

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Ricardo Humberto Peixoto e Dias

Estudo de defeitos de peças em POM

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia de Polímeros

Trabalho efetuado sob a orientação de

Professor António Manuel Cerqueira Gomes Brito

Engenheiro António Júlio Carvalho Vieira de Sá

Janeiro de 2020

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação é o culminar de uma longa caminhada de aprendizagem e amadurecimento que fiz como estudante, que não seria possível sem a ajuda de diversas pessoas, às quais presto aqui a minha homenagem:

Aos meus PAIS, pelas condições que me propiciaram para ingressar no ensino superior, mas sobretudo pelo incentivo realizado para que eu prosseguisse em todos os meus momentos de dúvida.

À minha NAMORADA, pela força e amor transmitido, pela paciência, compreensão e por acreditar nas minhas capacidades, por vezes mais que eu.

Aos meus PROFESSORES, que contribuíram para a minha formação académica e para a minha formação como cidadão. Certamente uma das mais nobres profissões que mais molda a sociedade.

Ao Professor António Manuel Cerqueira Gomes Brito, meu orientador, manifesto o agradecimento pelo seu contributo e disponibilidade no esclarecimento de dúvidas, pelas suas sugestões sempre pertinentes e pela revisão deste trabalho.

À empresa PLASMITEC, PLÁSTICOS TÉCNICOS DO MINHO, LIMITADA que possibilitou a realização deste trabalho nas suas instalações, colocando à minha disposição todos os seus recursos.

Ao Engenheiro António Júlio Carvalho Vieira de Sá, orientador na empresa, pela disponibilidade para me acompanhar e sobretudo pelos conhecimentos e experiência transmitida.

E por último, ao Mario e Paulo e todos os meus amigos, que partilharam comigo esta caminhada, proporcionando ajuda, companheirismo e sobretudo bons momentos.

RESUMO

Nesta dissertação estudou-se, testou-se e resolveu-se problemas de peças injetadas em polioximetileno (POM). Apesar das excelentes características apresentadas por este material, exige alguns cuidados, necessários do ponto de vista de projeto de peça e variáveis do processo de injeção, devido à elevada contração, contração diferencial e pós contração característica deste material.

Estes fenómenos originam problemas dimensionais ou mesmo a ocorrência de empenos e ocos em peças de maior espessura.

A Plasmitec nota alguma dificuldade no controlo do processo em peças de POM. Para estudo foram selecionadas duas peças em POM, uma com empeno e tempo de ciclo elevado e outra que continha ocos.

Para o efeito, começou-se por estudar a peça com empeno, como se trata de uma peça já em produção analisou-se todo o seu historial, verificou-se que o tempo de ciclo elevado é resultado do longo tempo de arrefecimento, necessário para contrariar um empeno originado pela sua geometria, dimensão do canal frio e local do ponto de injeção.

Através de software CAE simularam-se parâmetros de injeção com o objetivo de inverter o empeno e aplicou-se os resultados em ensaios do molde.

No processo foi necessário realizar duas baterias de simulações e ensaios, sendo que a primeira serviu para compreender o comportamento da peça, e a segunda serviu para obter parâmetros para produção, que reduzissem o empeno e o tempo de arrefecimento.

Para resolver o problema na peça que registava ocos, foi analisada a sua geometria onde se detetou uma espessura que tem influência no problema, através de ensaios de molde foi possível eliminar os ocos, contudo por deficiências no equipamento estes voltaram.

Foi sugerida a colocação de um desgrossador na localização do oco, desta forma é obtida maior estabilidade no processo de injeção reduzindo-se a exigência dos equipamentos.

No final são analisados os 3D de duas peças em desenvolvimento, semelhantes às anteriores, nestas tentou-se prever possíveis problemas, com recurso a software CAD, e sugerem-se soluções e melhorias de geometria.

Palavras-Chave: Contração, contração diferencial, empeno, ocos, temperaturas.

ABSTRACT

In this dissertation, it was studied, tested and solved of injected Polyoxymethylene (POM) plastic parts problems. Although its great characteristics, this material demands a certain amount of caution with the parts design and variables of the injection process due to its high contraction, differential contraction and post-contraction.

These phenomena rise dimensional problems or even warpage and voids in thicker parts.

The company Plasmitec notice some problems and difficulties in monitoring the manufacturing process of POM parts. For the present study, two POM parts were selected, one with warpage problems and high cycle time, and the other one with voids.

In this context, it was first studied the part with warpage problems. Once this part was already in the manufacturing process, all its background history was analyzed and it was verified that the high cycle time is the result of the long cooling period time needed to counteract a warpage created by its geometry, cool channel dimension and site of the injection point.

The CAE software was used to simulate injection parameters with the goal of invert the warpage, which results were implemented in moulds tests.

During the process, it was necessary to carry out two batteries of simulations and tests: the first one to understand the behavior of the part, and the second one to obtain manufacturing parameters which would reduce the warpage and cooling time.

To solve the problem in the part that registers voids, its geometry was analyzed where it was detected a thickness has direct influence in the problem. Although it was possible to eliminate the voids through the mould tests, however due to deficiencies in the equipment they returned.

It was suggested the placement of a thickener at the void location, which allowed to obtain greater stability in the injection process, reducing the equipment demand.

In the end, the 3D design of the two parts in development, similar to the previous ones, are analyzed. In these attempts it was predicted possible problems by using CAD software, and with it, solutions and improvements in geometry are suggested.

Keywords: contraction, differential contraction, warpage, voids, temperatures

ÍNDICE

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract.....	vii
Lista de Figuras.....	xi
Lista de Tabelas	xiii
1. Introdução.....	1
1.1 Objetivos.....	2
1.2 A empresa	2
1.3 Estrutura da tese	3
2. Estado da arte	5
2.1 Máquina de injeção	5
2.2 Ciclo do Processo de Moldação por Injeção	7
2.3 Moldes	7
2.4 Controlo do Processo de Injeção	8
2.5 POM.....	10
2.5.1 POM Copolímero.....	11
2.5.2 POM Homopolímero	11
2.5.3 Limitações.....	11
2.5.4 Processo de enchimento da cavidade do molde	12
2.6 Defeitos em peças injetadas	14
2.6.1 Origem dos defeitos	14
2.6.2 Defeitos em peças injetadas.....	14
2.7 Sistema de Controlo de Temperatura/Arrefecimento.....	15
2.7.1 Constituição do Sistema de Controlo de Temperatura.....	16
2.7.2 Importância da estabilidade e uniformidade das temperaturas no molde	16
2.7.3 Arrefecimento e dimensões da peça	18
2.7.4 Pós-Contração.....	19
3. Procedimento experimental	21

3.1	Peça com empeno	21
3.1.1	Análise do molde.....	25
3.1.2	Primeiras Simulações CAE	28
3.1.3	Primeiros Ensaios	37
3.1.4	Segundas simulações CAE e ensaios	46
3.2	Wedge, peça com ocos.....	62
3.2.1	Análise da espessura	63
4.	Peças em desenvolvimento	67
5.	Conclusões	73
	Bibliografia	75
	Anexo I – Ficha técnica do material SCHULAFORM [®] 9 B.....	77
	Anexo II – Medição Das Amostras dos Ensaios.....	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Unidades funcionais máquina de injeção.	6
Figura 2. Ciclo de moldação por injeção de termoplásticos.....	7
Figura 3. Fluxo em fonte e transferência de calor.	12
Figura 4. Distribuição da taxa de corte.	13
Figura 5. Orientação molecular ao longo da espessura da peça.	13
Figura 6. Diagramas PVT típicos de um polímero amorfo à esquerda e semicristalino à direita.	16
Figura 7. Deformação da peça injetada devido às diferenças de temperaturas nas paredes do molde.	18
Figura 8. Peça com empeno à esquerda, peça com ocos à direita.....	21
Figura 9. Representação das dimensões da peça afetadas pelo empeno.	22
Figura 10. Dimensões medidas numa amostra do primeiro ensaio do molde.	22
Figura 11. Evolução da geometria da peça, geometria inicial à esquerda e final à direita.....	23
Figura 12. Foto do molde (parte móvel à esquerda, parte fixa à direita).	25
Figura 13. À esquerda representação do percurso realizado pelo fundido no canal frio para uma cavidade, à direita foto real do jito.	26
Figura 14. Representação dos Canais de arrefecimento de uma cavidade.	27
Figura 15. Representação do canal de arrefecimento no postigo da bucha.....	28
Figura 16. Resultado do empeno da simulação 1.....	32
Figura 17. Resultado do empeno da simulação 2.....	33
Figura 18. Localização do núcleo fundido.	34
Figura 19. Relocalização do núcleo fundido através da diminuição da carga térmica no interior da peça.....	34
Figura 20. Resultado do empeno da simulação 3.....	35
Figura 21. Resultado do empeno da simulação 4.....	36
Figura 22. Resultado do empeno da simulação 5.....	36
Figura 23. Dimensões controladas nas amostras dos ensaios	38
Figura 24. Defeito de rebarba provocado pelo aumento da temperatura do molde.	39
Figura 25. Amostra com velocidade de injeção de 80mm/s à esquerda e 70mm/s à direita.	42

Figura 26. Aumento da carga numa maxila do molde.	49
Figura 27. Esquema das águas usada nos primeiros ensaios do molde.	50
Figura 28. Esquema de águas usado nos segundos ensaios.	51
Figura 29. Dimensões controladas no PPAP da peça.	52
Figura 30. Ficha Técnica de Injeção segundo os novos parâmetros, estabelecidos no ensaio 7.	60
Figura 31. À esquerda na figura extratores que enterram na peça, à direita processo de quebra de quinas com recurso a pedra de esmerilhar.	61
Figura 32. Representação da peça Wedge, à direita peça com corte na localização dosocos.	62
Figura 33. Resultado de um teste de uso extremo da peça.	62
Figura 34. Análise das espessuras da peça.	63
Figura 35. Resultado do corte das amostras de uma moldação.	64
Figura 36. Temperaturas programadas nas cartas do controlador.	64
Figura 37. Infiltração de material no sistema de canal quente do molde.	65
Figura 38. Peça com desengrossador de espessura, assinalado a vermelho na figura.	66
Figura 39. Análise de espessura à peça sem desengrossador à esquerda e com à direita.	66
Figura 40. Peças em desenvolvimento, SealClip à esquerda Wedge à direita.	67
Figura 41. Resultado da análise de espessuras da peça SealClip.	68
Figura 42. Resultado da simulação de empeno. Peça com <i>ribs</i> traseiros (a), peça com <i>ribs</i> internos (b), peça sem <i>ribs</i> (c).....	69
Figura 43. Resultado da simulação <i>SOLIDWORKS® Plastics</i> , previsão de chupados.	70
Figura 44. Peça após a aplicação de desengrossadores, assinalados a verde na figura à esquerda, e análise de espessuras à direita.	70
Figura 45. Peça protótipo com chupados.	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Ficha Técnica de Injeção da Peça em Estudo.	24
Tabela 2. Variáveis do processo de injeção que não se alteram entre simulações.	30
Tabela 3. Variáveis do processo de injeção estudadas nas simulações	30
Tabela 4. Condições usadas na produção da peça.	31
Tabela 5. Resultado das medições das amostras do ensaio 1, 2 e 3.	41
Tabela 6. Resultado das medições das amostras do ensaio 2.....	43
Tabela 7. Resultados da medição das amostras do ensaio 5, com redução gradual do tempo de arrefecimento.....	45
Tabela 8. Resultado da segunda bateria de simulações.	48
Tabela 9. Resultado das medições das amostras do ensaio 6 (30 segundos de arrefecimento).	54
Tabela 10. Resultado das medições das amostras do ensaio 6 (40 segundos de arrefecimento).	55
Tabela 11. Resultado das medições das amostras do ensaio 7 (30 segundos de arrefecimento)	56
Tabela 12. Resultado das medições das amostras do ensaio 7 (40 segundos de arrefecimento)	57
Tabela 13. Resultado das medições das amostras do ensaio 8 (40 segundos de arrefecimento).	58
Tabela 14. Resultados da simulação do empeno em 3 designs da peça SealClip.	68

1. INTRODUÇÃO

O uso de peças termoplásticas por parte da engenharia aumentou o grau de exigência aos injetadores, estes usam materiais cada vez mais complexos que originam desafios acrescidos na hora da concepção e injeção. O POM também conhecido por polioxido de metileno, poliformaldeído ou poliacetal é um desses materiais, é muito usado em peças que necessitam elevada rigidez, baixo atrito e excelente estabilidade dimensional.

A empresa PLASMITEC notou o aumento de peças injetadas neste material, como o grau de exigência é elevado existe interesse em estudar, testar e resolver problemas de peças injetadas em polioximetileno (POM), desta forma é possível resolver problemas e adquirir conhecimento que pode ser útil em futuros projetos. Para o efeito começou-se por selecionar duas peças, uma com problema de empeno e outra com problema de ocos. Por se tratar de peças já em produção, na primeira abordagem analisou-se todo o histórico das peças e dos moldes.

O empeno registado na peça SealClip obriga a um tempo de ciclo anormal causado pela necessidade de um de arrefecimento prolongado, necessário para cumprir com as tolerâncias dimensionais. No estudo desta peça recorreu-se ao software *SOLIDWORKS® Plastics*, este permite simular a variação dos parâmetros do processo de injeção sem necessidade de ocupar uma máquina, para o efeito foi necessário adquirir conhecimentos ao nível desta aplicação.

Foi possível compreender que a geometria e as tensões do fundido podem influenciar o aparecimento do empeno, por esta razão simulei temperaturas do molde e velocidades de injeção através do software, na busca pela solução. Após obter resultados nas simulações, realizei ensaios reais onde foi possível reduzir o tempo de arrefecimento da peça.

Na avaliação da peça Wedge, que regista ocos, foi possível perceber que a origem do defeito está na existência de uma espessura excessiva, detetou-se ainda um comportamento não linear na ocorrência dos ocos que evidencia problemas no molde causados pelo elevado número de ciclos que este já tem.

Após o estudo realizados nas duas peças anteriores, e com os conhecimentos adquiridos, foram analisadas duas peças em desenvolvimento com o intuito de evitar os mesmos erros.

1.1 Objetivos

A presente dissertação tem como objetivo estudar, testar e resolver problemas em peças injetadas em POM, uma com problema de empeno que necessita de um tempo de ciclo e arrefecimento elevados para reverter o problema e outra com problemas de ocos que retira à peça a resistência mecânica necessária à sua função.

Devido à elevada contração deste material existe uma maior predisposição para problemas de empenos, chupados e ocos. Sendo este um material cada vez mais usado em peças injetadas pela empresa Plasmitec o estudo realizado nestas duas peças, servirá não só para resolver os problemas destas, mas também para compreender melhor as limitações deste material e assim evitar problemas futuros em peças em desenvolvimento. Os objetivos deste trabalho foram:

- Estudar a ocorrência de ocos, chupados e empenos em peças de POM;
- Eliminar ou reduzir ocos, chupados e empenos em peças que se encontram em produção;
- Otimizar o ciclo de injeção de moldes em POM, fazendo para isso uma análise aos canais de arrefecimento e temperaturas recorrendo a simulações e sugerindo a criação de novos canais ou mudanças de temperaturas nos existentes;
- Ensaio e validações das condições estudadas;
- Aplicação dos conhecimentos a peças em desenvolvimento

1.2 A empresa

A PLASMITEC, PLÁSTICOS TÉCNICOS DO MINHO, LIMITADA foi fundada em 1988 baseada na visão e capacidade dos seus fundadores. É composta por uma equipa experiente, altamente competente, motivada e dinâmica. Dispõe de uma alta percentagem de trabalhadores qualificados que permite à empresa enfrentar com segurança os desafios colocados pelo mercado.

Fruto de 30 anos de trabalho a PLASMITEC tem uma posição consolidada no mercado e oferece múltiplas soluções em plástico que garantem a satisfação do cliente. Atualmente

dispõe de um parque de 21 máquinas de injeção com capacidades entre 25 a 550 toneladas, 12 destas máquinas dispõem de robot para auxiliar a extração.

As máquinas de injeção PLASMITEC garantem a precisão exigida por peças técnicas, independentemente da matéria-prima utilizada.

A PLASMITEC dispõe ainda de setores de tampografia, montagem e soldadura de peças técnicas em plástico permitindo a montagem própria. Estes processos de integração no mesmo fornecedor permitem ganhos em custos de entrega, logística e manuseamento, contribuindo para a competitividade da cadeia de produção global.

As suas vendas destinam-se principalmente para exportação sendo os principais mercados o automóvel, rede de telecomunicações, rede de gás, contadores de água e contadores elétricos.

Esta empresa encontra-se localizada em Pousa, Barcelos junto à A3, integrada num meio ambiente de várias empresas industriais de atividades complementares com elevado nível tecnológico.

Os modernos métodos de produção instalados, o esforço de melhoria constante na produção em curso, a formação profissional, o respeito e proteção do ambiente e o processo de certificação ISO 9001:2008, ISO 14001:2004, fazem da PLASMITEC um potencial parceiro de negócios. [1]

1.3 Estrutura da tese

O presente trabalho está organizado em 5 capítulos, incluindo este de introdução, definição de objetivos e a apresentação da empresa onde se desenvolveu esta dissertação e, por fim, este parágrafo que descreve sucintamente a estrutura da dissertação.

No segundo capítulo é apresentado o estado da arte, são referidos alguns conceitos teóricos necessários para a compreensão da dissertação, destacando o ciclo de moldação, as suas variáveis do processo e a sua importância na moldação.

Posteriormente no terceiro capítulo, que está dividido no estudo de cada peça, é procurada a causa de cada defeito onde se incluiu simulações necessárias para a redução ou eliminação dos mesmos, no final é apresentada uma solução para cada defeito.

No quarto capítulo “Peças em desenvolvimento” é realizado um estudo em duas peças semelhantes às estudadas no capítulo anterior, onde são aplicados conhecimentos adquiridos nestes com o intuito de evitar os mesmos defeitos.

Por último, no capítulo 5 são apresentadas as conclusões deste trabalho e sugestões de trabalhos futuros.

2. ESTADO DA ARTE

Os termoplásticos, encontram-se no estado sólido à temperatura ambiente e podem ser transformadas num fluido viscoso após aquecimento acima da temperatura de transição vítrea e sob pressão, entrar no molde. Quando arrefecidos abaixo dessa temperatura voltam novamente a adquirir o estado sólido inicial, agora sob a forma de peça desejada.

A produção em massa de peças por moldação por injeção deve-se ao facto da grande versatilidade dos termoplásticos aliado às suas características, permitindo obter peças com uma excelente relação resistência/peso aliado a grandes produções. A tendência da substituição de componentes metálicos por materiais plásticos abriu portas à injeção de peças de engenharia, onde o grau de exigência é mais elevado, havendo por isso uma necessidade de maior controlo de todo o processo começando logo no desenho da peça e do molde. [2]

2.1 Máquina de injeção

A máquina de injeção desempenha um dos principais papéis na injeção de peças termoplásticas, tendo de garantir a força de fecho necessária ao molde e também a dosagem correta de material para a peça, sem a ocorrência de material degradado devido à longa permanência no fuso.

É essencial uma escolha adequada de máquina para a peça a ser injetada, a escolha errada pode impossibilitar a sua injeção, ocorrendo defeitos como rebarba, vazios, chupados, material degradado entre outros. [3]

Na Figura 1 está representada a máquina de injeção típica e as suas unidades funcionais que são:

1. Unidade de injeção/plasticização
 - Transporte do material
 - Aquecimento
 - Plasticização
 - Homogeneização
 - Injeção do fundido para o molde
 - Pressurização da moldação

2. Unidade de fecho

- Fixação e movimentação do molde
- Guiamento da abertura e fecho
- Manutenção do molde fechado
- Acionamento da extração

3. Unidade de potência

- Fornece energia aos atuadores
- Acionamento por motor elétrico

4. Unidade de Comando/Controlo

- Controlo das variáveis do processo
- Interface com o operador
- Comunicações com periféricos
- Comunicação com sistemas de gestão da produção

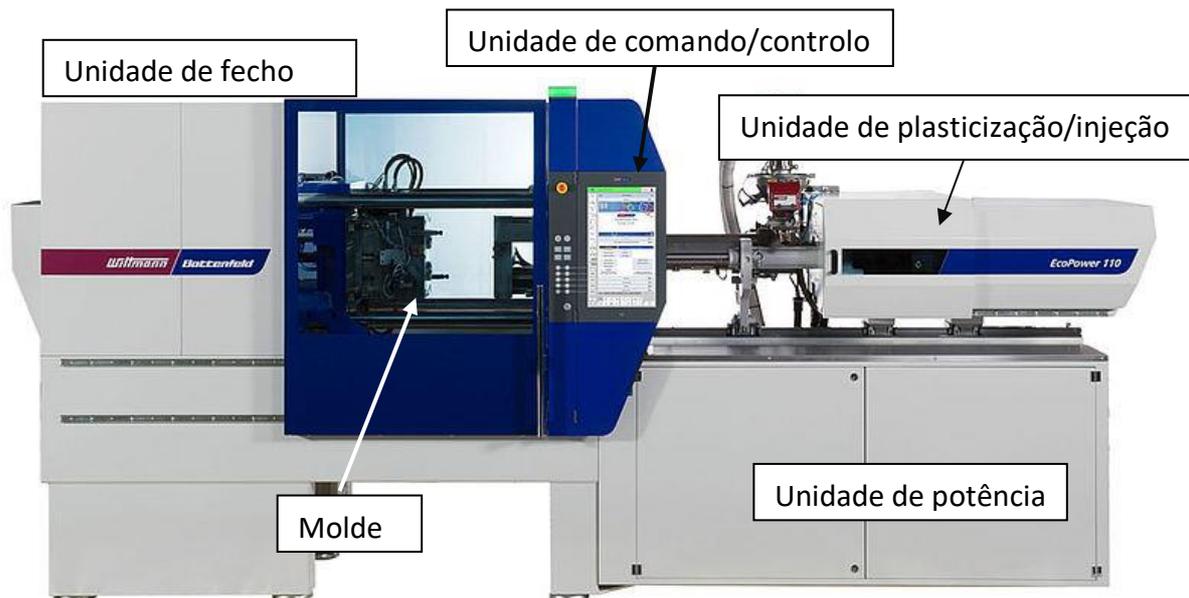


Figura 1. Unidades funcionais máquina de injeção. [3]

2.2 Ciclo do Processo de Moldação por Injeção

O processo de fabricação de uma peça com base na moldação por injeção, como se pode verificar pela Figura 2 é um processo cíclico.

Existem 6 etapas neste processo, quanto menor for o tempo despendido nessas etapas maior será a produção horária. Há então uma necessidade de produção no menor tempo possível por parte da indústria de forma a aumentar os lucros.

A fase de arrefecimento assinalada a azul na Figura 2 tem início no fim da injeção e termina assim que a peça tenha uma temperatura que permita a desmoldação, sem a perda de dimensões. Tipicamente esta fase é a mais demorada e tende a aumentar o tempo de ciclo reduzindo a produção horária. O arrefecimento tende a ser controlado criteriosamente uma vez que as propriedades da peça dependem em grande parte desta fase. [4]

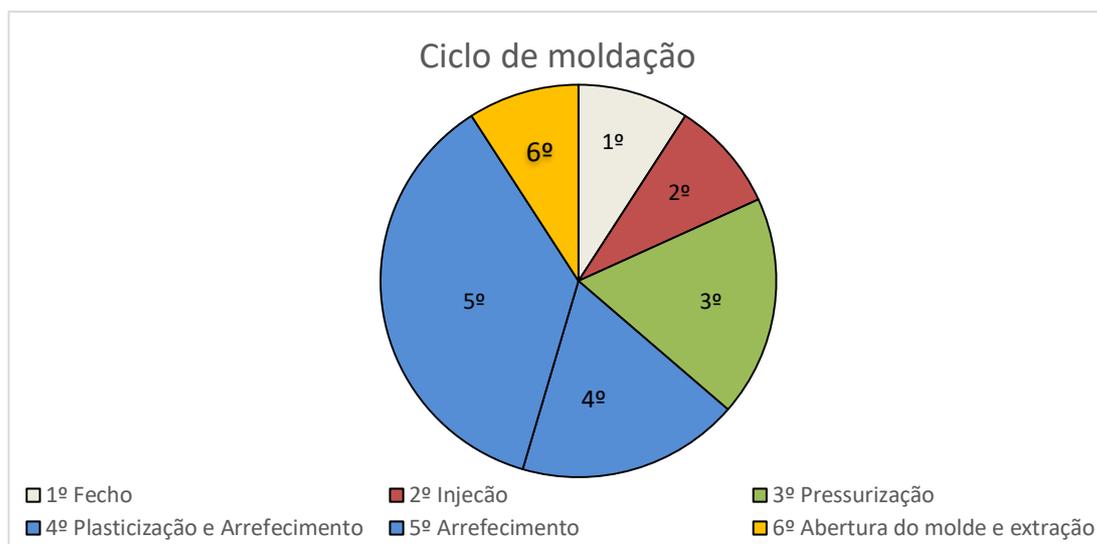


Figura 2. Ciclo de moldação por injeção de termoplásticos.

2.3 Moldes

No processo de moldação por injeção de uma peça, o molde desempenha o papel principal. Ao contrário da máquina de injeção que está dimensionada para poder abranger um leque de peças/moldes variados, o molde é específico para cada peça.

O projeto de um molde inclui vários aspetos fulcrais para que a produção em série de peças seja possível, destacando-se os sistemas de alimentação, controlo de temperatura (arrefecimento) e de extração.

Sem o sistema de controlo de temperatura/arrefecimento não se pode obter peças e sem uma extração bem pensada o processo pode ter de ser interrompido, prejudicando a produção.

Os moldes de injeção são hoje bem mais complexos do que os primeiros a serem concebidos pelos irmãos Hyatt no século XIX. Hoje um molde de injeção é um conjunto de sistemas funcionais que permite um maior controlo sobre o fundido permitindo a moldação de peças de extrema complexidade com elevada cadência horária e elevado rigor dimensional, desta forma as peças termoplásticas tem vindo a substituir outras anteriormente feitas noutras matérias primas. [5]

2.4 Controlo do Processo de Injeção

Durante o enchimento da cavidade do molde é necessário controlar algumas variáveis do processo de injeção, um bom controlo garante moldações finais de qualidade. As variáveis do processo são:

- **Temperaturas do cilindro e molde**

Estas duas variáveis constituem o Sistema de Controlo de Temperatura do processo de injeção. Inicialmente necessita-se de transformar o polímero sólido num líquido viscoso (dentro do cilindro), já no estado líquido é possível realizar a enformação na cavidade do molde e retirar o calor ao fundido para a peça adquirir a forma sólida.

Idealmente durante a injeção do polímero o molde deve-se encontrar o mais perto da temperatura do fundido, por outro lado durante a extração, as peças deveriam estar o mais próximo da temperatura ambiente [4]. Desta forma as peças conseguem uma uniformidade de propriedades mecânicas em todas as direções, reduzindo-se as tensões adquiridas no processo de injeção. Contudo devido às necessidades de produção na indústria as razões económicas acabam por se sobrepor.

A forma como se faz o arrefecimento deve por isso ser rigorosamente controlada de forma a agilizar o processo e evitar gradientes de temperatura no molde que podem resultar em empenos, ocos, dimensões fora das tolerâncias, linhas de soldadura entre outros defeitos.

As temperaturas usadas durante este processo devem estar de acordo com as recomendadas para cada polímero.

- **Velocidade de injeção**

A velocidade de injeção é determinada pelo movimento do fuso onde o material plastificado é empurrado para o interior da cavidade do molde, originando um perfil de velocidades que pode ser ajustado.

Cada peça necessita de um perfil de velocidades único, adequado à sua dimensão, forma e características finais. Na determinação do perfil de velocidades é necessário ter em conta a viscosidade do material, a dissipação viscosa e a orientação. Um mau ajuste do perfil de velocidade leva a ocorrência de degradação precoce do material originado por altas taxas de corte, leva também à ocorrência de empenos e mau acabamento superficial na peça.

- **2ª Pressão**

A segunda pressão, pressurização ou pressão de manutenção ocorre após a injeção e tem como objetivo compensar a contração do material originada pelo seu arrefecimento na cavidade do molde.

- **Tempo de 2ª Pressão**

Tempo necessário até que o ataque solidifique de forma a evitar que o material retorne ao fuso.

- **Tempo de arrefecimento**

Parâmetro muito importante para controlo do tempo de ciclo e dimensões da peça. Quando o tempo de arrefecimento termina a peça é extraída, nesse momento a zona sólida da peça (casca) deverá ter a rigidez necessária para manter a forma sem a perda de dimensões. A extração precoce da peça pode levar à perda de dimensões. Quanto menor o tempo de arrefecimento maior é a rentabilidade da peça para o produtor.

- **Contra pressão**

Pressão gerada na traseira do atuador da injetora, ao forçar a rosca para a frente garantimos maior densidade do material fundido compactando-o, conseguimos desta forma resolver problemas em massas heterogéneas ou mesmo eliminar ocos.

- **Velocidade de rotação do fuso**

A velocidade de rotação está relacionada com a capacidade de plasticização nas máquinas de injeção, quanto menor o ciclo de injeção maior necessidade de velocidade de rotação.

É exigido rigor na determinação da velocidade uma vez que a velocidade tangencial ao qual o polímero é submetido deve garantir a não degradação do mesmo. Ou seja, devemos encontrar um meio termo que garanta por um lado uma mistura uniforme, mas que não provoque a degradação do material. [6]

- **Dosagem**

A dosagem correta do material é a que garante um enchimento completo da cavidade, uma boa aparência e boas propriedades da peça. Uma dosagem incorreta da peça pode resultar em peças incompletas, mau acabamento ou rebarbas.

As máquinas mais recentes/modernas, através de sistemas computadorizados, garantem um controlo mais correto e facilitado do volume específico da dosagem.

A máquina usada neste trabalho “Dispõe da possibilidade de pré-definir valores próprios de velocidade periférica, volume e de pressão acumulada para cada um dos dois segmentos de percurso fixos e dos quatro de ativação por ajuste. O próprio comportamento dos movimentos, depois, é interpolado de forma linear pelo comando. Isto significa que não ocorrem mudanças bruscas de velocidade, mas sim a adaptação homogénea aos respetivos valores nominais” [3]

2.5 POM

O polioximetileno (POM), também conhecido por polióxido de metileno, poliformaldeído ou poliacetal é um termoplástico de engenharia utilizado em peças de precisão que necessitam de elevada rigidez, boa resistência ao desgaste, baixo atrito e boa estabilidade dimensional. Devido a estas características os acetais tem vindo a substituir matérias primas como metais e madeiras nomeadamente na indústria automóvel onde o nível exigido no produto final é elevado.

Trata-se de um polímero semi-cristalino formado pela homo ou copolimerização do formaldeído, dando origem ao POM-H e POM-Cop respetivamente. No caso das peças em estudo usa-se POM Copolímero.

2.5.1 POM Copolímero

Resulta da conversão do formaldeído em trioxano que é polimerizado com um co-monomero dando origem ao copolímero. Este tem melhor estabilidade térmica, resistência à oxidação, resistência química e melhor resistência à rutura a longo prazo. Quando adicionamos fibras para melhorar as propriedades mecânicas da peça, mostra melhores resultados isto acontece devido à melhor adesão da fibra devido à sua estrutura química. Os baixos graus de cristalização em relação ao homopolímero proporcionam melhor estabilidade dimensional. [7]

2.5.2 POM Homopolímero

O processo de polimerização do homopolímero resulta da separação do formaldeído. Este tem um grau de cristalinidade superior o que se traduz em melhores propriedades mecânicas a curto prazo, é mais rígido e resistente à tração. [7]

2.5.3 Limitações

As maiores limitações são:

- Baixa resistência a ácidos e bases
- Degradação UV, na ausência de aditivos anti-UV
- Inflamabilidade
- Degradação térmica e libertação de formaldeído gasoso quando processado acima de 230°C
- Elevada contração no molde

A maior limitação para o injetador, e a que originou este trabalho, é a elevada contração ocorrida na cavidade do molde e pós contração ocorrida fora do molde, devido à cristalização secundária deste material.

Este fenómeno origina defeitos comoocos, chupados e perda de dimensões. Uma vez que as peças produzidas neste material são peças de engenharia de extrema exigência a ocorrência de qualquer um destes defeitos inviabiliza o uso das mesmas. [7]

2.5.4 Processo de enchimento da cavidade do molde

No processo de injeção é forçado um escoamento de matéria para as cavidades do molde. A reologia estuda o escoamento e a deformação da matéria, é a ferramenta ideal para caraterizar e compreender o processo de enchimento das cavidades do molde.

Escoamento do polímero

Durante o escoamento do fundido para as cavidades do molde este é sujeito a vários tipos de tensões e consequentes deformações, este é forçado a passar por canais de diferentes geometrias e temperaturas. Idealmente o fundido devia chegar à peça ausente de orientações e tensões, desta forma conseguia-se uniformidade de propriedades mecânicas em todas as direções. Considerando um molde de canal frio, o polímero depois de injetado enche o jito e a cavidade do molde, como as paredes do canal frio e cavidade estão a uma temperatura inferior o material tende a arrefecer junto destas e a perder mobilidade. O centro do escoamento está mais quente, fazendo com que exista aí maior velocidade de escoamento o que origina um fluxo em fonte representado na Figura 3.

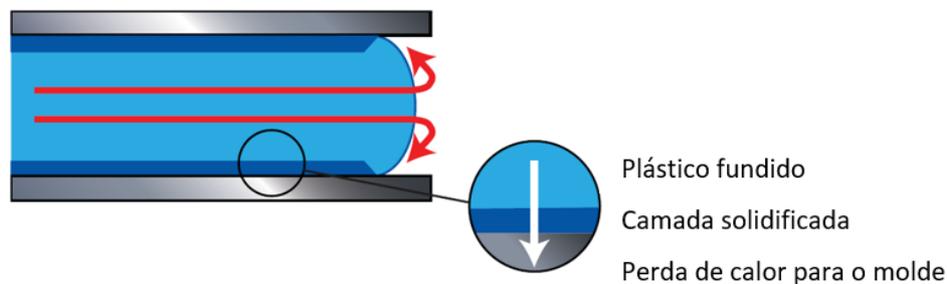


Figura 3. Fluxo em fonte e transferência de calor. [8]

Tensões de corte no processo de injeção

No processo representado na Figura 3, em que existem diferentes velocidades no escoamento, mais lento junto das paredes e mais rápido ao centro, o fluxo de matéria é sujeito a tensão de corte. Esta tensão origina a orientação do material, ou seja, faz com as cadeias poliméricas obtenham orientação na direção do fluxo. Contudo a taxa de corte, que é a taxa de material que desliza sobre a camada de material seguinte, difere entre localizações, existindo uma zona de taxa de corte máxima e mínima, o que provoca orientações diferentes

em zonas de escoamento diferentes, na Figura 4 está representado um canal e a localização da taxa de corte máxima junto da parede e mínima ao centro.

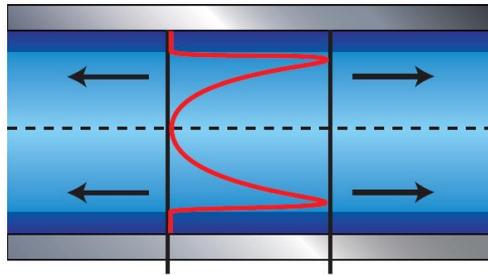


Figura 4. Distribuição da taxa de corte. [8]

Na fase de arrefecimento da peça, que do ponto de vista económico deve ser o mais rápido possível, parte da orientação é congelada sem tempo para relaxar. Na Figura 5 está representado uma zona exterior da peça que arrefeceu rapidamente ainda com orientação, e uma zona mais interna da peça que dispôs de mais tempo de arrefecimento para relaxar orientações.

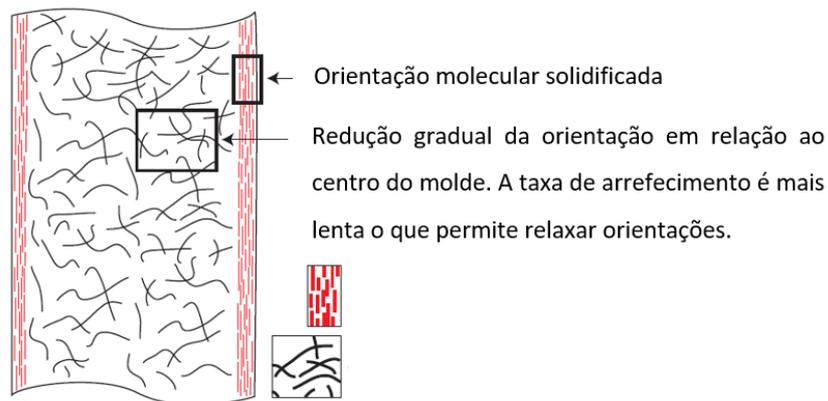


Figura 5. Orientação molecular ao longo da espessura da peça. [8]

Caso o arrefecimento tivesse sido realizado muito lentamente, dando tempo para relaxar a orientação, resultava numa orientação residual muito baixa existindo menores probabilidades de empenos provocados por tensões residuais resultantes do processo.

A orientação molecular tende a criar padrões na peça, em que existem zonas com maior orientação que outras, que é agravado em moldes com diferentes temperaturas causadas por um mau dimensionamento do arrefecimento, resultando mais facilmente em peças com empenos.

2.6 Defeitos em peças injetadas

As peças termoplásticas podem ter uma infinidade de formas e feitios, esta é uma das vantagens da injeção de termoplásticos. Devido a esta flexibilidade cada peça é um novo desafio do ponto de vista da engenharia. Apesar da liberdade que os termoplásticos permitem é necessário respeitar as suas limitações, quando se trata de peças de engenharia qualquer defeito pode inviabilizar a funcionalidade da peça, exigindo por isso maior cuidado.

2.6.1 Origem dos defeitos

Os defeitos têm origem maioritariamente em 4 fatores, material, molde, máquina e design da peça. Os problemas relacionados com o design da peça quando detetados numa fase que já exista molde acarretam custos elevados, podendo ser necessário refazer todo o molde com os inerentes custos. Por essa razão, durante o projeto da peça é necessário prever e evitar defeitos, isso exige conhecimento do ponto de vista reológico da matéria prima e do processo de injeção. Hoje em dia é possível submeter as peças a simulações de software, obtendo-se resultados muito aproximados à realidade permitindo prever possíveis defeitos.

2.6.2 Defeitos em peças injetadas

Os principais defeitos das peças injetadas são os:

- Queimados
- Rebarbas
- Mau acabamento superficial
- Efeito casca de laranja
- Peças incompletas
- Marcas de fluxo
- Linhas de soldadura
- Ocos, chupados ou empenos

Os defeitos estudados neste trabalho são ocos, chupados e empenos em peças de POM.

O processo de injeção induz altas pressões e temperaturas no fundido que resultam em tensões residuais e desequilíbrios o que juntamente com a elevada contração do POM tornam estas peças propícias ao aparecimento destes defeitos.

Os polímeros têm uma condutividade térmica baixa o que dificulta o processo de arrefecimento, a superfície da peça arrefece mais rápido que o interior, desta forma a cristalinidade varia ao longo da espessura o que pode resultar em ocos internos ou rebaixos na superfície da peça.

Enquanto umas zonas da peça arrefecem primeiro por terem menor espessura outras arrefecem lentamente, esta desigualdade permite a libertação de tensões em zonas mais quentes, enquanto que em outras são congeladas, o que resulta em empenos.

Os defeitos quando previstos numa fase inicial do projeto podem ser resolvidos, adequando a geometria da peça e a otimização do molde, se detetados numa fase final em que já exista molde, pode não ser possível reverter nem minimizar os defeitos, obrigando a refazer a geometria da peça e molde.

Devido ao elevado rigor necessário à funcionalidade das peças de engenharia, como as estudadas neste trabalho, qualquer um destes defeitos pode inviabilizar o seu uso.

2.7 Sistema de Controlo de Temperatura/Arrefecimento

A moldação por injeção sem controlo de temperatura não é possível. Inicialmente necessita-se de transformar o polímero sólido num fluido viscoso para desta forma ser realizada a enformação, de seguida é necessário retirar calor para a peça adquirir a forma sólida.

Idealmente durante a injeção do polímero o molde deve estar o mais perto da temperatura do fundido, por outro lado durante a extração, as peças deveriam estar o mais próximo da temperatura ambiente. Desta forma as peças obtinham uma uniformidade de propriedades mecânicas em todas as direções e reduzia-se as tensões do fundido. Contudo devido às necessidades de produção na indústria as razões económicas acabam por se sobrepor.

A forma como se faz o arrefecimento deve por isso ser rigorosamente controlada de forma a agilizar o processo e evitar gradientes de temperatura no molde que podem resultar em empenos, ocos, dimensões fora das tolerâncias, linhas de soldadura entre outros defeitos. As temperaturas usadas durante este processo devem estar de acordo com as recomendadas pelo fabricante de cada polímero.

2.7.1 Constituição do Sistema de Controlo de Temperatura

O sistema de controlo de temperatura é geralmente constituído por canais maquinados no molde, que permitem o fluxo de um fluido (geralmente água) a temperatura controlada e vários acessórios como as mangueiras de ligação, “shunts”, sondas de temperatura e termorreguladores.

Os canais maquinados no molde assumem grande relevância pois são o elemento mais próximo da peça, responsáveis pelo intercâmbio térmico junto às superfícies moldantes.

São geralmente cilíndricos onde muitas vezes se adicionam acessórios como “mergulhadores”, “espirais” entre outros. Estes acessórios possibilitam otimizar o arrefecimento ou aceder a zonas que de outra forma não seria possível, devido a incapacidades da maquinação.

2.7.2 Importância da estabilidade e uniformidade das temperaturas no molde

O molde é responsável por conferir a forma final ao polímero fundido. É na cavidade do molde onde ocorre o arrefecimento do fundido e este solidifica adquirindo a forma final. O processo tem elevada complexidade devido ao volume específico de cada polímero, que varia consoante a pressão e temperatura, aumenta durante o processo de plasticização e diminui com o arrefecimento na cavidade. Na Figura 6 estão representados diagramas PVT típicos, de um polímero amorfo à esquerda e de um semicristalino à direita. [9]

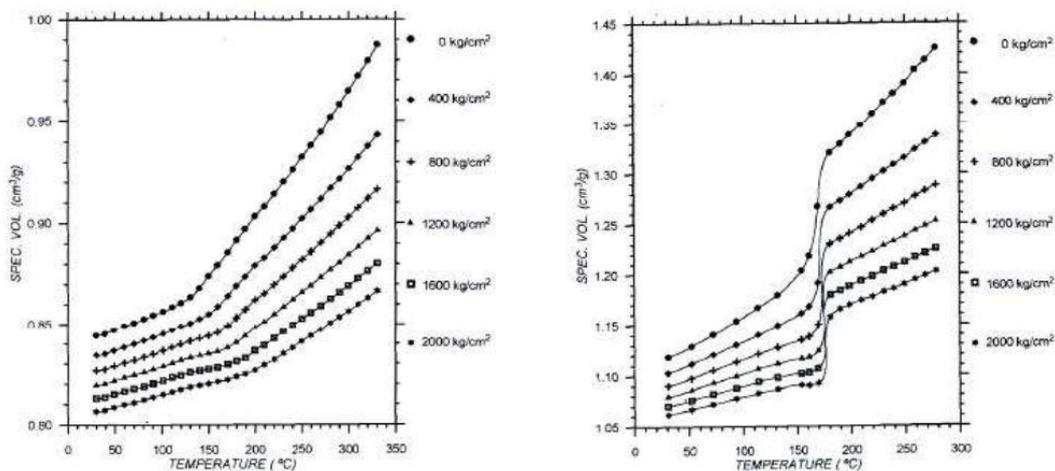


Figura 6. Diagramas PVT típicos de um polímero amorfo à esquerda e semicristalino à direita.

[9]

Apesar destes valores serem conhecidos para cada polímero, e de se fornecerem altas pressões durante a injeção do fundido de forma a compensar a contração ocorrido no arrefecimento, as tensões que o fluido adquire durante o processo de injeção em conjunto com a má condutividade térmica, causam alguns problemas em peças, principalmente nas que contenham espessuras não uniformes e geometrias complexas.

O arrefecimento e solidificação do fundido inicia-se assim que este entra em contacto com as paredes do molde, devido às diferentes espessuras da peça e temperaturas do molde a solidificação do fundido ocorre sobre diferentes pressões e com diferentes tempos, existindo por isso uma variação na contração entre partes da peça. [10]

Ammar, amine et al [11] estudou a deformação ocorrida nos cantos das peças, que são um dos pontos críticos, mostrou que as razões dos problemas nesses locais da peça são o arrefecimento assimétrico e a contração diferencial.

Durante o arrefecimento a troca de calor no interior dos cantos tende a ser inferior às restantes superfícies da peça, estes locais de carga térmica mais elevada originam um ângulo da peça inferior que o do molde. Este fenómeno é a principal causa da deformação em peças com geometrias que contêm cantos ou zonas com dificuldades de arrefecimento.

É essencial dimensionar um sistema de controlo de temperatura que preveja os locais de elevada carga térmica do molde, garantindo uma uniformidade de temperaturas. Em locais de difícil acesso de maquinação e com grande carga térmica é possível adotar soluções de arrefecimento ou aços com maior condutividade, de forma a restabelecer o equilíbrio térmico do molde durante o arrefecimento da peça.

Quando existe um mau dimensionamento do arrefecimento do molde, podem ocorrer zonas com maior carga térmica que outras, na Figura 7 estão representados dois casos, um arrefecimento equilibrado à esquerda, e um desequilibrado à direita em que existe uma diferença de temperaturas de 60°C entre as superfícies moldantes. No caso da esquerda, durante o arrefecimento é formada uma casca uniforme á volta do núcleo ainda fundido, no caso à direita existe uma casca de fundido mais espessa do lado mais frio do molde provocando o deslocamento do núcleo fundido para junto da parede mais quente do molde, resultando num empeno.

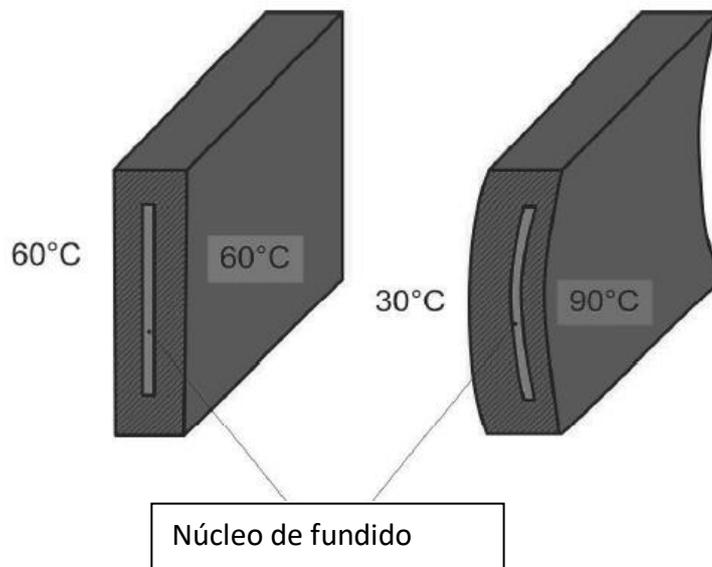


Figura 7. Deformação da peça injetada devido às diferenças de temperaturas nas paredes do molde. [12]

2.7.3 Arrefecimento e dimensões da peça

A funcionalidade de uma peça fica comprometida quando as dimensões desta não estão asseguradas, quando se trata de peças de engenharia a precisão dimensional é uma das principais preocupações e um dos maiores desafios. Um conjunto de efeitos físicos contribuem para o empeno e contração final da peça. Compreender e prever estes efeitos é essencial em peças complexas.

A cavidade do molde recebe o polímero fundido e expandido termicamente, este é arrefecido até à temperatura de extração, quando extraído continua a arrefecer até à temperatura ambiente, durante este processo de arrefecimento a peça contrai.

A diferença de dimensão entre a cavidade e a peça resultado da contração é um dos fatores a ter em conta durante o projeto do molde, para minimizar a contração são também exercidas altas pressões no fundido de forma a enviar mais massa do que o molde comporta, no final é sempre desejável existir uma diferença de volume entre a peça e o molde facilitando assim a extração.

As pressões de compactação exercidas idealmente seriam uniformes em toda a cavidade, contudo as geometrias complexas e diferenças de temperatura na superfície do molde dificultam este processo. Os gradientes térmicos nas superfícies moldantes originadas pelo

mau dimensionamento do arrefecimento do molde, fazem com que algumas zonas da peça solidifiquem primeiro não recebendo tanta compactação como as restantes. Durante o projeto da peça e do molde deve-se prever fenómenos como a contração diferencial, que provoca empenos durante o arrefecimento, e assim reduzir a probabilidade da ocorrência destes, através da adaptação do design da peça e do molde.

[13][14]

2.7.4 Pós-Contração

A pós-contração é a continuação da contração da peça que ocorre 24 horas depois da peça ser extraída da cavidade do molde. [15]

A temperatura de extração é aquela que garante as dimensões da peça, algumas são extraídas ainda com o interior fundido. Apesar de a peça ser extraída com uma casca fria, o núcleo fundido transmite calor à casca, que volta a aquecer. As moléculas ganham energia suficiente para restabelecer as suas posições de equilíbrio, ocorrendo a pós-contração. Se esta temperatura for superior à transição vítrea as moléculas têm energia suficiente para se moverem e ficarem nas suas posições de equilíbrio. [16]

Idealmente a peça devia arrefecer totalmente na cavidade do molde, servindo os aços da cavidade como um gabarito que evita a deformação desta, contudo devido às necessidades de produção horária da indústria é necessário encontrar o menor tempo de arrefecimento que garanta as dimensões da peça.

Quanto mais equilibrado for o arrefecimento no molde e menores tensões tiver a peça, menor é a probabilidade de esta deformar no período da pós-contração.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste trabalho, estudaram-se duas peças em poliacetal (POM), uma com geometria propícia a empenos e outra a ocos, representadas na Figura 8.

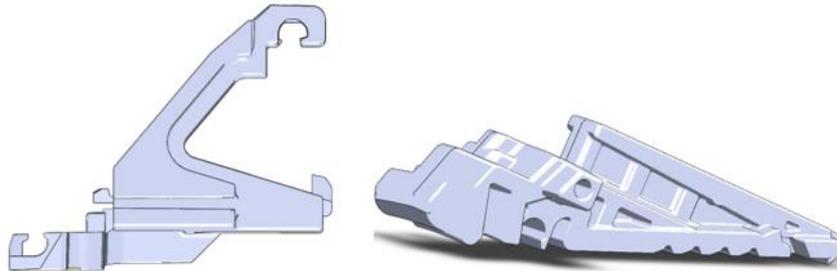


Figura 8. Peça com empeno à esquerda, peça com ocos à direita.

3.1 Peça com empeno

Na Figura 9 está representada a peça com empeno, as dimensões afetadas são a “A” e “B”. A peça em questão está em plena produção, para controlar o empeno é necessário um longo tempo de arrefecimento que provoca o aumento do tempo de ciclo de produção, reduzindo desta forma a rentabilidade da mesma. Neste trabalho pretendeu-se reduzir o empeno sem recurso a um tempo de arrefecimento elevado.

Como a peça está aprovada e em plena produção optei por analisar toda a informação disponível sobre a mesma, incluindo os relatórios de aprovação do molde e peça.

Na aprovação do molde estavam registadas modificações da geometria da peça necessárias para reduzir o empeno, os relatórios do primeiro ensaio do molde relatam uma tendência para empenos superiores ao existente que inviabilizavam a sua funcionalidade.

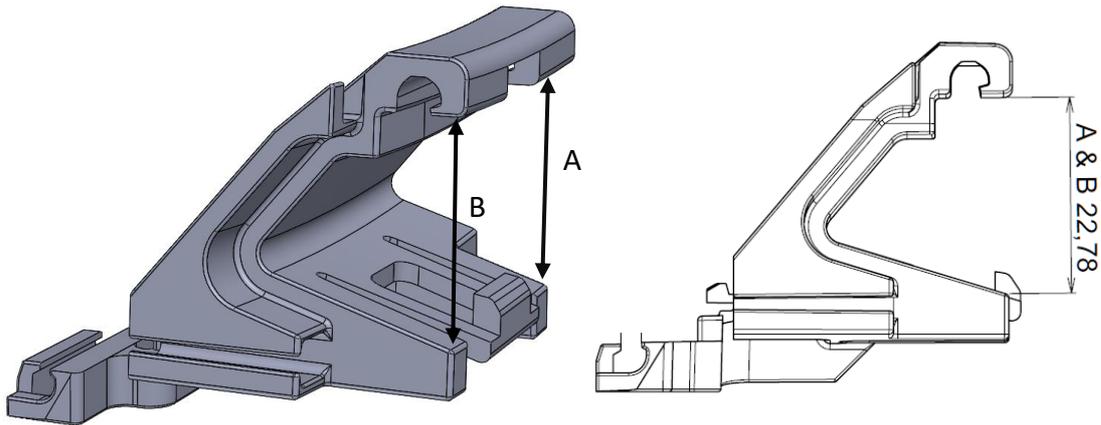


Figura 9. Representação das dimensões da peça afetadas pelo empeno.

A Figura 10 faz parte do relatório dimensional do primeiro ensaio do molde. O empeno verificado nesse ensaio atingiu 2.8 mm, o que inviabiliza o encaixe e o seu uso. A dimensão nominal projetada está assinalada a vermelho na figura, 22,73mm e 22,76mm. Um dos lados da peça regista um empeno significativamente maior que o seu oposto, consequência de existir maior massa de material nessa localização.

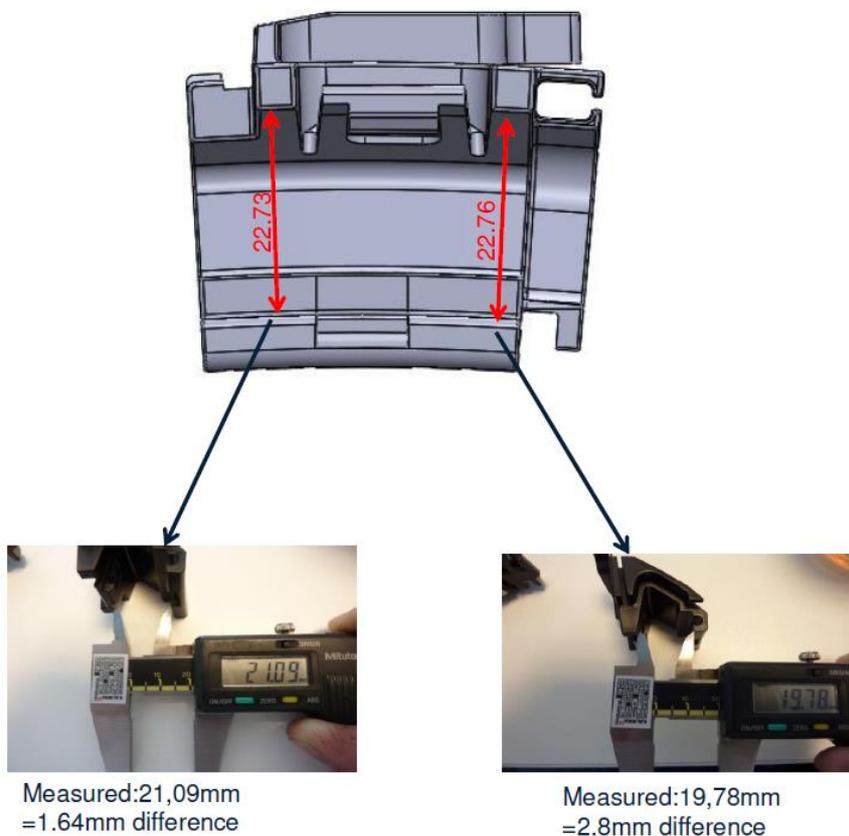


Figura 10. Dimensões medidas numa amostra do primeiro ensaio do molde.

A solução adotada na altura para diminuir o empeno passou por alterar a geometria da peça, foi diminuída a espessura a uma parede através da criação de *ribs*, desta forma diminuiu-se a espessura excessiva nessa localização, aumentou a área de contacto com o aço e consequentemente reduziu-se a contração diferencial do material, a Figura 11 mostra a evolução da geometria da peça.

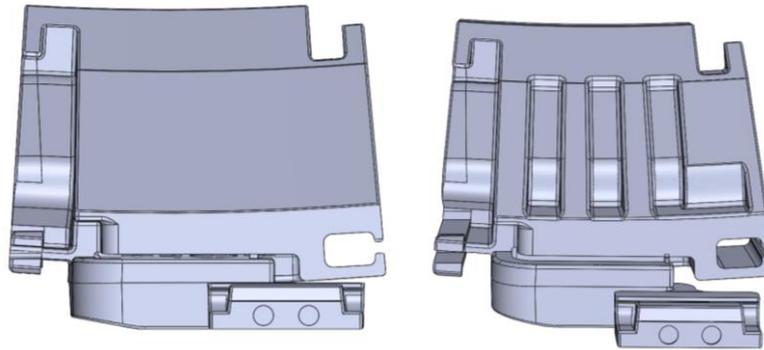


Figura 11. Evolução da geometria da peça, geometria inicial à esquerda e final à direita.

Apesar das modificações na geometria a dimensão nominal k1A e k1B de $22,75 \pm 0,2$ mm não foi alcançada. Devido ao empeno ainda registado a funcionalidade da peça continuava comprometida, desta forma foi necessário adaptar uma peça metálica onde a peça em estudo encaixa, esta alteração permitiu que as dimensões k1A e k1B que eram controladas por $22,75 \pm 0,2$ mm passassem a ser controladas por $22,45 \pm 0,2$ o que permitiu a aprovação da peça.

Apesar de todas as modificações realizadas o tempo de ciclo da produção é elevado, são necessários 60 segundos de arrefecimento de forma a que esta cumpra as dimensões. Na Tabela 1 estão representados os parâmetros finais para a injeção da peça.

Tabela 1. Ficha Técnica de Injeção da Peça em Estudo.

Plasmitec

FICHA TÉCNICA DE INJEÇÃO - FTI

PEÇA	Refª:	Designação: <u>Clip Seal</u>		
	Cliente:			
MÁQUINA	Nº: 1	Funcionamento:	Automático <input checked="" type="checkbox"/>	
			Semi - Automático <input type="checkbox"/>	
	Designação: <u>Krauss km 120</u>		Manual <input type="checkbox"/>	
MATÉRIA PRIMA	Refª: <u>3'08040</u>	Designação: <u>SCHULAFORM 9B Preto</u>		
	Peso peça (g):	Peso Moldação (g): <u>78.222</u>		
MOLDE	Nº:	Nº Cav.: 4		
	Acessórios:	Líquido refrigerador / Temp. Termoregulador (°C)		
		P. Móvel: <u>60°C</u>	P. Fixa: <u>60°C</u>	
		Gaveta:		
	Robot:	Sim <input type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>	

CONDIÇÕES DE PROCESSAMENTO

TEMPERATURAS (°C)

Cilindro	Valor	Tol.(+)/(-)	Molde	Valor	Tol. (+/-)	Molde	Valor	Tol. (+/-)
Bico	180	10	1	200	10			
1	180	10	2	200	10			
2	180	10						
3	175	10						
4	170	10						
5	165	10						
6								
7								
8								

OUTROS PARÂMETROS

	Unid.	Valor	Tol. +/-	Instruções de Trabalho
Curso de Dosagem	cm³/mm	61	5	
Comutação 1 -2 Pressão	cm³/mm	10	5	
Almofada	cm³/mm	5	5	
Curso contra pressão	cm³/mm	61	5	
Descompressão	cm³/mm	5	2	
Pressão de fecho	bar	1200	100	
Pressão de injeção	bar	1800	100	
Segunda pressão	bar	1200	100	
Contra pressão	bar	80	10	
Velocidade de injeção	mm/s	80	10	
Tempo de injeção (real)	s	2,22	1	
Tempo 2ª Pressão	s	8	1	
Tempo de arrefecimento	s	60	5	
Tempo ciclo (real)	s	79.50	5	

Afinado por: Marcelino Data: 06-03-17 Edição: 1 Aprovado por: Raquel

3.1.1 Análise do molde

Canal Frio

O molde é constituído por 4 cavidades cada uma com 3 elementos móveis, alimentadas por um bico quente central e canal frio.

Na análise realizada ao molde, presente na Figura 12, existiu especial incidência no arrefecimento e canais de alimentação, por estes assumirem maior relevância na ocorrência de empenos.

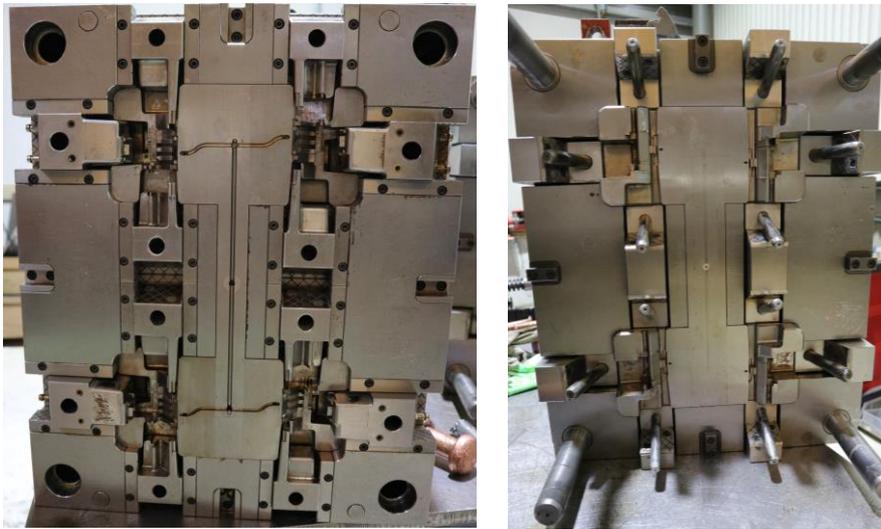


Figura 12. Foto do molde (parte móvel à esquerda, parte fixa à direita).

O canal frio do molde representado na Figura 13 tem um comprimento $\pm 185\text{mm}$, desde o bico quente até ao ataque, tendo em conta as dimensões da peça este canal é mais longo que o desejável, o comprimento elevado é originado pelo espaço ocupado pelas gavetas que moldam a peça, levando ao afastamento das cavidades.

O percurso realizado pelo fundido no canal frio tem impacto na orientação molecular e tensões adquiridas, o que contribui para a ocorrência de tensões na peça final, libertadas em parte durante o processo de arrefecimento.

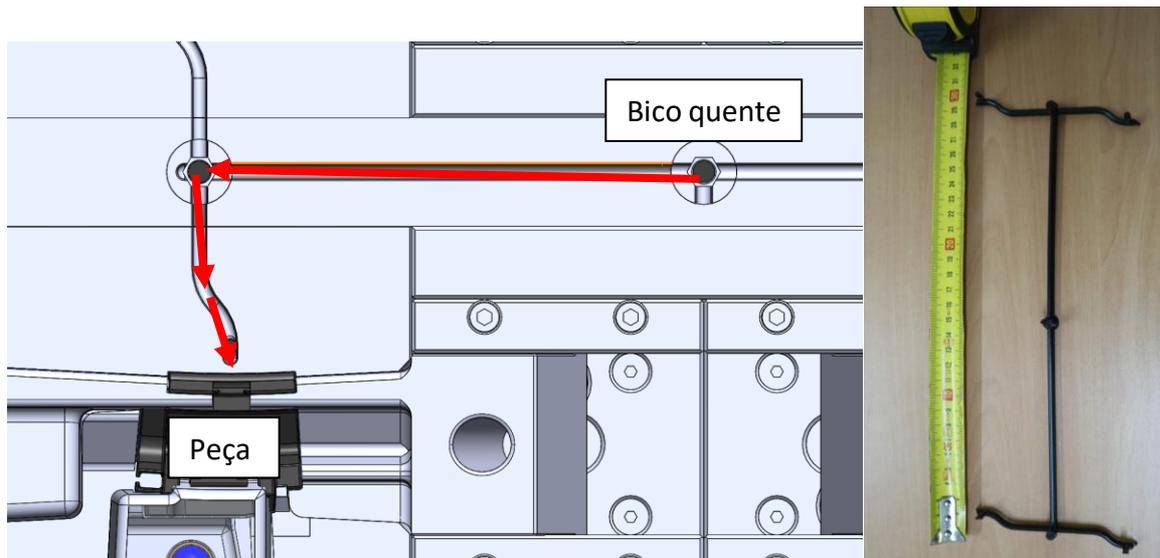


Figura 13. À esquerda representação do percurso realizado pelo fundido no canal frio para uma cavidade, à direita foto real do jito.

Uma forma de reduzir o caminho realizado pelo fundido é a adoção de um sistema de canal quente de dois bicos invés de 1, cada um alimenta duas cavidades dando origem a dois pequenos jitos. A implementação destes sistemas na fase inicial do projeto significa um investimento reduzido comparando com o investimento necessário para a modificação do molde já em produção. O sistema descrito em cima reduz significativamente o percurso realizado pelo fundido reduzindo desta forma tensões, esse sistema permite ainda reduzir os desperdícios de material.

A eliminação total do canal frio também é possível através da adoção de um bico quente por cada peça, contudo representa um investimento superior.

Arrefecimento da peça

A peça em estudo tem uma geometria complexa necessitando de 3 gavetas por cavidade na sua moldação, o que dificulta o seu arrefecimento. Na Figura 14 estão representados os canais de arrefecimento de uma cavidade, são 3 canais independentes com 8 mm de diâmetro, dois deles na parte móvel do molde e um na parte fixa, dois destes canais têm uma solução de arrefecimento em lâmina assinaladas a azul escuro na figura 14.

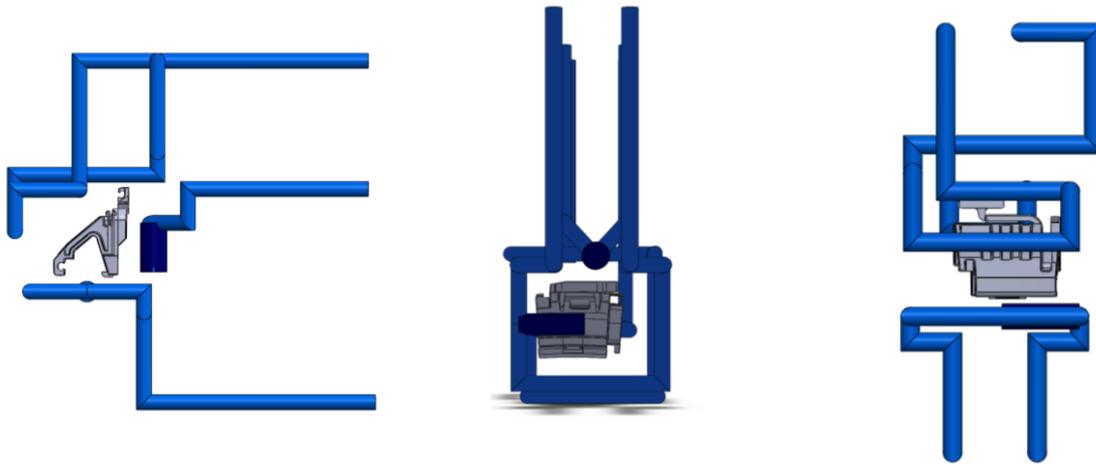


Figura 14. Representação dos Canais de arrefecimento de uma cavidade.

O sistema de arrefecimento do molde deve promover o intercâmbio térmico o mais uniforme possível, as assimetrias térmicas quando existentes podem provocar defeitos nomeadamente empenos.

A localização dos canais de arrefecimento do molde é limitada pelos postigos e movimentos necessários à moldação da peça, dificultam ou tornam inviável a maquinação de canais em certas zonas do molde. A parte interna da peça é uma dessas zonas, tem elevada carga térmica e é de difícil acesso para maquinação de canais, a solução encontrada para o arrefecimento nesta localização foi o arrefecimento em lâmina.

Na Figura 15 está representado o postigo moldante da parte fixa do molde, a existência de um pequeno postigo encaixado no postigo principal, assinalado a vermelho na figura, inviabiliza o arrefecimento uniforme a todo o comprimento da parte interna da peça, faz com que o arrefecimento em lâmina arrefeça apenas parte da peça, resulta numa assimetria de temperaturas durante o arrefecimento nesta localização o que pode contribuir para empenos.

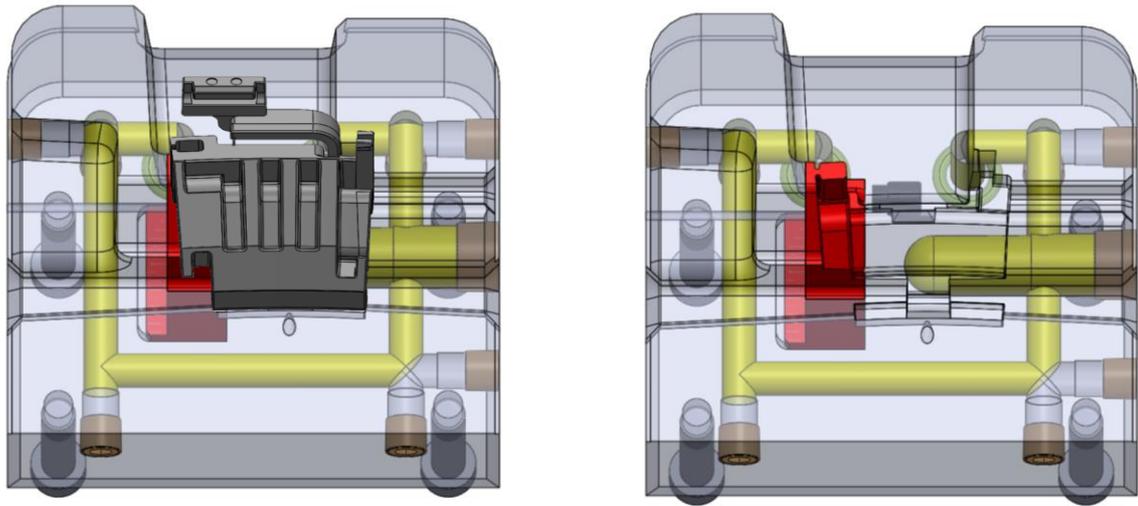


Figura 15. Representação do canal de arrefecimento no postigo da bucha.

À esquerda o postigo com a peça, à direita o mesmo postigo sem peça.

Em localizações de maior carga térmica ou de difícil acesso, como o interior da peça em estudo, pode ser considerado o uso de materiais com maior condutividade térmica, por exemplo o ampc, quando usados devidamente ajudam a diminuir a carga térmica nessas localizações. [17]

3.1.2 Primeiras Simulações CAE

Nos dias de hoje, existem programas de simulação que permitem reproduzir as variáveis do processo de injeção e obter resultados muito fiáveis, um dos resultados obtidos é a previsão do empeno nas peças.

Este tipo software além de prever possíveis problemas durante o desenvolvimento das peças, permite também determinar os parâmetros de injeção ideais para produção, desta forma podem ser reduzidos os ensaios para determinar os parâmetros de produção da peça, reduzindo custos e tempo de ocupação da máquina de injeção.

Na análise do molde verificou-se que o problema de tensões na peça é resultado do processo de injeção e da dificuldade no arrefecimento provocado pela geometria complexa da peça.

A solução pretendida para o problema desta peça passa por reduzir o empeno através das variáveis do processo de injeção sem intervir no molde e posteriormente reduzir o tempo de arrefecimento da peça.

Desta forma recorri ao *SOLIDWORKS® Plastics*, onde o 3D da peça foi submetido a simulações de enchimento, arrefecimento e compactação, com o objetivo de encontrar parâmetros que reduzam as tensões que estão na origem do empeno. A diminuição das tensões permite que a peça possa ser extraída do molde mais quente e conseqüentemente mais cedo reduzindo o tempo de ciclo. A variável a estudar nas simulações são as temperaturas do molde.

Estratégia usada

Inicialmente são modelados e importados para o *SOLIDWORKS® Plastics* o sistema de arrefecimento e peça, de seguida é atribuída uma malha de elementos finitos, para que esta se adeque à geometria foi utilizada uma malha híbrida.

A estratégia utilizada passou inicialmente por realizar uma simulação usando parâmetros iguais aos da produção da peça, os resultados obtidos nesta primeira simulação servem de base de comparação para as simulações seguintes.

De seguida são realizadas simulações com a alteração de temperaturas de molde, os resultados do empeno obtidos nestas simulações são analisados com o intuito de compreender o seu comportamento.

Por fim, após análise dos resultados anteriores são realizadas simulações com os parâmetros que parecem mais adequados para produção da peça.

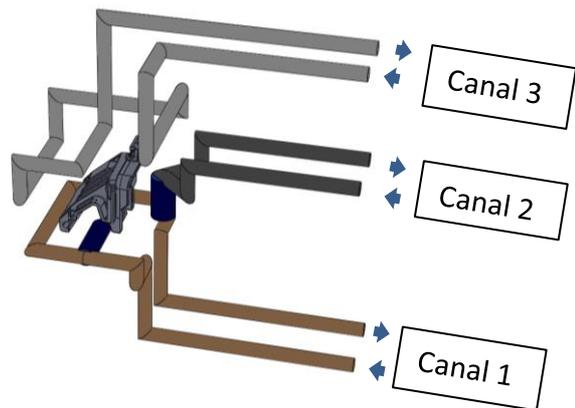
Algumas variáveis do processo não se alteram entre simulações, estas vão se manter iguais aos parâmetros de produção e estão representadas na Tabela 2. As variáveis que sofrem alterações entre simulações estão representadas na Tabela 3.

Tabela 2. Variáveis do processo de injeção que não se alteram entre simulações.

	Unidade	Valor
Temperatura de plasticização	°C	180
Pressão de fecho	bar	1200
Pressão de injeção	bar	1800
Contra pressão	bar	80
Velocidade de injeção	mm/s	80
Tempo de 2ª pressão	s	8

Tabela 3. Variáveis do processo de injeção estudadas nas simulações

	Unidade
Temperatura do canal 1	°C
Temperatura do canal 2	°C
Temperatura do canal 3	°C



Simulações Realizadas

No final de cada simulação o software apresenta o empeno máximo em relação à origem para cada eixo cartesiano, apresenta também uma imagem que atribui cores em função do empeno a cada localização da peça.

No caso em estudo interessa estudar a deformação no eixo dos Y, uma vez que é neste que se regista o empeno, para efeitos de comparação entre simulações optou-se por analisar a deformação máxima ocorrida em relação à origem, que é o centro da peça, a deformação máxima é o somatório da deformação de +Y e de -Y.

- **Simulação 1** Base de comparação- Segundo os parâmetros da produção.

Foi realizado o levantamento dos parâmetros de produção da peça, estes estão representados na Tabela 4. Estes parâmetros foram reproduzidos na primeira simulação, os resultados obtidos serviram como comparação para as simulações seguintes.

Tabela 4. Condições usadas na produção da peça.

	Unidade	Valor
Plasticização	°C	180
Pressão de fecho	bar	1200
Pressão de injeção	bar	1800
Contra pressão	bar	80
Tempo 2ª pressão	s	8
Velocidade de injeção	mm/s	80
Temperatura do canal 1	°C	60
Temperatura do canal 2	°C	60
Temperatura do canal 3	°C	60

Resultado da simulação 1:

O empeno obtido na simulação 1 foi 0.606mm que está representado na Figura 16, este valor é tido como referência na análise dos resultados das simulações seguintes.

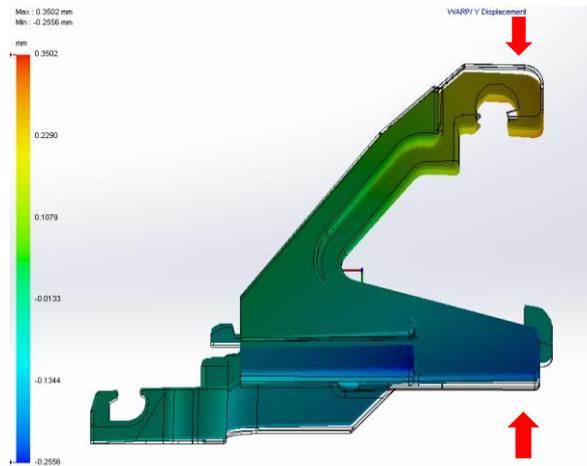


Figura 16. Resultado do empeno da simulação 1

- **Simulação 2-** Aumento da temperatura do molde.

A ficha técnica do material SCHULAFORM[®] 9B presente no Anexo 1, aconselha uma temperatura de molde entre 60°C e 120°C. Atualmente a peça é produzida com o molde a 60°C que é o limite mínimo.

À medida que o fundido passa pelo canal frio, que está à temperatura do molde, a temperatura diminui e a viscosidade aumenta o que dificulta o escoamento. Deste modo se a temperatura do molde aumentar facilitamos o escoamento existindo a redução da tensão necessária para que o fundido se desloque, conseqüentemente o fundido chega à cavidade com menores tensões. Assim optei por realizar uma simulação com as temperaturas nos canais 1,2 e 3 a 90°C.

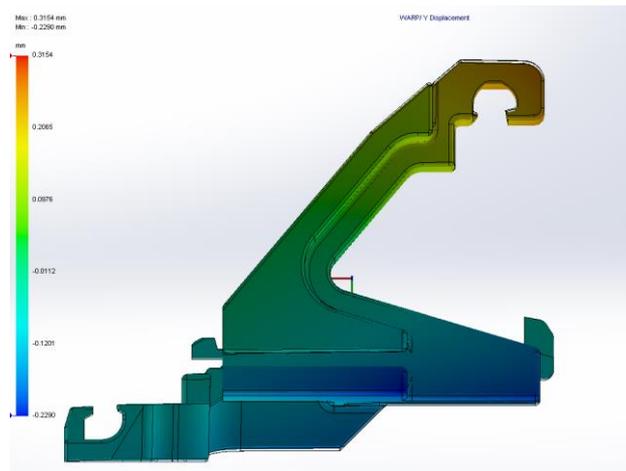


Figura 17. Resultado do empeno da simulação 2

Resultados da simulação 2:

A deformação total obtida na simulação 2 representada na Figura 17 foi 0.544mm que é inferior à verificada na simulação 1. Desta forma pode-se concluir que o aumento da temperatura do molde contribuiu para a redução do empeno. De certa forma podemos pensar que quanto menor for a temperatura do molde mais rápido a peça arrefece e mais cedo se pode extrair a peça, contudo neste caso em específico em que o canal frio é bastante longo uma temperatura de molde superior reduz as tensões a que o fundido está sujeito durante o trajeto até à cavidade, a menor viscosidade do fundido consequência do aumento da temperatura facilita o seu deslocamento, desta forma apesar da peça ser extraída mais quente tem menor tensões para relaxar podendo ser extraída mais cedo.

- **Simulação 3** – Deslocamento do núcleo fundido

Na fase de arrefecimento da peça, inicialmente é formada uma casca de material solidificado a toda a sua volta, no interior permanece um núcleo de material fundido, representado a vermelho na Figura 18, a dificuldade em arrefecer o núcleo é consequência da má condutividade térmica dos polímeros, esta dificuldade tem tendência a agravar em peças de maior espessura e com geometrias que formam cantos. A boca da peça em estudo tem elevada carga térmica, podendo ser considerado um canto da peça, inversamente as costas da peça têm maior facilidade em arrefecer, dando origem a uma casca de maior espessura, provocando o deslocamento do núcleo fundido para junto da boca, na Figura 18 está esquematizado este deslocamento do núcleo fundido. [11]

O arrefecimento assimétrico, mais rápido nas costas da peça do que no interior da boca, aumenta a contração diferencial, o interior da peça tem mais tempo para contrair o que resulta no fecho da peça representado pelas mãos na Figura 18.

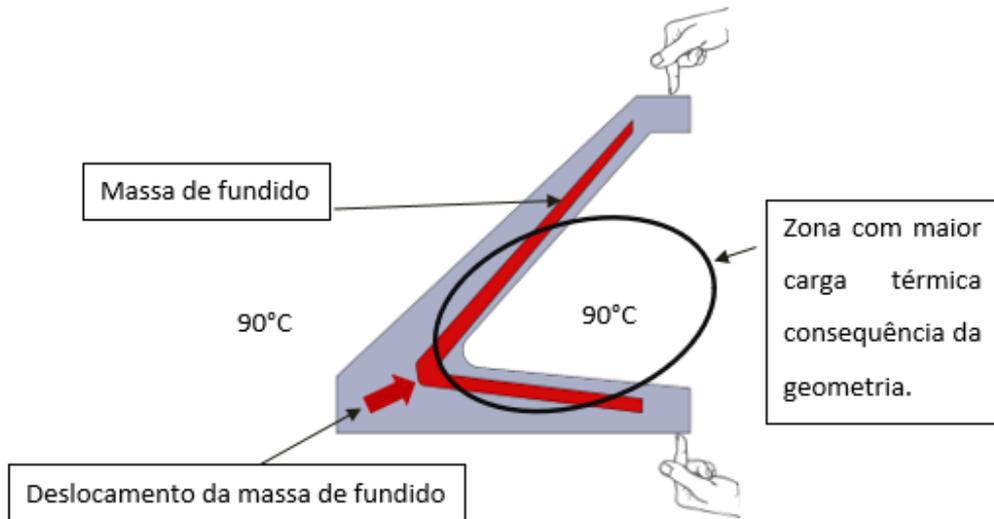


Figura 18. Localização do núcleo fundido.

A simulação 3 pretende através de diferenças na temperatura diminuir a carga térmica no interior da boca e assim reverter o deslocamento do núcleo fundido, para isso utilizou-se 25°C no canal 1, que arrefece a boca da peça, e 90°C nos canais 2 e 3. Na Figura 19 está representado o que se pretende obter com diminuição da carga térmica.

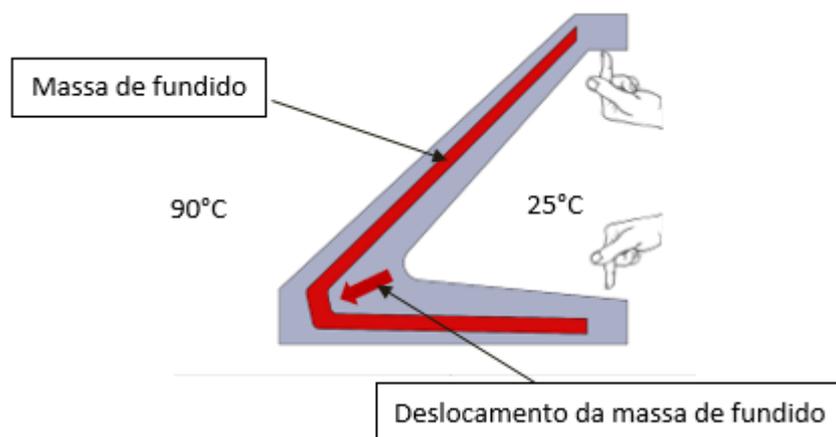


Figura 19. Relocalização do núcleo fundido através da diminuição da carga térmica no interior da peça.

Resultados da simulação 3:

A deformação total obtida na simulação 3 representada na Figura 20 foi 0.431mm, comparado com a deformação da simulação 1 existe uma redução significativa. A temperatura inferior no interior da peça reduz a carga térmica, durante o arrefecimento é formada uma casca interior de maior espessura reduzindo o seu empeno e fecho, por outro lado as costas mais quentes tem liberdade para relaxar tensões, mas que não afeta a dimensão.

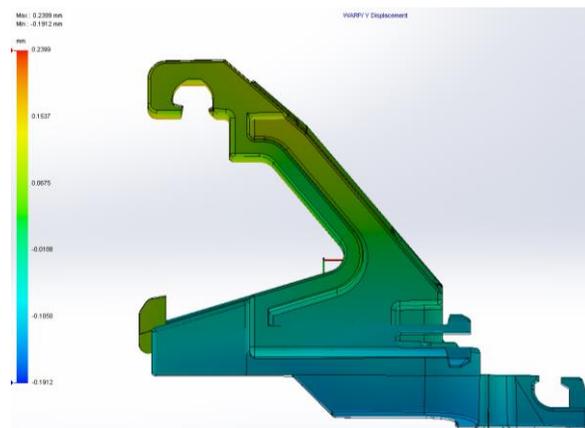


Figura 20. Resultado do empeno da simulação 3

- **Simulação 4** – Agravamento do deslocamento do núcleo fundido

A simulação 4 inverte as temperaturas da simulação 3, o canal 1 passou de 25°C para 90°C e o canal 2 e 3 passou de 90°C para 25°C.

Na simulação 3 o empeno diminuiu significativamente, na simulação 4 é esperado que a carga térmica na boca da peça aumente significativamente consequentemente a massa de fundido desloca-se para junto da boca o que origina um empeno superior.

Resultados da simulação 4:

A deformação total obtida na simulação 4, representada na Figura 21 foi 0.764 mm, mostra um aumento significativamente em relação à simulação 3.

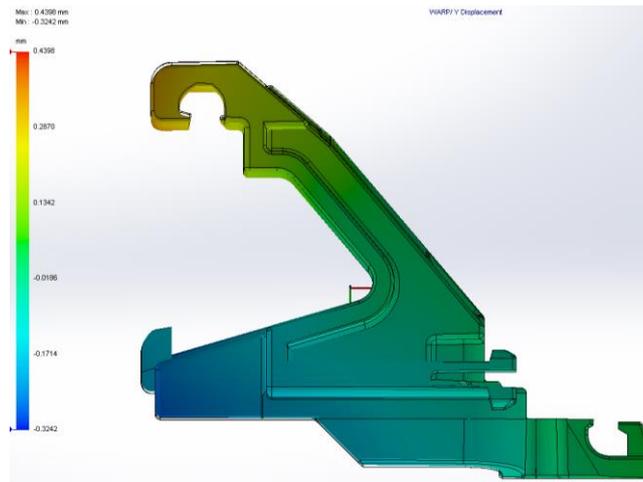


Figura 21. Resultado do empeno da simulação 4

- **Simulação 5** – Parâmetros para produção

As simulações anteriores pretendiam estudar de que forma as temperaturas usadas no molde influenciam o empeno da peça. Demonstrou-se que temperaturas de molde mais elevadas reduzem o empeno, também se verificou que o uso de temperaturas inferiores no canal 1 e superiores no canal 2 e 3 reduzem o empeno.

Com base nos resultados das simulações anteriores e com o intuito de encontrar temperaturas que possam ser usadas em produção fez-se uma simulação com o canal 1 a 50°C e o canal 2 e 3 a 110°C.

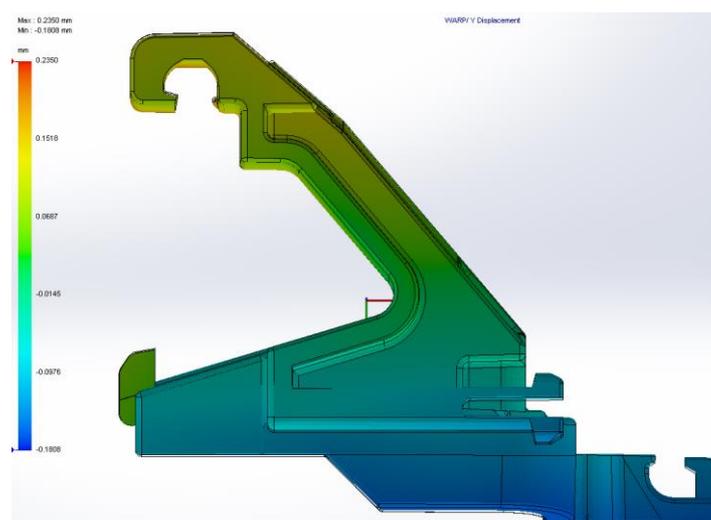


Figura 22. Resultado do empeno da simulação 5

Resultados da simulação 5:

A deformação total obtida na simulação 5 representada na Figura 22 foi 0.416mm, a menor registada no conjunto das simulações. A temperatura superior da parte móvel do molde onde está maioritariamente maquinado o canal frio do molde promove o deslocamento do fundido, juntamente com a diminuição da carga térmica no interior da boca da peça permitiu os bons resultados verificados.

3.1.3 Primeiros Ensaios

Após analisar e recolher informação nas simulações do capítulo anterior, são agora realizados os primeiros ensaios que tentam reproduzir os mesmos parâmetros das simulações. Estes têm o intuito de compreender o comportamento do empeno em função das temperaturas do molde e no final diminuir o tempo de arrefecimento da peça. Por fim é possível comparar os resultados dos ensaios com os das simulações e perceber a sua viabilidade. Nestes ensaios são ainda testadas velocidades de injeção.

Os equipamentos usados nos ensaios são os mesmos que em produção, a máquina de injeção usada é uma Wittmann Battenfeld 110, no sistema de controlo da temperatura foram usados dois termorreguladores Wittmann TEMPRO BASIC C140.

Uma vez que os ensaios foram realizados em ambiente industrial foi necessário evitar o menor transtorno para a empresa, a ocupação de uma máquina exige a presença de técnicos especializados e acarreta custos elevados, por esta razão tentou-se reproduzir apenas algumas simulações que pareciam ter maior relevância para o trabalho.

Planeamento dos ensaios

Planeou-se realizar os ensaios no final da produção da peça em estudo, desta forma poupou-se tempo na montagem e estabilização do molde uma vez que este já se encontra em máquina e na temperatura de 60°C, que é a usada na produção da peça.

Os ensaios são todos realizados no mesmo dia, entre eles é necessário estabilizar o molde com os parâmetros pretendidos e detetar defeitos provocados pela mudança de parâmetros. São retiradas 3 moldações por ensaio para efeitos de medição, devido à elevada contração e pós contração característica do POM as medições das amostras realizam-se 48h após a sua

produção. As dimensões controladas nas medições estão representadas na Figura 23 nomeadamente K1B, K1A, K2B e K2A, que são as que registam problemas devido ao empeno.

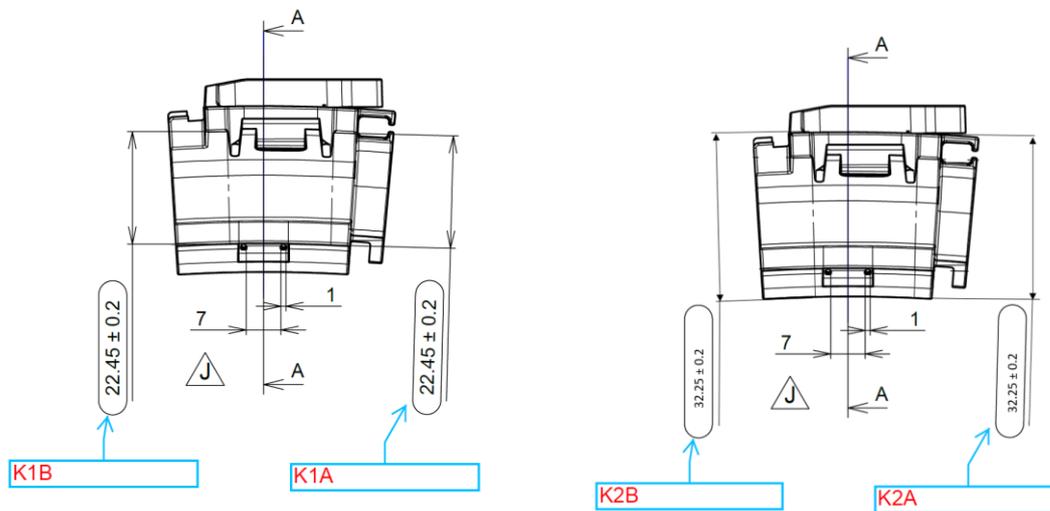


Figura 23. Dimensões controladas nas amostras dos ensaios

No anexo II estão registados os resultados das medições das amostras retiradas em cada ensaio. No presente capítulo é apresentado apenas o resultado de uma moldação.

- **Ensaio 1, 2 e 3 -Variação da temperatura do molde**

No ensaio 1, 2 e 3 foi realizada a variação da temperatura do molde.

Os resultados das medições das amostras estão compilados na tabela 5, a dimensão nominal da peça é 22,45 mm com uma tolerância de $\pm 0,20$ mm, os resultados apresentados correspondem à média de 3 medições de cada amostra.

Ensaio 1

No ensaio 1 são usadas as temperaturas do molde da simulação 3 do capítulo 3.1.2, o termorregulador que controla a parte fixa nomeadamente o canal 1 foi programado a 25 °C, o termorregulador que controla a parte móvel do molde nomeadamente o canal 2 e 3 foi programado a 90°C.

Na estabilização do molde não foi possível atingir a temperatura de 25°C, optou-se por realizar o ensaio a 30°C, pensa-se que a dificuldade em baixar a temperatura resulta da estabilização

do molde ter sido realizada com ele fechado, sendo que a parte móvel do molde juntamente com o bico quente estavam constantemente a fornecer calor à parte fixa.

Neste ensaio, tal como aconteceu na simulação 3 pretendeu-se mostrar que é possível através de temperaturas reduzir a carga térmica na boca da peça e deslocar a massa de fundido para as costas da peça reduzindo o empeno, como esquematizado na Figura 19.

Resultados do Ensaio 1:

As medições às amostras registadas na tabela 5 mostram que o empeno que até agora resultava no fecho da boca da peça originando medições abaixo dos 22,45mm, inverteu de sentido provocando agora a abertura da boca, estes resultados comprovam que parte do empeno ocorre devido à falta de equilíbrio térmico entre a parte interna da peça e a parte externa. Os bons resultados deste ensaio ocorreram devido à diminuição da carga térmica na boca da peça, juntamente com o aumento da fluidez do material que ocorre resultado do aumento da temperatura da parte móvel do molde, que é onde está maquinado o canal frio, permitindo a redução das tensões a que o fundido está sujeito durante percurso.

A subida da temperatura na parte móvel do molde de 60°C para 90 °C, onde está maioritariamente maquinado o canal frio do molde, influenciou a fluidez do fundido fazendo com que este chegue mais quente à cavidade e conseqüentemente mais fluido o que provocou o aparecimento da rebarba em zonas com fraco ajuste, na Figura 24 são visíveis as rebarbas.

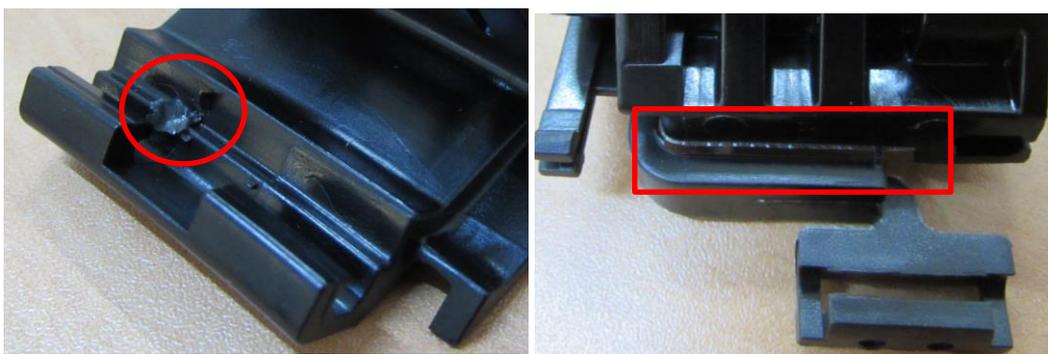


Figura 24. Defeito de rebarba provocado pelo aumento da temperatura do molde.

Após o ensaio verificou-se que a origem da rebarba está no mau ajuste de uma gaveta do molde em conjunto com a maior fluidez do material.

Os resultados das medições realizadas às amostras deste ensaio estão registados na tabela 5 e no anexo II, mostram que ao contrário da simulação 3 onde o empeno é reduzido, mas não é eliminado, na prática no ensaio este foi totalmente eliminado obtendo-se dimensões superiores a 22,45mm, que é a dimensão nominal.

Ensaio 2

O ensaio 2 usou parâmetros iguais aos da simulação 4 do capítulo 3.1.2, assim como na simulação aumentou-se a carga térmica na boca da peça, para isso o termorregulador que controla a parte fixa do molde nomeadamente o canal 1 foi programado a 90 °C, o termorregulador que controla a parte móvel do molde nomeadamente o canal 2 e 3 foi programado a 30°C.

Resultados do Ensaio 2:

Neste ensaio devido ao aumento significativo da carga térmica no interior da boca da peça era esperado o aumento do empeno, ou seja, dimensões inferiores a 22,45mm, o resultado das medições das amostras na tabela 5 e no Anexo II mostram isso mesmo, um aumento exponencial do empeno.

Ensaio 3

Neste ensaio usou-se os parâmetros da simulação 5 do capítulo 3.1.2, o termorregulador que controla a parte fixa do molde (canal 1) foi programado a 50 °C, o termorregulador que controla a parte móvel do molde (canais 2 e 3) foi programado a 110°C.

Resultados do Ensaio 3:

Neste ensaio assim como no ensaio 1 diminuiu-se a carga térmica no interior da peça usando temperaturas inferiores nesta localização, a diferença de temperaturas neste ensaio entre a parte móvel do molde e a fixa é de 60°C.

As simulações do capítulo 3.1.2 mostram que quanto maior a diferença de temperaturas entre o interior e o exterior da boca da peça, menor é o empeno, contudo as medições às amostras deste ensaio na tabela 5 e no Anexo II não o confirmaram.

As temperaturas inferiores no canal 1 tem melhores resultados do que gradientes térmicos elevados que é o caso neste ensaio. Nas simulações realizadas no capítulo 3.1.2 os resultados mostram o contrário, maiores gradientes térmicos revelam maior diminuição no empeno.

Tabela 5. Resultado das medições das amostras do ensaio 1, 2 e 3.

				Média de 3 medições em mm		
			Dimensão nominal em mm	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3
Cavidade 1	Moldação 1	K1A	22,45	22,840	22,093	22,707
		K1B	22,45	22,980	22,210	22,740
Cavidade 2	Moldação 1	K1A	22,45	22,797	22,090	22,683
		K1B	22,45	22,877	22,170	22,763
Cavidade 3	Moldação 1	K1A	22,45	22,780	22,013	22,700
		K1B	22,45	22,967	22,077	22,890
Cavidade 4	Moldação 1	K1A	22,45	22,710	22,003	22,560
		K1B	22,45	22,883	22,197	22,763

Os resultados do ensaio 1, 2 e 3 mostram que é possível variar as dimensões K1A e K1B através de gradientes térmicos entre a boca da peça e as suas costas. O deslocamento do núcleo fundido que ocorre nestas variações provoca alterações significativas nas dimensões, sendo superiores às previstas pelas simulações.

- **Ensaio 4 – Variação da velocidade de injeção**

Neste ensaio pretendeu-se estudar a influência da velocidade de injeção no empeno da peça, para isso usou-se parâmetros iguais aos do ensaio 1, com exceção da velocidade de injeção. Velocidades inferiores reduzem a tensão necessária para o fluido se deslocar, diminuindo a tensão de corte no bico da injetora, canal frio do molde e no ataque. A velocidade usada em produção é 80 mm/s, neste ensaio foram testadas velocidades gradualmente inferiores a esta,

contudo após baixar para 70 mm/s apareceram marcas de fluxo na peça, na Figura 25 estão representadas duas peças uma com 80 mm/s à esquerda e uma com 70 mm/s à direita.

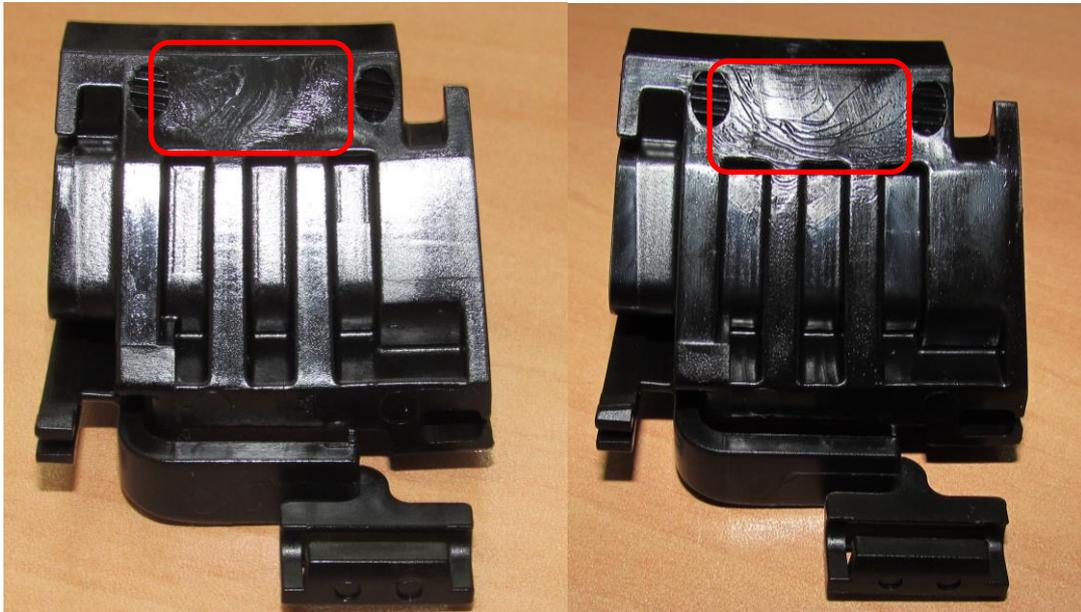


Figura 25. Amostra com velocidade de injeção de 80mm/s à esquerda e 70mm/s à direita.

As marcas de fluxo registadas nas velocidades mais baixas ocorrem porque o fundido arrefece antes da correta compactação da peça, fazendo-se notar as marcas, visíveis nos balões a vermelho na Figura 25, mais acentuadas na peça à direita que tem a menor velocidade de injeção. A comercialização da peça com estes defeitos não é possível, contudo para efeitos de estudo prosseguiu-se o ensaio.

Nas peças de produção, à esquerda na Figura 25, existem já ligeiras marcas de fluxo, ou seja, a velocidade está já no seu limite mínimo, a redução a baixo dos 80mm/s aumenta significativamente as marcas.

Resultados do Ensaio 4:

Devido aos defeitos verificados nas amostras, a velocidade não pode ser usada para reduzir o empeno, contudo para efeitos de estudo as amostras foram medidas, os resultados das medições das amostras com velocidade de 70mm/s e 80mm/s estão registadas tabela 6, os resultados apresentados correspondem à média de 3 medições por amostra, sendo a dimensão nominal 22,45 mm.

Tabela 6. Resultado das medições das amostras do ensaio 2.

		Unidade	Média de 3 medições		Diferença
			Velocidades		
			70mm/s	80mm/s	
Cavidade e 1	K1A	mm	22,870	22,940	+0,07
	K1B	mm	22,950	23,000	+0,05
Cavidade 2	K1A	mm	22,830	22,850	+0,02
	K1B	mm	22,910	22,860	-0,05
Cavidade 3	K1A	mm	22,840	22,810	-0,03
	K1B	mm	23,000	23,020	+0,02
Cavidade 4	K1A	mm	22,740	22,720	-0,02
	K1B	mm	22,930	22,840	-0,09

De forma a poder comparar os resultados das medições foi calculada a diferença entre as dimensões a 70mm/s e a 80mm/s, sendo a diferença apresentada na coluna mais à direita da tabela 6, os resultados não passaram da casa das centésimas, podendo-se concluir que a diminuição da velocidade de injeção não interferiu no empeno.

- **Ensaio 5 - Diminuição do tempo de arrefecimento da peça**

Os ensaios anteriores tiveram o intuito de compreender o comportamento do empeno consoante a variação dos parâmetros de processamento, o tempo de arrefecimento usado foi sempre 60s, que é o tempo usado em produção, no ensaio 5 pretendeu-se estudar a redução do tempo de arrefecimento da peça.

Analisados os resultados dos ensaios anteriores determinou-se as temperaturas a usar neste que são canal 1 a 50°C e o canal 2 e 3 a 90°C, desta forma reduz-se a carga térmica no interior da peça e aumenta-se a fluidez do POM. Como se pretendia estudar a redução do tempo de

arrefecimento retirou-se amostras com a redução gradual do tempo de arrefecimento, variando-se 5s entre elas.

Resultados do Ensaio 5:

Na Tabela 7 e no Anexo II estão registados os resultados das medições das amostras, para os diferentes tempos de arrefecimento. A disposição das cavidades na Tabela 7 corresponde à sua disposição no molde. Após analisar as medições verificou-se que quanto menor o tempo de arrefecimento menor é a dimensão K1A e K1B, provocando o fecho da boca da peça, as amostras com 30s de arrefecimento, que é metade do tempo usado na produção da peça, estão dentro da tolerância com exceção da cavidade 3, que mostra um comportamento distinto das restantes.

Se considerarmos as amostras com 30 s e 35 s de arrefecimento, onde existe uma diminuição substancial no tempo de arrefecimento, verifica-se assimetrias entre os K1's das cavidades, tanto obtemos o K1A perto da tolerância mínima como obtemos o K1B fora da tolerância máxima, o que para efeitos de produção é inviável. O comportamento distinto notado na cavidade 3 e 4 pode estar relacionada com o circuito de arrefecimento, reparou-se que o circuito de arrefecimento inicia na cavidade 3 e regressa ao termorregulador na cavidade 4 que são as cavidades que mostram resultados mais irregulares.

O valor registado para cada dimensão corresponde à média de 3 medições realizadas a essa amostra, a nominal da dimensão K1A e K1B é 22,45mm com uma tolerância de 0,20mm, à frente de cada medição é assinalado como estando OK, em caso da medição estar dentro da tolerância, ou NOK caso contrário.

Tabela 7. Resultados da medição das amostras do ensaio 5, com redução gradual do tempo de arrefecimento.

	Tempo de arrefecimento		Resultado	OK / NOK		Tempo de arrefecimento		Resultado	OK / NOK		
Cavidade 3	55 s	K1A	22,700	NOK	Cavidade 1	55 s	K1A	22,720	NOK		
		K1B	22,883	NOK			K1B	22,783	NOK		
	50 s	K1A	22,727	NOK		50 s	K1A	22,590	OK		
		K1B	22,823	NOK			K1B	22,730	NOK		
	45 s	K1A	22,703	NOK		45 s	K1A	22,617	OK		
		K1B	22,817	NOK			K1B	22,780	NOK		
	40 s	K1A	22,480	OK		40 s	K1A	22,440	OK		
		K1B	22,687	NOK			K1B	22,510	OK		
	35 s	K1A	22,517	OK		35 s	K1A	22,553	OK		
		K1B	22,717	NOK			K1B	22,650	OK		
	30 s	K1A	22,483	OK		30 s	K1A	22,503	OK		
		K1B	22,733	NOK			K1B	22,583	OK		
	Cavidade 2	55 s	K1A	22,617		NOK	Cavidade 4	55 s	K1A	22,610	OK
			K1B	22,733		NOK			K1B	22,750	NOK
50 s		K1A	22,713	NOK	50 s	K1A		22,583	OK		
		K1B	22,750	NOK		K1B		22,700	NOK		
45 s		K1A	22,573	OK	45 s	K1A		22,520	OK		
		K1B	22,690	NOK		K1B		22,683	NOK		
40 s		K1A	22,377	OK	40 s	K1A		22,340	OK		
		K1B	22,520	OK		K1B		22,490	OK		
35 s		K1A	22,427	OK	35 s	K1A		22,423	OK		
		K1B	22,623	OK		K1B		22,613	OK		
30 s		K1A	22,460	OK	30 s	K1A		22,280	OK		
		K1B	22,646	OK		K1B		22,550	OK		

Conclusões dos ensaios

Após realizar as medições das amostras dos ensaios percebeu-se que os resultados obtidos vão de encontro às simulações, com duas exceções:

- Nenhuma das simulações mostra dimensões K1 superior à nominal, contudo nos ensaios obteve-se resultados em que o k1 é superior, ou seja, é invertido o sentido do empeno.
- Os melhores resultados na redução do empeno das simulações foram obtidos na simulação 5, em que existe uma diferença térmica entre as partes do molde de 60 °C, contudo nos ensaios obteve-se melhores resultados com o uso dos parâmetros da simulação 3, em que existe uma diferença térmica entre partes do molde de 60°C, mas com temperaturas de molde inferiores.

3.1.4 Segundas simulações CAE e ensaios

O ensaio 5 do capítulo anterior tinha como objetivo determinar os parâmetros para a produção da peça com redução no tempo de arrefecimento, mas não foi alcançado por essa razão existe a necessidade de realizar uma segunda bateria de simulações e ensaios para estabelecer novos parâmetros que satisfaçam esse objetivo.

Planeamento

A realização dos primeiros ensaios permitiu compreender melhor o comportamento da peça às variações das temperaturas de molde e velocidades de injeção, as várias alterações nos parâmetros mostraram limitações do molde que condicionaram em parte os ensaios.

No ensaio 5 em que se reduz o tempo de arrefecimento da peça obtiveram-se amostras boas com a exceção da cavidade 3, esta fica fora da tolerância na dimensão K1B, notou-se ainda um desfasamento entre o K1A e K1B que se pretende reduzir de forma a ter mais garantias para produção em série.

Nesta segunda fase de simulações e ensaios pretende-se ser mais conservador, criar uma diferença térmica menor entre a parte fixa e a móvel do molde e com isto obter resultados mais estáveis, foram ainda usadas temperaturas de molde mais elevadas de forma a respeitar o aconselhado pelo fabricante da matéria prima. Devido as debilidades apresentadas pelo

molde, durante os ensaios anteriores, nomeadamente o aparecimento de rebarba em algumas amostras, a temperatura máxima usada será 90°C.

Simulações:

A estratégia utilizada nestas simulações tem como base os resultados dos primeiros ensaios do capítulo 3.1.3, o objetivo destas simulações é obter dados que permitam reduzir 20 segundos ao arrefecimento da peça, evitar o uso de uma diferença térmica entre a parte fixa e móvel do molde demasiado elevada e assim obter resultados mais estáveis e mais próximos da nominal da peça.

Como temperatura máxima do molde estamos condicionados pelo seu mau ajuste e por isso ficou definido 90 °C.

Nestas simulações também se pretende estudar a reação do software à variação do tempo de arrefecimento, pois constatou-se no ensaio 5 que o empeno da peça é muito sensível à variação no tempo de arrefecimento. Nestas simulações são variadas as temperaturas de molde e tempo de arrefecimento.

Resultados das simulações

Na Tabela 8 estão representados os diferentes parâmetros usados nas simulações e os resultados do empeno obtido no eixo dos Y.

As simulações 6, 7 e 8 permitem estudar o comportamento do programa à variação do tempo de arrefecimento, comparando os resultados destas 3 simulações verificou-se uma variação no empeno máximo entre elas de 0,004 mm, ou seja, desprezável, concluiu por isso que o programa não tem fiabilidade no cálculo do empeno em função do tempo de arrefecimento da peça , posto isto nas restantes simulações não é feita a variação no tempo de arrefecimento, assim as restantes simulações são realizadas com 40s de arrefecimento.

As restantes simulações pretenderam compreender se é mais eficaz baixar a temperatura do canal 1 ou subir a temperatura do canal 2 e 3 do molde. Na simulação 10 aumentou-se a temperatura do canal 1, 10 °C em relação à simulação 9, provocando um agravamento do empeno de 0.015 mm, já na simulação 10 em relação à simulação 11 aumentou-se a temperatura do canal 2 e 3 em 10 °C existindo um agravamento no empeno de 0.014 mm.

As variações registadas no empeno foram praticamente insignificantes, não se revelando úteis para determinar as melhores temperaturas para os próximos ensaios do molde.

Determinou-se que as temperaturas a testar nos próximos ensaios são as da simulação 7, 9 e 10.

Tabela 8. Resultado da segunda bateria de simulações.

Resultados das simulações <i>SOLIDWORKS</i>® <i>Plastics</i>							
	Empeno- - Y	Empeno +Y	Soma	Canal 1	Canal 2	Canal 3	Tempo de arrefecimento
Simulação 6	-0.2057	0.2721	0.478	50 °C	90 °C	90 °C	30s
Simulação 7	-0.2058	0.2709	0.477	50 °C	90 °C	90 °C	40s
Simulação 8	-0,2058	0,2686	0.474	50 °C	90 °C	90 °C	60s
Simulação 9	-0.2182	0.2883	0.507	50 °C	80 °C	80 °C	40s
Simulação 10	-0.2238	0.2991	0.522	60 °C	80 °C	80 °C	40s
Simulação 11	-0.2305	0.3057	0.536	60 °C	70 °C	70 °C	40s

Segundos ensaios:

Os segundos ensaios pretenderam determinar parâmetros que permitam injetar peças boas com menor tempo de arrefecimento. Antes da realização dos mesmos foi necessário resolver os problemas do molde verificados nos primeiros ensaios, entre eles rebarba e assimetrias dimensionais entre cavidades.

Rebarba:

Após analisar as amostras do primeiro ensaio verificou-se que a rebarba surge na linha de junta de uma maxila, pode-se concluir que a rebarba ocorreu devido ao mau ajuste da mesma. Para resolver este problema foi necessário aumentar a carga na maxila, para isso mediu-se a rebarba e optou-se por adicionar uma lamina de 0,08 mm entre o bloco de encosto e a chapa de deslize, na Figura 16 está representado à esquerda o local onde se colocou a lamina e à direita a maxila.

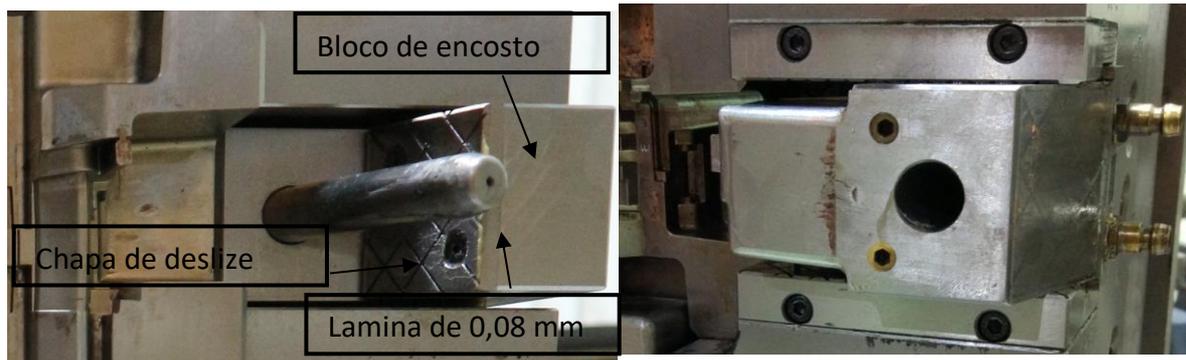


Figura 26. Aumento da carga numa maxila do molde.

Assimetrias entre as medições das amostras:

As assimetrias entre as medições das dimensões K1A e a K1B nas amostras do ensaio 5, foram provocadas pelo mergulhador do canal 1 assinalado na Figura 15 não estar localizado a todo o comprimento da peça, o mergulhador é interrompido antes de passar na zona de medição do K1A devido ao posição assinalado na Figura 15.

Contudo as assimetrias ocorreram principalmente em 2 cavidades do molde, por esta razão pensa-se que o problema relatado acontece devido a falta de estabilidade térmica. A razão pela qual se pensa ser um problema de instabilidade térmica reside no facto das peças de produção série não apresentarem assimetrias relevantes entre as dimensões K1A e K1B em nenhuma cavidade.

Foi possível averiguar que na construção do molde foram inicialmente feitas as cavidades 1 e 2 e só posteriormente, após aprovação da peça, foram feitas as restantes cavidades, nomeadamente a 3 e 4 que são as que registam problemas. Este processo pode ter originado diferenças entre as primeiras cavidades e as segundas, por esta razão optou-se por realizar uma comparação entre as dimensões dos aços das cavidades, na qual não se detetou qualquer diferença.

Suspeita-se que o problema nas dimensões K1 das últimas cavidades esteja na falta de rigor da maquinação dos canais de arrefecimento, o que pode provocar diferenças térmicas que se manifestam mais facilmente com as temperaturas usadas nos ensaios.

Na tentativa de contrariar este fenómeno e promover a estabilização do molde optou-se por analisar as águas e realizar uma montagem mais equilibrada na ligação das mangueiras. Na Figura 27 está representado o circuito das águas usado nos primeiros ensaios, à esquerda a parte fixa do molde e à direita a parte móvel do molde. A água dos termorreguladores na

parte fixa e na parte móvel do molde inicia o circuito na cavidade 3 passa de seguida pela 1, 4 e 2 e regressa ao termostato, ou seja, um circuito em série que passa primeiro na parte superior do molde, nomeadamente cavidade 3 e 1 e de seguida na parte inferior do molde cavidade 4 e 2.

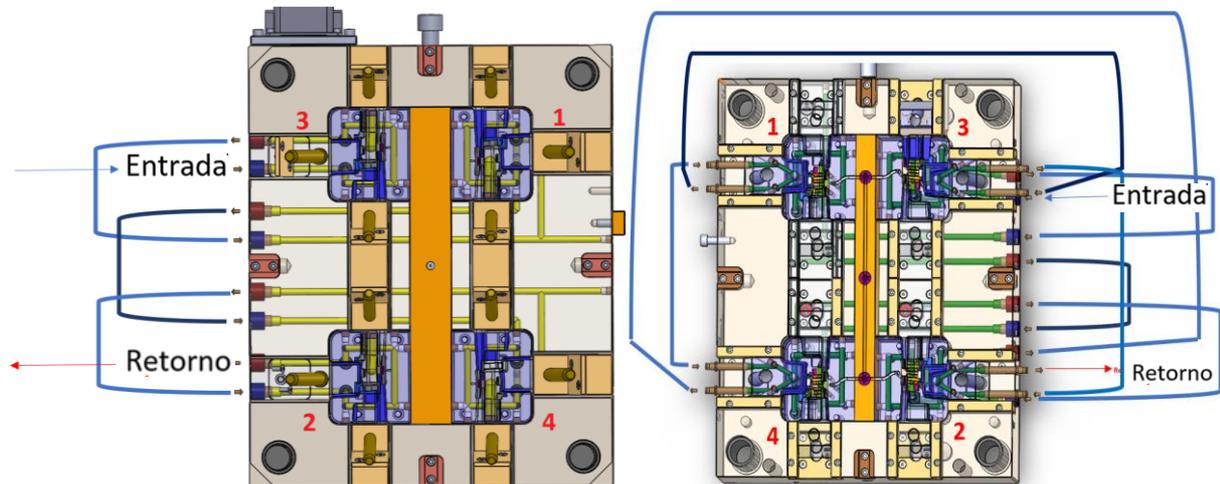


Figura 27. Esquema das águas usada nos primeiros ensaios do molde.

Em teoria a parte superior do molde, está mais estável uma vez que a água do termostato passa aí em primeiro lugar.

Nos presentes ensaios para que a temperatura ficasse mais uniforme, a montagem das águas foi realizada segundo o esquema da Figura 28, na parte fixa que esta representada à esquerda a água do termostato passa em primeiro lugar na cavidade 4 e de seguida na cavidade 1, estes circuitos foram escolhidos pois são os mais longos e ao centro do molde, por ultimo a água passa na cavidade 2 e de seguida 3. Na parte móvel do molde existem 2 circuitos independentes, um circuito nas maxilas e outro nas costas da peça, optou-se por realizar os circuitos mais longos em primeiro lugar que são os das costas da peça, iniciou-se na cavidade 4 e de seguida 1, 2 e 3, por fim realiza-se o circuito nas maxilas com inicio na cavidade 4 seguindo a 1, 2 e 3.

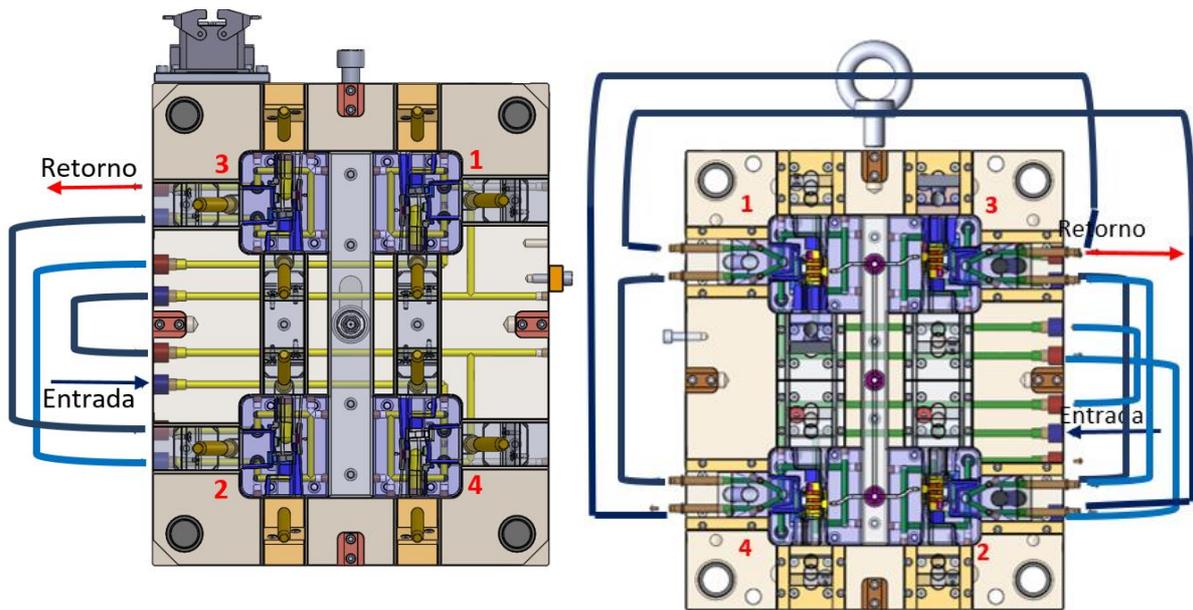


Figura 28. Esquema de águas usado nos segundos ensaios.

Segundos ensaios:

Nos segundos ensaios pretendeu-se encontrar parâmetros que possam substituir os usados na produção em série, com o benefício da redução do tempo de arrefecimento. Na análise realizada às simulações anteriores resultou a escolha das temperaturas a testar nos ensaios que são as usadas nas simulações 7, 9 e 10, em cada ensaio são retiradas amostras com 30s e 40s de arrefecimento para medição.

O ensaio 6 usou os mesmos parâmetros do ensaio 5 do capítulo anterior, optou-se por repetir este ensaio para verificar se a montagem do circuito de arrefecimento do molde em conjunto com a maior estabilização provoca alterações significativas na medição das amostras.

De forma a obter peças mais estáveis, além de existir mais tempo para estabilização das temperaturas do molde é ainda colocada a máquina em produção automática sendo apenas recolhida a 20ª moldação para medição.

Ensaio 6

Este ensaio usa temperaturas de molde iguais às da simulação 7, ou seja, uma temperatura do canal 1 de 50 °C e uma temperatura do canal 2 e 3 de 90 °C, que são iguais às do ensaio 5 do capítulo 3.1.3, contudo é promovida maior estabilização do molde e uma montagem de mangueiras segundo o esquema da Figura 28.

Resultados do ensaio 6, com 30 segundos de arrefecimento:

Na Tabela 9 estão registados os resultados das medições das amostras do ensaio 6 com 30 segundos de arrefecimento, a vermelho são assinaladas as dimensões fora de tolerância.

Neste ensaio estão registadas 5 dimensões fora de tolerância além das derrogadas pelo cliente, nomeadamente a dimensão K1A, 2, 5 e 8, a cavidade 3 é a que apresenta mais dimensões fora de tolerância.

No ensaio 5 com 30 segundos de arrefecimento a dimensão k1A estava dentro de tolerância, neste ensaio com maior estabilização do molde isso não ocorre.

Tabela 9. Resultado das medições das amostras do ensaio 6 (30 segundos de arrefecimento).

Temperaturas: canal 1: 50 °C, canal 2 e 3: 90°C. Tempo de arrefecimento 30s							
Dimensão	Medição	Tolerância	Resultados				
			Cav.1	Cav.2	Cav.3	Cav.4	
K1-A	22,45	±0,2	22,34	22,25	22,23	22,11	
K1-B			22,43	22,46	22,57	22,47	
2	45,80	±0,15	45,55	45,58	45,55	45,65	
3	34,30	±0,15	34,40	34,41	34,35	34,38	
4	5,60	±0,10	5,75	5,73	5,73	5,58	OK
5	4,10	±0,10	4,05	4,02	3,09	4,00	
6	0,60	±0,08	0,61	0,57	0,62	0,60	
7-A	3,36	±0,10	3,58	3,43	3,66	3,55	OK
7-D			3,58	3,34	3,55	3,51	OK
7-B	3,13	±0,10	3,52	3,28	3,65	3,58	OK
7-C			3,43	3,29	3,28	3,32	OK
8	22,80	±0,17	22,94	22,78	23,17	22,89	
9	2,80	±0,09	2,74	2,74	2,81	2,73	
10	12,10	±0,13	12,019	12,004	12,060	12,022	
11	1,90	±0,1	2,06	2,01	2,07	2,07	OK
12	1,90	±0,1	2,01	2,02	1,96	1,96	OK
13	2,34	±0,05	2,32	2,32	2,22	2,29	OK

Resultados do ensaio 6, com 40 segundos de arrefecimento:

Na Tabela 10 estão registados os resultados das medições das amostras do ensaio 6 com 40 segundos de arrefecimento, estas revelam bons resultados, todas as dimensões críticas para o funcionamento da peça estão dentro da tolerância, permitindo o uso destes parâmetros para produção da peça.

No ensaio 5 com 40s de arrefecimento, a dimensão k1A estava fora de tolerância na cavidade 3, neste ensaio com uma maior estabilização do molde já se encontra dentro.

Tabela 10. Resultado das medições das amostras do ensaio 6 (40 segundos de arrefecimento).

Temperaturas: canal 1: 50 °C, canal 2 e 3: 90°C. Tempo de arrefecimento 40 s							
Dimensão	Medição	Tolerância	Resultados				
			Cav.1	Cav.2	Cav.3	Cav.4	
K1-A	22,45	±0,2	22,43	22,47	22,31	22,32	
K1-B			22,55	22,54	22,55	22,54	
2	45,80	±0,15	45,75	45,76	45,69	45,91	
3	34,30	±0,15	34,44	34,43	34,39	34,40	
4	5,60	±0,10	5,80	5,70	5,78	5,79	OK
5	4,10	±0,10	4,03	4,06	4,06	4,01	
6	0,60	±0,08	0,64	0,67	0,66	0,61	
7-A	3,36	±0,10	3,55	3,40	3,63	3,52	OK
7-D			3,47	3,35	3,49	3,39	OK
7-B	3,13	±0,10	3,32	3,25	3,30	3,27	OK
7-C			3,60	3,33	3,48	3,49	OK
8	22,80	±0,17	22,95	22,97	22,93	22,86	
9	2,80	±0,09	2,72	2,72	2,77	2,75	
10	12,10	±0,13	12,021	12,007	12,067	12,022	
11	1,90	±0,1	2,01	1,99	2,01	1,98	OK
12	1,90	±0,1	2,00	1,98	1,96	1,93	OK
13	2,34	±0,05	2,34	2,36	2,29	2,31	OK

Ensaio 7

Neste ensaio foram usadas temperaturas de molde iguais à simulação 9, ou seja, uma temperatura do canal 1 de 50 °C e uma temperatura do canal 2 e 3 de 80 °C.

Resultados do ensaio 7 com 30 segundos de arrefecimento:

Na Tabela 11 estão registados os resultados das medições das amostras do ensaio 7 com 30 segundos de arrefecimento. As medições às amostras, mostram diversas dimensões fora da tolerância além das derrogadas pelo cliente, inviabilizando o uso destes parâmetros para produção.

Destaco a cavidade 1 e 2 que mostram bons resultados, apenas as dimensões derrogadas pelo cliente estão fora da tolerância, as cavidades 3 e 4 demonstram maior instabilidade.

Tabela 11. Resultado das medições das amostras do ensaio 7 (30 segundos de arrefecimento)

Temperaturas: canal 1: 50 °C, canal 2 e 3: 80°C. Tempo de arrefecimento 30 s							
Dimensão	Medição	Tolerância	Resultados Cav.1	Resultados Cav.2	Resultados Cav.3	Resultados Cav.4	
K1-A	22,45	±0,2	22,42	22,28	22,10	22,14	
K1-B			22,45	22,37	22,41	22,35	
2	45,80	±0,15	45,79	45,78	45,69	45,81	
3	34,30	±0,15	34,39	34,34	34,36	34,38	
4	5,60	±0,10	5,91	5,93	5,86	5,68	OK
5	4,10	±0,10	4,03	4,03	4,03	3,96	
6	0,60	±0,08	0,66	0,64	0,60	0,59	
7-A	3,36	±0,10	3,54	3,41	3,64	3,57	OK
7-D			3,33	3,26	3,51	3,51	OK
7-B	3,13	±0,10	3,37	3,23	3,32	3,28	OK
7-C			3,53	3,34	3,49	3,58	OK
8	22,80	±0,17	22,96	22,95	22,90	22,91	
9	2,80	±0,09	2,77	2,81	2,84	2,85	
10	12,10	±0,13	12,019	12,004	12,060	12,022	
11	1,90	±0,1	2,08	2,03	1,99	1,99	OK
12	1,90	±0,1	2,03	2,03	1,95	1,94	OK
13	2,34	±0,05	2,3	2,32	2,35	2,32	OK

Resultados do ensaio 7 com 40 segundos de arrefecimento:

Na Tabela 12 estão registados os resultados das medições das amostras do ensaio 7 com 40 segundos de arrefecimento, que mostram peças boas, apenas as dimensões anteriormente derrogadas pelo cliente estão fora de tolerância, ou seja, os parâmetros usados aprovam para produção.

Com estas temperaturas reduziu-se o tempo de arrefecimento de 60 para 40 segundos, o tempo de ciclo anteriormente de 80 passa para 60 segundos, ou seja, existiu um ganho de tempo de 25% na produção peça e de 33% no tempo de arrefecimento.

Tabela 12. Resultado das medições das amostras do ensaio 7 (40 segundos de arrefecimento)

Temperaturas: canal 1: 50 °C, canal 2 e 3: 80°C. Tempo de arrefecimento 40 s							
Dimensão	Medição	Tolerância	Resultados				
			Cav.1	Cav.2	Cav.3	Cav.4	
K1-A	22,45	±0,2	22,44	22,44	22,37	22,33	
K1-B			22,62	22,50	22,59	22,59	
2	45,80	±0,15	45,74	45,76	45,72	45,88	
3	34,30	±0,15	34,42	34,38	34,44	34,41	
4	5,60	±0,10	5,77	5,82	5,79	5,81	OK
5	4,10	±0,10	4,07	4,05	4,10	4,00	
6	0,60	±0,08	0,63	0,66	0,62	0,60	
7-A	3,36	±0,10	3,53	3,39	3,63	3,51	OK
7-D			3,41	3,26	3,54	3,42	OK
7-B	3,13	±0,10	3,39	3,21	3,30	3,24	OK
7-C			3,53	3,32	3,47	3,48	OK
8	22,80	±0,17	22,92	22,93	22,91	22,81	
9	2,80	±0,09	2,72	2,75	2,76	2,75	
10	12,10	±0,13	12,011	12,007	12,090	12,032	
11	1,90	±0,1	2,01	2,06	1,94	1,94	OK
12	1,90	±0,1	1,94	1,99	1,92	1,94	OK
13	2,34	±0,05	2,36	2,35	2,29	2,32	OK

As temperaturas usadas neste ensaio pareciam à partida as mais indicadas para produzir a peça, na eventualidade de 40 segundos de arrefecimento não serem suficientes para obter peças boas optou-se por recolher amostras com 45 segundos, que acabaram por não ser necessárias, as medições a essas amostras estão no anexo II.

Ensaio 8

Neste ensaio foram usadas temperaturas de molde iguais à simulação 10, ou seja, uma temperatura do canal 1 de 60 °C e uma temperatura do canal 2 e 3 de 80°C.

Resultados do ensaio 8 com 40 segundos de arrefecimento:

Este ensaio é o que tem a menor diferença térmica entre as partes do molde, 20 °C, por isso pensou-se que 30 segundos de arrefecimento seriam insuficientes para obter peças boas, desta forma obteve-se amostras apenas com 40 segundos de arrefecimento.

Os resultados da medição das amostras estão na Tabela 13, as dimensões importantes para o funcionamento da peça estão dentro de tolerância com exceção da K1B da cavidade 4, devido à menor diferença térmica entre as partes do molde as amostras estão fora ou perto da tolerância mínima na dimensão K1B.

Tabela 13. Resultado das medições das amostras do ensaio 8 (40 segundos de arrefecimento).

Temperaturas: canal 1: 60 °C, canal 2 e 3: 80°C. Tempo de arrefecimento 40 s							
Dimensão	Medição	Tolerância	Resultados Cav.1	Resultados Cav.2	Resultados Cav.3	Resultados Cav.4	
K1-A	22,45	±0,2	22,33	22,34	22,28	22,24	
K1-B			22,52	22,51	22,52	22,42	
2	45,80	±0,15	45,82	45,82	45,74	45,89	
3	34,30	±0,15	34,32	34,29	34,33	34,38	
4	5,60	±0,10	5,88	5,93	5,83	5,80	OK
5	4,10	±0,10	4,08	4,05	4,04	4,01	
6	0,60	±0,08	0,66	0,67	0,64	0,59	
7-A	3,36	±0,10	3,58	3,43	3,67	3,66	OK
7-D			3,43	3,39	3,48	3,65	OK
7-B	3,13	±0,10	3,45	3,33	3,37	3,28	OK
7-C			3,59	3,32	3,54	3,30	OK
8	22,80	±0,17	22,97	22,92	22,84	22,89	
9	2,80	±0,09	2,73	2,71	2,74	2,73	
10	12,10	±0,13	12,019	12,004	12,060	12,022	
11	1,90	±0,1	2,08	2,03	1,99	1,99	OK
12	1,90	±0,1	2,03	2,03	1,95	1,94	OK
13	2,34	±0,05	2,3	2,32	2,35	2,32	OK

Conclusão dos segundos ensaios do molde

O objetivo da segunda bateria de ensaios foi concretizado, os parâmetros dos ensaios 6 e 7 com 40 segundos de arrefecimento aprovam para produção da peça. Tanto no ensaio 6 como no 7 é possível reduzir o arrefecimento da peça em 20 segundos, concretizando-se na redução de 25% do tempo de ciclo total da peça e 33% no tempo de arrefecimento.

A maior estabilização do molde juntamente com a nova montagem das águas do molde mostrou bons resultados, no ensaio 6 onde são repetidos os parâmetros do ensaio 5 foram produzidas peças dentro da tolerância, o que não acontecia anteriormente.

Após a análise dos resultados dos ensaios 6 e 7, determinou-se que os novos parâmetros a usar na produção da peça são os do ensaio 7 com 40 segundos de arrefecimento, optou-se por estes devido à menor diferença térmica entre a parte fixa e móvel do molde, que é 30°C no ensaio 7 e 40°C no ensaio 6.

A alteração realizada nas temperaturas do molde implica alguns ajustes nos parâmetros de injeção devido à maior fluidez do material causado pelo aumento da temperatura na parte móvel do molde, onde está maquinado o canal frio, os parâmetros finais aprovados para produção após o ensaio estão na Figura 30.

Plasmitec FICHA TÉCNICA DE INJEÇÃO - FTI

PEÇA	Ref#: Designação: <u>Clip Seal</u>	
	Cliente: 	
MÁQUINA	Nº: 1	Funcionamento: Automático <input checked="" type="checkbox"/> Semi - Automático <input type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/>
	Designação: <u>Krauss km120</u>	
MATÉRIA PRIMA	Ref#: <u>3'08040</u>	Designação: <u>SCHULAFORM 9B Preto</u>
	Peso peça (g):	Peso Moldação (g): <u>78.222</u>
MOLDE	Nº:	Nº Cav.: 4
	Acessórios: Líquido refrigerador / Temp. Termoregulador (°C) P. Móvel: <u>80°C</u> P. Fixa: <u>50°C</u>	
	Gaveta:	
	Robot: Sim <input type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>

CONDIÇÕES DE PROCESSAMENTO

TEMPERATURAS (°C)

Cilindro	Valor	Tol.(+/-)	Molde	Valor	Tol. (+/-)	Molde	Valor	Tol. (+/-)
Bico	180	10	1	200	10			
1	180	10	2	200	10			
2	180	10						
3	175	10						
4	170	10						
5	165	10						
6								
7								
8								

OUTROS PARÂMETROS

	Unid.	Valor	Tol. +/-	Instruções de Trabalho
Curso de Dosagem	cm³/mm	69	5	
Comutação 1 -2 Pressão	cm³/mm	20	5	
Almofada	cm³/mm	11,7	5	
Curso contra pressão	cm³/mm	69	5	
Descompressão	cm³/mm	5	2	
Pressão de fecho	bar	1200	100	
Pressão de injeção	bar	1600	100	
Segunda pressão	bar	1200	100	
Contra pressão	bar	80	10	
Velocidade de injeção	mm/s	60	10	
Tempo de injeção (real)	s	1,8	1	
Tempo 2ª Pressão	s	8	1	
Tempo de arrefecimento	s	40	5	
Tempo ciclo (real)	s	62	5	

Afinado por: Marcelino	Data: 26-04-19	Edição: 2	Aprovado por: Raquel
------------------------	----------------	-----------	----------------------

Figura 30. Ficha Técnica de Injeção segundo os novos parâmetros, estabelecidos no ensaio 7.

Produção das peças segundo os novos parâmetros.

Após validação das amostras do ensaio 7 por parte do departamento de qualidade da empresa, os parâmetros foram aprovados para produção.

Iniciada a produção em automático detetou-se um problema relacionado com a extração das peças, estas são extraídas da cavidade e sobre o efeito da gravidade caem para uma caixa que se localiza por baixo do molde, reparou-se que esporadicamente algumas peças ficam presas nos extratores, interrompendo a produção, a cavidade que regista maior ocorrência deste defeito é a 3, que também apresentou um comportamento distinto durante os ensaios.

Após análise percebeu-se que o problema ocorre devido às peças serem extraídas mais quentes, um par de extratores fica enterrado na peça da cavidade 3, impossibilitando que esta caia após o movimento hidráulico da extração, na Figura 31 são visíveis os extratores que causam o problema.

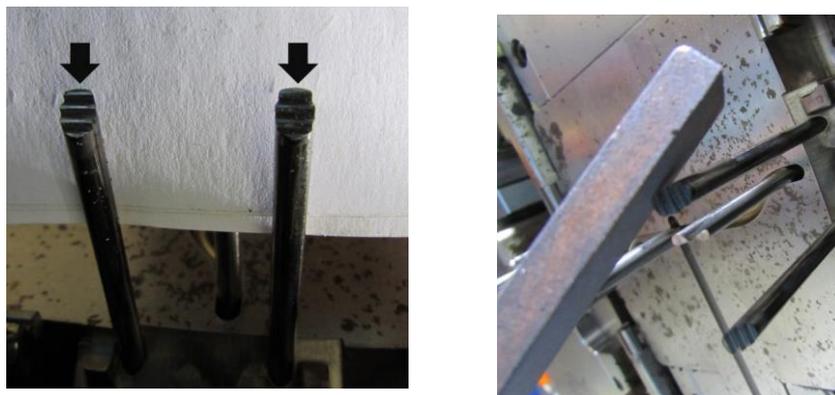


Figura 31. À esquerda na figura extratores que enterram na peça, à direita processo de quebra de quinas com recurso a pedra de esmerilhar.

Os extratores dispõem de quinas vivas necessárias para extrair a peça sem ocorrer deslizamento, como a peça é agora extraída mais cedo e conseqüentemente mais quente ocorre o enterramento em demasia das extremidades dos extratores o que provoca a prisão da peça a estes. Para resolver o problema atenuaram-se as extremidades dos extratores com recurso a uma pedra de esmerilhar representado na Figura 31 à direita. Após esta correção não se registaram mais peças presas.

Resolvido o problema da extração, fez-se o controlo das peças procedendo-se à medição de amostras a cada hora, ao fim de 3 horas de produção notou-se a dimensão K1B da cavidade 3 perto da tolerância máxima, como o resto das cavidades estão perto da dimensão nominal

optou-se por baixar gradualmente a temperatura da parte móvel do molde, de forma a reduzir a dimensão, encontrando-se a temperatura ótima nos 77°C. Até ao momento o molde produziu 140 000 peças com os novos parâmetros, não tendo sido registados quaisquer problemas.

3.2 Wedge, peça com ocos

Na Figura 32 está representada a peça Wedge que apresenta ocos, este defeito compromete a resistência mecânica e a sua funcionalidade, inviabilizando o seu uso.



Figura 32. Representação da peça Wedge, à direita peça com corte na localização dos ocos.

Na Figura 33 são visíveis várias peças quebradas após um teste de uso extremo, quando estas são submetidas a um esforço elevado a tendência é quebrar a partir do oco, na Figura 33 à direita são visíveis ocos que ficaram expostos após a quebra da peça.

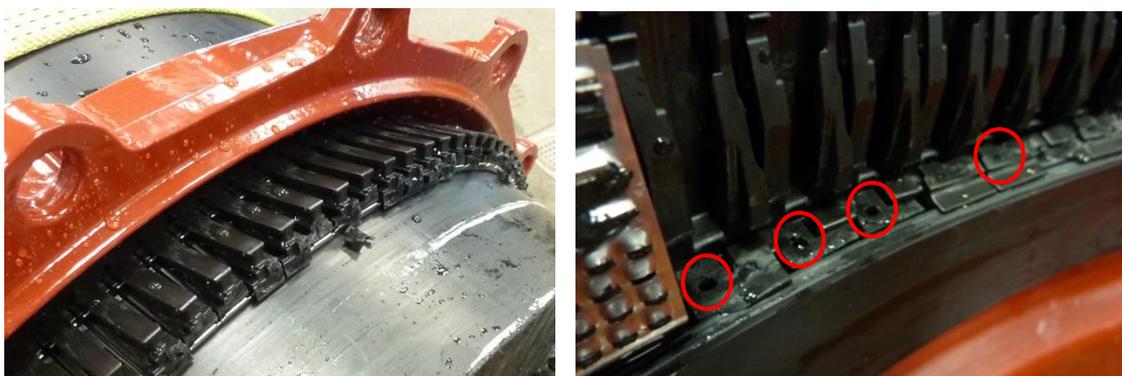


Figura 33. Resultado de um teste de uso extremo da peça.

3.2.1 Análise da espessura

O principal motivo da ocorrência de ocos é o mau dimensionamento das espessuras da peça, em conjunto com a elevada contração característica do POM.

Na fase inicial da abordagem ao problema optou-se por realizar uma análise de espessura com recurso ao software CAD.

Os resultados da análise de espessuras presente na Figura 34 mostram sobre-espessuras em toda a peça, mas destacasse uma zona em que a espessura é superior a 5 mm, assinalada nos círculos a vermelho. Este local coincide com o oco registado na peça, confirmando desta forma que a origem do defeito é o excesso de espessura de uma parede.

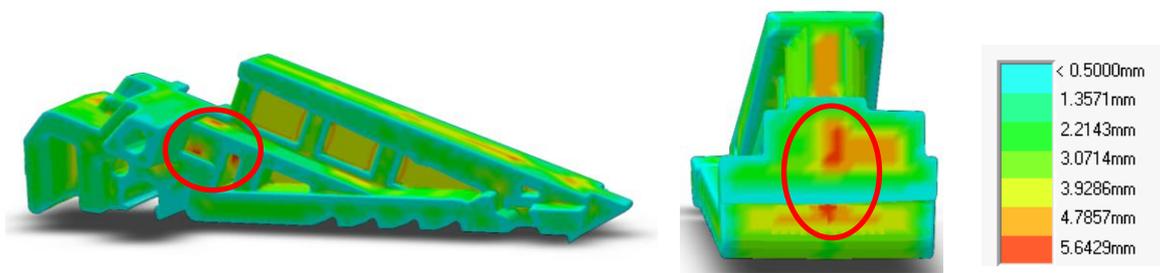


Figura 34. Análise das espessuras da peça.

No desenvolvimento de peças funcionais como esta, é essencial detetar zonas mais espessas que vão ter maior contração e por isso mais propicias a ocos, e assim adaptar o design para que a espessura seja uniforme.

Erradamente podemos pensar que quanto maior a espessura mais resistente é a peça a esforços mecânicos, contudo como é visível nos testes realizados à peça na Figura 33 o aparecimento destes defeitos diminui significativamente a sua resistência mecânica nessa localização. No desenvolvimento de peças com elevada resistência mecânica são muitas vezes utilizados programas que simulam a resistência mecânica destas, mas não consideram o aparecimento de ocos.

Ocorrência de ocos

Para compreender melhor o aparecimento dos ocos retiraram-se algumas moldações da produção em diferentes dias, e com recurso a uma serra foram cortadas, na Figura 35 está representada uma moldação após o corte. É visível que apenas a cavidade 3 não apresenta

ocos, contudo em outras moldações controladas verificou-se a presença deste defeito, mostrando um comportamento imprevisível.

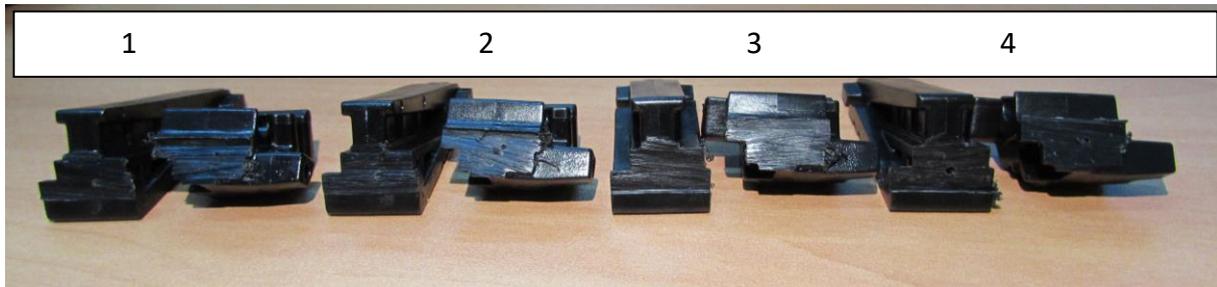


Figura 35. Resultado do corte das amostras de uma moldação.

O molde em estudo foi projetado para 1 milhão de ciclos tendo sido ultrapassado, moldes com elevado número de ciclos tendem a apresentar desgastes, entre eles redução da espessura dos escapes de ar, desgaste nos bicos quentes, resistências e sondas defeituosas, que tornam o molde instável e suscetível de produzir peças com defeito.

Devido ao rigor necessário na produção da peça, qualquer um dos desgastes mencionados anteriormente pode estar na origem do aparecimento dos ocos.

Reajuste dos parâmetros:

Optou-se por realizar um reajuste dos parâmetros de injeção de forma a adequá-los ao atual estado do molde, para isso foram ajustadas velocidades de injeção, segunda pressão e temperaturas dos bicos quentes, no final obtiveram-se peças sem ocos.

Na Figura 36 está representado o controlador de temperatura do molde com as temperaturas no final do ajuste, as cartas 1, 2, 3 e 4 do controlador correspondem à cavidade 1, 2, 3 e 4, respetivamente. Para se obter peças boas a cavidade 4 necessita estar 40°C mais quente que as restantes, o que evidencia problemas nas sondas de temperatura do molde ou no controlador.



Figura 36. Temperaturas programadas nas cartas do controlador.

A ficha técnica do material no anexo I aconselha o processamento entre 180°C e 200°C, o uso de temperaturas superiores a essas pode provocar a degradação térmica do material, o que origina a libertação de formaldeído gasoso, que é corrosivo e acelera o desgaste precoce dos componentes do molde, é também prejudicial para a saúde humana. O ajuste das temperaturas dos bicos de injeção por tentativa erro, devido a deficiências no equipamento é perigoso para a saúde dos operadores e danifica o material.

Devido ao comportamento instável das peças optou-se por acompanhar a produção do molde segundo os novos parâmetros, foram retiradas amostras a cada hora de produção para serem inspecionadas, ao fim de 5 horas os ocos regressaram com exceção da cavidade 3.

Apesar dos ocos a produção continuou sendo interrompida 22h depois devido a um curto-circuito no sistema de canal quente. A vedação de um dos bicos quentes cedeu e provocou uma infiltração de material visível na Figura 37.

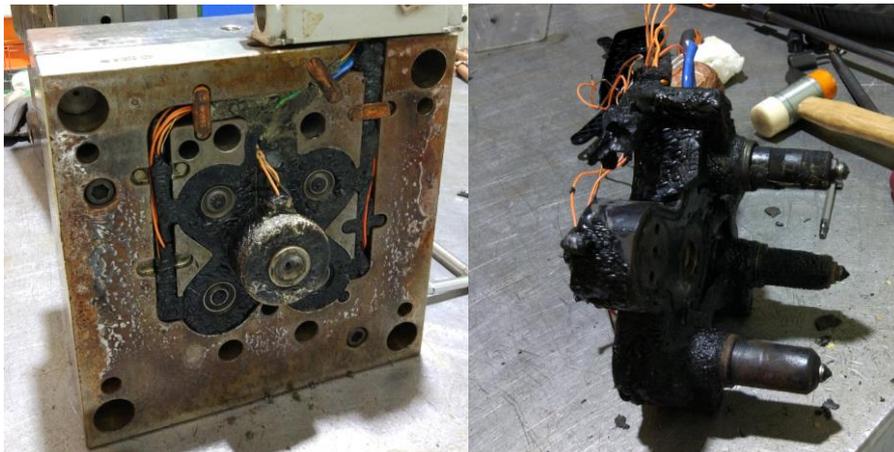


Figura 37. Infiltração de material no sistema de canal quente do molde.

Conclusão

Devido às fragilidades apresentadas pelo molde optou-se por não realizar mais tentativas de eliminação dos ocos, a peça é bastante exigente obrigando a pressões e temperaturas elevadas para compensar as espessuras da peça, que estão na origem dos ocos.

Sugeriu-se a reforma total do molde e a alteração da geometria da peça com a inserção de um desengrossador de espessura na localização de maior espessura, que coincide com o oco,

destacado a vermelho na Figura 38, desta forma o processamento da peça torna-se mais estável, dando mais garantias ao comportamento mecânico da peça.

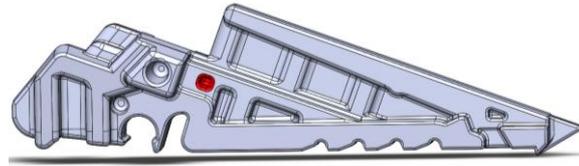


Figura 38. Peça com desengrossador de espessura, assinalado a vermelho na figura.

Após a aplicação do desengrossador no 3D da peça, submeteu-se o mesmo a uma análise de espessura, na Figura 39 estão representados os resultados dessa análise, sem desengrossador à esquerda e com desengrossador à direita.

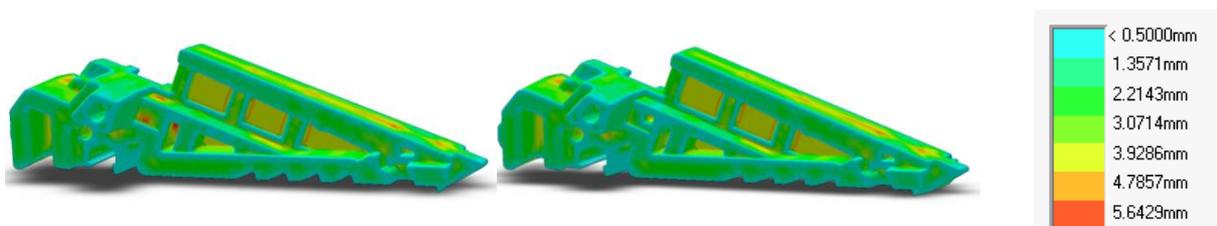


Figura 39. Análise de espessura à peça sem desengrossador à esquerda e com à direita.

4. PEÇAS EM DESENVOLVIMENTO

Os conhecimentos adquiridos nos estudos apresentados nos capítulos 3.1 e 3.2 são agora aplicados a 2 peças em desenvolvimento, representadas na Figura 40, onde é necessário avaliar a factibilidade destas e reduzir a probabilidade de defeitos como os verificados nos capítulos anteriores. Para isso o 3D de cada uma será analisado de forma a prever defeitos que possam ser contrariados através da adaptação do design, entre eles, empenos, chupados eocos. A modificação do design das peças numa fase inicial é menos dispendiosa do que numa fase avançada em que já exista o molde.

Este conjunto de peças montam entre si e dependem do rigor dimensional para garantir o seu funcionamento.

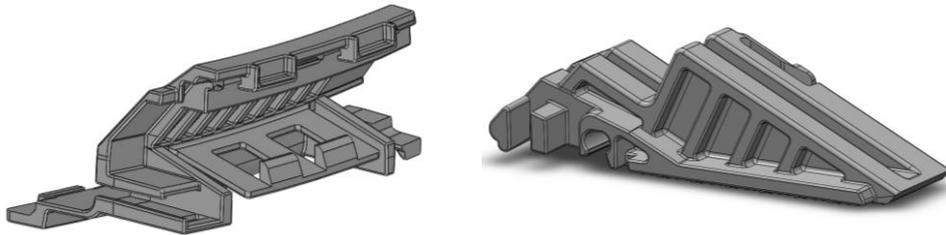


Figura 40. Peças em desenvolvimento, SealClip à esquerda Wedge à direita.

SealClip

A peça SealClip em desenvolvimento é idêntica à peça com empeno do capítulo 3.1, sendo que a matéria prima é a mesma, e a funcionalidade idêntica. Como se viu no capítulo 3.1 a forma da peça é propícia ao aparecimento de empenos, de forma a evitá-los optou-se por realizar um estudo à espessura e empeno da peça.

A análise das espessuras da peça realizada através do programa *SolidWorks* permitiu detetar uma face com espessura excessiva, na Figura 41 está representada a peça com paredes de diferentes cores e à direita uma barra que identifica a espessura correspondente a cada cor, a parede na cor vermelho é identificada como tendo $\pm 4.3\text{mm}$, após medição a espessura efetiva da parede é de 4.5mm.



Figura 41. Resultado da análise de espessuras da peça SealClip.

Quanto maior a espessura da parede mais propícia será a empenos, foi por isso elaborado um relatório para o cliente, em que é pedida a redução da espessura da parede através da substituição por uma superfície com *ribs*, detetou-se ainda paredes finas que podem resultar em dificuldades no correta compactação da peça, foi sugerido o aumento destas.

Determinação da localização da superfície com *ribs*

Na peça com empeno do capítulo 3.1 os *ribs* estão localizados nas costas da peça, contudo existem dúvidas se esta é a melhor localização para diminuir o empeno, por isso no desenvolvimento desta peça optou-se por realizar um estudo quanto à localização dos *ribs*. Com recurso ao *SOLIDWORKS® Plastics* realizou-se uma simulação de enchimento compactação e arrefecimento em 3 modelos da peça, um com *ribs* nas costas da parede outro na parte interior e outro sem *ribs*.

Dos resultados obtidos na simulação interessa o empeno total no eixo do y em relação à origem. Os resultados que estão registados na tabela 14 e na Figura 42 mostram que o menor empeno foi obtido na peça com *ribs* internos.

Tabela 14. Resultados da simulação do empeno em 3 designs da peça SealClip.

Localização dos <i>ribs</i>	<i>Ribs</i> traseiro	<i>Ribs</i> internos	Sem <i>ribs</i>
Empeno total em mm	1,38	1,10	1,44

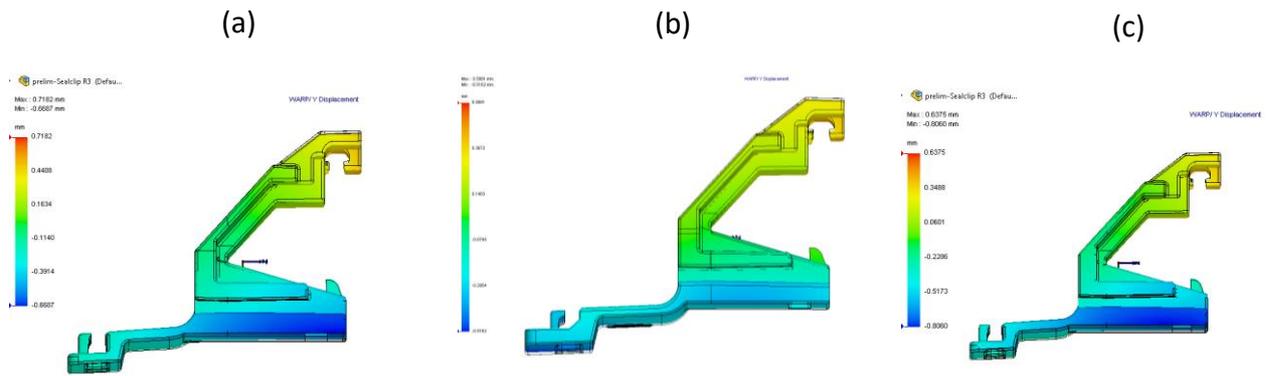


Figura 42. Resultado da simulação de empeno. Peça com *ribs* traseiros (a), peça com *ribs* internos (b), peça sem *ribs* (c)

Uma superfície com *ribs* aumenta a área de contacto com o aço do molde, criando na primeira fase de arrefecimento uma casca sólida de maior área que suporta em parte a tendência para fechar da peça.

Na fase do projeto do molde é aconselhável o uso de um aço com uma condutividade térmica superior na parte interna da peça, de forma a reduzir a carga térmica elevada desta localização.

Wedge

A peça Wedge em desenvolvimento é idêntica à peça com ocos estudada no capítulo 3.2, sendo que a matéria prima é mesma, e a funcionalidade idêntica.

Como verificado no capítulo 3.2 a zona com maior espessura da peça resultou num oco, durante o arrefecimento inicialmente é formada uma casca rígida à volta de toda a peça permanecendo o interior no estado fundido, à medida que este arrefece vai contraindo originando um vazio interno.

De forma a prever ocos na peça Wedge optou-se por recorrer ao *SOLIDWORKS® Plastics* e através deste submeteu-se o 3D da peça a uma simulação de enchimento, compactação e arrefecimento, como o software não prevê o aparecimento de ocos analisou-se a previsão de chupados, que são na prática as zonas mais espessas da peça, que podem também coincidir com zonas mais propensas a ocos.

Na Figura 43 são apresentados os resultados da simulação, a vermelho são assinaladas as zonas mais propensas a chupados.

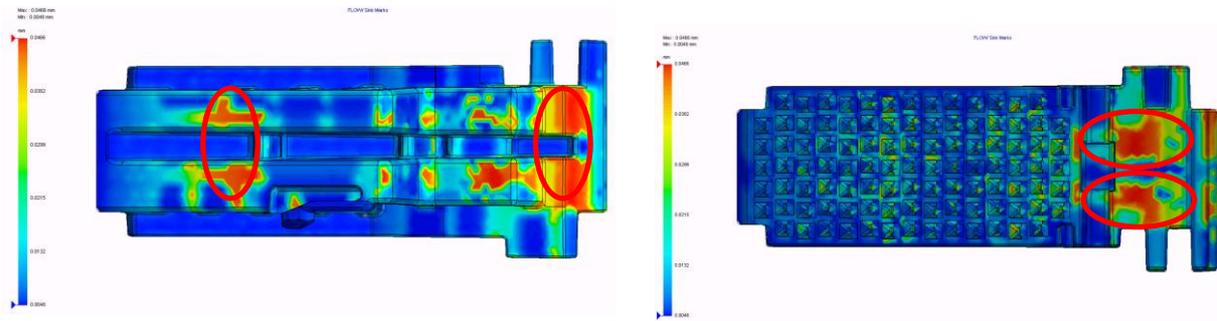


Figura 43. Resultado da simulação *SOLIDWORKS® Plastics*, previsão de chupados.

Através dos resultados obtidos elaborou-se um relatório entregue ao cliente que aconselha a diminuição da espessura através de desengrossadores.

Uma das funções da peça é pressionar uma borracha para garantir estanquicidade, o local previsto para o aparecimento de chupados coincide com o local de compressão da borracha, caso estes se tornem efetivos a peça perde a sua funcionalidade.

Na Figura 44 à esquerda, assinalado a verde, está uma proposta para desengrossar a localização e à direita um estudo de espessura que mostra maior uniformidade na espessura da peça, após a aplicação de desengrossadores.

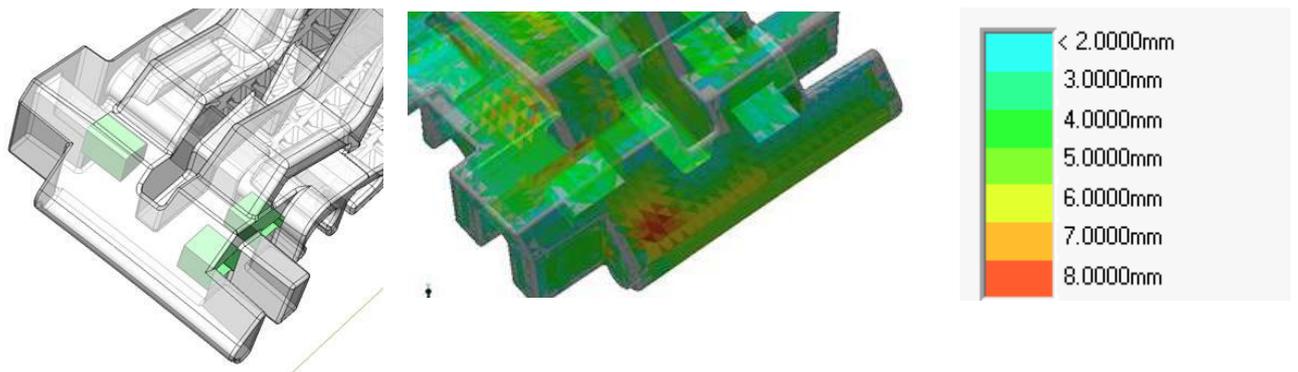


Figura 44. Peça após a aplicação de desengrossadores, assinalados a verde na figura à esquerda, e análise de espessuras à direita.

Posteriormente à entrega do relatório, o cliente optou por fazer um molde protótipo da peça com base no 3D original, sem os desengrossadores. Na Figura 45 está representada a peça

obtida no molde protótipo, são visíveis dois chupados na localização prevista pela simulação da Figura 43.

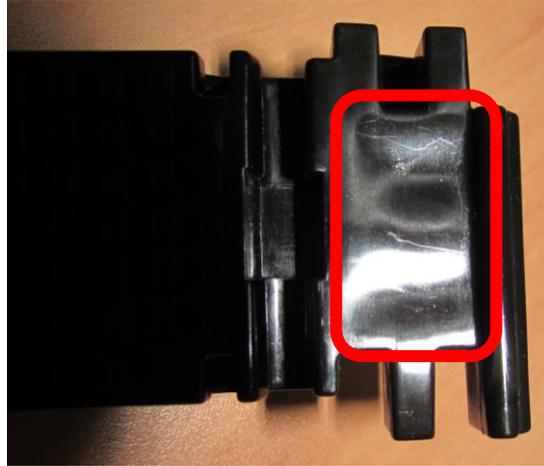


Figura 45. Peça protótipo com chupados.

Após a análise das peças protótipo, o cliente optou pela adoção dos desengrossadores visíveis na Figura 44, que podem resolver o problema.

Na fase de projeto do molde da peça é aconselhável adotar postiços nas localizações da previsão de defeitos, desta forma na eventualidade de estes se tornarem efetivos, está facilitada a mudança da geometria da peça.

5. CONCLUSÕES

De acordo com os objetivos propostos neste trabalho de dissertação testou-se e resolveu-se problemas em peças injetadas em POM.

Na peça *SealClip*, que registava a perda de dimensões por empeno, notou-se uma carga térmica elevada como origem do defeito, resultado do mau dimensionamento do arrefecimento do molde. Através de simulações CAE e ensaios do molde minimizou-se o problema o que permitiu reduzir o tempo de arrefecimento da peça, este processo permitiu ainda compreender melhor o comportamento do POM consoante os parâmetros de processamento usados.

Na peça *Wedge*, que regista ocos, detetou-se uma sobre-espessura no local do defeito que dificulta a correta compactação da peça. O molde da peça foi projetado para 1 milhão de ciclos tendo sido ultrapassado, moldes com elevado número de ciclos tendem a apresentar desgastes nos bicos quentes, redução da espessura dos escapes de ar, resistências e sondas defeituosas, que tornam o molde instável e suscetível de produzir peças com defeito, por isso optou-se por ajustar os parâmetros de produção da peça, através de ensaios, ao atual estado do molde. No final foram obtidas peças boas, contudo o bom estado das peças não se manteve durante a produção, ocorrendo um curto-circuito no sistema de canal quente do molde devido a uma infiltração de material.

Devido às debilidades mostradas pelo molde optou-se por não realizar mais ensaios, sendo sugerida introdução de um desengrossador na localização do oco, desta forma diminui-se a exigência do molde.

Após o estudo realizado nas duas concluiu-se que:

- As espessuras da peça devem ser o mais uniforme possível.
- Devem ser evitadas espessuras elevadas.
- A existência de canais de arrefecimento independentes é uma mais valia permitindo controlar as temperaturas da peça de forma localizada.
- Canais de alimentação (jito) não devem ter comprimento elevado, uma vez que contribuem para a orientação e tensões na peça.
- A escolha da localização ponto de injeção tem influência nas tensões da peça.

- Antes de realizar qualquer projeto é fundamental existir uma pesquisa prévia, desta forma existe uma base de trabalho que ajuda a compreender o comportamento do material e da peça.
- É fundamental realizar um estudo no 3D da peça na fase de desenvolvimento, desta forma é possível prever e evitar defeitos relacionados com o design.
- Numa fase avançada do projeto, em que já exista molde, em alguns casos é ainda possível minimizar problemas, através do ajuste das variáveis de processamento.

Por fim foram analisadas duas peças em desenvolvimento e sugeridas modificações do design, de forma a evitar problemas como os ocorridos nas peças *SealClip* e *Wedge*.

A análise a que se submeteu o 3D das peças, quando realizado numa fase precoce do projeto, pode evitar gastos elevados, como a alteração do molde, e facilitar a injeção das peças reduzindo o tempo de ciclo de produção e custo destas.

5.1 Sugestão de trabalhos futuros

Para aprofundar melhor os temas desenvolvidos na dissertação, sugere-se a realização dos seguintes trabalhos futuros:

- Seleção e teste de matérias primas alternativas ao POM, com menor contração diferencial, que se adequem às peças *SealClip* e *Wedge*.
- Quantificar a perda da resistência mecânica originada pelo oco na peça *Wedge*.
- Estudar a influência do tamanho do jito da peça *SealClip* na contração diferencial, existente nessa peça.
- Quantificar a poupança de desperdício obtida com a redução do jito da peça *SealClip*, substituindo o sistema de canal quente de um bico por um de dois bicos.

BIBLIOGRAFIA

- [1] [Plasmitec. Disponível em: http://www.plasmitec.com/_your_plastic_partner# . Acedido em: 16 de Outubro de 2018]
- [2] James M. Margolis, (2006). Engineering Plastics Handbook, ISBN 0071589104,19-23.
- [3] Instruções de manual linha de modelos EcoPower B8 (manual da máquina).
- [4] A. Cunha, (2008). Moldação por Injeção e materiais plásticos, in Manual do Projetista, CENTIMFE, Ed. Braga, 16-20.
- [5] António Manuel Brito, (2000). Moldes de injeção para termoplásticos, Universidade do Minho, Departamento de engenharia de polímeros.
- [6] CENTIMFE, (2005). Curso de tecnologias de matérias plásticas - Moldação por injeção. Curso de dezembro de 2005.
- [7] E. A. Campo, (2007). Industrial Polymers, primeira ed. El Paso, Texas, ISBN 978-3-446-41119-7.
- [8] Shoemaker, J. (2006). Moldflow Design Guide: A Resource for Plastics Engineers. Hanser Gardner Publications. USA, 1-6.
- [9] Wang, J. (2012). PVT Properties of Polymers for Injection Molding. Some Critical Issues for Injection Molding, 1-15.
- [10] Denizart O., Vincent M., Agassant J. F., (1995). Thermal stresses and strains in injection moulding: experiments and computations, J. Mater. Sci., vol. 30 no 2, 552 – 560.
- [11] Ammar, A., Leo, V., & Régnier, G. (2003). Corner Deformation of Injected Thermoplastic Parts. International Journal of Forming Processes, 6(1), 53-70.
- [12] O. Zollner, (1997). Optimized mould temperature control, Applied Information Technology, 1104.
- [13] Silvio Manrich, (2005). Processamento de Termoplásticos: rosca única, extrusão e matrizes, injeção e moldes, 316-322
- [14] Leo, V., Van Meulebeke, G. and Blanc S., (2005). Understanding and Measuring Warpage of Moulded Parts – International Conference on Polymers and Moulds Innovations. Marinha Grande, 1-5.
- [15] J. M. Fischer, (2013). Handbook of Molded Part Shrinkage and Warpage, 2ª Ed. Oxford, UK. ISBN 978-1-45572-597-7, 16-17.

[16] K. S., HANSER, (2010) Robust Process Development and Scientific Molding. Munich, Germany. ISBN 978-3-446-42275-9.

[17] Prashanth Reddy, K., & Panitapu, B. (2017). High thermal conductivity mould insert materials for cooling time reduction in thermoplastic injection moulds. Materials Today: Proceedings, 519–526.

ANEXO I – FICHA TÉCNICA DO MATERIAL SCHULAFORM® 9 B

CAMPUS® Ficha de especificação

SCHULAFORM® 9 B - POM
A. Schulman GmbH



Informação do produto

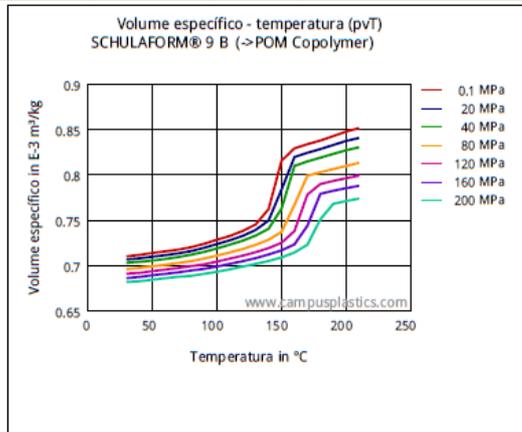
Easy flow polyoxymethylene

Propriedades reológicas	Valor	Unidade	Método de ensaio
Índice de fluidez volumétrico, MVR	11	cm³/10min	ISO 1133
Temperatura	190	°C	ISO 1133
Carga	2.16	kg	ISO 1133
Propriedades mecânicas	Valor	Unidade	Método de ensaio
Módulo de tração	2750	MPa	ISO 527-1/-2
Tensão no escoamento	63	MPa	ISO 527-1/-2
Deformação no escoamento	10	%	ISO 527-1/-2
Resistência ao impacto Charpy, +23°C	N	kJ/m²	ISO 179/1eU
Resistência ao impacto Charpy, -30°C	N	kJ/m²	ISO 179/1eU
Res. impacto Charpy c/entalhe, +23°C	8	kJ/m²	ISO 179/1eA
Res. impacto Charpy c/entalhe, -30°C	7	kJ/m²	ISO 179/1eA
Propriedades térmicas	Valor	Unidade	Método de ensaio
Temperatura de deflexão térmica, 1.80 MPa	100	°C	ISO 75-1/-2
Temperatura de deflexão térmica, 0.45 MPa	151	°C	ISO 75-1/-2
Temperatura de amolecimento Vicat, 50°C/h 50N	149	°C	ISO 306
Flamabilidade UL94 a 1.5mm esp. nom.	HB	class	IEC 60695-11-10
Espessuras do tubo de teste	1.5	mm	IEC 60695-11-10
Cartão Amarelo (yellow card) disponível	Yes	-	-
Flamabilidade UL94 a espessura h	HB	class	IEC 60695-11-10
Espessuras do tubo de teste	3.0	mm	IEC 60695-11-10
Cartão Amarelo (yellow card) disponível	Yes	-	-
Propriedades elétricas	Valor	Unidade	Método de ensaio
Resistividade volumétrica específica	1E11	Ohm*m	IEC 62631-3-1
Resistividade superficial específica	>1E15	Ohm	IEC 62631-3-2
Índice comparativo de linha de fuga	600	-	IEC 60112
Outras propriedades	Valor	Unidade	Método de ensaio
Densidade	1410	kg/m³	ISO 1183

SCHULAFORM® 9 B - POM
A. Schulman GmbH

Diagrama

Volume específico - temperatura (pvT)



Características

Processamento

Moldagem por injeção

Disponibilidade regional

América do Norte, Europa, Ásia Pacífico

Outras informações

Moldagem por injeção

PREPROCESSING; Pretreatment

Predrying usually not necessary (3-4h / 110°C)

PROCESSING ;Processing:

Melttemperature 180 - 200 °C
Mouldtemperature 60 - 120 °C

The information and recommendations contained in this document are based upon data collected by A. Schulman and are believed to be reliable; however, because A. Schulman cannot anticipate or control the many different conditions under which this information and/or product may be used, no representation is made and no warranty is given of any kind, express or implied, for completeness, accuracy, availability, suitability, usefulness, commercial value, or non-violation of intellectual property rights of information, recommendations, and products and services directly or indirectly provided. A. Schulman assumes no responsibility for the results of the use of products and processes described herein and expressly disclaims the implied warranties of merchantability and fitness for a particular use.

If there are questions to given information, to further properties or further A. Schulman products please contact

A. Schulman GmbH
Huetttenstrasse130-138
50170 Kerpen
Tel: 02273 / 561-0
Contact: aschulman@de.aschulman.com
Subject: Material data

ANEXO II – MEDIÇÃO DAS AMOSTRAS DOS ENSAIOS

- Resultado da medição das amostras do ensaio 1:

Item		Cota Nominal <i>Nominal dim.</i>	Tolerância <i>Tolerance</i>		Unidade <i>unit</i>	Equip. Medição <i>Measurement Equip.</i>	Resultados <i>Results</i>					OK / NOK		
			-	+			1	2	3	4	5	Média <i>average</i>		
		Plasmitec RELATÓRIO DIMENSIONAL _Ensaio 1 N.º: RD 313_2 T. Ambient 24 °C T. B.Canal 1: 30 °C T. B.Canal 2: 90 °C T. Canal 3: 90 °C Ref.ª Plasmitec_Plasmitec Ref.: 1.10007.1 Produto <i>Product</i> : CLIP BODY SEAL OBS: Temperatura medida na superfície do zona moldante 40 °C Parte fixa 65 °C Parte Movel												
cavity n.º 1	Mol. 1	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,840	22,820	22,860			22,840	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,960	22,980	23,000			22,980	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,700	33,700	33,670			33,690	NOK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,830	33,810	33,760			33,800	NOK
	Mol. 2	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,810	22,840	22,850			22,833	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,820	22,940	22,940			22,900	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,670	33,670	33,680			33,673	NOK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,730	33,740	33,710			33,727	NOK
	Mol. 3	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,830	22,820	22,810			22,820	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	23,000	22,880	22,910			22,930	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,660	33,670	33,680			33,670	NOK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,730	33,740	33,750			33,740	NOK
cavity n.º 2	Mol. 1	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,790	22,790	22,810			22,797	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,880	22,870	22,880			22,877	NOK
		K2A	33,57	0,20	0,20	mm	LAB29	33,640	33,680	33,650			33,657	OK
		k2B	33,57	0,20	0,20	mm	LAB29	33,730	33,740	33,720			33,730	OK
	Mol. 2	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,700	22,720	22,730			22,717	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,750	22,870	22,820			22,813	NOK
		K2A	33,25	0,05	0,05	mm	LAB29	33,640	33,670	33,660			33,657	NOK
		k2B	33,25	0,05	0,05	mm	LAB29	33,730	33,710	33,720			33,720	NOK
	Mol. 3	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,780	22,740	22,740			22,753	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,820	22,790	22,810			22,807	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,650	33,660	33,660			33,657	NOK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,690	33,690	33,710			33,697	NOK
cavity n.º 3	Mol. 1	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,790	22,770	22,780			22,780	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,960	22,950	22,990			22,967	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,600	33,630	33,620			33,617	NOK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,830	33,840	33,800			33,823	NOK
	Mol. 2	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,760	22,800	22,830			22,797	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,840	22,960	22,950			22,917	NOK
		K2A	33,57	0,20	0,20	mm	LAB29	33,640	33,650	33,660			33,650	OK
		k2B	33,57	0,20	0,20	mm	LAB03	33,900	33,800	33,780			33,827	NOK
	Mol. 3	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,770	22,780	22,790			22,780	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,930	22,970	22,960			22,953	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,630	33,630	33,640			33,633	NOK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,800	33,810	33,820			33,810	NOK
cavity n.º 4	Mol. 1	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,750	22,700	22,680			22,710	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,880	22,860	22,910			22,883	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,05	mm	LAB29	33,610	33,550	33,550			33,570	NOK
		k2B	33,25	0,20	0,05	mm	LAB29	33,790	33,770	33,750			33,770	NOK
	Mol. 2	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,690	22,700	22,710			22,700	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,750	22,800	22,890			22,813	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,560	33,550	33,590			33,567	NOK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,770	33,760	33,780			33,770	NOK
	Mol. 3	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,740	22,690	22,680			22,703	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,820	22,860	22,810			22,830	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,540	33,570	33,560			33,557	NOK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,730	33,740	33,740			33,737	NOK

- Resultado da medição das amostras do ensaio 2:

Plasmitec		RELATÓRIO DIMENSIONAL Ensaio 2										N.º:	RD 313_2
T. Ambient 24 °C		T. B.Canal 1: 90 °C		T. B.Canal 2: 30 °C		T. Canal 3: 30 °C							
Ref.ª Plasmitec		Plasmitec Ref.:		1.10007.1		Produto		Produçã: CLIP BODY SEAL					
OBS: Temperatura medida na superfície do zona moldante 65 °C Parte fixa 40 °C Parte Móvel													
Item	Cota Nominal Nominal dim.	Tolerância_Tolerance		Unidade unit	Equip. Medição Measurement Equip.	Resultados_Results					Média_ average	OK NOK	
		-	+			1	2	3	4	5			
cavity n.º 1	Mol. 1	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,080	22,110	22,090		22,093	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,210	22,140	22,280		22,210	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,300	33,290	33,270		33,287	OK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,300	33,330	33,290		33,307	OK
	Mol. 2	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,230	22,180	22,210		22,207	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,200	22,240	22,200		22,213	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,270	33,290	33,300		33,287	OK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,320	33,290	33,300		33,303	OK
	Mol. 3	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,180	22,190	22,210		22,193	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,210	22,220	22,250		22,227	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,290	33,280	33,290		33,287	OK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,260	33,300	33,300		33,287	OK
cavity n.º 2	Mol. 1	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,060	22,050	22,160		22,090	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,090	22,110	22,310		22,170	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,320	33,310	33,300		33,310	OK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,440	33,420	33,400		33,420	OK
	Mol. 2	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,110	22,140	22,100		22,117	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,190	22,310	22,270		22,257	OK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,320	33,320	33,320		33,320	OK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,430	33,390	33,360		33,393	OK
	Mol. 3	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,190	22,150	22,220		22,187	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,210	22,250	22,250		22,237	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,310	33,300	33,290		33,300	OK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,370	33,380	33,370		33,373	OK
cavity n.º 3	Mol. 1	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	21,920	22,010	22,110		22,013	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	21,910	22,100	22,220		22,077	NOK
		K2A	33,25	0,05	0,05	mm	LAB29	33,250	33,260	33,250		33,253	OK
		k2B	33,25	0,05	0,05	mm	LAB29	33,310	33,410	33,320		33,347	NOK
	Mol. 2	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,020	22,060	22,020		22,033	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,230	22,260	2,240		15,577	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,240	33,290	33,250		33,260	OK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,350	33,310	33,320		33,327	OK
	Mol. 3	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	21,990	22,110	22,100		22,067	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,210	22,200	22,210		22,207	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,290	33,250	33,220		33,253	OK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,310	33,320	33,330		33,320	OK
cavity n.º 4	Mol. 1	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	21,900	22,030	22,080		22,003	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,170	22,150	22,270		22,197	NOK
		K2A	33,25	0,05	0,05	mm	LAB29	33,260	33,230	33,230		33,240	OK
		k2B	33,25	0,05	0,05	mm	LAB29	33,410	33,420	33,410		33,413	NOK
	Mol. 2	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,020	22,140	22,120		22,093	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,100	22,230	22,230		22,187	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,280	33,250	33,260		33,263	OK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,380	33,390	33,380		33,383	OK
	Mol. 3	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,170	22,160	22,180		22,170	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,230	22,200	22,160		22,197	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,240	33,250	33,260		33,250	OK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,350	33,360	33,370		33,360	OK

- Resultado da medição das amostras do ensaio 3:

Item		Cota Nominal <i>Nominal dim.</i>	Tolerância_Tolerance		Unidade <i>unit</i>	Equip. Medição <i>Measurement Equip.</i>	Resultados_Results					OK / NOK		
			-	+			1	2	3	4	5	Média_averagem		
													RELATÓRIO DIMENSIONAL _Ensaio 3	
											N.º:	RD 313 2		
T. Ambient 24 °C			T. B.Canal 1: 50 °C			T. B.Canal 2: 110 °C			T. Canal 3: 110 °C					
Ref.ª Plasmitec_Plasmitec Ref.:					1.10007.1		Produto_Produt:		CLIP BODY SEAL					
OBS:														
cavity n.º 1	Mol. 1	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,690	22,670	22,760			22,707	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,720	22,700	22,800			22,740	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,630	33,620	33,630			33,627	NOK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,810	33,870	33,710			33,797	NOK
	Mol. 2	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,690	22,800	22,810			22,767	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,740	22,880	22,870			22,830	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,620	33,660	33,640			33,640	NOK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,810	33,680	33,690			33,727	NOK
	Mol. 3	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,810	22,810	22,810			22,810	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,900	22,880	22,860			22,880	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,650	33,660	33,640			33,650	NOK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,680	33,690	33,690			33,687	NOK
cavity n.º 2	Mol. 1	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,670	22,640	22,740			22,683	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,810	22,680	22,800			22,763	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,650	33,660	33,660			33,657	NOK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,710	33,720	33,660			33,697	NOK
	Mol. 2	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,720	22,730	22,700			22,717	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,780	22,810	22,850			22,813	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,600	33,610	33,620			33,610	NOK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,660	33,680	33,670			33,670	NOK
	Mol. 3	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,700	22,720	22,710			22,710	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,830	22,810	22,780			22,807	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,620	33,630	33,630			33,627	NOK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,680	33,670	33,650			33,667	NOK
cavity n.º 3	Mol. 1	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,680	22,730	22,690			22,700	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,860	22,830	22,980			22,890	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,650	33,600	33,590			33,613	NOK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,820	33,840	33,800			33,820	NOK
	Mol. 2	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,720	22,760	22,780			22,753	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,850	22,930	22,960			22,913	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,600	33,600	33,620			33,607	NOK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,830	33,820	33,800			33,817	NOK
	Mol. 3	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,770	22,760	22,770			22,767	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,930	22,920	22,910			22,920	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,580	33,600	33,600			33,593	NOK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,790	33,820	33,800			33,803	NOK
cavity n.º 4	Mol. 1	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,520	22,570	22,590			22,560	OK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,760	22,740	22,790			22,763	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,560	33,530	33,570			33,553	NOK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,730	33,760	33,770			33,753	NOK
	Mol. 2	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,590	22,670	22,630			22,630	OK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,780	22,770	22,790			22,780	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,550	33,540	33,580			33,557	NOK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,730	33,760	33,760			33,750	NOK
	Mol. 3	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,670	22,660	22,580			22,637	OK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,770	22,760	22,750			22,760	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,550	33,590	33,590			33,577	NOK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,720	33,720	33,710			33,717	NOK

- Resultado da medição das amostras do ensaio 5:

Plasmitec		RELATÓRIO DIMENSIONAL _Ensaio 5										N.º: RD 313 2		
T. Ambient 24 °C		T. B.Canal 1: 50 °C		T. B.Canal 2:90 °C		T. Canal 3: 90 °C								
Ref.ª Plasmitec_Plasmitec Ref.:		1.10007.1		Produto _Produt:		CLIP BODY SEAL								
OBS:														
	Ítem	Cota Nominal Nominal dim.	Tolerância_Tolerance		Unidade unit	Equip. Medição Measurement Equip.	Resultados_Results					OK		
			-	+			1	2	3	4	5	Média_ average	NOK	
cavity n.º 1	55 s	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,630	22,780	22,750			22,720	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,680	22,840	22,830			22,783	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,580	33,600	33,600			33,593	NOK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,640	33,660	33,660			33,653	NOK
		Peso	16,97	0,18	0,18	g							#DIV/0!	#DIV/0!
	50 s	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,520	22,620	22,630			22,590	OK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,580	22,820	22,790			22,730	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,580	33,590	33,540			33,570	NOK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,650	33,660	33,650			33,653	NOK
		Peso	16,97	0,18	0,18	g							#DIV/0!	#DIV/0!
	45 s	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,560	22,660	22,630			22,617	OK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,780	22,830	22,730			22,780	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,510	33,510	33,520			33,513	NOK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,620	33,610	33,590			33,607	NOK
		Peso	16,97	0,18	0,18	g							#DIV/0!	#DIV/0!
	40 s	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,400	22,470	22,450			22,440	OK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,480	22,540	22,510			22,510	OK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,370	33,380	33,380			33,377	OK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,490	33,500	33,470			33,487	NOK
		Peso	16,97	0,18	0,18	g							#DIV/0!	#DIV/0!
35 s	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,590	22,530	22,540			22,553	OK	
	K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,650	22,660	22,640			22,650	OK	
	K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,420	33,420	33,450			33,430	OK	
	k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,480	33,490	33,470			33,480	NOK	
	Peso	16,97	0,18	0,18	g							#DIV/0!	#DIV/0!	
30 s	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,500	22,490	22,520			22,503	OK	
	K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,610	22,610	22,530			22,583	OK	
	K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,350	33,370	33,360			33,360	OK	
	k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,410	33,400	33,400			33,403	OK	
	Peso	16,97	0,18	0,18	g							#DIV/0!	#DIV/0!	
cavity n.º 2	55 s	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,610	22,640	22,600			22,617	OK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,670	22,750	22,780			22,733	NOK
		K2A	33,25	0,05	0,05	mm	LAB29	33,590	33,610	33,610			33,603	NOK
		k2B	33,25	0,05	0,05	mm	LAB29	33,640	33,660	33,620			33,640	NOK
		Peso	16,97	0,18	0,18	g							#DIV/0!	#DIV/0!
	50 s	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,710	22,760	22,670			22,713	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,700	22,780	22,770			22,750	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,570	33,560	33,570			33,567	NOK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,640	33,610	33,600			33,617	NOK
		Peso	16,97	0,18	0,18	g							#DIV/0!	#DIV/0!
	45 s	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,560	22,590	22,570			22,573	OK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,690	22,740	22,640			22,690	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,500	33,490	33,510			33,500	NOK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,570	33,580	33,570			33,573	NOK
		Peso	16,97	0,18	0,18	g							#DIV/0!	#DIV/0!
	40 s	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,370	22,380	22,380			22,377	OK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,490	22,540	22,530			22,520	OK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,360	33,370	33,360			33,363	OK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,530	33,510	33,490			33,510	NOK
		Peso	16,97	0,18	0,18	g							#DIV/0!	#DIV/0!
35 s	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,420	22,430	22,430			22,427	OK	
	K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,620	22,640	22,610			22,623	OK	
	K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,440	33,460	33,430			33,443	OK	
	k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,490	33,490	33,480			33,487	NOK	
	Peso	16,97	0,18	0,18	g							#DIV/0!	#DIV/0!	
30 s	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,450	22,470	22,460			22,460	OK	
	K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,630	22,659	22,650			22,646	OK	
	K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,390	33,370	33,360			33,373	OK	
	k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,460	33,460	33,480			33,467	NOK	
	Peso	16,97	0,18	0,18	g							#DIV/0!	#DIV/0!	

cavity n.º 3	55 s	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,640	22,730	22,730			22,700	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,830	22,880	22,940			22,883	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,540	33,560	33,560			33,553	NOK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,750	33,760	33,740			33,750	NOK
	50 s	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,700	22,750	22,730			22,727	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,750	22,840	22,880			22,823	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,530	33,560	33,540			33,543	NOK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,750	33,720	33,710			33,727	NOK
	45 s	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,640	22,730	22,740			22,703	NOK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,760	22,860	22,830			22,817	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,520	33,500	33,490			33,503	NOK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,700	33,670	33,690			33,687	NOK
40 s	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,520	22,490	22,430			22,480	OK	
	K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,670	22,680	22,710			22,687	NOK	
	K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,400	33,390	33,380			33,390	OK	
	k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,560	33,570	33,570			33,567	NOK	
35 s	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,490	22,540	22,520			22,517	OK	
	K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,710	22,720	22,720			22,717	NOK	
	K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,400	33,390	33,380			33,390	OK	
	k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,550	33,560	33,550			33,553	NOK	
30 s	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,480	22,490	22,480			22,483	OK	
	K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,730	22,710	22,760			22,733	NOK	
	K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,370	33,370	33,350			33,363	OK	
	k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,510	33,530	33,530			33,523	NOK	
cavity n.º 4	55 s	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,570	22,630	22,630			22,610	OK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,700	22,790	22,760			22,750	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,490	33,510	33,510			33,503	NOK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,660	33,710	33,670			33,680	NOK
	50 s	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,560	22,640	22,550			22,583	OK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,640	22,730	22,730			22,700	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,470	33,500	33,510			33,493	NOK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,690	33,680	33,690			33,687	NOK
	45 s	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,540	22,530	22,490			22,520	OK
		K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,640	22,710	22,700			22,683	NOK
		K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,430	33,420	33,410			33,420	OK
		k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,650	33,640	33,620			33,637	NOK
40 s	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,370	22,350	22,300			22,340	OK	
	K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,490	22,490	22,490			22,490	OK	
	K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,320	33,350	33,330			33,333	OK	
	k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,510	33,520	33,510			33,513	NOK	
35 s	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,420	22,440	22,410			22,423	OK	
	K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,590	22,650	22,600			22,613	OK	
	K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,330	33,310	33,320			33,320	OK	
	k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,550	33,560	33,530			33,547	NOK	
30 s	K1A	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,270	22,280	22,290			22,280	OK	
	K1B	22,45	0,20	0,20	mm	LAB29	22,570	22,560	22,520			22,550	OK	
	K2A	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,220	33,250	33,250			33,240	OK	
	k2B	33,25	0,20	0,20	mm	LAB29	33,530	33,510	33,490			33,510	NOK	

- Resultados da medição das amostras do ensaio 7 com 45 segundos de arrefecimento:

Dimension	Measurement	Tolerance	Min	Max	Results_cav.1	Results_cav.2	Results_cav.3	Results_cav.4	
1-A	22,45	±0,2	22,25	22,65	22,42	22,44	22,38	22,35	
1-B					22,63	22,50	22,65	22,57	
2	45,80	±0,15	45,65	45,95	45,88	45,71	45,80	45,92	
3	34,30	±0,15	34,15	34,45	34,32	34,29	34,33	34,41	
4	5,60	±0,10	5,50	5,70	5,85	5,65	5,85	5,88	functional OK
5	4,10	±0,10	4,00	4,20	4,07	4,04	4,09	4,02	
6	0,60	±0,08	0,52	0,68	0,63	0,66	0,58	0,60	
7-A	3,36	±0,10	3,26	3,46	3,56	3,39	3,63	3,51	functional OK
7-D					3,54	3,26	3,54	3,42	functional OK
7-B	3,13	±0,10	3,03	3,23	3,44	3,21	3,30	3,24	functional OK
7-C					3,53	3,32	3,47	3,48	functional OK
8	22,80	±0,17	22,63	22,97	23,13	22,97	23,99	22,95	functional OK
9	2,80	±0,09	2,71	2,89	2,72	2,75	2,76	2,75	
10	12,10	±0,13	11,97	12,23	12,019	12,004	12,060	12,022	
11	1,90	±0,1	1,80	2,00	2,01	2,06	1,94	1,94	functional OK
12	1,90	±0,1	1,80	2,00	1,94	1,99	1,92	1,94	functional OK
13	2,34	±0,05	2,29	2,39	2,35	2,33	2,29	2,32	functional OK