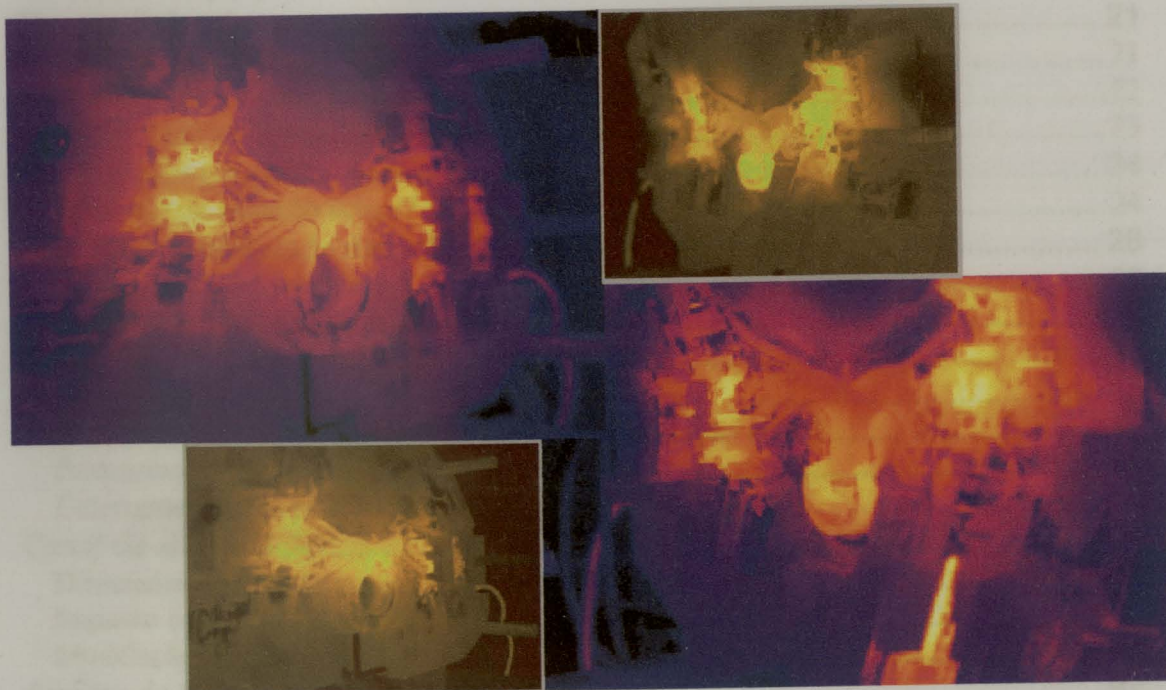




FEUP

**FACULDADE DE ENGENHARIA
DA
UNIVERSIDADE DO PORTO**

*Optimização do processo de obtenção de uma peça para
a indústria automóvel*



Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial

sonafi EURALCOM
Group

Projecto de Fim-de-curso
2003 / 2004

Paulo César Talaia Rocha

2004-07-09

prodepIII
PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO EDUCATIVO PARA PORTUGAL



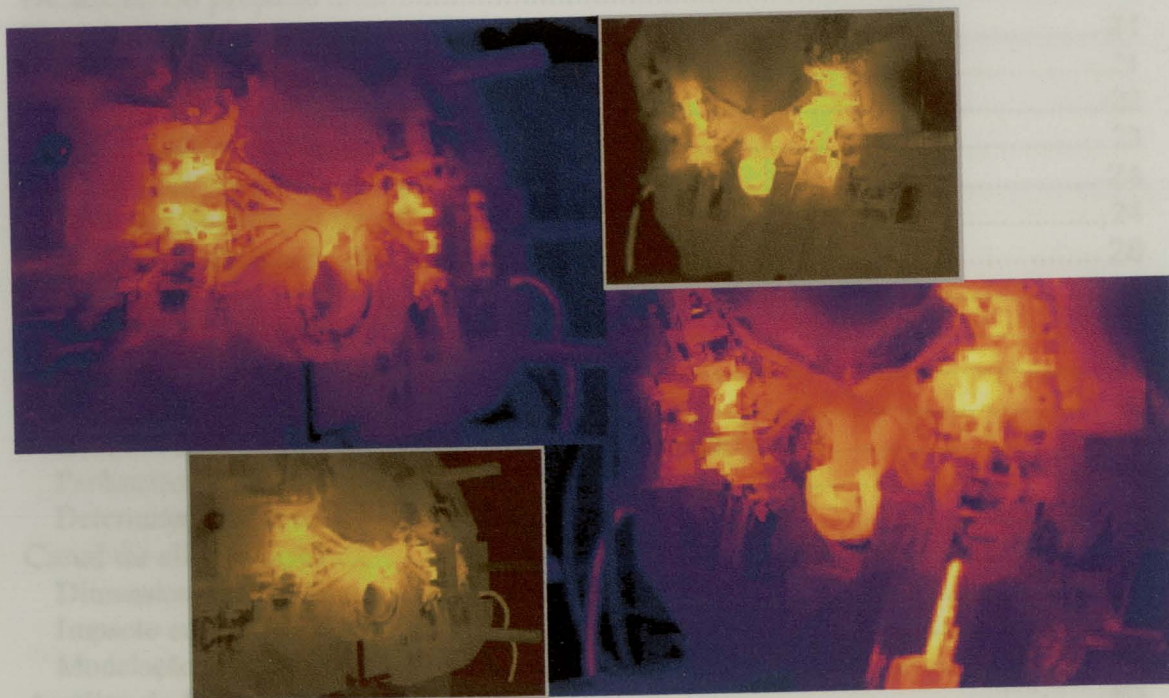
621(047.3)
LEM 2003/ROCP



FEUP

**FACULDADE DE ENGENHARIA
DA
UNIVERSIDADE DO PORTO**

*Optimização do processo de obtenção de uma peça para
a indústria automóvel*



Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial

sonati EURALCOM
Group

Projecto de Fim-de-curso
2003 / 2004

Paulo César Talaia Rocha

2004-07-09

prodepIII
PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO EDUCATIVO PARA PORTUGAL



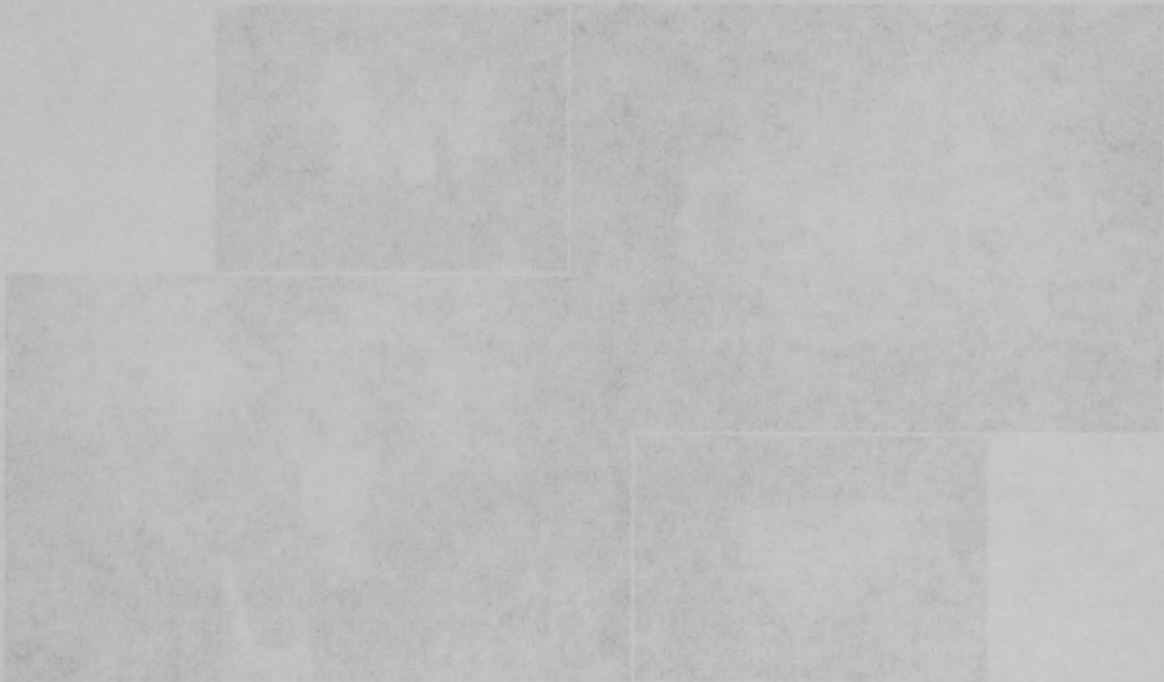
FACULDADE DE ENGENHARIA

DA

UNIVERSIDADE DO PORTO



Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial



Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial

STRENGTH

621 (0473)LEM 2003/1000

Universidade do Porto	
Faculdade de Engenharia	
Biblioteca	
Nº	91272
CDU	
Data	17/08/2007

picobep



20-1-10

Índice

Introdução.....	3
O processo de fundição injectada.....	4
Apresentação da Empresa.....	8
Localização.....	8
Historial da empresa.....	9
O grupo Euralcom.....	11
Estrutura organizativa da empresa.....	13
Matérias-Primas, Produtos e Mercados.....	13
Equipamentos.....	15
Método de produção.....	16
Definição do projecto.....	19
Propriedades do processo.....	21
Características da liga utilizada.....	21
Processo de produção da peça.....	22
Características da máquina de injectar.....	23
Alternativas propostas para o projecto.....	24
O porque da situação actual?.....	24
Análise da viabilidade das soluções apresentadas.....	28
Primeira solução estudada.....	28
Segunda solução estudada.....	29
Terceira solução estudada.....	37
Parâmetros do processo.....	45
Determinação dos parâmetros do processo na situação actual.....	46
Parâmetros do processo reais.....	50
Determinação dos novos parâmetros do processo.....	51
Canal de alimentação.....	54
Dimensionamento do novo canal de alimentação.....	54
Impacto económico do projecto.....	58
Modelação do canal de alimentação.....	60
Análise da força de fecho do processo.....	62
Análise termográfica.....	64
Processo actual.....	66
Simulação de enchimento.....	79
Software de simulação - ProCAST.....	81
Software de simulação - Flow 3D.....	85
Análise de defeitos das peças.....	87
Conclusão.....	91
Bibliografia.....	93
Prodep.....	94
Agradecimentos.....	95
Anexos.....	96

Introdução *de fundição injectada*

O trabalho apresentado seguidamente foi desenvolvido no âmbito da cadeira de projecto de fim-de-curso, da opção de moldação por injeção do 5º ano do curso de Licenciatura em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Este tipo de projecto desenvolvido em parceria com empresas do ramo, permite aos alunos envolvidos, um maior contacto não só com tudo aquilo que ao longo do curso nos foi ensinado, assim como uma maior proximidade com as organizações industriais. Desta forma é possível sentir todo o ambiente que se vive neste tipo de instituição, tendo um contacto com a realidade que efectivamente ocorre numa situação do género.

O tema escolhido para o projecto está inserido no âmbito da fundição injectada de ligas leves. O projecto em questão torna possível a implementação de todo um conjunto de conhecimentos adquiridos ao longo do primeiro semestre do 5º ano e de alguns dos conhecimentos adquiridos ao longo da licenciatura. Por outro lado permitiu ainda a aprendizagem de todo um conjunto de informação e questões particulares que devido ao seu carácter específico não são possíveis de adquirir durante o curso. O contacto com a prática industrial foi também um dos principais objectivos do projecto em causa.

As exigências do cliente adicionadas às pressões da concorrência, fazem com que exista a necessidade das empresas reduzir o custo de desenvolvimento de um produto, o tempo de ciclo e implementar melhorias nos mesmos. Desta forma as empresas são “obrigadas” a possuir uma organização que permita produzir produtos de elevada qualidade a preços e tempos de produção inferiores aos dos seus concorrentes, para ser possível responder em tempo real às necessidades dos seus clientes. Numa era em que a tecnologia evolui de dia para dia, os produtos rapidamente deixam de ser competitivos, a sociedade está em constante mutação com clientes cada vez mais exigentes, a necessidade de evoluir inovando tornou-se num factor de sobrevivência num mundo cada vez mais competitivo. A inovação é um facto e uma necessidade, e quem não evolui corre um grande risco de ficar para trás, visto que os clientes têm novas necessidades.

O processo de fundição injectada

A fundição injectada é um processo que envolve alguma complexidade. O operador da máquina de fundição injectada está em contacto permanente com o metal fundido, uma máquina bastante complexa, moldes de custo bastante elevados, temperaturas críticas e todo um conjunto de medidas de segurança, são factores que contribuem para essa complexidade. O operador é constantemente chamado a manipular, ajustar e principalmente controlar os factores referidos anteriormente até que as peças produzidas possuam as características desejadas.

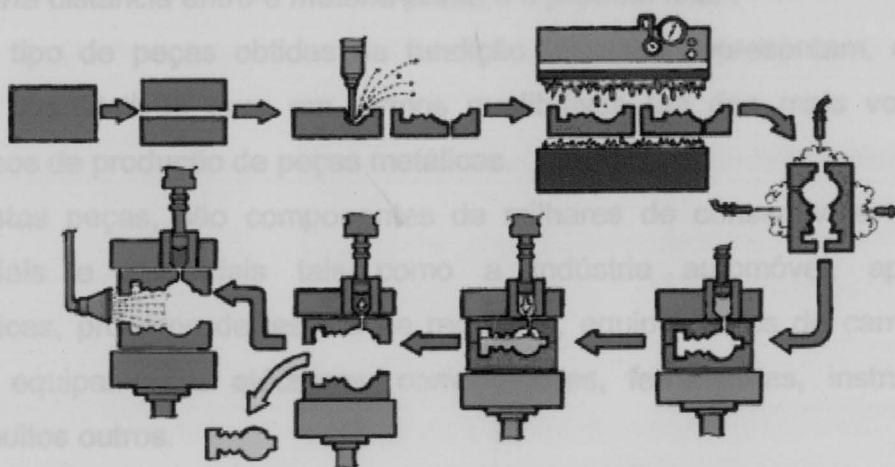


Figura 1 – Processo de fundição injectada

Por outro lado, este processo tende a alterar durante a produção, pelo que o papel do operador em controlar o processo é de certa forma de extrema importância e fundamental, para poder corrigir essas alterações do processo, isto é, os operadores devem ser capazes de reconhecer as anomalias no processo e tomar medidas preventivas.

Existem algumas fases fundamentais durante um qualquer processo de fundição injectada:

- ✦ Definição dos parâmetros do processo (temp^a do molde, pressão de injeção, etc.);
- ✦ Definição dos limites admissíveis para a variação desses mesmos parâmetros;
- ✦ Controlo permanente dos parâmetros durante o decorrer do processo;

- ✚ Comparar a diferença entre os parâmetros teóricos e os parâmetros reais;
- ✚ Ser capaz de ajustar e modificar esses mesmos parâmetros para melhorar o desempenho do processo;

A fundição injectada é um processo de produção de peças metálicas de dimensões precisas, formas definidas e com acabamento superficial liso ou texturizado. Este processo permite grande versatilidade na produção de peças com formas complexas, assim como grande flexibilidade no seu desenvolvimento.

A fundição injectada pode ser descrito como sendo um processo *“com a mais curta distância entre a matéria-prima e o produto final”*.

O tipo de peças obtidas na fundição injectada representam, quer em termos quantitativos quer em termos qualitativos um dos mais volumosos processos de produção de peças metálicas.

Estas peças, são componentes de milhares de consumíveis, produtos comerciais e industriais tais como a indústria automóvel, aplicações domésticas, produtos de laser e de recreação, equipamentos de campo e de jardim, equipamentos eléctricos, computadores, ferramentas, instrumentos, entre muitos outros.



Figura 2 – Exemplos de peças produzidas por fundição injectada

A fundição injectada é um processo que força o metal fundido sobre pressão a entrar num molde. O calor do metal fundido transmite-se por

condução para o aço do molde, fazendo com que o metal se solidifique. O molde é então aberto e o jito é extraído.

1 – O metal fundido é introduzido no interior da camisa de injeção.

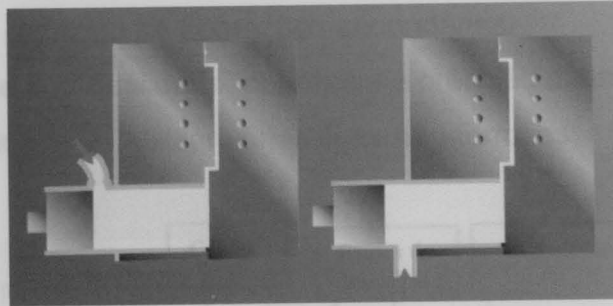


Figura 3 – Introdução de metal no interior da camisa de injeção

2 – O pistão é deslocado e o metal desloca-se para o interior da cavidade do molde.

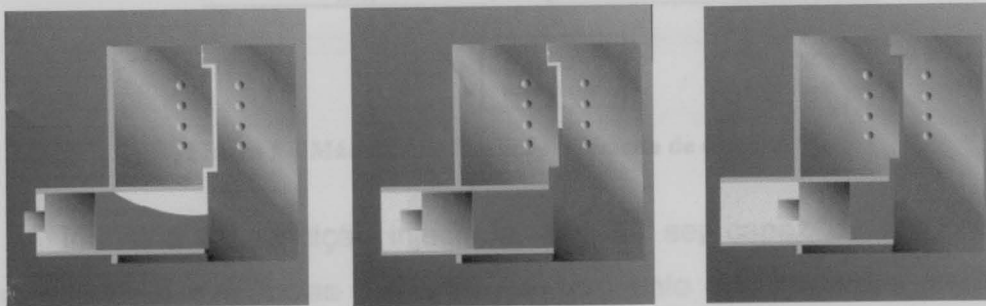


Figura 4 – Evolução do processo

No final o pistão exerce uma pressão de compactação sobre o metal, para minimizar o aparecimento de rechupes ou porosidades devidos à solidificação e contracção do material, sendo a peça posteriormente extraída do interior do molde.

As matérias-primas mais utilizadas são as ligas de metais não-ferrosos de Alumínio, Zinco, Magnésio, Cobre e Chumbo.

O molde deve ser capaz de produzir milhares de peças, o qual deve ser composto de pelo menos duas partes, para permitir a remoção da peça. A força exercida no molde pode ir de 100 a 3300 tons (ligas de Al.), dependendo da liga, a qual é escolhida em função da finalidade a dar à peça a produzir.

Neste processo, o ciclo completo é de longe o mais rápido na produção de peças metálicas não-ferrosas.

As grandes vantagens da fundição injectada podem ser descritas da seguinte forma:

- ✚ Processo bastante rápido (número de peças/hora);
- ✚ Número reduzido de operações secundárias;
- ✚ Peças de boa qualidade, aparência e precisão dimensional;
- ✚ Possibilidade de utilizar várias ligas não-ferrosas;

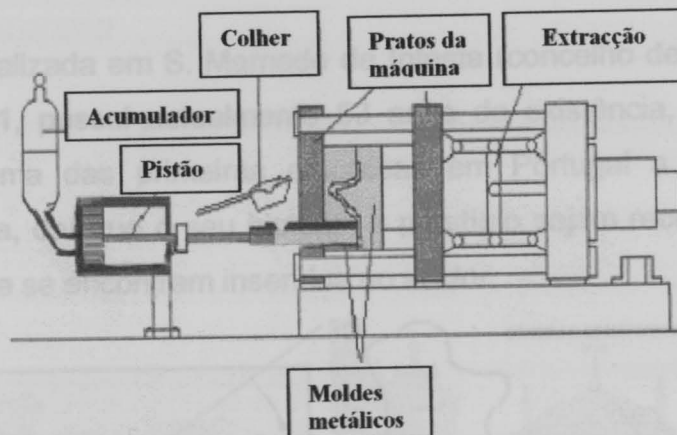


Figura 5 – Máquina de fundição injectada de câmara fria

A indústria de fundição injectada, tem de ser capaz de responder às necessidades e exigências dos seus clientes, pelo que as peças produzidas por este processo devem possuir algumas características de elevada importância:

- ✚ Baixo preço (baixo custo);
- ✚ Boa qualidade;
- ✚ Baixos índices de porosidade;
- ✚ Podem ser produzidas com tolerâncias apertadas;
- ✚ Elevadas cadências;
- ✚ Apresentam elevado tempo de vida;

Para satisfazer de uma forma mais eficiente esses requerimentos, estão a ser permanentemente desenvolvidos e aplicados processos “não-tradicionais” de fundição injectada:

- Fundição injectada por vácuo;
- Squeeze casting;
- Semi solid Metal casting;

Apresentação da Empresa

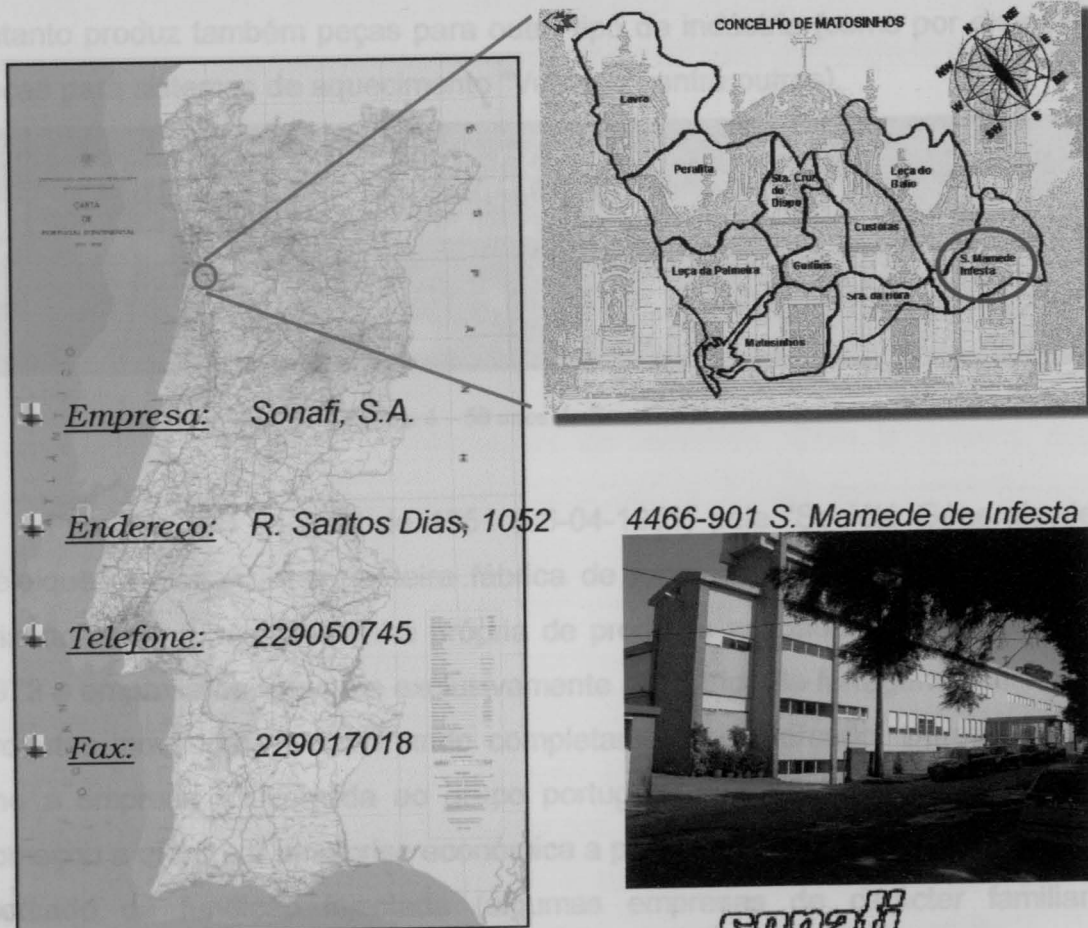
Localização



A empresa na qual foi realizado o projecto em causa, foi a "Sonafi, S.A.", empresa esta dedicada fundamentalmente à fundição injectada, de ligas de alumínio.

Historial da empresa

Estando localizada em S. Mamede de Infesta (concelho de Matosinhos), fundada em 1951, possui actualmente 53 anos de existência, podendo ser descrita como uma das primeiras empresas em Portugal a dedicar-se à fundição injectada, daí que o seu historial e prestígio sejam reconhecidos por todos aqueles que se encontram inseridos no sector.



Empresa: Sonafi, S.A.
Endereço: R. Santos Dias, 1052
Telefone: 229050745
Fax: 229017018

4466-901 S. Mamede de Infesta



Sociedade Nacional de Fundição Injectada, S.A.

A Sonafi, está localizada a uma distância de cerca de 5 km do Aeroporto Francisco Sá Carneiro, a cerca de 3 km da cidade do Porto e a

aproximadamente 8 km do porto de mar de Leixões. Está também muito perto dos acessos às auto-estradas A1 (Porto / Lisboa), A3 (Porto / Braga) e A4 (Porto / Vila Real). De certa forma pode dizer-se que a sua localização é um ponto estratégico relativamente às vias de comunicação, facilitando o transporte de matérias-primas, assim como o envio dos produtos que fabrica, quer para o estrangeiro quer ao nível do território nacional.

Historial da empresa

A “Sonafi, S.A.” é uma empresa dedicada fundamentalmente à fundição injectada, nomeadamente de ligas de alumínio.

Com 53 anos de existência a empresa, localizada em S. Mamede de Infesta, está vocacionada principalmente para a indústria automóvel, no entanto produz também peças para outro tipo de indústria (como por exemplo peças para sistemas de aquecimento “Vulcano”, entre outros).



Figura 6 – 50 anos da Sonafi, S.A.

Fundada a 6 de Abril de 1951 (06-04-1951) pela “Société Générale de Belgique” a Sonafi foi a primeira fábrica de fundição injectada em Portugal, criando desta forma uma linha própria de produtos acabados. Até ao ano de 1973 a empresa dedicava-se exclusivamente ao fabrico de ferragens, lançando produtos inovadores e dominando completamente o mercado. Durante esse ano a empresa foi vendida ao grupo português “Eminco” e já nessa altura começou a enfrentar uma crise económica a par da entrada da concorrência no mercado da fundição injectada (algumas empresas de carácter familiar, colocavam no mercado produtos semelhantes a um preço inferior, colocando a Sonafi numa situação financeira delicada). É na adversidade que desenvolve linhas de produtos acabados para exportação, impondo-se desta forma no mercado.

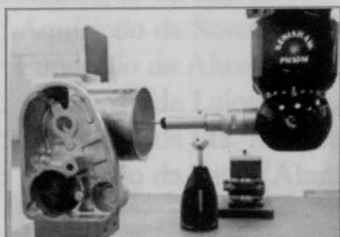
Em 1981, com a vinda da "Renault" para Portugal e já prevendo o aumento da concorrência, a empresa decide repensar a sua estratégia e define como sua principal prioridade a indústria automóvel. Em 1986 a empresa sofre uma mudança ao ser adquirida pela direcção que vigorava na altura. A empresa foi profundamente reestruturada, investindo em equipamentos e tecnologia de ponta, procurando desta forma outros mercados, tais como os de equipamentos de aquecimento a gás. A qualidade sempre foi e ainda é uma das principais apostas da Sonafi pelo foram obtidas as certificações EQAF94, QS9000 E ISO9002.

Em 1988 surge outra mudança na empresa, especializam-se em fundição injectada abandonando o sector dos produtos acabados. Foram gerados fundos por reestruturação das finanças da empresa e realizados investimentos no sector da fundição injectada. Durante o ano de 1989 foi vendida a actividade que se dedicava à produção de ferragens, não só pela disparidade dos níveis de qualidade, mas também por questões estruturais.

Durante o período de 1992 a 1994, a Sonafi beneficiou do programa especial de reestruturação do sector português da fundição: PEDIP.

Em 2001 o grupo internacional EuralCom adquiriu cerca de 40% da Sonafi. Nos dias de hoje a Sonafi é caracterizada pelo seu aumento de automação e sofisticação, com um conseqüente aumento de produção, permitindo-lhe satisfazer as exigências do mercado. Com a compra dos restantes 60% por parte do grupo EuralCom, a Sonafi tem como grande objectivo a internacionalização.

A indústria automóvel é cada vez mais exigente, no que respeita à qualidade, aspectos económicos (relativamente a ganhos e lucros) e até mesmo a prazos de entregas dos produtos, pelo que a empresa tenta constantemente evoluir no sentido de cada vez poder responder melhor e mais rapidamente às exigências dos seus clientes.



É também com esse objectivo que a empresa possui zonas de controlo de qualidade.

A satisfação do cliente é encarada como a maior prioridade e o primeiro objectivo da empresa.

O grupo Euralcom

O grupo Euralcom é um grupo internacional, cujo objectivo é a produção e desenvolvimento de produtos e componentes em ligas de alumínio e magnésio. O grupo abrange um vasto conjunto de clientes, das mais diversas áreas, no entanto é a indústria automóvel europeia o seu grande cliente, representando cerca de 90% do seu volume de negócios.



Figura 7 – Distribuição do grupo EuralCom pela Europa

A euralcom é um grupo descentralizado, isto porque cada uma das empresas que o constituem possui autonomia assim como responsabilidade a nível operacional.

Historial do grupo euralcom:

1952 : Fundação da Brabant Alucast Products

1966 : Fundação da Stampal

1992 : Aquisição da Alu Premetaal

1997 : Fundação do grupo Euralcom (Brabant e Stampal)

1998 : Aquisição da Simbi e fusão com a Stampal

2000 : Fundação da Stampal Machining

2000 : Aquisição da Faramet (Florence & Peillon - FPA - Metal Progres)

2001 : Aquisição da Fabris

2001 : Aquisição da Sonafi

2001 : Fundação da Alusur Do Brasil

2001 : Aquisição da Lajous e Cideb

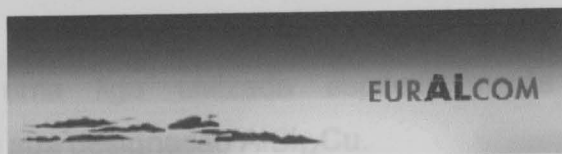
2002 : Aquisição da Ets. R. Brea, MGB, Brea Italia e incorporação do Brea System

2002 : Aquisição da Ritter Aluminium

Nº de funcionários	3800
Retorno - tons	50.000
Retorno - €	€ 520 milhões
Distribuição empresarial (nº de empresas do grupo)	19 (Fr. 7, It. 5, NL 3, D 1, Cz 1, Pt 1, Brasil 1)
Prémios	1990 Aluminium Award (BAP) 1996 Nissan Award Most Improved Supplier (BC) 1996 European Aluminium Award (AP) 1998 European Alu Environment Award (BAP) 2000 Aluminium Award (BAP) 2000 European Alu Environment Award (BAP) 2001 King Willem I Award for international entrepreneurship (BAI) 2002 European Aluminium Innovative Award (Alu Premetaal)
Certificados de qualidade	ISO 9001 / ISO 9002 ISO / TS 16949 AFSQ 94 EAQF Q1 Ford Valeo 1000 VDA Massey Ferguson Eureka
Certificado ambiental	ISO 14002

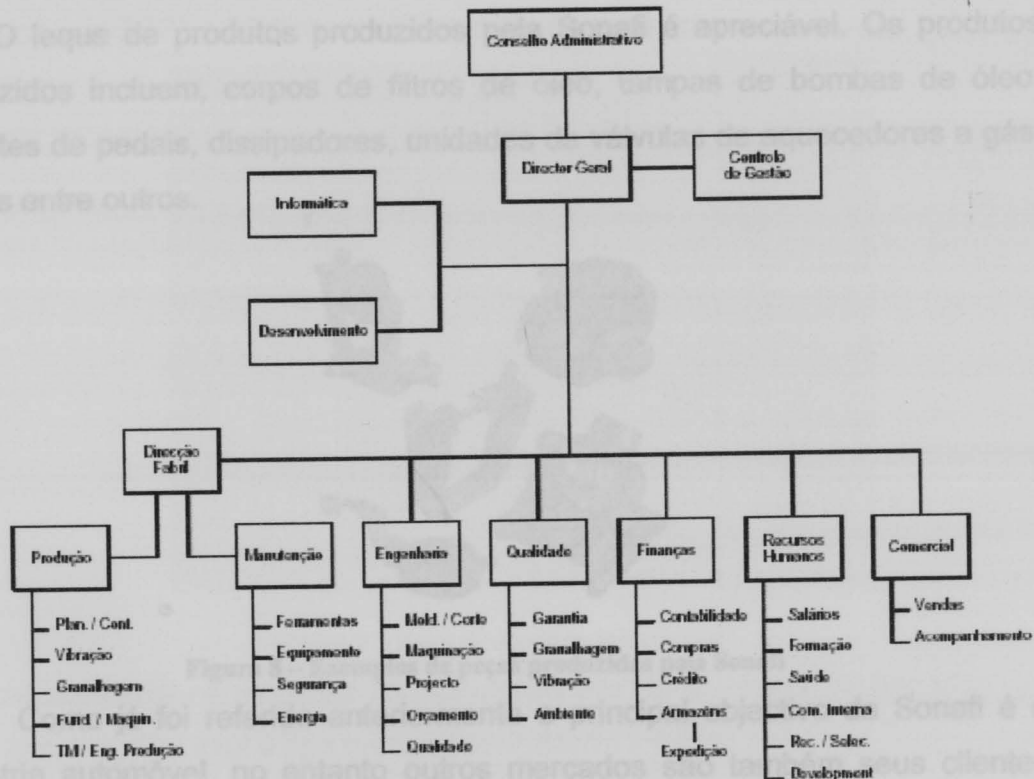


Na totalidade o grupo euralcom trabalha com um vasto conjunto de marcas automóveis, Alfa Romeo, Audi, Bmw, Citroën, Daimler-Chrysler, Ferrari, Fiat, Ford, General Motors, Jaguar, Maserati, Mercedes, Nissan, Peugeot, Porsche, Renault, Toyota, Volkswagen, volvo e outro tipo de fabricantes de veículos de transporte, tais como Iveco, Renault V.I., Mack USA, Volvo Truck e John Deere. Por outro lado, trabalha também para fabricantes de componentes ligados à indústria automóvel, tais como, Bosch, Delphi, Filtrauto, INA, Kolbenschmidt, LUK, Mahle, GM Powertrain, Honeywell-Garret, Magneti Marelli, Siemens, TRW, Valeo, Wabco e ZF.



Estrutura organizativa da empresa

A estrutura da empresa é formada tal como a representada no diagrama seguinte:



Organograma da Empresa

Matérias-Primas, Produtos e Mercados

A actividade da empresa é desenvolvida nas seguintes áreas:

- Fundição injectada em ligas de alumínio

Ligas utilizadas	Norma Europeia (Designação)	Designação Sonafi
AlSi9Cu3	DIN EN 1706 – (EN AC 46000)	Liga vermelha
AlSi10Mg	DIN EN 1706 – (EN AC 43100)	Liga azul
AlSi12	DIN EN 1706 – (EN AC 44200)	Liga branca

Existe ainda uma liga utilizada especificamente para o cliente Volkswagen, sendo a sua designação AlSi₁₂Cu.

- Fabrico de ferramentas para uso próprio.

- Acabamentos de acordo com as especificações dos clientes utilizando vários métodos, tais como a granalhagem, a vibração e a maquinagem.

O leque de produtos produzidos pela Sonafi é apreciável. Os produtos produzidos incluem, corpos de filtros de óleo, tampas de bombas de óleo, suportes de pedais, dissipadores, unidades de válvulas de aquecedores a gás, pedais entre outros.

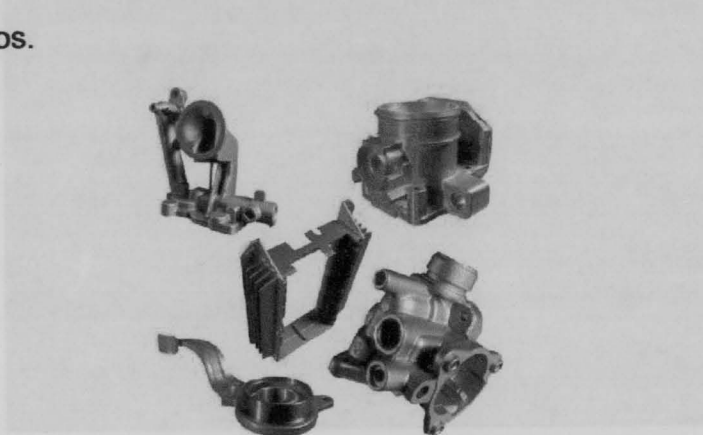
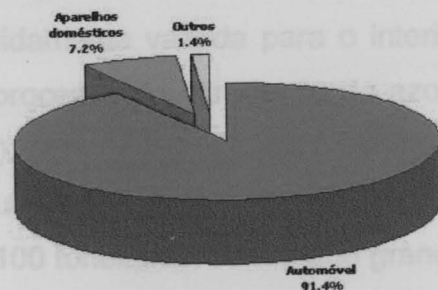


Figura 8 – Exemplos de peças produzidas pela Sonafi

Como já foi referido anteriormente o principal objectivo da Sonafi é a indústria automóvel, no entanto outros mercados são também seus clientes (indústria de equipamentos de gás).

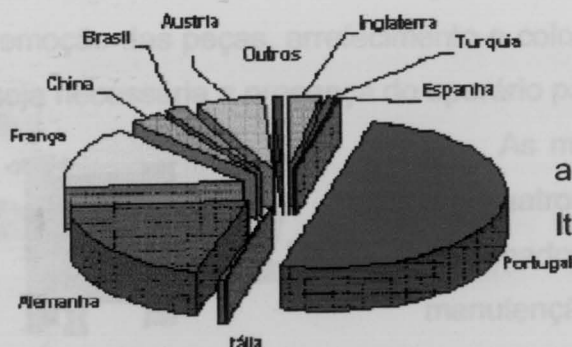
Os produtos produzidos pela Sonafi podem ser divididos em três grupos:

- ✚ Automóvel (91.4%)
- ✚ Aparelhos domésticos (7.2%)
- ✚ Outros (1.4%)



Categorias de produtos

Os principais mercados de actuação são: Portugal, Espanha, Itália, Alemanha, França, entre outros.



Equipamentos

Para realizar a fusão da matéria-prima na Sonafi existem fornos de fusão de soleira accionados a gás natural. Cada um dos fornos é utilizado para uma única liga, para que deste modo não ocorra o perigo de contaminação das mesmas. A matéria-prima vem em lingotes sendo estes misturados numa proporção de 50 % – 50 % com os resíduos de produção.

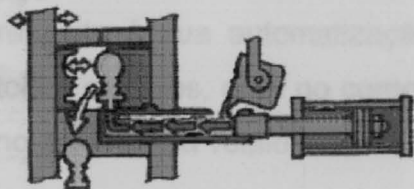


Figura 9 – Zona de fundição injectada

Actualmente na empresa são utilizadas três tipos de liga, designadas por liga vermelha, liga azul e liga branca (designação interna).

A liga é vazada dos fornos de fusão para um cadinho, que é transportado pela empilhadora até aos fornos de manutenção (em cada máquina de injeção existe um forno de manutenção) sendo seguidamente vazada para o interior destes. A escória é libertada através de um processo de introdução de azoto para o interior da liga (libertando as impurezas).

A Sonafi possui um vasto leque de máquinas de injeção de câmara fria, cujas forças de fecho variam desde 200 até 1100 toneladas, sendo que grande parte destas células de fundição são automatizadas (vazamento do metal, remoção das peças, arrefecimento e colocação dos gitos no tapete), ainda que seja necessária a presença do operário para controlar o processo.



As máquinas estão dispostas em alvéolos de quatro para permitirem a passagem das empilhadoras que abastecem os fornos de manutenção e para facilitar também o transporte das peças.

Método de produção

A existência de células de injeção automatizadas na Sonafi é utilizada para diminuir a dependência do processo do operário com a consequente diminuição de falhas no processo devido a erro humano, no entanto este continua a ser indispensável para efectuar operações tais como, a colocação do gito no cortante e controlo do processo.

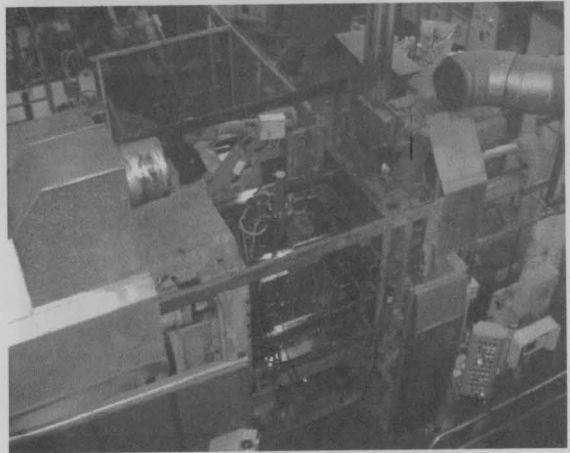


Figura 10 – Célula de injeção

Nas máquinas automáticas, a lubrificação do molde é garantida por um braço automatizado que, durante abertura do molde e após a extracção do jito, possui um movimento descendente aplicando simultaneamente o agente desmoldante (lubrificante) e, posteriormente ar.



Figura 11 – Braço de lubrificação

O lubrificador possui vários bicos direccionáveis, deste modo as zonas mais críticas podem ser bem lubrificadas.

O material é introduzido na camisa de injeção através de um cadinho que faz o seu transporte do forno de manutenção (colocado junto da célula de injeção) até à zona de admissão da camisa.



Figura 12 - Alimentação

Neste tipo de máquinas o jito é retirado por um dispositivo designado por "Pick-Mat". Este tipo de sistemas permitem uma diversidade elevada no que diz respeito à sua automatização. Os sistemas ABB permitem movimentos em todos os eixos, quer no corpo quer na haste, possuindo o efeito de "Pick-Mat", no entanto na realidade, é um robot. Os restantes tipos de sistemas são na

realidade bastante mais limitados nos seus movimentos, nomeadamente do corpo e da haste, não permitindo movimentos muito complexos.

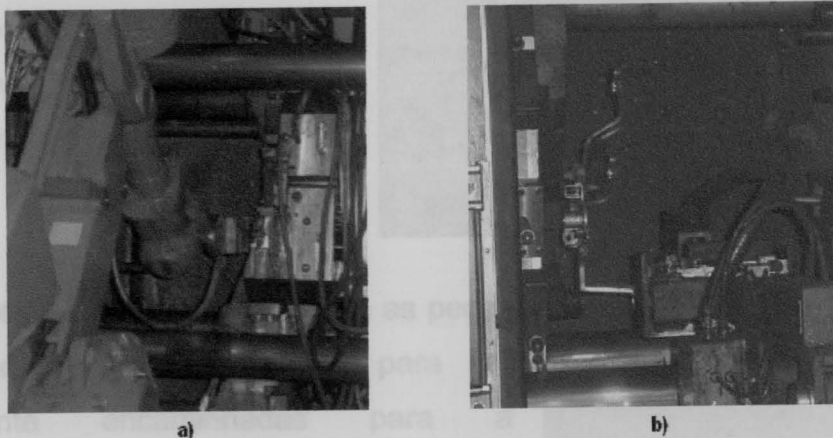


Figura 13 – (a) Extração do jito por robot; (b) Extração do jito com “Pick-Mat”

Nos sistemas da ABB, o arrefecimento é realizado pelo próprio robot num tanque de água. A água é recirculada para ser possível que se mantenha à temperatura ambiente e não contenha impurezas, evitando desta forma a contaminação do gito.

Por outro lado também é realizado um “escorrimento” do jito para que este seja seco mais rapidamente.

Este tipo de arrefecimento promove um tempo de arrefecimento bastante inferior.



Figura 14 – Arrefecimento do jito no tanque

No caso das máquinas que utilização o sistema “Pick-Mat” o jito após extraído do molde é colocado num tapete que o conduz através de um túnel de arrefecimento.

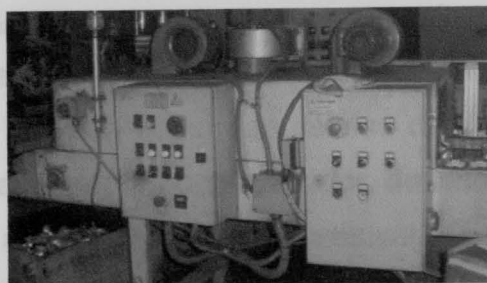
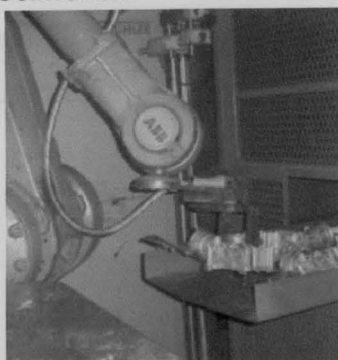


Figura 15 – Túnel de arrefecimento



Posteriormente o gito é colocado no tapete que o transporta até ao operador.

Figura 16 – Robot a pousar o jito no tapete

Após o gito ter sido retirado do tapete pelo operador, este é colocado no cortante de modo a que seja separado as peças do canal de alimentação, masselotes e rebarbas.

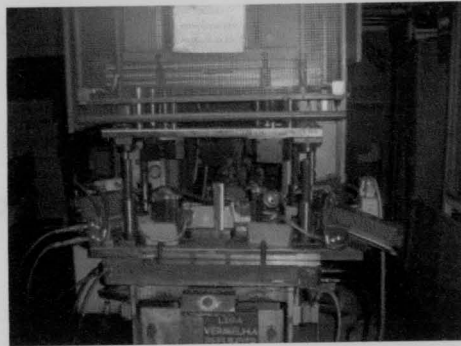


Figura 17 - Cortante

Após realização do corte de gito as peças são acomodadas em contentores para ser posteriormente encaminhadas para a granalhagem ou vibração, para o acabamento superficial.



Figura 18 - Colocação de peças no contentor

Posteriormente são realizadas operações de maquinagem, se a peça assim o exigir, e é efectuada a sua lavagem e posterior controlo dimensional e de estanqueidade se o tipo de peça a produzir necessitar deste meio de controlo.

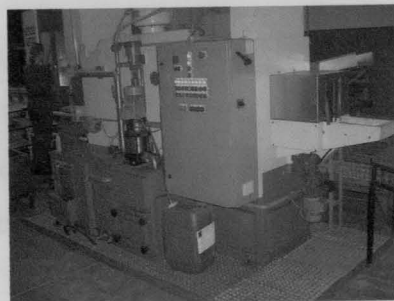


Figura 19 - Máquina transfer (à esquerda), máquina de lavar (à direita)

Nas células semi-automáticas o procedimento é semelhante no entanto, não existe um grau de automatização tão elevado como nas células citadas anteriormente. Isto é, a lubrificação é realizada pelo próprio operador, devendo este ter o máximo de cuidado em relação às zonas onde seja possível surgir gripadelas. Por outro lado também a extracção do gito é efectuada manualmente.



Figura 20 - Lubrificação e retirada do gito manualmente

Definição do projecto

Objectivo do projecto:

- Optimização de processo de produção de uma peça para a indústria automóvel.

Descrição do projecto:

- O objectivo proposto a atingir durante a realização deste projecto seria a optimização do processo de obtenção de uma peça. Para tal foi necessário o desenvolvimento de soluções que visam reduzir o tempo de ciclo, aumentando deste modo o grau de produtividade, assim como a utilização de uma menor quantidade de metal em cada gito conduzindo a uma consequente redução de custos do processo (nomeadamente custo de alumínio utilizado para cada gito, custos energéticos, estando nestes incluídos os custos de refundir a liga, entre outros).

Descrição da peça:

- Corpo de um filtro de óleo para a indústria automóvel
A peça tem como objectivo filtrar o óleo do motor e arrefecer o mesmo, possuindo deste modo dois circuitos, um de óleo e um de água. A peça é fixada ao motor sendo nela montado um permutador de calor, filtro de óleo e outros elementos.

O ciclo de produção de uma qualquer peça em fundição injectada engloba as seguintes etapas (figura 21):

Ciclo de produção de uma peça em fundição injectada

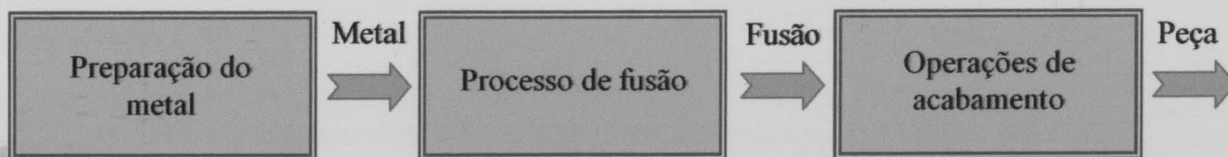


Figura 21 – Ciclo de produção em Fundição Injectada

O ciclo básico de um qualquer processo de fundição injectada (figura 21) é comum a qualquer tipo de peça obtida por este processo, podendo no entanto incluir para além das etapas definidas anteriormente um outro conjunto de etapas intermédias dependendo disso do tipo de peça a realizar, nomeadamente da sua geometria ou de algum tipo de características específicas que esta possa exigir.

O objectivo do projecto como já foi mencionado anteriormente, consistiu na optimização do processo de obtenção de uma peça para a indústria automóvel.

Para ser possível conhecer o processo e todo o procedimento utilizado na produção da peça em causa, houve a necessidade de se efectuar um estudo acerca de todo o procedimento efectuado até ao momento com o intuito de se conhecer todo o desenvolvimento do projecto desde a sua fase de estudo e análise, assim como o seu desenvolvimento até ao momento actual.

Após efectuada a análise de toda a documentação disponível acerca do processo de produção da peça em causa (nomeadamente a análise do DAQF “Dossier Assurance Qualité Fournisseur”), foi possível analisar não só a evolução do projecto (como sejam as alterações que a peça e o molde associado a esta, foram sofrendo ao longo do tempo, bem como todo um conjunto de critérios de avaliação que visam assegurar a qualidade das mesmas e responder às exigências do cliente) assim como as diversas fases pelo qual passa o desenvolvimento de um projecto deste tipo.

Na Sonafi recorre-se à utilização de meios mecânicos e/ou electrónicos para a realização dos meios de controlo.

Cr = 0.0242 %	
Sn = 0.0260 %	Mn = 0.1683 %
Mg = 0.1609 %	Ti = 0.04 %
Cr = 0.0004 %	Ni = 0.1350 %

Através da análise dos limites máximos e mínimos dos teores existentes na forma para a liga em causa (ver anexo A), pode concluir-se que os valores são aceitáveis, após realização de análise química no laboratório de metalurgia.

Propriedades do processo

Características da liga utilizada

O material em que a peça é produzida, é naturalmente uma liga de alumínio mais especificamente AlSi9Cu3. Esta liga era designada pela empresa (designação interna) como liga vermelha.

A liga em questão é designada segundo as diferentes normas conforme exposto na tabela seguinte (tabela 1):

DIN	GB BS	USA ASTM	ASIA JIS
G - Al Si9 Cu3	LM 24	A 380,0	ADC 10

Tabela 1 – Classificação da liga segundo diferentes normas

Para comprovar os teores dos diferentes componentes existentes na liga em questão são realizadas análises à liga para comprovar os teores dos diferentes elementos que a constituem. Os resultados obtidos demonstram, que cada elemento da liga está dentro dos parâmetros aceitáveis, definidos pela norma.

Al = 85.32 %	Cu = 3.2970 %
Zr = 0.0101 %	Zn = 0.644 %
Pb = 0.0654 %	Si = 9.232 %
Fe = 0.8440 %	Cr = 0.0242 %
Sn = 0.0260 %	Mn = 0.1888 %
Mg = 0.1609 %	Ti = 0.04 %
Sr = 0.0004 %	Ni = 0.1350 %

Através da análise dos limites máximos e mínimos dos teores existentes na norma para a liga em causa (ver anexo A), pode concluir-se que os valores são aceitáveis, após realização de análise química no laboratório de metalurgia.

Processo de produção da peça

O ciclo de produção da peça em questão é o seguinte:

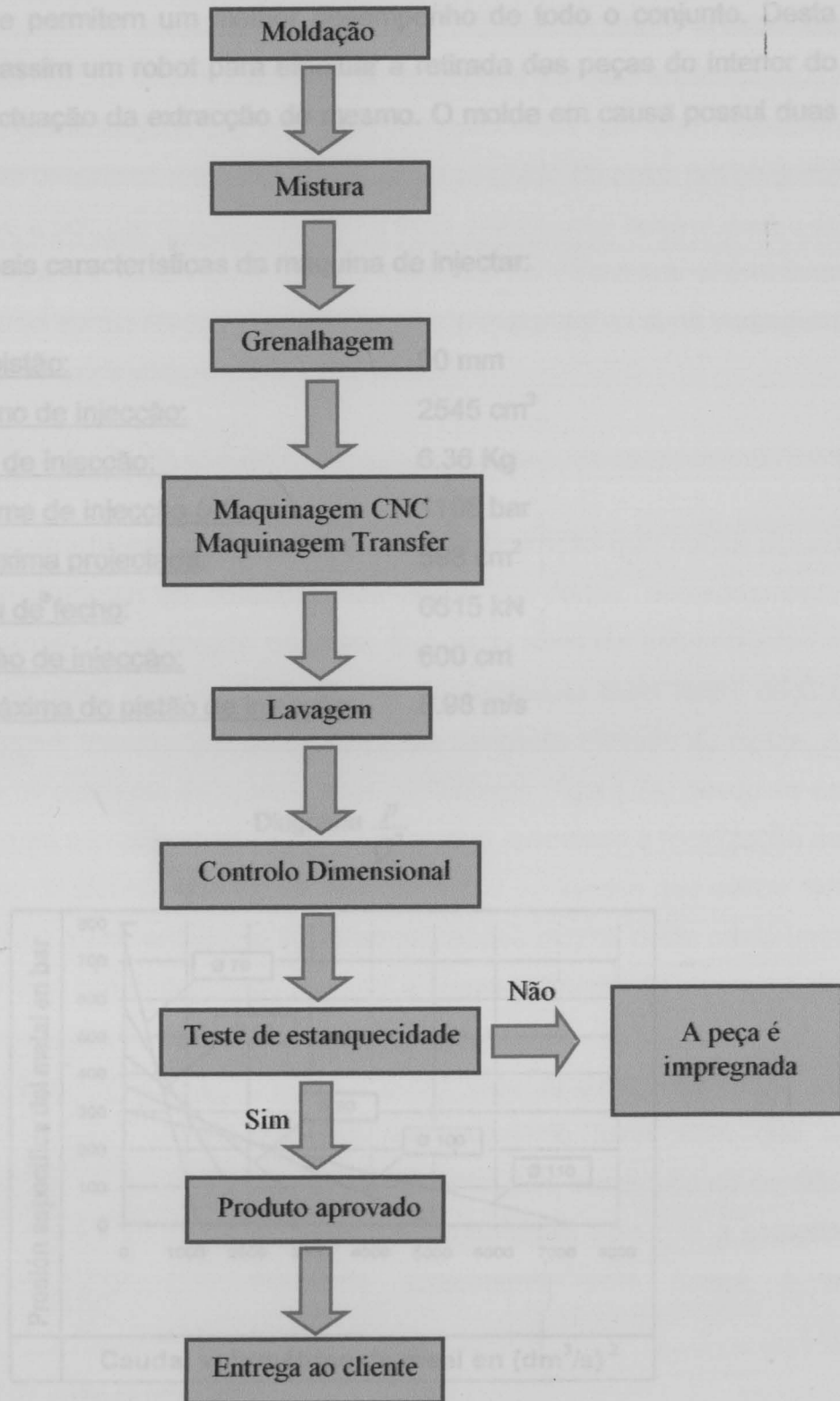


Figura 22 – Ciclo de produção da peça em causa

Características da máquina de injectar

A máquina de injectar utilizada para a produção da peça em questão é uma Buhler Evolution 66D, existindo também um conjunto de elementos periféricos que permitem um melhor desempenho de todo o conjunto. Desta forma, existe assim um robot para efectuar a retirada das peças do interior do molde após actuação da extracção do mesmo. O molde em causa possui duas cavidades.

Principais características da máquina de injectar:

<u>Diâmetro do pistão:</u>	90 mm
<u>Volume máximo de injeção:</u>	2545 cm ³
<u>Peso máximo de injeção:</u>	6.36 Kg
<u>Pressão máxima de injeção (AI):</u>	1106 bar
<u>Superfície máxima projectada:</u>	598 cm ²
<u>Força máxima de fecho:</u>	6615 kN
<u>Curso do pistão de injeção:</u>	600 cm
<u>Velocidade máxima do pistão de injeção:</u>	8.98 m/s

Diagrama $\frac{P}{Q^2}$

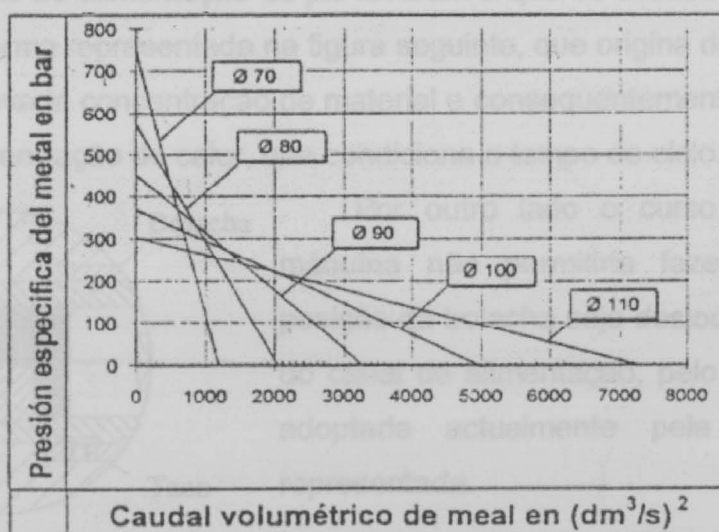


Figura 23 – Diagrama P/Q^2

Alternativas propostas para o projecto

Para a realização do projecto proposto foram definidas e estudadas um conjunto de alternativas possíveis a implementar no projecto, com o objectivo de se atingir o que foi inicialmente proposto. Durante o estudo e análise das diferentes alternativas foram encontradas vantagens na sua implementação bem como as desvantagens que lhes estariam associadas que foram deixando essas mesmas propostas para trás, tendo sido escolhida de entre um conjunto de alternativas a solução que pareceu ser a mais ambiciosa e factível dentro do contexto em que se insere este tipo de trabalho. As diferentes alternativas estudadas serão apresentadas de seguida, sendo expostas as suas vantagens e as limitações encontradas em cada uma delas.

O porque da situação actual?

O molde na situação actual possui uma configuração que causa alguns problemas no processo de obtenção das peças em causa, nomeadamente pontos de grande concentração de calor que para além de influenciarem o tempo de ciclo como consequência de um arrefecimento mais lento, origina tensões de origem térmica que conduzem a um desgaste elevado do molde. A forma do gito tal como ela se apresentava inicialmente (figura 24) deveu-se ao facto de existirem certas limitações na máquina que associada à localização do plano do canal de alimentação do jito levaram a que se tivesse que utilizar um taco com a forma representada na figura seguinte, que origina deste modo uma zona com elevada concentração de material e consequentemente uma zona de elevada concentração de calor, que condiciona o tempo de ciclo.

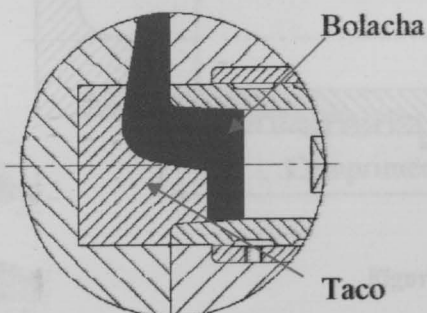


Figura 24 – Situação actual do processo

Por outro lado o curso disponível na máquina não permitiria fazer com que a posição da bolacha seja deslocada no sentido do canal de alimentação, pelo que a solução adoptada actualmente pela Sonafi é a representada.

Após realização de uma análise detalhada da máquina em causa (Buhler 66D Evolution, consultar anexo B), assim como de todo um conjunto de desenhos referentes ao molde, à peça e à máquina, foi possível concluir que essas limitações são ultrapassáveis, pelo que se iniciou o estudo das alternativas possíveis a implementar no projecto. Foi ainda realizado algumas medições na máquina para assegurar a veracidade de algumas das medidas expostas na documentação colocavam algumas dúvidas.



Figura 25 – Máquina de injeção Buhler Evolution 66D (Sonafi S.A.)

Um aspecto que foi tido em consideração e que é de grande importância no processo em questão é a variação do valor da taxa de enchimento com a realização das alternativas propostas, pelo que se tornou necessário proceder ao seu cálculo para ser possível de comparar e tirar conclusões:

É sabido que a taxa de enchimento estabelece a relação entre o volume de material a injectar e o volume da câmara de compressão do material (figura 26).

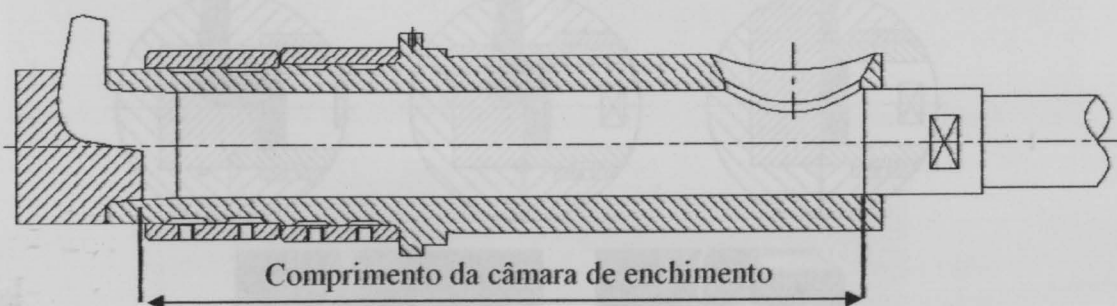


Figura 26 – Taxa de enchimento

$$\text{Taxa de enchimento} = \frac{\text{Volume de material}}{\text{Volume da câmara de enchimento}}$$

Nas condições actuais do processo o valor da taxa de enchimento utilizado pela Sonafi neste processo em particular, é de aproximadamente 40%, valor, que veio a ser confirmado analiticamente pelos cálculos realizados.

Volume total do gito:	0,00156	m ³
Comprimento da câmara de injeção:	612,5	mm
Secção do pistão de injeção:	6361,725	mm ²

$$Taxa.de.enchimento = \frac{0.00156}{0.6125 \times 0.006361725} \times 100 = 40.1\%$$

Nota: Os cálculos expostos anteriormente podem ser analisados detalhadamente, consultando o anexo C.

Após análise de todas as possibilidades que se poderiam implementar para atingir o objectivo do projecto, foram desenvolvidas três soluções para alteração no processo/produto:

1 – Análise de alterações na geometria da peça com vista a modificar a configuração da mesma ou da própria linha de apartação, não alterando no entanto a sua funcionalidade ou elementos que sirvam de referência ao posicionamento ou montagem da mesma.

2 – Eliminação de parte do canal de alimentação junto da bolacha, por modificação de alguns elementos do molde e/ou da máquina (camisa de injeção, taco, pistão de injeção, vara porta-pistões e vareta de refrigeração).

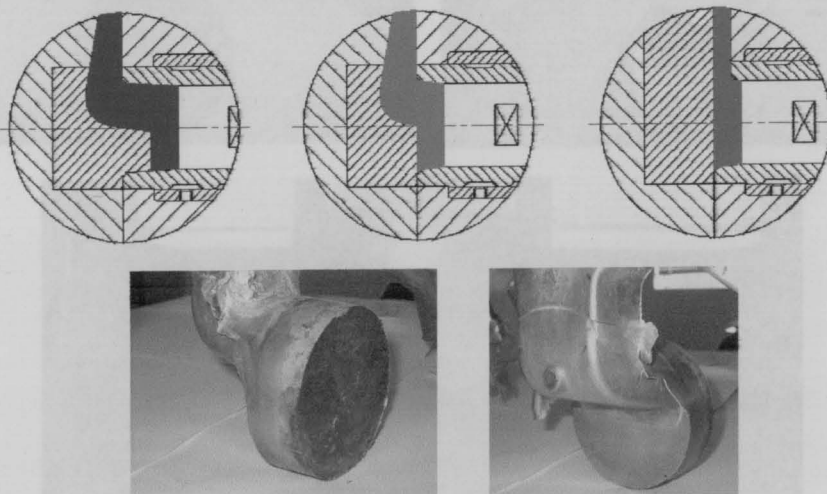


Figura 27 – Situação actual e alternativas.

3 – Eliminação de parte do canal de alimentação junto da bolacha acompanhada pela alteração do posicionamento do plano onde o canal de alimentação se encontra.

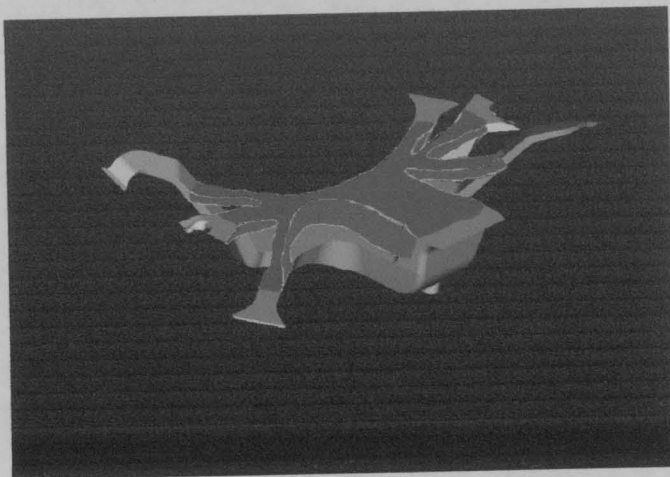


Figura 28 – Esquemática da alteração a efectuar

Foram desenvolvidas fundamentalmente o grupo de soluções descrito anteriormente, pelo que foram analisadas as suas vantagens, assim como as suas desvantagens, tendo sido seleccionada aquela que pareceu reunir todas as condições para obter os resultados esperados no projecto.

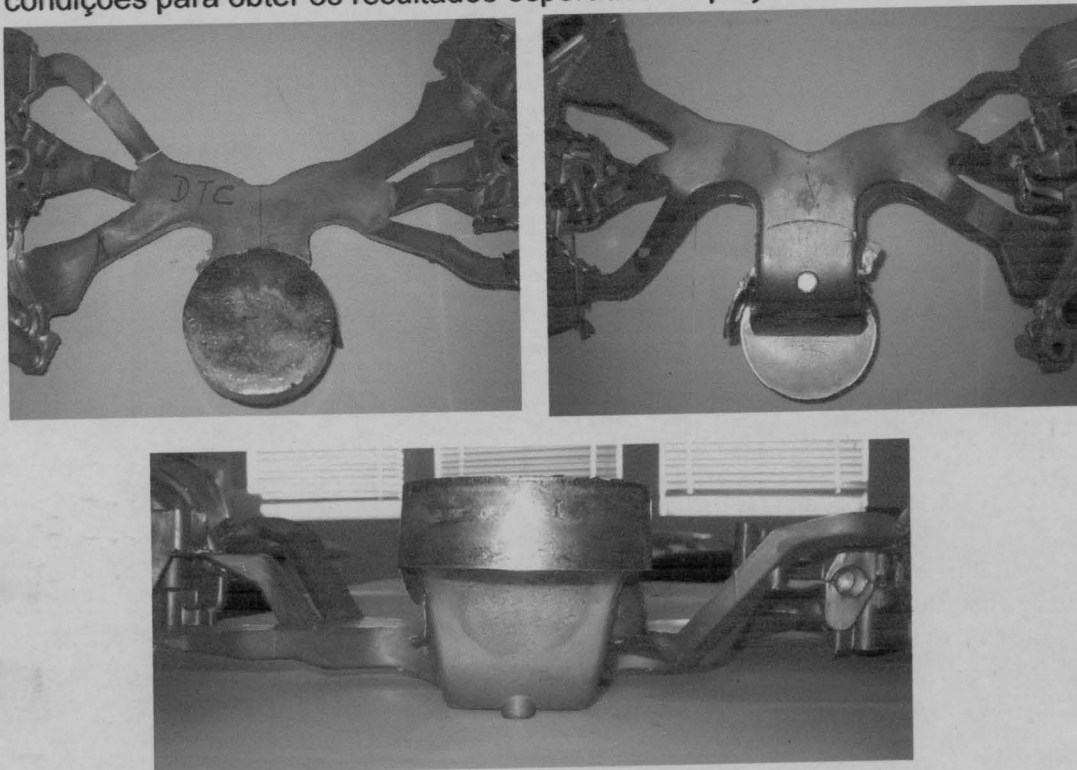


Figura 29 – Gito na configuração actual

Análise da viabilidade das soluções apresentadas

Primeira solução estudada

A possibilidade de alterar a geometria da peça seria, à partida, um projecto bastante ambicioso e de grande interesse, visto que ao alterar a configuração (por exemplo, pela alteração de algumas zonas massivas) da mesma ter-se-ia de garantir a sua funcionalidade bem como a existência de alguns elementos importantes de referência (elementos de posicionamento). A alternativa apresentada apesar de bastante interessante, após análise, não foi considerada, isto devido ao facto de se poder tornar num processo bastante moroso e não poder existir a possibilidade de implementar na prática as alterações pretendidas, visto que seria necessário um estudo detalhado da peça e das possíveis zonas passíveis de serem alteradas, no entanto essas mesmas alterações teriam de ser demonstradas perante o cliente e teria de ser este a dar a sua aprovação, pelo que a obtenção de resultados práticos poderia não ser possível dentro do tempo em que o projecto teria de ser desenvolvido. Pelo que por todos os motivos apresentados anteriormente, concluiu-se que esta alternativa não seria muito viável dentro do contexto em que se insere este tipo de projecto, não deixando de ser, no entanto, um possível ponto de estudo a desenvolver pela empresa futuramente, no âmbito do desenvolvimento do produto.



Figura 30 – Canal de alimentação objecto de análise

Segunda solução estudada

Na segunda alternativa proposta, foram definidos um conjunto de acções que passariam pela alteração dos elementos da máquina de injeção e do molde, com vista à eliminação da parte do canal de alimentação junto da bolacha (figura 31).

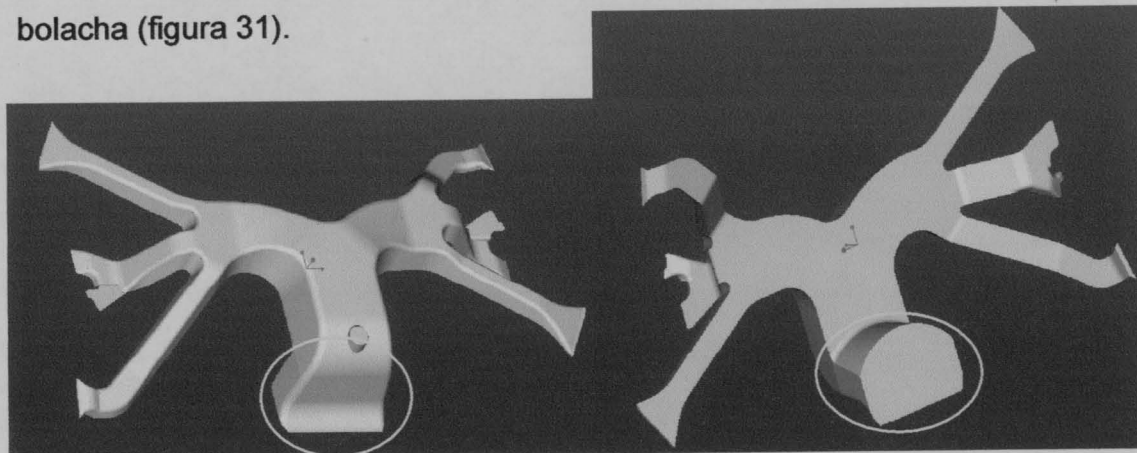


Figura 31 – Gito actual

Uma primeira abordagem para a resolução do problema em causa, passaria pela realização do aumento do comprimento do pistão de injeção numa distância igual ao comprimento do material a remover, para desta forma eliminar a presença do taco e consequentemente eliminar a zona do canal referida anteriormente. Há no entanto que ter em consideração o facto de esta alteração poder vir a alterar significativamente a taxa de enchimento do processo que actualmente já é um valor baixo se tivermos em consideração que o valor da taxa de enchimento recomendado varia entre 50 e 75%, sendo o valor da taxa de enchimento do processo actualmente de cerca de 40 %.

Volume do gito:	0,00149	m ³
Comprimento da câmara de injeção:	612,5	mm
Secção do pistão de injeção:	6361,725	mm ²

$$Taxa.de.enchimento = \frac{0.00149}{0.6125 \times 0.006361725} \times 100 = 38.2 \%$$

Como se pode verificar pelo cálculo representado anteriormente, com esta alteração a taxa de enchimento diminui ligeiramente, isto porque o único factor que seria alterado, seria o volume de material a injectar que seria necessariamente menor, sendo que o comprimento da camisa se mantém

constante devido ao facto de estarmos a eliminar a parte do canal de alimentação pretendido mas estarmos a aumentar simultaneamente o comprimento do pistão na mesma dimensão.

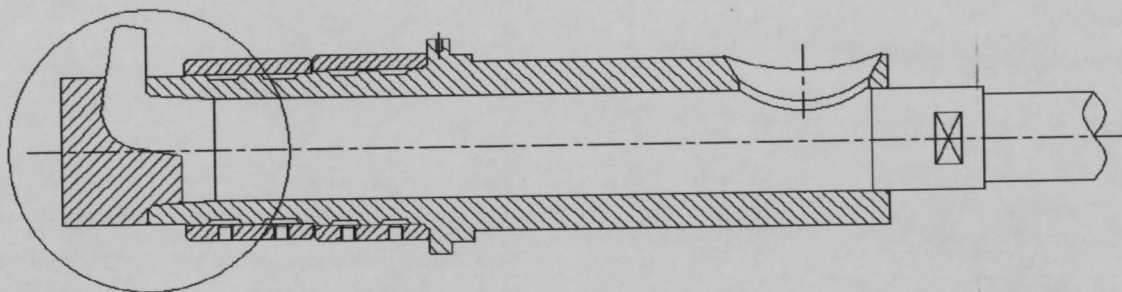


Figura 32 – Camisa de injeção, taco e pistão

Ao realizar esta alteração iria existir a necessidade de prolongar o orifício através do qual o metal é introduzido no interior da camisa de injeção (Figura 33), isto porque ao prolongar o comprimento do pistão de injeção, este iria obstruir parte do orifício, dificultando desta forma a introdução do metal no interior da camisa.

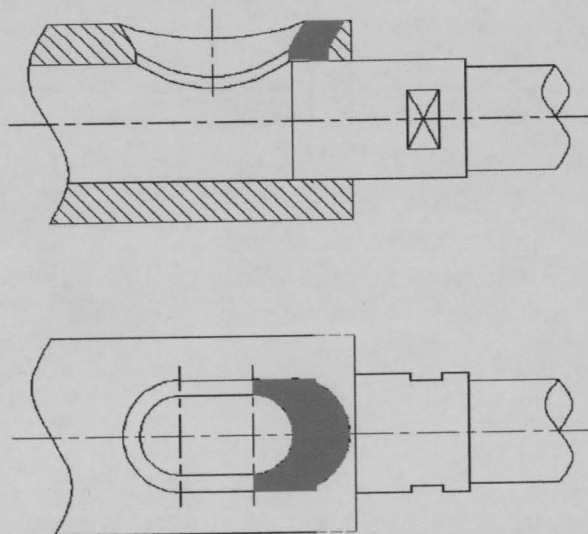
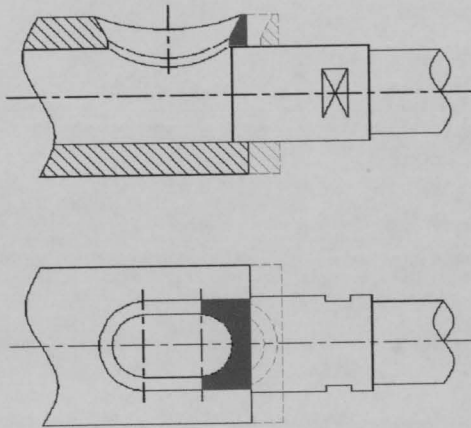


Figura 33 – Alteração do orifício da camisa de injeção

Por outro lado, haveria ainda a preocupação de tapar a parte do mesmo orifício junto da extremidade (zona assinalada a vermelho na figura anterior) da camisa que iria fazer com que a superfície exterior do pistão ficasse desprotegida, podendo ocorrer o risco de durante a deposição do metal líquido no interior da camisa, algum metal se depositar sobre a superfície exterior do

pistão, dificultando desta forma o seu movimento e contribuindo para um desgaste prematuro.



Uma alternativa a este problema poderia passar pelo corte da camisa na zona do pistão e desta forma poder-se-ia tapar mais facilmente a zona do orifício que ficaria aberta (figura 34), poder-se-ia ainda deixar uma pequena folga entre a superfície inserida na camisa e a superfície do pistão para minimizar o efeito que a existência dessa descontinuidade teria sobre a vida do pistão.

Figura 34 – Reconstrução do orifício da camisa de injeção

Desta forma, seria possível eliminar a parte do canal de alimentação junto da bolacha, não necessitando da presença do taco (também designada por inserção de impacto). No que diz respeito aos elementos da máquina, a solução poderia passar pela fabricação de diversos pistões (visto que estes possuem normalmente uma degradação e desgaste superior às varas porta-pistões), com o comprimento especificado. Haveria ainda a necessidade de ajustar a vareta de refrigeração da vara porta-pistões e do pistão, aumentando também o seu comprimento, bastando alterar o comprimento do tubo em latão (Figura 35), pelo que não haveria a necessidade de alterar as varas porta-pistões actuais, podendo estas ser reaproveitadas.

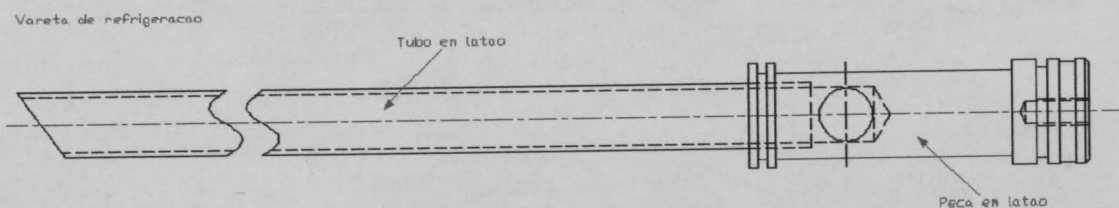


Figura 35 – Vareta de refrigeração

O principal inconveniente desta solução, estaria relacionado com o facto de que ao efectuar-se o aumento do comprimento do pistão de injeção, a bolacha iria formar-se numa zona mais próxima da extremidade da camisa de injeção (figura 36).

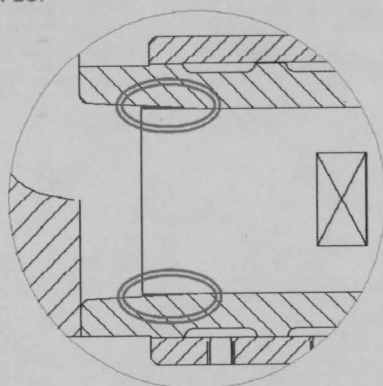


Figura 36

Devido a este facto e tendo em conta que existe na zona da bolacha um ângulo de saída de aproximadamente 3 graus, iria ocorrer a formação de uma película de alumínio que tenderia a envolver o pistão de injeção dificultando o seu movimento e contribuindo para a sua deterioração prematura (figura 36).

Uma outra possibilidade que foi estudada, foi o facto de se poder realizar o corte da camisa de injeção junto da zona da bolacha. Desta forma proceder-se-ia ao deslocamento da mesma na direcção do molde, de salientar o facto de que o corte da camisa, tal como foi referido anteriormente, implicaria necessariamente um aumento do comprimento do pistão, assim como a natural eliminação do taco. Deste modo também se conseguiria contornar o problema da limitação do curso do pistão e atingir o objectivo inicial. Por outro lado, outro tipo de inconvenientes surgirão, pelo que esta solução após uma análise cuidada foi rejeitada, isto porque, ao cortar a camisa junto da zona da bolacha, iria necessariamente afectar o anel de refrigeração nº 1 (figura 37), bem como a eliminação do guiamento entre esta e o molde.

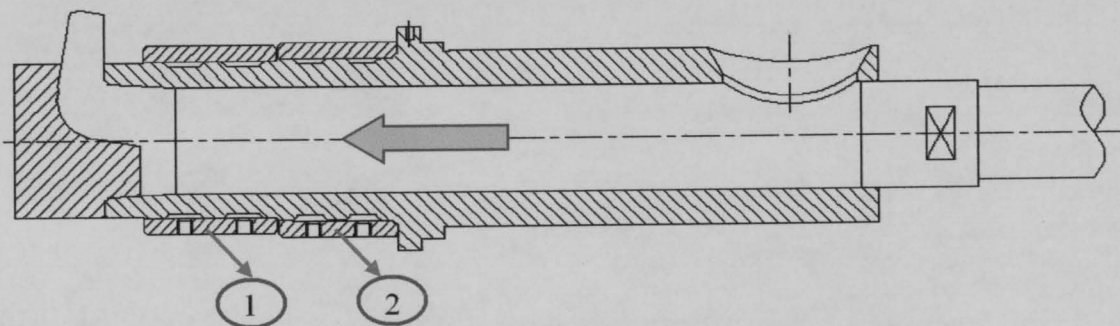


Figura 37 – Camisa de injeção

Ao deslocar-se a camisa de injeção na direcção da bolacha, iria também existir a necessidade de se alterar a forma de ajuste desta no molde (figura 38), o que para além de ser de difícil concepção, existiria o risco de não ser garantido um ajuste preciso e correcto da camisa de injeção no molde.

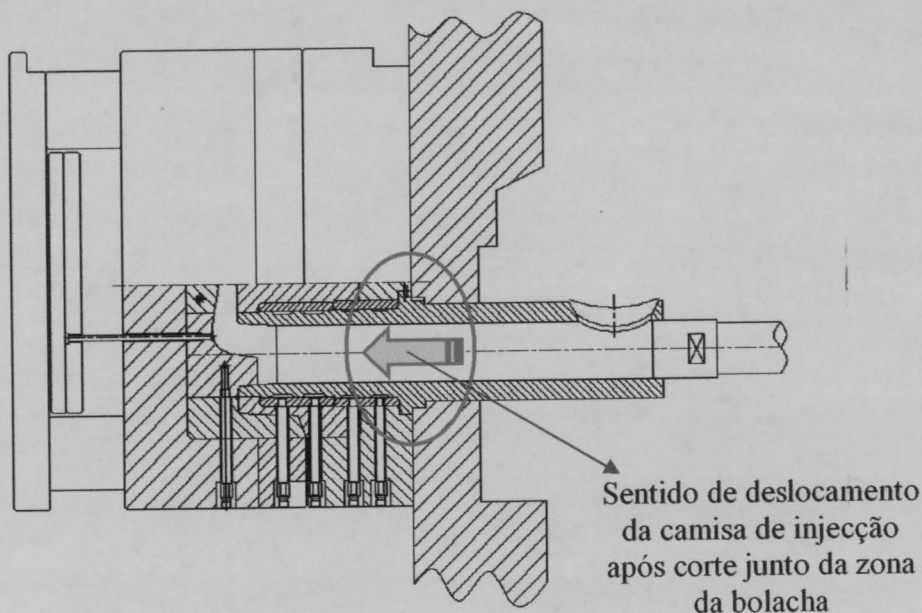


Figura 38 – Molde e camisa de injeção

Por último, ter-se-ia de ter em consideração o facto de que ao cortar a extremidade da camisa junto da zona da bolacha, estaria a eliminar uma zona onde existe saída na parede interior da mesma, pelo que seria necessário rectificar a zona interior da camisa para colocar na dimensão pretendida a zona de formação da bolacha.

Uma outra alternativa analisada, seria a de colocar a bolacha directamente ligada sobre o canal de alimentação (figura 39) conseguindo-se desta forma uma economia de material em cada jito ainda maior do que a que se conseguirá obter com as alternativas anteriores, de salientar ainda o facto de que neste caso o canal passaria a ser moldado no lado fixo do molde.

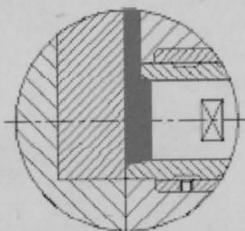


Figura 39 – Alteração do canal de alimentação

Com a implementação da alteração referida, haveria a necessidade de repensar a forma como o robot agarra o gito para o retirar do interior do molde, visto que na situação actual, as garras do robot estão dispostas verticalmente (figura 40), esta situação deixaria de ser possível, devido ao facto de o canal de

O principal inconveniente desta solução está relacionada com o facto de o robot de extracção da peça não a conseguir agarrar da mesma forma, dificultando a extracção do jito.

alimentação estar colocado directamente sobre a superfície exterior da bolacha.

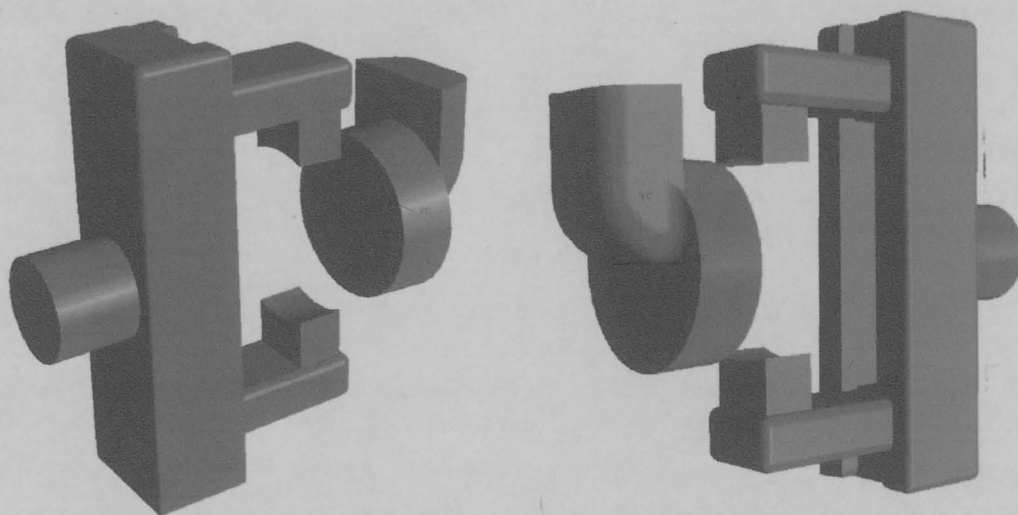


Figura 40 – Representação da forma como o robot agarra o jito

A solução para ultrapassar estes problema, seria rodar as garras do robot 90°, fazendo com que desta forma o robot agarra-se o jito de uma outra forma (figura 41).

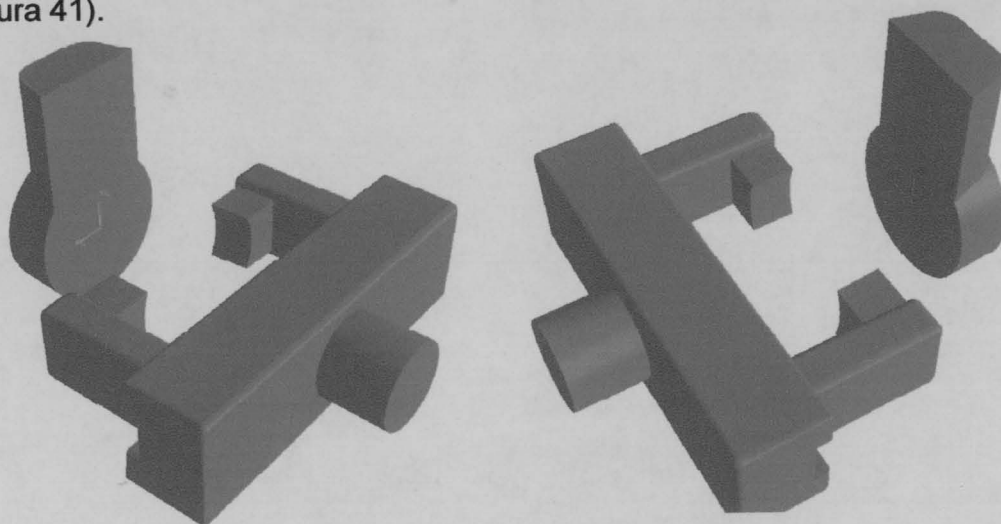


Figura 41 – Representação da alteração na forma como o robot agarra o jito

Por outro lado, concluiu-se que existiriam também limitações, no que respeita à movimentação do braço do robot no espaço em que este se encontra inserido, nomeadamente o perigo de ao retirar o jito do interior do molde, existir o risco de este ou o próprio jito chocar com as colunas da máquina.

Uma outra alternativa analisada para melhorar o desempenho do processo em causa, foi a possibilidade de aumentar o diâmetro dos pistões de injeção, acompanhado pelo seu aumento de comprimento como referido

anteriormente. Para tal seria realizada a rectificação do interior da camisa de injeção, desta forma poder-se-ia reutilizar as camisas de injeção existentes. A rectificação da camisa poderia ser efectuada de duas formas: uma das alternativas passaria pela rectificação do diâmetro interno da camisa em todo o seu comprimento (figura 42).

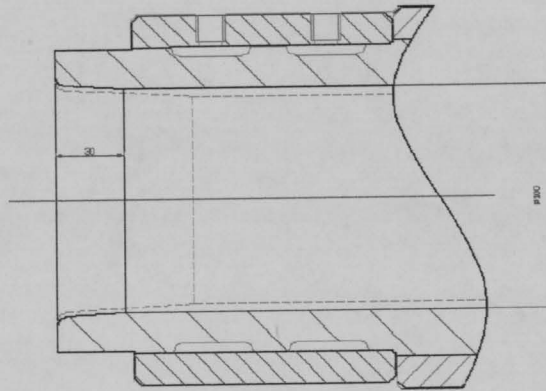


Figura 42 – Rectificação da camisa de injeção em todo o seu comprimento

Desta forma poder-se-ia utilizar um pistão de injeção com um diâmetro de 100 mm, com o já referido aumento de comprimento. Ao rectificar-se o diâmetro interno da camisa de injeção em todo o seu comprimento, seria necessário maquinar a extremidade da camisa onde se forma a bolacha para deste modo dar-lhe o respectivo ângulo de saída (de aproximadamente 3°).

Uma outra alternativa passaria pela rectificação da camisa num comprimento tal que mantivesse o ângulo de saída na zona desta onde se formar a bolacha (figura 43).

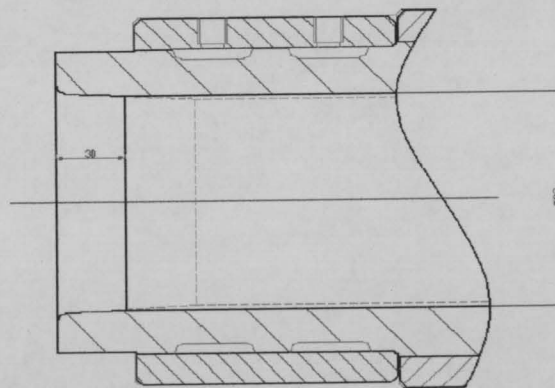


Figura 43 – Rectificação da camisa num comprimento que mantenha a saída na zona onde se forma a bolacha

Esta solução quando comparada com a anterior, traria como principais vantagens, o facto de não ser necessário rectificar a saída da face da camisa

onde se forma a bolacha, utilizando também um pistão com um diâmetro mais reduzido, aproximadamente 93 mm.

A rectificação da camisa em qualquer um dos casos seria realizada após a alteração realizada no orifício através do qual se introduz o metal fundido no interior desta (alteração que foi já referida anteriormente).

De salientar ainda o facto de que o custo de produção de um pistão de injeção é bastante mais reduzido quando comparado com o custo de produção de uma camisa de injeção inteiramente nova, daí ser preferível realizar pistões do que conceber uma nova camisa de injeção.

O principal inconveniente destas alterações seria uma elevada redução do valor da taxa de enchimento que na situação actual já não possui um valor aconselhado.

Utilizando um pistão com um diâmetro de 100 mm:

Volume do gito:	0,00149	m ³
Comprimento da câmara de injeção:	612,5	mm
Secção do pistão de injeção:	7853.98	mm ²

$$Taxa.de.enchimento = \frac{0.00149}{0.6125 \times 0.00785398} \times 100 = 30.9 \%$$

Utilizando um pistão com um diâmetro de 93 mm:

Volume do gito:	0,00149	m ³
Comprimento da câmara de injeção:	612,5	mm
Secção do pistão de injeção:	6792.91	mm ²

$$Taxa.de.enchimento = \frac{0.00149}{0.6125 \times 0.00679291} \times 100 = 35.8 \%$$

Pelos valores da taxa de enchimento determinados anteriormente para cada um dos casos, pode verificar-se que com as alterações propostas o valor da taxa de enchimento vem ainda mais reduzida o que não é bom, tendo em consideração que se pretende melhorar o desempenho do processo em causa.

Terceira solução estudada

A terceira e última alternativa proposta para a resolução do “problema” que me foi apresentado, foi sem dúvida aquela que pareceu ser a mais ambiciosa e simultaneamente factível dentro do contexto em que este projecto se encontra inserido. A alternativa apresentada, passaria por eliminar a parte do canal de alimentação junto da bolacha (figura 44), aspecto este já referido nas soluções anteriores.

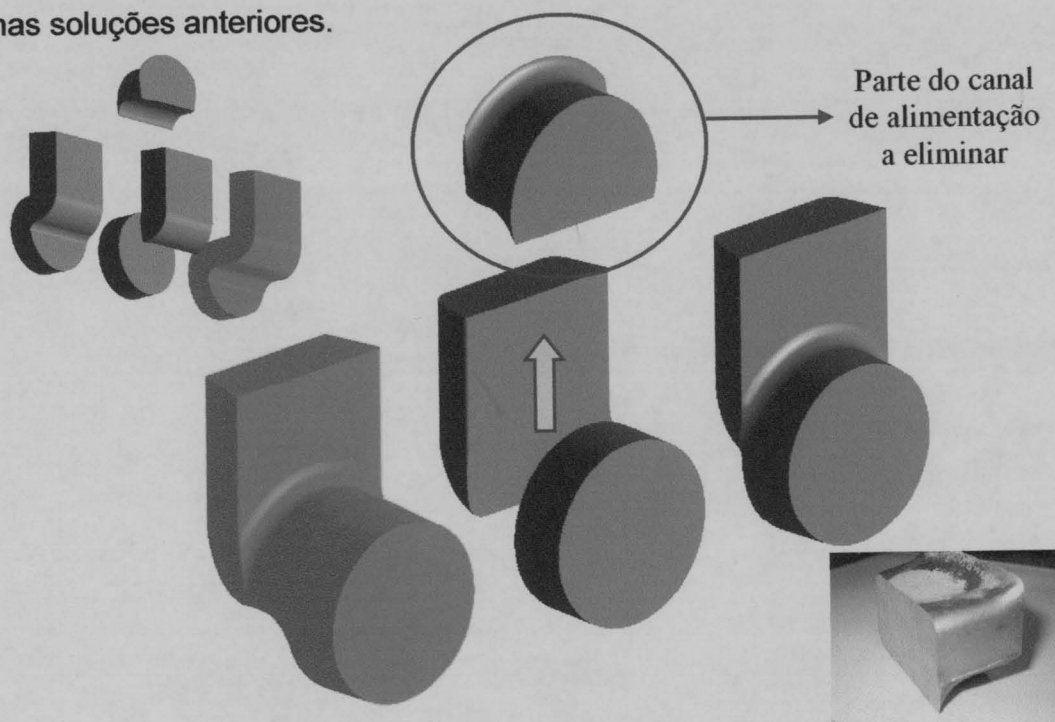
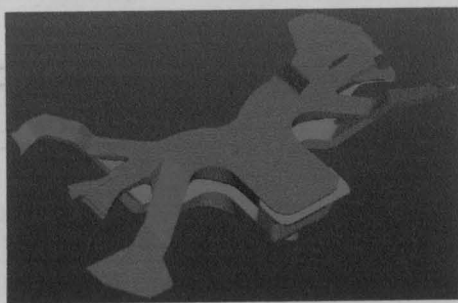


Figura 44 – Alteração do canal de alimentação junto da bolacha

A principal diferença desta alternativa relativamente a todas as propostas apresentadas anteriormente, está relacionado com o facto de a eliminação da parte do canal de alimentação ser realizada por intermédio do deslocamento do plano no qual se encontra o canal de alimentação, ou seja, o canal de alimentação será deslocado no sentido da bolacha (figura 45).



Legenda:

Verde – Canal de alimentação na sua versão actual

Vermelho – Alteração da configuração do canal de alimentação

Figura 45 – Alteração do plano do canal de alimentação

Com esta solução para além do facto de se conseguir um ganho de material utilizado em cada gito (conseguido pela eliminação da parte do canal referido anteriormente), traria um ganho adicional de material através do refinamento do canal de alimentação assim como uma maior redução do tempo de ciclo e melhor desempenho do processo, visto que, ao alterar-se a posição do plano do canal de alimentação irá ocorrer uma diminuição das alterações (curvas existentes no canal de alimentação) a que o fluxo de material estará sujeito, suavizando a sua trajectória e equilibrando a distribuição dos canais.

No caso das alternativas anteriores ocorreria o deslocamento da posição em que se encontra a bolacha, ao contrário do que acontece com esta solução em que a bolacha se mantém praticamente na posição actual (este aspecto será detalhadamente analisado posteriormente), sendo alvo da modificação o próprio canal de alimentação, sendo deslocado na direcção da bolacha, tendo necessariamente que se efectuar os respectivos ajustes no seu dimensionamento.

De uma forma simples, e tendo em conta o modo como está representado no molde o canal de alimentação (o canal é formado na parte móvel do molde), poder-se-á dizer que se irá “acrescentar” material do lado móvel do molde para elevar a posição do canal de alimentação e realizar o oposto no lado fixo, isto é, retirar material aos postigos do lado fixo do molde.

A grande questão que se colocou de seguida, foi em quanto (em termos dimensionais) se iria deslocar o canal de alimentação?

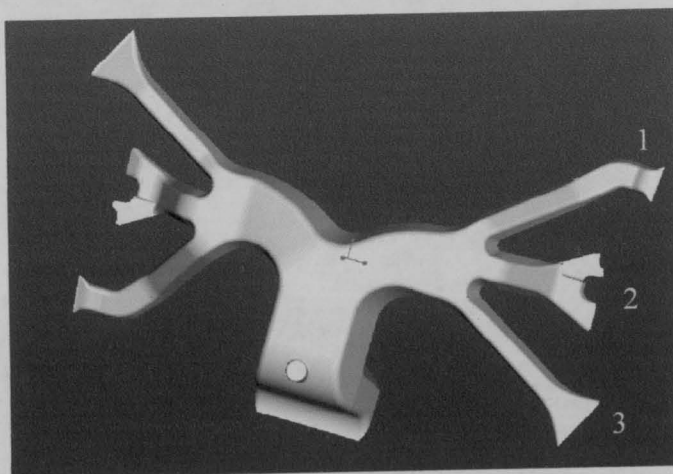


Figura 46 – Canal de alimentação na situação actual

Como um dos objectivos ao efectuar-se esta alteração seria a de eliminar a parte do canal de alimentação junto da bolacha, a melhor solução foi a de deslocar o plano onde está situado o canal ao nível do ataque intermédio (ataque número dois, na figura 46), desta forma conseguir-se-ia suavizar o fluxo de material neste canal ficando os restantes com menores alterações na sua geometria, pelo que as dificuldades criadas ao fluxo de material seriam também menores.

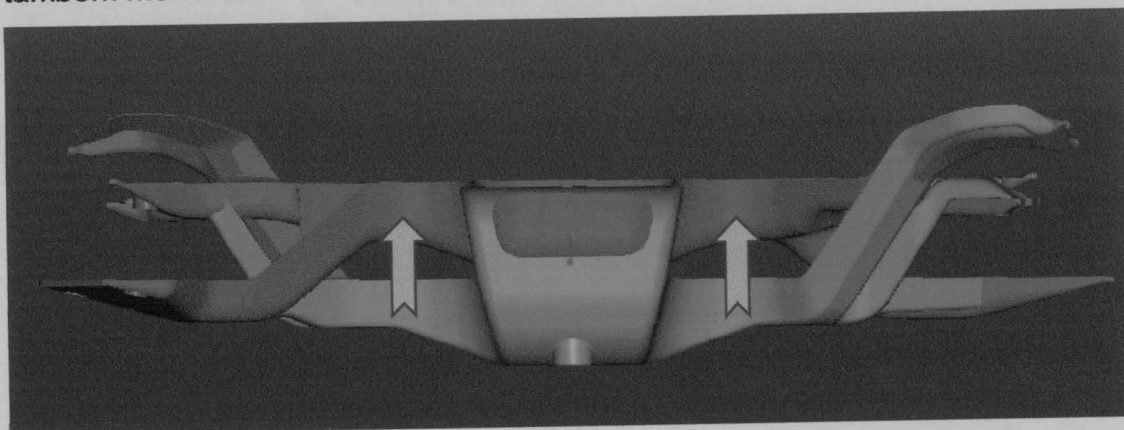


Figura 47 – Sobreposição do canal actual (verde) e do canal modificado (vermelho)

Em termos quantitativos o canal foi deslocado cerca de 33 milímetros na direcção da bolacha, no entanto ao deslocar o canal na distância referida iria diminuir à espessura desta cerca de 3 milímetros (figura 48) pelo que a bolacha foi também deslocada 3 milímetros para desta forma manter a sua espessura.

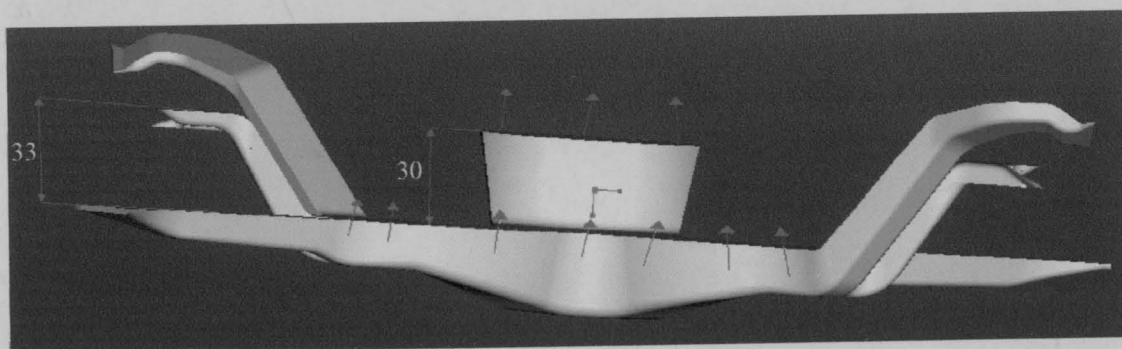


Figura 48 – Deslocamento do plano do canal de alimentação

As alterações que seriam também necessárias efectuar para conseguir efectuar tal alteração no processo, não seriam unicamente efectuadas no molde. Seria também necessário alterar a camisa de injeção, eliminar a presença do taco (inserção de impacto), para além das alterações nos postigos do molde (móvel e fixo) não necessitando de alterar significativamente a estrutura do molde móvel e fixo. A linha de apartação da peça não foi de

nenhuma forma afectada com a implementação desta alteração, no entanto o facto de se estar a alterar a posição do plano em que se encontra o canal de alimentação, fará necessariamente com que a camisa de injeção tenha de ser alterada, nomeadamente na alteração do seu comprimento (Figura 49).

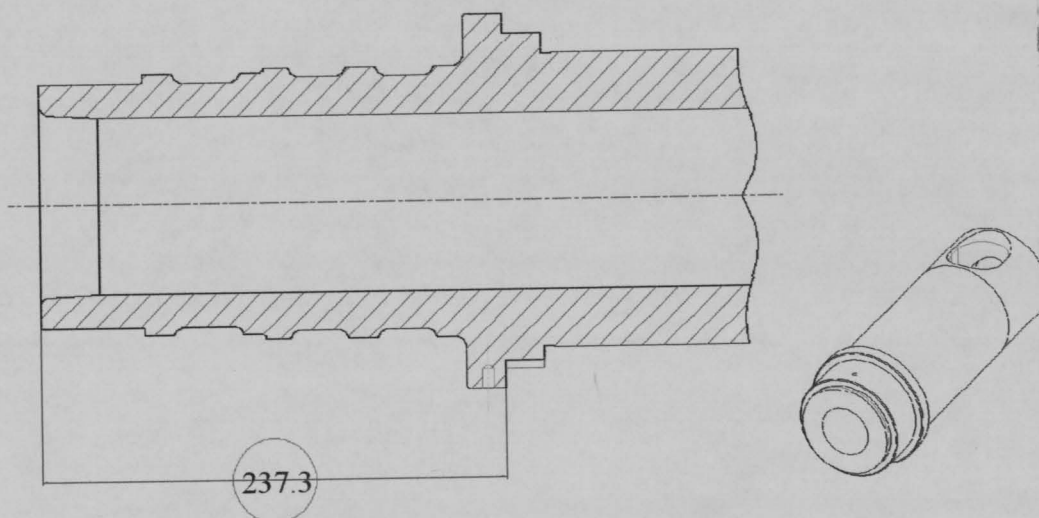


Figura 49 – Alteração do comprimento da camisa de injeção

O comprimento inicial da zona da camisa de injeção assinalada na figura anterior era de 270,3 mm, pelo que o comprimento após modificação, tendo em consideração o deslocamento do plano do canal de alimentação, será de 237,3 ($270,3 - 237,3 = 33$ mm). Desta forma teve de se proceder ao corte e rectificação da camisa de injeção na zona junto da bolacha para se obter o comprimento desejado.

O facto de se estar a remover material à camisa de injeção na zona onde se forma a bolacha, faz necessariamente com que o anel de refrigeração 1 (figura 50) seja afectado com esta alteração.

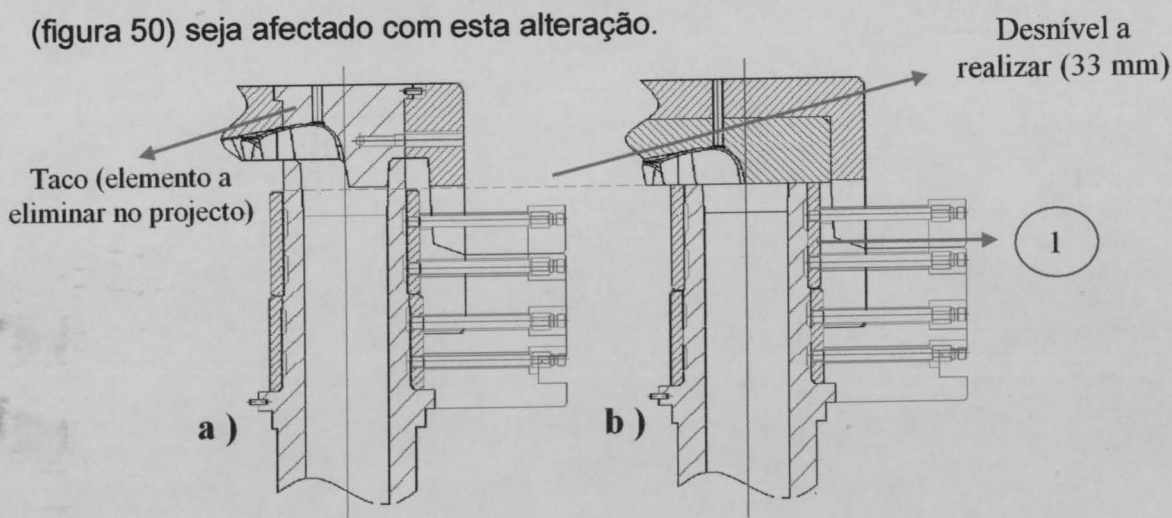


Figura 50 – Camisa de injeção (a- versão actual); (b- alteração do projecto)

Ao alterar o comprimento da camisa de injeção, a anel de refrigeração próximo do taco (anel número 1 – figura anterior), terá de ser alterado, isto porque, com esta alteração e para se reaproveitar os postigos existentes, será o próprio anel a efectuar o ajuste da camisa e o postigo, visto que a zona do postigo do lado fixo que realizava o ajuste deste e a camisa deixará de existir com o aumento do postigo do lado móvel e o conseqüente diminuição da espessura do postigo do lado fixo (zona assinalada na figura 51).

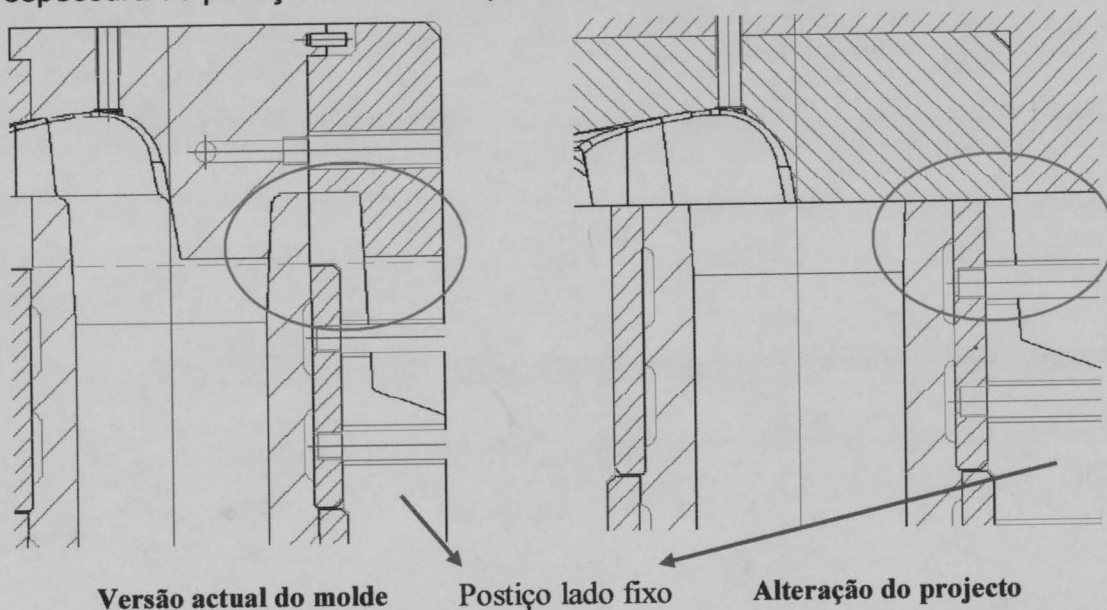


Figura 51 – Zona de ajuste entre a camisa e o postigo (lado fixo)

O facto de se estar a remover material na camisa de injeção na sua extremidade onde se forma a bolacha, fez com que fosse necessário garantir o ajuste e guiamento da ponta da camisa do molde. A solução proposta para este caso específico, em que o ajuste e guiamento da camisa é garantido por intermédio do anel de refrigeração, apenas seria implementado para a realização deste ensaio, tendo em consideração que se está a utilizar um molde em fim de vida, isto porque numa implementação desta alteração num molde novo para produção, proceder-se-ia à construção de um novo postigo que efectuará o ajuste da camisa de injeção.

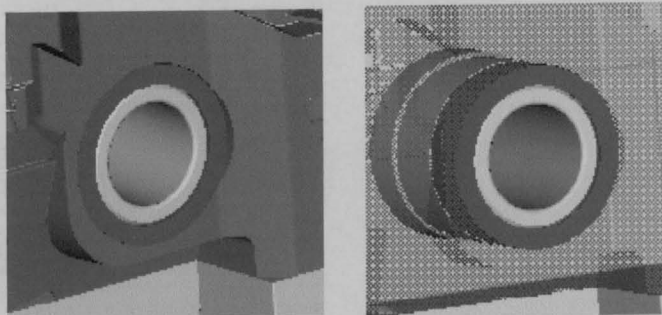


Figura 52 – Ajuste da camisa de injeção



Figura 53 – Camisa de injeção e anéis de refrigeração após realizada a alteração

Para se conseguir efectuar a alteração desejada no molde (elevação do plano do canal de alimentação e a eliminação simultânea de parte do canal junto da bolacha), ter-se-ia que efectuar alterações nos postigos do molde. Para não ser necessário realizar postigos inteiramente novos, tendo em consideração o custo de fabricação dos mesmos e o facto de estar a ser utilizado um molde cuja vida útil terminou, optou-se por efectuar um postigo central no lado móvel do molde que faria a elevação do canal de alimentação, tal como desejado (figura 54).

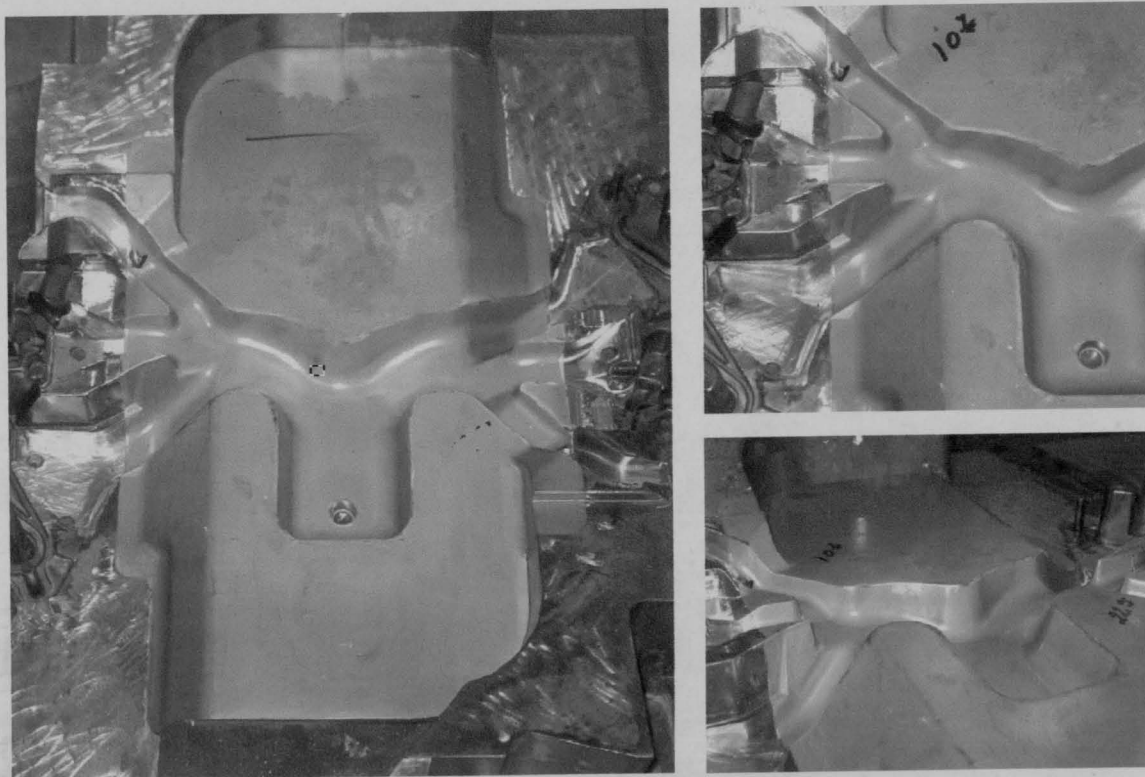


Figura 54 – Postigo realizado no lado móvel

As dimensões do postigo foram condicionadas pela existência de canais de refrigeração do molde, pelo que as dimensões consideradas (largura,

comprimento e espessura) não interferem com os canais de refrigeração existentes no molde.



Com a eliminação do taco (figura 55), foi possível reutilizar os canais de refrigeração que serviam para a refrigeração deste e realizar um sistema de refrigeração independente para o postição que se implementou no lado móvel do molde (figura 56).

Figura 55 – Taco do molde antes da alteração

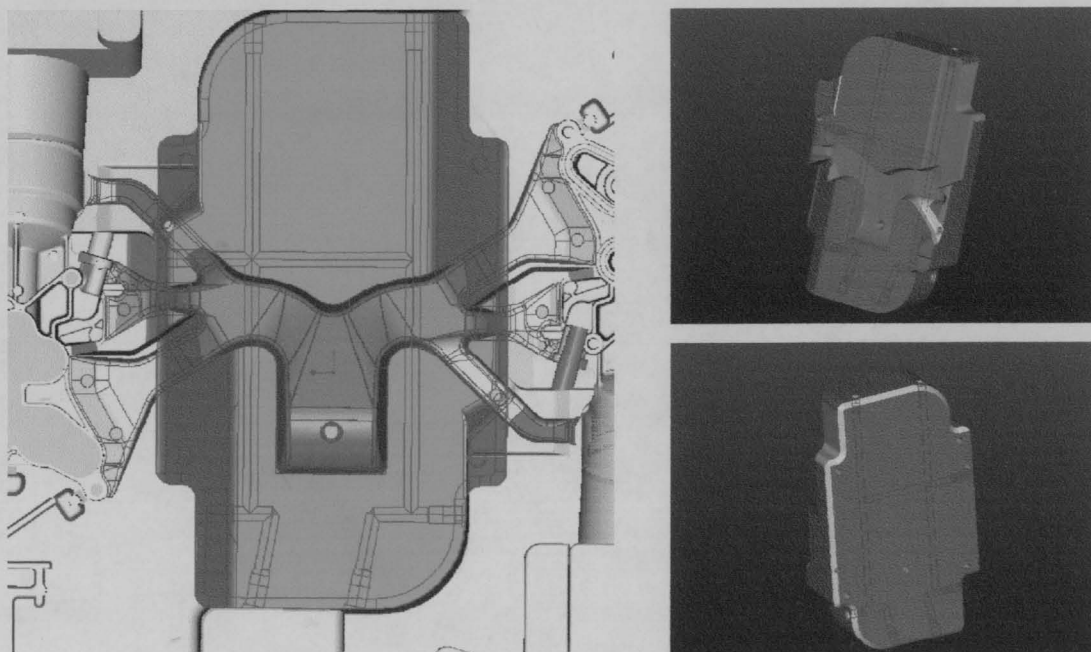


Figura 56 – Refrigeração realizada para o postição

O desenvolvimento do canal de refrigeração para o postição foi realizada, tendo em consideração os furos existentes na estrutura do molde móvel que serviam para a refrigeração do taco (elemento eliminado). Desta forma não se teve que realizar qualquer tipo de modificação na estrutura do molde, e com a implementação deste sistema de arrefecimento, será de esperar que o desempenho térmico do molde melhore.

No lado fixo do molde foi realizada uma operação semelhante, ou seja, neste caso apenas foi necessário maquinar os postições do molde para retirar

material aos mesmos na zona onde irá ajustar o postigo realizado do lado móvel (figura 57).

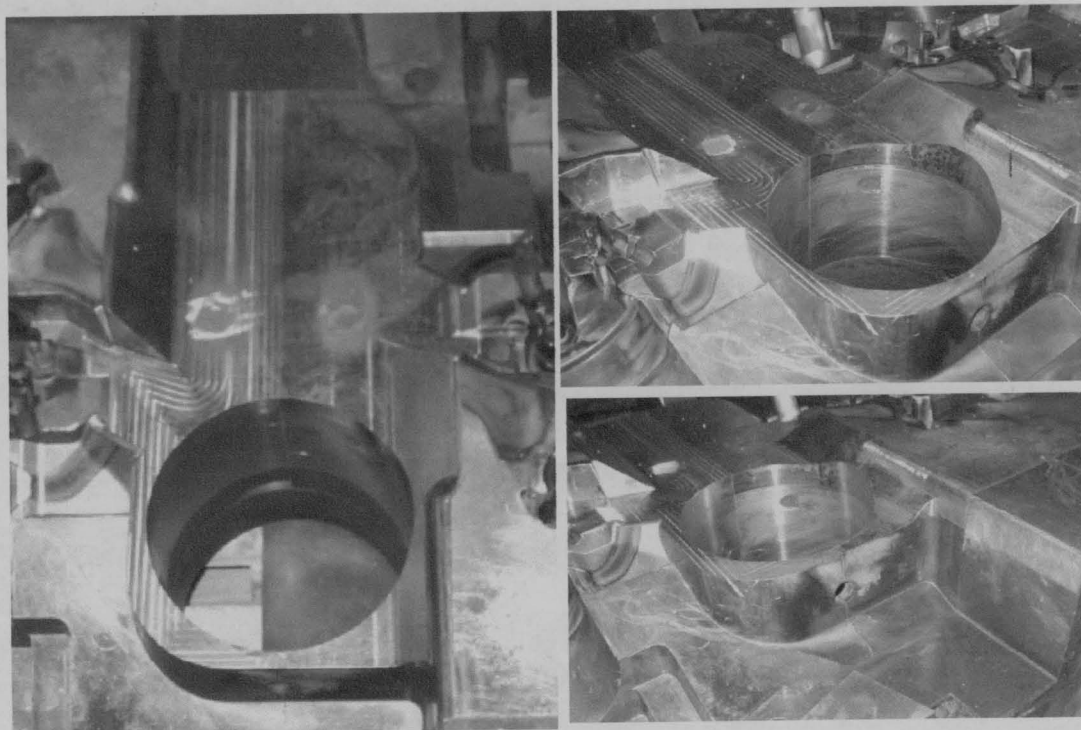


Figura 57 – Alteração nos postigos do lado fixo

De uma forma geral estas foram as alterações significativas que foram necessárias realizar no molde em causa para ser possível alcançar o objectivo pretendido.

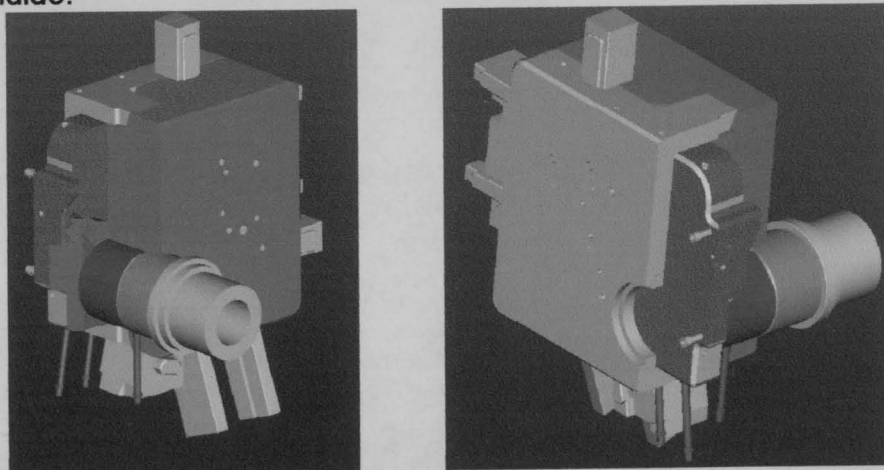


Figura 58 – Esquema de montagem e ajuste dos postigos

Para realizar o postigo do lado móvel, foi utilizado um aço pré-tratado tendo em consideração que se trata de um molde em fim de vida e que para o ensaio não será necessário realizar um número elevado de injeções, daí que não haja necessidade de investir num material de elevada qualidade.

Parâmetros do processo

Para ser possível comparar e analisar posteriormente as melhorias no processo em causa, foram determinados todo um conjunto de parâmetros relacionados com as variáveis do processo em questão. Por outro lado foram também recolhidos os valores dos parâmetros reais, que estão a ser utilizados neste processo (valores obtidos pela leitura directa do ecrã das máquinas de injeção). Para ser possível efectuar o cálculo dos parâmetros do processo, foram realizadas pesagens de gitos assim como dos diferentes constituintes do gito em separado (masselotes, peças, canal de alimentação, ventilações, bolacha).

Os resultados obtidos foram os representados seguidamente:

Propriedades do gito:

Peso total do gito:	4,063	Kg
Peso das peças:		
Peça nº 1	1,135	Kg
Peça nº 2	1,130	Kg
Peso médio:	1,133	Kg
Peso dos masselotes, canal e bolacha:	1,798	Kg
Peso da parte do canal a remover:	0,179	Kg
Peso da bolacha:	0,4135	Kg
Peso do canal de alimentação:	1,657	Kg
Peso do canal sem a parte a remover:	1,478	Kg
Peso dos masselotes e ventilações:	0,0705	Kg
Peso total de masselotes e ventilações:	0,141	Kg

Após determinação dos pesos correspondentes a cada um dos elementos expostos anteriormente, sabendo o peso específico do alumínio ($\rho=2600 \text{ Kg/m}^3$), foi possível obter o respectivo valor do volume de material de cada elemento (expresso em m^3 e em pol.^3):

Volume total do gito:	0,00156	m^3	95,35	pol^3
Volume da peça:	0,000436	m^3	26,58	pol^3
Volume do gito s/parte a remover:	0,00149	m^3	91,15	pol^3
Volume da parte do canal a remover:	0,0000688	m^3	4,20	pol^3
Volume da bolacha:	0,000159	m^3	9,70	pol^3
Volume do canal de alimentação:	0,000637	m^3	38,89	pol^3
Volume do canal s/a parte a remover:	0,000568	m^3	34,69	pol^3
Volume dos masselotes e ventilações:	0,0000271	m^3	1,65	pol^3
Volume total de masselotes e vent.:	0,0000542	m^3	3,31	pol^3

Dimensões da bolacha:

Diâmetro:	90	mm
Espessura:	25	mm

Determinação dos parâmetros do processo na situação actual

✚ Comprimento de primeira fase

O comprimento de primeira fase corresponde à distância percorrida em velocidade lenta pelo pistão de injeção, desde o seu ponto de partida até ao ponto em que deixa o metal acumulado à entrada do “ataque” do molde.

Importante salientar o facto de que um “comprimento” excessivo obriga à entrada do metal, em velocidade lenta, no molde, originando a sua solidificação prematura e causando elevada percentagem de peças defeituosas.

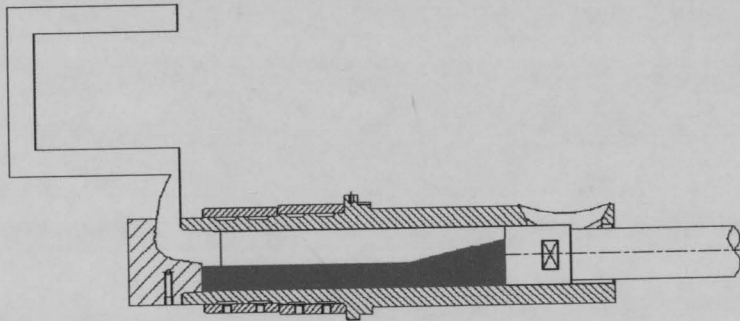


Figura 59 – Início do movimento do pistão em velocidade lenta

$$\text{Comp.1}^{\text{a}}.\text{fase} = \text{comp.da.câmara} - \left(\frac{\text{Volume.metal.a.injectar}}{\text{Secção.do.pistão}} \right)$$

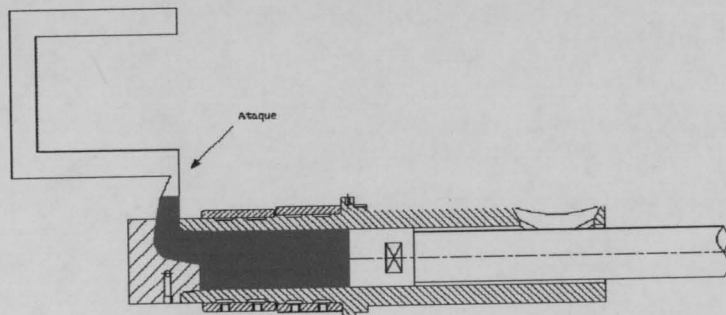


Figura 60 – Fase de transição de velocidade

Comprimento de primeira fase:

Comprimento da câmara de injeção:	612,5 mm	Volume da câmara de injeção:	3896556,6 mm ³
Secção do pistão de injeção:	6361,725 mm ²	Volume da câmara de injeção:	0,00390 m ³
Comprimento de 1 ^a fase:	366,86 mm	Volume da câmara de injeção:	237,76 pol

✦ Comprimento de segunda fase

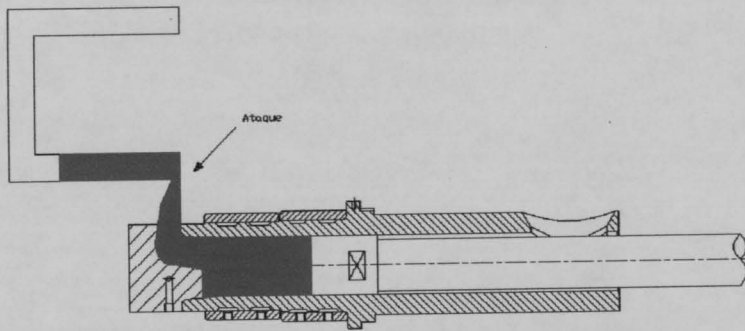


Figura 61 – O pistão encontra-se numa posição em que o metal está a atravessar o ataque

$$Comp.2^{a}.fase = comp.da.câmara - \left(\frac{Volume.metal.a.injectar - Volume.canal.de.a.lim.entação}{Secção.do.pistão} \right)$$

Posição do pistão (metal no ataque):

$$P3 = 467,04 \text{ mm}$$

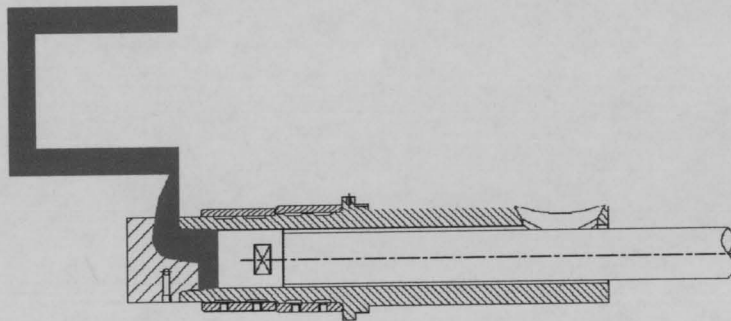


Figura 62 – Fase de pressurização (Dividida em duas etapas, impacto e intensificação)

✦ Taxa de enchimento

$$Taxa.de.enchimento = \frac{Volume.de.material}{Volume.da.câmara.de.enchimento}$$

Volume total do gito:	0,00156	m ³
Comprimento da câmara de injeção:	612,5	mm
Secção do pistão de injeção:	6361,725	mm ²

$$Taxa.de.enchimento = \frac{0.00156}{0.6125 \times 0.006361725} \times 100 = 40.1 \%$$

⬇ Tempo de enchimento (segundo a Nadca)

$$t = K \times T \times \left[\frac{(T_i - T_f) + (S * Z)}{T_f - T_d} \right]$$

t – Tempo de enchimento

K – Constante da liga (0.886 s/pol para ligas de alumínio)

T – Espessura da parede da peça

T_i – Temp^a de injeção do metal

T_f – Temp^a mínima de injeção do metal

T_d – Temp^a da superfície do molde

S – Percentagem de elementos sólidos admissíveis no metal no fim do enchimento

Z – Calor latente

Segundo a Nadca o valor do coeficiente S:

Espessura da parede (polegadas)	S (Alumínio)
0.010 – 0.030	10 – 15 %
0.030 – 0.050	15 – 25 %
0.050 – 0.080	25 – 35 %
0.080 – 0.125	35 – 50 %

Tempo de enchimento:

$K =$	0,866	s/pol
$K =$	0,0341	s/mm
$T_{inj} =$	650	°C
$T_f =$	570	°C
$T_{molde} =$	200	°C
$S =$	40	%
$Z =$	3,8	
$e (+ \text{ fina}) =$	2	mm
$t =$	0,04	s

⬇ Velocidade mínima no ataque (segundo a Nadca)

$$G_v = \left[\frac{750}{(W_d \times G_t)} \right]^{0.5882}$$

W_d – Densidade do metal

G_t – Espessura do ataque

Segundo a Nadca:

Liga utilizada	Densidade (lbs/pol ³)
Alumínio	0.093
Zinco	0.221
Magnésio	0.063

Densidade do metal =	0,093	lbs/s
Espessura de ataque =	2,6	mm
Espessura de ataque =	0,102	pol
Gv =	758,73	pol/s
Gv =	19271,65	mm/s
Gv =	19,27	m/s

⬇ Velocidade do pistão de injeção (segundo a Buhler)

$$V_p = \frac{ma}{\rho \times t_F \times d_m^2 \times 0.785}$$

ma – Peso depois da secção de ataque

$$(ma = n.cavidades \times [m_{PEÇAS} + m_{MASSELOTES}])$$

ρ – Densidade ao alumínio

t_F – Tempo de enchimento

d_m – Diâmetro do pistão de injeção

Velocidade do pistão de injeção:

vp =	363,65	cm/s
vp =	3,64	m/s

⬇ Velocidade mínima do pistão de injeção (segundo a Nadca)

$$V_{lp} = 22.8 \times (\phi_{pistão})^{0.5} \times \left(1 - \frac{\text{Volume total.jito}}{\text{Volume.câmara.injecção}} \right) [\text{pol/s}]$$

Velocidade lenta do pistão:

ssv =	25,71	pol/s
ssv =	652,93	mm/s
ssv =	0,65	m/s

Parâmetros do processo reais

Os parâmetros do processo representados seguidamente dizem respeito aos parâmetros que estão a ser efectivamente utilizados no actual processo. Estes valores foram obtidos com base na leitura directa do ecrã da máquina de injeção utilizada (Buhler 66D Evolution).

- ✦ Comprimento de primeira fase: 405 mm
- ✦ Comprimento de segunda fase: 425 mm
- ✦ Tempo de enchimento: 0.042 segundos
- ✦ Velocidade do pistão de injeção: 3.5 m/s
- ✦ Velocidade lenta do pistão de injeção: 0.6 m/s
- ✦ Tempo de solidificação: 15 segundos
- ✦ Tempo de ciclo: 66 segundos
- ✦ Pressão de injeção: 800 - 850 bar

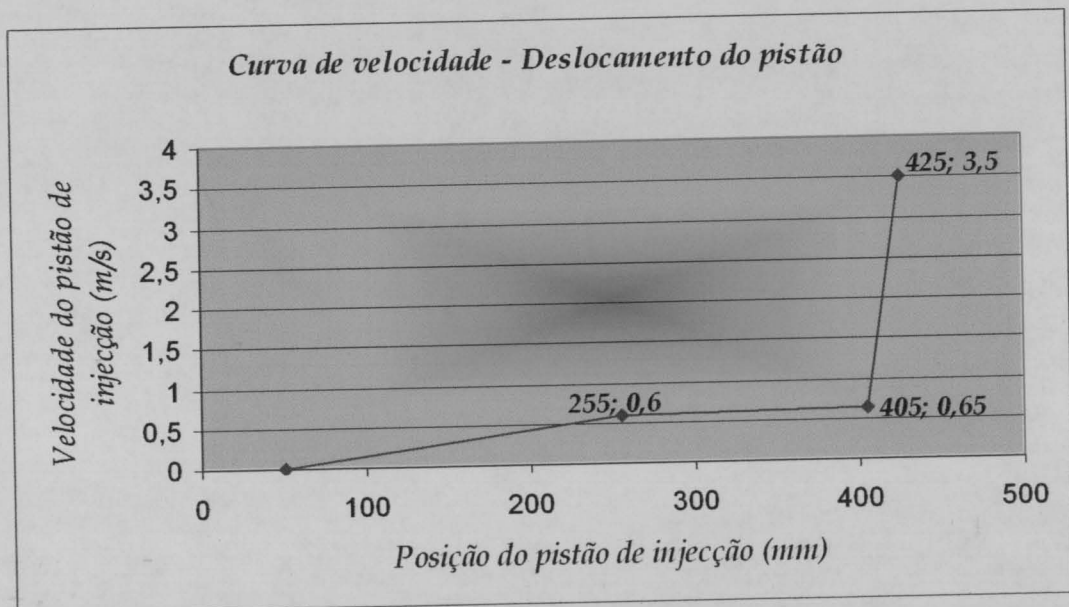


Gráfico 1 – Relação entre a velocidade do pistão e o seu deslocamento

Determinação dos novos parâmetros do processo

✚ Comprimento de primeira fase

$$Comp.1^a.fase = comp.da.câmara - \left(\frac{Volume.metal.a.injectar}{Secção.do.pistão} \right)$$

Comprimento de primeira fase:

Comprimento da câmara de injeção:	609,5 mm	Volume da câmara de injeção:	3877471,5 mm ³
Secção do pistão de injeção:	6361,725 mm ²	Volume da câmara de injeção:	0.0039 m ³
Comprimento de 1ª fase:	374,68 mm	Volume da câmara de injeção:	236.59 pol

✚ Comprimento de segunda fase

$$Comp.2^a.fase = comp.da.câmara - \left(\frac{Volume.metal.a.injectar - Volume.canal.de.a.lim.entação}{Secção.do.pistão} \right)$$

Posição do pistão (metal no ataque):

$$P3 = 464,04 \text{ mm}$$

✚ Taxa de enchimento

$$Taxa.de.enchimento = \frac{Volume.de.material}{Volume.da.câmara.de.enchimento}$$

Volume do gito:	0,00149	m ³
Comprimento da câmara de injeção:	609,5	mm
Secção do pistão de injeção:	6361,725	mm ²

$$Taxa.de.enchimento = \frac{0.00149}{0.6095 \times 0.006361725} \times 100 = 38.53 \%$$

Pode verificar-se através do cálculo da taxa de enchimento com os novos parâmetros do processo que não existe uma variação muito significativa, pelo que não coloca em causa as expectativas do teste efectuado.

✚ Tempo de enchimento (segundo a Nadca)

$$t = K \times T \times \left[\frac{(T_i - T_f) + (S * Z)}{T_f - T_d} \right]$$

Tempo de enchimento:

K =	0,866	s/pol
K =	0,034094488	s/mm
T inj =	650	°C
Tf =	570	°C
T molde =	200	°C
S =	40	%
Z =	3,8	
e (+ fina) =	2	mm
t =	0,04	s

Através do cálculo efectuado pode verificar-se que o tempo de enchimento não se altera significativamente, visto que este não depende de nenhum dos factores alterados no processo e no molde.

⬇ Velocidade mínima no ataque (segundo a Nadca)

$$Gv = \left[\frac{750}{(Wd \times Gt)} \right]^{0.5882}$$

Densidade do metal =	0,093	lbs/s
Espessura de ataque =	2,6	mm
Espessura de ataque =	0,102	pol
Gv =	758,73	pol/s
Gv =	19271,65	mm/s
Gv =	19,27	m/s

A velocidade mínima no ataque também não sofre qualquer tipo de variação, visto que nenhum dos factores que permitem a sua determinação sofreu qualquer tipo de alteração.

⬇ Velocidade do pistão de injeção (segundo a Buhler)

$$Vp = \frac{ma}{\rho \times t_F \times d_m^2 \times 0.785}$$

Velocidade do pistão de injeção:

vp =	363,65	cm/s
vp =	3,64	m/s

A velocidade do pistão de injeção não varia devido ao factor de não se ter efectuado qualquer tipo de alteração nas peças produzidas que poderia levar à alteração do seu peso, por outro lado não se efectuou qualquer tipo de modificação no pistão de injeção.

✚ Velocidade mínima do pistão de injeção (segundo a Nadca)

$$V_{lp} = 22.8 \times (\phi_{pist\tilde{a}o})^{0.5} \times \left(1 - \frac{Volume.total.jito}{Volume.c\tilde{a}mara.injec\tilde{c}\tilde{a}o} \right) [pol/s]$$

Velocidade lenta do pistão:

ssv =	26.20	pol/s
ssv =	665.47	mm/s
ssv =	0,67	m/s

A velocidade "lenta" do pistão altera-se ligeiramente, em grande parte devido ao facto de se ter alterado o volume total do gito, visto que com a eliminação da parte do canal de alimentação junto da bolacha, se reduziu ao peso do jito, e conseqüentemente ao seu volume.

Um aspecto que importa salientar é a diferença existente entre o valor teórico e o real do comprimento de primeira fase. Como é sabido a primeira fase termina quando o material é "deixado" à entrada do ataque da peça, no entanto se tivermos em consideração o tipo de canal e a sua distribuição no espaço (figura 63), podemos observar que este canal possui mais do que um ataque para cada peça.

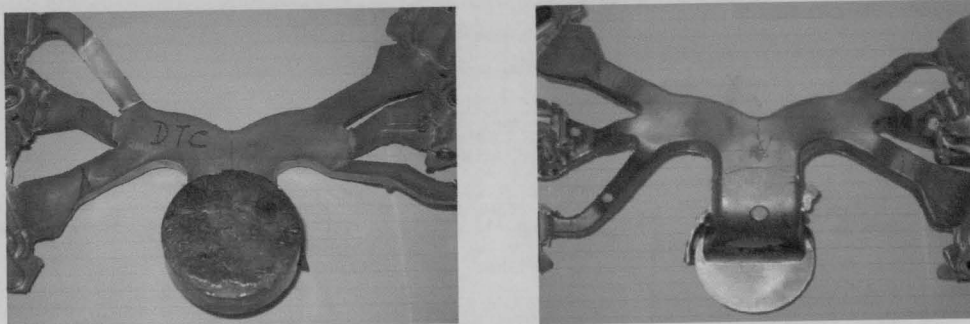


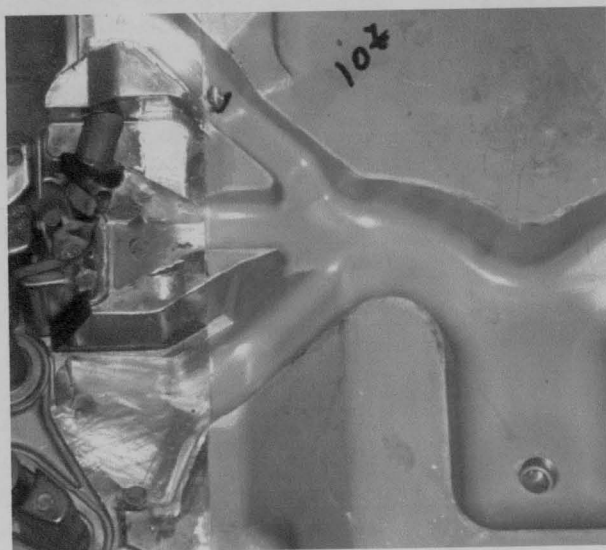
Figura 63 – Canal de alimentação

Na prática o valor teórico obtido para o comprimento de primeira fase tem necessariamente de ser corrigido, isto porque os três alimentadores estão em posições diferentes, logo não será de esperar que o metal chegue (no final da primeira fase) ao mesmo tempo à entrada de cada um dos ataques. Pelo que, o comprimento de primeira fase estará condicionado pelo ataque no qual o material chegue mais rapidamente. O cálculo teórico seria exacto se para cada peça existisse um só ataque.

Canal de alimentação

Dimensionamento do novo canal de alimentação

Para a realização do dimensionamento das secções de ataque foi tido em consideração o facto de que, o postigo "central" a realizar, não abrange na sua largura os ataques da peça (figura 64).



→ Linha de união do postigo

Como se pode ver na figura o postigo não abrange os ataques pelo que o dimensionamento do canal ficou condicionado pela dimensão dos ataques já existentes, e as restantes secções do canal de alimentação foram determinadas com base nos parâmetros aconselhados pela buhler, relativamente a mudanças de direcção do canal e às secções.

Figura 64 – União dos postigos

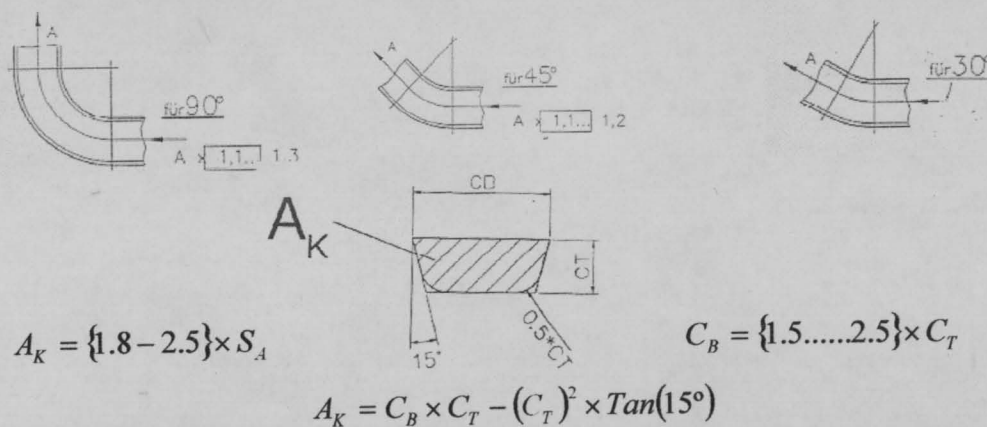


Figura 65 – Parâmetros recomendados pela Buhler no dimensionamento dos canais

Em termos de solidificação é preferível ter um canal com uma largura menor e uma maior espessura do que o oposto, isto porque o fluxo de material solidifica mais rapidamente junto da superfície, pelo que no primeiro caso o filme de material será maior no entanto a massividade criada será maior. Existe quem defenda que o canal circular seria o ideal devido às tensões de origem

térmica que se tendem a formar nos cantos das secções do canal de alimentação.

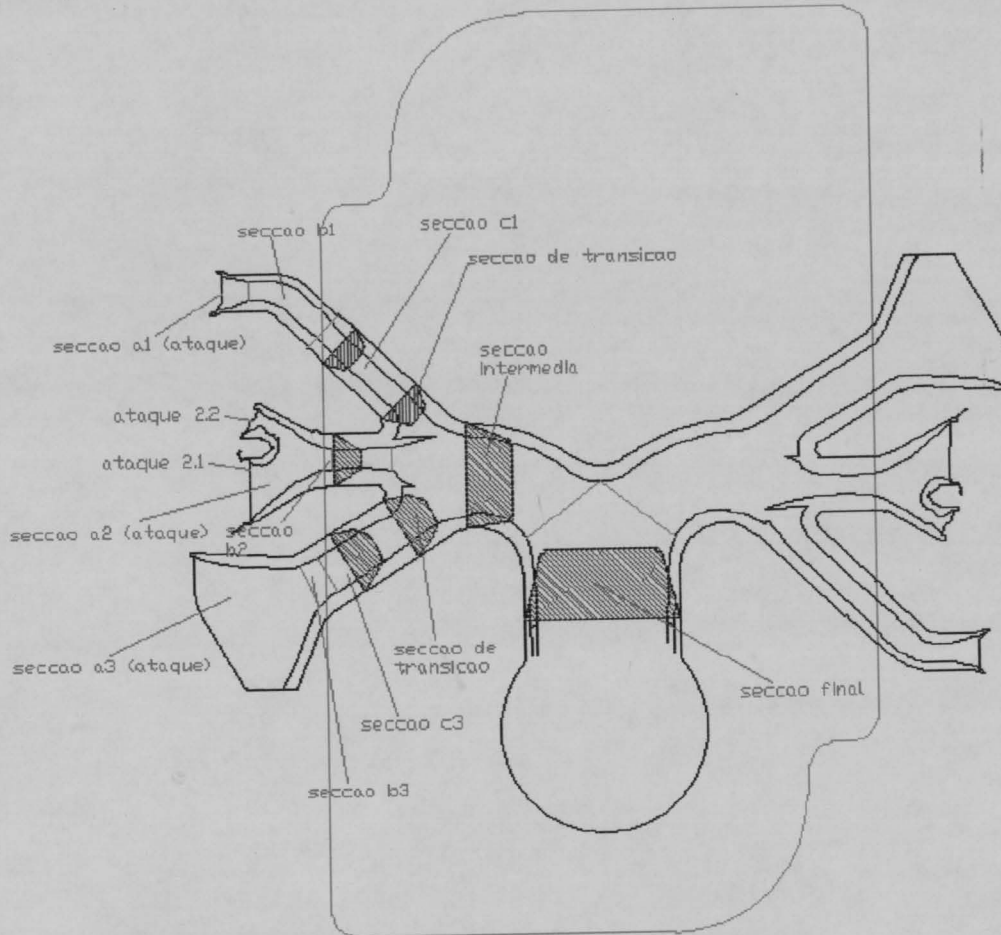


Figura 66 – Dimensionamento do canal de alimentação

No dimensionamento das secções do canal de alimentação foi tido em consideração a forma a dar aos canais do canal nomeadamente as curvas e realizar por cada um dos ramos (figura 66).

Foram medidos os ataques existentes no gito e foi realizado a partir desses valores o dimensionamento dos canais (espessura*comprimento):

Secção a1 (ataque): $2 \cdot 25 = 50 \text{ mm}^2$

Ataque 2.1 e 2.2: $(2.2 \cdot 23 + 2.9 \cdot 20) = 109 \text{ mm}^2$

Secção a3 (ataque): $2.3 \cdot 45 = 103.5 \text{ mm}^2$



Figura 67 – Canal modificado

Após medição directa dos valores dos ataques em cada um dos ramos do canal de alimentação procedeu-se à determinação das secções do mesmo.

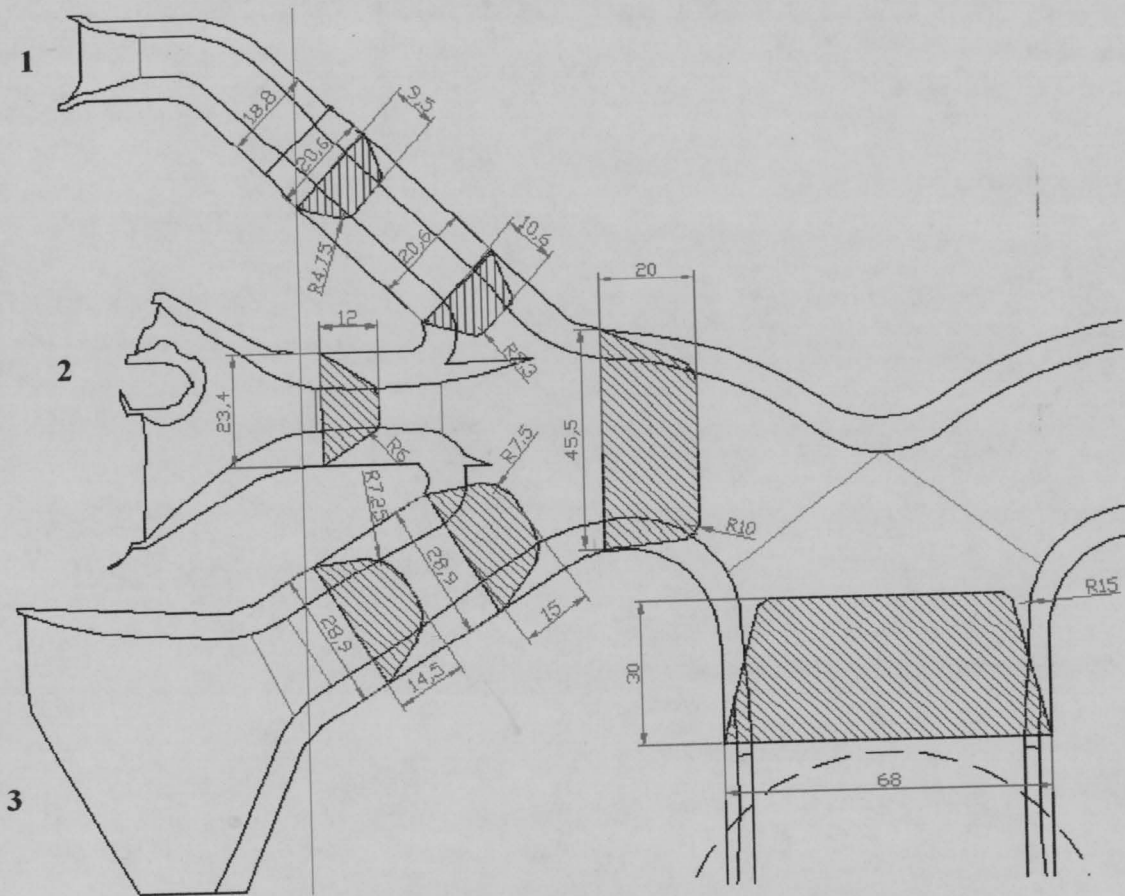


Figura 68 – Dimensionamento de cada secção do canal de alimentação

Secção de ataque total

$$Sa = \frac{ma}{\rho \times V_{MA} \times t_F}$$

ma : Peso depois da secção de ataque.

$$ma = n \times (m_{PEÇA} + m_{masselotes})$$

n : Número de cavidades.

V_{MA} : Velocidade no ataque.

t_F : Tempo de enchimento.

$$Sa = \frac{2 \times 1203}{2.6 \times 4000 \times 0.04} = 5.79 \text{ cm}^2 = 579 \text{ mm}^2$$

Cada peça deve ter uma secção de ataque total de 289.5 mm².

↓ Canal nº 1

Secção de ataque a1: $2 * 25 = 50 \text{ mm}^2$ (dimensões medidas directamente sobre o gito, não será alterada devido pelas razões citadas anteriormente)

Secção b1: $9 * 18.8 = 147.3 \text{ mm}^2$ (dimensões medidas directamente num gito, não serão alteradas pelas razões citadas anteriormente)

Secção c1: acréscimo de 20% devido à mudança de direcção do canal;
 $147.3 + (147.3 * 0.2) = 176 \text{ mm}^2 \longrightarrow 10 * 20.6$

↓ Canal nº 2

Secção de ataque: $2.2 * 22 + 2.9 * 25 = 120.9 \text{ mm}^2$ (dimensões medidas directamente sobre o gito, pelo que não será alterada)

Secção b2: $12 * 23.4 = 242 \text{ mm}^2$

↓ Canal nº 3

Secção de ataque a3: $2.3 * 45 = 103.5 \text{ mm}^2$ (dimensões medidas directamente sobre o gito, logo não será alterada)

Secção b3: $14 * 28.9 = 352.1 \text{ mm}^2$ (medida num gito, não se altera com o dimensionamento)

Secção c3: $15 * 28.9 = 372 \text{ mm}^2$ (acrécimo de 10 %)

± Secção intermédia: Somatório das secções adjacentes dos canais com um acréscimo de 10 % no canal 1 e 2 devido à inclinação.
Secção: $20 * 45.5 = 803 \text{ mm}^2$

± Secção final: O dobro da secção intermédia com um acréscimo de 10% devido à sua inclinação. Secção: $68 * 30 = 1799 \text{ mm}^2$

Com a realização do novo dimensionamento do canal de alimentação, verificou-se uma **redução de cerca de 5%** da secção intermédia e da secção final do canal. Essa redução não é tão significativa nos ramos do canal, devido ao facto de estarmos limitados pelas dimensões dos ataques já existentes.

NOTA: As dimensões das secções expressas anteriormente vêm representadas da seguinte forma, espessura * comprimento.

Impacto económico do projecto

Foi realizado um estudo acerca do impacto económico que a implementação deste projecto poderá trazer em benefício da empresa. É sabido que com a redução do tempo de ciclo é possível aumentar a capacidade de produção da peça em questão, por outro lado, a redução de peso do gito faz com que a quantidade de metal utilizado na produção de cada gito seja menor, reduzindo também os custos energéticos (nomeadamente o custo de refundir a liga).

Produtividade

Processo actual:

- ✚ Tempo de ciclo: 66 segundos
- ✚ Nº de gitos por turno de oito horas por máquina: 436 gitos
- ✚ Nº de cavidades do molde: 2
- ✚ Nº de peças por turno de oito horas por máquina: 872 peças
- ✚ Nº de gitos por dia (24 horas) por máquina: 1308 gitos
- ✚ Nº de peças por dia (24 horas) por máquina: 2616 peças

Processo após alteração:

- ✚ Tempo de ciclo: 61 segundos
- ✚ Nº de gitos por turno de oito horas por máquina: 472 gitos
- ✚ Nº de cavidades do molde: 2
- ✚ Nº de peças por turno de oito horas por máquina: 944 peças
- ✚ Nº de gitos por dia (24 horas) por máquina: 1416 gitos
- ✚ Nº de peças por dia (24 horas) por máquina: 2832 peças

Aumento de produtividade em aproximadamente 8%.

Custos Industrial

O custo industrial, engloba o custo de fundição e corte de gito.

Processo actual:

- ✚ Custo por hora: 68.8 € / hora
- ✚ Gitos por hora: 54.5 gitos / hora
- ✚ Custo de produção: 1.262 € / gito
- ✚ Custo de produção: 0.631 € / peça



Processo após alteração:

- ⊕ Custo por hora: 68.8 € / hora
- ⊕ Gitos por hora: 59 gitos / hora
- ⊕ Custo de produção: 1.166 € / gito
- ⊕ Custo de produção: 0.583 € / peça

Custo anual do processo actual: $1.262 \times 2616 \times 220 = 726306.24$ €/ano

Custo anual após alteração do processo: $1.166 \times 2616 \times 220 = 671056.32$ €/ano

Ganho previsto para a mesma quantidade de peças produzidas: **55249.9** €/ano

Como se pode verificar ocorreu uma diminuição do custo industrial em cerca de 7.6%, para além do ganho em produtividade.

Custos de Fusão

- ⊕ Percentagem de perdas por fusão: 12%
- ⊕ Peso total do gito: 4.063 Kg
- ⊕ Custo de fusão: 0.20 € / Kg
- ⊕ Custo da liga: 1.52 € / Kg

Processo actual:

- ⊕ Perdas por fusão: $0.12 \times 4.063 = 0.488$ Kg
- ⊕ Custo de fusão: $(0.488 \times 0.2) + (0.488 \times 1.52) = 0.84$ € / gito

Processo após alteração:

- ⊕ Perdas por fusão: $0.12 \times 3.884 = 0.466$ Kg
- ⊕ Custo de fusão: $(0.466 \times 0.2) + (0.466 \times 1.52) = 0.8$ € / gito

- Ganho efectivo por gito: 0.04 € / gito
- Ganho percentual: 5 %

Como se pode verificar, existe um ganho substancial que pode trazer no futuro para a Sonafi, ganhos relativamente ao aumento de produtividade bem como ganhos económicos, com a implementação noutros moldes da solução apresentada com a realização deste projecto.

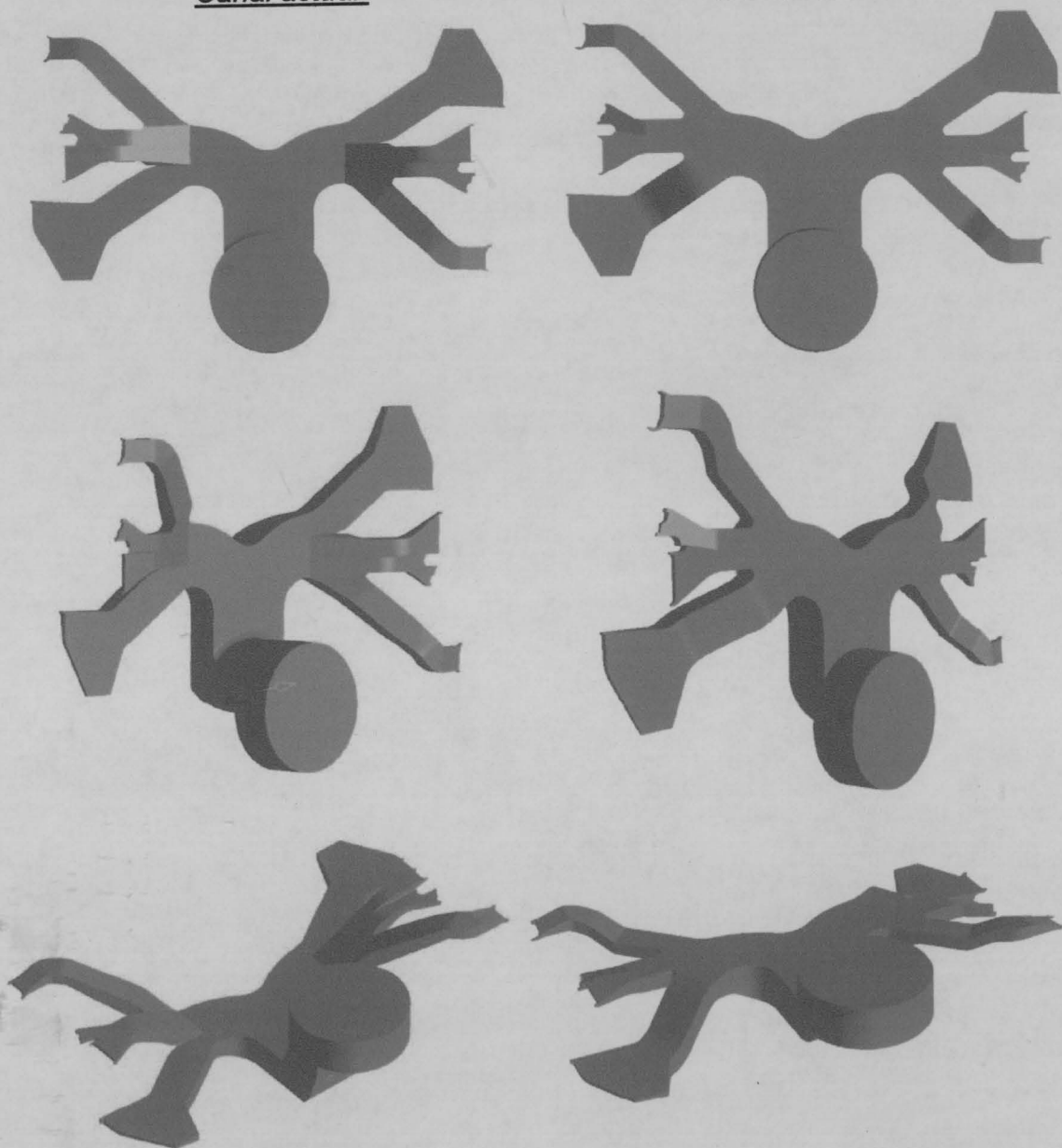
Modelação do canal de alimentação

Um aspecto importante de todo o processo de fundição injectada é a modelação das peças.

A modelação do canal de alimentação foi realizada recorrendo ao software 3D, Unigraphics. Foi realizada a modelação tridimensional do canal de alimentação na sua configuração actual e com as alterações implementadas no projecto. As duas versões do canal de alimentação serão apresentadas em simultâneo, para que deste modo seja mais fácil a identificação das alterações efectuadas.

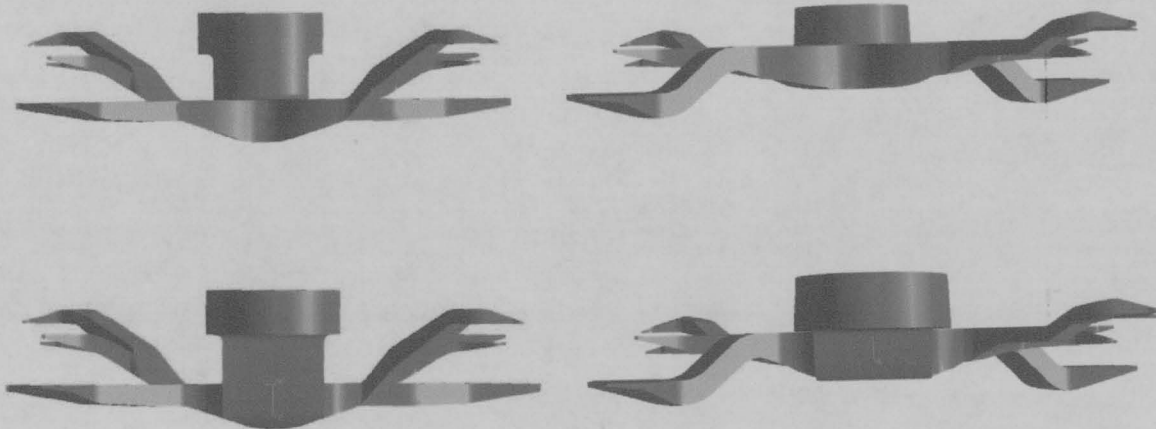
Canal actual

Canal modificado

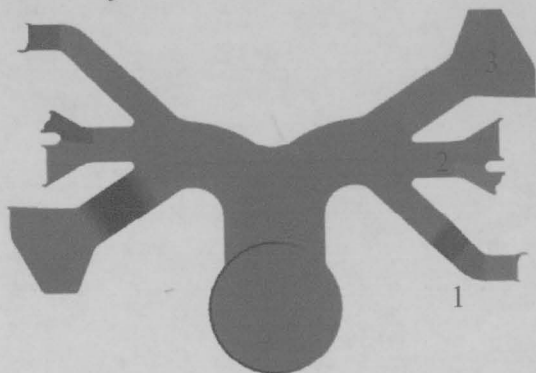


Canal actual

Canal modificado



Através das imagens da modelação efectuada do canal de alimentação em cada uma das situações, é possível verificar as significativas alterações na sua configuração. Com esta alteração para além de se conseguir uma redução significativa em cada gito de material utilizado, pode verificar-se também uma melhoria no percurso a percorrer pelo fluxo de material, garantindo uma suavização na sua trajectória e equilibrando a distribuição do mesmo.



Como se pode verificar pela análise das figuras anteriores as alterações do canal de alimentação, realizaram-se ao nível dos ramos do canal e a elevação do plano do mesmo para eliminar o material junto da bolacha.

O ramo número 1 ficou praticamente ao nível do plano deslocado do canal de alimentação, no entanto e tendo em consideração o facto de já existir no postigo a forma de parte do canal junto do ataque fica com um ligeiro desnível na parte junto do ataque da peça. O ramo número 2, com a implementação desta alteração fica ao nível do ataque, deste modo é melhorada a trajectória a percorrer pelo fluxo de material. Relativamente ao ramo número 3, com a realização deste projecto, sofrerá um desnível (inclinação) na sua trajectória que não dificultará o bom enchimento da peça, visto que a inclinação não é muito acentuada.

Análise da força de fecho do processo

Foi realizado um estudo acerca do valor da força de fecho que este gito requer na sua implementação. Para efectuar este estudo foi utilizado um programa informático desenvolvido por mim durante o decorrer do 5º ano na faculdade de engenharia no âmbito da cadeira de Moldação por injeção de ligas leves. O gito foi dividido em figuras geométricas simples (círculos, quadrados e rectângulos), mais especificamente 129 figuras geométricas, sendo posteriormente determinada a dimensão de cada uma dessas figuras e a posição do centro de massa de cada uma delas relativamente ao centro da máquina (figura 69) – Ver anexo D.

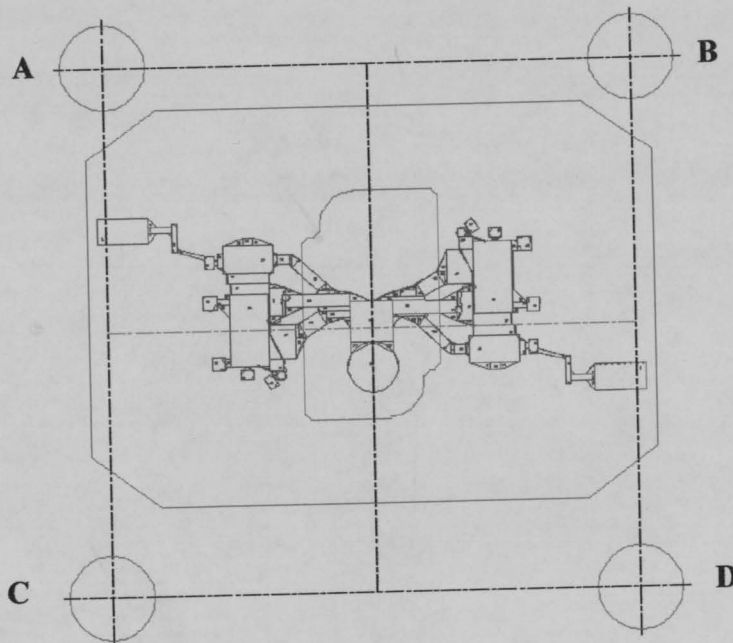


Figura 69 – Divisão do gito em figuras geométricas simples; Posicionamento do gito relativamente à máquina

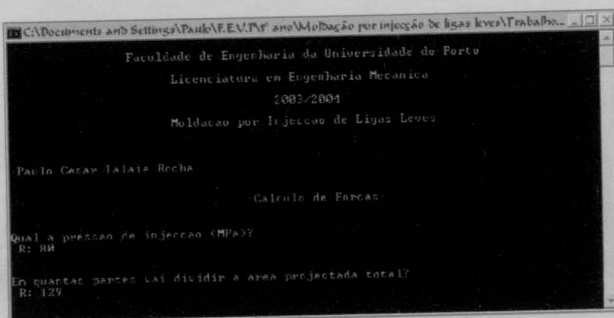


Figura 70 – Utilização do programa de cálculo

A bolacha encontra-se deslocada verticalmente cerca de 70 milímetros relativamente ao centro da máquina, este seria necessário conhecer, visto que a partir dele foi possível determinar os centros de massa de todas as figuras

Sabendo que a distância entre colunas é de 930 mm (na vertical e na horizontal), e que a pressão de injeção oscila entre 800 e 850 bar, foi possível deste modo obter-se o valor aconselhado de força de fecho para o gito em causa.

geométricas, relativamente ao centro da máquina. Pela simples observação da figura 70, seria de esperar que as colunas superiores (coluna A e B) sejam as mais solicitadas, visto que a área projectada do gito se encontra mais próxima das mesmas. Este aspecto veio a ser comprovado pelo programa de cálculo (figura 71), que demonstra que as colunas A e B são efectivamente as mais solicitadas, no entanto, a que está sujeita a um maior esforço é a coluna A.

	Forca	A	B	C	D
115	168.15	13.452	1.97973	6.74237	1.07358 3.65631
116	50	4	0.696164		1.94642 0.3576 0.99982
117	352.503	28.2002	4.99107	13.9546	2.43802 6.81651
118	363	29.04	6.13887	13.8051	2.79983 6.29625
119	41.8	3.344	0.720995		1.55436 0.338621 0.73002
120	62.7785	5.02228	1.05956	2.30699	0.521111 1.13462
121	211.241	16.8993	3.74123	7.67394	1.79736 3.68672
122	90	7.2	1.41723	3.34097	0.727291 1.71452
123	556.32	44.5056	9.29337	19.8267	4.91014 10.4754
124	2716.78	217.342	43.9477	88.7947	28.0089 56.591
125	341.677	27.3342	6.10678	10.7258	3.80994 6.69167
126	104.37	8.3496	1.77085	3.16529	1.22459 2.18887
127	171.241	13.6993	2.98238	5.15617	2.03774 3.52299
128	6.125	0.49	0.101981		0.181639 0.0742079 0.132172
129	108.81	8.7048	1.95231	3.0843	1.42187 2.24631
Totais		7142	1912	1793	1580 1674

A Forca total de fecho e': 779 (Ton)

Pretende determinar a compressao dos calcos do molde?
 1. Sim
 2. Nao
 R:

Figura 71 – Resultados obtidos do cálculo da força de fecho

Como se pode observar pela imagem anterior, o valor da força de fecho requerida para este gito seria de 779 tons, pelo que se encontra bastante acima do que está a ser actualmente utilizado. Este facto foi discutido e na empresa as pessoas têm consciência de que neste momento se está a utilizar uma máquina que está a funcionar acima dos limites admissíveis e que o aconselhado seria a utilização de uma máquina com uma força de fecho superior (por exemplo uma Buhler Evolution 84D).

Um outro aspecto detectado aquando da realização desta análise foi o facto de que a área projectada do gito (aproximadamente 90982 mm² é bastante superior à área projectada recomendada pela Buhler para o pistão que está a ser utilizado.

Segundo a Buhler (Máquina 660 tons):

Ø pistão de injeção = 90 mm → Área projectada máxima: 59800 mm²

Após a realização do novo canal de alimentação, verificou-se uma redução de cerca de 5.3% da sua área projectada relativamente ao actual.

Canal actual: 34495.66 mm²

Canal modificado: 32679.25 mm²

Análise termográfica

Princípio da termografia

A termografia é uma técnica que estende a visão humana através do espectro infravermelho. O infravermelho é uma frequência electromagnética naturalmente emitida por qualquer corpo, com intensidade proporcional à sua temperatura. São portanto emissores de infravermelho, em irradiações visuais, através de um ecrã de TV, produzindo imagens térmicas designadas de termogramas, que, em resumo, permitem a visualização da distribuição de calor na região focalizada. Desta forma com este processo torna-se extremamente fácil a localização de regiões frias ou quentes, através da análise das imagens obtidas através da termografia, onde dotados de recursos permitem abranger uma faixa de temperatura que vai de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$, com opção de filtros especiais, fornecendo uma imagem com elevada qualidade, independentemente da presença de sol ou outra fonte de calor intensa.



Figura 72 – Termografia realizada sobre um automóvel

A sua facilidade de manuseamento, o seu pequeno tamanho e autonomia, permitem a sua utilização em locais de difícil acesso.

Este processo é bastante utilizado para manutenção preventiva, através de análises termográficas em quadros eléctricos, geradores, centrais de ar condicionado e de iluminação, fundição injectada, entre muitos outros, podendo

desta forma efectuar uma análise do sistema em causa e definir medidas com vista a corrigir ou a melhorar o processo em questão.

TERMOGRAMAS EM PCI / MOTHERBOARD

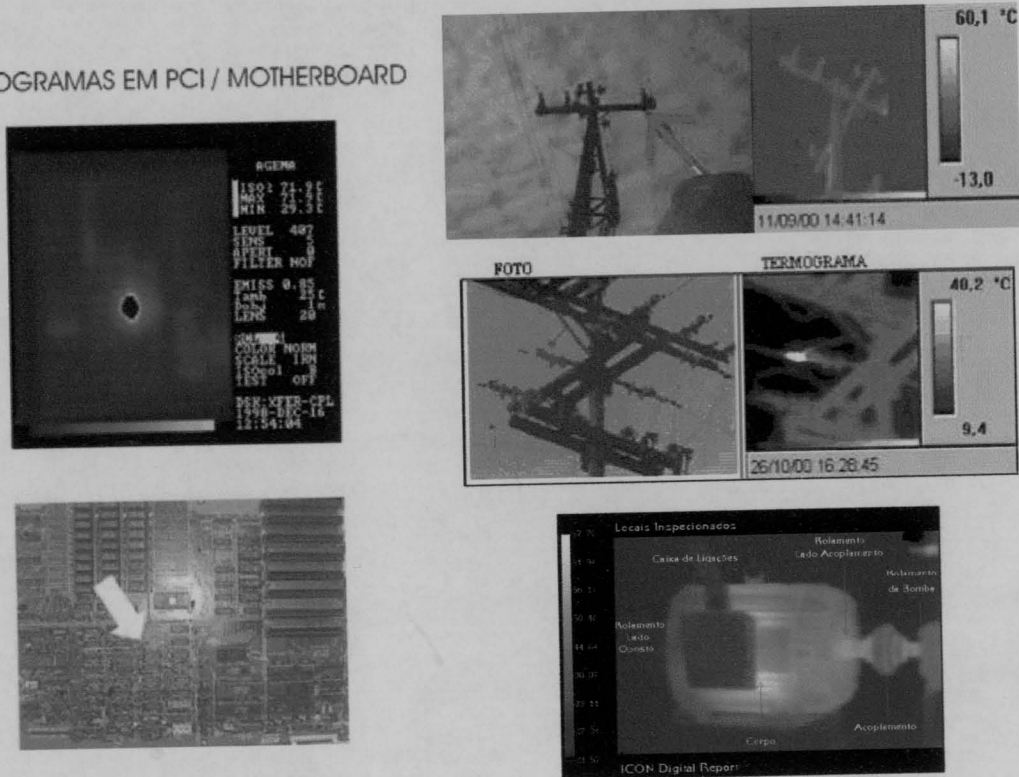


Figura 73 – Exemplos de termogramas realizados

Os principais benefícios da utilização deste tipo de sistemas num qualquer ambiente podem ser os seguintes:

- ↓ Permite antecipar danos que possam causar elevados custos se for necessário a sua reparação;
- ↓ Permite corrigir problemas que causem consumo de energia em excesso ou falta dela;
- ↓ Permite a inspeção rápida de uma grande quantidade de equipamentos num curto período de tempo;
- ↓ Fácil diagnóstico durante o período de funcionamento do equipamento;
- ↓ Ao detectar um problema grave, pode ser evitada a perda desnecessária de diversos componentes ou peças;

Fundamentalmente este processo pode ser definido como sendo uma técnica que permite um diagnóstico precoce, sem interrupção do processo produtivo alvo da análise.

Processo actual

O principal objectivo da realização da análise termográfica ao molde, para além do facto de nos fornecer informação acerca da distribuição de temperaturas ao longo da superfície deste, seria comprovar zonas de elevada temperatura que causam nos gitos problemas de solidificação, que são perfeitamente visíveis na superfície nos mesmos (figura 74), nomeadamente na zona junto da bolacha que se optou por eliminar com a realização deste projecto.

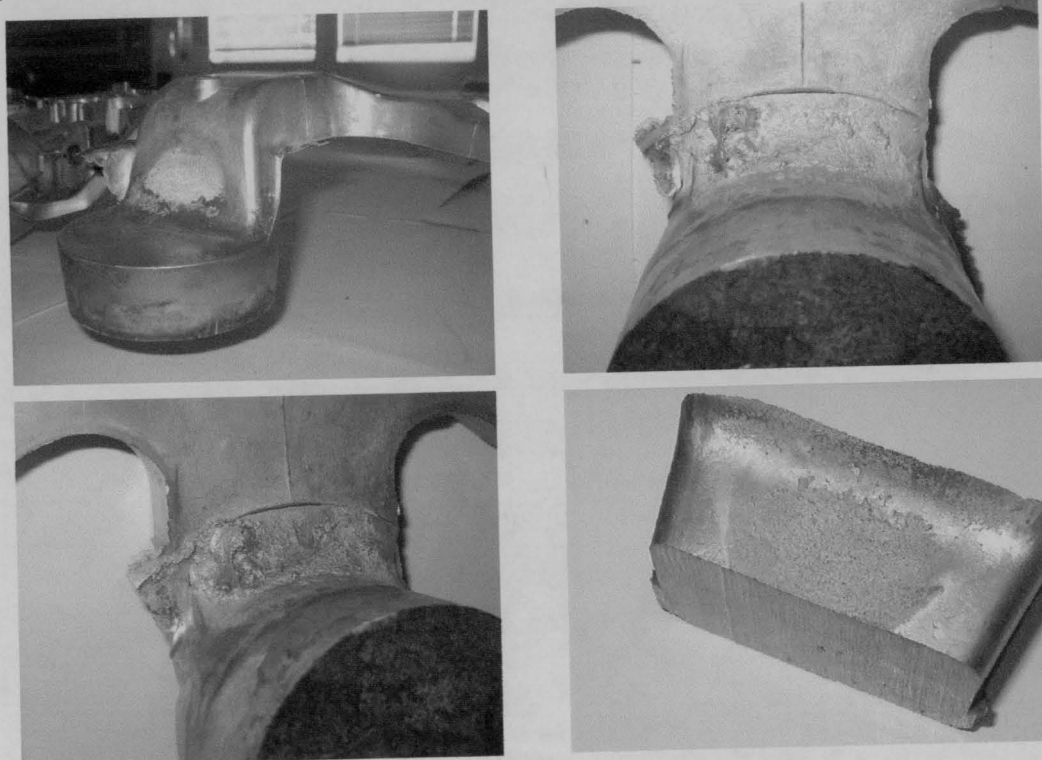


Figura 74 – Zona deteriorada devido à grande concentração de calor.

A realização desta análise veio comprovar este facto e por outro lado veio também demonstrar outros problemas ao nível de transferência de calor no molde, que são difíceis detectar, visto que na Sonafi não existe actualmente nenhum método eficiente de controlo da temperatura do molde. Uma das possíveis soluções a implementar para ser possível controlar de alguma forma a temperatura do molde em pontos que são vistos como críticos seria a implementação de termopares. Deste modo seria possível controlar a temperatura de pontos críticos da cavidade do molde, podendo actuar no sentido de corrigir as oscilações de temperatura nesses pontos quando assim for exigido.

O sistema de refrigeração de um molde normalmente está dividido em três circuitos independentes:

- ✚ Refrigeração do lado móvel
- ✚ Refrigeração do lado fixo
- ✚ Refrigeração do êmbolo de injeção e camisa de injeção

O aquecimento do molde é um factor de elevada importância no processo podendo ser realizado por diversas formas, no entanto algumas podem ser prejudiciais para o bom funcionamento do mesmo:

- ✚ Injeções iniciais de aquecimento com metal líquido (evitar)
- ✚ Chama de gás – maçarico (evitar)
- ✚ Radiação por infravermelhos – resistências eléctricas
- ✚ Unidades de controlo de temperatura

Para além de parâmetros como a temperatura do metal, tempo de enchimento e pressão de injeção, a temperatura do molde (equilíbrio térmico do mesmo) tem uma grande influência na qualidade do produto final assim como no tempo de ciclo (através do tempo de solidificação, por exemplo).

O controle da temperatura do molde é fundamental para o aquecimento e para a permanência da temperatura de fundição a um nível operativo, isto é, a uma temperatura de trabalho, possibilitando assim a obtenção de peças com elevados critérios de qualidade, optimização do tempo de ciclo e prolongamento da vida útil do molde.

O controle do processo térmico do molde é um factor importante na produção por fundição injectada. Dentro do molde, a energia em forma de calor é conduzida através da liga e do material do molde, para a superfície dos canais de arrefecimento, onde por trocas de energia (sobre a forma de temperatura) irá ser transmitida ao fluido em circulação dentro do molde. O calor existente no fluido, neste caso o óleo, irá ser dissipado na unidade de controlo de temperatura. De salientar um aspecto que por vezes é não é considerado durante o processo e que afecta o decorrer do mesmo, são as perdas de calor que ocorrem durante o movimento dos pratos da máquina (nomeadamente durante a sua abertura e fecho) e as perdas por radiação para a atmosfera.

Foram realizadas algumas análises ao molde durante o seu funcionamento, para tal foi utilizado uma máquina termográfica, gentilmente disponibilizada pela Kupper Schmidt (localizada em Oliveira de Azeméis).

Características do equipamento e software utilizado:

- ✦ Máquina utilizada: Agema 570 (Flir Systems AB)
- Gama de temperaturas abrangente [80 – 500° C]
- ✦ Software de análise das temperaturas:
 - ThermaCam Explorer 99
 - ThermaCam Reporter 2000 Professional

O procedimento utilizado na análise efectuada consistiu na medição das temperaturas do molde antes e após da aplicação do lubrificante, para ser também possível inferir acerca da influência deste elemento na temperatura do molde. As análises foram realizadas, efectuando uma injeção e após extracção do gito a porta de segurança da célula de injeção era aberta e era realizada a análise. Entre cada análise o procedimento aplicado foi o mesmo.

Um dos aspectos que logo se verificou foi o facto de o molde fixo se encontrar a uma temperatura superior à do molde móvel, principalmente na zona do canal de alimentação (figura 75), atingindo uma diferença de temperatura entre os dois meios moldes de cerca de 100 °C, este facto pode ser uma consequência de um funcionamento deficiente ou irregular das cascatas existentes nesses locais cujo objectivo é a refrigeração da zona assinalada na figura do canal de alimentação, facilmente verificada pela diferença de tonalidade na mesma zona nos dois meios moldes.

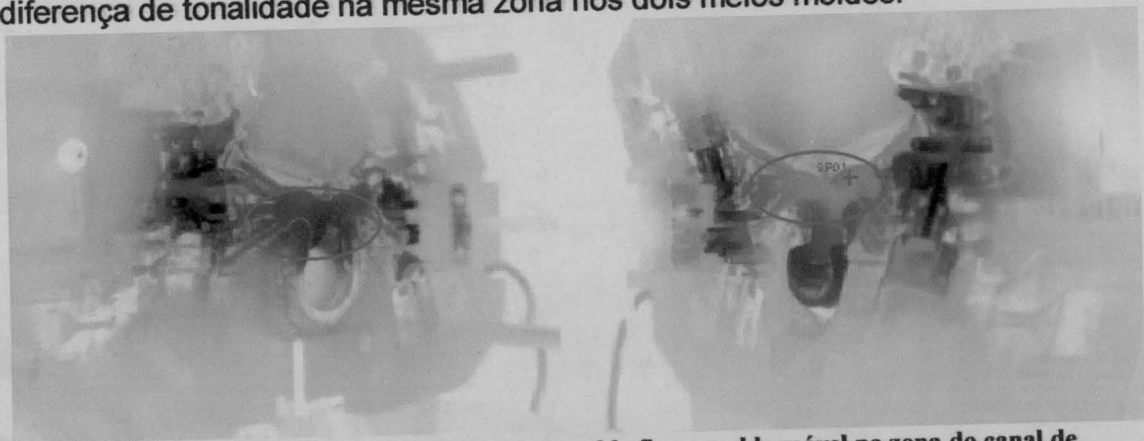


Figura 75 – Diferença de temperatura entre molde fixo e molde móvel na zona do canal de alimentação.

Por outro lado é possível verificar que a parte do canal que se eliminou no projecto é efectivamente e como seria de esperar uma zona de elevada

concentração de calor, condicionando o tempo de arrefecimento (cerca de 15 segundos) e consequentemente o tempo de ciclo. Na zona de formação da bolacha é possível verificar que nesse local o molde atinge temperaturas superiores a 300 °C.

Quantidade de calor transportada

$$Q = c \times N \times ml$$

Q : Quantidade de calor transportada

c : Calor transportado pela liga – ligas de alumínio 607 Kj/Kg

N : Número de injeções

ml : Peso de injeção

Processo actual

$$Q = 607 \times 54 \times 4.063 = 133177 \text{ Kj/h}$$

Processo modificado

$$Q = 607 \times 59 \times 3.860 = 138238 \text{ Kj/h}$$

Análise térmica do lado fixo do molde

No que diz respeito ao lado fixo do molde, como já foi referido anteriormente, este encontra-se a uma temperatura superior relativamente ao molde móvel, em particular na zona do canal de alimentação devido aos motivos já referidos anteriormente. Este desequilíbrio térmico dos dois meios moldes (aproximadamente 100 °C no canal de alimentação e cerca de 50 °C nas cavidades), pode ser prejudicial à sanidade e à qualidade das peças obtidas. No molde fixo verifica-se que as grandes concentrações de calor estão localizadas na zona do canal de alimentação e na própria cavidade da peça, nomeadamente em zonas salientes da cavidade que originam dificuldades de dissipação de calor (Figura 76).



Figura 76 – Cavidade do lado fixo

Após aplicação do lubrificante verifica-se uma diminuição da temperatura do molde, em cerca de 50 °C, no entanto verifica-se também que o seu poder refrigerante não é uniforme ao longo de toda a superfície do molde, sendo mais intensa nas zonas de maior concentração de calor (zonas onde a temperatura é mais elevada).

Desta forma é possível concluir que a actuação do agente lubrificante, relativamente ao seu poder de refrigeração, é mais eficiente e notório nos pontos onde a temperatura é mais elevada (nomeadamente na zona da cavidade da peça).

Pela análise do sistema de refrigeração do molde fixo, seria aconselhável incluir no sistema alguns canais para permitir a refrigeração dos pernos moldantes e de certas zonas salientes da cavidade que devido à sua configuração causam grandes dificuldades de dissipação de calor. A solução para tentar refrigerar essas zonas da cavidade seria a introdução de cascatas que atravessassem os pernos moldantes (figura 77).

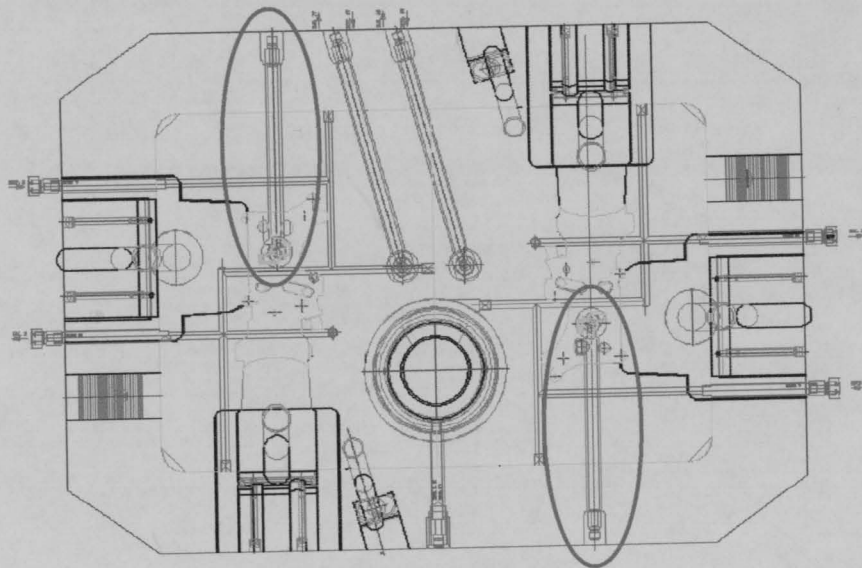


Figura 77 – Refrigeração do molde fixo

O calor desenvolvido na cavidade do molde fixo é uma consequência directa da concentração de material depositada nessa zona, fazendo com que os pernos moldantes fiquem sujeitos a elevadas temperaturas com um consequente aumento do seu desgaste e degradação.

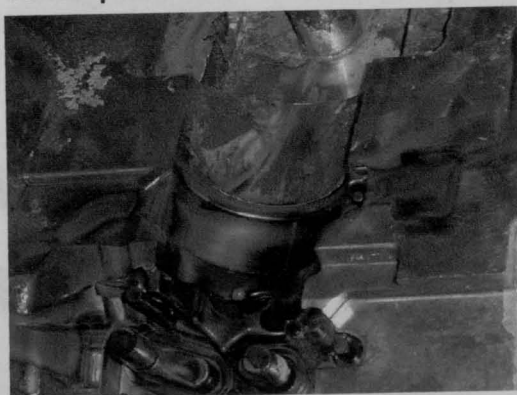


Figura 78 – Cavidade do molde fixo

Há que salientar o facto que o desgaste dos pernos moldantes não são exclusivamente derivados das elevadas temperaturas a que estão sujeitos, é também causado pela força de impacto durante a injeção do material na cavidade.

De uma forma geral poder-se-á dizer que antes e após actuação do lubrificante, o molde fixo diminui a sua temperatura máxima em cerca de 50 °C, sendo esta variação de temperatura verificada no interior da cavidade da peça. O local que se encontra a uma temperatura muito elevada e que condiciona o tempo de ciclo é a zona do canal de alimentação junto da bolacha, cuja temperatura chega a atingir cerca de 310 °C.

Análise térmica do molde fixo antes da actuação da lubrificação



	Valor
IR : max	340.7°C
IR : min	<30.4°C
SP01	281.7°C
SP02	287.9°C
AR01 : max	309.8°C
AR01 : min	*70.4°C
AR02 : max	340.7°C
AR02 : min	*73.0°C
AR03 : max	109.5°C
AR03 : min	*48.7°C

Análise térmica do molde fixo após actuação da lubrificação



	Valor
IR : max	305.4°C
IR : min	<30.4°C
SP02	282.7°C
SP01	274.4°C
AR01 : max	298.1°C
AR01 : min	*78.7°C
AR02 : max	305.4°C
AR02 : min	*64.5°C
AR03 : max	119.7°C
AR03 : min	*45.5°C

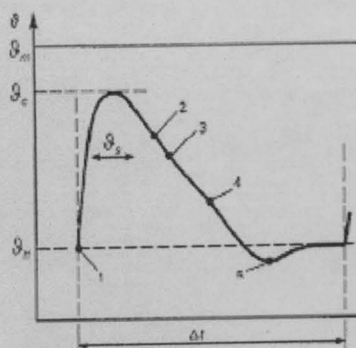
O molde em causa possui refrigeração por água no taco (inserção de impacto), na gaveta que molda o copo da peça e na camisa de injecção. Por outro lado, todos os restantes canais de refrigeração possuem refrigeração por óleo (die-heater). É sabido que o calor retirado através da lubrificação do molde é uma forma clássica de arrefecimento do molde, em que o lubrificante é uma

solução aquosa (à base de água) a uma temperatura fria versus a temperatura do molde. Para o correcto funcionamento do molde, deverá ser garantido um equilíbrio térmico do molde, ou seja, o calor que sai deverá ser igual ao calor que entra.

A água tem um poder refrigerante superior ao do óleo, visto que, retira uma maior quantidade de calor por superfície de contacto com o aço do molde, no entanto essa quantidade de calor depende em grande parte da diferença térmica entre a temperatura do fluido e da "zona" que se pretende arrefecer. O óleo possui uma temperatura superior à da água e normalmente circula num circuito fechado ao contrário da água que usualmente circula num circuito aberto. O óleo tem a dupla função de retirar calor em algumas situações e introduzir noutras, com vista a garantir esse mesmo equilíbrio térmico. Daí que normalmente, e também no caso em questão, a refrigeração por óleo seja realizada na zona da cavidade do molde, onde as oscilações de temperatura são maiores devido ao contacto com o material fundido e a refrigeração por água em locais onde existe a necessidade de retirar calor em pontos de elevada temperatura.

Quando ocorre uma avaria na máquina de injeção, por um qualquer motivo, seria de esperar que o com a paragem do o processo o molde "perca" a sua temperatura de funcionamento e o seu equilíbrio térmico, daí que a presença de um termoregulador seja necessário para ultrapassar este problema. Quando ocorre uma avaria na máquina o termoregulador liga aquecendo o óleo mantendo desta forma o molde à temperatura desejada.

Temperatura da superfície de um molde em função do tempo



- Δt - Tempo de ciclo
- t_s - Tempo de solidificação
- θ_h - Temperatura de pré- aquecimento
- θ_c - Temperatura máxima da superfície
- θ_m - Temperatura do metal fundido
- 1- Molde cheio
- 2- Gito solidifica dentro do molde
- 3- Abertura do molde
- 4- Aplicação de desmoldante
- 5- Fecho do molde

Análise térmica do lado móvel do molde

Relativamente ao lado móvel do molde, verificou-se uma temperatura muito elevada nos pernos moldantes que moldam o copo da peça, temperatura esta que não está muito longe dos 400 °C. Por outro lado também a zona do canal de alimentação demonstrou ser das zonas onde a temperatura é mais elevada, aspecto este que já seria esperado pela simples visualização do canal de alimentação, um pouco à semelhança daquilo que se passa no molde fixo, apesar da diferença de temperatura existente entre os dois. Na gaveta que molda o copo da peça (figura 79) existe um sistema de refrigeração que como se verifica pela análise termográfica realizada é eficaz apenas no corpo da gaveta sendo no próprio perno que se verificam temperaturas elevadíssimas.

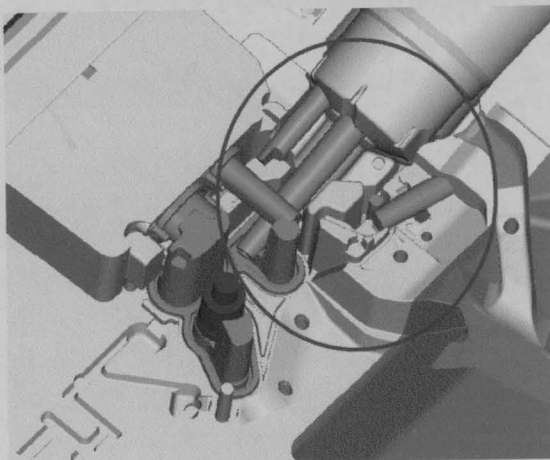
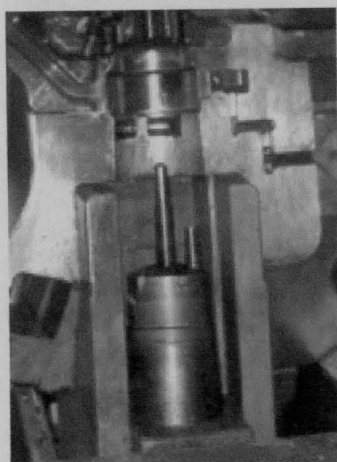


Figura 79 – Molde móvel (gaveta do copo da peça)

Após actuação do lubrificante a temperatura do perno diminuiu ligeiramente (cerca de 40°C) no entanto continua com uma temperatura elevada, pelo que seria aconselhável elaborar uma alternativa para diminuir a temperatura do perno moldante, visto que essa temperatura condiciona o seu tempo de vida.

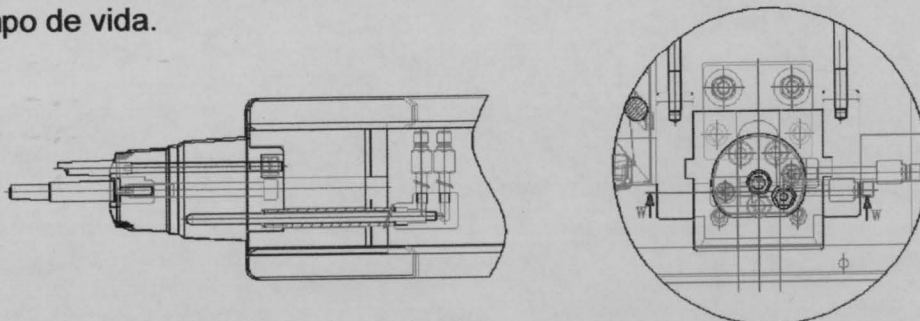


Figura 80 – Perno moldante da gaveta que molda o copo

Para tentar solucionar o problema da temperatura elevada no perno moldante da gaveta do copo, poder-se-ia colocar uma refrigeração de cascata que atrevesse o perno em todo o seu comprimento (figura 81 e 82).

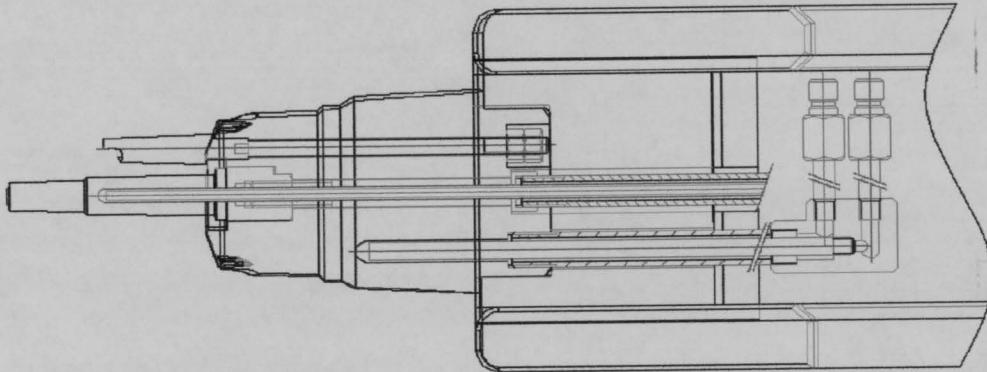


Figura 81 – Primeira alternativa para a refrigeração do perno da gaveta do copo

Uma possibilidade para a realização do sistema de refrigeração referido anteriormente, seria a possibilidade de a cascata de refrigeração atravessar o interior do parafuso que garante a fixação do perno ao corpo da gaveta (figura 81). Este sistema têm a desvantagem de que com o uso regular do molde, poder vir a causar problemas de estanqueidade durante o funcionamento, para além do facto de que durante a sua realização o trabalho terá de ser rigorosamente realizado para garantir uma boa vedação do sistema de refrigeração.

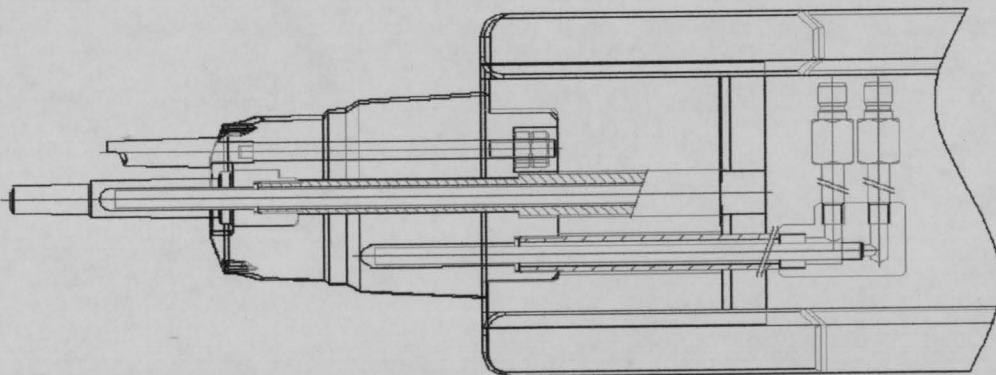


Figura 82 - Segunda alternativa para a refrigeração do perno da gaveta do copo

Uma outra alternativa poderia passar pela realização de um tubo que fosse o canal de refrigeração e simultaneamente o elemento de fixação entre o perno e o corpo da gaveta (figura 82). Esta solução forneceria uma melhor vedação do sistema comparativamente com a solução anterior, no entanto a

realização do tubo exigiria do fabricante um elevado rigor para que o ajuste deste, durante a sua fixação seja bem efectuado (não existindo folgas).

A zona da inserção de impacto (taco) continua a ser um dos pontos mais críticos do molde, apesar de possuir um sistema de refrigeração independente utilizando como fluido de refrigeração água, ocorrem no gito problemas durante a solidificação, como já foi anteriormente referido, casos ocorreram que devido às elevadas temperaturas naquela zona do canal de alimentação, ocorreu mesmo um fissuração do canal durante a solidificação.

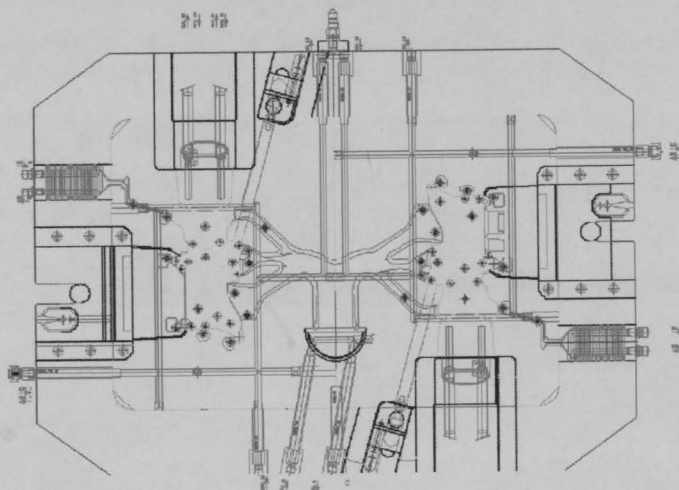
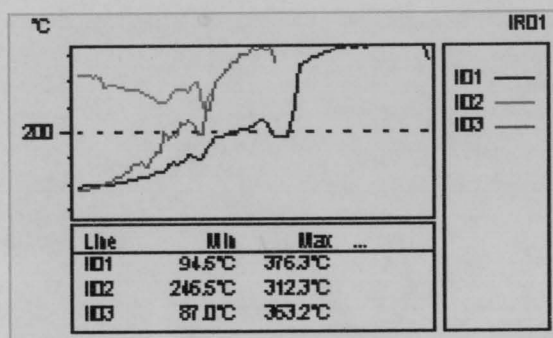


Figura 83 – Sistema de refrigeração do molde móvel

A actuação do lubrificante, mo que diz respeito ao seu poder refrigerante, têm uma maior eficácia na cavidade do molde, diminuindo a sua temperatura em cerca de 40°C, não exercendo uma actuação significativa nas restantes zonas do molde, relativamente ao seu poder refrigerante. Pelo que se pode concluir que a actuação do lubrificante relativamente ao seu poder de refrigeração não é uniforme ao longo de todo o molde (aspecto este já verificado no molde fixo). A zona do canal de alimentação que se eliminou com a implementação deste projecto, possui uma temperatura de aproximadamente 320°C sendo que após aplicação do lubrificante a temperatura diminui cerca de 2% (ficando com uma temperatura média de aproximadamente 315 °C).

A implementação de um postigo central no lado móvel do molde, com a implementação do projecto, fez com que fosse colocado um sistema de refrigeração independente para o canal de alimentação, fazendo desta forma com que seja possível melhorar o desempenho térmico do molde.

Análise térmica do molde móvel antes da actuação da lubrificação
(Gavetas actuadas)

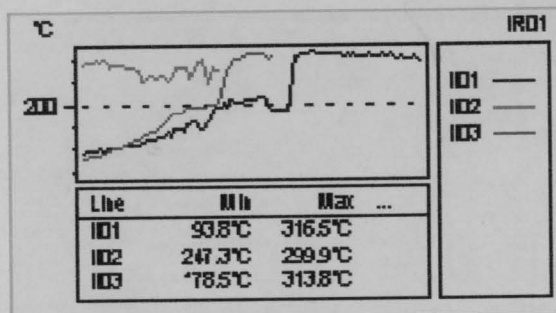


Evolução da temperatura ao longo dos pernos das gavetas que moldam o copo da peça (linha 1 e 3) e na zona da inserção de impacto (linha 2).

Verifica-se que a temperatura do perno moldante aumenta à medida que se aproxima da cavidade do molde.

	Valor
IR : max	376.3°C
IR : min	<30.4°C
SP01	183.2°C
SP02	253.3°C
SP03	266.7°C
SP04	136.3°C
LI01 : max	376.3°C
LI01 : min	94.5°C
LI01 : max-min	281.8°C
LI02 : max	312.3°C
LI02 : min	246.5°C
LI02 : max-min	65.8°C
LI03 : max	363.2°C
LI03 : min	87.0°C
LI03 : max-min	276.2°C
AR01 : max	322.4°C
AR01 : min	264.0°C
AR02 : max	376.3°C
AR02 : min	278.1°C
AR03 : max	113.1°C
AR03 : min	265.1°C
ISO01	370.8°C

Análise térmica do molde móvel após actuação da lubrificação
(Gavetas actuadas)



	Value
IR : max	334.7°C
IR : min	<30.4°C
SPD2	128.1°C
SPD1	184.6°C
SPD3	260.9°C
SPD4	128.2°C
LI01 : max	316.5°C
LI01 : min	93.8°C
LI01 : max-min	222.7°C
LI02 : max	299.9°C
LI02 : min	247.3°C
LI02 : max-min	52.5°C
LI03 : max	313.8°C
LI03 : min	78.5°C
LI03 : max-min	235.3°C
ARD1 : max	316.5°C
ARD1 : min	104.0°C
ARD2 : max	334.7°C
ARD2 : min	66.8°C
ARD3 : max	120.6°C
ARD3 : min	52.7°C
ISD01	331.7°C

Evolução da temperatura ao longo dos pernos das gavetas que moldam o copo da peça (linha 1 e 3) e na zona da inserção de impacto (linha 2).

A utilização de canais de refrigeração nas ventilações tem como finalidade garantir a solidificação do material nesses locais, evitando desta forma qualquer possibilidade de o material saia pelo molde. Por outro lado o conjunto de curvas existentes no percurso que liga as ventilações aos masselotes e à peça, possui uma forma alternada com a finalidade de ao longo do percurso percorrido pelo metal a sua velocidade diminua, para que quando este atinja o local das ventilações a sua velocidade seja tão reduzida que impede que este saia pelo molde fora.

Soluções para melhorar o desempenho térmico do molde

Não existe na Sonafi e em particular no molde em questão um processo permanente e eficiente de controlo da temperatura do molde e principalmente de alguns pontos que possam ser críticos em termos de dissipação de calor no molde. Da forma como o processo está instalado na empresa não é possível saber durante o seu funcionamento o que se passa no seu interior a nível térmico. A solução para ser possível contornar este “problema” poderia passar pela implementação de termopares nos moldes, deste modo poder-se-ia saber qual o valor de temperatura nos pontos vistos como mais críticos e poder intervir no sentido de evitar problemas no processo e no molde quando os valores esperados não estivessem dentro dos limites admissíveis. Este tipo de solução já tinha sido implementado no passado, no entanto esta ideia foi abandonada devido à fragilidade e às dificuldades encontradas durante a sua implementação. Penso que os problemas relativos à sua fragilidade durante o decorrer do processo que levam à sua deterioração, poderiam ser ultrapassados com o desenvolvimento de sistemas de protecção contra sujidade e choque durante o decorrer do processo de fundição injectada. Deste modo seria possível detectar possíveis falhas no sistema de refrigeração, assim como outro tipo de deficiências que conduzam a oscilações de temperatura que consequentemente influenciam a sanidade e qualidade das peças produzidas, para além de problemas como sobreaquecimento que têm consequências nefastas no molde e nos seus componentes.

Para funcionar em boas condições, o molde necessita que lhe seja assegurado um determinado equilíbrio térmico, devendo a temperatura manter-se o mais constante possível. Em nenhum caso deve a injeção ser iniciada com o molde frio ou insuficientemente aquecido, isto porque, produzir-se-iam tensões de origem térmica consideráveis na sua superfície que poderiam provocar o aparecimento de fendas.

A temperatura de funcionamento dos moldes na fundição de ligas de alumínio oscila entre os 180 e os 300°C.

A termo-regulação do molde faz-se com o auxílio de permutadores de calor e é utilizado como veículo de transporte de um óleo termofluido.

Simulação de enchimento

Um aspecto que está directamente relacionado com o tema deste projecto, é a utilização de softwares de simulação para prever o comportamento do processo durante o enchimento e poder prever algumas situações que num processo real poderiam ser prejudiciais à sanidade das peças e até mesmo ao desempenho do mesmo.

Através da utilização de software de simulação podemos prever situações e alterá-las se necessário. Existem actualmente vários tipos de software de simulação que auxiliam no desenvolvimento do produto.

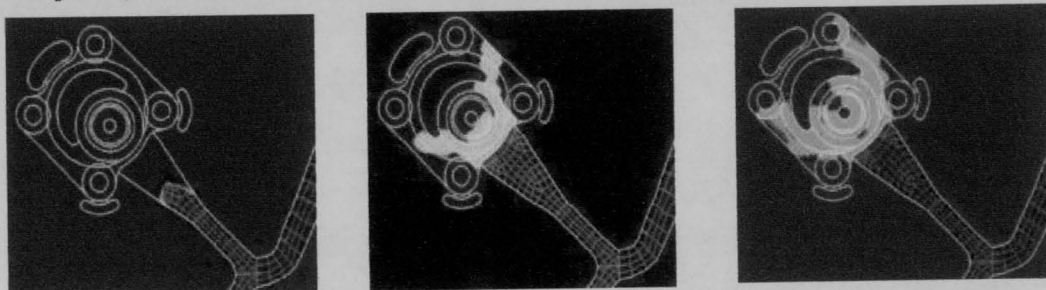


Figura 84 – Exemplo da utilização de software de simulação de enchimento numa peça

Questões como porosidade, taxa de solidificação, simulação de enchimento de metal são extremamente importantes não só em termos económicos mas também tecnológicos. Um dos grandes objectivos é a optimização da taxa de solidificação, obtenção de uma peça de qualidade com uma taxa de solidificação uniforme e o mais rápida possível. Isto é possível através da utilização de software de transferência de calor.

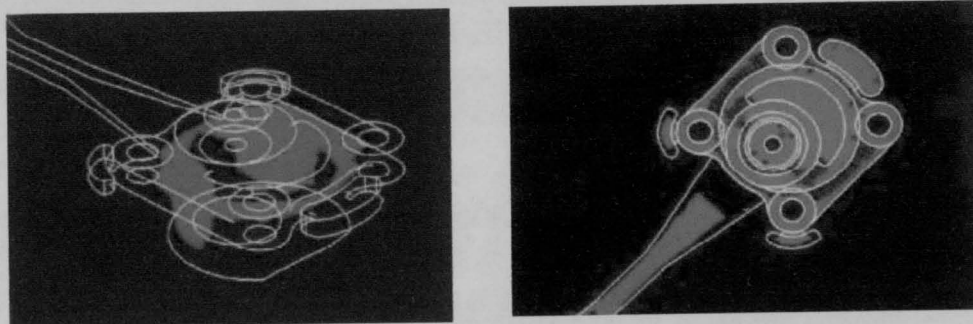


Figura 85 – Exemplo da utilização de software de simulação de transferência de calor

A simulação é uma ferramenta de desenvolvimento já utilizada há alguns anos. Envolve o desenvolvimento de um modelo CAD de um produto, o desenvolvimento através de meios informáticos do meio em que o produto será utilizado, teste do produto sob diferentes condições do meio ambiente, análise do comportamento do mesmo e modificação do modelo de forma a melhorar o

seu comportamento. A simulação por computador, torna mais fácil a avaliação do comportamento de um produto antes da sua implementação. Podem ser construídos vários modelos que podem ser testados e comparados posteriormente. A simulação ajuda à celeridade do processo de desenvolvimento, visto que não necessita das actividades extremamente demoradas para a produção de modelos físicos de um produto e do meio ambiente. Ao invés utiliza modelos projectados em computador que normalmente seriam utilizados por base para a construção de modelos físicos, economizando-se deste modo tempo e dinheiro.

Usualmente a simulação divide-se em pré-processamento (construção do modelo), processamento (simulação propriamente dita) e pós-processamento (análise de resultados).

Para o projecto em causa, não seria possível realizar uma simulação de enchimento da peça em questão com as alterações do canal de alimentação propostas, visto que a simulação é um processo que requer algum tempo para que seja efectuado com todo o rigor e detalhe, daí que o tempo durante o qual decorreu o projecto não fosse suficiente para a sua implementação. Em alternativa e para ser possível um contacto directo com diferentes softwares de simulação, foi desenvolvido um caderno de encargos que analisa dois tipos de softwares diferentes. Desta forma foi possível ter um contacto directo com a utilização destes softwares, para tal foi indispensável a disponibilidade de duas instituições que utilizam softwares diferentes, que possibilitaram esta análise. São elas o Inegi (Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial) e a Kupper Schmidt, que demonstraram uma grande abertura e disponibilidade para a realização deste estudo (aspecto este que não poderia deixar de salientar deixando o agradecimento às pessoas que directa ou indirectamente possibilitaram a realização desta etapa do projecto).

Software de simulação - ProCAST

O Inegi através do seu centro de simulação coloca à disposição da indústria de fundição e afins meios para realizar a simulação de enchimento e solidificação e peças e/ou moldes com o software ProCAST. Poder-se-ão visualizar os seguintes tipos de resultados:

- ✚ Perfil de enchimento;
- ✚ Distribuição de temperaturas;
- ✚ Distribuição dos vectores velocidade;
- ✚ Formação de bolsas de ar;
- ✚ Localização de pontos quentes;
- ✚ Presença de macro porosidades, etc.

Procedimento

1º - Estabelecimento de uma proposta para a simulação

A título demonstrativo, o cliente poderá usufruir de um primeiro trabalho a custos praticamente simbólicos, desde que os níveis de apreciação descritos na tabela abaixo não sejam elevados.

Após reunião, definir-se-á conjuntamente com o cliente qual a simulação mais apropriada às suas necessidades. Para efeitos de proposta serão tidos em consideração os seguintes parâmetros:

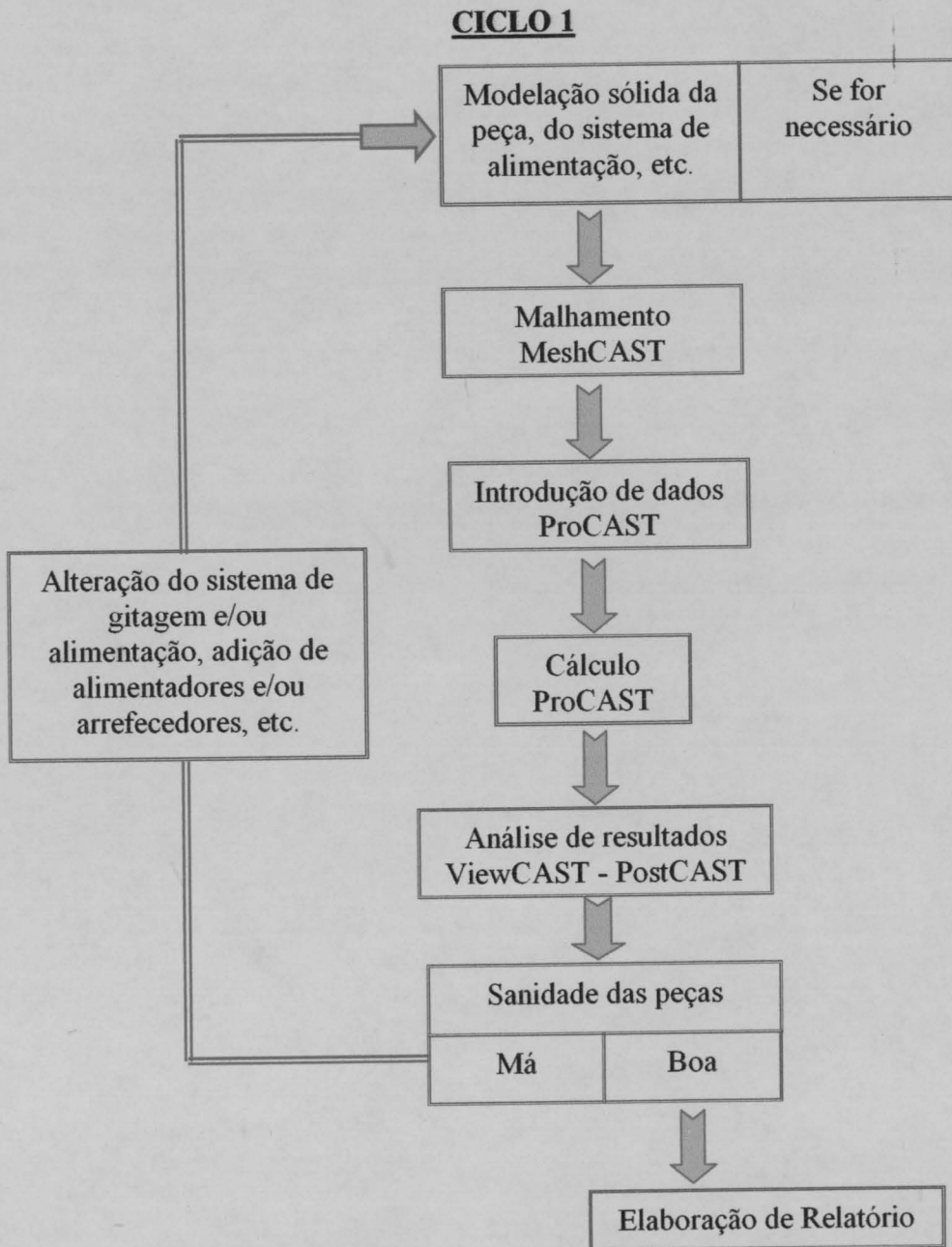
Geometria	Apreciação	Repercussão
A modelação (peça, sistema de alimentação, etc.)	A sua existência. A sua qualidade. A sua complexidade.	Modelação. Tempo de malhamento.
O processo	A sua complexidade.	Tempo de cálculo.
Apresentação de resultados	Incluídos.	

As propostas serão enviadas 24 horas após recepção da geometria CAD 3D, sendo legíveis os formatos nativos do SolidWorks e do CATIAV5, bem como:

- Parasolid versão 9 – SolidWorks ou Unigraphics
- STEP – CATIA V5
- IGS / STEP (Protocolo nº214) - ProEngineer

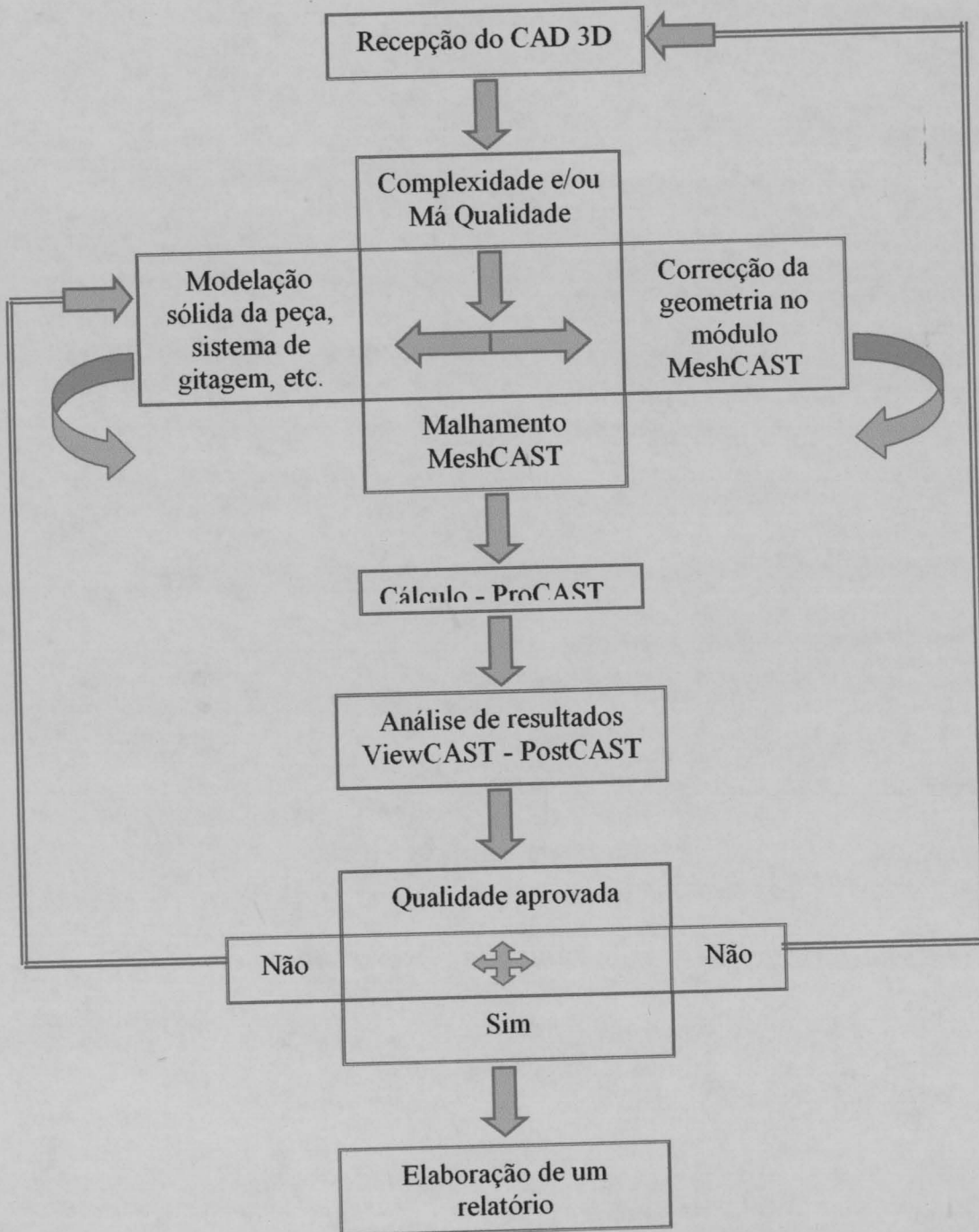
2º - Após aceitação da proposta

Ciclos possíveis para a realização do trabalho:



NOTA: Caso o cliente tenha algum tipo de exigência em particular o ciclo pode ser modificado em função do tipo de análise requerida pelo mesmo.

CICLO 2



3º - Entrega e discussão dos resultados

TEMPO DE EXECUÇÃO

Normalmente, cerca de duas semanas após recepção de um modelo CAD 3D de boa qualidade.

Requisitos do processo:

- ✚ Ficheiro CAD (já referido anteriormente);
- ✚ Tipo de liga e sua temperatura de utilização;
- ✚ Tipo de aço do molde e a sua temperatura de funcionamento;
- ✚ Velocidade do pistão de injeção (Em alternativa pode ser fornecido o valor da área e velocidade no ataque);
- ✚ Pressão de compactação;
- ✚ Tempo de enchimento;
- ✚ Comprimento da primeira fase;
- ✚ Comprimento da segunda fase;
- ✚ Taxa de enchimento;
- ✚ Dimensões (atravancamento) da peça;
- ✚ Peso da peça;
- ✚ Espessura mínima e média da peça;
- ✚ Dimensões da bolacha (se eventualmente não vier especificada no desenho);

NOTA: O processo fica bastante facilitado se o desenho do jito não contiver arredados com raios inferiores a dois milímetros. Por outro lado a existência de um elemento protótipo auxilia largamente a elaboração da simulação.

Custos associados

A nível de exemplo:

- Peça com uma malha de 1.400.000 elementos (um milhão e quatrocentos mil elementos presentes na malha)

O custo associado a um processo deste género pode variar entre 7500 a 10000 € dependendo da complexidade da peça e do estado em que é fornecida ao Inegi (nomeadamente, se não necessitar de alterações na sua geometria, para facilitar o processo).

Software de simulação – Flow 3D

A Kupper Schmidt, empresa de fundição injectada localizada em Oliveira de Azeméis permitiu o estudo do software que utilizada para a realização de processos de simulação. O objectivo da empresa na utilização deste software é a realização de estudos preliminares no desenvolvimento das peças. Este tipo de software é ligeiramente diferente do utilizado pelo Inegi, visto que o anterior é mais vocacionado para a indústria enquanto que o Flow 3d é de carácter um pouco mais científico, visto que explora as propriedades do processo e do material de uma forma mais aprofundada, baseada em conceitos teóricos, permitindo uma análise mais rigorosa e detalhada da influência de um qualquer parâmetro da liga.

Requisitos do processo:

- ± Viscosidades (líquido e/ou sólido) do material;
- ± Densidades (líquida e/ou sólida) do material;
- ± Propriedades de solidificação:
 - Temperatura de líquido;
 - Temperatura de sólido;
 - Calor latente;
- ± Outras propriedades:
 - Coeficiente de arrastamento da fracção sólida;
 - Fracção crítica sólida;
 - Fracção coerente de sólido (para o alumínio é de 0.3);
- ± Modelos de segregação;
- ± Processo:
 - Temperatura do molde;
 - Localização dos canais de refrigeração e a temperatura do fluido;
 - Temperatura de vazio do molde;
 - Pressão do ar no interior do molde;
 - Rugosidade da superfície (cavidade) do molde;

Resultados possíveis de obter com este software:

- ✦ Distribuição de pressões;
- ✦ Distribuição de velocidades segundo as três direcções;
- ✦ Fracção de fluido;
- ✦ Distribuição de temperaturas;
- ✦ Temperatura da parede do molde;
- ✦ Energia turbulenta (turbulência);
- ✦ Concentração de defeitos na superfície;
- ✦ Magnitude de velocidade;
- ✦ Tensões;
- ✦ Entre outras.

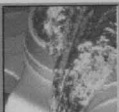
Conclusões:

Uma das grandes diferenças dos dois tipos de softwares de simulação expostos anteriormente é o facto de o ProCAST ser baseado no método dos elementos finitos, por outro lado o Flow3D é baseado no método das diferenças finitas. No que diz respeito aos resultados que se conseguem obter com cada um dos programas de simulação, em ambos é possível obter uma variedade de resultados que auxiliam no desenvolvimento de um produto, no entanto não se deve esquecer o facto de que os resultados obtidos nos dois programas não dão 100 % de garantia que na realidade determinado facto ou acontecimento irá realmente ocorrer. Como programas de simulação que são, estão sujeitos a um erro, que apesar de diminuto está sempre presente.

Análise de defeitos das peças

Relativamente aos principais defeitos associados à peça em causa foi realizado uma associação entre os principais defeitos encontrados nas peças e a base de dados elaborada no âmbito da cadeira de moldação por injeção de ligas leves do curso de licenciatura em engenharia mecânica (opção de moldação por injeção). Deste modo conseguir-se-ia encontrar algumas possíveis causas para o aparecimento desses mesmos defeitos no sentido de auxiliar a eliminação ou a minimização do aparecimento dos mesmos.

✚ Porosidades



FUNDIÇÃO INJECTADA
DEFEITOS EM FUNDIÇÃO INJECTADA


Nome do defeito: Porosidade derivada do fluxo Descrição do defeito: Porosidade causada pelas características do fluxo.

Causas associadas ao defeito


Causa	Fluxo do metal é demasiado lento, está demasiado fino, ou possui um padrão de fluxo deficiente.
Causa	Existência espaços ou vazios (originando a porosidade) no interior do metal aquando da sua solidificação.

Correcções associadas ao defeito

Correcção	1- É um problema com o fluxo de metal, daí que possa ser aplicado o mesmo tipo de correcções referidas no caso dos defeitos de superfície.
Correcção	2- Os espaços entre o fluxo de metal podem surgir na superfície (buracos) ou no seu interior (porosidades). Verificar o tempo de enchimento.



Página inicial



FUNDIÇÃO INJECTADA
DEFEITOS EM FUNDIÇÃO INJECTADA


Nome do defeito: Porosidade de contração Descrição do defeito: Porosidade gerada pela contração da peça.

Causas associadas ao defeito

Causa	O material da peça injectada ocupa mesmo espaço quando solidificada do que quando se encontra no estado líquido.
Causa	A porosidade irá surgir na zona onde existam pontos quentes nas peças injectadas, derivado à causa anterior.

Correcções associadas ao defeito

Correcção	1- Aumentar a pressão de compactação (na zona de localização da porosidade) durante a solidificação da peça.
Correcção	2- Verificar a pressão de injeção (estática): 2a- no mínimo > 3000 psi [206.8 bar] para o Al e Mg; 2b- no mínimo > 2000 psi [137.8 bar] para o Zn;



Página inicial

Nas figuras expostas (retiradas da base de dados de defeitos de fundição – Paulo Rocha - 2003/2004) é possível verificar as causas do aparecimento das porosidades. Por outro lado diversas correcções poderão ser aplicadas para minimizar o aparecimento de porosidades.

Existem quatro causas principais para a criação de porosidades:

- ❖ Ar no interior da cavidade do molde ou da camisa de injeção;
- ❖ Gases produzidos pela combustão ou volatilização do molde ou do lubrificante do pistão durante a fase de injeção do metal;
- ❖ Porosidades de gás desenvolvidos internamente no metal fundido;
- ❖ Porosidade originada pela contracção do metal durante a solidificação;

Para conseguir minimizar o aparecimento deste tipo de defeitos, há que verificar todos os parâmetros utilizados no processo, velocidades da primeira e segunda fase, pressão de injeção de compactação, entre outros. Vários processos podem ser utilizados para minimizar o aparecimento destes defeitos e consequentemente minimizar a fragilidade que a porosidade impõem numa qualquer peça, que poderá passar pela utilização de sistemas de vácuo.

Um processo que poderá minimizar o aparecimento de porosidades nas peças em pontos críticos, poderá passar pela utilização de “squeeze pins”.


A porosidade pode ser uma consequência das características do fluxo (principalmente durante a fase de enchimento) ou durante o processo de solidificação do gito, devido à contracção do material.

A porosidade é um fenómeno que na prática nunca se conseguirá eliminar totalmente, visto que existem também uma série de factores exteriores ao processo que por vezes afectam a liga, as temperaturas exigidas, dependendo isto também das instalações onde se realiza o processo, nomeadamente no transporte da liga entre o forno de fusão e de manutenção, o vazamento da liga para o interior da camisa de injeção, entre outros.

✦ **Marcas (deformações); Erosão;**

Um outro tipo de defeito detectado na peça em questão, são deformações das zonas moldantes. Este tipo de defeitos normalmente é uma consequência da erosão dos moldes e dos seus elementos (pernos moldantes), devido à força exercida na superfície desses elementos durante a fase de injeção que em conjunto com as elevadas temperaturas contribuem para o aparecimento

deste tipo de defeitos, através da deterioração da superfície dos mesmos, que consequentemente altera as suas dimensões e as formas exigidas.



FUNDIÇÃO INJECTADA

DEFEITOS EM FUNDIÇÃO INJECTADA

Nome do defeito:

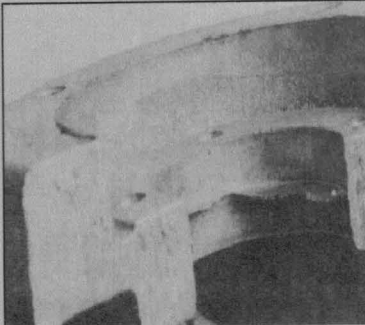
Descrição do defeito: Marcas ou arrastos detectados nas peças de injeção.

Causas associadas ao defeito

Causa	Deformação das peças injectadas por consequência de golpes no sentido ascendente, durante a fase de ejeção das peças.
Causa	Erosão do molde.
Causa	Soldadura.

Correcções associadas ao defeito

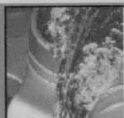
Correcção	1- Ver correcções para soldadura, deposição de carbono e erosão do molde.
Correcção	2- Garantir que a superfície do molde é lisa ou polida, para desta forma ser possível assegurar que as marcas provenientes de processos de maquinação foram totalmente removidas.



Página inicial

Por outro lado se a extracção da peça não for realizada correctamente pode também gerar o aparecimento deste tipo de defeitos. Para minimizar ou até mesmo eliminar por completo o aparecimento deste tipo de defeitos, há que verificar a temperatura do metal e do molde e também garantir os ângulos de saída nas peças. Por outro lado também a limpeza da liga (se não contém elementos estranhos ou impurezas) se torna necessário verificar.

↓ Rebarbas



FUNDIÇÃO INJECTADA

DEFEITOS EM FUNDIÇÃO INJECTADA

Nome do defeito:

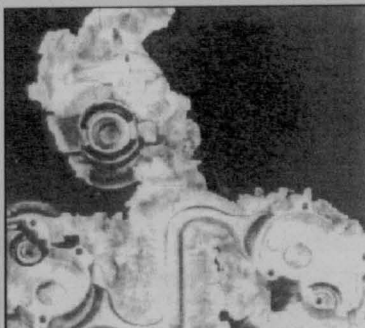
Descrição do defeito: Rebarba que se forma na linha de separação do molde, derivado à falta de alinhamento do molde ou precisão dimensional.

Causas associadas ao defeito

Causa	Temperatura de injeção demasiado elevada.
Causa	Má regulação da pressão de injeção.
Causa	Mau ajuste do fecho do molde.

Correcções associadas ao defeito

Correcção	1- Verificar a deformação das placas do molde, ajustar a pressão de injeção quando necessário.
Correcção	2- Equilibrar as cargas nas colunas da máquina de injeção.



Página inicial



Este tipo de defeitos é extremamente difícil de evitar. Este fenómeno pode não aparecer desde o início de funcionamento de um qualquer molde, no entanto à medida que o molde vai funcionando, os ajustes entre os diversos elementos vão sendo fragilizados com as variações de temperatura que causam dilatações nos materiais. Daí que à medida que a vida útil do molde diminui (com o seu funcionamento) as rebarbas tendam a aparecer devido às infiltrações do material, em zonas de ajuste com algum desgaste.

Se por um lado zonas de ajuste do molde (ajuste entre a cavidade e postigos) podem causar o aparecimento de rebarbas, também um mau ajuste do fecho do molde ou deformação das suas placas pode causar este fenómeno. Para controlar o aparecimento deste fenómeno há que verificar regularmente o estado dos elementos móveis e de ajuste assim como verificar os parâmetros do processo, nomeadamente a pressão de injeção, a pressão estática e a pressão do multiplicador. Por outro lado também o equilíbrio térmico do molde é importante para este e outro tipo de defeitos que possam aparecer nas peças produzidas.

Outro tipo de defeitos podem pontualmente aparecer na peça em questão, tais como manchas nas peças, fissuras, entre outras, no entanto após a sua detecção há que verificar as possíveis causas do seu aparecimento e intervir no sentido de contornar os problemas encontrados que poderão levar à rejeição das peças pelo cliente por não respeitarem os critérios exigidos por este (nomeadamente critérios de porosidade).

Conclusão

O projecto desenvolvido na Sonafi, revelou ser de extrema utilidade, não só pela possibilidade de desenvolver um projecto, mas também pela possibilidade de estabelecer um contacto directo com uma organização industrial. Este projecto para além do seu objectivo prático de aprendizagem e desenvolvimento de uma solução para a resolução de um problema que havia sido proposto, conteve um carácter de aprendizagem que vai para além daquilo que era pedido no trabalho desenvolvido, isto é, conhecimentos que durante os cerca de três meses que permaneci na Sonafi pude adquirir pelo contacto com os diferentes sectores da empresa, pelo contacto e convivência com as pessoas que intervêm directa ou indirectamente no processo, e pela consolidação e reforço de conhecimentos teóricos adquiridos ao longo do curso, mais especificamente na opção de moldação por injeção. Existiu a possibilidade de contactar com problemas reais numa indústria de fundição injectada, tais como o aparecimento de uma fissura num molde numa zona em que não existe sequer o contacto com o metal fundido.

Durante o desenvolvimento do projecto pude contactar com uma realidade que até ao início do projecto me era praticamente “desconhecida” pelo facto de ser uma realidade completamente diferente daquilo a que qualquer aluno está habituado durante o seu curso. O acompanhamento com o fabricante durante a fase de alteração do molde em questão foi outro dos pontos fortes do projecto desenvolvido. Este projecto permitiu a utilização de novos softwares de modelação 3D, bem como a utilização de uma nova tecnologia (termografia) que permitiu analisar a distribuição térmica do molde em questão, demonstrando ter sido fundamental para detectar pontos de elevada temperatura que já eram visíveis na peça e de outros pontos de elevada temperatura que sem o recurso a esta tecnologia não teriam até então sido detectados. Por outro lado foram feitos estudos acerca da utilização de softwares de simulação de enchimento que demonstraram a utilidade dos mesmos e as principais vantagens na sua utilização.

Apesar do facto de não ter sido possível realizar o ensaio do molde para comprovar as melhorias que se esperariam com a implementação do projecto em causa (devido a problemas internos da empresa, nomeadamente a não



existência de disponibilidade de máquinas), são notórias as melhorias esperadas no processo através da redução do tempo de ciclo em aproximadamente 5 segundos, a diminuição do peso de material utilizado em cada gito com a consequente diminuição de custos e aumento de produtividade. Todos estes elementos contribuirão futuramente para a melhoria da competitividade da empresa através da redução de custos e aumento da eficiência do processo. Por outro lado o ganho para a empresa poderá ser ainda superior visto que existe a possibilidade de implementar noutros projectos as alterações realizadas com este trabalho.

De uma forma global o projecto contribuiu para o desenvolvimento da empresa, assim como para o enriquecimento dos conhecimentos e desenvolvimento do aluno, baseado nos conteúdos do projecto que foram extremamente vastos, não tendo sido um projecto centralizado num único tema permitiu a actuação em diferentes áreas envolvidas num processo de fundição injectada, o projecto, a fabricação de moldes, análise térmica e o estudo de novas tecnologias que auxiliam cada vez mais o processo de fundição injectada.

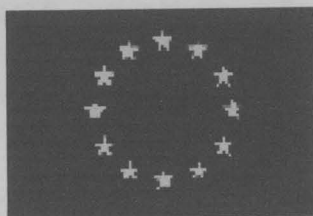
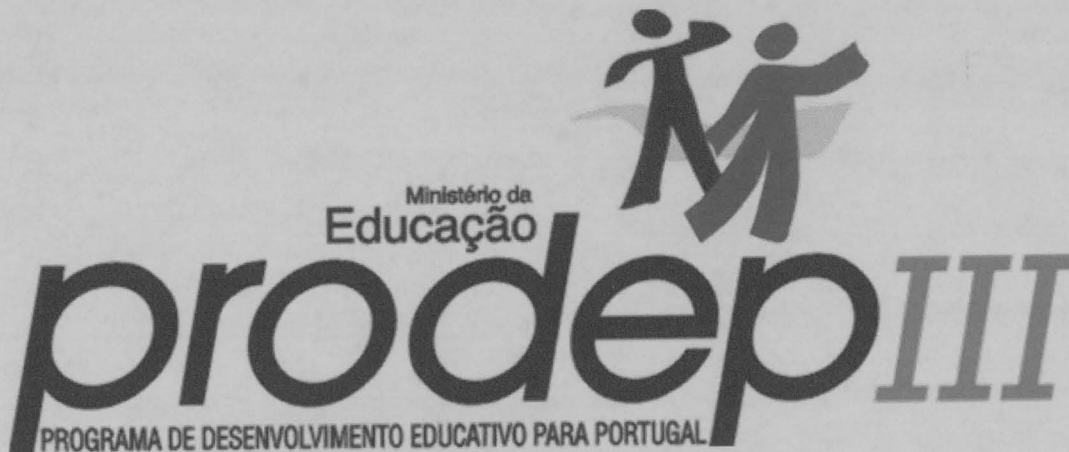
Bibliografia

- ✦ Projecto de moldes de fundição injectada – Buhler Druckguss AG
- ✦ North American Die Casting Association - “Process Control EC-410 , Mechanical Aspects and Machine functions” , Wayne Alofs
- ✦ Gating, Die Casting Dies – Society of die Casting Engineers, E.A.Herman
- ✦ Fundamentals of die casting – G. Ber –Meir, Ph. D.
- ✦ Overview of die casting and pressure assisted casting processes for aluminium alloys – Brad Guthrie, EFHD Rawsonville – Rod Whitbeck, Advanced Mfg. Tech. Development



Prodep

O projecto de fim-de-curso realizado no âmbito do curso de Licenciatura em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto contou durante o tempo de realização do estágio com o apoio do Programa de Estágios no Ensino Superior do PRODEP III – Programa de desenvolvimento educativo para Portugal.



O programa de estágios no ensino superior visa fomentar a interacção das instituições de ensino superior, com as instituições empregadoras dos diversos sectores de actividade, de modo a possibilitar uma maior articulação entre os perfis profissionais dos alunos e as exigências do mercado de trabalho.

2003 / 2004



Agradecimentos

Após conclusão do projecto de fim-de-curso não poderia deixar de agradecer a ajuda de todos aqueles que de uma forma directa ou indirecta contribuíram para o sucesso do trabalho realizado durante os cerca de três meses que permaneci na Sonafi no desenvolvimento deste projecto.

Gostaria de deixar o meu sincero agradecimento aos meus orientadores, Eng.º Luís Filipe Villas-boas (Supervisor da Feup) e ao Eng.º Bernardo Cardoso (Orientador da Sonafi), que sempre se mostraram disponíveis para me auxiliarem e apoiarem em tudo o que fosse necessário durante o decorrer do projecto. Por outro lado não poderia de deixar de agradecer a todas as pessoas na Sonafi que me acolheram de uma forma muito boa e contribuíram para a minha rápida integração na empresa, em particular deixaria o meu agradecimento a duas pessoas pertencentes à Sonafi que nunca deixaram em circunstância alguma, de colaborar mais directamente comigo e sempre se mostravam disponíveis (dentro das suas possibilidades) para que em conjunto com o Eng.º Bernardo Cardoso fosse possível o bom decorrer do projecto, são eles o Sr. Jofre Pedro e o Eng.º João Pinto.

Não poderia ainda deixar de agradecer a colaboração da Portumolde, (fabricante de moldes da Marinha Grande) durante a fase de realização da alteração do molde e em particular ao Sr. Marques.

Gostaria de salientar também a disponibilidade e a ajuda prestada durante a realização de algumas etapas importantes do projecto, nomeadamente a Eng.ª Maria José Marques (Research Engineering – INEGI), ao Eng.º Hugo e Eng.º Mesquita (Kupper Schmidt).

A todos e a muitos outros não referidos anteriormente mas que de alguma forma contribuíram para o sucesso do projecto, o meu muito sincero **Obrigado**.

O aluno:

ANEXOS

ANEXO A - Propriedades das ligas de alumínio

Table 1 (concluded)

Alloy Group	Alloy designation		Chemical composition in % by mass											Others ¹⁾		Aluminium
			Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Each	Total	
	Numerical	Chemical symbols														
AlSi9Cu	EN AC-46000	EN AC-Al Si9Cu3(Fe)	8,0 to 11,0	1,3 (0,6 to 1,1)	2,0 to 4,0	0,55	0,05 to 0,55 (0,15 to 0,55)	0,15	0,55	1,2	0,35	0,25	0,25 (0,20)	0,05	0,25	Remainder
	EN AC-46100	EN AC-Al Si11Cu2(Fe)	10,0 to 12,0	1,1 (0,45 to 1,0)	1,5 to 2,5	0,55	0,30	0,15	0,45	1,7	0,25	0,25	0,25 (0,20)	0,05	0,25	Remainder
	EN AC-46200	EN AC-Al Si8Cu3	7,5 to 8,5	0,8 (0,7)	2,0 to 3,5	0,15 to 0,65	0,05 to 0,55 (0,15 to 0,55)	-	0,35	1,2	0,25	0,15	0,25 (0,20)	0,05	0,25	Remainder
	EN AC-46300	EN AC-Al Si7Cu3Mg	6,5 to 8,0	0,8 (0,7)	3,0 to 4,0	0,20 to 0,85	0,30 to 0,60 (0,35 to 0,60)	-	0,30	0,65	0,15	0,10	0,25 (0,20)	0,05	0,25	Remainder
	EN AC-46400	EN AC-Al Si9Cu1Mg	8,3 to 9,7	0,8 (0,7)	0,8 to 1,3	0,15 to 0,55	0,25 to 0,65 (0,30 to 0,65)	-	0,20	0,8	0,10	0,10	0,10 to 0,20 (0,10 to 0,10)	0,05	0,25	Remainder
	EN AC-46500	EN AC-Al Si8Cu3(Fe)(Zn)	8,0 to 11,0	1,3 (0,6 to 1,2)	2,0 to 4,0	0,55	0,05 to 0,55 (0,15 to 0,55)	0,15	0,55	3,0	0,35	0,25	0,25 (0,20)	0,05	0,25	Remainder
	EN AC-46800	EN AC-Al Si7Cu2	6,0 to 8,0	0,8 (0,7)	1,5 to 2,5	0,15 to 0,55	0,35	-	0,35	1,0	0,25	0,15	0,25 (0,20)	0,05	0,15	Remainder
AlSi(Cu)	EN AC-47000	EN AC-Al Si12(Cu)	10,5 to 13,5	0,8 (0,7)	1,0 (0,9)	0,05 to 0,55	0,35	0,10	0,30	0,55	0,20	0,10	0,20 (0,15)	0,05	0,25	Remainder
	EN AC-47100	EN AC-Al Si12Cu1(Fe)	10,5 to 13,5	1,3 (0,8 to 1,1)	0,7 to 1,2	0,55	0,35	0,10	0,30	0,55	0,20	0,10	0,20 (0,15)	0,05	0,25	Remainder
AlSiCuNiMg	EN AC-48000	EN AC-Al Si12CuNiMg	10,5 to 13,5	0,7 (0,6)	0,8 to 1,5	0,35	0,8 to 1,5 (0,9 to 1,5)	-	0,7 to 1,3	0,35	-	-	0,25 (0,20)	0,05	0,15	Remainder
AlMg	EN AC-51000	EN AC-Al Mg3(b)	0,55 (0,45)	0,55 (0,45)	0,10 (0,08)	0,45	2,5 to 3,5 (2,7 to 3,5)	-	-	0,10	-	-	0,20 (0,15)	0,05	0,15	Remainder
	EN AC-51100	EN AC-Al Mg3(a)	0,55 (0,45)	0,55 (0,40)	0,05 (0,03)	0,45	2,5 to 3,5 (2,7 to 3,5)	-	-	0,10	-	-	0,20 (0,15)	0,05	0,15	Remainder
	EN AC-51200	EN AC-Al Mg9	2,5	1,0 (0,45 to 0,9)	0,10 (0,08)	0,55	8,0 to 10,5 (8,5 to 10,5)	-	0,10	0,25	0,10	0,10	0,20 (0,15)	0,05	0,15	Remainder
	EN AC-51300	EN AC-Al Mg5	0,55 (0,35)	0,55 (0,45)	0,10 (0,05)	0,45	4,5 to 6,5 (4,8 to 6,5)	-	-	0,10	-	-	0,20 (0,15)	0,05	0,15	Remainder
	EN AC-51400	EN AC-Al Mg5(Si)	1,5 (1,3)	0,55 (0,45)	0,05 (0,03)	0,45	4,5 to 6,5 (4,8 to 6,5)	-	-	0,10	-	-	0,20 (0,15)	0,05	0,15	Remainder
AlZnMg	EN AC-71000	EN AC-Al Zn5Mg	0,30 (0,25)	0,80 (0,70)	0,15 to 0,35	0,40	0,40 to 0,70 (0,45 to 0,70)	0,15 to 0,60	0,05	4,50 to 6,00	0,05	0,05	0,10 to 0,25 (0,12 to 0,20)	0,05	0,15	Remainder

Note 1: Figures in brackets are ingot compositions where they differ from the casting.

Note 2: In each alloy group, the alloys are arranged in descending order of casting tonnage produced in Europe.

Note 3: Limits are expressed as a maximum unless shown as a range.

¹⁾ "Others", does not include modifying or refining elements such as Na, Sr, Sb and P.

ANEXO B – Máquina de injeção utilizada

Bühler Evolution 66D

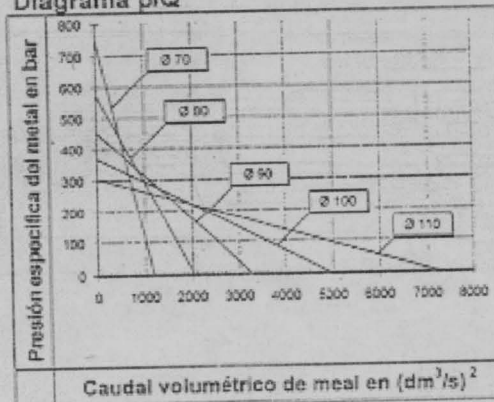
Unidad de inyección

Fuerza dinámica de inyección	289 kN
Presión final	703 kN
Carrera del pistón de inyección	600 mm
Velocidad max. del pistón de inyección	8.98 m/s
Posiciones de inyección	0/-300 mm

Unidad de cierre

Fuerza máxima de cierre	6615 kN
Fuerza de expulsión	225 kN
Carrera de expulsión	175 mm
Altura de molde	360 - 900 mm
Carrera de apertura del molde	800 mm
Superficie mínima admisible	620 x 620 mm
Presión máxima superficial admisible	100 N/mm ²

Diagrama p/Q²



Sistema hidráulico

Potencia de propulsión	45 kW
Presión máxima	210 bar
Capacidad de llenado	1180 dm ³
Refrigeración por agua	2 m ³ /h

Lubricación central

Potencia de propulsión	0.1 kW
Capacidad de llenado	2.7 dm ³

Nitrogeno acumulador

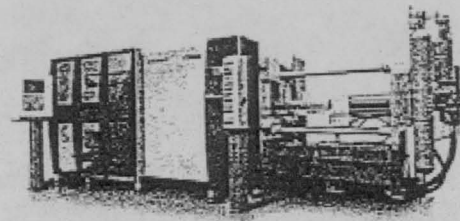
Presión máxima de llenado	165 bar
Capacidad de llenado	115 l

Nitrogeno multiplicador

Presión máxima de llenado	185 bar
Capacidad de llenado	38 l

Lubricación pistón inyección

Capacidad de llenado	10 dm ³
----------------------	--------------------



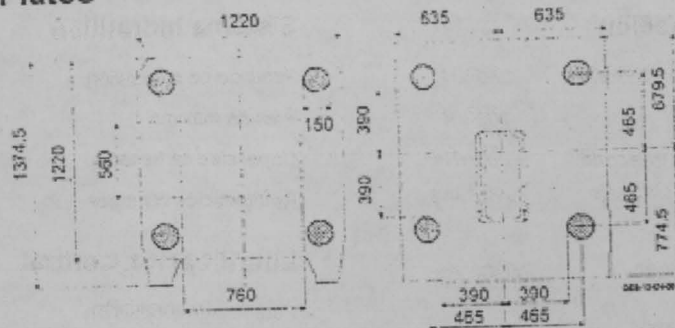
Datos de producción

Diámetro del pistón	mm	70	80	90	100	110
Volumen max. de inyección	cm ³	1539	2011	2545	3142	3801
Peso max. de inyección	kg	3.85	5.03	6.36	7.85	9.50
Presión max. de inyección Al	bar	1828	1399	1106	896	740
Superficie max. proyectada	cm ²	352	473	598	739	894

Cálculo de la masa máxima de inyección DIN 24480:

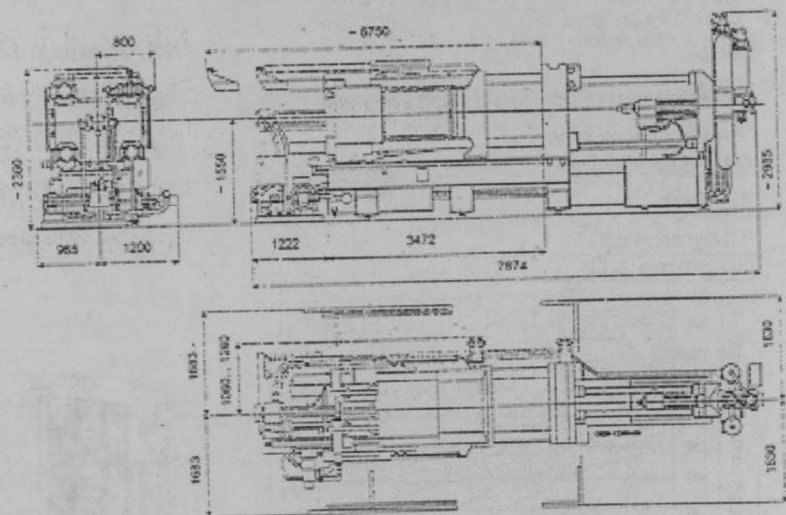
$$\frac{1}{3} \times \text{carrera del pistón de inyección} \times \text{área} \times \text{densidad (Al: 2.5 kg/dm}^3\text{)}$$

Platos



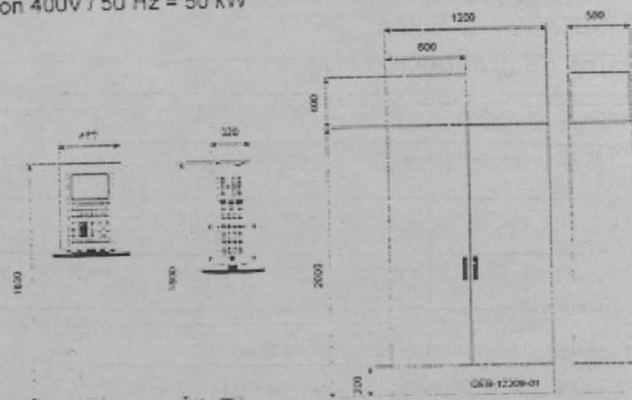
Pesos y medidas

Peso de la máquina en orden de servicio = 28000 kg



Sistema de mando

Potencia de conexión 400V / 50 Hz = 50 kW



ANEXO C – Cálculo dos parâmetros do processo

Parâmetros do processo:

Características da máquina:

Bulher Evolution 66D

Volume maximo de injeção:	2545	cm ³
Peso máximo de injeção:	6,36	Kg
Pressão maxima de injeção:	1106	bar
Superfície máxima projectada:	598	cm ²

Propriedades do jito:

Peso total do jito:	4,063	Kg
Peso das peças:		
Peça nº 1	1,135	Kg
Peça nº 2	1,130	Kg
Peso médio:	1,133	Kg
Peso dos masselotes, canal e bolacha:	1,798	Kg
Peso da parte do canal a remover:	0,179	Kg
Peso da bolacha:	0,4135	Kg
Peso do canal de alimentação:	1,657	Kg
Peso do canal s/a parte a remover:	1,478	Kg
Peso dos masselotes e ventilações:	0,0705	Kg
Peso total de masselotes e vent.:	0,141	Kg

Dimensões da bolacha:

Diâmetro:	90	mm
Espessura:	25	mm
Diâmetro:	3,54	pol
Espessura:	0,98	pol

Densidade do alumínio: 2600 Kg/m³

Volume total do jito:	0,00156	m ³	95,35	pol ³
Volume da peça:	0,000436	m ³	26,58	pol ³
Volume do jito s/ parte a remover:	0,00149	m ³	91,15	pol ³
Volume da parte do canal a remover:	0,0000688	m ³	4,20	pol ³
Volume da bolacha:	0,000159	m ³	9,70	pol ³
Volume do canal de alimentação:	0,000637	m ³	38,89	pol ³
Volume do canal s/a parte a remover:	0,000568	m ³	34,69	pol ³
Volume dos masselotes e ventilações:	0,0000271	m ³	1,65	pol ³
Volume total de masselotes e vent.:	0,0000542	m ³	3,31	pol ³

Características actuais do processo:Comprimento de primeira fase:

Comprimento da camara de injeção:	612,5	mm	Volume da camara de injeção:	3896556,638	mm ³
Secção do pistão de injeção:	6361,725	mm ²	Volume da camara de injeção:	0,00390	m ³
Comprimento de 1ª fase:	366,86	mm	Volume da camara de injeção:	237,76	pol

Taxa de enchimento:

T.e. = 40,1 %

Tempo de enchimento:

K =	0,866	s/pol
K =	0,034094488	s/mm
T inj =	650	°C
Tf =	570	°C
T molde =	200	°C
S =	40	%
Z =	3,8	
e (+ fina) =	2	mm
t =	0,04	s
t =	0,04	s

Factor de conversão pol/mm: 25,4

Velocidade do pistão de injeção:

vp =	363,65	cm/s
vp =	3,64	m/s

Velocidade crítica de enchimento:

vcs =	25,71	pol/s
vcs =	652,93	mm/s
vcs =	0,65	m/s

Posição do pistão (camara fria cheia):

P2 = 366,86 mm

Fast shot velocity:

fsv =	143,13	pol/s
fsv =	3635,44	mm/s
fsv =	3,64	m/s

Posição do pistão (metal no ataque):

P3 = 467,04 mm

Slow shot velocity:

ssv =	25,71	pol/s
ssv =	652,93	mm/s
ssv =	0,65	m/s

Velocidade mínima no ataque:

Densidade do metal =	0,093	lbs/s
Espessura de ataque =	2,6	mm
Espessura de ataque =	0,102	pol
Gv =	758,73	pol/s
Gv =	19271,65	mm/s
Gv =	19,27	m/s

Características do processo após modificação:

Comprimento de primeira fase:

Comprimento da camara de injeção:	609,5	mm	Volume da camara de injeção:	3877471,463	mm ³
Secção do pistão de injeção:	6361,725	mm ²	Volume da camara de injeção:	0,00388	m ³
Comprimento de 1ª fase:	374,68	mm	Volume da camara de injeção:	236,59	pol

Taxa de enchimento:

T.e. = 38,53 %

Tempo de enchimento:

K =	0,866	s/pol
K =	0,034094488	s/mm
T inj =	650	°C
Tf =	570	°C
T molde =	200	°C
S =	40	%
Z =	3,8	
e (+ fina) =	2	mm
t =	0,04	s
t =	0,04	s

Factor de conversão pol/mm: 25,4

Velocidade do pistão de injeção:

vp =	363,65	cm/s
vp =	3,64	m/s

Velocidade crítica de enchimento:

vcs =	26,38	pol/s
vcs =	670,14	mm/s
vcs =	0,67	m/s

Posição do pistão (camara fria cheia):

P2 = 374,68 mm

Fast shot velocity:

fsv =	143,13	pol/s
fsv =	3635,44	mm/s
fsv =	3,64	m/s

Posição do pistão (metal no ataque):

P3 = 464,04 mm

Slow shot velocity:

ssv =	26,38	pol/s
ssv =	670,14	mm/s
ssv =	0,67	m/s

Velocidade mínima no ataque:

Densidade do metal =	0,093	lbs/s
Espessura de ataque =	2,6	mm
Espessura de ataque =	0,102	pol
Gv =	758,73	pol/s
Gv =	19271,65	mm/s
Gv =	19,27	m/s

Determinação das secções de ataque:Peso depois da secção de ataque:

Peso = 1,203 Kg
 Peso = 1203 g

Velocidade no ataque: 40 m/s
 Velocidade no ataque: 4000 cm/s

Secção de ataque teórica:

Sa = 2,8918 cm²
 Sa = 289,18 mm²

Ataque nº 1:	Espessura:	2	mm				
	Largura:	25	mm				
	Secção:	50	mm ²	19,1	%		
Ataque nº 2:	Espessura a):	2,2	mm			Espessura b):	2,9 mm
	Largura a):	23	mm			Largura b):	20 mm
	Secção:	50,6	mm ²			Secção:	58 mm ²
	Secção total :	108,6	mm ²	41,4	%		
Ataque nº 3:	Espessura:	2,3	mm				
	Largura:	45	mm				
	Secção:	103,5	mm ²	39,5	%		
	Secção total =	262,1	mm ²				

ANEXO D – Força de fecho

(Parâmetros das figuras geométricas utilizadas)

N°	Forma		Dimensões		Área	
1	Rectangulo	C:	89,96	L:	45,96	4134,5616
2	Triangulo	B:	15,92	H:	17,83	141,9268
3	Rectangulo	C:	41,77	L:	10,3	430,231
4	Triangulo	B:	15,92	H:	17,94	142,8024
5	Rectangulo	C:	50,41	L:	7,99	402,7759
6	Rectangulo	C:	5,84	L:	1,53	8,9352
7	Triangulo	B:	1,56	H:	5,84	4,5552
8	Triangulo	B:	3,1	H:	4,62	7,161
9	Rectangulo	C:	49,31	L:	6,02	296,8462
10	Rectangulo	C:	16,22	L:	22,96	372,4112
11	Rectangulo	C:	10	L:	4,86	48,6
12	Rectangulo	C:	22,35	L:	11,28	252,108
13	Triangulo	B:	6,4	H:	11,28	36,096
14	Triangulo	B:	35,12	H:	12,94	227,2264
15	Rectangulo	C:	16,92	L:	12,94	218,9448
16	Triangulo	B:	35,77	H:	12,94	231,4319
17	Rectangulo	C:	87,75	L:	48,17	4226,9175
18	Rectangulo	C:	74,53	L:	19,01	1416,8153
19	Rectangulo	C:	68,44	L:	19,28	1319,5232
20	Rectangulo	C:	7,69	L:	7,37	56,6753
21	Rectangulo	C:	23,23	L:	24,52	569,5996
22	Rectangulo	C:	23,02	L:	10,96	252,2992
23	Triangulo	B:	23,02	H:	22,46	258,5146
24	Rectangulo	C:	123,39	L:	68,55	8458,3845
25	Rectangulo	C:	24	L:	23,7	568,8
26	Rectangulo	C:	17,7	L:	9,5	168,15
27	Rectangulo	C:	10	L:	5	50
28	Rectangulo	C:	22,17	L:	15,9	352,503
29	Rectangulo	C:	22	L:	16,5	363
30	Rectangulo	C:	10	L:	4,18	41,8
31	Triangulo	B:	12,19	H:	10,3	62,7785
32	Círculo	R:	8,2			211,24069
33	Triangulo	B:	8	H	22,5	90
34	Rectangulo	C:	24,4	L	22,8	556,32
35	Rectangulo	C:	58,3	L	46,6	2716,78
36	Triangulo	B:	18,62	H	36,7	341,677
37	Rectangulo	C:	21,3	L	4,9	104,37
38	Triangulo	B:	14,39	H	23,8	171,241
39	Triangulo	B:	4,9	H	2,5	6,125
40	Rectangulo	C:	40,8	L	27	1101,6
41	Triangulo	B:	14	H	23,1	161,7
42	Triangulo	B:	29	H	10,6	153,7
43	Triangulo	B:	44	H	-1,9	-41,8
44	Rectangulo	C:	42,4	L	12,6	534,24
45	Rectangulo	C:	56,4	L	7,4	417,36
46	Rectangulo	C:	112,2	L	22,8	2558,16
47	Triangulo	B:	14,2	H	30,24	214,704
48	Triangulo	B:	12,6	H	28,4	178,92
49	Rectangulo	C:	50,6	L	28,4	1437,04
50	Triangulo	B:	8	H	28,4	113,6
51	Triangulo	B:	13,3	H	30,24	201,096
52	Rectangulo	C:	30,1	L	6,8	204,68

53	Triangulo	B:	6,8	H	26	88,4
54	Triangulo	B:	13,7	H	13,6	93,16
55	Triangulo	B:	16,4	H	13,6	111,52
56	Rectangulo	C:	61,4	L	18,8	1154,32
57	Triangulo	B:	18,8	H	16	150,4
58	Rectangulo	C:	16,3	L	5	81,5
59	Triangulo	B:	5	H	4,6	11,5
60	Rectangulo	C:	27,4	L	16,3	446,62
61	Triangulo	B:	4,5	H	7,8	17,55
62	Triangulo	B:	5,6	H	6,7	18,76
63	Triangulo	B:	37,7	H	15	282,75
64	Rectangulo	C:	70	L	75,5	5285
65	Triangulo	B:	20,7	H	37,7	390,195
66	Triangulo	B:	20,7	H	37,7	390,195
67	Circulo	R:	45			6361,725124
68	Triangulo	B:	16,4	H	6,4	52,48
69	Rectangulo	C:	77,4	L	6,4	495,36
70	Triangulo	B:	35,12	H	12,5	219,5
71	Rectangulo	C:	28,5	L	12,5	356,25
72	Triangulo	B:	19,1	H	9,8	93,59
73	Triangulo	B:	14	H	23	161
74	Rectangulo	C:	112,2	L	22,8	2558,16
75	Rectangulo	C:	54,7	L	5,2	284,44
76	Triangulo	B:	20,1	H	14,5	145,725
77	Triangulo	B:	11,8	H	14,5	85,55
78	Rectangulo	C:	61,4	L	18,8	1154,32
79	Triangulo	B:	18,8	H	16	150,4
80	Rectangulo	C:	16,3	L	5	81,5
81	Triangulo	B:	5	H	4,6	11,5
82	Rectangulo	C:	27,4	L	16,3	446,62
83	Triangulo	B:	4,5	H	7,8	17,55
84	Triangulo	B:	5,6	H	6,7	18,76
85	Triangulo	B:	14,2	H	30,24	214,704
86	Triangulo	B:	12,6	H	28,4	178,92
87	Rectangulo	C:	50,6	L	28,4	1437,04
88	Triangulo	B:	8	H	28,4	113,6
89	Triangulo	B:	13,3	H	30,24	201,096
90	Rectangulo	C:	89,96	L	45,96	4134,5616
91	Triangulo	B:	15,92	H	17,83	141,9268
92	Rectangulo	C:	41,77	L	10,3	430,231
93	Triangulo	B:	15,92	H	17,94	142,8024
94	Rectangulo	C:	50,41	L	7,99	402,7759
95	Rectangulo	C:	5,84	L	1,53	8,9352
96	Triangulo	B:	1,56	H	5,84	4,5552
97	Triangulo	B:	3,1	H	4,62	7,161
98	Rectangulo	C:	49,31	L	6,02	296,8462
99	Rectangulo	C:	16,22	L	22,96	372,4112
100	Rectangulo	C:	10	L	4,86	48,6
101	Rectangulo	C:	22,35	L	11,28	252,108
102	Triangulo	B:	6,4	H	11,28	36,096
103	Triangulo	B:	35,12	H	12,94	227,2264
104	Rectangulo	C:	16,92	L	12,94	218,9448
105	Triangulo	B:	35,77	H	12,94	231,4319
106	Rectangulo	C:	87,75	L	48,17	4226,9175
107	Rectangulo	C:	74,53	L	19,01	1416,8153

108	Rectangulo	C:	68,44	L	19,28	1319,5232
109	Rectangulo	C:	7,69	L	7,37	56,6753
110	Rectangulo	C:	23,23	L	24,52	569,5996
111	Rectangulo	C:	23,02	L	10,96	252,2992
112	Triangulo	B:	23,02	H	22,46	258,5146
113	Rectangulo	C:	127,39	L	68,55	8732,5845
114	Rectangulo	C:	24	L	23,7	568,8
115	Rectangulo	C:	17,7	L	9,5	168,15
116	Rectangulo	C:	10	L	5	50
117	Rectangulo	C:	22,17	L	15,9	352,503
118	Rectangulo	C:	22	L	16,5	363
119	Rectangulo	C:	10	L	4,18	41,8
120	Triangulo	B:	12,19	H	10,3	62,7785
121	Circulo	R:	8,2			211,24069
122	Triangulo	B:	8	H	22,5	90
123	Rectangulo	C:	24,4	L	22,8	556,32
124	Rectangulo	C:	58,3	L	46,6	2716,78
125	Triangulo	B:	18,62	H	36,7	341,677
126	Rectangulo	C:	21,3	L	4,9	104,37
127	Triangulo	B:	14,39	H	23,8	171,241
128	Triangulo	B:	4,9	H	2,5	6,125
129	Rectangulo	C:	40,3	L	2,7	108,81

Total : 89619,9261 mm2





Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP

Projecto de Fim-de-Curso
2003 / 2004

sonafi



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Social Europeu



Mais Educação



FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

BIBLIOTECA



0000091272