



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP



PortCast

Fundição Modelar S.A.



Desenvolvimento do Produto recorrendo ao software MagmaSoft®



Ricardo Jorge da Silva Ferreira

Porto

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

2004

669(047.3)
LEMM 2003/FERr



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Social Europeu



Mais Educação



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP



PortCast

Fundição Modular S.A.



Desenvolvimento do Produto recorrendo ao software MagmaSoft®



Ricardo Jorge da Silva Ferreira

Porto
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
2004



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Social Europeu



Mais Educação

669 (047.3) / LENH 2003 / FER n

Universidade do Porto	
Faculdade de Engenharia	
Biblioteca	
Nº	90036
CDU	
Data	23/05/2007

Ricardo Jorge da Silva Ferreira

*Desenvolvimento do Produto recorrendo
ao software MagmaSoft®*

Estágio, elaborado sob a
orientação do Prof. Carlos Alberto
Silva Ribeiro (F.E.U.P.), da Eng.^a
Cristina Monteiro e do Eng. José
Rego (PortCast), apresentado à
Faculdade de Engenharia da
Universidade do Porto

Porto,
2004

A realização do presente trabalho não teria sido possível sem a ajuda de várias pessoas a quem pretendo, com estas palavras, prestar o meu sincero agradecimento.

Agradeço, em particular, àquelas pessoas cuja colaboração, por ser tão crucial, não posso deixar de salientar. Em primeiro lugar ao meu orientador, Prof. Silva Ribeiro, pelo valor inestimável das suas sugestões críticas, atentas e precisas, sempre apostadas em valorizar o meu trabalho e em sugerir caminhos de reflexão possíveis.

Não poderia deixar de agradecer, igualmente, à Eng.^a Cristina Monteiro e ao Eng. José Rego pela disponibilidade permanente de ambos.

Finalmente, não posso esquecer a ajuda preciosa dos meus pais, da minha namorada, da minha família mais próxima, dos muitos amigos – entre os quais saliento o Jorge Silva e o Bruno Rodrigues, e de todos aqueles com quem tive o prazer de trabalhar na PortCast, nomeadamente, as pessoas da Engenharia do Produto.

Efectivamente, todos eles acompanharam de perto esta caminhada, manifestando um permanente apoio, disponibilidade e afabilidade.

Índice

	Página
Objectivo	1
Prefácio	1
Introdução	2
Estudo inicial do projecto a desenvolver	4
Desenvolvimento do projecto	7
Definição do tipo de gitagem a implementar	7
Evolução e melhoria do sistema de alimentação	10
Malhamento e qualidade da malha gerada	19
Enchimento e solidificação	20
Validação do projecto	22
Conclusão	29
Bibliografia	30
Anexos	
Anexo 1	I
Anexo 2	II
Anexo 3	III
Anexo 4	V
Anexo 5	VI
Anexo 6	VII
Anexo 7	VIII
Anexo 8	IX
Anexo 9	X

Objectivo

Este breve intróito serve apenas para referir que o presente trabalho teve como objectivo a familiarização com as técnicas de projecto de equipamentos de fundição, com vista à optimização dos sistemas de alimentação e gitagem de placas molde, usando para tal o software de simulação de enchimento e solidificação MagmaSoft®.

Especificamente, propusemo-nos desenvolver os equipamentos de produção de um braço de suspensão dum automóvel, com o intuito de aliar a qualidade dos fundidos a um rendimento placa viável a uma produção em série.

Prefácio

O presente estágio teve como finalidade dar seguimento prático ao seminário realizado no primeiro semestre do 5º ano da Licenciatura em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, intitulado *Adequação do funcionamento do software de simulação MagmaSoft® à prática na PortCast*.

Com efeito, a proposta para o tema deste trabalho foi, especificamente, a continuação do desenvolvimento do projecto dos equipamentos de produção, de uma peça de segurança crítica destinada à indústria automóvel. A possibilidade de continuar um projecto deste tipo foi, para nós, uma oportunidade aliciante no que respeita à aquisição de conhecimentos sólidos, tanto em projecto de equipamentos com a ajuda do software MagmaSoft®, como no próprio processo produtivo.

Por conseguinte, o desenvolvimento deste estágio teve como base o estudo e projecto dos sistemas de alimentação e gitagem dum braço de suspensão destinado a um automóvel ligeiro. A evolução desses mesmos sistemas será abordada de uma forma cronológica, bem como a respectiva validação experimental.

Acresce lembrar que o trabalho executado pode ser dividido em duas fases, sendo a primeira a escolha do sistema de gitagem que melhores garantias oferecia e a segunda, por seu turno, o desenvolvimento da alimentação adequada a um rendimento viável para produção, como teremos oportunidade de verificar seguidamente.

Partindo do estudo que já havia sido feito na PortCast, tentámos implementar melhorias para a produção do braço de suspensão, apresentando no final deste estágio uma proposta que, a nosso ver, viabiliza o processo produtivo da mesma.

Introdução

A Engenharia do Produto tem vindo a recorrer, cada vez mais, a softwares CAE (Computer Assisted Engineering) no intuito de dar solução a alguns dos seus problemas. No sector da fundição, a utilização dos referidos softwares tem vindo a demonstrar ser de elevada importância. Nos dias de hoje, qualquer fundição que tenha como principal objectivo a competitividade e a qualidade já adquiriu, para os seus gabinetes de desenvolvimento do produto, um software de simulação de enchimento e solidificação de ligas metálicas.

No caso específico da empresa PortCast – Fundição de Nodular S.A., esta tem retirado vários benefícios da utilização de um software CAE, software este denominado MagmaSoft®, mas como tudo em engenharia uma ferramenta deste tipo carece de estudo e desenvolvimento continuados.

O referido software tem sido adquirido pelos principais fabricantes de peças pela tecnologia de fundição, onde se encontram em destaque os fornecedores de peças para a indústria automóvel. A grande desvantagem deste tipo de aplicação é, normalmente, o elevado custo de aquisição, limitativo para algumas pequenas empresas do sector.

A tecnologia de fundição necessita de muito trabalho científico, principalmente no que concerne ao projecto de equipamentos. Os sistemas de alimentação e gítagem, por vezes complexos, podem ser considerados como os principais factores de sucesso da produção de peças por esta tecnologia. O projecto de equipamentos (placas molde) é, por si só, um trabalho oneroso, pela necessidade de comprovação prática do seu resultado, com vista à obtenção de peças de boa qualidade. Os softwares de simulação permitem uma mais rápida resposta da engenharia a este tipo de problemas, assim como, uma diminuição dos custos de produção e mão-de-obra necessários à realização de ensaios de equipamentos.

O principal objectivo deste estágio visava fundamentar e aplicar à prática todos os pressupostos enunciados anteriormente. As dificuldades encontradas durante a sua execução rapidamente foram suplantadas pela elevada experiência e enorme vontade de desenvolvimento marcadamente demonstradas pela empresa.

Este projecto, previamente iniciado pelo gabinete de Engenharia do Produto da PortCast, sofreu algumas alterações relevantes durante a execução do estágio. As referidas alterações foram baseadas quer em simulações de enchimento e solidificação realizadas com o software MagmaSoft®, quer em conhecimentos práticos adquiridos pela empresa (“know how”) e, posteriormente, ensaiadas na prática com todas as condições normais de produção.

Deste modo, foi possível alcançar um objectivo: produzir a peça com a qualidade requerida (sanidade, matriz, propriedades mecânicas, etc.) e com um rendimento aceitável, dada a complexidade e exigência da mesma.

A peça, objecto de estudo deste trabalho, está identificada na imagem de conjunto seguinte:

Braço de suspensão

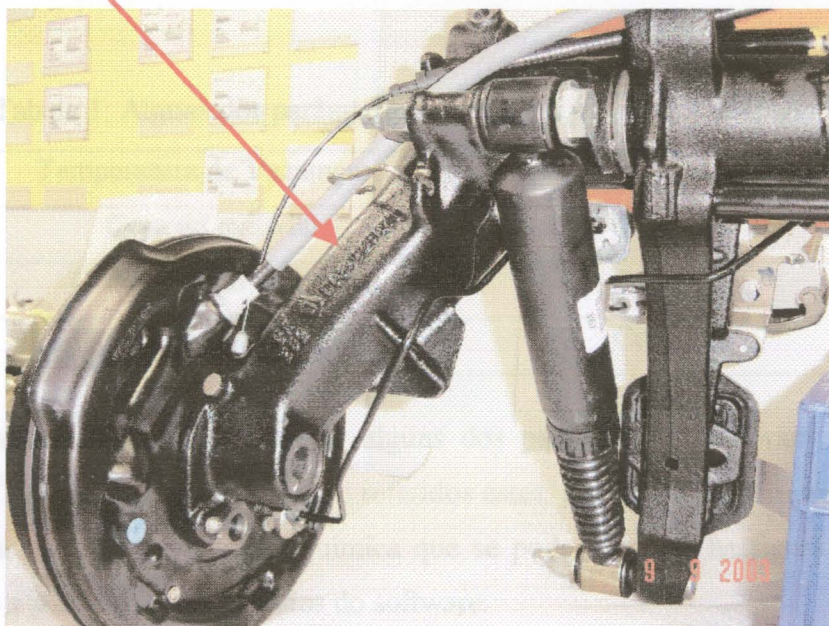


Fig. 1 : Fotografia do braço de suspensão montado no conjunto do eixo traseiro do automóvel.

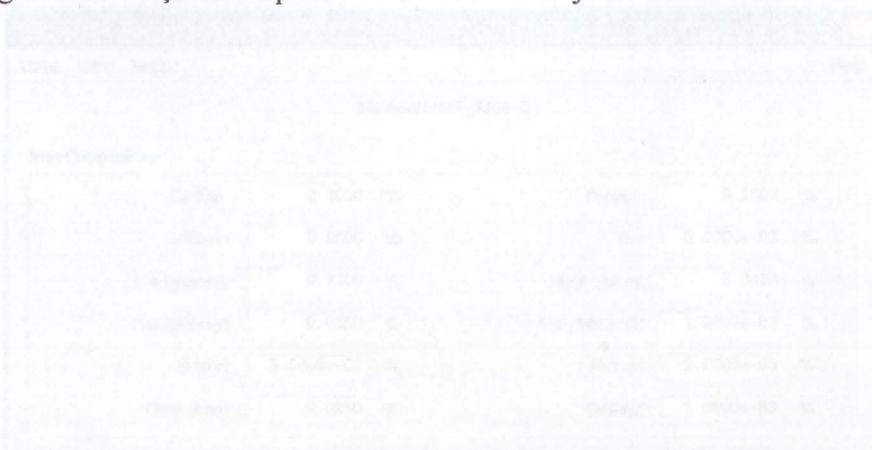


Figura 2 : Base de dados do MagmaSoft®, onde se pode ver a composição química da liga estudada.

Estudo inicial do projecto a desenvolver

Antes de se dar início ao projecto propriamente dito, é necessário conhecer, detalhadamente, a peça em causa, bem como todos os factores que podem, directa ou indirectamente, influenciar o processo produtivo.

O primeiro passo consiste na recolha de todos os parâmetros necessários à elaboração deste trabalho, isto é, materiais, condições de processamento, requisitos de qualidade, e todos aqueles que nos puderem fornecer algum tipo de ajuda ou informação.

Tabela 1: Alguns dos parâmetros necessários para realizar as simulações.

Temperatura de Vazamento	1355 °C
Grau do material	N 40 / GGG 40
Comprimento do Bolo	245 mm
Macho	ColdBox

Na tabela 1 podemos observar alguns dos parâmetros que foram introduzidos no MagmaSoft®. Note-se que apenas foram referidos estes, por serem específicos para o projecto em causa, tal como a composição química que se pode observar na figura 2, na qual está representada a janela da base de dados do software.

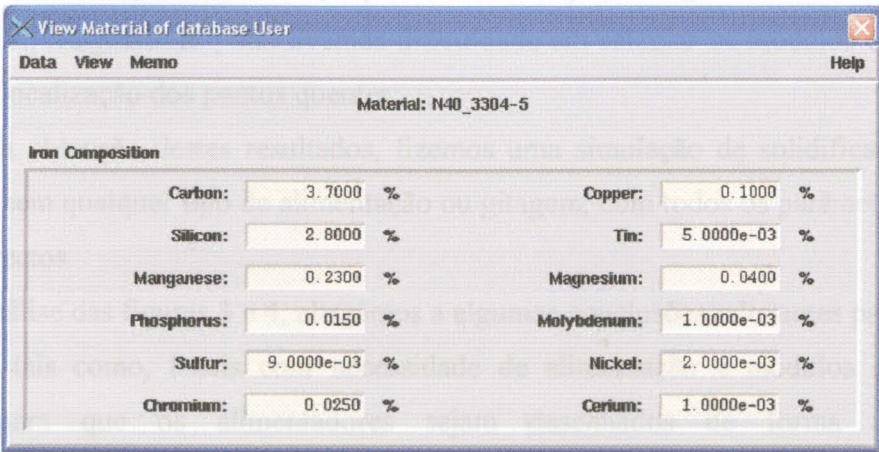


Figura 2 : Base de dados do MagmaSoft®, onde se pode ver a composição química da liga estudada.

Após a recolha de dados, é necessário estudar a própria peça, calcular os módulos e verificar em que locais se situam os pontos quentes, de modo a conseguir projectar a alimentação da peça. Antes de podermos contar com a ajuda deste tipo de softwares, éramos obrigados a fazer todos estes cálculos através da técnica da análise de forma. Esta, por sua vez, é um bom método de cálculo para os módulos da peça, porém torna-se difícil e pouco preciso quando estamos a trabalhar peças com geometrias complicadas.

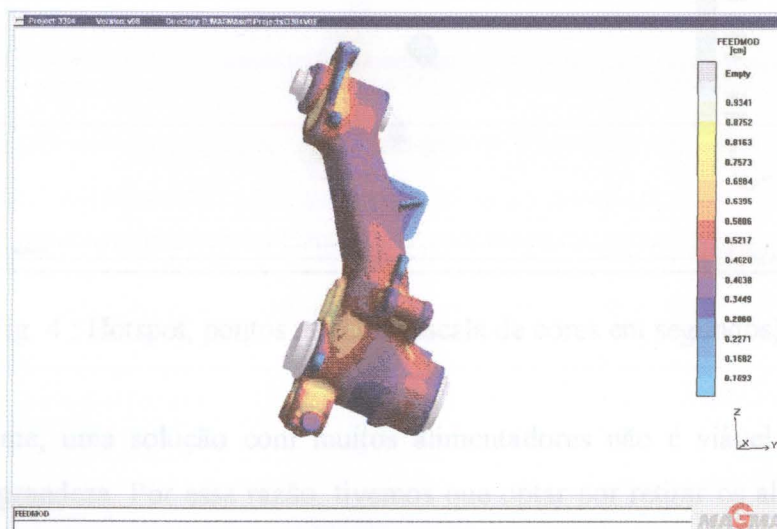


Fig. 3 : Feedmod, módulos da peça.

O braço de suspensão não é propriamente uma peça de geometria fácil, no entanto com a ajuda do MagmaSoft®, não tivemos dificuldade em calcular os módulos da peça, nem em definir a localização dos pontos quentes.

Para a obtenção destes resultados, fizemos uma simulação de solidificação da peça com macho, sem qualquer tipo de alimentação ou gitagem, com todos os parâmetros térmicos e físicos correctos.

Da análise das figuras 3 e 4, chegámos a algumas conclusões relevantes para dar início ao projecto, tais como, locais com necessidade de alimentação e módulos das zonas a alimentar, para que os alimentadores sejam desenhados de forma a actuarem satisfatoriamente.

É claro que nem tudo pode ser feito como devia, isto é, se observarmos correctamente as duas figuras, não temos qualquer dúvida de que a quantidade de alimentadores necessária

seria de cinco ou até mesmo seis alimentadores, dependendo da possibilidade ou não da sua colocação.

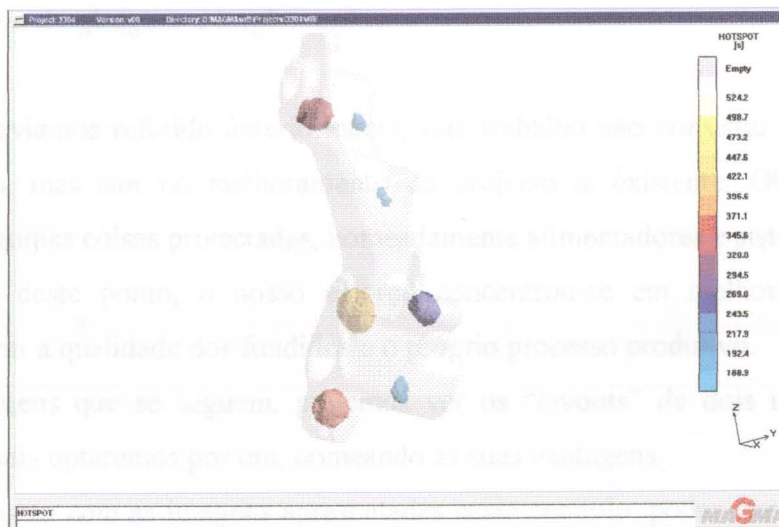


Fig. 4 : Hotspot, pontos quentes (escala de cores em segundos).

Obviamente, uma solução com muitos alimentadores não é viável para produções desta ordem de grandeza. Por essa razão, tivemos que optar por retirar os alimentadores dos locais que tinham menor influência na sanidade da peça.

Nos capítulos seguintes poder-se-á compreender melhor toda esta situação, com o desenvolvimento dos sistemas de alimentação e gitagem. O objectivo industrial é sempre tentar produzir com a melhor qualidade possível, a custos de produção reduzidos, assim se justifica todo este trabalho de projecto que tem por finalidade dar garantias e, ao mesmo tempo, perspectivar valor acrescentado.

Fig. 5 : Sistema de gitagem em forno.

Desenvolvimento do Projecto

Definição do tipo de gitagem a implementar

Como havíamos referido anteriormente, este trabalho não consistiu na realização de todo o projecto, mas sim no melhoramento do projecto já existente. Obviamente, já se encontravam algumas coisas projectadas, nomeadamente alimentadores e sistema de gitagem.

Partindo deste ponto, o nosso esforço concentrou-se em melhorias e sugestões, tentando melhorar a qualidade dos fundidos e o próprio processo produtivo.

Nas imagens que se seguem, podemos ver os “layouts” de dois tipos de gitagem distintos, dos quais optaremos por um, nomeando as suas vantagens.

Em conjunto com as imagens apresentadas neste capítulo, podem ser consultadas nos anexos 1 e 2, as velocidades e a sequência do próprio enchimento, relativamente a cada sistema de gitagem.

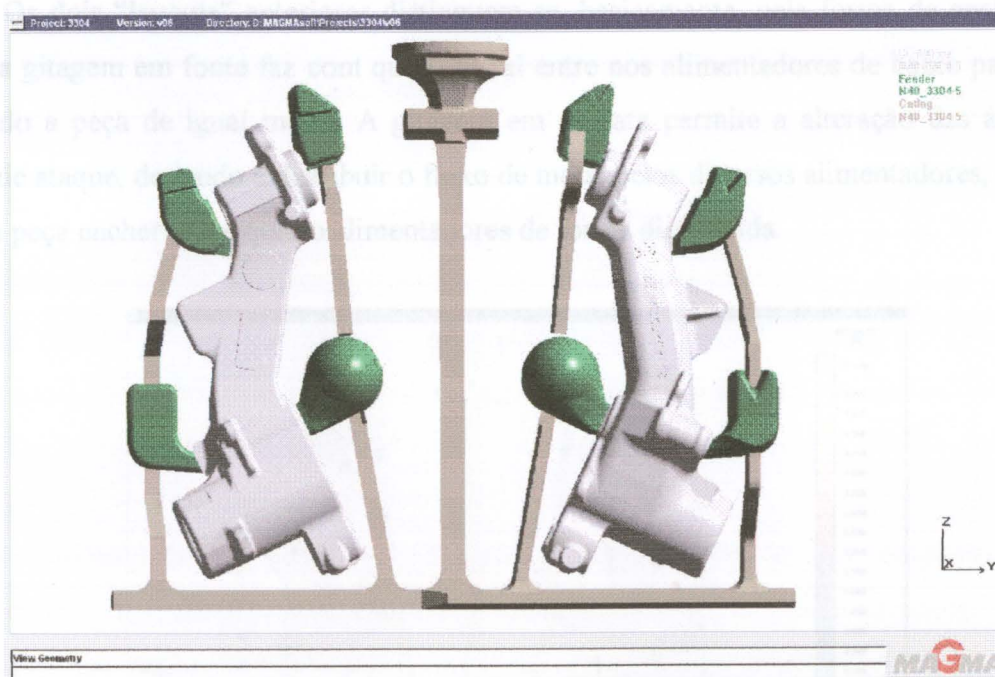


Fig. 5 : Sistema de gitagem em fonte.

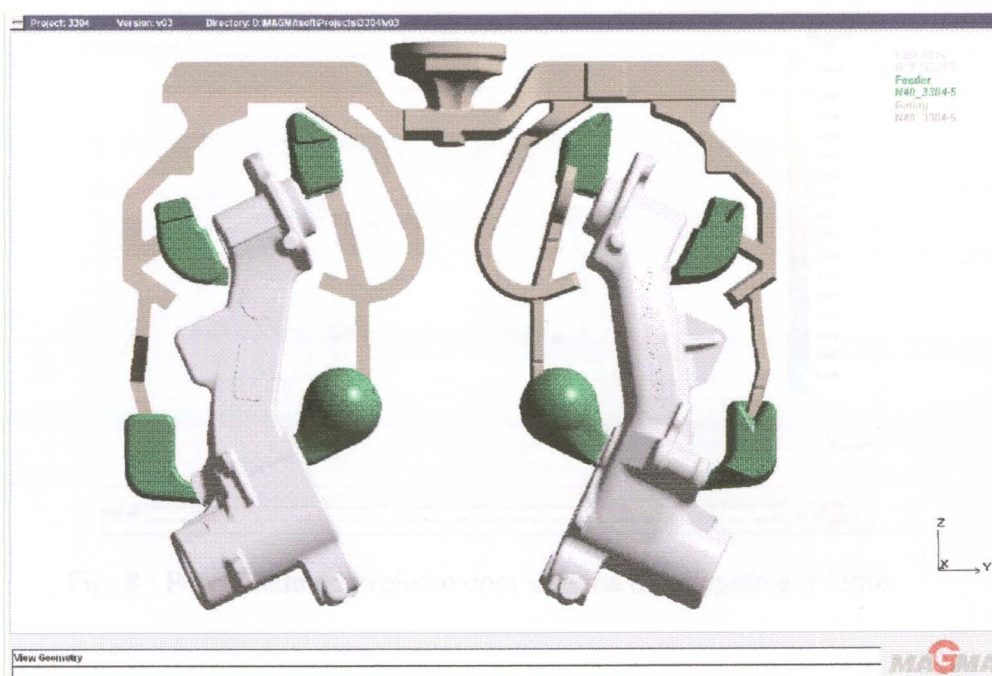


Fig. 6 : Sistema de gitagem em cascata.

Os dois “layouts” anteriores distinguem-se, basicamente, pela forma de enchimento, isto é, a gitagem em fonte faz com que o metal entre nos alimentadores de baixo para cima, enchendo a peça de igual modo. A gitagem em cascata permite a alteração das áreas dos canais de ataque, de modo a distribuir o fluxo de metal pelos diversos alimentadores, podendo assim a peça encher pelos quatro alimentadores de forma distribuída.



Fig. 7 : Porosidade do projecto com sistema de gitagem em fonte.

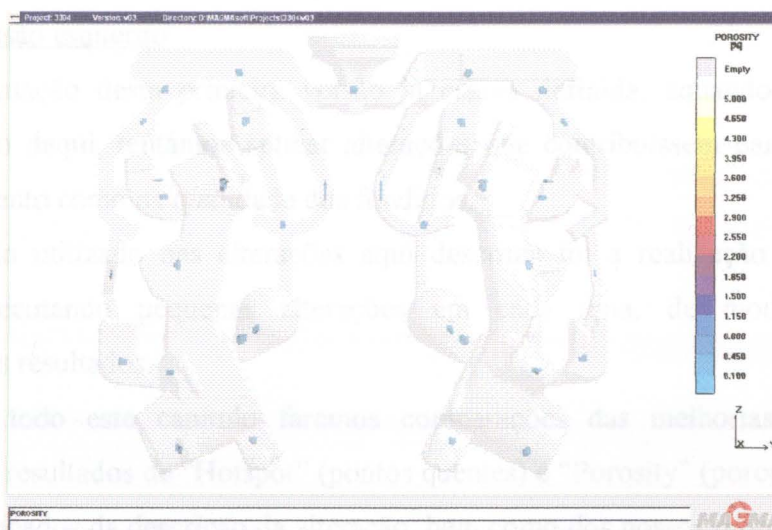


Fig. 8 : Porosidade do projecto com sistema de gitagem em fonte.

Relativamente à sanidade da peça final, podemos comparar as figuras 7 e 8 e constatar que com o mesmo sistema de alimentação, mas com gitagem diferente, o comportamento da porosidade na peça é praticamente idêntico. Assim sendo, não será a porosidade a razão da nossa escolha do sistema de gitagem.

Após ensaio e consequente aprovação, a gitagem em fonte foi quase colocada de parte. Os motivos que levaram a rejeitar uma gitagem em fonte são: vários problemas com inclusões de escória, o que obrigaria à utilização de filtro na moldação; alguns casos de “ferro frio”, isto é, como o enchimento é feito preferencialmente pelo fundo da peça e só no final do enchimento teremos a entrada de algum metal mais quente pelo topo da peça podemos encontrar alguns defeitos denominados na prática por “ferro frio”; bem como situações de “mal ligado”, locais no topo da peça, onde provavelmente o ferro não teve pressão suficiente para encher totalmente a peça, ficando com zonas de defeito visíveis que levam à rejeição da peça pelo controlo de qualidade.

Os defeitos de “ferro frio” e “mal ligado”, possivelmente seriam ultrapassados com um estudo mais aprofundado das áreas e disposição dos canais. O problema maior residia na eliminação das inclusões de escória na peça que, muito provavelmente, só seriam solucionadas com a colocação de um filtro no gito de descida. Este tipo de solução aumentaria substancialmente os custos de produção da peça devido à utilização de mais de 3000 filtros por dia, visto ser uma peça de grande produção e somente produzir duas peças por moldação.

Evolução e melhoria do sistema de alimentação

Braço de suspensão esquerdo

A alimentação desta primeira versão já estava definida, aquando do início deste estágio. Partindo daqui, tentámos aplicar alterações que contribuíssem para uma melhoria, tanto no rendimento como na qualidade dos fundidos.

O critério utilizado nas alterações aqui descritas foi a realização de consecutivas simulações, executando pequenas alterações em cada uma, de modo a interpretar correctamente os resultados.

Durante todo este capítulo faremos comparações das melhorias perspectivadas, apresentando os resultados de “Hotspot” (pontos quentes) e “Porosity” (porosidade) para cada versão, acompanhados da descrição da alteração, bem como dos nossos próprios comentários. O anexo 3 permite o acompanhamento destes resultados através das imagens de Feedmod (módulos), expostas na mesma sequência deste capítulo.

Ⓢ Versão 1

Antes de mais, e a nosso ver, é enorme relevância referir o facto de que, relativamente ao capítulo anterior, se verifica uma alteração na colocação das duas peças na placa-molde. Desta parte em diante, as duas peças estarão sempre voltadas para o mesmo lado, o que apesar de não ser tão favorável foi a única alternativa de disposição dos moldes. A explicação para esta alteração é dada pelo facto de que, voltando os moldes um para o outro na placa e sendo eles da mesma referência, a castanha assinalada a vermelho na figura 9 ficaria, numa placa voltada para um lado e noutra para o outro.

A problemática desta situação é que a referida castanha está relativamente elevada da apartação, o que implicaria termos duas meias placas molde com uma espessura considerável. Esta espessura das duas placas é limitativa em termos operacionais, dado que na máquina de moldar MK4 não é possível trabalhar com as duas placas de elevada espessura, somente a placa do êmbolo pode ser mais espessa.

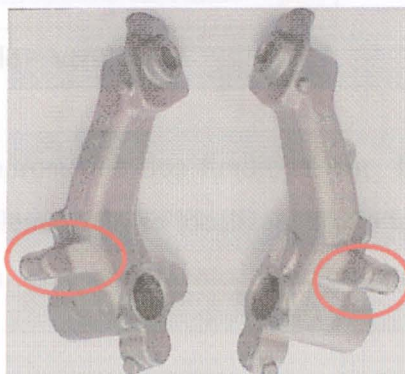


Fig. 9 : Fotografia dos dois braços de suspensão (esquerdo e direito, respectivamente). →

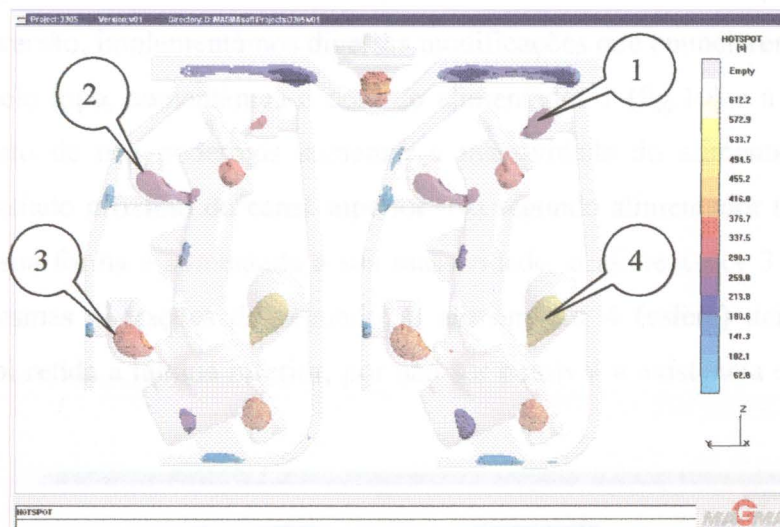


Fig. 10 : Pontos quentes – versão 1.

Observando a figura 10, atentamos, especificamente, no ponto quente do topo da peça que se encontra em maior escala no interior da mesma, comparativamente ao alimentador que visa alimentar essa mesma zona, concluindo desde logo que teríamos duas possibilidades: ou o alimentador não tem massa suficiente para desempenhar a sua função, ou o colo do alimentador foi mal definido.



Fig. 11 : Porosidade – versão 1.

Passemos então à análise da potencial porosidade dos fundidos (fig. 11) donde, à primeira vista, compreendemos logo que os problemas não se localizam só no topo da peça. Todos os alimentadores parecem não estar bem. O aparecimento de microporosidade nas zonas alimentadas é um sinónimo disso mesmo.

Versão 2

Nesta versão, implementámos diversas modificações que enunciaremos seguidamente: Começando pelo topo, aumentámos o colo do alimentador 1 (fig.10) e a área de ataque na peça, pelo facto de não podermos aumentar a massividade do alimentador, dado que se encontra demasiado próximo do canal superior. No segundo alimentador (alimentador 2) foi modificada a sua forma e aumentada a sua massividade; o alimentador 3 (junto à castanha) sofreu das mesmas alterações do segundo; o alimentador 4 (esfera) deixámos inalterado. Finalmente, foi retida a lâmina inferior, por não ser possível a existência de entrada naquela zona da peça.



Fig. 12 : Pontos quentes – versão 2.

Verificando agora os resultados, pelas figuras 12 e 13 comparativamente às figuras 10 e 11, parecem-nos satisfatórios mas, obviamente insuficientes, permanecendo as microporosidades próximas dos ataques, do lado direito da peça.

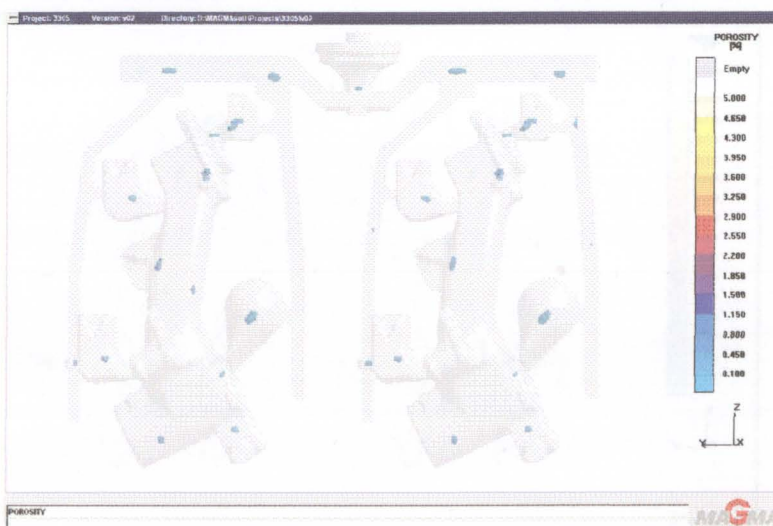


Fig. 13 : Porosidade – versão 2.

3.3.3.3. Versão 3

Dada a forma complicada do ataque do alimentador de esfera (alimentador 4), optámos nesta versão por substituir esse alimentador por um semelhante aos outros. Alterámos também, dentro do possível, o alimentador superior, aumentando a sua espessura por todo, de modo a eliminar a microporosidade junto à entrada.

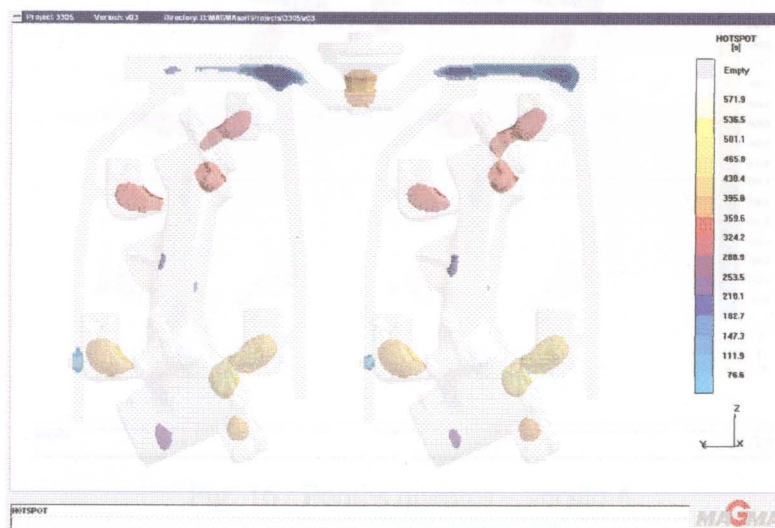


Fig. 14 : Pontos quentes – versão 3

Neste ponto, pela observação das figuras 14 e 15, podemos afirmar que efectivámos algumas melhorias no que concerne a porosidade. A porosidade existente juntos aos alimentadores passou, agora, totalmente para o interior dos mesmos.

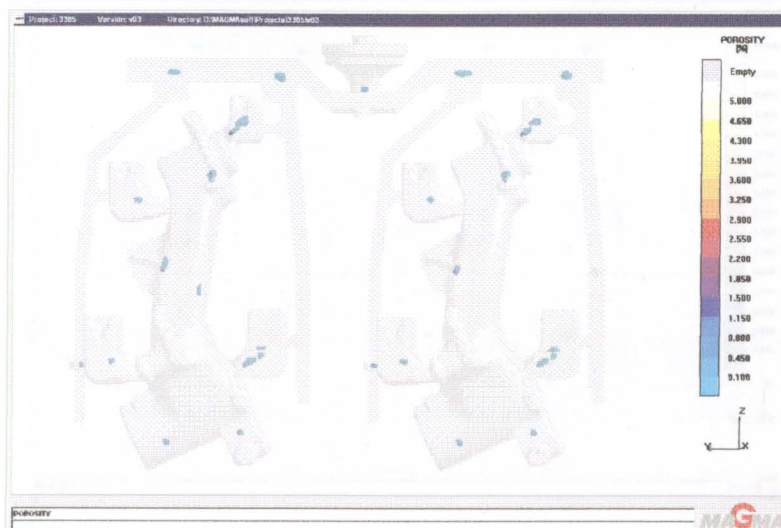


Fig. 15 : Porosidade – versão 3

Versão 4

Da versão três para a versão quatro, tentámos deslocar a porosidade da proximidade da entrada dos alimentadores para o seu centro, com vista a garantir que a sanidade da peça não seria posta em causa. A proposta para essa mesma alteração foi aumentar um pouco a massividade do topo dos referidos alimentadores, melhorando o módulo dos mesmos na tentativa de deslocar os poros.



Fig. 16 : Pontos quentes – versão 4.

Como se pode observar na figura 16, os pontos quentes deslocaram-se mais para o centro dos alimentadores conforme perspectivado. A comprovação esperada é visível na figura 17, com melhores resultados no alimentador superior do que no inferior, mas mesmo assim evidenciando que o nosso pensamento estava correcto.



Fig. 17 : Porosidade – versão 4.

Versão 7

Da versão quatro para esta, aumentámos unicamente a espessura do alimentador 4 (fig.10), visto termos obtido resultados satisfatórios nos restantes.



Fig. 18 : Pontos quentes – versão 7.

Comprovando, através da visualização das figuras 18 e 19, que os resultados se aproximam bastante dos esperados, pensamos ter chegado a uma solução aceitável, dadas todas as dificuldades que a peça, por si só, nos tinha criado.

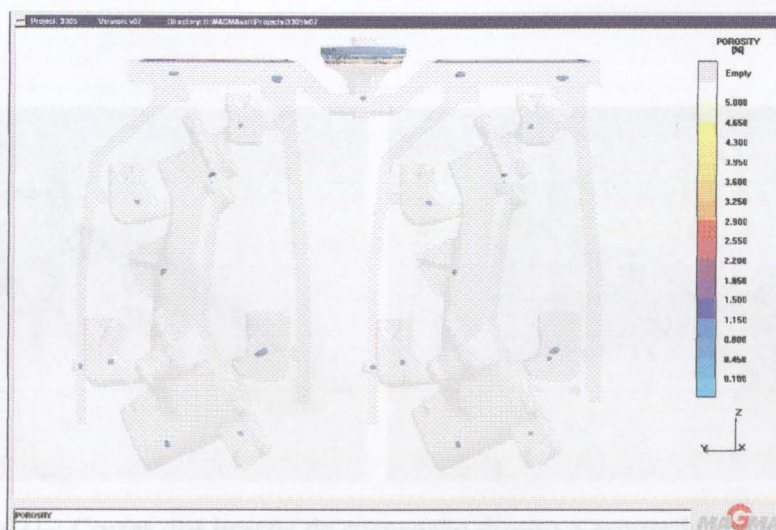


Fig. 19 : Porosidade – versão 7.

Braço de suspensão direito

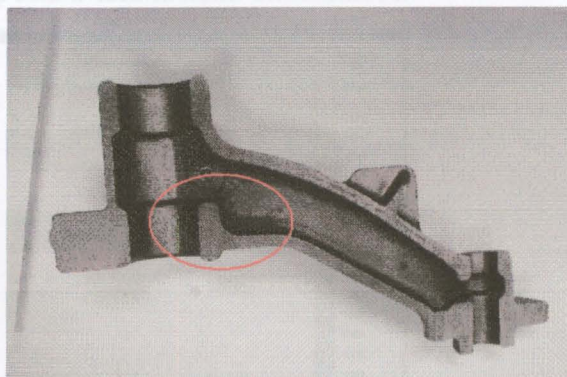
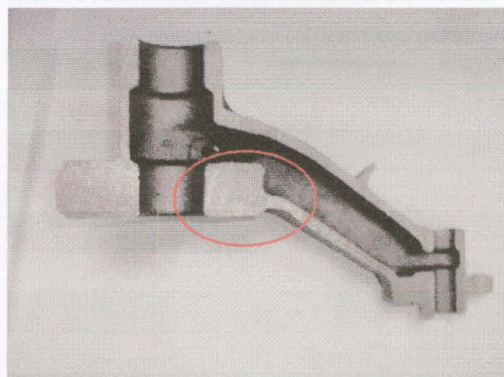
A passagem da versão quatro para a versão sete foi propositada, visto nas versões intermédias não existir matéria de revelada importância que carecesse de apresentação neste relatório, dada a limitação de espaço a que estamos sujeitos.

Não imaginando a peça na realidade, é difícil acreditar que a solução apresentada será no mínimo aceitável. As impossibilidades de colocação de alimentadores noutras zonas da peça, a existência de prensos de machos que dificultam a geometria dos alimentadores, a complexidade da geometria das peças, bem como a limitação de espaço na placa-molde, viabilizam a solução apresentada.

A permanência de microporosidades em algumas zonas da peça podem, à primeira vista, parecer defeitos graves, o que não o são, na realidade. A comprovação desta afirmação será explanada durante do decorrer deste trabalho.

Devido às diferenças das duas peças em causa, direita e esquerda, foi necessário alargar o estudo à outra peça, neste caso à direita, de forma a garantir a aplicabilidade do projecto à produção das duas. Como já foi referido no início do presente capítulo, as diferenças entre as duas peças provocaram algumas alterações de ordem técnica. A nosso ver, a alteração que poderá provocar uma diferença nos resultados é a geometria da parte inferior da peça, nomeadamente, a deslocação da entrada inferior, junto ao alimentador 4, assim como a maior massividade da peça nessa zona.

As figuras que se seguem, juntamente com a figura nove, elucidarão melhor relativamente a todas as diferenças aqui descritas.



Figuras 20 e 21 : Cortes dos braços de suspensão direito e esquerdo, respectivamente.

Fig. 23 : Porosidade - versão 1.

Braço de suspensão direito

Após algumas versões, sem resultados satisfatórios, apresentamos aqui a última que elaboramos, antes do início dos ensaios de produção.

Versão 1

Esta versão do projecto consistiu na aplicação da alimentação da última versão do outro braço de suspensão, com a excepção do alimentador inferior esquerdo (na outra peça o direito), no qual se alterou a entrada na peça, como se vê na figura 22.

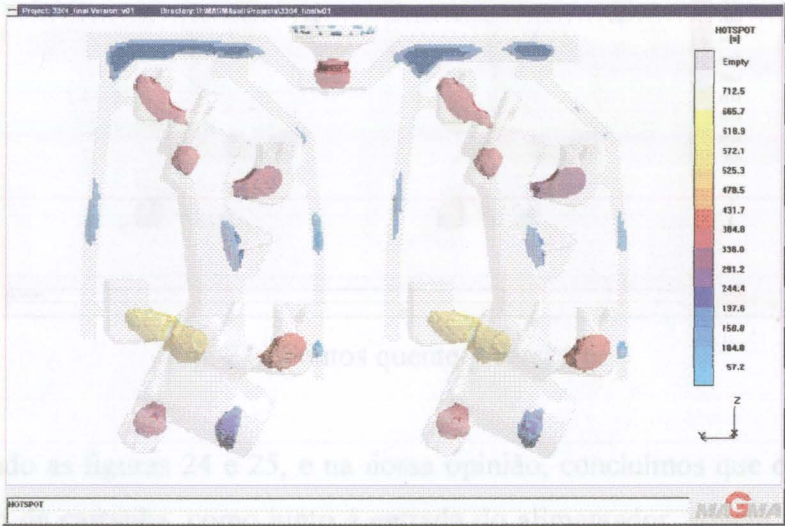


Fig. 22 : Pontos quentes – versão 1.

Pela análise das figuras desta versão, podemos efectivamente comprovar que as peças, além de serem diferentes, apresentam um comportamento diferente a sistemas de alimentação semelhantes. Vejamos: unicamente com a alteração de posição do alimentador e do seu colo, obtivemos resultados diferentes na castanha oposta a esse mesmo alimentador.

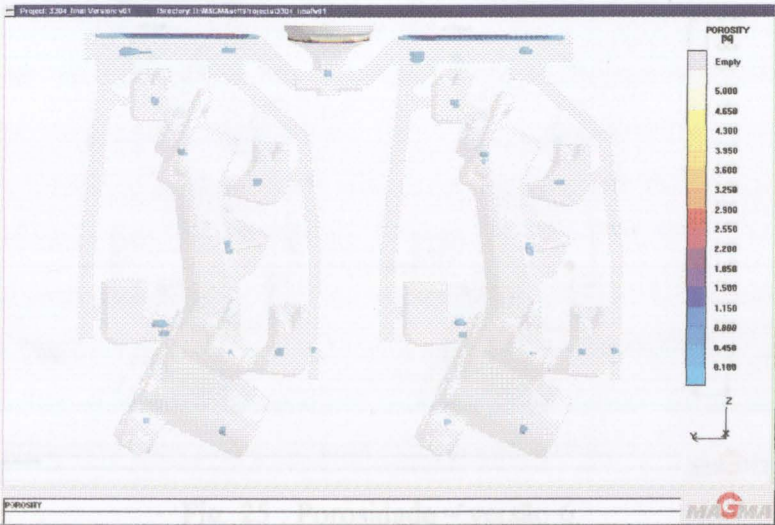


Fig. 23 : Porosidade – versão 1.

Versão 6

Após algumas versões, sem resultados satisfatórios, apresentamos aqui a última que nos foi possível elaborar, antes do início dos ensaios de produção.

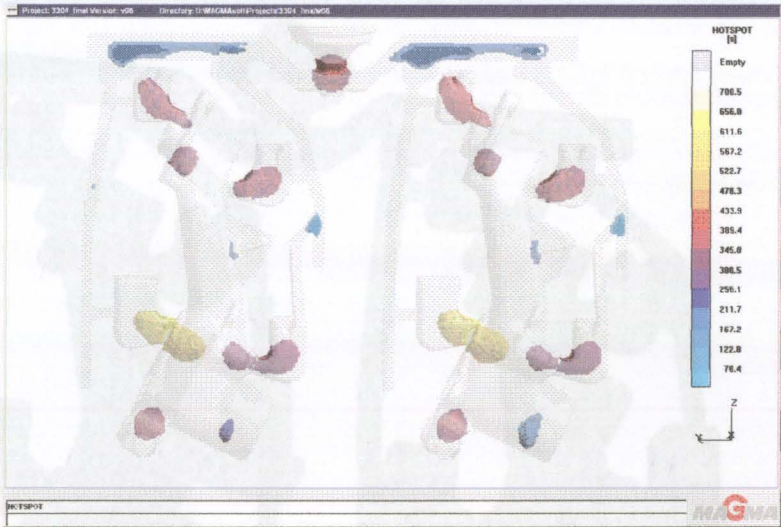


Fig. 24 : Pontos quente – versão 6.

Observando as figuras 24 e 25, e na nossa opinião, concluímos que os problemas de porosidade, tanto da castanha, como junto à entrada do alimentador, advêm da proximidade dos dois pontos quentes; pelo que necessitaríamos de mais algum tempo para tentar solucionar este problema antes dos ensaios. A obrigatoriedade da empresa cumprir prazos estabelecidos para o projecto, impossibilitou a continuidade deste estudo. Contudo, os resultados experimentais que seguidamente serão apresentados darão a continuidade necessária a este projecto.



Fig. 25 : Porosidade – versão 6.

Malhamento e qualidade da malha gerada

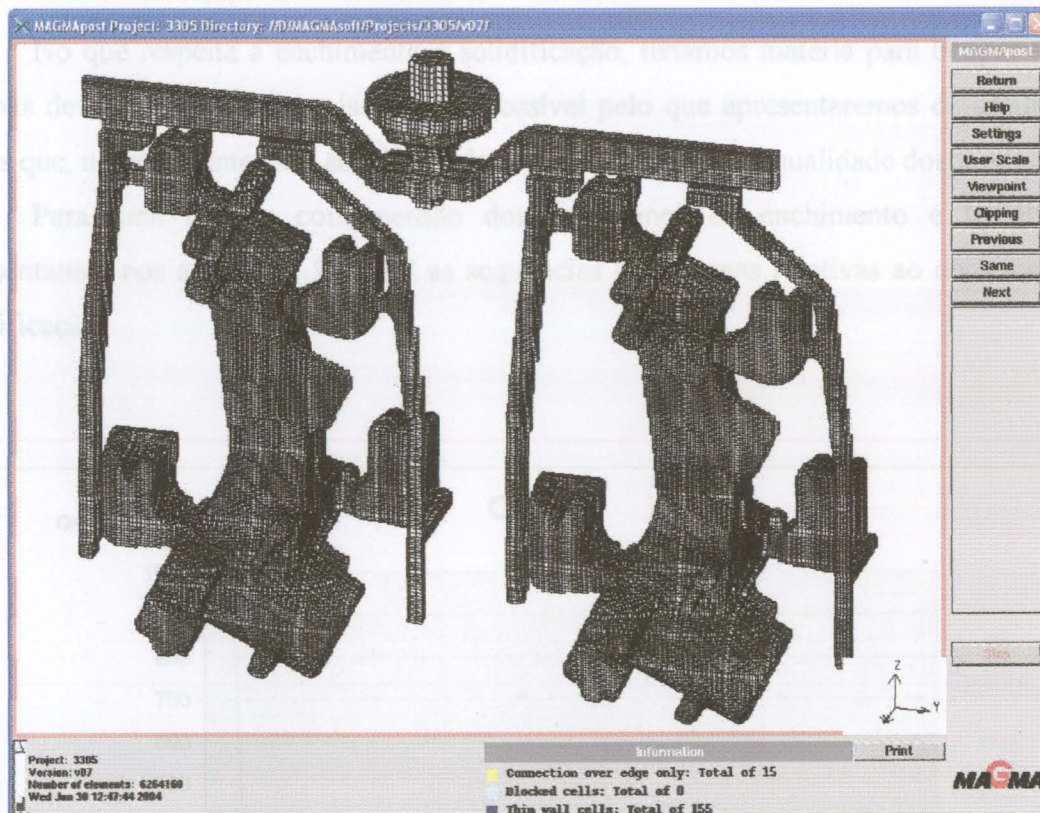


Fig. 26 : Qualidade da malha gerada.

No atinente ao malhamento, importante passo numa simulação de enchimento e solidificação, podemos tecer alguns comentários. Ao fim de algumas tentativas de construção da malha, chegámos a uma que nos pareceu ser bastante razoável, como podemos observar na figura 26.

Obviamente que esta malha não é perfeita. Se o fosse provavelmente demoraríamos dias ou até mesmo semanas a efectuar uma única simulação. Precisamente por essa razão, tentámos escolher a melhor opção, sem prejudicar a qualidade da malha e o desempenho do software relativamente a tempo de simulação.

Finalizado este trabalho, obtivemos uma malha de 6.264.160 elementos com 15 elementos unidos por uma única aresta e 155 elementos de espessura reduzida. Pode parecer que a referida malha apresenta demasiados defeitos, mas depois da análise dos referidos defeitos, constatámos que todos se encontravam no interior da peça e em locais de menor importância para o nosso estudo.

Enchimento e solidificação

No que respeita a enchimento e solidificação, teríamos matéria para ocupar diversas páginas deste trabalho, porém isso não é possível pelo que apresentaremos de seguida dois dados que, no nosso entender, são de revelada importância para a qualidade dos fundidos.

Para uma melhor compreensão dos fenómenos de enchimento e solidificação, apresentamos nos anexos 4, 5, 6 e 7 as sequências de imagens relativas ao enchimento e à solidificação.

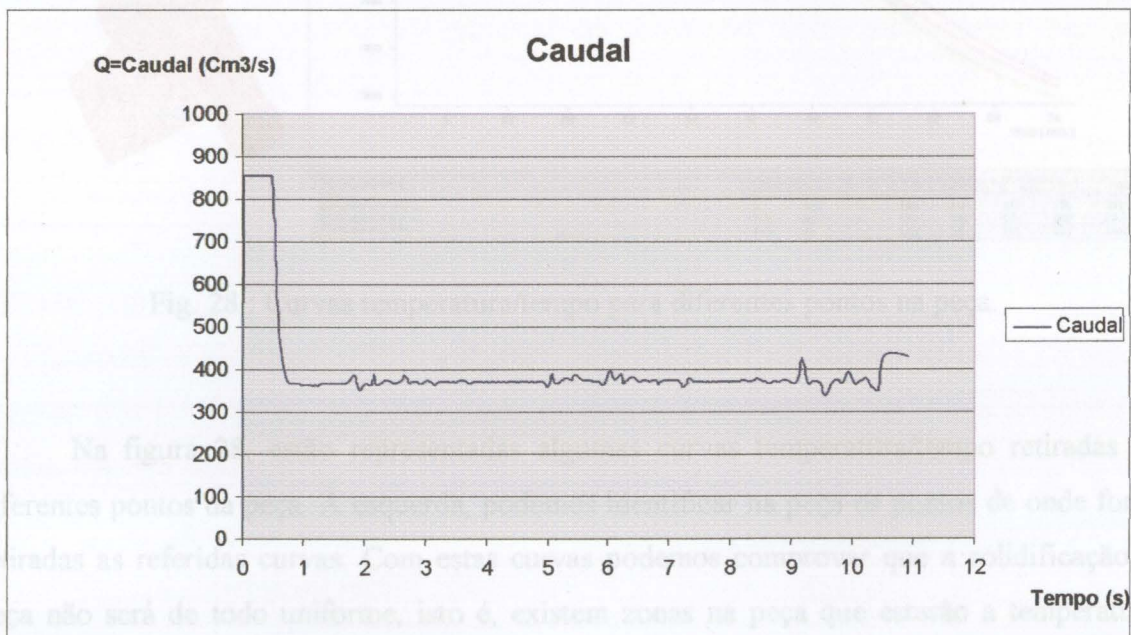


Fig. 27 : Gráfico do caudal de enchimento da moldação em função do tempo.

Da figura 27 podemos retirar algumas ilações pertinentes como por exemplo, que o software MagmaSoft® gerou uma curva Caudal/Tempo igual à que se pretende na realidade, isto é, uma abertura máxima do caixão de vazamento até enchermos completamente a bacia e seguidamente um caudal constante de forma a manter sempre a bacia cheia, provocando um enchimento uniforme, podendo, assim, afirmar que a gitagem foi correctamente projectada.

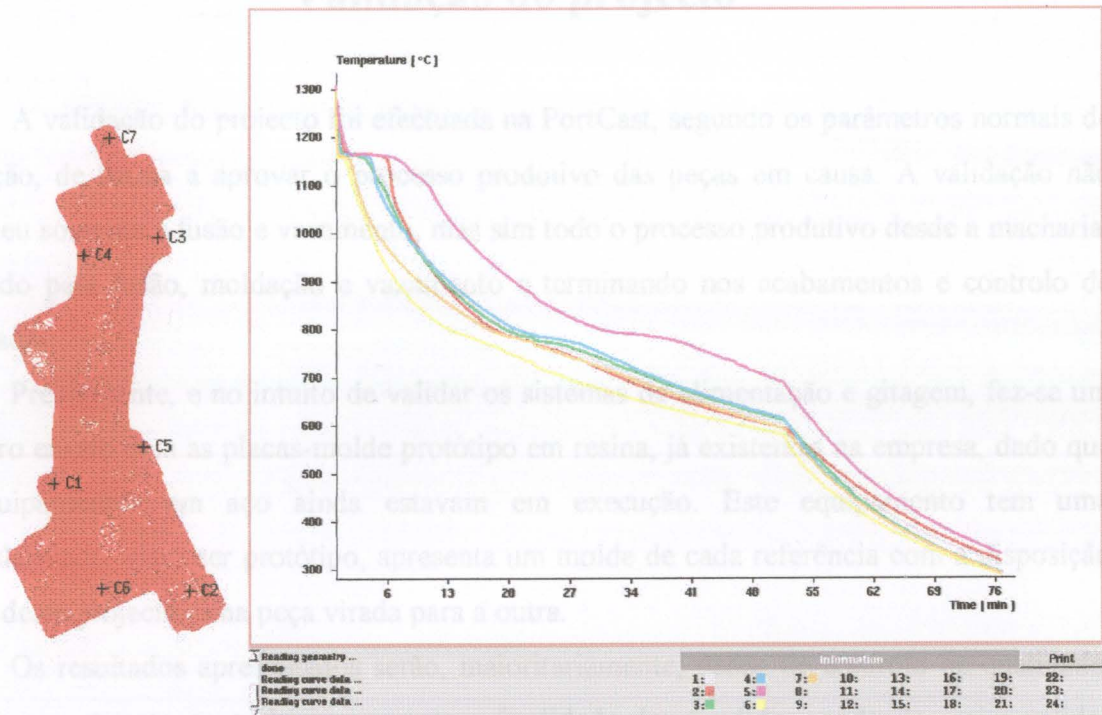


Fig. 28 : Curvas temperatura/tempo para diferentes pontos na peça.

Na figura 28, estão representadas algumas curvas temperatura/tempo retiradas em diferentes pontos da peça. À esquerda, podemos identificar na peça os pontos de onde foram retiradas as referidas curvas. Com estas curvas podemos comprovar que a solidificação da peça não será de todo uniforme, isto é, existem zonas na peça que estarão a temperaturas inferiores a outras. Se repararmos nos pontos 5 e 6, em que 5 corresponde a uma zona maciça e 6 a uma zona de espessura reduzida, verificamos que por volta dos 34 minutos de solidificação a diferença de temperaturas chega a atingir 150 °C.

As diferenças de temperaturas durante a solidificação podem ser de extrema importância, principalmente no que toca à produção duma matriz ferrítica, como é o caso. Como comprovaremos na validação, estas diferenças não são suficientes para alterar a pontualmente matriz, dando possibilidade ao aparecimento de alguma perlite nas zonas de maior velocidade de arrefecimento.

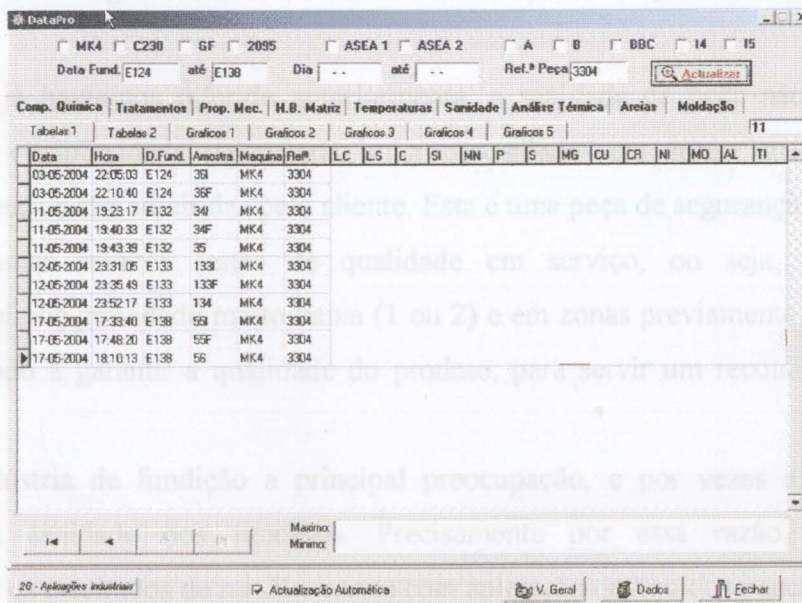
Validação do projecto

A validação do projecto foi efectuada na PortCast, segundo os parâmetros normais de produção, de forma a aprovar o processo produtivo das peças em causa. A validação não envolveu somente a fusão e vazamento, mas sim todo o processo produtivo desde a macharia, passando pela fusão, moldação e vazamento e terminando nos acabamentos e controlo de qualidade.

Previamente, e no intuito de validar os sistemas de alimentação e gitagem, fez-se um primeiro ensaio com as placas-molde protótipo em resina, já existentes na empresa, dado que os equipamentos em aço ainda estavam em execução. Este equipamento tem uma particularidade: visto ser protótipo, apresenta um molde de cada referência com a disposição inicial deste projecto, uma peça virada para a outra.

Os resultados apresentados serão, maioritariamente, dados de controlo de qualidade, por ser esse mesmo controlo que garante a qualidade dos fundidos, podendo assim validar todo este projecto.

Devido à confidencialidade exigida à empresa PortCast, alguns resultados e mesmo imagens não poderão ser aqui apresentados, pelo que tentaremos, de forma sucinta e da melhor maneira possível, explanar os passos de validação.



Data	Hora	D.Fund.	Amostra	Máquina	Peças
03-05-2004	22:05:03	E124	36I	MK4	3304
03-05-2004	22:10:40	E124	36F	MK4	3304
11-05-2004	19:23:17	E132	34I	MK4	3304
11-05-2004	19:40:33	E132	34F	MK4	3304
11-05-2004	19:43:39	E132	35	MK4	3304
12-05-2004	23:31:05	E133	133I	MK4	3304
12-05-2004	23:35:49	E133	133F	MK4	3304
12-05-2004	23:52:17	E133	134	MK4	3304
17-05-2004	17:33:40	E138	55I	MK4	3304
17-05-2004	17:48:20	E138	55F	MK4	3304
17-05-2004	18:10:13	E138	56	MK4	3304

Fig. 29 : Vista geral do software DataPro. (os dados foram propositadamente apagados)

Na figura 29 podemos observar uma vista geral do software DataPro, propriedade da PortCast, software este que permite visualizar “online” todo o processo produtivo da empresa, bem como o controlo de qualidade, a partir de qualquer terminal que tenha ligação à rede interna da empresa e o programa instalado. O DataPro foi de grande utilidade durante a execução do estágio aqui descrito. Só assim foi possível armazenar e consultar, em qualquer momento, todos os ensaios realizados, bem como todos os resultados obtidos. O software está em constante desenvolvimento, mediante as necessidades da empresa, o que para nós é considerada uma mais valia.

Os resultados de sanidade desta peça são reportados com referência a uma dada zona da peça e obtidos através de raioX e quando necessário líquidos penetrantes, para uma melhor compreensão dos resultados apresentaremos na imagem seguinte, a peça dividida por zonas.

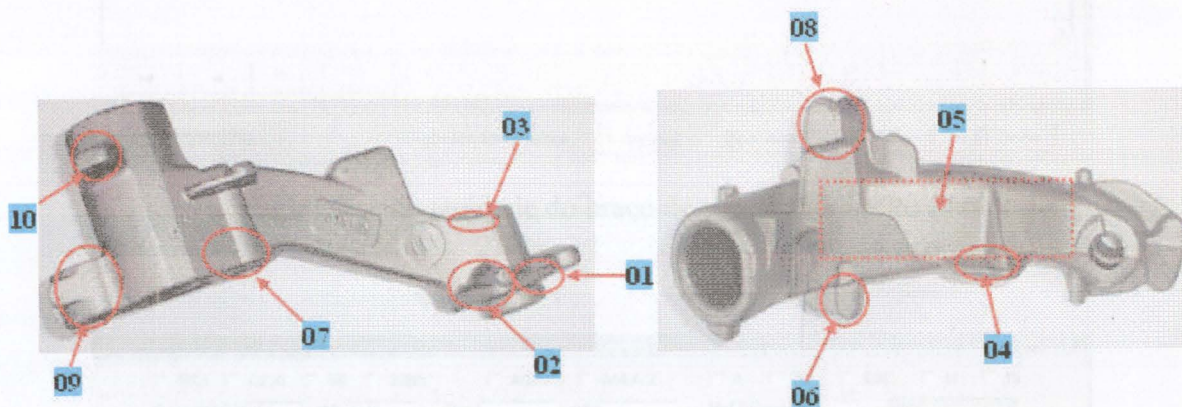


Fig. 30 : Zonas de controlo dos braços de suspensão.

Como já havíamos referido anteriormente, a sanidade da peça não será de 100%, devido à sua complexidade: aparecerão microporosidades em zonas que não afectam a segurança da peça e são admitidas pelo cliente. Esta é uma peça de segurança crítica, pelo que terá de suplantar severos testes de qualidade em serviço, ou seja, só é permitida microporosidade de gravidade muito baixa (1 ou 2) e em zonas previamente definidas com o cliente, de modo a garantir a qualidade do produto, para servir um reconhecido construtor automóvel.

Na indústria de fundição a principal preocupação, e por vezes a mais difícil de resolver, é a sanidade dos fundidos. Precisamente por essa razão, apresentaremos primeiramente os resultados de raioX e cortes com aplicação de líquidos penetrantes.

Fig. 32 : Resultados de sanidade do braço de suspensão direito (molde 2)

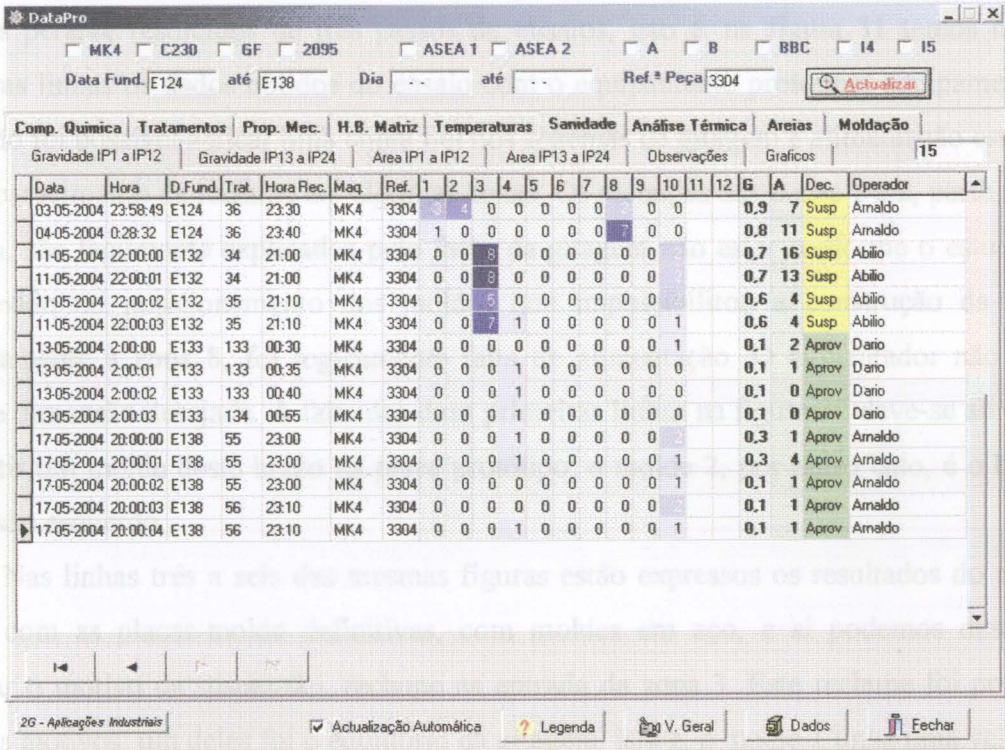


Fig. 31 : Resultados de sanidade do braço de suspensão direito (molde 1).

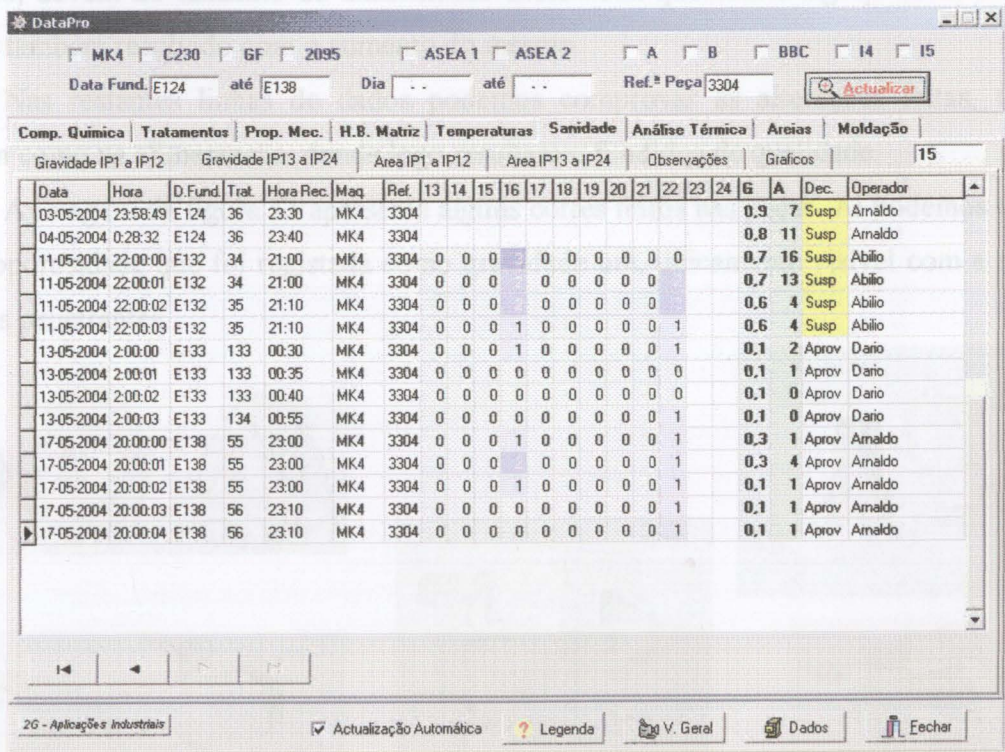


Fig. 32 : Resultados de sanidade do braço de suspensão direito (molde 2).

Passando agora à discussão das imagens anteriores (31 e 32), acresce-nos salientar que estamos perante resultados de três passos de ensaios, isto é, na figura 31 temos nas duas primeiras linhas os dados obtidos do ensaio com o equipamento protótipo, equipamento este onde não foi possível aplicar uma cópia fiel dos sistemas de gitagem e alimentação estudados, daí o aparecimento de rechupe em algumas zonas. Os rechupe das zonas 1 e 2, parte superior da peça, são facilmente explicados pelo facto da gitagem não estar conforme o estudo feito, isto devido ao posicionamento dos moldes que impossibilitou a construção da mesma. Relativamente à zona 8, foi logicamente falta de alimentação. O alimentador não tinha a forma e dimensão desejada. A falta das duas primeiras linhas na figura 32 deve-se ao facto de só existir um molde deste braço na placa protótipo, o molde 2, por outro lado, é o braço de suspensão esquerdo.

Nas linhas três a seis das mesmas figuras estão expressos os resultados do primeiro ensaio com as placas-molde definitivas, com moldes em aço, e aí podemos desde logo verificar o motivo da suspensão, rechupe na entrada da zona 3. Este rechupe foi provocado por dois motivos: um deles foi o equilíbrio da gitagem, isto é, o molde 1 tinha uma velocidade de enchimento superior à do molde 2, como se pode observar no anexo 6. Este problema foi prontamente resolvido com uma pequena alteração no canal superior. O segundo motivo, por seu lado, advém do tamanho do alimentador dessa zona que estava ligeiramente inferior, o que foi também resolvido com o aumento do mesmo.

Nas restantes linhas de dados podemos comprovar as alterações feitas, tanto na gitagem como na alimentação, donde logo resultaram fundidos de qualidade.

A imagem da figura 33 apresenta alguns cortes feitos nas peças. Aí podemos observar a microporosidade que foi registada como gravidade um, unicamente visível com a ajuda de líquidos penetrantes.

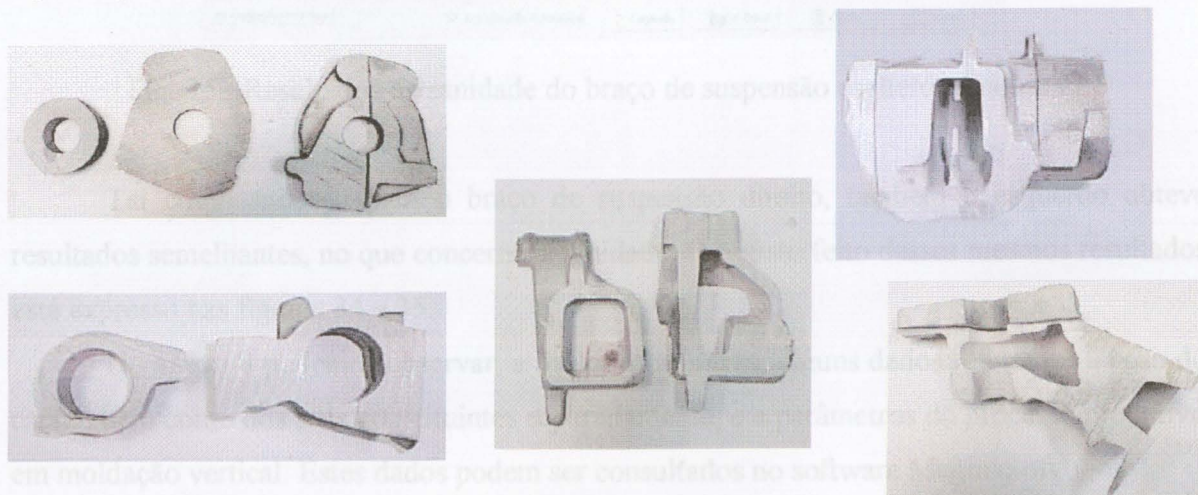


Fig. 33 : Fotografias de cortes efectuados para analisar a porosidade nas peças.

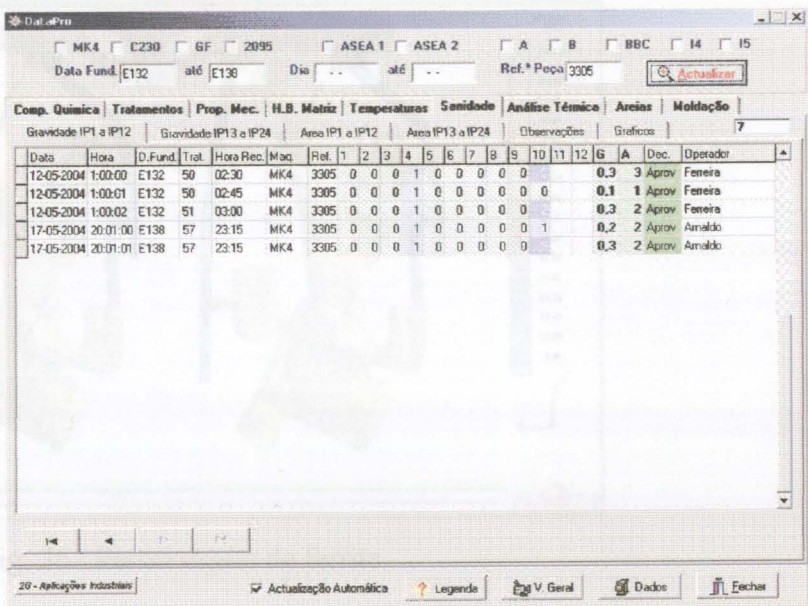


Fig. 34 : Resultados de sanidade do braço de suspensão esquerdo (molde 1).

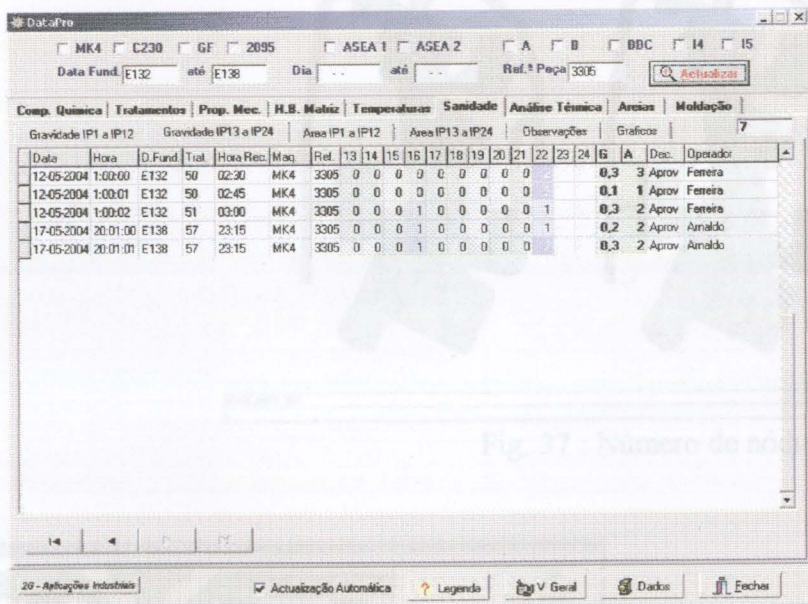


Fig. 35 : Resultados de sanidade do braço de suspensão esquerdo (molde 2).

Tal como sucedeu para o braço de suspensão direito, também o esquerdo obteve resultados semelhantes, no que concerne a sanidade. O registo feito desses mesmos resultados está expresso nas figuras 34 e 35.

No anexo 8 podemos observar, a título informativo, alguns dados referentes a peso do cacho, bem como dos seus constituintes separadamente, e a parâmetros do processo produtivo em moldação vertical. Estes dados podem ser consultados no software MagmaSoft®.

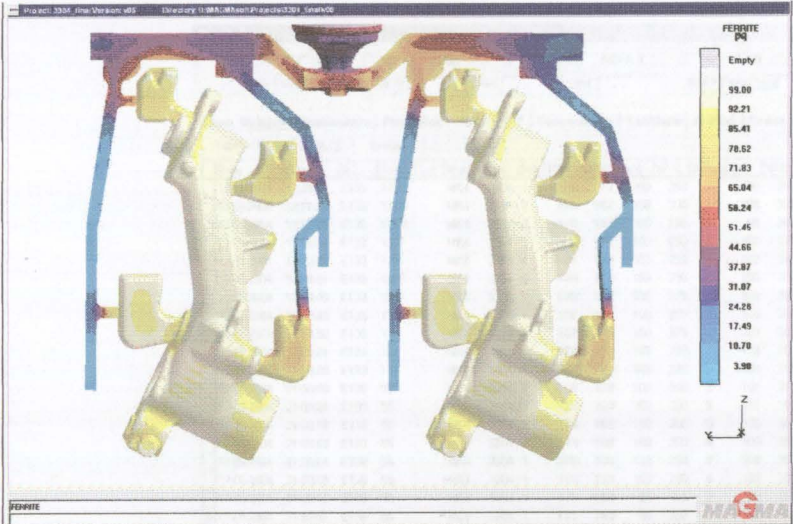


Fig. 36 : Percentagem de ferrite.

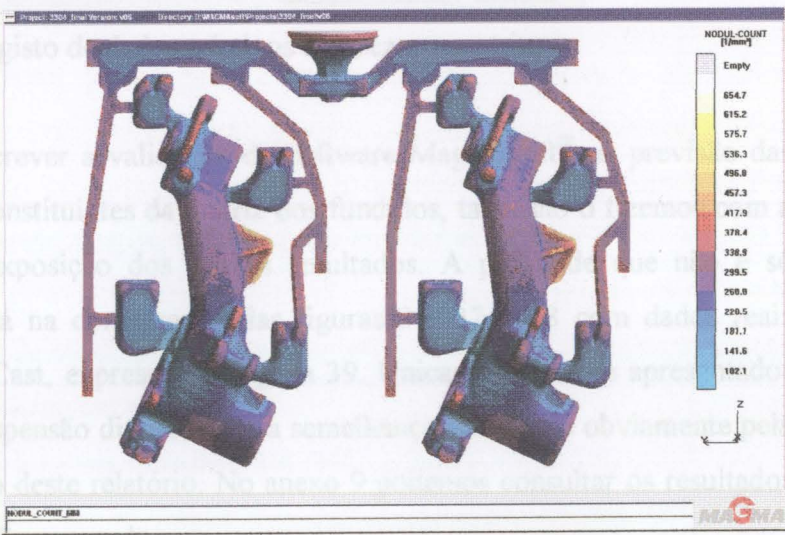


Fig. 37 : Número de nódulos.

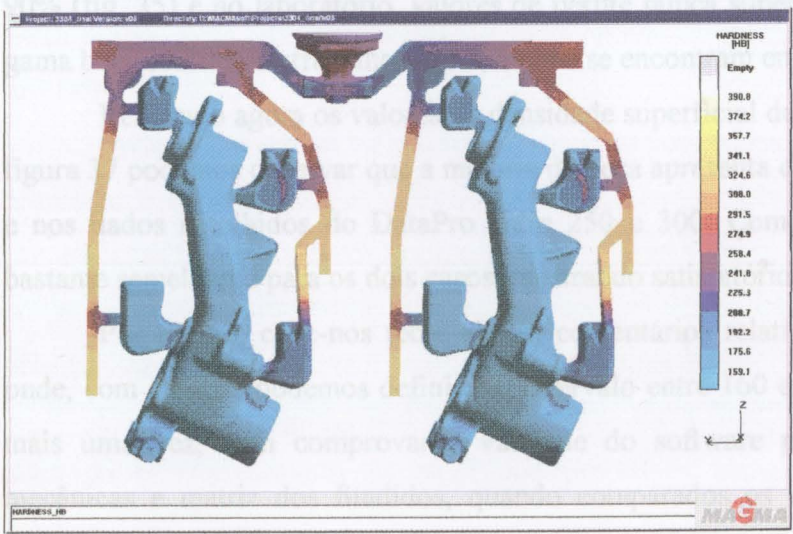


Fig. 38 : Dureza HB.

<

Fig. 39 : Registo de dados relativos a durezas e matriz.

Finalmente, e para descrever a validação do software MagmaSoft® na previsão das propriedades mecânica e dos constituintes da matriz dos fundidos, tal como o fizemos com a sanidade, efectuaremos uma exposição dos nossos resultados. A prova de que não é só possível prever porosidade está na comparação das figuras 36, 37 e 38 com dados reais obtidos no laboratório da PortCast, expressos na figura 39. Unicamente foram apresentados estes resultados do braço de suspensão direito, dada a semelhança dos dois e obviamente pela impossibilidade de alargamento deste relatório. No anexo 9 podemos consultar os resultados obtidos para o braço de suspensão esquerdo.

No que concerne à percentagem de ferrite, obtivemos no software valores acima dos 90% (fig. 35) e no laboratório, valores de perlite nunca superiores a 10%, o que nos dá uma gama bem definida de trabalho, isto é, ambos se encontram entre 90 e 100% de ferrite.

Referindo agora os valores de densidade superficial de nódulos de grafite por mm^2 , na figura 37 podemos observar que a maioria da peça apresenta entre 220 e 300 nódulos por mm^2 e nos dados recolhidos do DataPro entre 250 e 300. Como podemos constatar a gama é bastante semelhante para os dois casos, mostrando satisfatórios os resultados do software.

Por último, cabe-nos tecer alguns comentários relativamente à dureza HB (fig. 38) onde, com clareza, podemos definir um intervalo entre 160 e 190 HB por toda a peça o que, mais uma vez, vem comprovar a validade do software para a análise de propriedades mecânicas e matriz dos fundidos, quando comparados os resultados com a prática, onde obtivemos valores entre 166 e 180 HB nas zonas analisadas em laboratório.

Conclusão

Finalmente, e a título de conclusão, resta-nos fazer algumas elações respeitantes ao trabalho desenvolvido no decurso deste estágio.

Relativamente ao estudo inicial do projecto, foi possível retirar informações importantes que manifestaram ser de grande importância no desenvolvimento do mesmo. Definimos concretamente todos os parâmetros térmicos e físicos, necessários à execução das simulações de enchimento e solidificação em MagmaSoft®, da liga a processar e do próprio processo industrial implementado na PortCast. A primeira simulação de solidificação da peça permitiu-nos identificar as zonas da peça que, potencialmente, provocariam defeitos nas mesmas. Nesta fase decidimos a localização dos alimentadores, assim como a sua geometria e dimensões.

No que concerne a sistema de gitagem, a nossa escolha foi baseada em vários aspectos: simulações de enchimento, ensaios anteriormente realizados na empresa e, com maior peso na escolha, a questão da utilização de filtro na moldação pelo agravamento dos custos de produção. O sistema então elegido foi a gitagem em cascata. Este sistema permite a ausência de filtros na moldação pela aplicação de lâminas no canal superior, com a finalidade de travar o avanço de partículas de escória, revelando-se benéfico para os custos de produção e de menor dificuldade técnica na moldação.

A fase que, a nosso ver, foi mais determinante neste projecto e que careceu de maior tempo de execução foi precisamente o desenvolvimento do sistema de alimentação. A alimentação proposta neste trabalho viabilizou a produção da peça, garantindo o objectivo a que nos propusemos. O objectivo referido contemplava, da mesma forma, o rendimento da placa molde, pelo que alcançámos um valor viável de produção em série, bastante próximo dos 60%.

No que respeita a validação, produzimos resultados satisfatórios que nos permitem afirmar que o software MagmaSoft® é uma ferramenta importante e fiável na previsão das propriedades finais dos fundidos. Os dados recolhidos dos ensaios realizados na PortCast, em conjunto com as simulações efectuadas, comprovam a utilidade do referido software na previsão de defeitos, dureza e matriz das peças produzidas.

Em suma, chegados que somos à nossa meta final, estamos convictos de que, para além de termos atingido os objectivos propostos, alargámos os nossos horizontes do conhecimento, bem como as nossas competências pessoais e profissionais.

Bibliografia

Disamatic Sand Moulding System, Application Manual, Denmark, Georg Fischer Disa A/S. *

Propriedade da PortCast, fundição de nodular, S.A.

MAGMASOFT® 4.2 Manual, Germany, Magma GmbH, 2002. *

Propriedade da PortCast, fundição de nodular, S.A.

* Bibliografia frequentemente consultada durante a execução do trabalho.

ANEXOS

Anexo 1

Velocidade de enchimento do sistema de gitagem em fonte

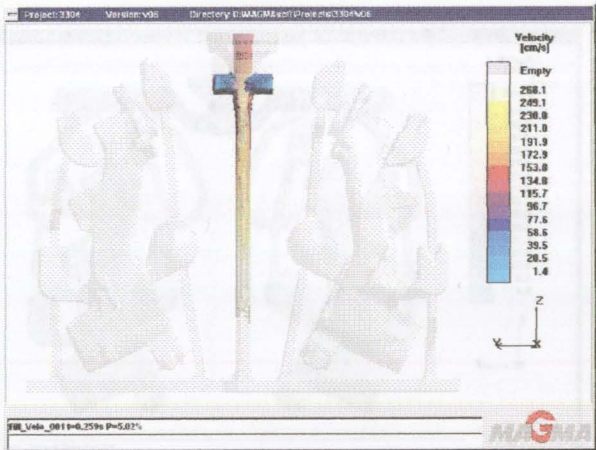


Fig. 1: 5% do enchimento.

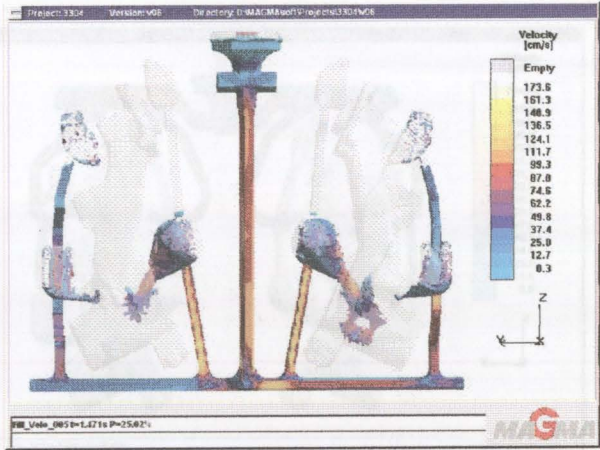


Fig. 2: 25% do enchimento.

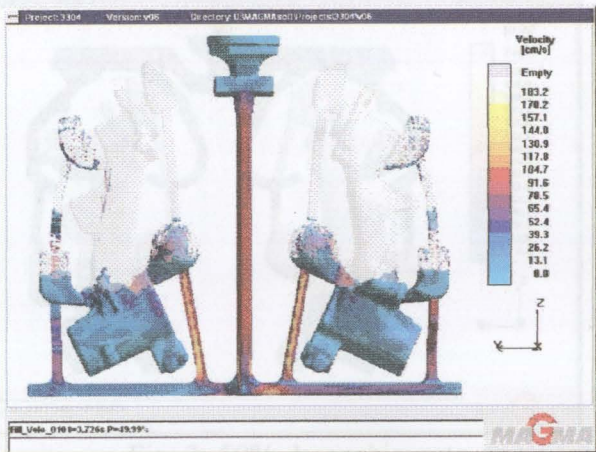


Fig. 3: 50% do enchimento.

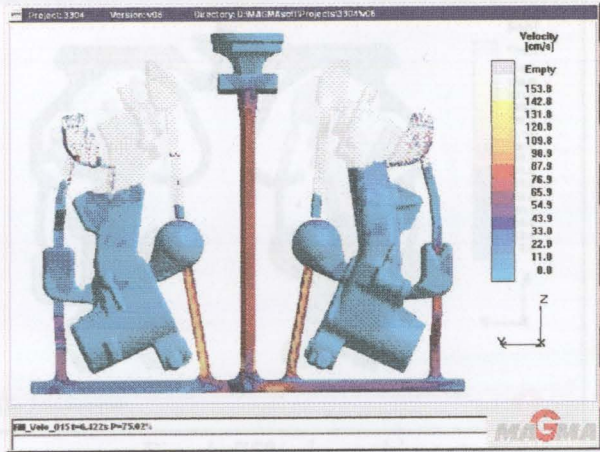


Fig. 4: 75% do enchimento.

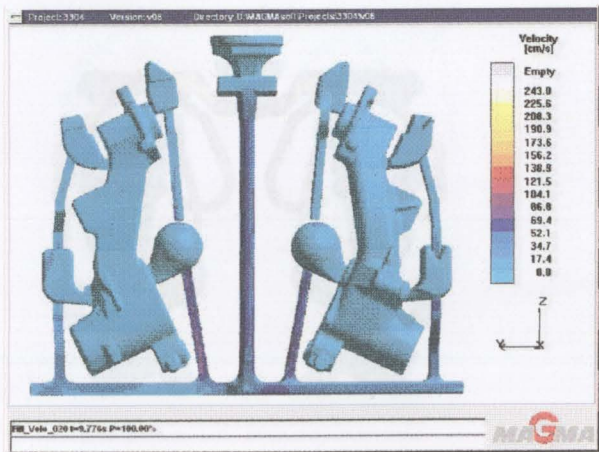


Fig. 5: 100% do enchimento.

Anexo 2

Velocidade de enchimento do sistema de gitagem em cascata

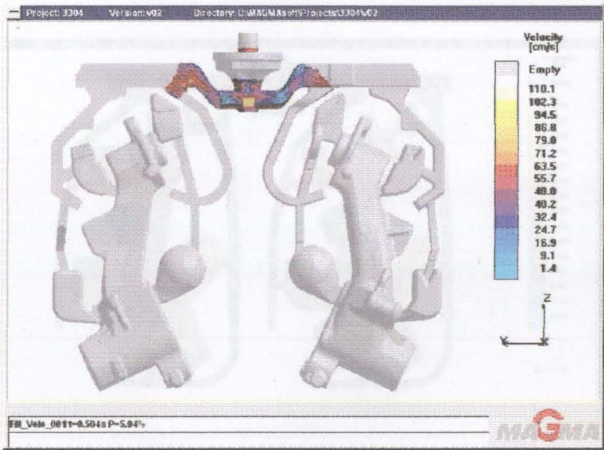


Fig. 1: 5% do enchimento.

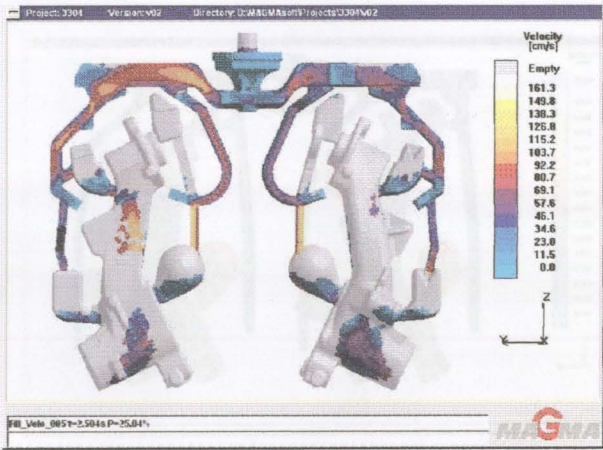


Fig. 2: 25% do enchimento.

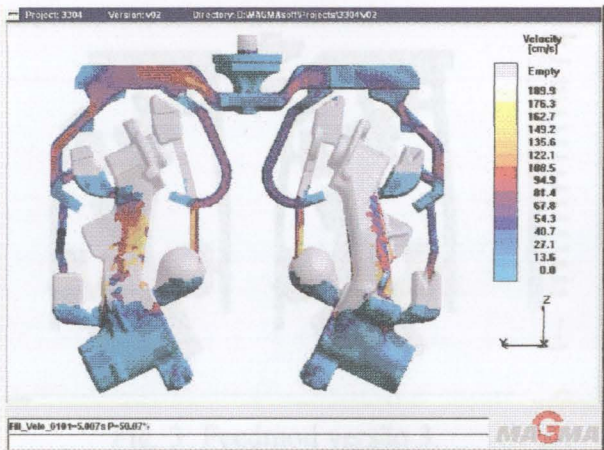


Fig. 3: 50% do enchimento.

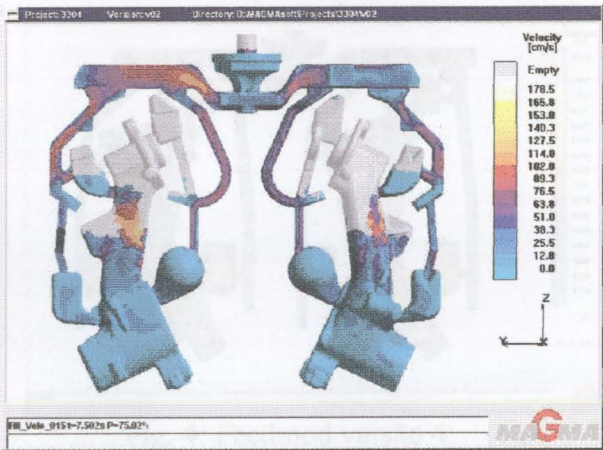


Fig. 4: 75% do enchimento.

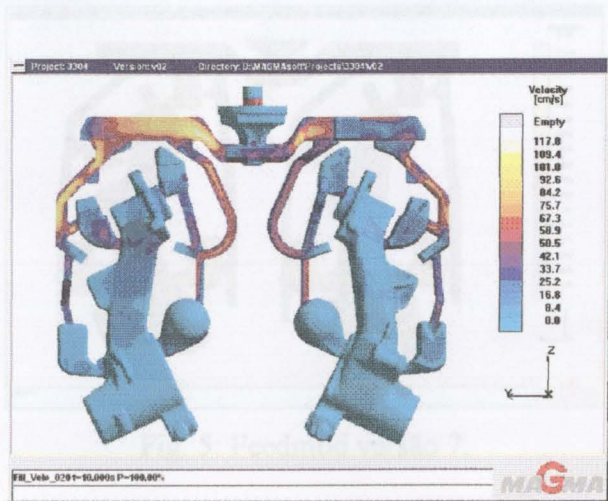


Fig. 5: 100% do enchimento.

Anexo 3

Feedmod (módulos) do braço de suspensão esquerdo



Fig. 1: Feedmod versão 1.

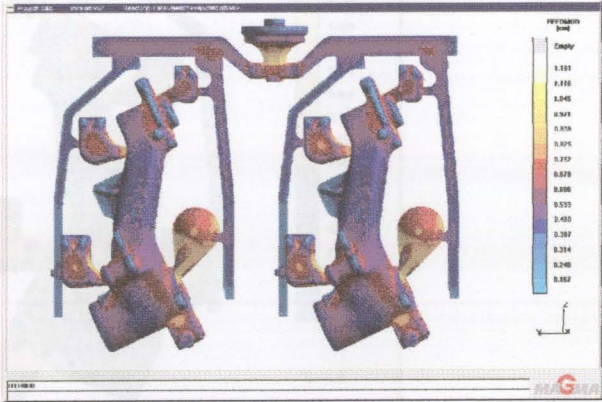


Fig. 2: Feedmod versão 2.



Fig. 3: Feedmod versão 3.

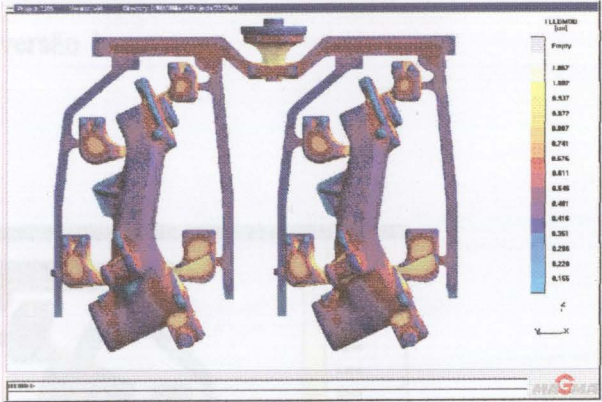


Fig. 4: Feedmod versão 4.

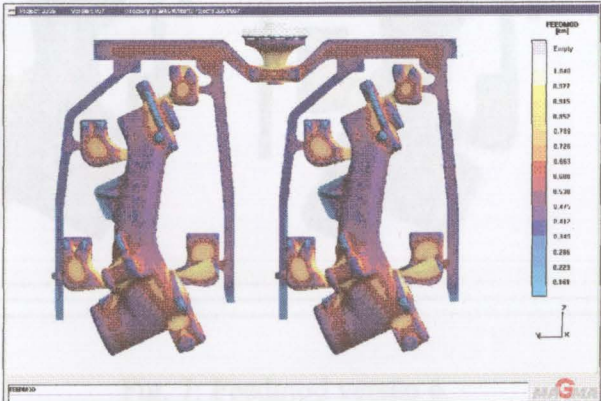


Fig. 5: Feedmod versão 7.

Feedmod (módulos) do braço de suspensão direito

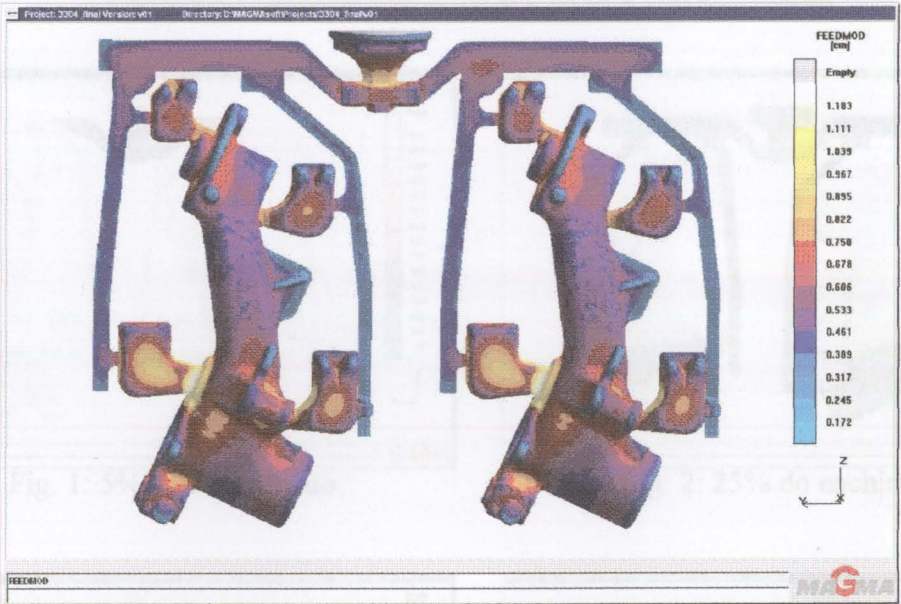


Fig. 6: Feedmod versão 1.

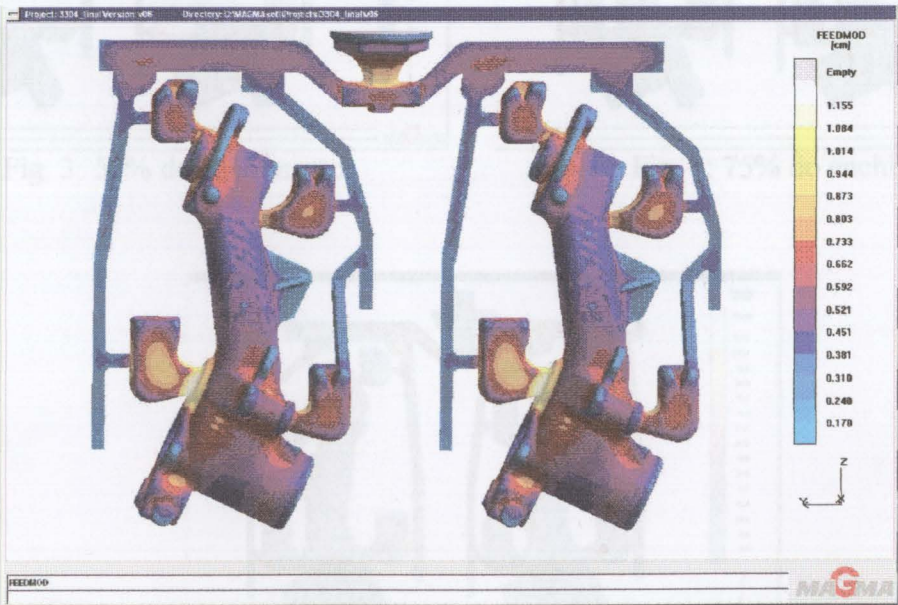


Fig. 7: Feedmod versão 6.

Anexo 4

Velocidade de enchimento do braço de suspensão esquerdo

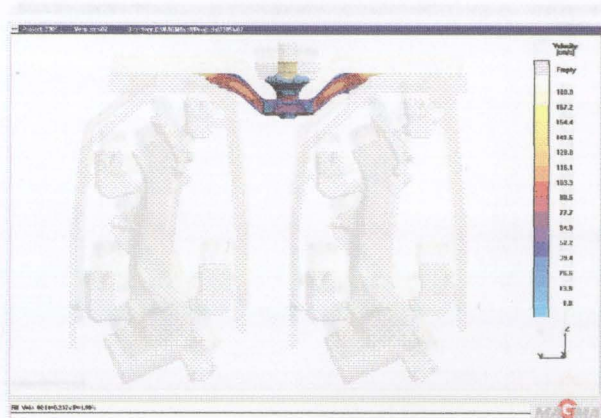


Fig. 1: 5% do enchimento.



Fig. 2: 25% do enchimento.

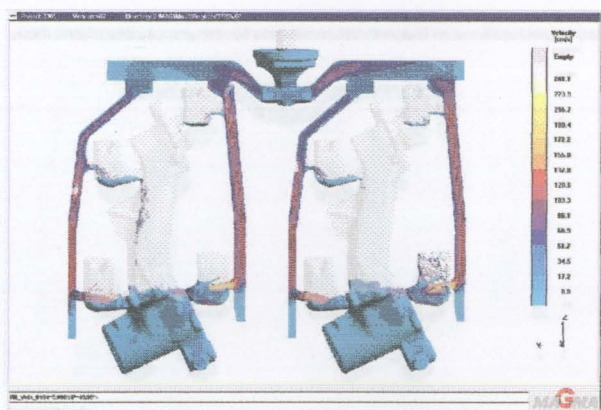


Fig. 3: 50% do enchimento.

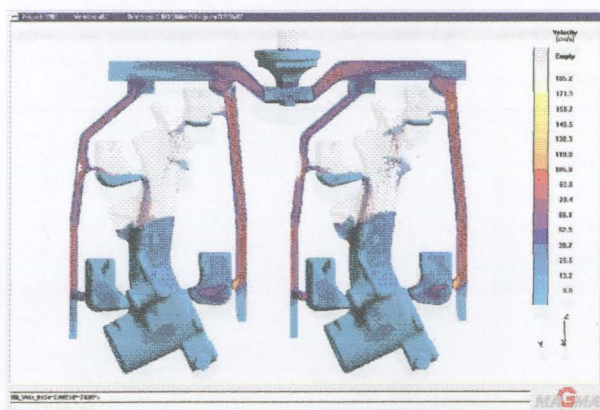


Fig. 4: 75% do enchimento.

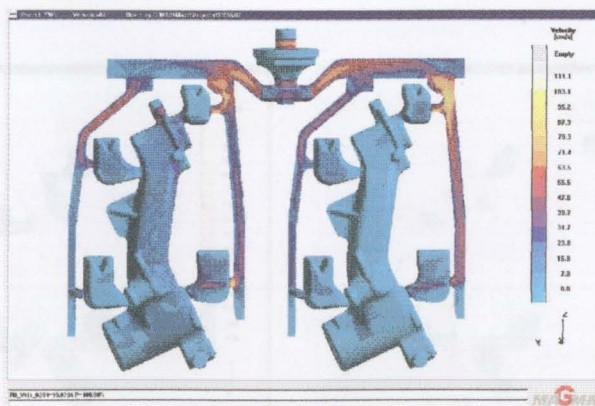


Fig. 5: 100% do enchimento.

Anexo 5

Fracção líquida do braço de suspensão esquerdo

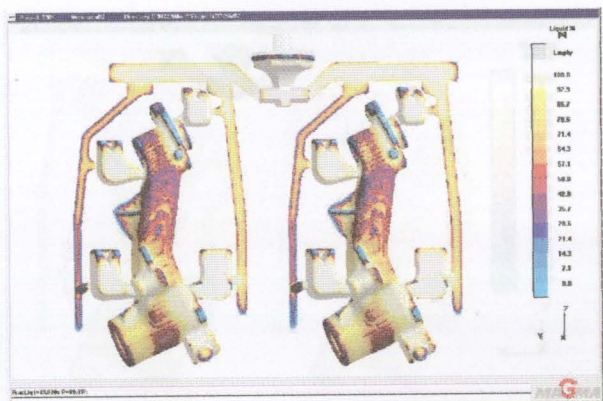


Fig. 1: 90% de fracção líquida.

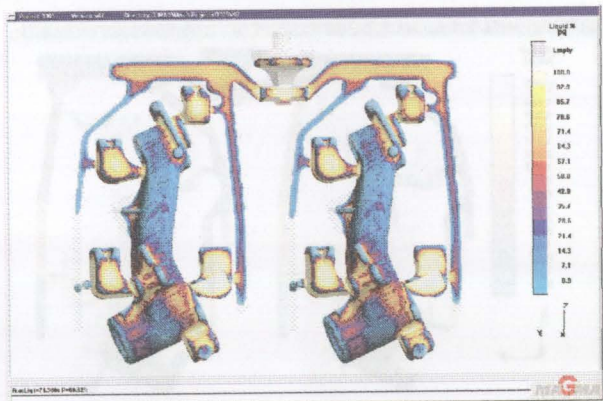


Fig. 2: 70% de fracção líquida.

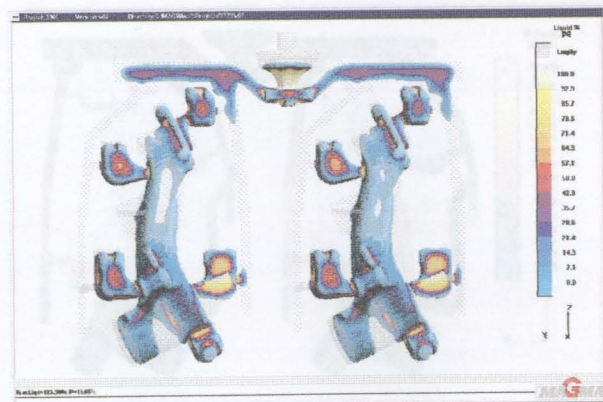


Fig. 3: 45% de fracção líquida.

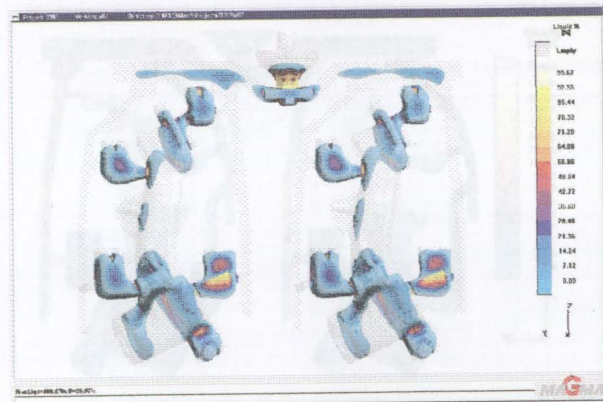


Fig. 4: 30% de fracção líquida.

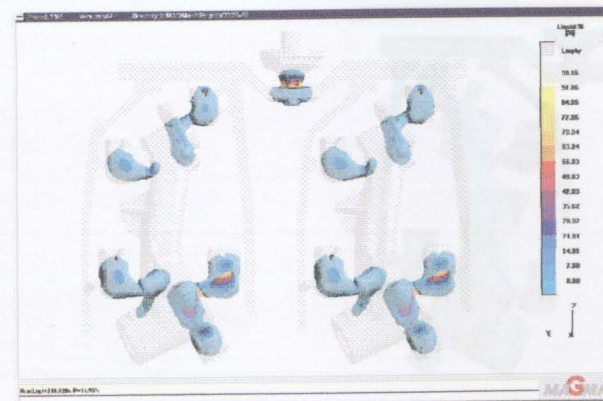


Fig. 5: 15% de fracção líquida.

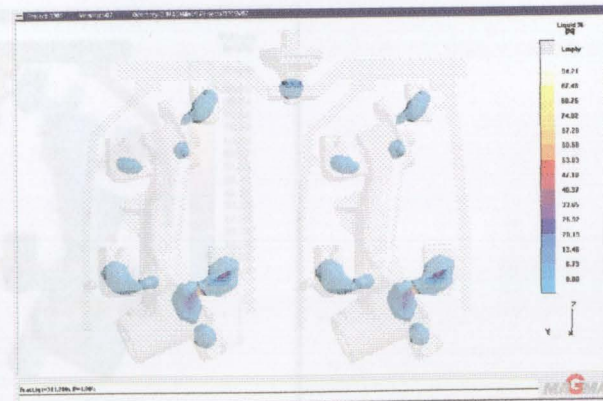


Fig. 6: 5% de fracção líquida.

Anexo 6

Velocidade de enchimento do braço de suspensão direito

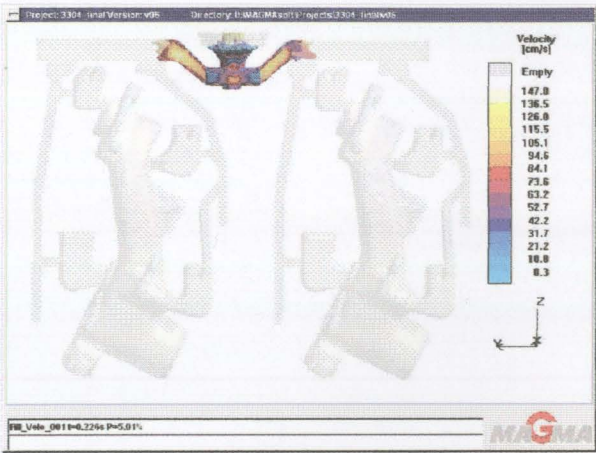


Fig. 1: 5% do enchimento.

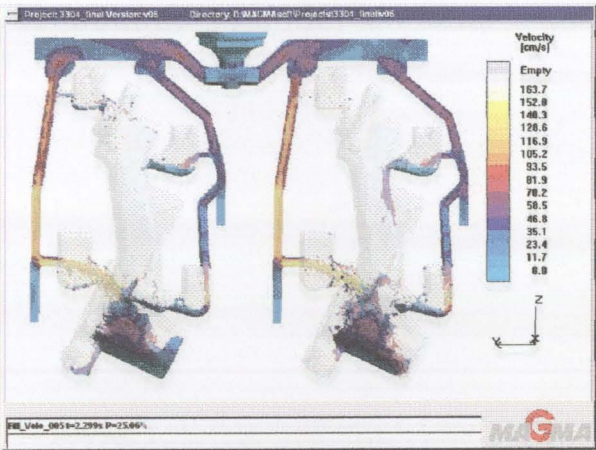


Fig. 2: 25% do enchimento.

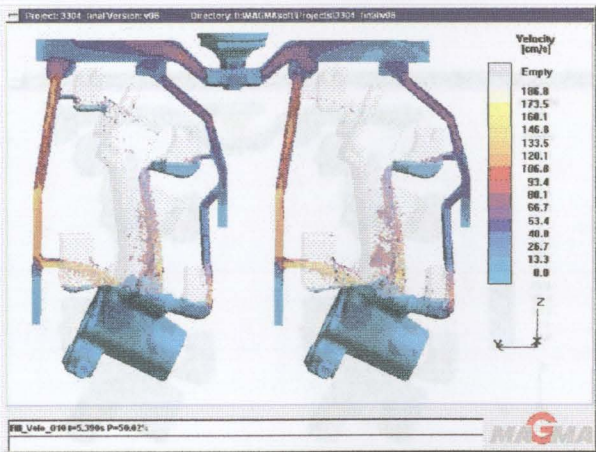


Fig. 3: 50% do enchimento.

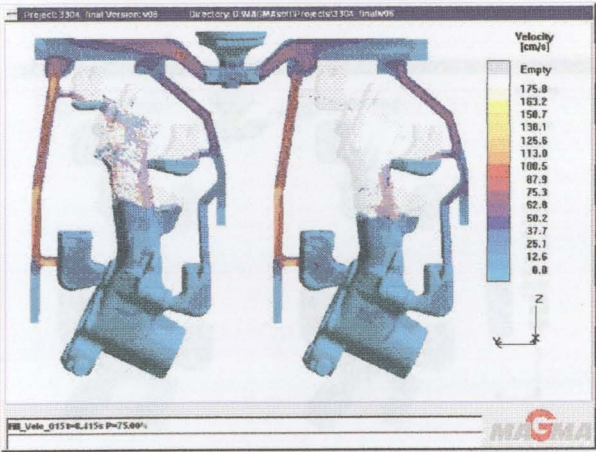


Fig. 4: 75% do enchimento.

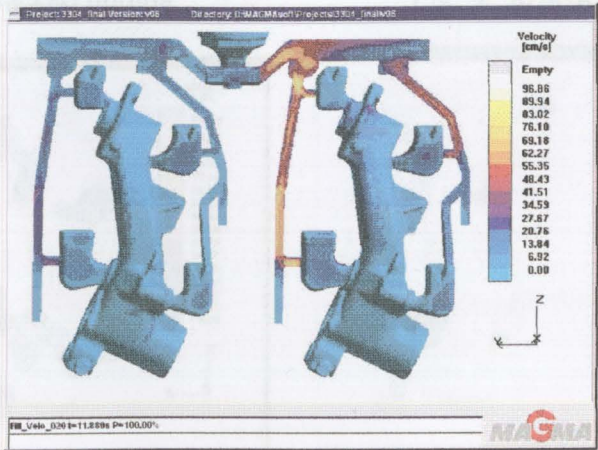


Fig. 5: 100% do enchimento.

Anexo 7

Fracção líquida do braço de suspensão direito

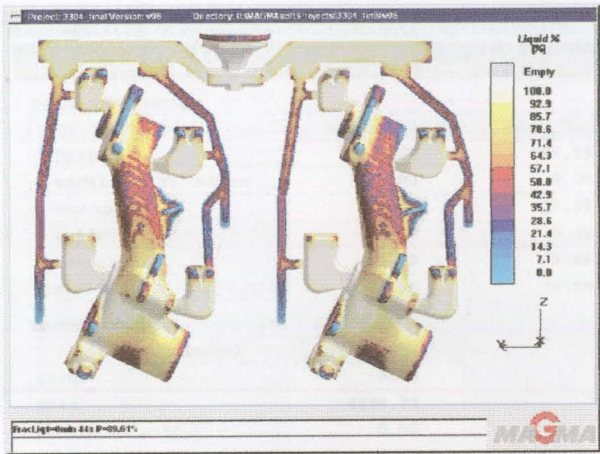


Fig. 1: 90% de fracção líquida.

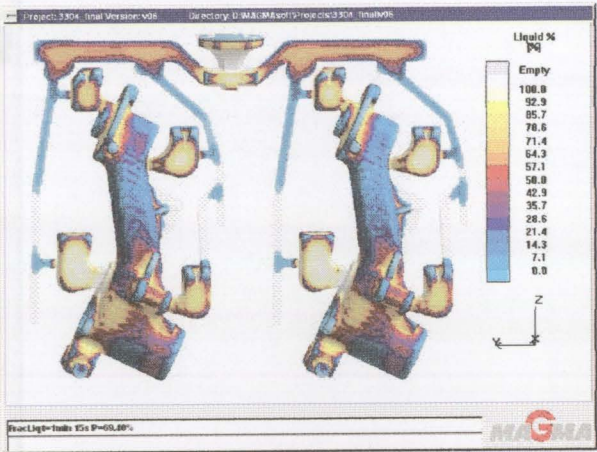


Fig. 2: 70% de fracção líquida.

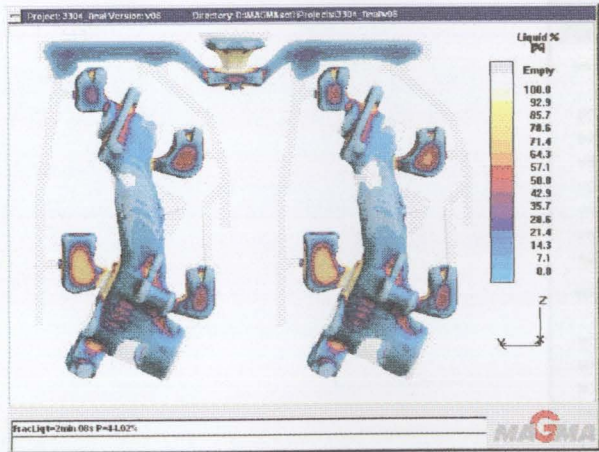


Fig. 3: 45% de fracção líquida.

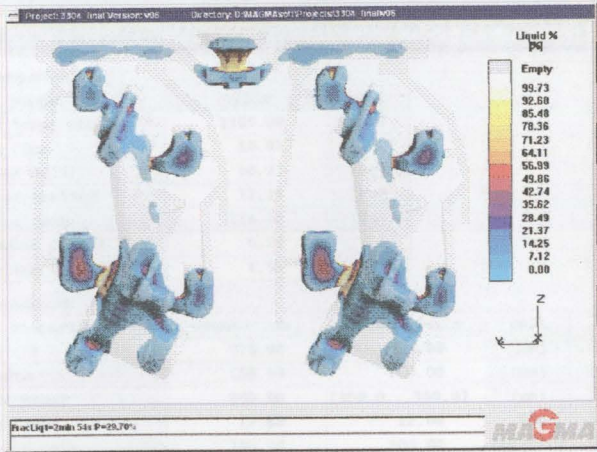


Fig. 4: 30% de fracção líquida.

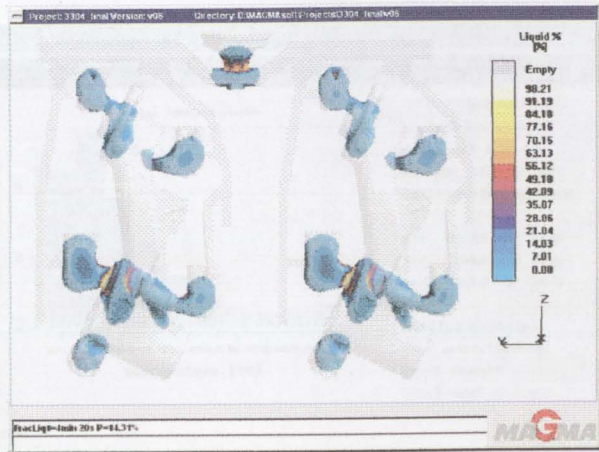


Fig. 5: 15% de fracção líquida.

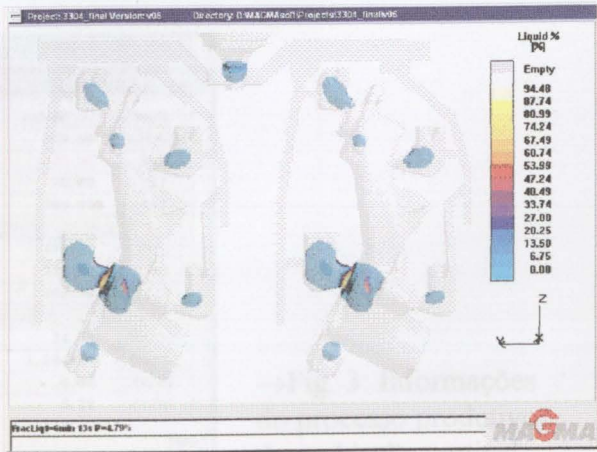
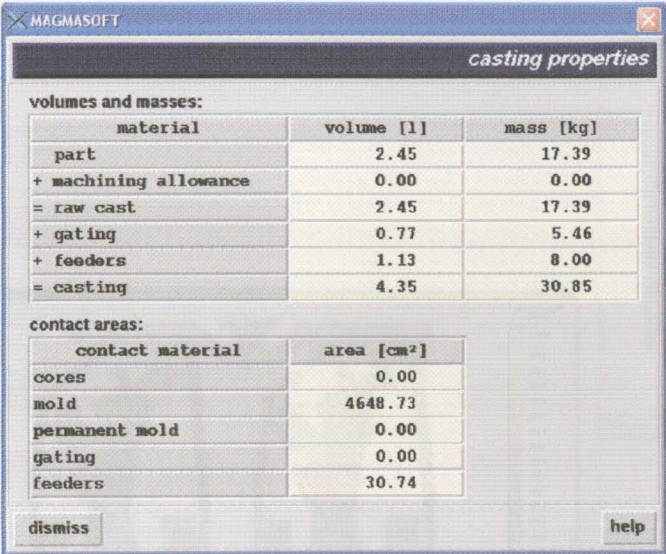


Fig. 6: 5% de fracção líquida.

Anexo 8

Quadros informativos do software MagmaSoft®



→Fig. 1: Propriedades do fundido.

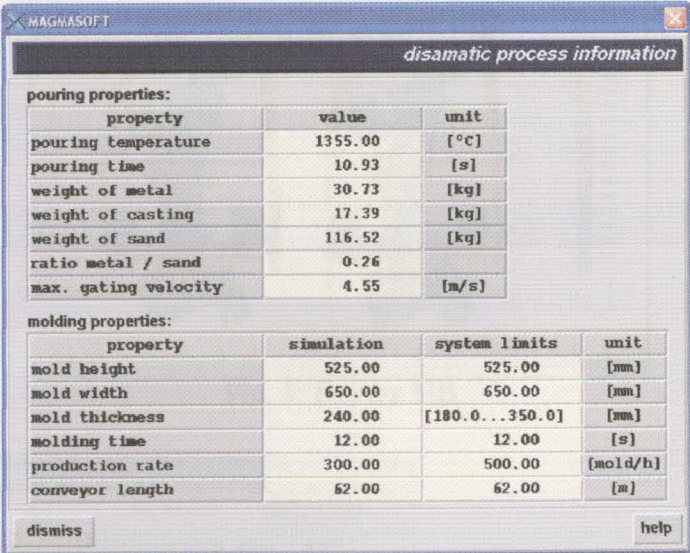
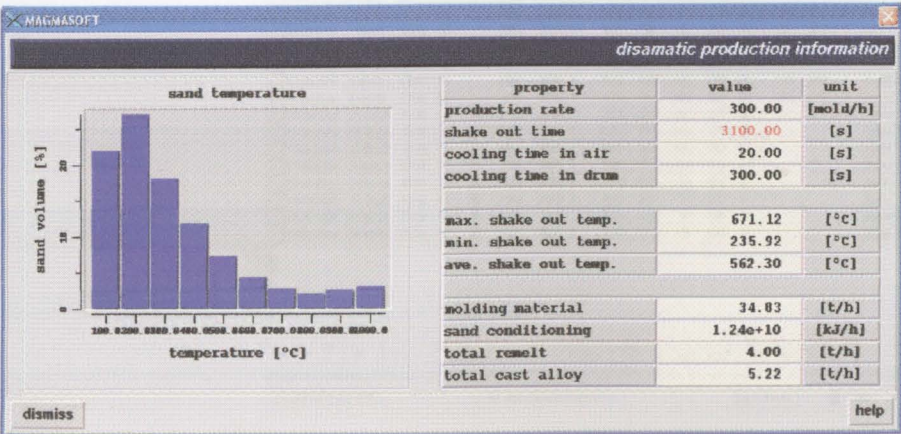


Fig. 2: Propriedades do processo Disa. ←



→Fig. 3: Informações do processo produtivo de moldação vertical.

Anexo 9

Resultados de MagmaSoft® e DataPro do braço de suspensão esquerdo.

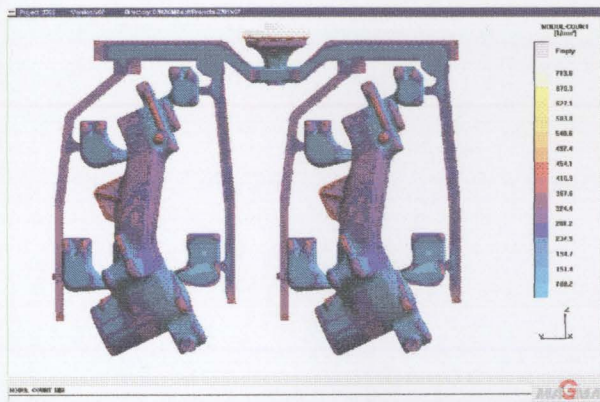


Fig. 2: Densidade de nódulos de grafite.

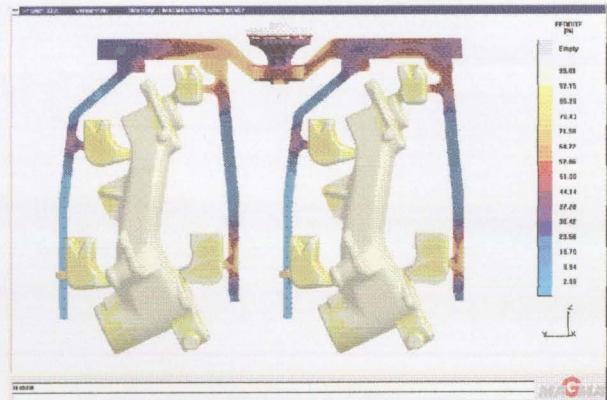


Fig. 1: Percentagem de ferrite

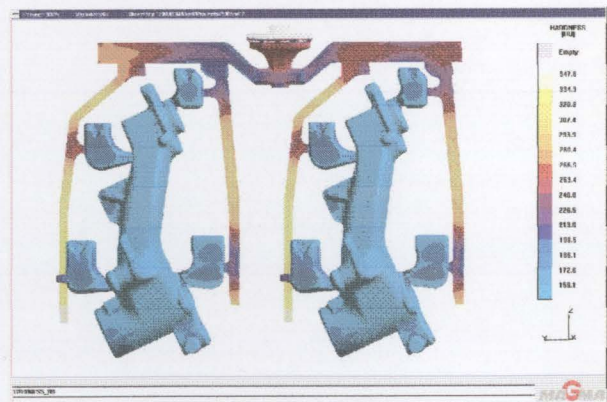


Fig. 3: Dureza HB.

DataPro

☐ MK4 ☐ C230 ☐ GF ☐ 2095 ☐ ASEA 1 ☐ ASEA 2 ☐ A ☐ B ☐ BBC ☐ 14 ☐ 15

Data Fund. até Dia até Ref. * Papa 3305

Comp. Química ☐ Tratamentos ☐ Prop. Mec. ☐ H.B. Matriz ☐ Temperaturas ☐ Sanidade ☐ Análise Térmica ☐ Arrias ☐ Moldação ☐

Tabelas 1 ☐ Tabelas 2 ☐ Gráficos ☐

18

Data	Hora	D.F.	Treat.	Tur.	Maq.	Ref.	Mol.	HB1	HB2	Nod	N°N	2Pec.	Nod	N°N	2Pec.	Dec.	Obs. HB
12-05-2004	7:55:46	E132	50		MK4	3305 1	174	176	100	250	5	100	250	5	Aprov.	Ensaio-inicio	
12-05-2004	7:55:48	E132	50		MK4	3305 1	174	176	100	250	7	100	275	5	Aprov.	Ensaio-inicio	
12-05-2004	7:55:53	E132	50		MK4	3305 1	177	174	100	250	5	100	250	5	Aprov.	Ensaio-fim	
12-05-2004	8:26:02	E132	50		MK4	3305 2	177	177	100	250	5	100	250	5	Aprov.	Ensaio-fim	
12-05-2004	8:26:05	E132	51		MK4	3305 1	172	170	100	250	5	100	250	7	Aprov.	Ensaio-inicio	
12-05-2004	8:26:05	E132	51		MK4	3305 1	172	170	100	250	5	100	275	5	Aprov.	Ensaio-inicio	
17-05-2004	21:01:00	E138	57	A	MK4	3305 1	171	177	100	250	2				Aprov.	Ensaio-inicio	
17-05-2004	21:01:01	E138	57	B	MK4	3305 1	171	177	100	275	2				Aprov.	Ensaio-inicio	
17-05-2004	21:01:02	E138	57	C	MK4	3305 1	171	177	100	250	7				Aprov.	Ensaio-inicio	
17-05-2004	21:01:03	E138	57	D	MK4	3305 1	171	177	100	275	2				Aprov.	Ensaio-inicio	
17-05-2004	21:01:04	E138	57	A	MK4	3305 2	169	175	95	250	2				Aprov.	Ensaio-fim	
17-05-2004	21:01:05	E138	57	B	MK4	3305 2	169	175	95	250	7				Aprov.	Ensaio-fim	
17-05-2004	21:01:06	E138	57	C	MK4	3305 2	169	175	95	250	7				Aprov.	Ensaio-fim	
17-05-2004	21:01:07	E138	57	D	MK4	3305 2	169	175	95	250	2				Aprov.	Ensaio-fim	

Maximo: 182

Minimo: 166

10

95

10

95

100

0

95

100

10

0

20 - Aplicações industriais

☐ Atualização Automática

Fig. 4: Dados do DataPro relativos a ensaios de propriedades mecânicas e matriz.



FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

BIBLIOTECA



0000090036