impressão. Na base da pré-forma foram projetados dois circuitos. O circuito 2 que se encontra junto à zona do ataque procurando minimizar as transferências de calor do sistema de alimentação (canais quentes) para a superfície de impressão e por outro lado arrefecer a peça numa zona de espessura relativamente elevada, pois caso contrario esta demorará mais tempo a atingir a resistência suficiente para que possa ser desmoldada. O circuito 3 refrigera a base da peça, zona em que se irá dar o início da insuflação.

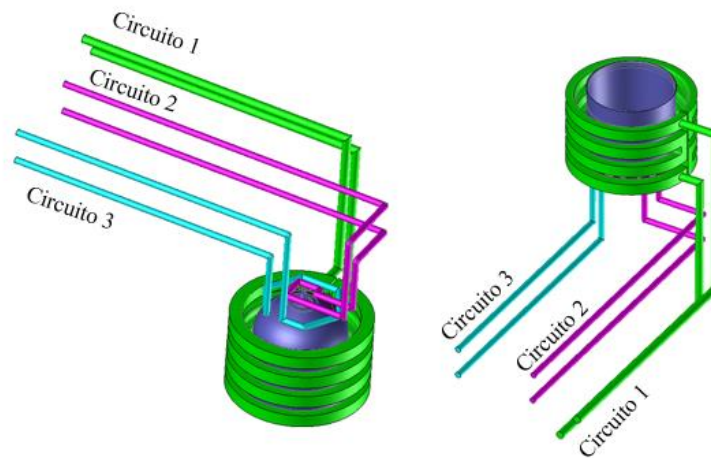


Figura 58 - Circuito da cavidade de pré-forma

O controlo de temperatura das buchas (Figura 59) é feita pelo circuito 4, que consiste na utilização de uma cascata existente no perno da bucha, possibilitando assim o arrefecimento localizado na zona central da pré-forma (Anexo II), pois esta não irá ser insuflada e terá de suportar as pressões de injeção do segundo componente. Nas zonas interiores da pré-forma, moldadas pela bucha, e que serão insufladas foi definido a

utilização de duas resistências de modo a permitir a manutenção térmica desta zona possibilitando a posterior insuflação.

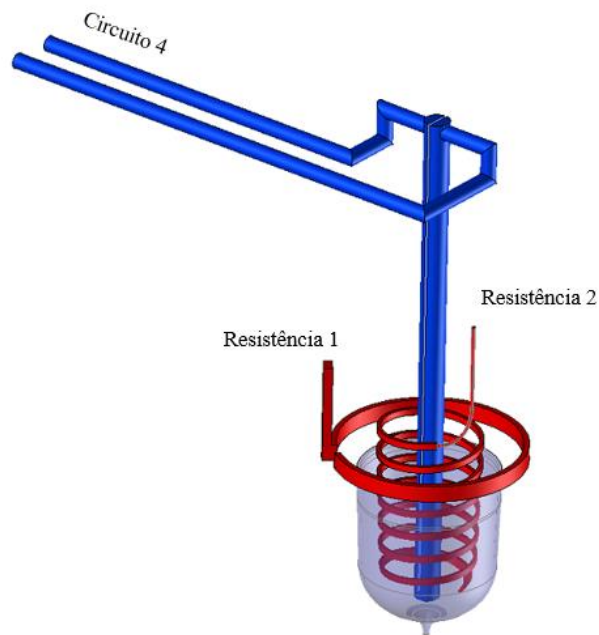


Figura 59 - Sistema de controlo de temperatura das buchas

Na cavidade do segundo componente foram projetados dois circuitos de controlo de temperatura (Figura 60). O circuito 5 que refrigera a periferia da base do pé e o circuito 6 que proporciona o arrefecimento da base do pé. Para que se conseguisse a arquitetura desenhada do circuito 6, foi necessário projetar um postigo da cavidade da pré-forma, ocupando o núcleo da cavidade da pré-forma, que possibilitasse a maquinação do circuito no topo deste.

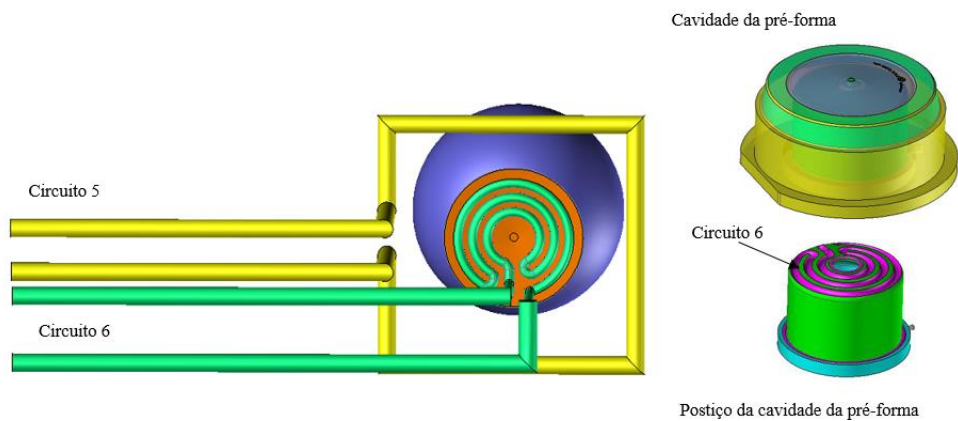


Figura 60 - Sistema de controlo de temperatura da cavidade do segundo componente

Em cada um dos elementos móveis foram também criados dois circuitos (Figura 61). Na zona do pé foram criados os circuitos 7 e 9, onde foi também utilizado um postigo no interior do elemento móvel para conformar a forma do circuito à forma da haste do pé (zona crítica do tempo de ciclo devido à espessura ser elevada ($\text{Ø}10\text{mm}$)). Na zona do reservatório (insuflação) foram definidos os circuitos 8 e 10. A segmentação do sistema de controlo de temperatura em cada uma das zonas possibilita assim o controlo individual de temperaturas, na zona da obtida por injeção e na zona obtida por insuflação.

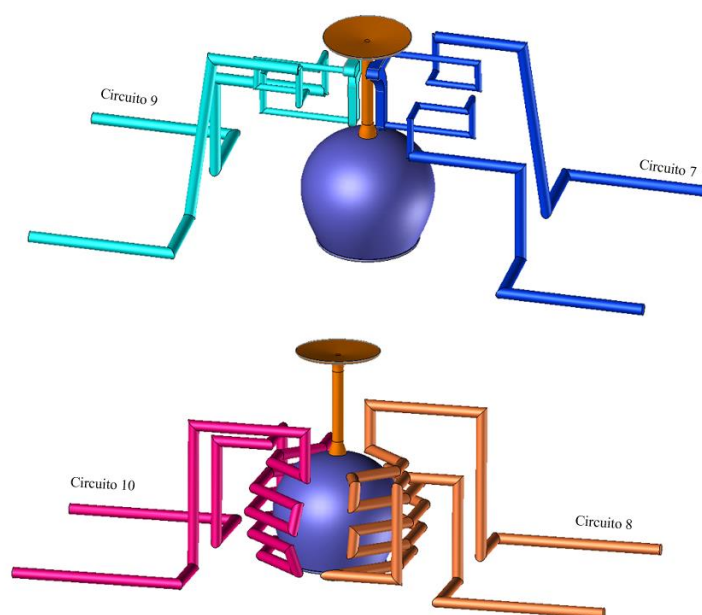


Figura 61 - Sistema de controlo de temperatura dos elementos móveis

Para além dos circuitos descritos anteriormente foram ainda projetados canais de controlo de temperatura na chapa das buchas e das cavidades, promovendo a homogeneidade térmica de temperaturas na ferramenta.

4.6. Sistema de insuflação

Para que ocorra a insuflação, foi ligada uma entrada de ar comprido ao molde e através de um circuito de ar encaminhado até a uma folga existente entre o tubular e seu casquilho, folga esta que se estende até à bucha (Figura 71). Em todas as juntas dos diversos componentes encontram-se vedantes que inpedem a infiltração do ar entre os componentes. Apenas entre a bucha e o tubular não são acomolados vedantes, no entanto, o canal do ar encontra-se parcialmente fechado devido ao ajustamento entre o tubular e a bucha.

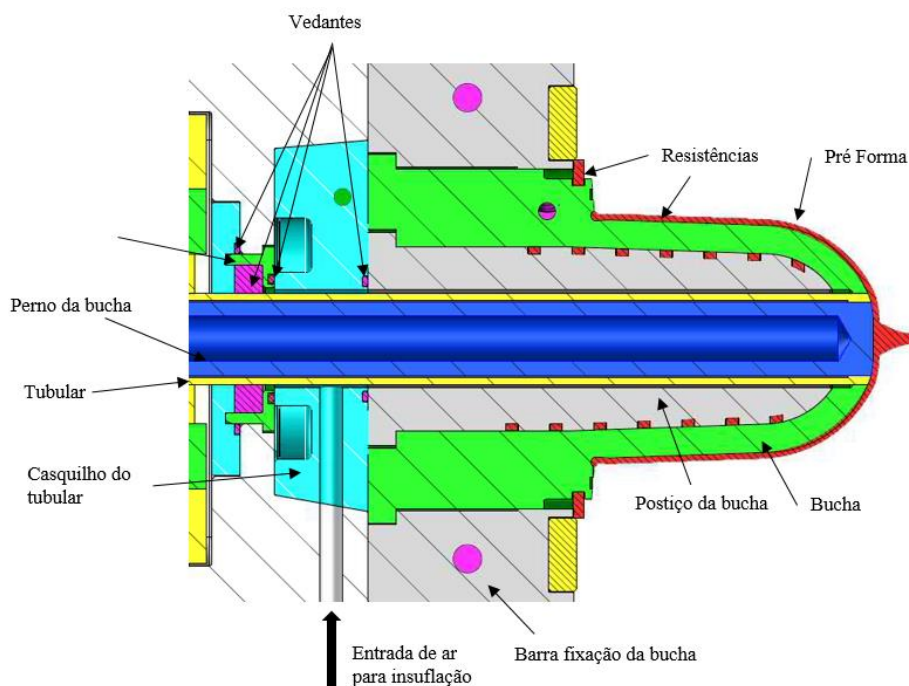


Figura 62 - Sistema de insuflação

A abertura do canal é feito através de um sistema em cunha que permite o movimento do tubular de forma a abrir o canal de insuflação (Figura 72). O cilindro hidráulico, através da haste do cilindro, permite o movimento linear da barra da cunha quando este é atuado. Devido ao elemento móvel da barra em cunha estar constringido por uma geometria angular à barra em cunha, este irá se mover para cima. Por sua vez, o tubular que se encontra solidário com o elemento móvel da barra em cunha irá também mover-se, permitindo a abertura do canal de ar da insuflação até à pré-forma.

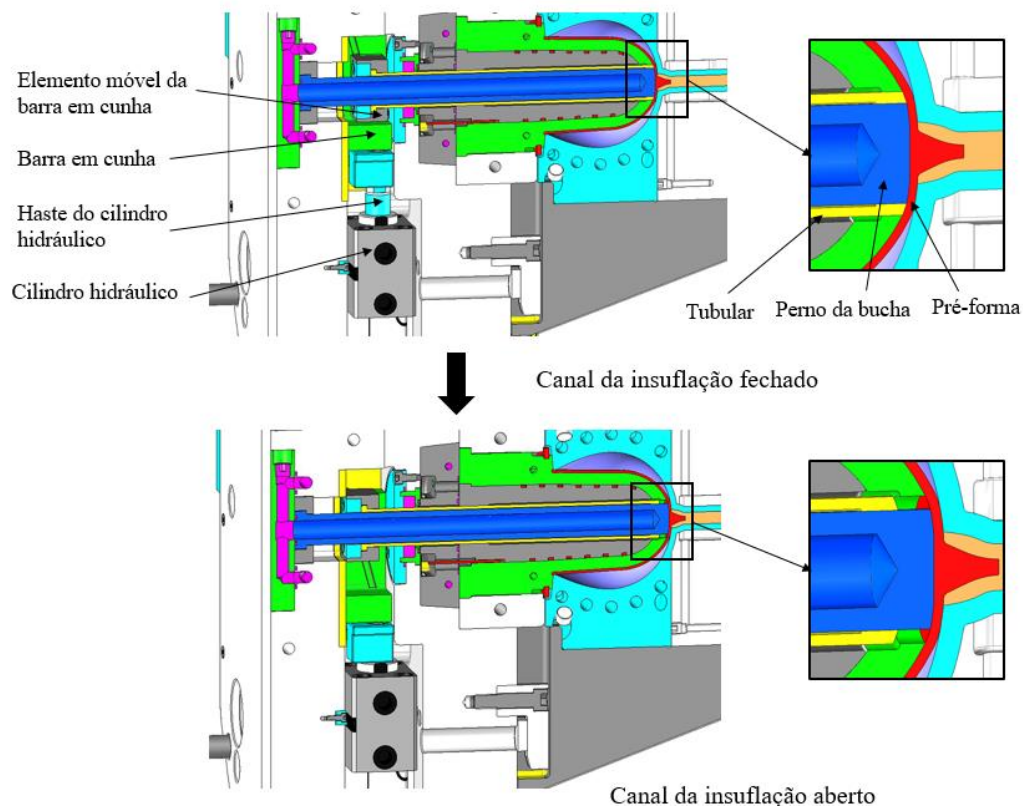


Figura 63 - Abertura do canal de insuflação

Após a abertura do canal o ar comprimido é injetado contra a pré-forma, forçando-a a tomar a forma das superfícies do sistema de impressão definidas pelos elementos móveis. O posicionamento do bocal é garantido através da geometria do bocal, que fica preso entre a bucha e o elemento móvel, possibilitando a moldação da pré-forma sem que ocorra deslocamento do bucal. Posteriormente terá de ocorrer a descompressão do sistema de insuflação para que se possa dar a abertura do molde, sem que ocorra deformação do produto (Figura 73).

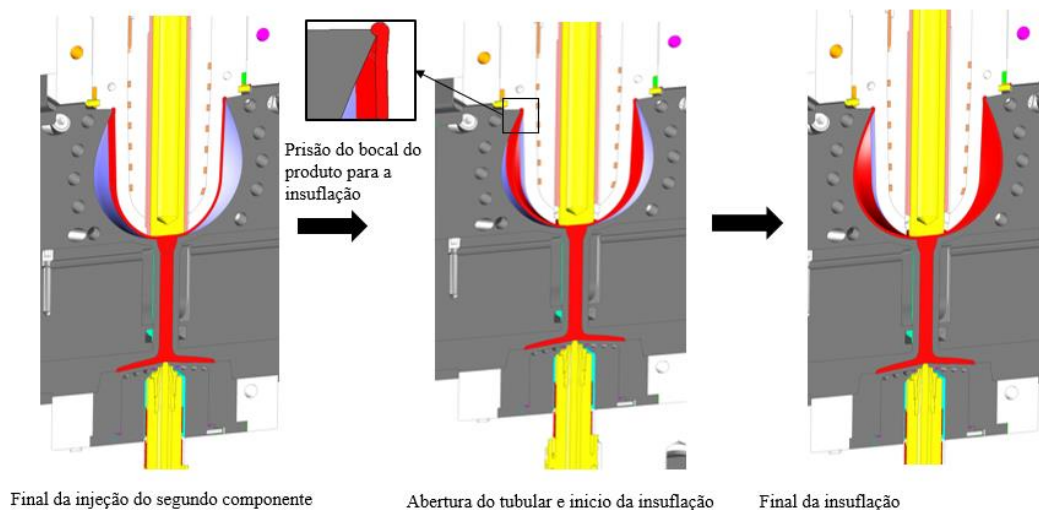


Figura 64 - Sequência de moldação do produto na fase de insuflação.

4.7. Sistema de extração

O sistema de extração utilizado neste produto consiste em dois sistemas. Por um lado é necessário a existência de um sistema de elementos móveis que possibilita a desmoldação do produto, aquando da abertura do molde depois de ter ocorrido a insuflação e injeção do segundo componente, e depois do molde aberto e peça se encontrar encaixada na bucha ela será extraída através da injeção de ar pelo sistema de insuflação. No entanto, a pressão de ar não deve ser a mesma que a usada na extração, afim de evitar que ela a peça seja extraída com uma velocidade muito elevada, podendo resultar em colisões da peça com o lado fixo do molde, ou então provocar danos no robot no caso de se utilizar este dispositivo auxiliar para fazer a remoção das peças.

4.7.1. Desmoldação por elemento móvel

O mecanismo do elemento móvel aplicado no molde tem como objetivo permitir a desmoldação do produto após a injeção do segundo componente e da insuflação, permitindo a libertação do produto relativamente ao lado fixo do molde. Para que tal aconteça é necessário que existiam prisões do produto relativamente à bucha. Para que tal aconteça foi necessário criar uma pequena contra saída ao produto na moldação da pré-forma, conforme ilustrado no detalhe A da Figura 65.

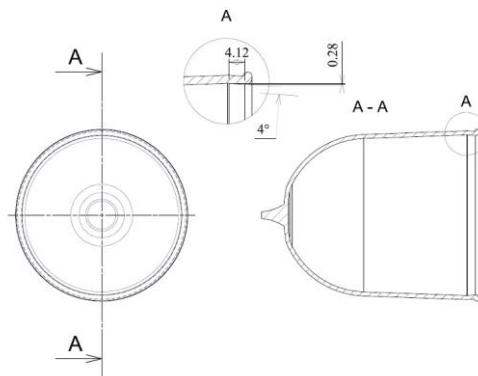


Figura 65 - detalhe de contra saída na pré-forma

Na Figura 66 pode-se observar a sequência de funcionamento do elemento móvel e a libertação de zonas negativas, possibilitando que o produto se mova solidariamente com o lado móvel.

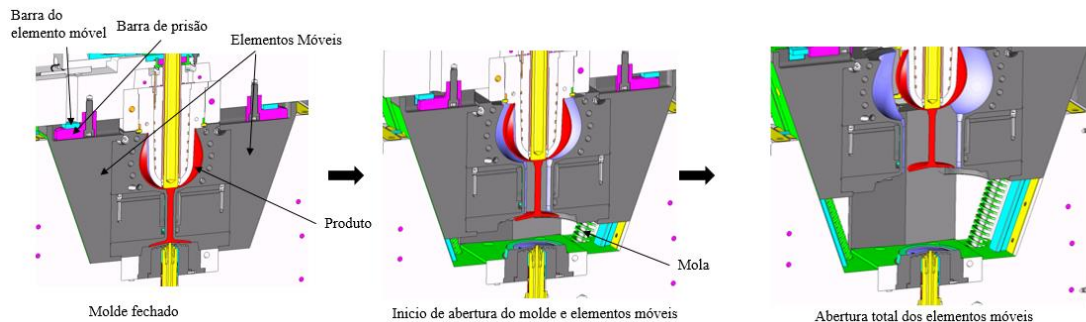


Figura 66 - Funcionamento do elemento móvel

Entre o elemento móvel e a chapa das cavidades existem duas molas por elemento móvel que pressionam o elemento contra as barras de deslize fixas à chapa das buchas (Figura 67). Por ação das molas assim que o molde abre, o elemento móvel move-se junto a estas

mas afastando-se do centro do molde, movimentando-se segundo uma direção que faz 20° com a vertical devido à inclinação dos limitadores de curso e das barras de deslize entre o elemento móvel e a chapa das cavidades. Quando o elemento móvel atinge os 130mm de curso segundo a direção de movimentação, ele pára devido ao curso dos limitadores de curso ser esgotado, e as molas garantem que o elemento móvel se mantenha estático até que o molde se volte a fechar. Este movimento possibilita o afastamento dele de 44.46 mm do produto permitindo que este se continue a mover solidariamente com o lado móvel. Para além da ação das molas, uma barra de prisão que se encontra solidária à chapa das buchas garante a movimentação do elemento móvel devido à tração exercida na barra do elemento móvel.

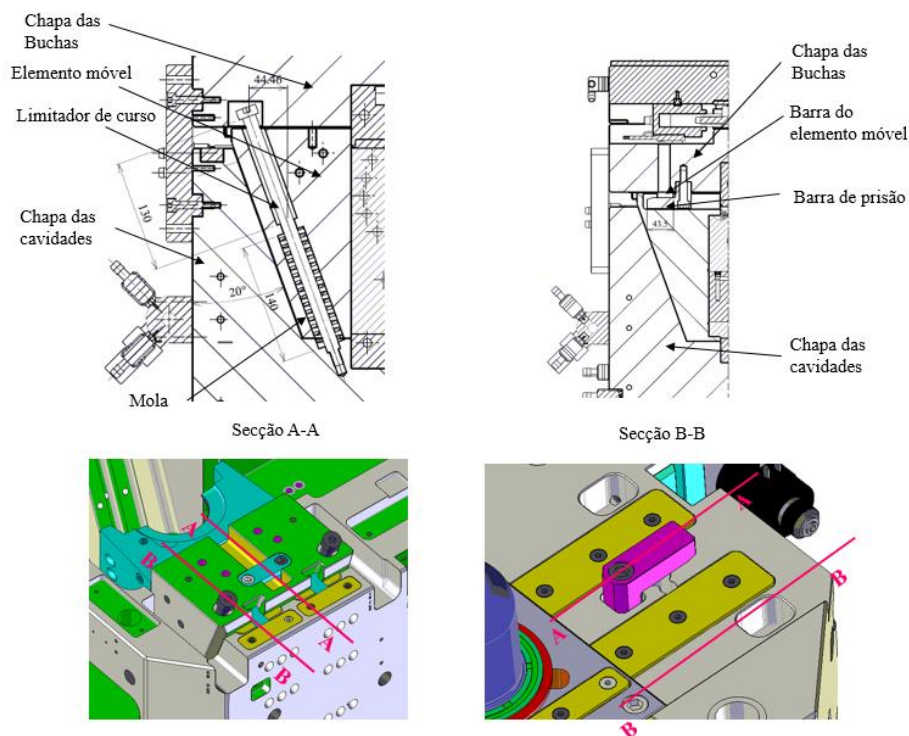


Figura 67 - Detalhes e secções do mecanismo de elemento móvel.

No projeto do molde foi tido ainda em conta a possibilidade de criar apenas novas zonas moldantes, aproveitando o resto da estrutura do molde para que fosse possível criar variantes do produto ao mais baixo custo. Exemplo destes cuidados são os elementos móveis. Na Figura 68 é possível observar que o sistema de impressão é definido no posição do elemento móvel, permitindo que se altere a forma da zona insuflada. A desmontagem deste elemento pode ser feito na máquina de injeção, bastando para isso

abrir o molde, devido a ação das molas os elementos móveis vão se deslocar até esgotarem o curso dos limitadores, desaparafusar os parafusos de fixação retirar o posticho e colocar outro que tenha uma forma diferente. Assim, de uma forma rápida será possível produzir peças com configurações diferentes, baixando os custos e alargando a gama de produtos.

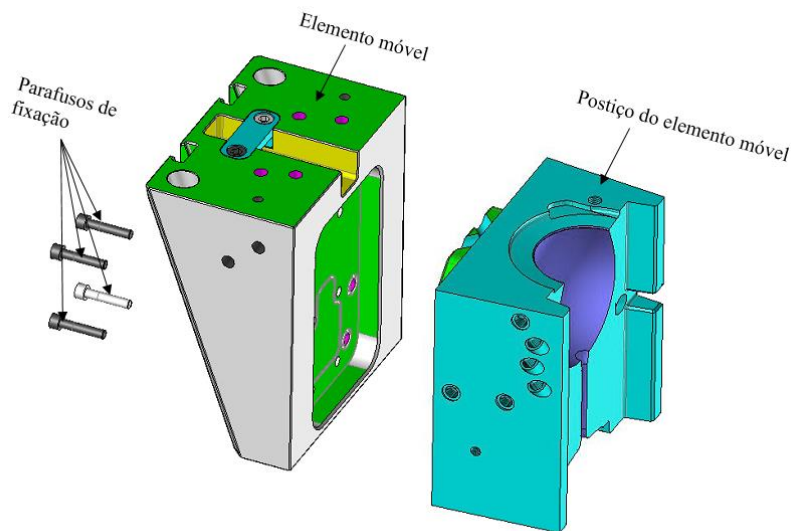


Figura 68 - Elemento móvel e posição do elemento móvel

Para o dimensionamento das molas do elemento móvel é necessário garantir que o elemento móvel não se irá mover depois da abertura do molde. Apesar do seu posicionamento não estar dependente da gravidade, durante o funcionamento, considerou-se que quando estes se encontrarem avançados a mola devem fazer no mínimo uma força correspondente ao peso de 62kgf (607,6 N).

Assim sendo foi selecionada a mola 355-32-305 da Rabourdin (Anexo III) com uma constante de 10,3 N/mm, com um comprimento de 305mm, suportando uma compressão máxima de 170,8 mm. O comprimento máximo da mola para o máximo da compressão pode ser calculado através da Eq. 1, obtendo-se um comprimento mínimo de 134,2 mm, dado que o alojamento projetado é de 140mm, conclui-se que o comprimento mínimo não vai ser atingido.

$$\text{Comprimento mínimo da mola} = \text{comprimento max.} - \text{compressão max.} \quad (\text{Eq.1})$$

O comprimento máximo da mola no final do curso do elemento móvel pode ser obtido através da soma do comprimento do alojamento da mola quando o molde está fechado (140mm) com o curso do elemento móvel (130 mm) obtendo-se o valor de 270 mm, sendo para este curso a força mínima que a mola irá fazer.

Para que a mola cumpra o critério de dimensionamento definido é necessário que respeite a condição da Eq. 2.

$$PEm \leq Cmola \cdot K$$

$$607,6 \leq (305 - 205) \cdot 10,3 \quad (\text{Eq. 2})$$

$$607,6 \leq 721$$

Sendo PEm p peso do elemento móvel, Cmola a compressão da mola e K constante elástica de mola, K, verifica-se que a condição é verdadeira indicando que a mola selecionada cumpre o critério de dimensionamento definido.

5. Desenvolvimento da célula de injeção sobreposta e insuflação

O desenvolvimento da célula de injeção sobreposta e insuflação procura dar resposta às necessidades que o desenvolvimento da ferramenta impõe, para que se assegure o seu correto funcionamento. As necessidades ao nível de equipamentos são:

- 1 Máquina de injeção;
- 1 Unidade auxiliar de injeção;
- 1 Prato rotativo;
- Compressor de ar comprimido (40bar);
- Sistema pneumático;
- Controlo dos parâmetros de insuflação (tempo de insuflação, tempo de espera, tempo de descompressão).

5.1. Seleção do equipamento de moldação por injeção sobreposta

Devido à Moldes RP não possuir equipamento de moldação por injeção foi necessário recorrer a um parceiro tendo por base relações comerciais, de confiança e proximidade geográfica sendo este fator determinante devido às características inovadoras da produto e da tecnologia, e que potencialmente iria necessitar de afinações e otimização. Relativamente à tecnologia de MI sobreposta e tendo em conta o conceito da ferramenta projetada, o equipamento necessário para a célula é uma máquina de injeção, uma unidade de injeção e um prato rotativo para o lado móvel do molde.

Entre o parque de máquinas desta empresa parceira, o equipamento selecionado foi a máquina de injeção de injeção V-480 da Negri Bossi (Anexo IV), a unidade de injeção auxiliar El.0300-35 da Plasdan (Anexo V) e o prato rotativo PRX 0950 (Anexo VI) do mesmo fabricante. Na Tabela 9 é possível observar as características da máquina versus o molde e o produto tidos em conta na seleção dos equipamentos. O valor da abertura do

molde necessário resulta da adição da altura máxima do molde com 3 vezes a altura máxima do produto. Na Figura 69 pode-se observar que o molde cabe entre as colunas da máquina e fica circunscrito no diâmetro útil do prato rotativo.

Tabela 9 - Características dos equipamentos versus características do molde /produto

	Características Equipamentos	Características Molde/Produto
Máquina de injeção Negri Bossi V-480	Força de fecho: 480 [tonf]	Força de fecho estimada: 86 [tonf]
	Dimensões entre colunas: 800x710 [mm]	Dimensões máximas do molde: 790 x 820 [mm]
	Altura do molde: 300 a 850 [mm]	Altura do molde: 681 [mm]
	Abertura máxima da máquina: 1680 [mm]	Abertura necessária para a extração da peça: 1275 [mm]
	Volume máximo de injeção do primeiro componente: 2010 [cm ³]	Volume da pré-forma: 56,8 [cm ³]
	Pressão máxima: 210 [MPa]	Pressão máxima de injeção primeiro componente: [85 MPa]
Unidade de injeção auxiliar EI.0300-35	Volume máximo de injeção do segundo componente: 168,38 [cm ³]	Volume do segundo componente: 25,4 [cm ³]
	Pressão máxima de injeção: 180 MPa	Pressão máxima de injeção segundo componente: [21 MPa]
	Diâmetro útil do prato: 950 [mm]	Diâmetro circunscrito pelo molde: 946 [mm]
	2 Circuitos do sistema de controlo de temperatura	2 Circuitos um para a chapa das buchas e outro para os dois pernos da bucha
	2 Circuitos hidráulicos ou pneumáticos	2 Circuitos hidráulicos para os cilindros dos tubulares 2 Circuitos pneumáticos para a insuflação de cada uma das buchas

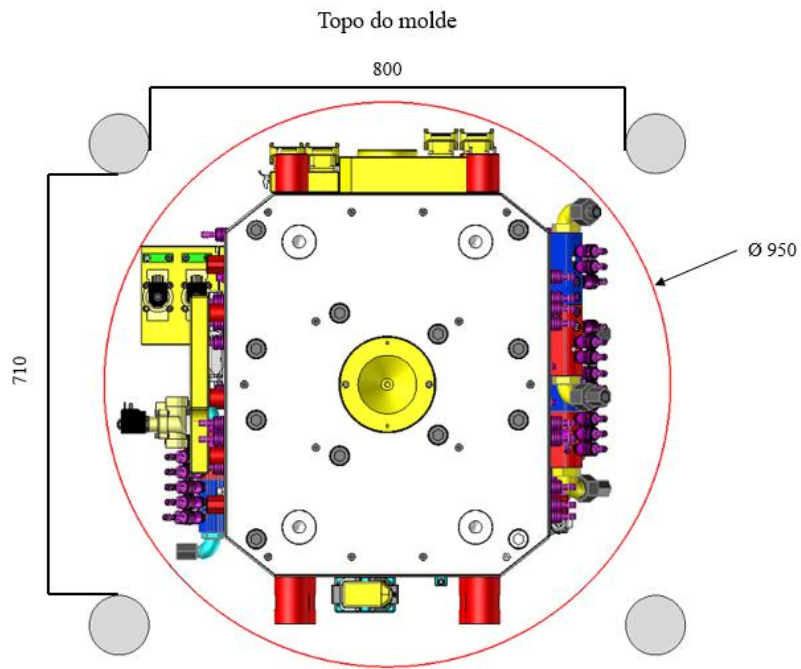



Figura 69 - Planta do molde com o diâmetro útil do prato rotativo e colunas da máquina de injeção.

Os equipamentos seleccionados respondem positivamente à grande parte dos requisitos, sendo que os conflitos encontram-se na quantidade de circuitos de óleo e pneumáticos disponíveis no prato rotativo. Para resolver este conflito e uma vez que a insuflação ocorre alternadamente em cada uma das buchas a solução encontrada foi a aplicação de electroválvulas que possibilitassem alterar os fluxos de ar e óleo alternando a bucha em funcionamento.

5.2. Seleção do compressor

Os requisitos para a seleção do compressor é a pressão máxima de 40bar, isento de óleo e de humidades. O compressor K8-250 da *Boge* permite satisfazer os requisitos tal como se pode verificar na Figura 70.



Modelo da BOGE	Volume do reservatório Litro	Pressão máxima		Débito real *		Potência do motor		Dimensões com isolamento acústico (mm)		Dimensões com super isolamento acústico (mm)		Peso com isolamento acústico kg	Peso com super isolamento acústico kg
		bar	psig	l/min	cfm	kW	CV	L x P x A	L x P x A				
K 3		10	150	244	9	2.2	3.0	1012 x 804 x 784	1312 x 804 x 784	182	189		
K 4		10	150	328	12	3.0	4.0	1012 x 804 x 784	1312 x 804 x 784	182	189		
		15	220	279	10	3.0	4.0	1012 x 804 x 784	1312 x 804 x 784	182	189		
K 6		10	150	466	16	4.0	5.5	1012 x 804 x 784	1312 x 804 x 784	209	216		
		15	220	420	15	4.0	5.5	1012 x 804 x 784	1312 x 804 x 784	209	216		
K 8		10	150	648	23	5.5	7.5	1012 x 804 x 784	1312 x 804 x 784	225	232		
		40	600	390	14	5.5	7.5	1012 x 804 x 784	1312 x 804 x 784	232	239		
K 3-	270	10	150	244	9	2.2	3.0	1700 x 804 x 1346	1770 x 804 x 1346	290	297		
K 4-	270	10	150	328	12	3.0	4.0	1700 x 804 x 1346	1770 x 804 x 1346	290	297		
	250	15	220	279	10	3.0	4.0	1700 x 804 x 1346	1770 x 804 x 1346	290	297		
K 6-	270	10	150	466	16	4.0	5.5	1700 x 804 x 1346	1770 x 804 x 1346	320	327		
	250	15	220	420	15	4.0	5.5	1700 x 804 x 1346	1770 x 804 x 1346	320	327		
K 8-	270	10	150	648	23	5.5	7.5	1700 x 804 x 1346	1770 x 804 x 1346	330	337		
	250	40	600	390	14	5.5	7.5	1700 x 804 x 1346	1770 x 804 x 1346	330	337		

Figura 70 - Compressores K3 a K8 da Boge.

No processo de compressão do ar a temperatura deste aumenta devido ao aumento da pressão. Nos compressores industriais a relação entre as pressões e os volumes específicos entre dois estados é considerada uma compressão politrópica, onde o expoente politrópico n , é obtido por via experimental e a relação entre os estados obtidos pela Eq. 3.

$$P_1 \cdot v_1^n = P_2 \cdot v_2^n \quad (\text{Eq. 3})$$

Devido a ser desconhecido o expoente politrópico para o compressor selecionado foi considerado que a compressão era adiabática, sem trocas de calor para o exterior, fazendo com que este seja o caso mais crítico ao nível do aumento de temperatura entre dois estados (Figura 80). Na compressão isotérmica foi considerado que durante a compressão de um gás a temperatura dele permanece constante. No caso da moldação por sopro pretende-se que a temperatura seja o mais baixa possível para que se consiga promover o arrefecimento da peça. Por outro lado, caso a temperatura seja superior à de processamento poderá ocorrer degradação do polímero.

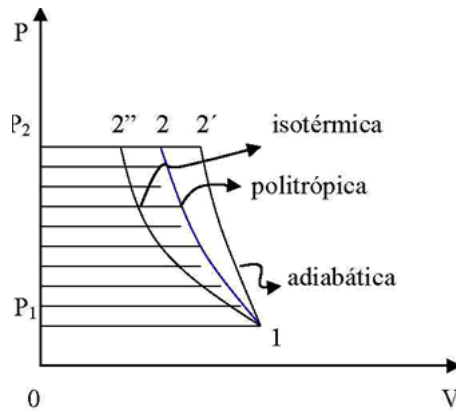


Figura 71 - Variação da pressão com o volume específico para vários regimes de compressão

A relação entre as pressões e temperatura entre dois estados na compressão adiabática são calculados através da Eq. 4 e o expoente k obtido através da Eq. 5, onde C_p é o calor específico a pressão constante e C_v o calor específico a volume constante.

$$P_1 \cdot v_1^k = P_2 \cdot v_2^k \quad (\text{Eq. 4})$$

$$k = \frac{C_p}{C_v} \quad (\text{Eq. 5})$$

No processo de compressão adiabático a relação entre as pressões e temperaturas pode ser calculado através da seguinte Eq. 6.

$$\frac{T_1}{P_1^{\frac{k-1}{k}}} = \frac{T_2}{P_2^{\frac{k-1}{k}}} \quad (\text{Eq. 6})$$

Considerando que o ar irá entrar no compressor à pressão de atmosférica de 101325 Pa (P_1) e uma temperatura ambiente (T_1) de 25°C (298,15 K), e usando o fator K de 1,356 a temperatura do ar (T_2) com 40 bar de pressão (P_2) é de 770K (497°C), o qual é muito superior à temperatura de processamento do plástico selecionado [44].

Com o objetivo de diminuir a temperatura do ar a 40bar, em vez de o compressor aspirar o ar ambiente passou-se a alimentar o compressor com o ar comprimido da rede, que se

encontra a 8 bar e 25°C devido à existência de um permutador de calor a montante do compressor. Assim sendo, e utilizando a Eq. 5 e um fator K de 1,391 a temperatura do ar comprimido a 40bar é de 467 K (194 °C) sendo claramente inferior à temperatura de processamento, possibilitando a insuflação sem que ocorra degradação térmica do plástico da pré-forma.

5.3. Sistema pneumático

A tecnologia e ferramenta desenvolvida têm como requisitos a existência de dois fluxos de ar, distintos ao nível da pressão do circuito, um para efetuar a insuflação e outra para a extração, utilizando o mesmo compressor. Para tal, do lado fixo do molde foram construídas duas ramificações controladas por electroválvulas (Figura 72). A montante de cada electroválvula existe um regulador de pressão que permite a afinação manual.

Devido ao prato rotativo disponível na máquina de injeção apenas possuir dois canais que podem ser utilizados para passar ar ou óleo, tendo um deles de ser obrigatoriamente utilizado para o sistema hidráulico dos cilindros que movem os tubulares e que permitem a abertura do canal de insuflação e extração. Dado que apenas existe um disponível, foi necessário instalar do lado móvel do molde duas electroválvulas que permitem a seleção do fluxo de ar para cada uma das cavidades.

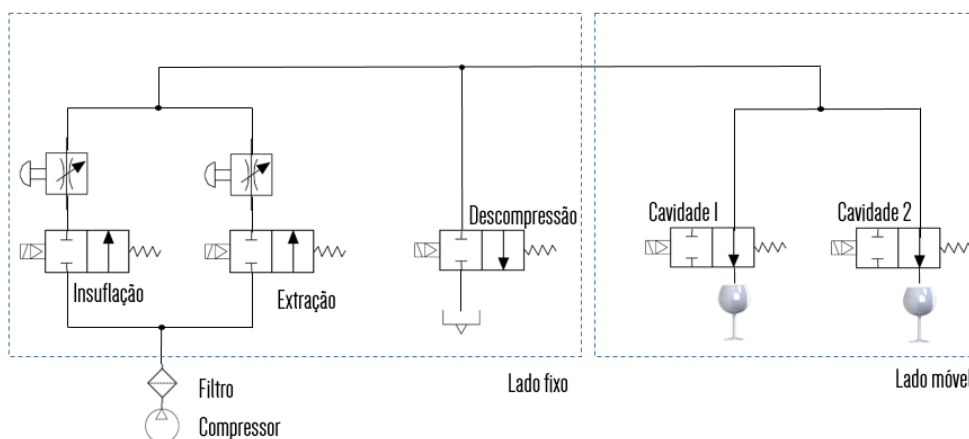
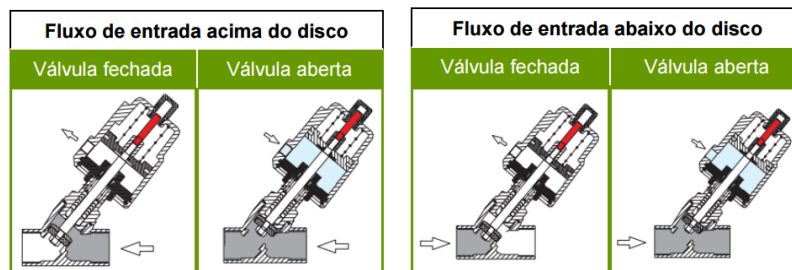


Figura 72- Esquema pneumático de insuflação, descompressão e extração

Os requisitos necessários para a seleção das válvulas pneumáticas são a pressão máxima de serviço ser de 233 °C, adicionando um coeficiente de segurança de 20% relativamente à temperatura máxima do ar devido à compressão ser de 194°C, e uma pressão máxima de 40 bar. Entre os vários fornecedores contactados verificou-se uma grande dificuldade em encontrar equipamento com estas especificidades. A solução encontrada foi a aplicação de electroválvulas angulares em aço inox (Figura 82). Estas válvulas permitem atingir temperaturas de serviço de 250°C. Ao nível das pressões a indicação de catálogo indica uma pressão máxima de 16 bar, no entanto, segundo o fornecedor caso o fluxo de entrada seja acima do disco pode atingir-se os 45 bares desde que o ar do cilindro tenha uma pressão de 8 bar. Tendo este requisito em atenção foram aplicadas as válvulas Elifluid Val-15-50 A para que a entrada fosse sempre feita acima do disco. Apenas nas válvulas seletoras de cavidade instaladas no lado móvel irão ter fluxo nos dois sentidos, para suporte da permutação da fase de insuflação para a descompressão. No entanto, neste caso não é crítico, uma vez que elas irão estar sempre abertas cada vez que uma das buchas estiver na fase de insuflação.



Aplicações: Água, vapor, gás, produtos químicos, indústria têxtil.

Figura 73 - Sistema de funcionamento em válvulas pneumáticas angulares

Na Figura 74 é possível observar a montagem das electroválvulas seleccionadas no molde, segundo o esquema pneumático projetado.

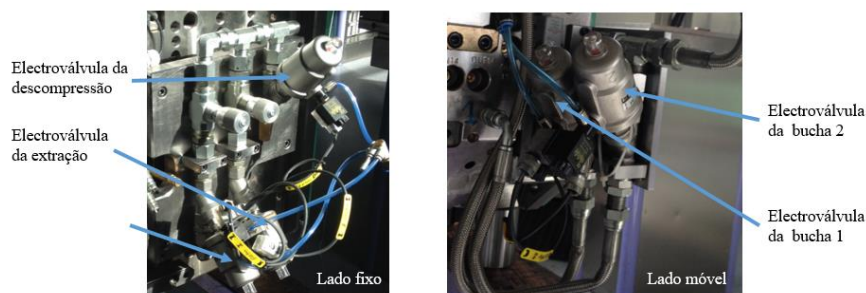


Figura 74 - Electroválvulas do lado fixo e do lado móvel.

5.4. Controlador lógico programável

Devido aos constrangimentos da máquina de injeção para controlar os tempos respeitantes ao processo de insuflação foi necessário recorrer a um Controlador Lógico Programável (CLP) que comandasse o processo do molde juntamente com a máquina de injeção. A máquina de injeção controla os parâmetros de injeção e o CLP controla os tempos do processo de MS. Para além disto, o CLP irá também controlar o envio de sinais dos sensores dos cilindros para a máquina de injeção e pilotar a electroválvula dos cilindros hidráulicos.

Para o desenvolvimento do programa foi utilizada a metodologia de Grafcet. Esta é uma forma sistemática de desenvolver a lógica que modela o funcionamento de um sistema. Para a realização do programa foram utilizados a especificação funcional (Grafcet nível 1) (Anexo VII) que permite traduzir o funcionamento do sistema independentemente das opções tecnológicas, representando o ponto de vista do utilizador. Posteriormente foi elaborado um Grafcet de nível 2 (Anexo VIII) integrando as opções tecnológicas e todas as opções elementares a realizar. Finalmente foi implementado o Grafcet reduzido (Anexo IX) em termos das variáveis do processo e do sistema utilizado na construção.

Para a implementação do programa foi utilizado o CLP-1200 da Siemens e uma consola KP-1300. Estes dispositivos foram instalados numa caixa apropriada. Na Tabela 10 é possível ver as entradas no CLP e na Tabela 11 podem observar-se as saídas do CLP. O sistema foi aplicado nos subsistemas de identificação de cavidade, controlo da posição dos cilindros hidráulicos, insuflação e extração e controlo manual.

Tabela 10 - Entradas do CLP.

Subsistema	Descrição	Sinal	Autômato
Identificação de cavidade	Micro bucha 1	Mb1	I0.0
	Micro bucha 2	Mb2	I0.1
Controlo da posição dos cilindros hidráulicos	Sensor cilindro 1 avançado	Sc1a	I0.2
	Sensor cilindro 1 recuado	Mc1r	I0.3
	Sensor cilindro 2 avançado	Mc2a	I0.4
	Sensor Cilindro 2 Recuado	Mc2r	I0.5
Insuflação e extração	Insuflação (máquina de injeção)	I	I0.6
	Extração (máquina de injeção)	E	I0.7
Controlo manual	Seleção manual de cavidade	Smc	I8.0
	Cavidade 1 manual	C1m	I8.1
	Cavidade 2 manual	C2m	I8.2
	Insuflação manual	Im	I8.3
	Descompressão manual	Dm	I8.4
	Extração manual	Em	I8.5
	Emergência	E	I8.6

Tabela 11 - Saídas do CLP

Subsistema	Descrição	Sinal	Autômato
Identificação de cavidade	Electroválvula cavidade 1	Ec1	Q0.0
	Electroválvula cavidade 2	Ec2	Q0.1
Controlo posição dos cilindros hidráulicos	Cilindro hidráulico avançado	Cha	Q0.2
	Cilindro hidráulico recuado	Chr	Q0.3
Insuflação e extração	Cilindro virtual avançado	Cva	Q0.4
	Cilindro virtual recuado	Cvr	Q0.5
	Electroválvula insuflação	Ei	Q8.0
	Electroválvula descompressão	Ed	Q8.1
	Electroválvula extração	Ee	Q8.2
Controlo manual	Electroválvula cavidade 1	Ec1	Q0.0
	Electroválvula cavidade 2	Ec2	Q0.1
	Electroválvula insuflação	Ei	Q8.0
	Electroválvula descompressão	Ed	Q8.1
	Electroválvula extração	Ee	Q8.2

5.4.1. Identificação da cavidade

Devido ao lado fixo possuir dois sistemas de impressão distintos, um para a injeção da pré-forma e outro para a insuflação e injeção do segundo componente, foi necessário fazer a identificação ativação de electroválvulas que direcionam o fluído de ar (insuflação e extração) e óleo (movimentação de cilindros hidráulicos) para a bucha que se encontra no sistema de impressão da insuflação. Para tal, foram colocados dois sensores mecânicos do lado fixo que são pressionados por uma cavilha do lado móvel. Quando a bucha 1 se encontra na posição de insuflação é ativado um sensor. Quando o molde abre e roda será a bucha 2 a entrar no sistema de impressão da insuflação. Nesta altura outra cavilha irá atuar o sensor da cavidade 2, conseguindo desta forma fazer a identificação da cavidade. Esta identificação é então utilizada para posicionar a electroválvula hidráulica e as pneumáticas no sentido de possibilitar que o ar flua e o cilindro que se movimenta seja o da bucha que está na fase de insuflação (Figura 75).

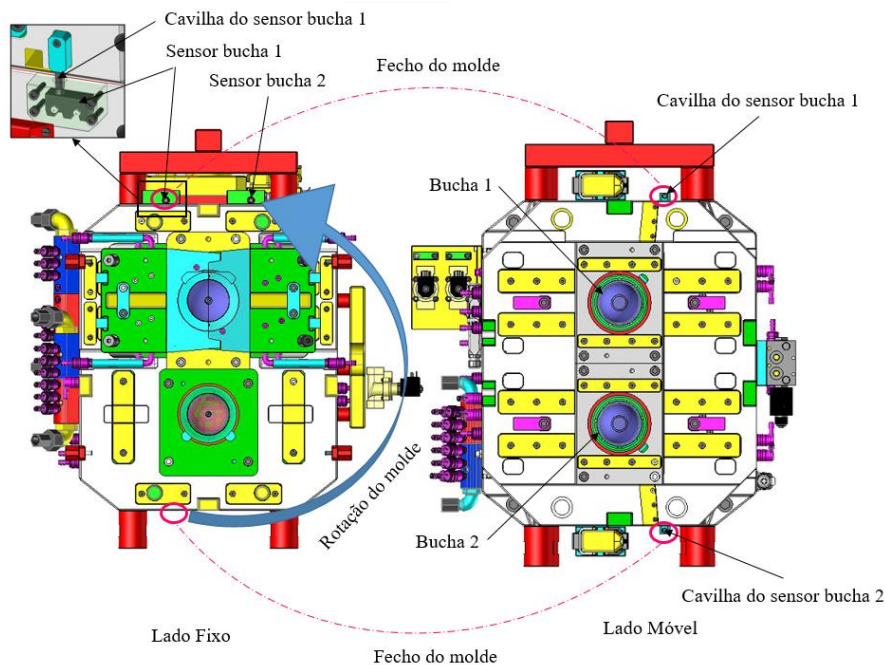


Figura 75 - Funcionamento dos sensores de deteção da posição das buchas

5.4.2. Controlo da posição dos cilindros hidráulicos

Devido a serem necessários dois cilindros hidráulicos para comandar as válvulas tubulares de cada uma das buchas (Figura 85), apenas existe um circuito de óleo disponível no prato rotativo. O CLP irá fazer o controlo dos sinais do sensor, uma vez que do ponto de vista da máquina de injeção apenas existe um cilindro hidráulico, suportando por este motivo apenas dois sensores de posição (avanzado e recuado), quando na realidade existem dois cilindros que trabalham alternadamente possuindo um total de quatro sensores.

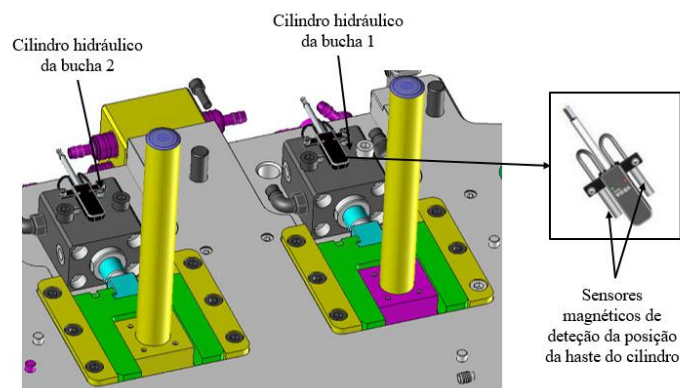


Figura 76 - Cilindros hidráulicos e sensores

O programa de controlo dos cilindros usa os quatro sensores dos dois cilindros, garantindo que quando o ciclo se inicia os cilindros estão na posição correta, ambos avançados ou recuados, conferindo liberdade ao operador da máquina quanto à ligação dos sensores. Durante o funcionamento o CLP recebe os quatro sinais dos sensores instalados nos cilindros, e a partir destes envia apenas dois sinais para a máquina de injeção, garantindo o seu posicionamento e permitindo desta forma que o molde trabalhe com dois cilindros, sendo feito o controlo da sua posição.

5.4.3. Insuflação e extração

Devido à máquina de injeção selecionada não possuir forma de controlar os tempos de abertura das electroválvulas de insuflação, descompressão e extração, o CLP controla estes tempos sendo feito o interface com o utilizador a partir de uma consola. Para garantir que a não ocorre penetração do segundo componente no primeiro definiu-se que a válvula tubular só irá ser aberta no final da fase de pressurização do segundo componente.

Para se iniciar a abertura das válvulas de insuflação é necessário que a máquina envie um sinal para o autómato. A forma encontrada para utilizar um sinal da máquina de injeção foi a adição de um cilindro hidráulico “virtual” no programa da máquina de injeção, trabalhando a velocidade e pressões nulas. Quando na máquina um determinado cilindro é ativado, o sistema de controlo da máquina fornece corrente a um relé (Figura 77) que irá acionar a posição da electroválvula correspondente ao movimento definido na consola. Desta forma foi utilizado o sinal dos relés da máquina de injeção para entradas do autómato (avançar cilindro “virtual” e recuar cilindro “virtual”).

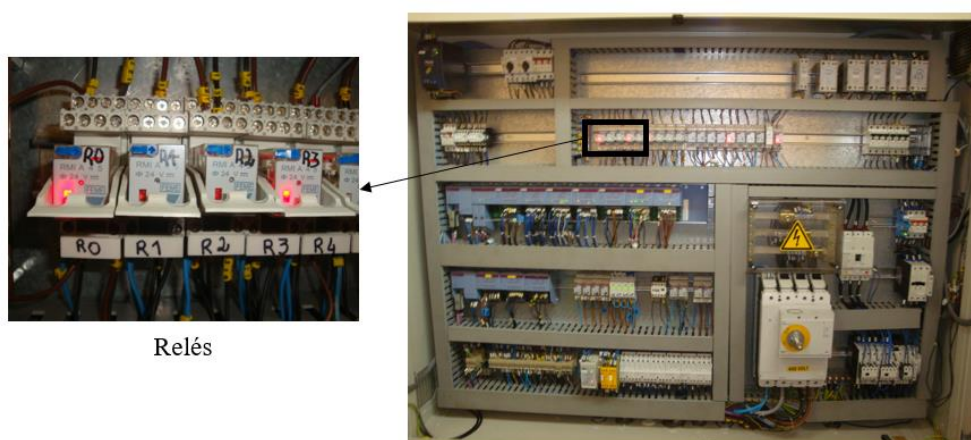


Figura 77 - Quadro elétrico da máquina de injeção.

Para efetuar movimentos hidráulicos com segurança devem ser utilizados sensores que determinem a posição dos cilindros. Neste caso como não existe cilindro é o CLP que envia os sinais à máquina correspondentes à posição do cilindro. Quando o CLP recebe o sinal de avançar do cilindro virtual, inicia-se o ciclo de insuflação: tempos de insuflação, atraso da descompressão (tempo de espera) e a descompressão. Findado este ciclo, o autómato envia um sinal para a máquina de injeção, simulando que o cilindro “virtual”

está avançado. Posteriormente, o molde abre e ocorre a extração. Para que a extração ocorra, a máquina faz recuar o cilindro “virtual” recebendo o CLP um novo sinal, permitindo a este abrir a válvula de extração controlando o tempo da abertura. Finalmente, envia um sinal à máquina indicando que o cilindro virtual está recuado.

5.4.4. Controlo manual

O controlo manual das electroválvulas permite ao utilizador definir manualmente o estado de cada uma das electroválvulas. Este tipo de controlo é muito importante para o arranque do molde, uma vez que permite a verificação de cada componente do sistema pneumático, podendo ainda ser usado na ocorrência de anomalias durante a produção do molde. Para a criação da consola de controlo foi desenvolvida uma caixa onde foi colocado o CLP, botões e consola de controlo do autómato. Para proteger o autómato e possibilitar as correntes necessárias para os solenoides que atuam as electroválvulas foram incorporados relés, que são pilotados pelo autómato (Figura 87).

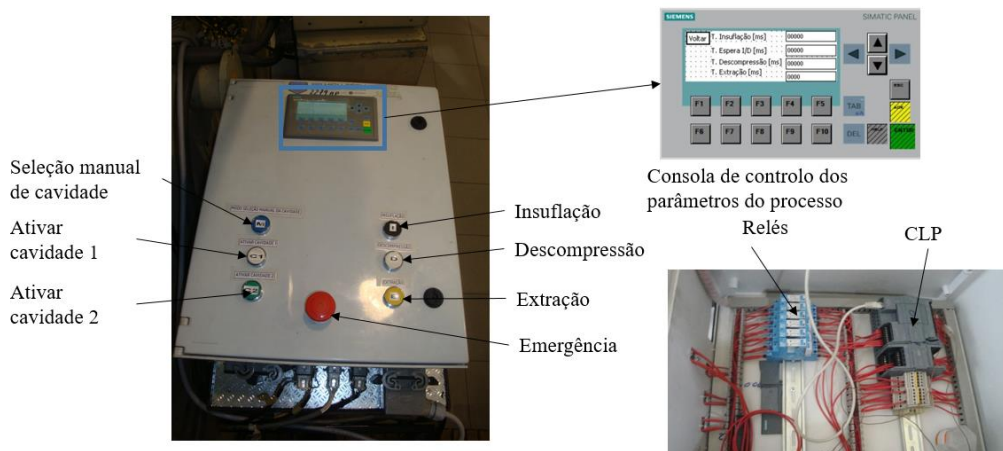


Figura 78 - Caixa do CLP e consola de controlo de parâmetros.

Por questões de segurança da caixa, evitando a ativação indevida, foi criado um botão biestável que ativa o controlo manual. Os comandos manuais, em especial o acionamento das electroválvulas de seleção das cavidades, só funcionam caso este interruptor seja ativado.

5.4.5. Seguranças e controlos implementados no programa do PLC

Para garantir a segurança dos utilizadores e do molde foram implementados os seguintes sistemas de segurança na programação do PLC:

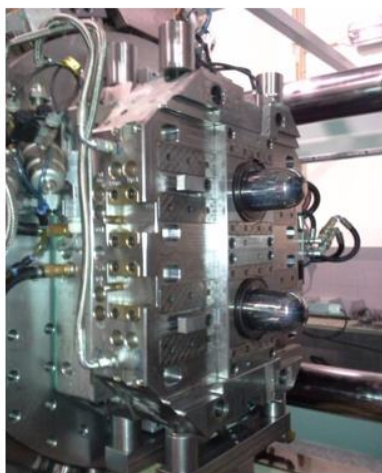
- Botão de emergência que quando ativo impossibilita a abertura das electroválvulas da insuflação, descompressão e extração;
- A insuflação só ocorre quando pelo menos uma das válvulas tubulares estiver aberta, evitando a pressurização dos canais de insuflação;
- A insuflação só pode ocorrer com o molde fechado, mesmo em funcionamento manual;
- A extração só ocorre com o molde aberto.

6. Validação do molde e sistema desenvolvido

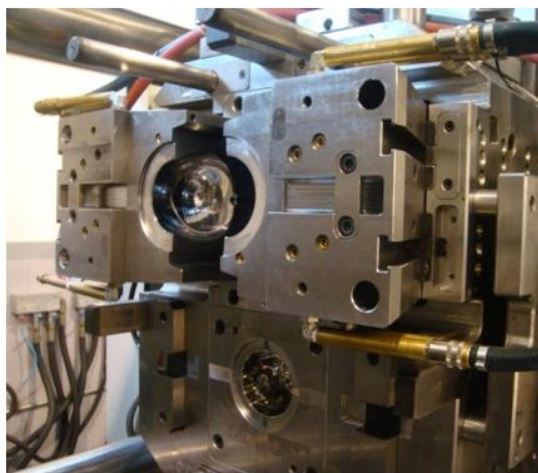
Por forma a testar o molde e todo o sistema desenvolvido no âmbito deste trabalho, a célula de produção foi instalada por forma a produzir produtos (i.e. copos de gin de acordo com os requisitos estabelecidos), tendo como intuito avaliar se os parâmetros de qualidade, assim como de eficácia produtiva se encontram respondidos. Caso isso não acontecesse, esta etapa teve como objetivo também identificar potenciais melhorias que se possam introduzir no sentido de conseguir os resultados pretendidos.

6.1. Resultados de testes de moldação por injeção sobreposta e insuflação

Na Figura 79 pode-se observar o molde montado na máquina de injeção. Devido à complexidade do molde e a necessidade de ligação de cablagem entre o molde, a máquina de injeção e o CLP, a montagem do molde revelou-se relativamente demorada, perfazendo cerca de 30 minutos.



Lado fixo



Lado móvel

Figura 79 - Montagem do molde na máquina de injeção

As temperaturas utilizadas nos vários circuitos do molde foram de 60 °C, e em relação ao circuito do perno da bucha a temperatura utilizada foi de 25°C, para garantir arrefecimento da zona central da pré-forma, e assim garantir que não existe penetração do segundo componente no primeiro componente.

A temperatura das resistências da bucha revelou-se de extrema importância para a robustez do processo. Para valores inferiores a 150°C (Tg típica do policarbonato), não foi possível efetuar a insuflação da pré-forma, sendo que aos 160°C foi possível efetuar a insuflação. No entanto, o processo não se mostrou robusto surgindo por vezes peças que não insuflavam. Face aos testes realizados, verificou-se que a temperatura utilizada e que garantia a robustez do processo foi de 170°C. Para valores superiores a 200°C, a pré-forma não apresentou a resistência suficiente para que pudesse ser insuflada, rompendo-se aquando da insuflação.

Em relação ao primeiro componente (pré-forma) os parâmetros de injeção e pressurização utilizados e que permitiram a obtenção de peças com a qualidade encontram-se descritos na tabela seguinte. Para tempos de injeção inferiores a 0,6s a pressão de injeção hidráulica atinge os valores máximos da máquina de injeção de 210 MPa e a pré-forma apresenta esteiras com zonas queimadas. Utilizando 1,2s de tempo de injeção a qualidade da pré-forma é aceitável e a pressão máxima de injeção é de injeção é de 110 MPa. A pressão de pressurização utilizada foi de 80MPa aplicada durante 4s.

Tabela 12 - Parâmetros de injeção do primeiro componente

Tempo de injeção [s]	1,2
Temperatura do fundido [°C]	290
Pressão de pressurização [MPa]	80
Tempo de pressurização [s]	4
Tempo de arrefecimento [s]	22,8

Na injeção do segundo componente, o maior problema deveu-se a formação de vazios no pé do copo devido à sua elevada espessura (10 mm). Para minimizar esse problema foram utilizados tempos de injeção relativamente grandes (2,4s) tendo em conta o volume do segundo componente. A pressão máxima de injeção para este tempo é de 35 MPa. No entanto, a pressão de pressurização utilizada não foram os habituais 70 a 80% da pressão máxima de injeção, verificando-se que com o aumento de pressão a quantidade e tamanho dos vazios diminuía. A temperatura de injeção também afetou os vazios sendo utilizada

a temperatura de 250°C (i.e. 40°C abaixo do valor médio recomendado). O tempo de compactação também tiveram influência sobre os vazios, no entanto a partir dos 10 s não se verificou impacto significativo, tendo-se utilizado este valor como tempo máximo de pressurização.

A zona do pé do copo é a zona crítica ao nível do arrefecimento. Neste sentido, foram efetuados vários testes diminuindo o tempo de arrefecimento, verificando-se que para valores inferiores a 13s de arrefecimento a haste do pé deformava-se, interferindo com a perpendicularidade desta relativamente ao pé do copo (Tabela 13).

Tabela 13 - Parâmetros de injeção do segundo componente

Tempo de injeção [s]	2,4
Temperatura do fundido [°C]	250
Pressão de pressurização [MPa]	80
Tempo de pressurização [s]	14,0
Tempo de arrefecimento [s]	12,0

A partir dos 30 bar de pressão do gás da insuflação ocorre insuflação da pré-forma, no entanto esta não se dá de forma perfeita, sendo que o intervalo de valores que possibilita alguma robustez à insuflação da pré-forma é de 35 a 40bar.

O tempo de insuflação tem importância no diâmetro máximo do reservatório, tendo-se verificado que para 3s de insuflação, o diâmetro máximo é de 103mm, com 7 s é de 108mm e com 10s é de 110 mm. Apesar destes valores indicarem que o diâmetro máximo de 106mm não é atingido, no entanto como esta dimensão não é um requisito crítico do projeto, e que para valores superiores a 10s ocorre aumento do tempo de ciclo, foi definido 10s como tempo de insuflação.

O tempo de espera que é um tempo existente entre o final da insuflação e o início da descompressão foi de 0 s, verificando-se que este tempo não tem impacto sobre o produto. O tempo de descompressão utilizado foi de 2s, verificando-se que para valores inferiores, o volume entre as buchas e a zona do reservatório do produto continuava com uma pressão que forçava o produto a ficar do lado fixo do molde aquando da abertura deste (Tabela 14).

De destacar que, os somatórios dos tempos de insuflação e descompressão correspondem ao tempo de arrefecimento do segundo componente.

Tabela 14 - Parâmetros de insuflação

Pressão de insuflação [bar]	35-40
Tempo de insuflação [s]	10
Tempo de espera [s]	0
Tempo de descompressão [s]	2

A abertura do molde demora 0,8 s, a rotação 2s, e a extração 0,7 s. Para tempos de extração inferiores a 0,5 s não ocorre a extração do produto da bucha e para tempos superiores a 0,9 s o produto colide com o lado fixo do molde. O somatório dos tempos de abertura, rotação e extração é de 4,3 s.

Como conclusão dos testes efetuados verifica-se que:

- O tempo mínimo de ciclo que se conseguiu atingir garantindo os requisitos do produto foi de 32 s, para uma temperatura de injeção de 250 °C. Caso o tempo de injeção seja menor ocorre a deformação da haste do pé do copo, fazendo com que a base do pé não fique perpendicular à base. Quando a temperatura do plástico é inferior a 250 °C detetam-se defeitos superficiais no produto;
- O tempo de insuflação afeta significativamente o diâmetro máximo do reservatório, com 3s de insuflação o diâmetro máximo do reservatório é de 103mm e com 9s o seu diâmetro é de 110 mm, verificando-se assim um aumento significativo;
- O tempo ótimo de extração é de 0,3 s, sendo que para valores inferiores o produto mantêm-se na bucha, e para valores superiores a 0,7s o produto colide com o lado móvel;
- O tempo de descompressão deve ser no mínimo de 1s, para valores inferiores o produto fica do lado fixo;
- Para valores inferiores a 30bar não ocorre a insuflação da pré-forma, e para que se consiga garantir com consistência a insuflação do produto, a pressão do reservatório deve ser o mínimo de 35 bar, tendo-se trabalhado com valores entre os 35 e os 40 bar;

Na Figura 80 é possível observar alguns dos produtos produzidos.



Figura 80 - Copos de gin em PC.

Na Figura 81 é possível observar alguns dos defeitos encontrados aquando dos testes realizados.

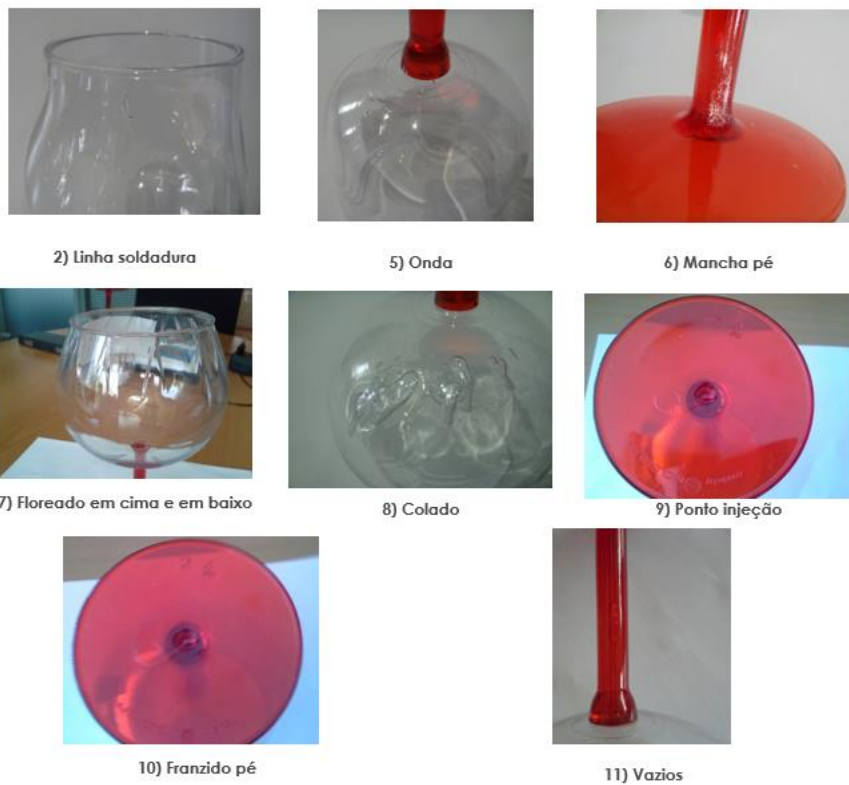


Figura 81 – Defeitos visuais identificados.

Os testes efetuados permitiram também otimizar as formas do produto. Na figura abaixo é possível efetuar a comparação entre o modelo inicial e o modelo final, sendo possível observar que, em relação ao modelo original, o diâmetro do pé foi incrementado de 8 para 10 (mm) não por uma questão de resistência mas porque visualmente transmitia a ideia de fragilidade. No respeitante às formas do reservatório estas foram melhoradas, com o objetivo de melhorar a aparência, preferindo-se uma continuidade de forma. A zona do bocal foi modificada devido ao processo de insuflação, existindo a necessidade de criar uma zona com contra saída que possibilitasse a fixação da pré-forma aquando da insuflação.

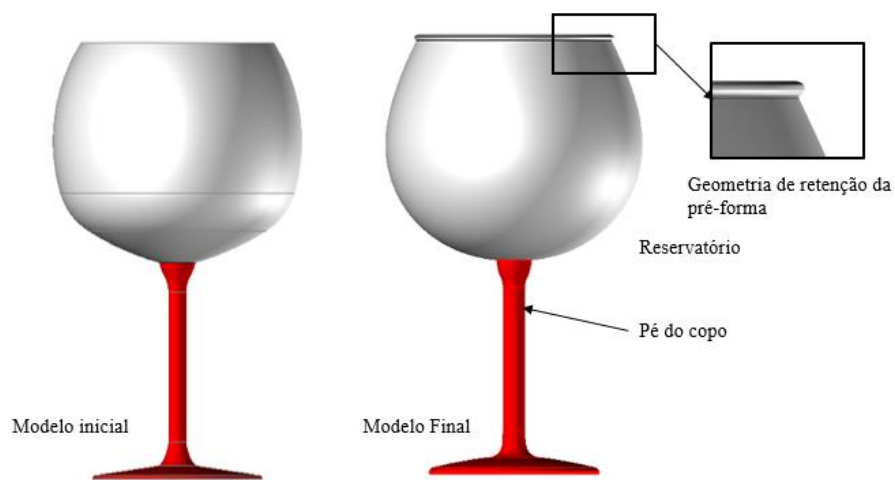


Figura 82 - Evolução das formas do produto

7. Estimativa de custos

A estimativa de custos de produção tem como objetivo determinar a parcela dos custos inerentes à produção de peças plásticas. Para o seu cálculo deve-se ter em atenção os seguintes itens:

- Custo de produção do molde (investimento);
- Custo máquina de injeção;
- Custo de manutenção do molde;
- Custo de posse/armazenamento;
- Custo de preparação do molde na máquina de injeção;
- Custo de matéria-prima.

Os custos de manutenção do molde foram considerados desprezíveis, uma vez que o orçamento do molde inclui a manutenção e garantia do molde até um milhão de ciclos. A manutenção que é feita ao nível de lubrificação dos componentes mecânicos é feita pela empresa de injeção e encontram-se diluídos no preço hora da mesma. Os custos de posse também vão ser considerados desprezíveis pelo motivo do armazenamento ser feito na empresa de injeção e não apresentar custo para a Moldes RP.

Assim sendo os custos analisados são:

- Custo de produção do molde (Investimento);
- Custo máquina de injeção;
- Custo de preparação do molde na máquina de injeção;
- Custos de matéria-prima.

Desta forma os custos do processo produtivo são encontrados através da Eq. 7.

$$\text{Custo peça} = \frac{\text{Custo do molde} + \text{custo montagem} + \text{custo máquina de injeção} + \text{custo material}}{\text{Peça}} \quad (\text{Eq. 7})$$

7.1. Custos do molde

A determinação do custo do molde por peça é obtida através da razão entre o custo de cada molde e a quantidade expectável de peças produzidas (Eq. 8), sendo que esta é o produto entre a quantidade total de vendas e a quantidade de peças por máquina. Devendo ter em consideração que o molde representa um investimento que se estipulou ser pago a 3 anos com uma taxa de 3%, sendo os custos dos juros incrementados ao valor do molde. Assim sendo, e considerando que o custo do molde é de 80 000 € e as vendas de peças de 1 000 000 , obtêm-se um custo do molde por peça de 0,0874€/peça.

$$\text{Custo molde/Peça} = \frac{\text{Custo do molde} * 1.03^3}{\text{Quantidade espectável de vendas}} \quad (\text{Eq. 8})$$

7.2. Custos de montagem

Os custos de montagem contemplam o tempo de montagem do molde na máquina de injeção e o número de tiragens que é necessário para que o processo seja estabilizado. Desta forma os custos totais de *setup* são encontrados através da Eq. 9.

$$\text{Custos montagem} = \frac{\text{Custos montagem molde} + \text{Custos de estabilização do processo}}{\text{Peça}} \quad (\text{Eq. 9})$$

Para calcular o custo de montagem do molde, foi admitido que o tempo médio de montagem do molde na máquina de injeção seria de 1 hora, sendo este custo diluído na totalidade das peças produzidas em cada lote. Foi considerado que apenas se faz uma produção semanal correspondente à produção a 1/52 da produção anual, fazendo apenas uma montagem por semana. Contudo, com a noção de que a firma que irá produzir as peças plásticas terá de calcular a quantidade económica de produção de acordo com as características internas, avaliando os seus custos de armazenamento e de posse específicos.

Os produtos apresentam tipicamente uma curva de crescimento até atingirem o seu auge de vendas e a partir daí ocorre o decréscimo de vendas até ao final de vida do produto, lançando-se nessa altura novas versões do produto. Por este motivo considerou-se como início de vendas o ano de 2016 e apresentando as variações descritas na tabela em baixo.

Tabela 15 - Produção diária expectável.

	Vendas 2016	Vendas 2017	Vendas 2018	Vendas 2019	Vendas 2020	Total de vendas
Vendas Anuais (produtos)	163 935	196 722	245 902	245 902	147 541	1000 004
Crescimento anual (%)	-	20%	25%	0%	-40%	-
Produção Semanal	3153	3783	4729	4729	2837	-

Devido à variabilidade de produção de peças por ano e consecutivamente por semana, o custo de montagem é variável ao longo dos anos. Para atingir um valor médio do custo de montagem do molde por peça, este foi calculado com recurso à média ponderada descrita na Eq. 10.

$$\text{Custo setup molde/Peça} = \sum_{i=2016}^{2020} \frac{\text{Custo máquina/hora}}{\frac{\text{peça}}{\text{semana}} \text{ no ano } i} * \frac{\text{Produção no ano } i}{\text{Produção total}} \quad (\text{Eq. 10})$$

Sabendo que o custo de máquina/hora é de 80 €, incluindo a segunda unidade de injeção, o prato rotativo e o compressor, obtém-se um custo de montagem do molde de 0,021 €/peça.

Para além do tempo de montagem do molde na máquina de injeção foi considerado que as 5 primeiras tiragens, são desperdício devido à necessidade de estabilizar o processo, sendo este custo determinado através da Eq. 11. Contudo, o desperdício de material não

foi contabilizado devido a este ser posteriormente moído e incorporado no fabrico de novas peças, sendo o seu custo diluído na totalidade das peças obtidas em cada produção.

$$Custo \text{ estabilização} = \sum_{i=2016}^{2020} \frac{Custo \frac{maquina}{hora} * 5 * tempo \text{ de ciclo [s]}}{\frac{3600 * Produção \text{ semanal no ano } i}{Produção \text{ total}}} \quad (\text{Eq. 11})$$

Para a determinação do tempo de ciclo foram efetuados vários testes no sentido de se encontrarem os menores tempos de ciclo que permitiram obter peças com a qualidade desejável, encontrando-se o seu equilíbrio aos 32 s. Para valores mais baixos começa a ocorrer a deformação da haste do pé. Assim sendo, os custos de estabilização são de 0,002€/peça. Somando a este valor o custo de montagem do molde obtêm-se um valor total dos custos de montagem de 0,023€/peça.

7.3. Custos máquina de injeção

O custo máquina por peça pode ser determinado através da razão entre custo da máquina de injeção por hora e a cadência de produções por hora. Esta pode ser determinada dividindo uma hora pelo tempo de ciclo sendo de seguida afetada pelo número de cavidades do molde. Sabendo que o tempo de ciclo é 32s e com recurso à Eq. 12 obtêm-se um custo de máquina por peça de 0,711 €.

$$\frac{Custo \text{ Máquina}}{Peça} = \frac{custo \text{ máquina/hora}}{3600} * tempo \text{ de ciclo [s]} \quad (\text{Eq. 12})$$

7.4. Custos matéria-prima

Os custos da matéria-prima são obtidos através do produto do custo o material por kg e a massa de cada uma das peças. Considerando que o custo do material selecionado é de

2,45 €/kg e que a massa das peças é aproximadamente de 98,6g, chega-se ao valor de 0,242€ por peça (Eq. 13).

$$\frac{\text{Custo matéria prima}}{\text{Peça}} = \frac{\text{Custo matéria prima}}{\text{Kg}} * \text{massa da peça} \quad (\text{Eq. 13})$$

7.5. Custeio das peças

Determinados os valor parciais de cada um dos custos e com recurso à Eq. 7 chega-se à conclusão que os custos de produção de cada uma das peças é de 1,07€. O custo do molde representa 8,41% do custo total, o custo de montagem 1,87%, o custo da matéria-prima 23,37% e o custo mais significativo é o da máquina de injeção representando 66,35% do custo total.

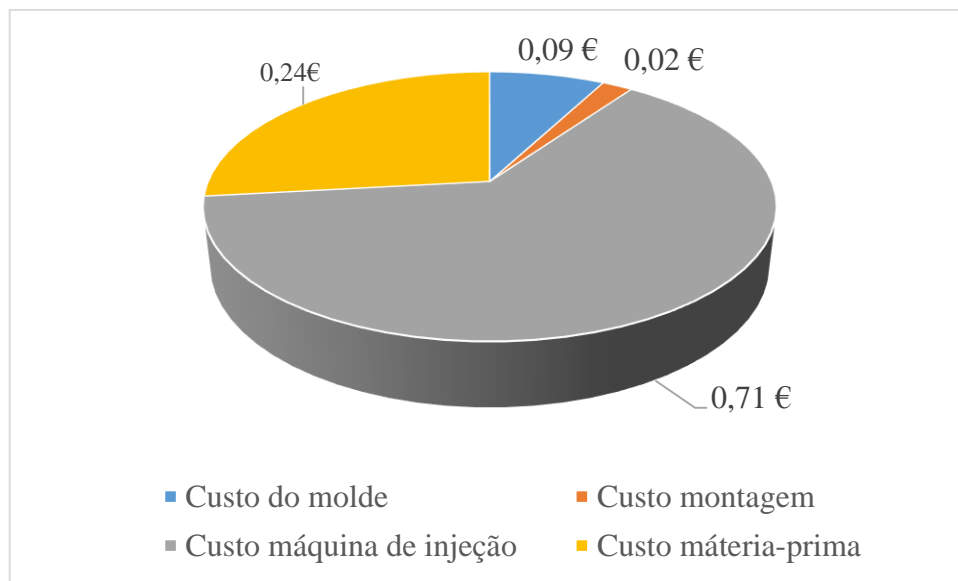


Figura 83 – Diversas rúbricas de custos para custeio da peça.

Tendo em conta que o preço de venda estimado para o produto é de 3€, os custos de produção representam 35,7%. Por outro lado se considerarmos que até ao produto chegar ao consumidor final será necessário a inclusão de um retalhista e assumindo que a Moldes

RP irá ter um lucro de 50% e o retalhista um lucro de 30%, o produto ficará no valor de 2,09€ ficando os 0,91€ de diferença para custos de transporte.

Considerando que Moldes RP pretende ter um lucro de 50%, irá lucrar 0,54€ em cada produto e relembrando que os custos totais do molde são de 87 418€ será necessária a comercialização de 139 334 produtos para que se tenha retorno do investimento. Caso a quantidade espectável de vendas seja atingida a empresa irá lucrar 540 000 euros.

8. Conclusões e trabalhos futuros

O principal objetivo a alcançar com a realização deste trabalho consistiu no desenvolvimento de uma tecnologia que permitisse a produção de formas complexas ocas integrando a moldação por injeção e moldação por sopro e a sua validação através da produção de um copo de gin em material polimérico. Em termos de objetivos parciais, destaca-se o desenvolvimento do copo de gin e do molde necessário para a sua produção.

Assim, e em termos resumidos, salienta-se que todos os objetivos foram alcançados, sendo que se conseguiu ainda com o desenvolvimento deste trabalho:

- Definição de estratégias de conceção e desenvolvimento do produto;
- *Know how* ao nível da tecnologia de moldação por sopro e controladores lógicos programáveis;
- Desenvolvimento de uma célula de produção de injeção sobreposta e sopro;
- Desenvolvimento do conhecimento sobre propriedade industrial culminando no pedido de patente internacional WO2014185807;
- Demonstração da viabilidade técnica e económica do processo tecnológico desenvolvido.

As principais dificuldades encontradas foram:

- Dependência de parceiros externos para o desenvolvimento da célula de fabrico;
- Desconhecimento do processo de moldação por sopro;
- Dificuldade em efetuar o dimensionamento da zona de fixação do bocal do produto;
- Controlo e monitorização da temperatura da pré-forma.

Adicionalmente, a elaboração deste trabalho proporcionou o contacto direto com o conceito de conceção e desenvolvimento de produtos, abrangendo desde a idealização do produto até à sua fase de produção, passando pelas diversas fases deste processo, as quais são fundamentais para se obter um produto inovador e um negócio de sucesso.

Para realização deste género de projetos é necessário manter o contacto com diversas áreas da engenharia e tecnologias associadas ao processo, desde materiais, ferramentas de modelação assistida por computador e controladores lógicos programáveis.

É nesse sentido, fundamental e necessário, que para conceber e desenvolver produtos sejam formadas equipas multidisciplinares, que abranjam conhecimentos nas áreas referidas, para assim se conseguir obter resultados satisfatórios em curtos espaços de tempo. De outra forma, este processo torna-se bastante demorado e pouco sólido, pelo que poderá suceder-se o caso de, aquando da entrada do produto no mercado, este já se encontrar obsoleto ou ultrapassado.

Na fase de conceção das ferramentas que tornam possível a produção de peças plásticas, foi utilizada a técnica *Design for Manufacturing* como suporte. No entanto, ficou patente a quantidade de iterações que seriam necessárias até à obtenção de um produto otimizado. De facto, o trabalho realizado nesta fase não deve ser considerado uma etapa após o desenvolvimento da solução, pois quanto maior for a ligação entre todas as etapas desde a ideia até ao produto final, menores serão os custos e melhor será o produto final.

8.1. Conclusões específicas

A utilização de uma metodologia para a conceção e desenvolvimento do produto revelou-se de extrema importância para a realização deste trabalho. De facto, a definição dos requisitos do produto permitiu criar entradas e pontos de verificação que foram utilizados ao longo do desenvolvimento deste trabalho e que permitiu um acompanhamento mais eficaz dos objetivos previstos *versus* os alcançados.

No respeitante à seleção da matéria-prima, esta teve por base os requisitos do produto *versus* as características dos materiais identificados pela vigilância tecnológica, levando à seleção do policarbonato. No entanto, poderão vir a ser testados outros materiais abrindo assim espaço para a redução de custos de produção.

Devido aos requisitos e à forma do produto foi necessário desenvolver um novo processo integrando as tecnologias de moldação por injeção sobreposta e sopro, criando-se assim a necessidade de se desenvolver uma ferramenta (molde) e célula de produção que permitisse a materialização da ideia.

A conceção e desenvolvimento da ferramenta foi realizada com base na metodologia para desenvolver moldes para injeção de termoplásticos, tendo sido no entanto necessário integrar neste tipo de ferramentas o sistema de sopro, o que impôs desafios e para os quais foi obrigatório dotá-la de particularidades específicas. A conceção do molde teve ainda em consideração a evolução do produto ao longo da sua vida, prevendo a produção de diversas formas de copos, dentro de alguns limites, através da intermutabilidade dos componentes do sistema de impressão, e possibilitando que a troca destes seja feita diretamente na máquina de injeção.

Para a produção do produto foi desenvolvida uma célula de produção integrando uma máquina de injeção, um controlador lógico programável e um compressor, possibilitando o controlo de todos os parâmetros necessários à produção de peças através do processo de moldação por injeção sobreposta e insuflação e com recurso ao molde projetado e fabricado. Este desenvolvimento revelou-se muito complexo devido à interligação entre várias tecnologias. No entanto, foi bastante enriquecedor face às inúmeras possibilidades de desenvolvimento que indústria transformadora de plásticos ainda oferece apesar de ser bastante madura.

A validação do molde e do sistema desenvolvido permitiu a materialização de todo o trabalho. Nesta fase foram necessários efetuar bastantes testes devido ao elevado número de variáveis envolvidas e às exigências dos requisitos do produto. Porém, apesar de todas as dificuldades sentidas chegou-se aos resultados pretendidos, demonstrando claramente a viabilidade técnica do projeto desenvolvido, e abrindo-se espaço para a aplicação desta nova tecnologia noutros produtos.

O custeio das peças plásticas embora estimado, fornece bons indícios da viabilidade económica deste projeto. A desagregação dos custos permitiu identificar que os custos inerentes à máquina de injeção representam cerca de 66% dos custos totais de produção, indicando que esta área poderá ser uma boa aposta para o desenvolvimento de serviços da empresa onde se desenvolveu este trabalho. Segundo os cálculos efetuados, e caso a quantidade espetável de vendas se venha a confirmar, estima-se que a empresa irá lucrar 540 000 euros com este projeto, o que é bastante significativo tendo em conta que o investimento residiu essencialmente na produção da ferramenta (tendo assumido o valor

de 87 418€ e que os custos de conceção e desenvolvimento estão incluídos no custo da ferramenta).

8.2. Trabalhos futuros

Devido ao carácter inovador da tecnologia descrita neste trabalho, como trabalhos futuros propõe-se:

- Otimização do processo de moldação por injeção para a produção de copo de gin;
- Pesquisa de eventuais interessados nesta tecnologia para reformular o projeto de novos produtos;
- Pesquisa ou desenvolvimento de ferramentas de simulação computacional que permitam a simulação do processo diminuindo o processo iterativo de otimização por experiencias físicas;
- Testes de adequabilidade de diversos termoplásticos a este processo;
- Desenvolvimento dos controlos de máquinas de injeção, evitando o desenvolvimento de células de fabrico;
- Avaliar o impacto financeiro deste projeto na Moldes RP a médio, longo-prazo.

Bibliografia

- [1] J. Dantas, *O processo de inovação*. Lidel, 2011.
- [2] Cefamold, «A Indústria Portuguesa de Moldes», 2015.
- [3] E. Alfredo Campo, *The Complete Part Design Handbook: for Injection Molding of Thermoplastics*. Hanser Publishers, 2006.
- [4] V. Goodship, *Practical guide to injection moulding*, Hanser Pub., vol. 52, n. 6. 1997.
- [5] A. M. e A. J. P. A. Cunha, A. Brito, *Manual do Projectista para Moldes de Injecção de Plástico - Moldação por Injecção e Materiais Plásticos*, Centimfe. 2003.
- [6] P. Kennedy e R. Zheng, *Flow Analysis of Injection Molds*, Hanser Pub. 2013.
- [7] D. Rosato e D. Rosato, *Plastic engineering product design*, Hanser Pub. 2003.
- [8] D. Bryce, *Plastic injection molding*, Elsevier. 1999.
- [9] H. Rees, *Understanding Injection Mold Design*. Muni: Carl Hanser Verlag, 2001.
- [10] G. Mennig e K. Stoeckert, *Mold-Making Handbook*, Hanser Pub. 2013.
- [11] D. Kazmer, *Injection Mold Design Engineering*, Hanser Pub. 2007.
- [12] Moldflow Corporation, *Moldflow Design Guide*, Moldflow c. 2006.
- [13] S. Kulkani, *Robust Process Development and Scientific Molding*. Hanser Publishers.
- [14] M. Socks, «The Promise of All-Electric Injection Molding Machines: A Promise Kept», *Summer study energy Effic. Ind.*, vol. 1, pp. 155–166, 2005.
- [15] «Plastics Technology.» . Disponível em: <http://www.ptonline.com/>. [Acedido: 08-Nov-2015].
- [16] B. Soediono, *Handbook of molded part shrinkage and warpage*, Plastics D., vol. 53. 1989.

- [17] L. Corporation, *Part and Mold Design*. 2007.
- [18] «SolidWorks.» . Disponível em: www.solidworks.com. [Acedido: 05-Dez-2015].
- [19] J. Beaumont, *Runner and Gating Design Handbook*. Hanser Publishers, 2007.
- [20] «Incoe.» . Disponível em: www.incoe.com. [Acedido: 08-Nov-2015].
- [21] P. Unger, *Hot Runner Technology*. Hanser Publishers, 2006.
- [22] D. Frenkler e H. Zawistowski, *Hot Runners in Injection Moulds*. Hanser Publishers, 2001.
- [23] «Mold Masters.» . Disponível em: <http://www.moldmasters.com/>. [Acedido: 19-Out-2015].
- [24] «Synventive.» . Disponível em: www.synventive.com. [Acedido: 10-Set-2015].
- [25] «Misumi Techcentral.» . Disponível em: <http://www.misumi-techcentral.com/>. [Acedido: 26-Set-2015].
- [26] «Porcerax.» . Disponível em: www.porcerax.com. [Acedido: 25-Nov-2015].
- [27] «Fondarex.» . Disponível em: <http://www.fondarex.com/>. [Acedido: 15-Nov-2015].
- [28] «HRS.» . Disponível em: www.hrsflow.com. [Acedido: 02-Dez-2015].
- [29] C.-T. Huang, I.-S. Hsien, C.-H. Tsai, Y.-C. Chiou, e C.-C. Tang, «The Effects of Various Variotherm Processes and Their Mechanisms on Injection Molding», *Int. Polym. Process.*, vol. 26, n. 3, pp. 265–274, 2011.
- [30] «Hasco.» . Disponível em: www.hasco.com. [Acedido: 07-Nov-2015].
- [31] «Moldes injeção plasticos.» . Disponível em: <http://www.moldesinjecaoplasticos.com.br/>. [Acedido: 12-Nov-2015].
- [32] Y. Shima, *Injection Blow Molding*, vol. 20. Taylor & F, 1971.
- [33] «Mold Making Technology.» . Disponível em: <http://www.moldmakingtechnology.com/>. [Acedido: 12-Nov-2015].

- [34] N. S. Muralisrinivasan, *Update on Troubleshooting in thermoforming*. ISmithers, 2010.
- [35] J. L. Throne, *Understanding Thermoforming*. Hanser Publishers, 2008.
- [36] R. J. Crawford e J. L. Throne, *Rotational molding technology*, Plastics D. 2002.
- [37] K. Ulrich e S. Eppinger, *Product Design and Development*, 5ª ed. Mc Graw Hill, 2012.
- [38] «Synthesis Engineering Services.» . Disponível em: www.synthx.com. [Acedido: 09-Out-2015].
- [39] «Copos Plastico.» . Disponível em: www.coposplastico.com.pt.
- [40] «Jumbo.» . Disponível em: www.Jumbo.pt. [Acedido: 10-Set-2015].
- [41] «Continente.» . Disponível em: www.Continente.pt. [Acedido: 10-Set-2015].
- [42] «Regulamento CE Nº 1935/2004 (Materiais e objectos destinados a entrar em contacto com os alimentos).» . Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:338:0004:0017:PT:PDF> . [Acedido: 05-Out-2015].
- [43] R. Bott, *Fatigue and Tribological Properties of Plastics and Elastomers*, Elsevier., n. 1. 2014.
- [44] Yunus Çengel, *Termodinâmica*, 5ª ed. Mc Graw Hill, 2006.

Anexos

Anexo I – Ficha técnica IR2040



LEXAN™ Resin IR2040
Europe-Africa-Middle East: LIMITED USE

IR2040 resin is a medium-high flow (MFR = 18 at 300°C/1.2kg), heat stabilized, polycarbonate product with mold release designed for use in the general purpose molding market. Food contact approved

TYPICAL PROPERTIES ¹	TYPICAL VALUE	Unit	Standard
MECHANICAL			
Tensile Stress, yld, Type I, 50 mm/min	640	kgf/cm ²	ASTM D 638
Tensile Strain, yld, Type I, 50 mm/min	6	%	ASTM D 638
Tensile Strain, brk, Type I, 50 mm/min	>70	%	ASTM D 638
Tensile Modulus, 50 mm/min	23900	kgf/cm ²	ASTM D 638
Flexural Stress, yld, 1.3 mm/min, 50 mm span	910	kgf/cm ²	ASTM D 790
Flexural Modulus, 1.3 mm/min, 50 mm span	23400	kgf/cm ²	ASTM D 790
Hardness, Rockwell R	120	-	ASTM D 785
Tensile Stress, yield, 50 mm/min	63	MPa	ISO 527
Tensile Strain, yield, 50 mm/min	6	%	ISO 527
Tensile Strain, break, 50 mm/min	>70	%	ISO 527
Tensile Modulus, 1 mm/min	2350	MPa	ISO 527
Flexural Stress, yield, 2 mm/min	90	MPa	ISO 178
Flexural Modulus, 2 mm/min	2300	MPa	ISO 178
Hardness, Rockwell R	120	-	ISO 2039-2
IMPACT			
Izod Impact, unnotched, 23°C	NB	cm-kgf/cm	ASTM D 4812
Izod Impact, notched, 23°C	71	cm-kgf/cm	ASTM D 256
Instrumented Impact Energy @ peak, 23°C	662	cm-kgf	ASTM D 3763
Izod Impact, unnotched 80°10'3 -23°C	NB	KJ/m ²	ISO 180/1U
Izod Impact, unnotched 80°10'3 -30°C	NB	KJ/m ²	ISO 180/1U
Izod Impact, notched 80°10'3 +23°C	70	KJ/m ²	ISO 180/1A
Izod Impact, notched 80°10'3 -30°C	12	KJ/m ²	ISO 180/1A

(1) Typical values only. Variations within normal tolerances are possible for various colors. All values are measured after at least 48 hours storage at 23°C/50% relative humidity. All properties, except the melt volume and melt flow rates, are measured on injection molded samples. All samples tested under ISO test standards are prepared according to ISO 284.

(2) Only typical data for selection purposes. Not to be used for part or tool design.

(3) This rating is not intended to reflect hazards presented by this or any other material under actual fire conditions.

(4) Internal measurements according to UL standards.

(5) Measurements made from laboratory test coupon. Actual shrinkage may vary outside of range due to differences in processing conditions, equipment, part geometry and tool design. It is recommended that mold shrinkage studies be performed with surrogate or legacy tooling prior to cutting tools for new molded article.

(6) Needs hard coat to consistently pass 60 sec Vertical Burn.

Source GMD, last updated:

PLEASE CONTACT YOUR LOCAL SALES OFFICE FOR AVAILABILITY IN YOUR AREA

DISCLAIMER: THE MATERIALS, PRODUCTS AND SERVICES OF SAUDI BASIC INDUSTRIES CORPORATION (SABIC) OR ITS SUBSIDIARIES OR AFFILIATES (SELLER) ARE SOLD SUBJECT TO SELLER'S STANDARD CONDITIONS OF SALE, WHICH ARE AVAILABLE UPON REQUEST. INFORMATION AND RECOMMENDATIONS CONTAINED IN THIS DOCUMENT ARE GIVEN IN GOOD FAITH. HOWEVER, SELLER MAKES NO EXPRESS OR IMPLIED REPRESENTATION, WARRANTY OR GUARANTEE (I) THAT ANY RESULTS DESCRIBED IN THIS DOCUMENT WILL BE OBTAINED UNDER END-USE CONDITIONS, OR (II) AS TO THE EFFECTIVENESS OR SAFETY OF ANY DESIGN OR APPLICATION INCORPORATING SELLER'S MATERIALS, PRODUCTS, SERVICES OR RECOMMENDATIONS, UNLESS OTHERWISE PROVIDED IN SELLER'S STANDARD CONDITIONS OF SALE. SELLER SHALL NOT BE RESPONSIBLE FOR ANY LOSS RESULTING FROM ANY USE OF ITS MATERIALS, PRODUCTS, SERVICES OR RECOMMENDATIONS DESCRIBED IN THIS DOCUMENT.

Each user is responsible for making its own determination as to the suitability of Seller's materials, products, services or recommendations for the user's particular use through appropriate end-use and other testing and analysis. Nothing in any document or oral statement shall be deemed to alter or waive any provision of Seller's Standard Conditions of Sale or this Disclaimer, unless it is specifically agreed to in a writing signed by Seller. Statements by Seller concerning a possible use of any material, product, service or design do not, are not intended to, and should not be construed to grant any license under any patent or other intellectual property right of Seller or as a recommendation for the use of any material, product, service or design in a manner that infringes any patent or other intellectual property right.

SABIC and brands marked with ™ are trademarks of SABIC or its subsidiaries or affiliates.

© 2015 Saudi Basic Industries Corporation (SABIC).

LEXAN™ Resin IR2040

Europe-Africa-Middle East: LIMITED USE

TYPICAL PROPERTIES ¹	TYPICAL VALUE	Unit	Standard
THERMAL			
Vicat Softening Temp, Rate B/50	141	°C	ASTM D 1525
HDT, 0.45 MPa, 3.2 mm	135	°C	ASTM D 648
HDT, 1.82 MPa, 3.2 mm	124	°C	ASTM D 648
CTE, -40°C to 95°C, flow	7.E-05	1/°C	ASTM E 831
Thermal Conductivity	0.2	W/m-°C	ASTM C 177
Thermal Conductivity	0.2	W/m-°C	ISO 8302
CTE, 23°C to 80°C, flow	7.E-05	1/°C	ISO 11359-2
Ball Pressure Test, 125°C +/- 2°C	Passes	-	IEC 60695-10-2
Vicat Softening Temp, Rate B/50	141	°C	ISO 306
HDT/Bf, 0.45 MPa Flatw 80*10*4 sp=64mm	135	°C	ISO 75/Bf
HDT/At, 1.8 MPa Flatw 80*10*4 sp=64mm	124	°C	ISO 75/At
PHYSICAL			
Specific Gravity	1.2	-	ASTM D 792
Water Absorption, equilibrium, 23C	0.35	%	ASTM D 570
Mold Shrinkage on Tensile Bar, flow (2) (5)	0.5 - 0.7	%	SABIC Method
Mold Shrinkage, flow, 3.2 mm (5)	0.5 - 0.7	%	SABIC Method
Melt Flow Rate, 300°C/1.2 kgf	18	g/10 min	ASTM D 1238
Density	1.2	g/cm ³	ISO 1183
Water Absorption, (23°C/1sat)	0.35	%	ISO 62
Melt Volume Rate, MVR at 300°C/1.2 kg	17	cm ³ /10 min	ISO 1133
OPTICAL			
Light Transmission, 2.54 mm	88 - 90	%	ASTM D 1003
Haze, 2.54 mm	<0.8	%	ASTM D 1003
Refractive Index	1.586	-	ASTM D 542
Refractive Index	1.586	-	ISO 489

(1) Typical values only. Variations within normal tolerances are possible for various colors. All values are measured after at least 48 hours storage at 23°C/50% relative humidity. All properties, except the melt volume and melt flow rates, are measured on injection molded samples. All samples tested under ISO test standards are prepared according to ISO 294.

(2) Only typical data for selection purposes. Not to be used for part or tool design.
 (3) This rating is not intended to reflect hazards presented by this or any other material under actual fire conditions.

(4) Internal measurements according to UL standards.

(5) Measurements made from laboratory test coupon. Actual shrinkage may vary outside of range due to differences in processing conditions, equipment, part geometry and tool design. It is recommended that mold shrinkage studies be performed with surrogate or legacy tooling prior to cutting tools for new molded article.

(6) Needs hard coat to consistently pass 60 sec Vertical Burn.

Source GMD, last updated:

PLEASE CONTACT YOUR LOCAL SALES OFFICE FOR AVAILABILITY IN YOUR AREA

DISCLAIMER: THE MATERIALS, PRODUCTS AND SERVICES OF SAUDI BASIC INDUSTRIES CORPORATION (SABIC) OR ITS SUBSIDIARIES OR AFFILIATES (SELLER) ARE SOLD SUBJECT TO SELLER'S STANDARD CONDITIONS OF SALE, WHICH ARE AVAILABLE UPON REQUEST. INFORMATION AND RECOMMENDATIONS CONTAINED IN THIS DOCUMENT ARE GIVEN IN GOOD FAITH. HOWEVER, SELLER MAKES NO EXPRESS OR IMPLIED REPRESENTATION, WARRANTY OR GUARANTEE (I) THAT ANY RESULTS DESCRIBED IN THIS DOCUMENT WILL BE OBTAINED UNDER END-USE CONDITIONS, OR (II) AS TO THE EFFECTIVENESS OR SAFETY OF ANY DESIGN OR APPLICATION INCORPORATING SELLER'S MATERIALS, PRODUCTS, SERVICES OR RECOMMENDATIONS. UNLESS OTHERWISE PROVIDED IN SELLER'S STANDARD CONDITIONS OF SALE, SELLER SHALL NOT BE RESPONSIBLE FOR ANY LOSS RESULTING FROM ANY USE OF ITS MATERIALS, PRODUCTS, SERVICES OR RECOMMENDATIONS DESCRIBED IN THIS DOCUMENT.

Each user is responsible for making its own determination as to the suitability of Seller's materials, products, services or recommendations for the user's particular use through appropriate end-use and other testing and analysis. Nothing in any document or oral statement shall be deemed to alter or waive any provision of Seller's Standard Conditions of Sale or this Disclaimer, unless it is specifically agreed to in a writing signed by Seller. Statements by Seller concerning a possible use of any material, product, service or design do not, are not intended to, and should not be construed to grant any license under any patent or other intellectual property right of Seller or as a recommendation for the use of any material, product, service or design in a manner that infringes any patent or other intellectual property right.

SABIC and brands marked with ™ are trademarks of SABIC or its subsidiaries or affiliates.

©2015 Saudi Basic Industries Corporation (SABIC).



LEXAN™ Resin IR2040

Europe-Africa-Middle East: LIMITED USE

TYPICAL PROPERTIES ¹	TYPICAL VALUE	Unit	Standard
ELECTRICAL			
Volume Resistivity	>1.E+15	Ohm-cm	ASTM D 257
Dielectric Strength, 1.6 mm	27	kV/mm	ASTM D 149
Relative Permittivity, 60 Hz	3	-	ASTM D 150
Relative Permittivity, 1 MHz	3	-	ASTM D 150
Dissipation Factor, 60 Hz	0.001	-	ASTM D 150
Dissipation Factor, 1 MHz	0.01	-	ASTM D 150
Volume Resistivity	>1.E+15	Ohm-cm	IEC 60093
Dielectric Strength, 1.6 mm	27	kV/mm	IEC 60243-1
Relative Permittivity, 60 Hz	3	-	IEC 60250
Relative Permittivity, 1 MHz	3	-	IEC 60250
Dissipation Factor, 60 Hz	0.001	-	IEC 60250
Dissipation Factor, 1 MHz	0.01	-	IEC 60250

(1) Typical values only. Variations within normal tolerances are possible for various colors. All values are measured after at least 40 hours storage at 23°C/50% relative humidity. All properties, except the melt volume and melt flow rates, are measured on injection molded samples. All samples tested under ISO test standards are prepared according to ISO 284.

(2) Only typical data for selection purposes. Not to be used for part or tool design.
 (3) This rating is not intended to reflect hazards presented by this or any other material under actual fire conditions.
 (4) Internal measurements according to UL standards.
 (5) Measurements made from laboratory test coupon. Actual shrinkage may vary outside of range due to differences in processing conditions, equipment, part geometry and tool design. It is recommended that mold shrinkage studies be performed with surrogate or legacy tooling prior to cutting tools for new molded article.
 (6) Needs hard coat to consistently pass 60 sec Vertical Burn.

Source GMD, last updated:

PLEASE CONTACT YOUR LOCAL SALES OFFICE FOR AVAILABILITY IN YOUR AREA

DISCLAIMER: THE MATERIALS, PRODUCTS AND SERVICES OF SAUDI BASIC INDUSTRIES CORPORATION (SABIC) OR ITS SUBSIDIARIES OR AFFILIATES (SELLER) ARE SOLD SUBJECT TO SELLER'S STANDARD CONDITIONS OF SALE, WHICH ARE AVAILABLE UPON REQUEST. INFORMATION AND RECOMMENDATIONS CONTAINED IN THIS DOCUMENT ARE GIVEN IN GOOD FAITH. HOWEVER, SELLER MAKES NO EXPRESS OR IMPLIED REPRESENTATION, WARRANTY OR GUARANTEE (I) THAT ANY RESULTS DESCRIBED IN THIS DOCUMENT WILL BE OBTAINED UNDER END-USE CONDITIONS, OR (II) AS TO THE EFFECTIVENESS OR SAFETY OF ANY DESIGN OR APPLICATION INCORPORATING SELLER'S MATERIALS, PRODUCTS, SERVICES OR RECOMMENDATIONS. UNLESS OTHERWISE PROVIDED IN SELLER'S STANDARD CONDITIONS OF SALE, SELLER SHALL NOT BE RESPONSIBLE FOR ANY LOSS RESULTING FROM ANY USE OF ITS MATERIALS, PRODUCTS, SERVICES OR RECOMMENDATIONS DESCRIBED IN THIS DOCUMENT.

Each user is responsible for making its own determination as to the suitability of Seller's materials, products, services or recommendations for the user's particular use through appropriate end-use and other testing and analysis. Nothing in any document or oral statement shall be deemed to alter or waive any provision of Seller's Standard Conditions of Sale or this Disclaimer, unless it is specifically agreed to in a writing signed by Seller. Statements by Seller concerning a possible use of any material, product, service or design do not, are not intended to, and should not be construed to grant any license under any patent or other intellectual property right of Seller or as a recommendation for the use of any material, product, service or design in a manner that infringes any patent or other intellectual property right.

SABIC and brands marked with ™ are trademarks of SABIC or its subsidiaries or affiliates.

©2015 Saudi Basic Industries Corporation (SABIC).



LEXAN™ Resin IR2040
Europe-Africa-Middle East: LIMITED USE

PROCESSING PARAMETERS	TYPICAL VALUE	Unit
Injection Molding		
Drying Temperature	120	°C
Drying Time	2 - 4	hrs
Maximum Moisture Content	0.02	%
Melt Temperature	280 - 300	°C
Nozzle Temperature	270 - 290	°C
Front - Zone 3 Temperature	280 - 300	°C
Middle - Zone 2 Temperature	270 - 290	°C
Rear - Zone 1 Temperature	260 - 280	°C
Hopper Temperature	60 - 80	°C
Mold Temperature	80 - 100	°C

(1) Typical values only. Variations within normal tolerances are possible for various colors. All values are measured after at least 48 hours storage at 23°C/50% relative humidity. All properties, except the melt volume and melt flow rates, are measured on injection molded samples. All samples tested under ISO test standards are prepared according to ISO 294.

(2) Only typical data for selection purposes. Not to be used for part or tool design.
 (3) This rating is not intended to reflect hazards presented by this or any other material under actual fire conditions.

(4) Internal measurements according to UL standards.

(5) Measurements made from laboratory test coupon. Actual shrinkage may vary outside of range due to differences in processing conditions, equipment, part geometry and tool design. It is recommended that mold shrinkage studies be performed with surrogate or legacy tooling prior to cutting tools for new molded article.

(6) Needs hard coat to consistently pass 60 sec Vertical Burn.

Source GMD, last updated:

PLEASE CONTACT YOUR LOCAL SALES OFFICE FOR AVAILABILITY IN YOUR AREA.

DISCLAIMER: THE MATERIALS, PRODUCTS AND SERVICES OF SAUDI BASIC INDUSTRIES CORPORATION (SABIC) OR ITS SUBSIDIARIES OR AFFILIATES (SELLER) ARE SOLD SUBJECT TO SELLER'S STANDARD CONDITIONS OF SALE, WHICH ARE AVAILABLE UPON REQUEST. INFORMATION AND RECOMMENDATIONS CONTAINED IN THIS DOCUMENT ARE GIVEN IN GOOD FAITH. HOWEVER, SELLER MAKES NO EXPRESS OR IMPLIED REPRESENTATION, WARRANTY OR GUARANTEE (I) THAT ANY RESULTS DESCRIBED IN THIS DOCUMENT WILL BE OBTAINED UNDER END-USE CONDITIONS, OR (II) AS TO THE EFFECTIVENESS OR SAFETY OF ANY DESIGN OR APPLICATION INCORPORATING SELLER'S MATERIALS, PRODUCTS, SERVICES OR RECOMMENDATIONS. UNLESS OTHERWISE PROVIDED IN SELLER'S STANDARD CONDITIONS OF SALE, SELLER SHALL NOT BE RESPONSIBLE FOR ANY LOSS RESULTING FROM ANY USE OF ITS MATERIALS, PRODUCTS, SERVICES OR RECOMMENDATIONS DESCRIBED IN THIS DOCUMENT.

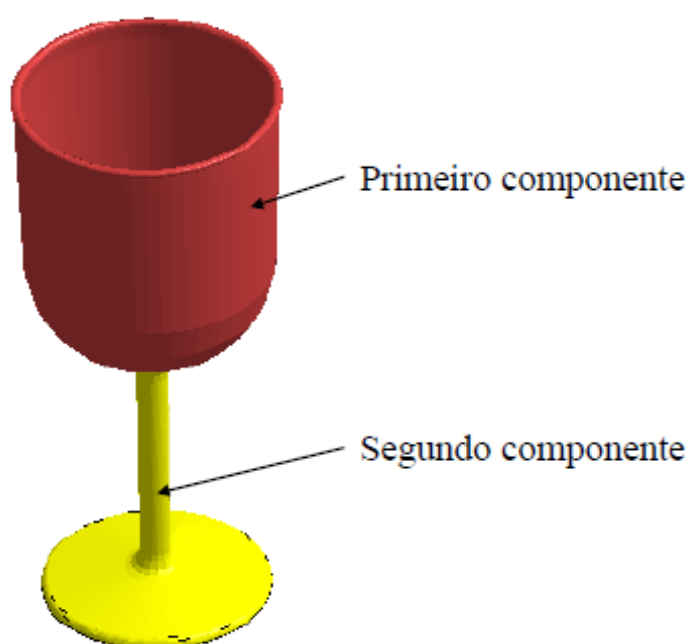
Each user is responsible for making its own determination as to the suitability of Seller's materials, products, services or recommendations for the user's particular use through appropriate end-use and other testing and analysis. Nothing in any document or oral statement shall be deemed to alter or waive any provision of Seller's Standard Conditions of Sale or this Disclaimer, unless it is specifically agreed to in a writing signed by Seller. Statements by Seller concerning a possible use of any material, product, service or design do not, are not intended to, and should not be construed to grant any license under any patent or other intellectual property right of Seller or as a recommendation for the use of any material, product, service or design in a manner that infringes any patent or other intellectual property right.

SABIC and brands marked with ™ are trademarks of SABIC or its subsidiaries or affiliates.

©2015 Saudi Basic Industries Corporation (SABIC).

Anexo II – Estudio de enchimento

Tipo de análise:
Enchimento, e estudo preliminar de arrefecimento



Moldes RP	
Designação: Copo_v2	
Nome do ficheiro: Copo_V2.step	
Data: 2015.05.10	Estudo n.º : RP 2279

Índice

1. Objetivo	3
2. Modelo	3
3. Material	4
4. Dimensões da peça	5
5. Parâmetros de processo utilizados na simulação	6
6. Enchimento	6
7. Arrefecimento preliminar	11
8. Conclusões	19

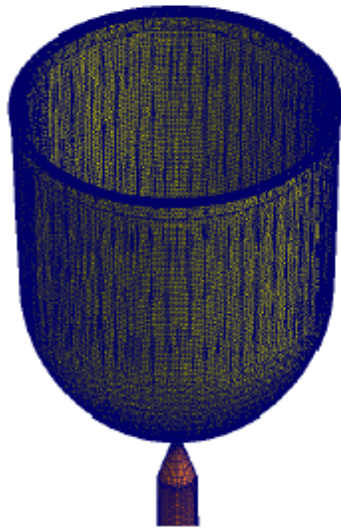
1. Objetivo

O objetivo deste estudo é verificar as condições de enchimento, compactação, arrefecimento

2. Modelo

Modelo simulado com malha sólida – nível 4 com o software Moldex3D R13-SP2.

Primeiro componente



◆ Element number:1729625
◆ Node number:1149806

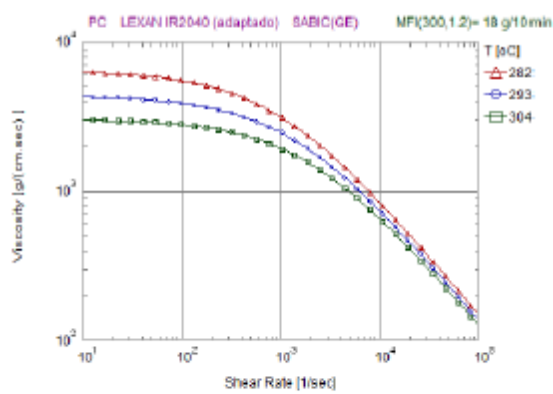
Segundo componente



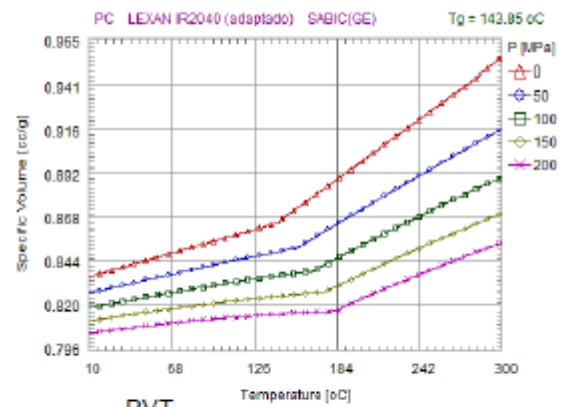
◆ Element number:3696757
◆ Node number:2810039

3. Material

Material especificado: Lexan IR2040– ver imagem em baixo



Viscosity



PVT

Description	Description
Polymer	PC
Grade Name	LEXAN IR2040 (adaptado)
Producer	SABIC(GE)
Comment	adaptado de LEXAN 124R,MFI(300,1.2)= 18 g/10min,D=1.2 g/
Last modified date	2015/03/27
Process condition	Process condition
Melt temperature (minimum)	282 °C
Melt temperature (normal)	293 °C
Melt temperature (maximum)	304 °C
Mold temperature (minimum)	71.1 °C
Mold temperature (normal)	82.2 °C
Mold temperature (maximum)	93.3 °C
Ejection temperature	143 °C
Freeze temperature	154 °C

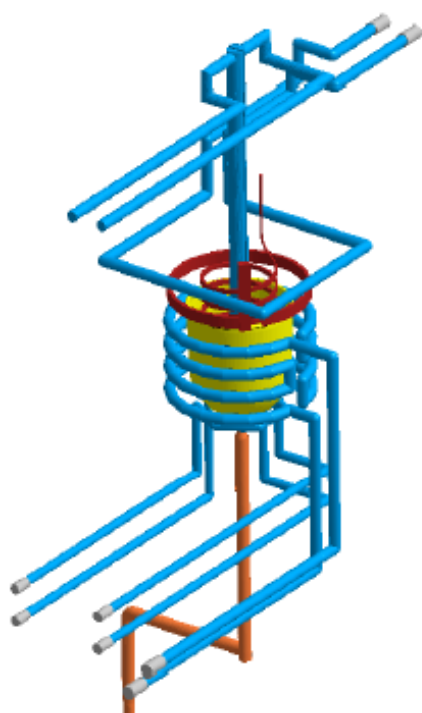
5. Parâmetros utilizados na simulação

Dados		Unidades	1° Componente	2° Componente
Material	MFI <i>Grau especificado</i>	g/10min <i>(300°C/1,2kg)</i>	18	18
Enchimento	Tempo de injeção	s	0,9	2,2
	Temperatura do fundido	°C	293	293
	Temperatura do molde	°C	82	82
Compactação	Pressão de compactação	MPa	80	80
	Tempo de compactação	s	4	10
Molde/Peça	Volume da peça	cm ³	59,2	25,4
	Área projetada	cm ²	72,4	72,4
	N.º de cavidades	-	1	1

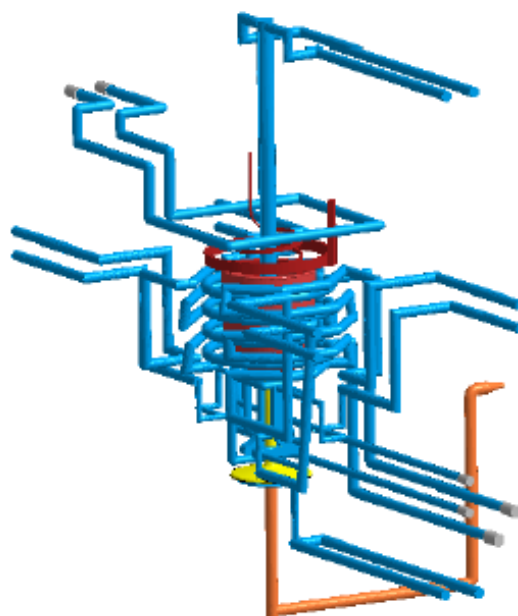
6. Enchimento

Modelos simulados

Primeiro componente



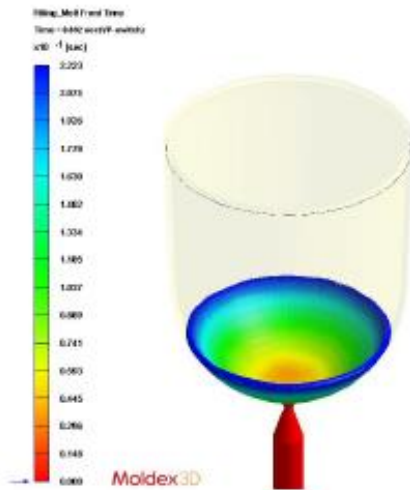
Segundo componente



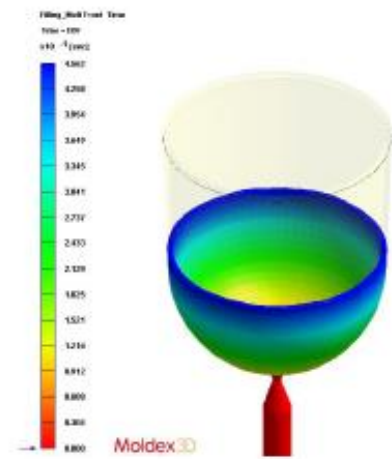
6. Enchimento

6.1. Primeiro componente - Frente do fundido

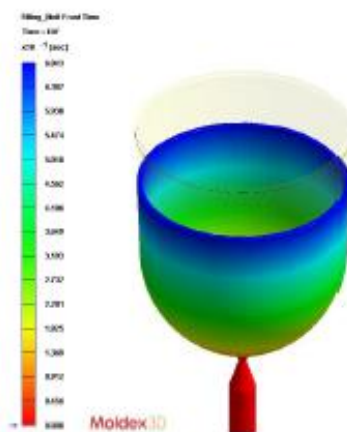
Injeção curta a 25%



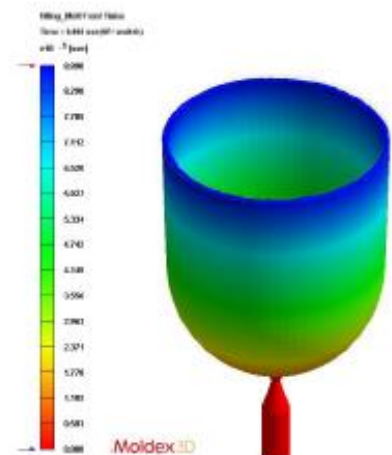
Injeção curta a 50%



Injeção curta a 75%



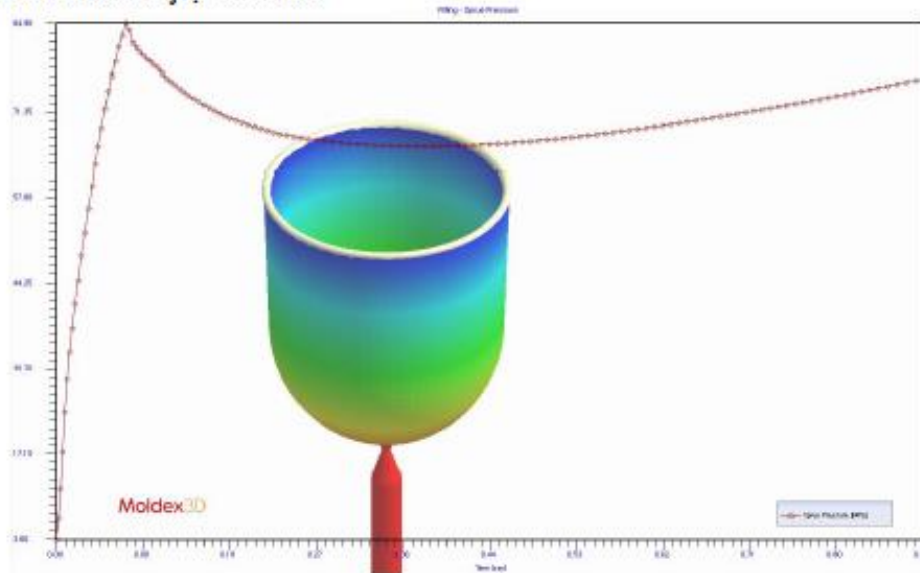
No ponto de comutação (98%)



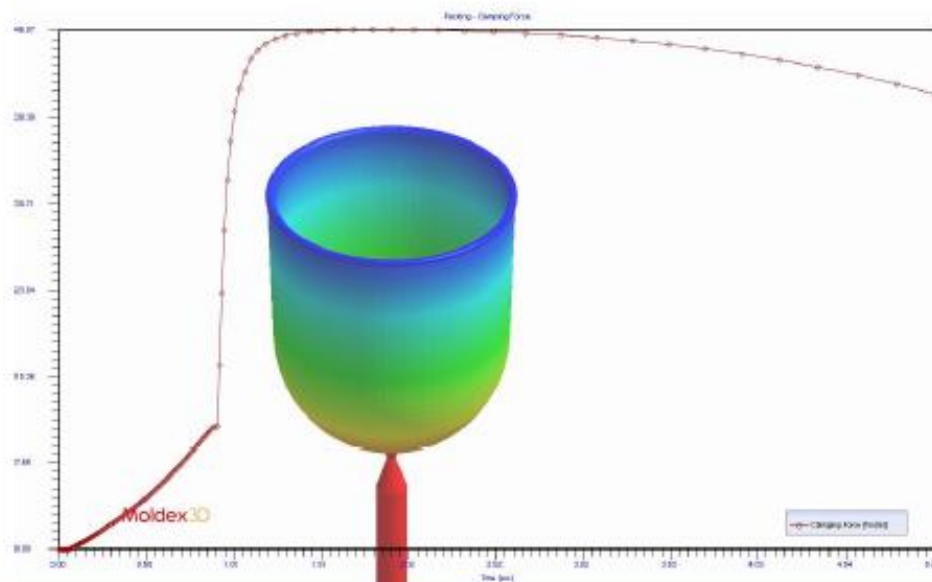
6. Enchimento

6.2. Primeiro componente - Pressão do injeção

Pressão máxima de injeção 85 MPa



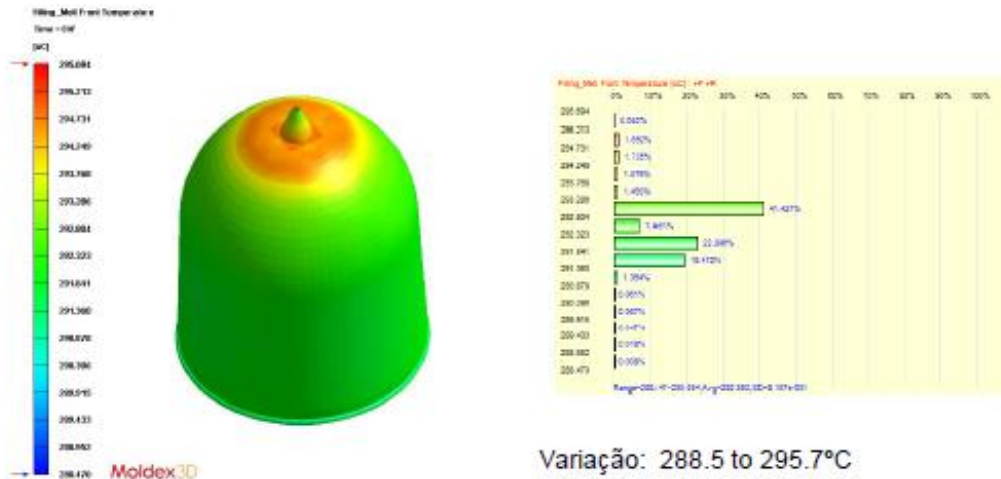
6.3. Primeiro componente - Estimativa da força de fecho



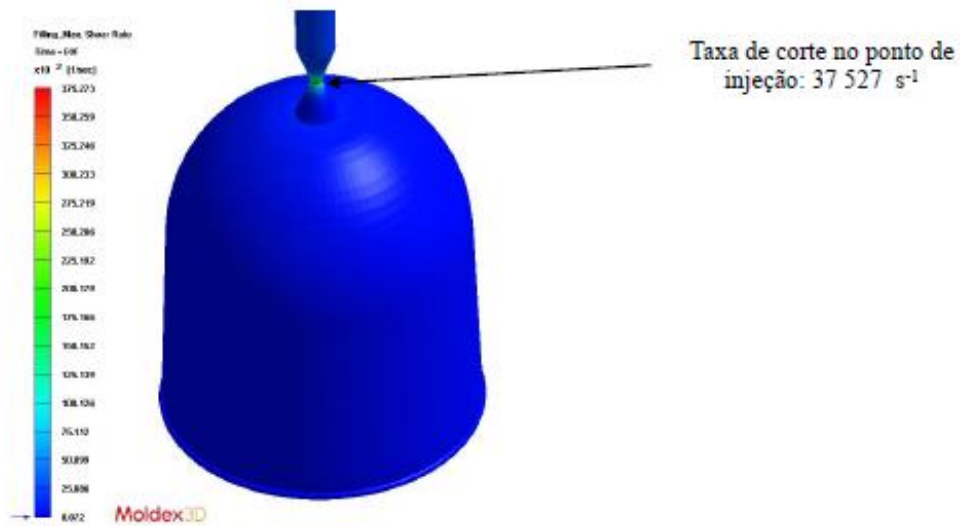
Força de fecho para o primeiro componente considerando uma pressurização com 80MPa é de 46 tonf .

6. Enchimento

6.4. Primeiro componente - Temperatura da frente do fundido *Temperatura do plástico quando chega a um determinado ponto. Este valor indica a transferência de calor durante o enchimento.*



6.5. Primeiro componente - Taxa de corte *Taxa de corte é a taxa de deformação de corte do material durante o processamento do polímero. Distribuição de velocidade de corte está relacionada com a variação do gradiente de velocidade e de orientação molecular. Taxa de corte alta tende a deformar drasticamente as cadeias moleculares até quebrar e, em seguida, enfraquecer a resistência do produto. Aquecimento viscoso, devido à alta taxa de corte também deve ser notado. O valor máximo recomendado para PP é de 100 000 s⁻¹ no ponto de injeção*

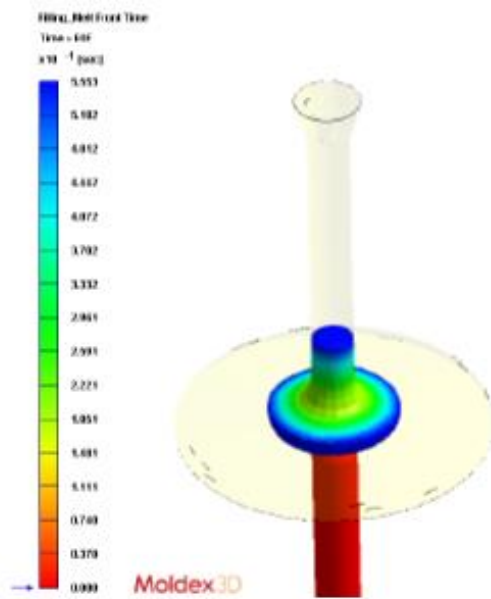


O valor máximo está abaixo do máximo recomendado para o PC (40 000 s⁻¹).

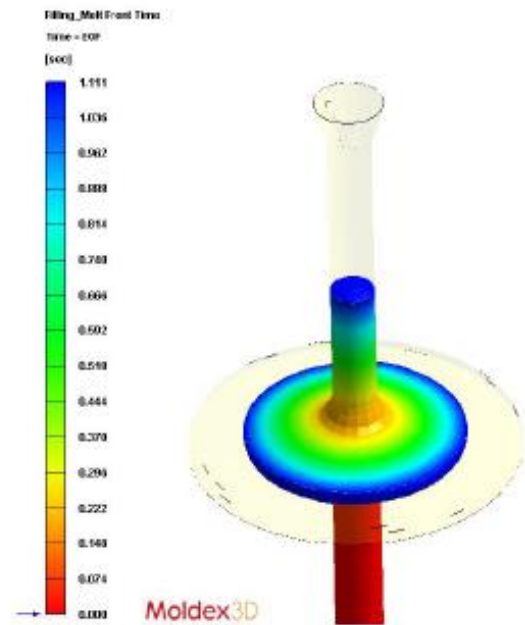
6. Enchimento

6.6. Segundo componente - Frente do fundido

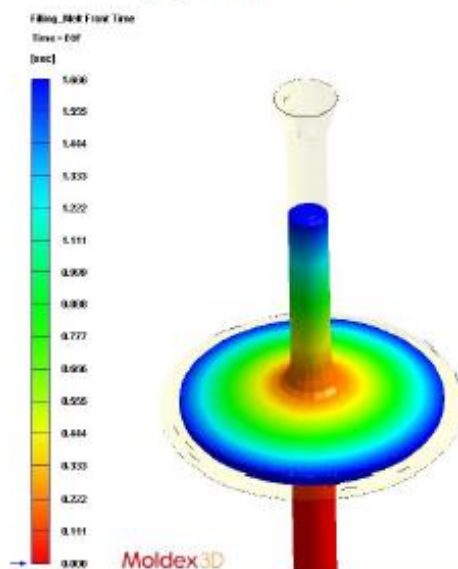
Injeção curta a 25%



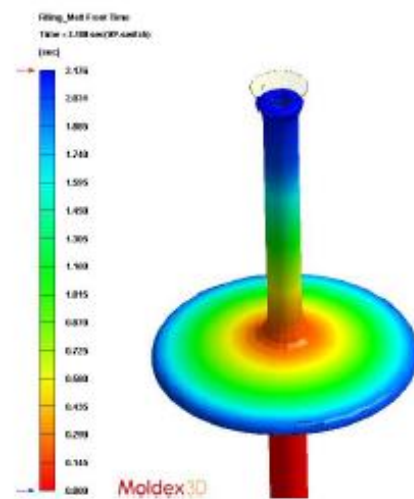
Injeção curta a 50%



Injeção curta a 75%



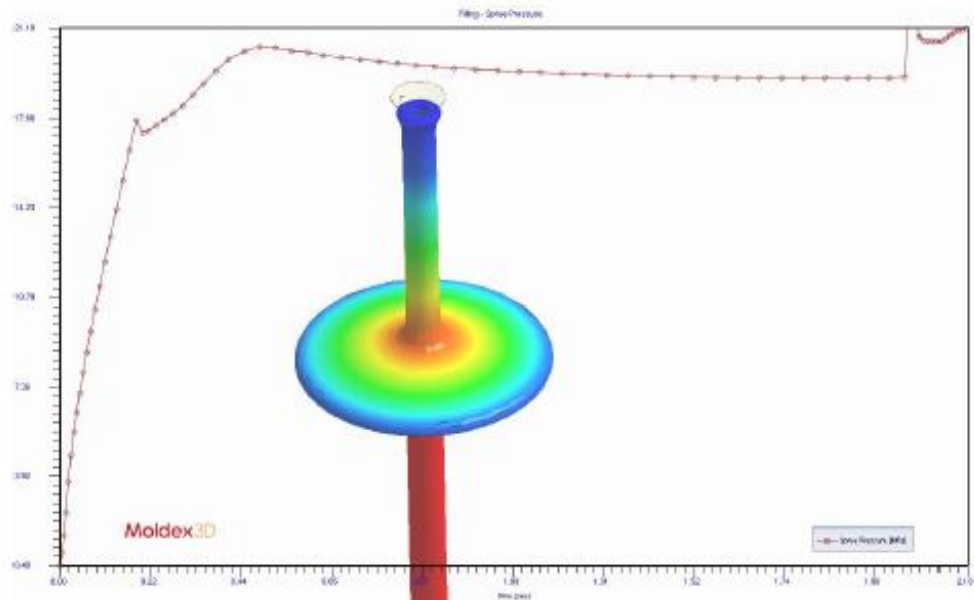
No ponto de comutação (98%)



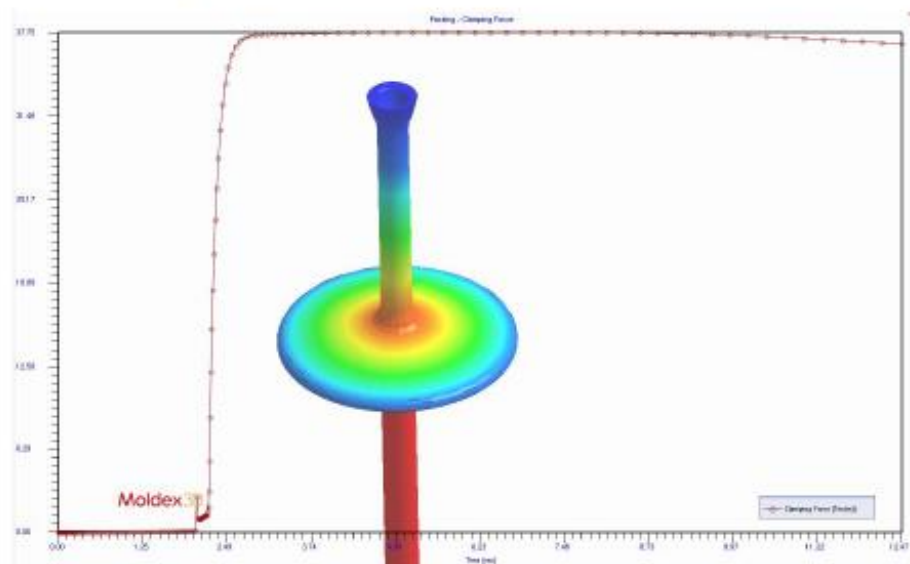
6. Enchimento

6.7. Segundo componente - Pressão do injeção

Pressão máxima de injeção 21.1 MPa



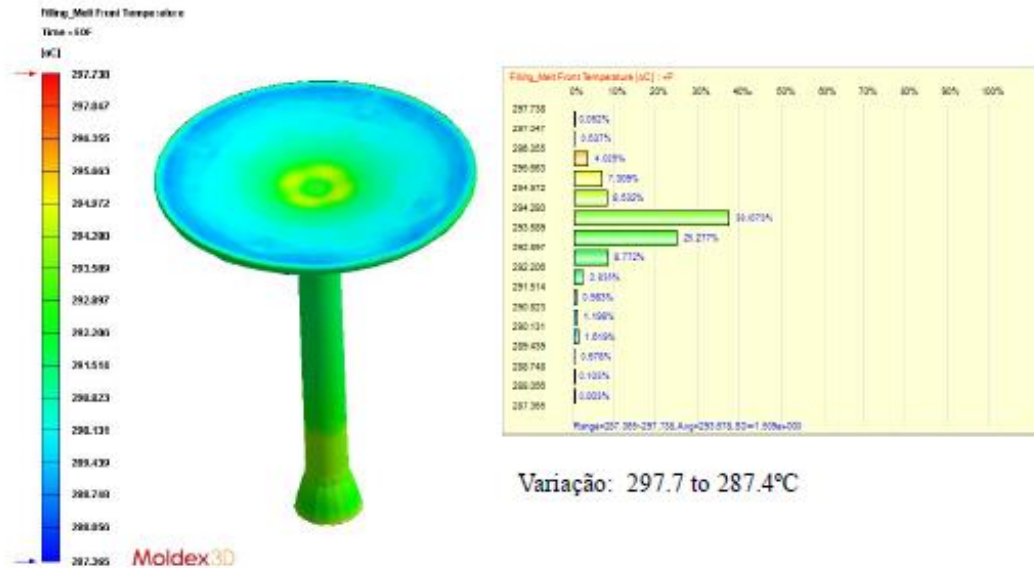
6.8. Primeiro componente - Estimativa da força de fecho



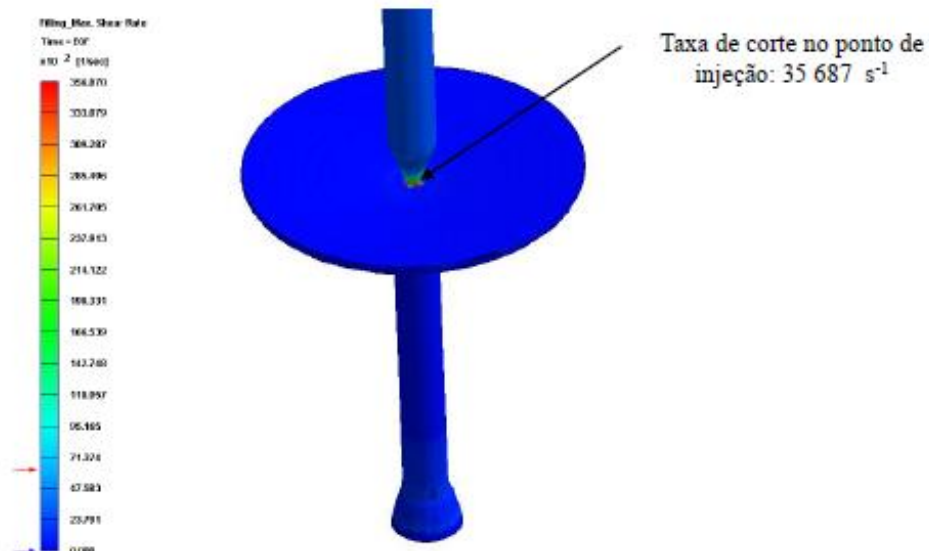
Força de fecho para o primeiro componente considerando uma pressurização com 80MPa é de 38 tonf.

6. Enchimento

6.9. Segundo componente - Temperatura da frente do fundido *Temperatura do plástico quando chega a um determinado ponto. Este valor indica a transferência de calor durante o enchimento.*



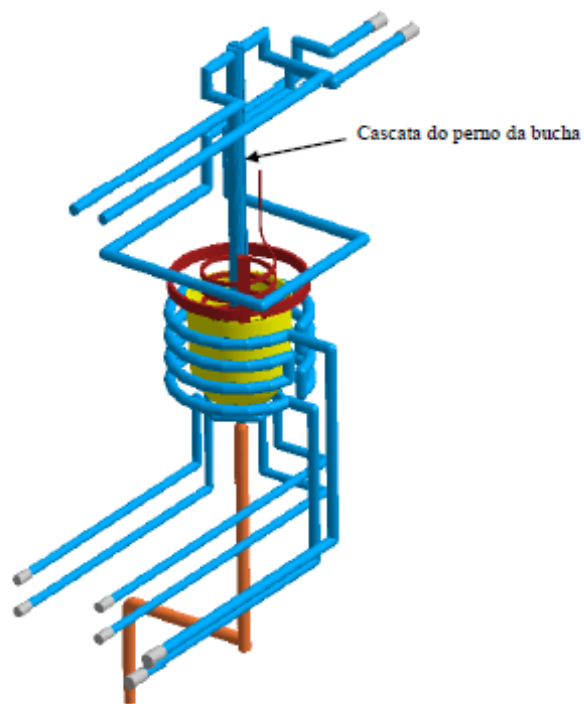
6.10. Segundo componente - Taxa de corte *Taxa de corte é a taxa de deformação de corte do material durante o processamento do polímero. Distribuição de velocidade de corte está relacionada com a variação do gradiente de velocidade e de orientação molecular. Taxa de corte alta tende a deformar drasticamente as cadeias moleculares até quebrar e, em seguida, enfraquecer a resistência do produto. Aquecimento viscoso, devido à alta taxa de corte também deve ser notado. O valor máximo recomendado para PP é de 100 000 s⁻¹ no ponto de injeção*



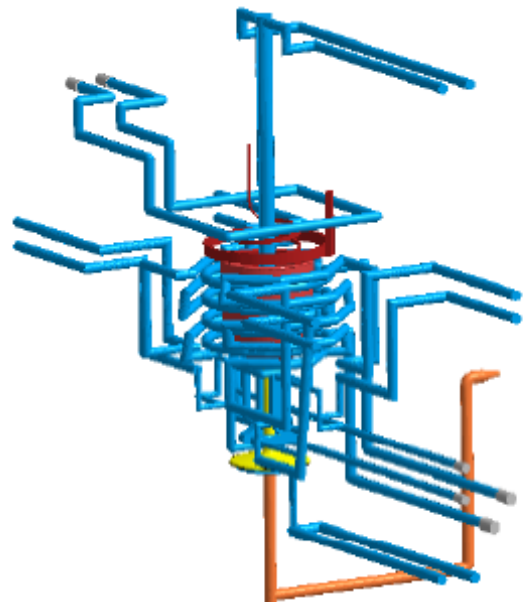
O valor máximo está abaixo do máximo recomendado para o PC (40 000 s⁻¹).

7. Arrefecimento

Primeiro componente



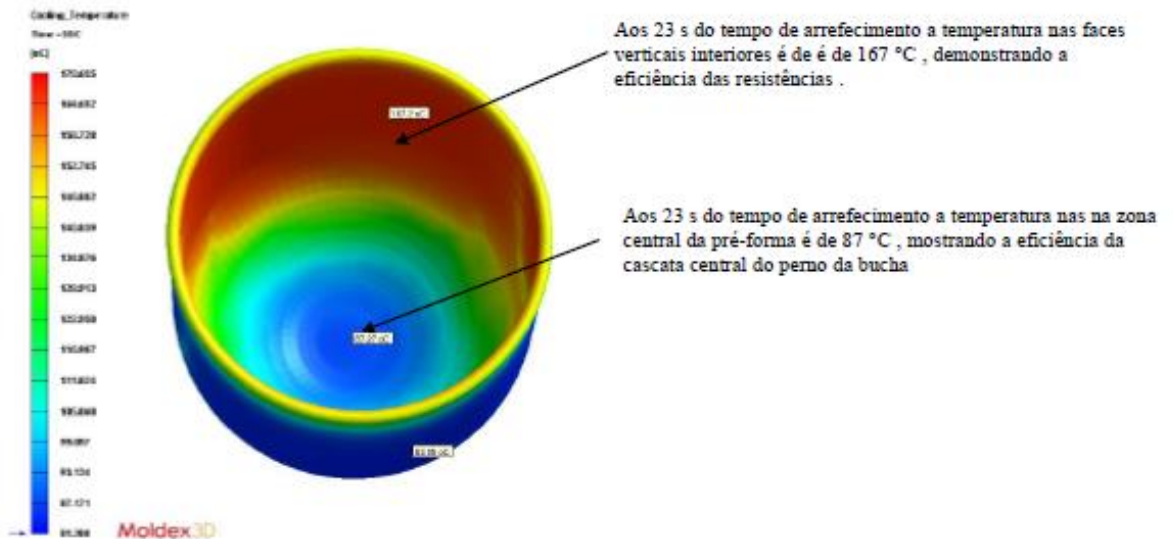
Segundo componente



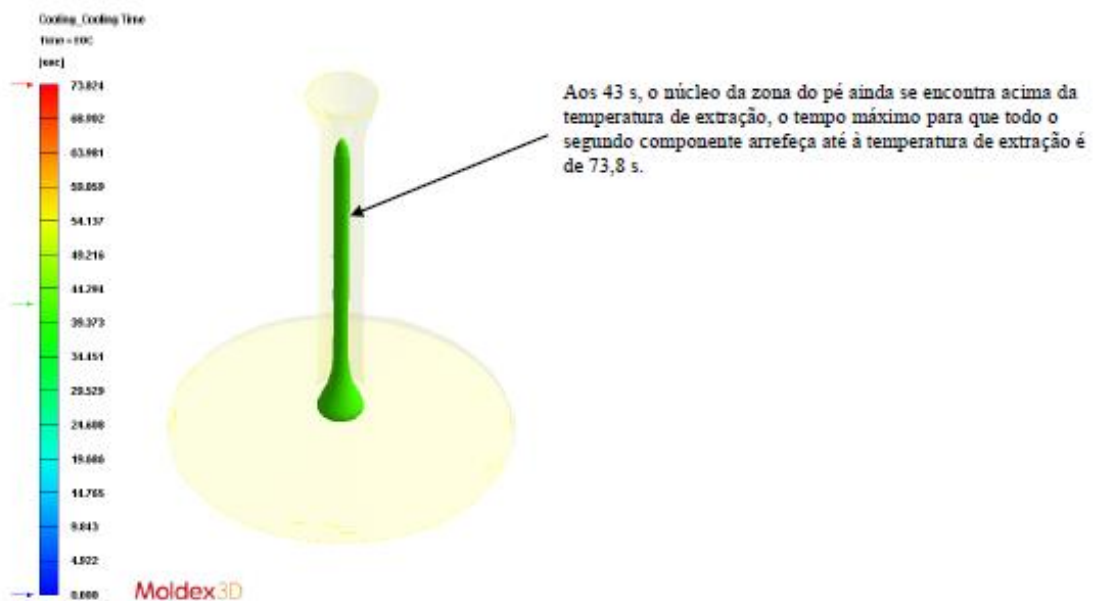
Temperatura dos circuitos :83 °C
Temperatura das resistências: 170°C

7. Arrefecimento

7.1. Primeiro componente *Distribuição temperatura aos 23 s de arrefecimento*



7.2. Segundo componente - Tempo de arrefecimento Este é o tempo de arrefecimento necessário para a peça atingir a temperatura de extração.



8. Conclusões

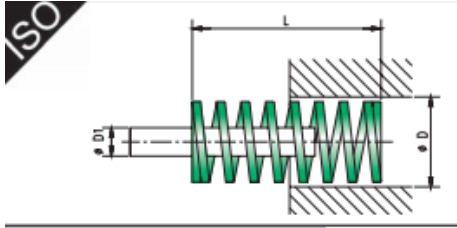
8.1. Os valores da pressão do enchimento são razoáveis pelo que não se prevê dificuldades no enchimento da peça 85 MPa para o primeiro componente e 21 MPa para o segundo componente.

8.2. A força de fecho estimada é de 46 tonf para o primeiro componente e 38 tonf para o segundo componente, fazendo um total de 86 tonf, tendo em consideração que a força de fecho da máquina é de 480 tonf, a máquina pode ser usada (mesmo tendo em conta a força de fecho necessária para a insuflação).

8.3. A implementação das resistências e do circuito no perno da bucha permite controlar independentemente as temperaturas nas faces verticais interiores do primeiro componente e as temperaturas na zona central da pré-forma.

8.4. O tempo para que todo o segundo componente se encontre abaixo da temperatura de extração é de 73,8 s, no entanto atendendo ás elevadas espessuras será possível extrair antes deste tempo, devido á formação de uma camada solidificada no exterior do pé, conferindo-lhe a resistência suficiente para que o segundo componente possa ser extraído.

Anexo III - Catalogo Molas 355 Ravourdin



REF. 355 D=40 L=127 → 355-40-127

D	D1	L	K	A 30 %		B 40 %		C Approximatif		REF. 355
mm	mm	mm	N/mm	N	mm	N	mm	N	mm	
32	16	38	94	1072	11,4	1429	15,2	1692	18	
		44	79,5	1049	13,2	1399	17,6	1749	22	
		51	67	1025	15,3	1367	20,4	1675	25	
		64	53	1018	19,2	1357	25,6	1802	34	
		76	44	1003	22,8	1338	30,4	1760	40	
		89	37,2	993	26,7	1324	35,6	1786	48	
		102	32	979	30,6	1306	40,8	1760	55	
		115	29	1001	34,5	1334	46	1827	63	
		127	25	953	38,1	1270	50,8	1725	69	
		139	23	959	41,7	1279	55,6	1771	77	
		152	21,5	980	45,6	1307	60,8	1742	81	
		178	18,2	972	53,4	1296	71,2	1729	95	
		203	15,8	962	60,9	1283	81,2	1770	112	
		254	12,5	953	76,2	1270	101,6	1788	143	
		305	10,3	942	91,5	1257	122	1803	175	

Section du fil
6,7 x 3,3

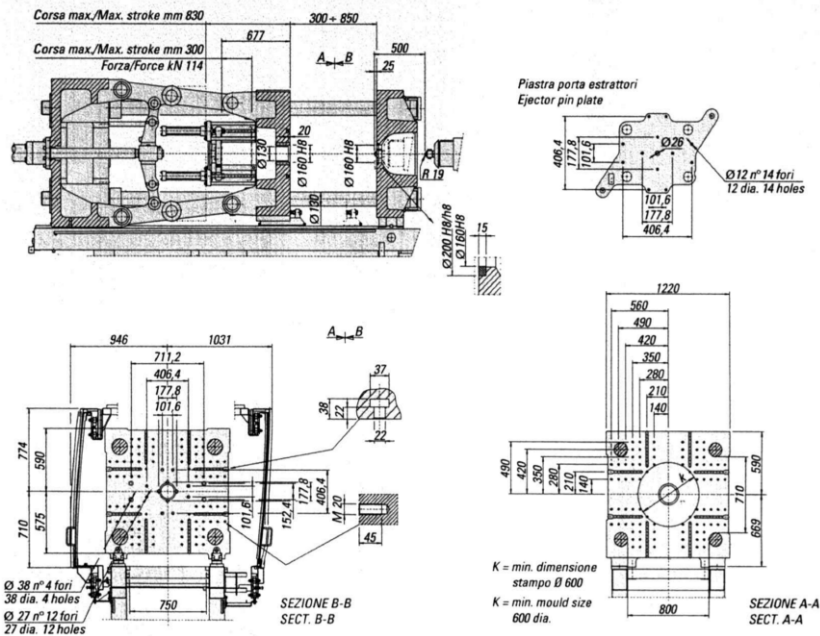
Anexo IV - Ficha técnica máquina de injeção NegriBossi V-480

NEGRI BOSSI CANBIO V480

Classification - Classificação Euromap

4800 H - 4100

Screw diameter	mm							80
Screw length-to-diam. ratio	L/D							20
Calculated injection volume	cm ³							2010
Real injection capacity (PS)	gr							1800
Injection rate	cm ³ /s							400
Max. pressure on material	bar							2100
Screw torque	Nm							4000
Screw rotating speed	min ⁻¹							175
Plasticising capacity (PS)	g/s	90	105	110				
Barrel heating zones	n°							5
Heating input power	kW	31	34	34				
Nozzle mould hold on force	kN							121
Mould clamping force	kN							4800
Locking force	kN							5280
Mould opening stroke	mm							830
Mould thickness	mm							300 ÷ 850
Platen dimensions H x V	mm							1190 ÷ 1150
Space between H x V tie bars	mm							800 x 710
Hydraulic ejection force	kN							114
Hydraulic ejection stroke	mm							300
Shots per minute (dry cycle)	n°							25
Pump driving power	kW	45		45		55		
Total installed power	kW	71	73	77	73	77	77	13 90 14,5
Overall sizes (length/width/height)	mm	8410 x 2040 x 2315	8940 x 2040 x 2315	9340 x 2040 x 2315				
Net weight of machine	kg	18700		18900		19150		



Anexo V - Ficha técnica unidade de injeção auxiliar

Horizontal base set-up



Vertical base set-up



INJECTION UNIT SPECIFICATIONS

Injection Unit	Units	EL.0028			EL.0120			EL.0300			EL.0600		
		16	18	20	22	25	30	30	35	40	40	45	50
Screw diameter	mm	16	18	20	22	25	30	30	35	40	40	45	50
Swept volume	cc	16,08	22,90	31,42	41,81	61,36	102,49	106,03	168,37	219	251,33	357,85	490,87
Max. injection pressure, direct	bar	2200	1600	1320	2200	2000	1600	2000	1800	1400	2130	1700	1400
Screw L/D ratio	L/D	21,99	19,59	19,63	22,34	19,72	18,36	22,83	19,63	19,5	22,00	19,56	19,00
Screw stroke	mm	80	90	100	110	125	145	150	175	175	200	225	250
Screw torque, standard	Nm	37,91	52,11	69,25	89,58	126,50	206,96	206,96	313,79	313,79	450,00	618,48	822,00
Nozzle sealing force	kN	28,50	28,50	28,50	30,00	30,00	30,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
Max. nozzle retract stroke	mm	100	100	100	100	100	100	200	200	200	200	200	200
Max. linear velocity of screw, direct	mm/sec	112	112	112	150	150	150	155	155	155	150	150	150
Max. injection rate, direct	cc/sec	22,52	28,50	35,19	57,02	73,63	106,03	109,56	146,13	169,65	186,50	238,56	294,52
Screw speed range, standard drive	r.p.m.	320	320	320	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Electrical Supply	V	400/ 480	400/ 480	400/ 480	400/ 480	400/ 480	400/ 480	400/ 480	400/ 480	400/ 480	400/ 480	400/ 480	400/ 480
Maximum current	A	32	32	32	32	32	32	80	80	80	125	125	125

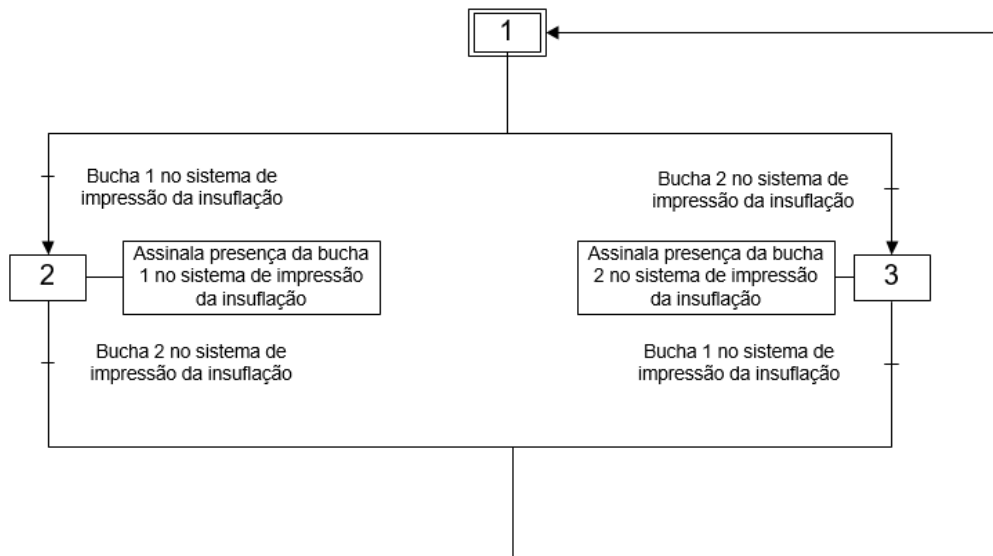
Anexo VI - Ficha técnica Prato rotativo

Rotary Tables [PRX]

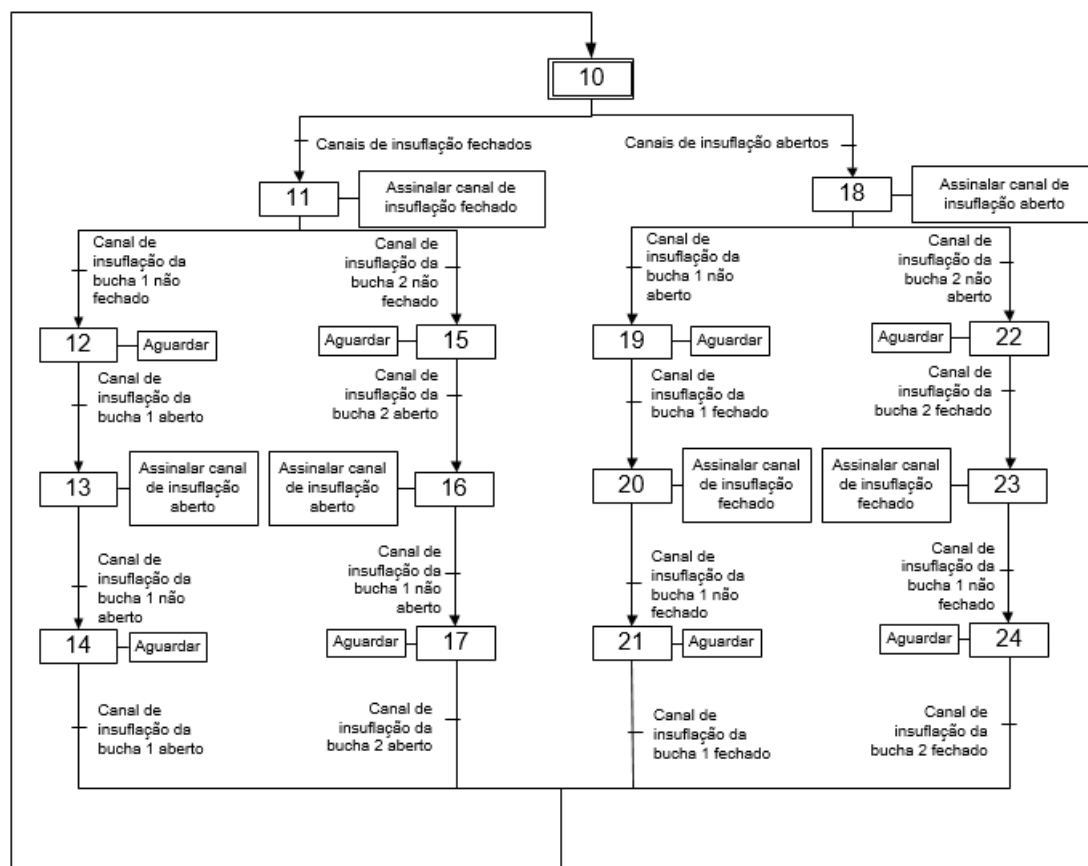
Dimensions	PRX.0420	PRX.0450	PRX.0500	PRX.0550	PRX.0650	PRX.0700	PRX.0750	PRX.0800	PRX.0850	PRX.0950	PRX.1000	PRX.1100	PRX.1150	PRX.1200	PRX.1250	PRX.1300	PRX.1350	PRX.1400	PRX.1500	PRX.1550	PRX.1750	PRX.1800	PRX.1950
Number Of cooling circuits	2W+2O	2W+2O	2W+2O	2W+2O	2W+2O	2W+2O	2W+2O	2W+2O	2W+2O	2W+2O	4W+4O	4W+4O	4W+4O	4W+4O	4W+4O	4W+4O	4W+4O	4W+4O	4W+4O	4W+4O	4W+4O	4W+4O	4W+4O
Max. Tool Weight [kg]	300	300	500	550	850	1100	1350	1800	1900	2200	3200	4000	4500	5000	5000	5500	5800	6000	7000	8000	8500	9000	10200
Rotary Table Weight [kg]	250	300	340	380	550	500	690	1000	1250	1350	1430	1700	1850	2100	2300	2800	2800	3160	3500	3900	4850	5150	6000
Rotation Time [s]	2	2	2	2	2	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	4	4	4	4	4	4	4	4	4
A	726	828	888.5	927.5	1032.5	1019	1104.5	1211	1204.5	1312.5	1374.5	1685	1692.5	1738	1658	1838	1915.5	1934	1963.5	1970.5	2331.5	2199	2436
B	530	550	611	650	755	800	850	925	950	1027	1089	1178	1240	1304	1370	1400	1470	1508	1630	1648	1850	1913	2060
C	265	275	298.5	325	377.5	400	425	462.5	475	513.5	546.5	589	620	652	685	700	735	754	815	822	925	954	1040
D	570	615	640	685	775	770	820	930	920	1040	1085	1176	1270	1302	1375	1400	1450	1520	1650	1780	1870	1920	2100
E																							
F	336	420	428	445	500	550	560	580	600	690	735	830	830	965	965	1060	940	1160	1050	1218	1345	1345	1450
G																							
H	(M12 - M20)	(M12 - M20)	(M12 - M20)	(M12 - M20)	(M12 - M20)	(M12 - M20)	(M12 - M20)	(M12 - M20)	(M12 - M20)	(M12 - M20)	(M16 - M24)	(M16 - M24)	(M16 - M24)	(M16 - M24)	(M16 - M24)	(M16 - M24)	(M16 - M24)	(M16 - M24)	(M16 - M24)	(M16 - M24)	(M16 - M24)	(M16 - M24)	(M16 - M24)
I																							
J	315	310	389	430	405	512	530	615	610	691	753	780	780	885	830	930	970	980	880	968	1120	1185	1180
K																							
L	R43	R57.5	R55	R57.5	R60	R50	R60	R60	R60	R57.5	R57.5	R85	R115	R100	R115	R100	R120	R120	R260	R116	R143	R143	R200
M	D420	D450	D500	D550	D650	D700	D750	R800	R850	D950	D1000	D1100	D1150	D1200	D1250	D1300	D1350	D1400	D1500	D1550	D1750	D1800	D1950
N	135	150	150	150	150	150	150	150	150	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	320
O	484	484	484	484	552	552	552	576	587.6	587.6	587.6	587.6	587.6	726.3	726.3	694.3	736.6	694.3	737.4	736.6	737.4	694.3	761.73
P	310	394.5	424.5	444	495	435	531.5	564	561.5	619.5	652.5	810	865.5	754.5	793.5	952	973.5	1003.5	886.5	937.5	1144.5	1069.5	1134
Q	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
R	(110 - 250)	(110 - 250)	(110 - 250)	(110 - 250)	(110 - 250)	(110 - 250)	(110 - 250)	(110 - 250)	(110 - 250)	(110 - 250)	(110 - 250)	(110 - 250)	(110 - 250)	(110 - 250)	(110 - 250)	(110 - 250)	(110 - 250)	(110 - 250)	(110 - 250)	(110 - 250)	(110 - 250)	(110 - 250)	(110 - 250)
S	140	140	140	140	140	140	140	193	193	193	193	193	193	193	193	213	213	213	213	213	213	228	257

Anexo VII - Graficet nivel 1

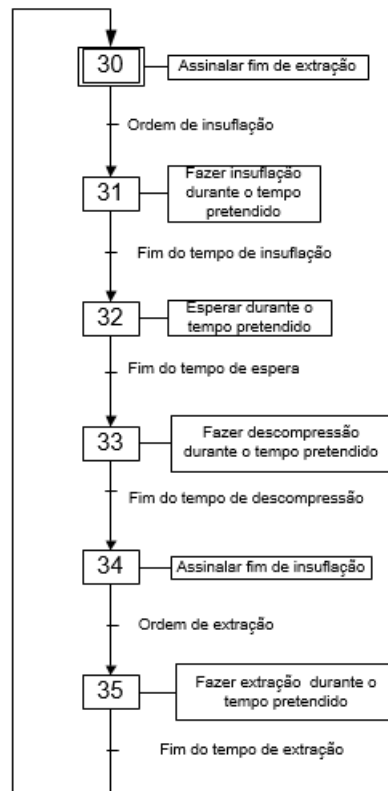
GRAF CET NIVEL 1 – Detecção de bucha



GRAF CET Nível 1 – Controlo da posição do tubular

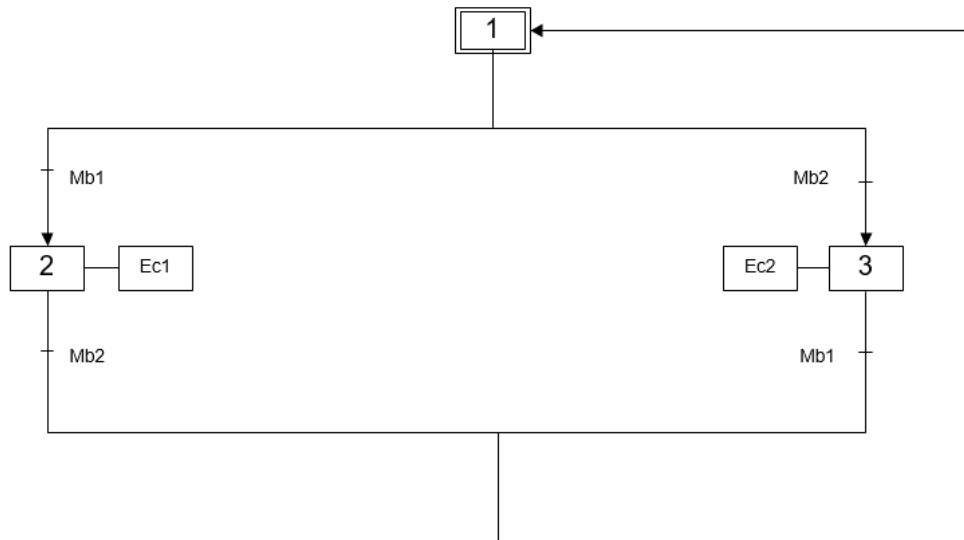


GRAFSET Nível 1 – Insuflação e extração

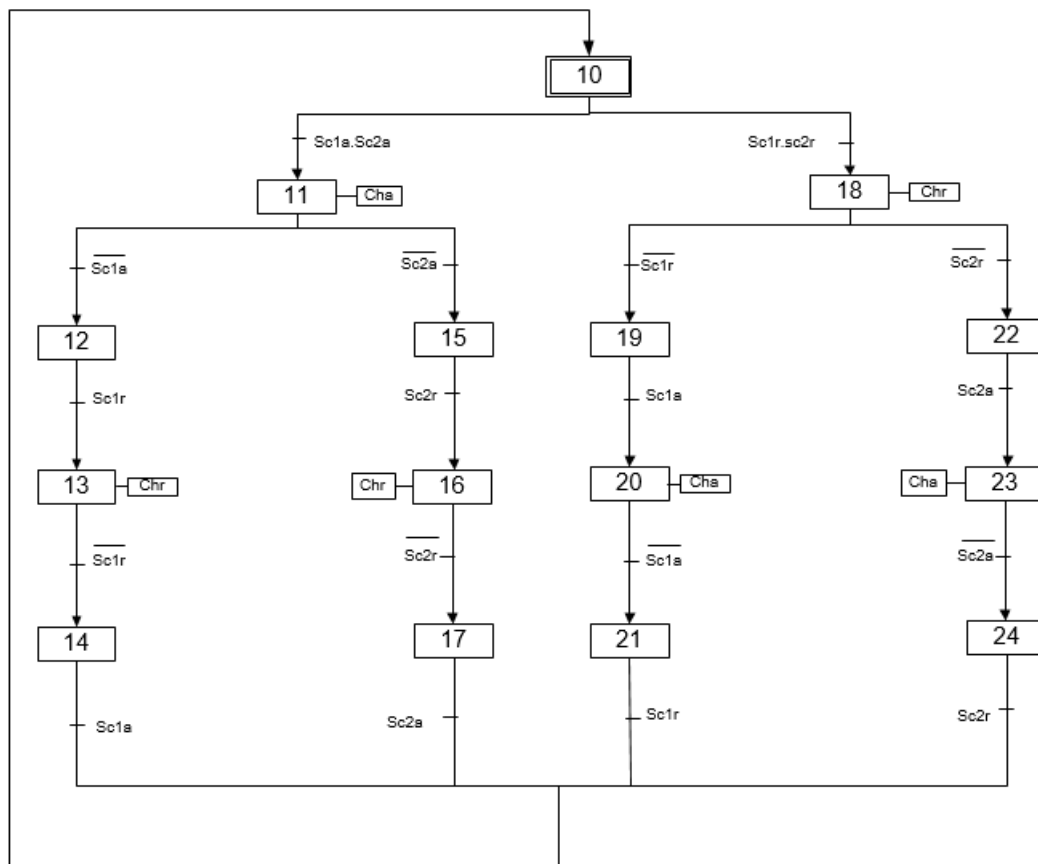


Anexo VIII - Grafcet Nivel II

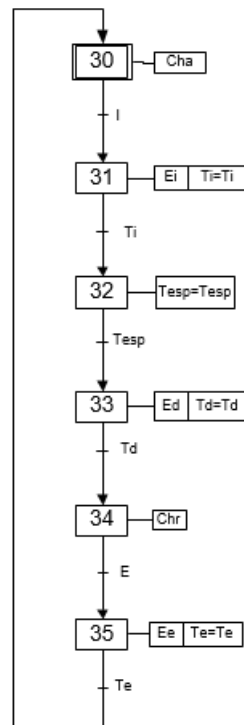
GRAFSET NIVEL 2 – Deteção de bucha



GRAFSET Nível 2 – Controlo da posição da válvula tubular

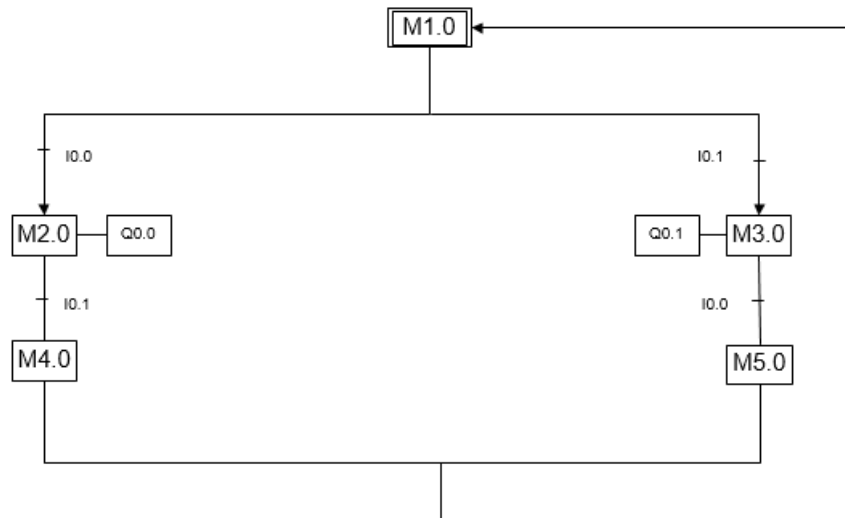


GRAF CET Nível 2 – Insuflação e extração

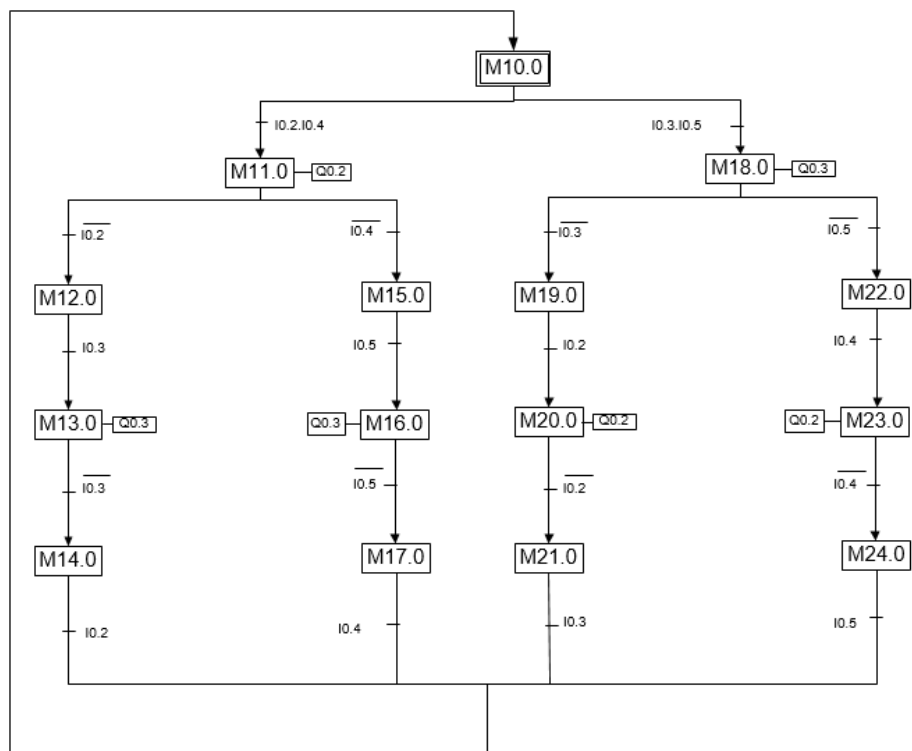


Anexo IX - Graficet de implementação

GRAFCET Implementação – Detecção de bucha



GRAFCET Implementação – Controle da posição do tubular



GRAFSET de implementação – Insuflação e extração

