

## ESTUDO DE CASO: INJEÇÃO DE ALUMÍNIO EM UM MOLDE DE GEOMETRIA COMPLEXA

Gustavo Reis Soares, [gustrs@hotmail.com](mailto:gustrs@hotmail.com)

Lisiane Trevisan, [lisiane.trevisan@farroupilha.ifrs.edu.br](mailto:lisiane.trevisan@farroupilha.ifrs.edu.br)

Giácomo Gai Soares, [giacomo.soares@farroupilha.ifrs.edu.br](mailto:giacomo.soares@farroupilha.ifrs.edu.br)

<sup>1</sup>IFRS-Campus Farroupilha, R. São Vicente, 785 – Cinquentenário, Farroupilha – RS, 95174-274.

**Resumo:** *o presente estudo tem por objetivo apresentar simulações do processo de injeção de um produto fabricado em alumínio, por meio do software de simulação CAE Altair Inspirecast. Foram executadas simulações numéricas testando os padrões, as definições de Layout, os dimensionamentos e o impacto no resultado do preenchimento do molde da matriz de injeção. Serão apresentados quatro diferentes contextos com o objetivo de otimizar os processos para se atingir o melhor resultado possível.*

**Palavras-chave:** *simulação, injeção, alumínio.*

### 1. INTRODUÇÃO

De acordo com Totten (2003), o alumínio é o material não ferroso mais consumido no mundo, com a marca de, aproximadamente, 24 milhões de toneladas em média por ano. Cerca de 75% desse consumo é oriundo de minas e 25% de material reutilizado.

Além de ser um material com um ótimo custo-benefício, apresenta características como baixo ponto de fusão em comparação aos aços, densidade baixa e ótima resistência à corrosão. Por essas razões, esse material é largamente utilizado na indústria em itens que variam desde aviamentos para tecidos, ferramentas industriais até o armazenamento de comida, conforme Sully (1992).

Dentre as formas de processar o alumínio, há a injeção de materiais, que, de acordo com Andresen (2005), se trata de um processo envolvendo fenômenos térmicos, mecânicos e hidráulicos, em que o material é injetado a uma temperatura de, aproximadamente, 660°C, em uma cavidade com a geometria desejada, de forma a preencher totalmente o interstício.

O processo de injeção de alumínio, conforme Andresen (2005), é amplamente utilizado na indústria. Dentre as aplicações desse processo, por meio de matrizes e injetoras, se atinge um nível de produtividade elevado em peças fabricadas em larga escala. Apresentam bom acabamento superficial, padronização no processo e uma taxa de repetibilidade alta.

Considerando esses aspectos, apresenta-se, neste trabalho, um *software* de simulação do tipo *CAE* (*Computer Aided Engineering* – Engenharia Auxiliada por Computador), juntamente a uma avaliação destinada a demonstrar uma configuração eficaz de molde para injeção de alumínio, com foco em qualidade, processo e produtividade.

Os *softwares* do tipo *CAE* se destacam pela redução dos custos com matéria prima, processos, ferramentas, apresentam possíveis melhorias não previstas no modelamento de determinados componentes e, com isso, podem justificar ou condenar projetos, sem prejuízos significativos às empresas.

Para a avaliação apresentada neste trabalho, foram executadas simulações com enfoque na redução de bolhas de ar presente no processo, a melhor posição para as peças de interesse, o impacto das bolsas nos moldes e uma busca pelo preenchimento uniforme das cavidades, visando a menor variação possível na adição do material.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Conforme Tâmega (2017), a fundição de metais e ligas metálicas trata-se de um processo antigo. A humanidade, durante muito tempo, utilizou vários materiais para atender necessidades de ferramentas, utensílios para o dia a dia e artefatos. Posteriormente, descobriu-se o uso de certos metais que viabilizaram ao homem a fabricação de itens metálicos de forma funcional e prática. Entretanto, inicialmente, a fabricação era baseada, apenas, na alteração da forma desses materiais obtidos, em processos a frio ou com aquecimento, seguido de golpes com variações de martelos para promover deformações ao material. Este, ainda, não se tratava de um processo de fundição, pois os metais não eram submetidos a temperaturas elevadas o suficiente para serem considerados fundidos. A fundição e as ligas metálicas passaram a ser conhecidas e executadas por volta de 4000 a.C.

Dentre as formas de se executar a forja, conforme Tâmega (2017), é possível citar os seguintes processos:

- forjamento a martelo: um dos métodos mais tradicionais e antigos de forja. Geralmente, esse processo consiste em uma base de apoio (geralmente uma bigorna), a qual atuará como matriz inferior e um elemento golpeador (martelo mecânico, sistemas hidráulicos e similares). Atualmente, esse processo é utilizado em peças de grande porte, como anéis, eixos e rolos;
- forjamento em matriz fechada (matriz impressionada): o fundamento desse processo é baseado em um molde com o formato final da peça desejada. O material é inserido a alta pressão, fluindo até preencher as cavidades das matrizes. Esse processo é utilizado, frequentemente, na fabricação de engrenagens, peças complexas, virabrequins e bielas;
- forjamento em matriz aberta: trata-se de um processo em que, como o nome sugere, as câmaras não são totalmente fechadas. O material é adicionado em uma matriz superior e é conformado usando uma matriz inferior côncava ou plana. A aplicação desse processo é para geometrias simples e peças com alta produtividade, como blocos, barras e discos;
- forjamento por extrusão: nesse processo o material é pressionado contra um perfil de uma matriz de seção transversal pré-determinada. O forjamento por extrusão é muito utilizado na produção de perfis, tubos e geometrias complexas;
- forjamento a quente e a frio: o forjamento a quente é realizado em temperaturas elevadas, geralmente acima da temperatura em que ocorre a recristalização do material, possibilitando, dessa forma, uma deformação plástica maior. Por outro lado, o forjamento a frio é executado na temperatura ambiente ou inferior, resultando numa deformação menor e um aumento na resistência do material.

Dentre os processos, segundo Totten (2003), o alumínio é frequentemente utilizado em forjas de matriz fechada, forjas de matriz aberta e forja por extrusão. Devido ao fato de possuir baixo ponto de fusão em comparação a outros metais, se torna um material de fácil manipulação e conformação.

De acordo com Totten (2003), o alumínio pode ser categorizado conforme as ligas abaixo:

- 1xx.x: referente às composições puras;
- 2xx.x: ligas contendo cobre como seu principal elemento de liga;
- 3xx.x: ligas de alumínio-silício, contendo magnésio ou cobre;
- 4xx.x: ligas binárias que também contém magnésio e cobre;
- 5xx.x: ligas contendo zinco como principal elemento de liga;
- 6xx.x: não utilizado;
- 7xx.x: ligas de alumínio contendo zinco como principal elemento de liga;
- 8xx.x: ligas de alumínio contendo estanho como principal liga metálica;
- 9xx.x: não utilizado.

Conforme Totten (2003), a liga mais popular é 3xx.x., devido ao aumento de fluidez por consequência da adição de silício e ao tempo de enrijecimento atingido pela adição de cobre ou magnésio. Peças forjadas feitas das séries 2xx.x, 3xx.x e 7xx.x podem ser submetidas a tratamentos térmicos que as outras não suportam.

Para a aplicação desse estudo, considerou-se uma liga de alumínio 7075. De acordo com o Totten (2003), é uma liga amplamente utilizada na indústria, com aplicações que variam desde a área automotiva, militar, aeronáutica, indústria alimentícia, indústria têxtil, desenvolvimento de ferramentas e, inclusive, na área aeroespacial. Sua composição química consiste em, aproximadamente, 88% de Al (alumínio), 6% Zn (zinco), 2,5% Mg (magnésio) e 2% de Cu (cobre). Quanto às propriedades físicas desse material, destaca-se a alta resistência à fadiga em comparação a outras ligas, fácil manuseio, apresenta uma grande força e alta durabilidade. Em contrapartida, não apresenta um elevado potencial anticorrosão. Sobre o processo de injeção, conforme descrito por Totten (2003), é um dos processos mais populares do mundo. Apresenta um bom controle quanto à geometria da peça desejada, alta produtividade em comparação a outros processos de injeção e pode apresentar um ótimo rendimento quando projetado com foco em otimização de refugo/peça. Esse processo envolve um sistema composto por um molde, geralmente bipartido, cujas partes são pressionadas uma contra a outra até a conclusão da injeção. O material utilizado na fabricação da matriz possui ponto de fusão significativamente mais elevado do que o do material injetado.

Para Totten (2003), também é importante enfatizar sobre o caminho do alumínio no processo de injeção. Primeiramente o material é disposto em lingotes, que são adicionados a uma câmara aquecida, a qual disponibilizará o fluido para o processo de adição de alumínio ao circuito. Uma vez líquido, o alumínio é armazenado e ficará à disposição para a câmara de pressão, e esta, por sua vez, será responsável por insuflar a câmara com a devida velocidade e volume.

De acordo com Andresen (2005), para um projeto de matriz adequado, alguns pontos devem ser analisados. São eles:

- o processo de injeção na matriz se trata de um processo com escoamento turbulento, uma vez que o mesmo atinge altas velocidades;
- o material injetado no interior da matriz se comportará como um fluido hidráulico, uma vez que a máquina injetora aqueça e mantenha o mesmo em sua temperatura de fusão, até que preencha, completamente, a matriz;
- o fluido escoará pelo caminho que apresentar menor resistência.

Os fenômenos que ocorrem durante o processo de injeção podem ser descritos, de acordo com Oliveira e Galhardi (2016), como sistemas térmicos e hidráulicos. Além disso, ocorrem esforços mecânicos nesse processo, porém, para este trabalho em questão, não será abordada essa variável.

O *software* utilizado neste trabalho, de acordo com o guia para usuário, Altair (2022), utiliza os conceitos de análise de elementos finitos.

A análise por elementos finitos se trata de um método numérico para a solução de problemas físicos, por meio da discretização de um domínio contínuo, utilizada na indústria como forma de simulação. Os dados obtidos por meio dessas análises apresentam potencial para um embasamento assertivo quanto às tomadas de decisões relativas a projetos e processos. Ressalta-se que, quanto mais próximo do processo real forem inseridos os dados de entrada, mais preciso serão as avaliações resultantes, de acordo com Ravi e Srinivasan (1996).

Quanto às etapas do processo de injeção de alumínio, conforme Ravi e Srinivasan (1996), executa-se, em primeiro lugar, a modelagem das matrizes e do galho resultante em um *software* de CAD. Em seguida, esse modelo é inserido no programa responsável pela geração da malha. São definidos os parâmetros do material com base em suas propriedades térmicas e físicas, bem como os dados das condições de fronteira, como coeficiente de transferência de calor e arrefecedores. Por fim, executa-se a simulação. Assim, é possível verificar informações como porosidade, preenchimento de molde, tempo de solidificação, apresentados por meio de animações e discriminados com base em escalas de cores.

Além dos parâmetros mencionados anteriormente, a geometria do canal e suas cavidades também são pontos a serem considerados no dimensionamento para um molde de injeção:

- canal de distribuição: caminho do fluido até as os canais de ataque;
- canal de ataque: câmara posicionada antes da cavidade referente ao produto, a qual impacta diretamente na velocidade de preenchimento do molde do produto em questão;
- bolsas: responsáveis por armazenar gases e outros materiais presentes na câmara, os quais são empurrados em direção às mesmas à medida em que o fluido preenche as cavidades de interesse;
- bolacha: se refere à câmara localizada antes das cavidades dos moldes. Armazena o fluido a ser injetado na matriz;
- vents: trata-se de saídas de ar. Em geral são localizadas após as bolsas. Ajudam na redução das bolsas de ar geradas no processo de injeção.

Toda matriz deve ser desenvolvida também visando reduzir perdas de calor no processo, alta turbulência e redução da vida útil da matriz por erosão. Os canais devem ser projetados de forma a respeitar fundamentos hidráulicos e térmicos. Em geral os canais possuem cantos arredondados, com o objetivo de minimizar os itens críticos mencionados anteriormente. Dentre os parâmetros geométricos descritos, há, no canal de ataque, uma região de impacto direto chamada “gate”. Em conjunto com o canal de ataque, esse ponto é determinante para a ocorrência de turbulência e para o desgaste da matriz por erosão. De acordo com Andresen (2005), alguns fatores sofrem grande influência em função do “gate”. Na Tabela 1, apresentam-se os parâmetros influenciados pela variação dessa área.

**Tabela 1. Características que estão em função da área do gate (Andresen, 2005)**

Área pequena do <i>gate</i>	Característica do processo influenciada	Área grande do <i>gate</i>
Menor probabilidade	Porosidade por gás	Maior probabilidade
Melhor	Acabamento superficial	Pior
Pior	Desgaste da matriz	Melhor
Melhor	Propriedades mecânicas peça	Pior

Dentre os canais em que o fluido passa, o “gate” é o menor de todo o sistema. Com isso é possível dimensionar o tempo de enchimento com maior eficiência, uma vez que se tenha a velocidade de entrada do fluido Sully (1992).

### 3. Metodologia

Para o direcionamento das análises executadas, consideraram-se os seguintes critérios de avaliação, que, de acordo com Fuoco (2006), apresentam resultados adequados no processo de injeção:

1. rendimento metálico superior a 30%;
2. baixa incidência de porosidades gerada por bolhas de ar;
3. baixa presença de porosidades por contração volumétrica na peça;
4. baixa presença de turbulência no escoamento;
5. simetria de preenchimento das cavidades;
6. velocidade inferior a 60 m/s, com o objetivo de reduzir a incidência de turbulência;
7. tempo de solidificação do gate, garantindo que este não solidifique antes do que as ramificações a serem alimentadas;
8. baixa probabilidade de presença de junta fria.

Para o estudo deste trabalho, foi criado um modelo de chassi de carro de brinquedo, semelhante a outros modelos comercializados, conforme figura 3.1. A peça avaliada se trata de um chassi de carro de brinquedo, desenvolvido, exclusivamente, para essa avaliação, conforme a Figura 3.2. A matriz em questão não foi fabricada e, como citado anteriormente, a finalidade é mostrar, pelo menos, uma configuração validada pela simulação, em que se tenha como resultado peças injetadas que atendam os 8 critérios citados anteriormente.



Figura 3.1 – carro em miniatura, Mattel (2025)

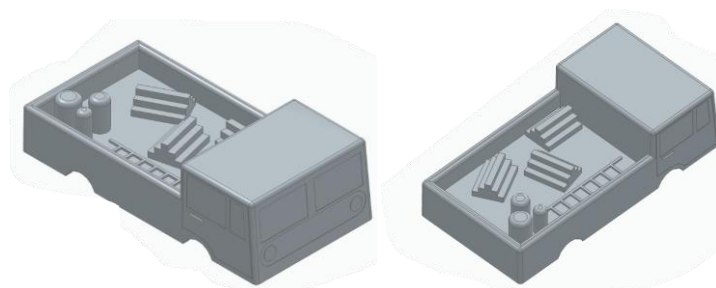
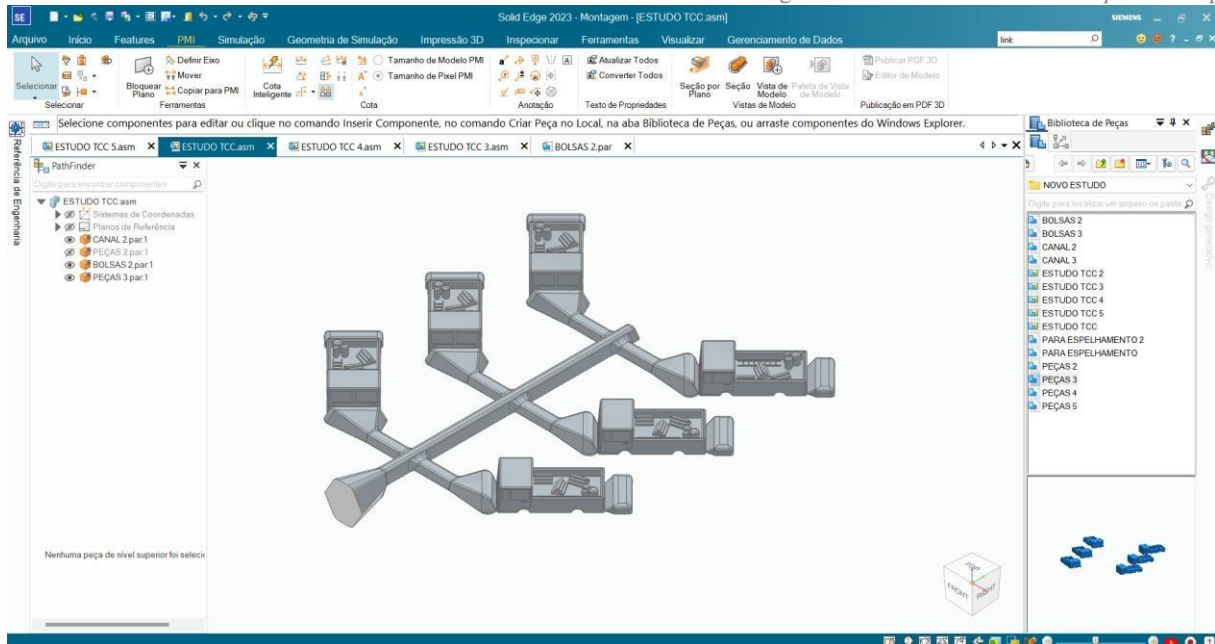


Figura 3.2 – carroceria em miniatura

Para essa otimização, será utilizado um *software* CAE, chamado Altair-Inspirecast®, com metodologia de elementos finitos para discriminar o que está acontecendo em cada cenário descrito neste trabalho.

Como mencionado anteriormente, esse modelo foi desenvolvido, exclusivamente, para este estudo. A ideia foi gerar um item de média complexidade para injeção, com arestas de difícil acesso, faces aleatórias e áreas estreitas. O objetivo maior desse tipo de produto é, majoritariamente, estético. Ainda assim, não foram negligenciados outros parâmetros de injeção como bom preenchimento e qualidade, a fim de fornecer um bem confiável.

Para executar a análise, em primeiro lugar, modelaram-se o canal, as peças e as bolsas no *software* de CAD Solid EdgeSiemens®, conforme a figura 3.3. Esse tipo de ferramenta, além de apresentar parâmetros dimensionais como altura, comprimento e largura, também fornece peso, centro de gravidade, área superficial, entre outros parâmetros.

Figura 3.3 – *Software* CAD Solid Edge

Para a análise de elementos finitos, utilizou-se o *software* de CAE Altair – Inspirecast, conforme apresentado na figura 3.4. Por meio dele, é possível executar análises voltadas para processos de fundição envolvendo gravidade, alta pressão e baixa pressão.

Figura 3.4 – *Software* CAE Altair – Inspire Cast

O direcionamento dessas análises ocorreu por um método iterativo, com o objetivo de sempre superar a análise anterior, até chegar em um resultado validado pela simulação, sempre aproveitando ao máximo as condições já validadas a cada etapa. Uma vez que os pontos citados anteriormente sejam atendidos e apresentados nas simulações, a matriz se encontra em condições de ser fabricada e submetida a testes.

Utilizou-se o mesmo canal para as 3 primeiras simulações, conforme a figura 3.5.

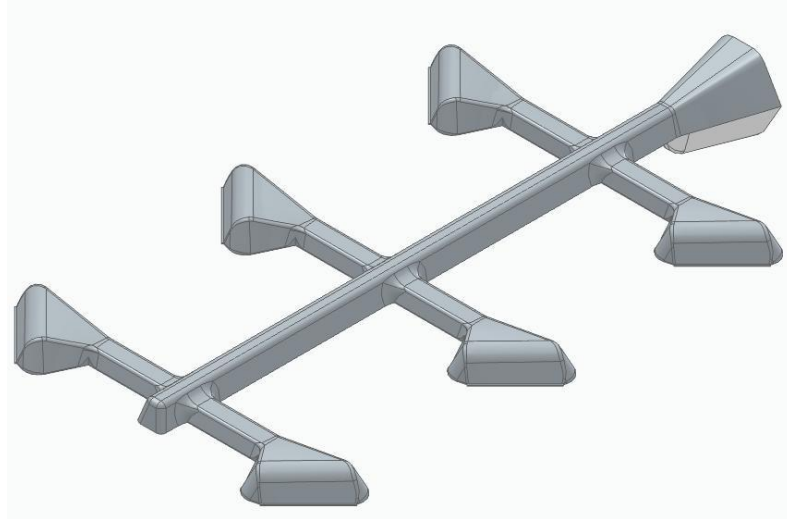


Figura 3.5 – Canal de alimentação utilizado nas análises

Destaca-se o fluxo seguido por meio do canal, conforme a figura 3.6.

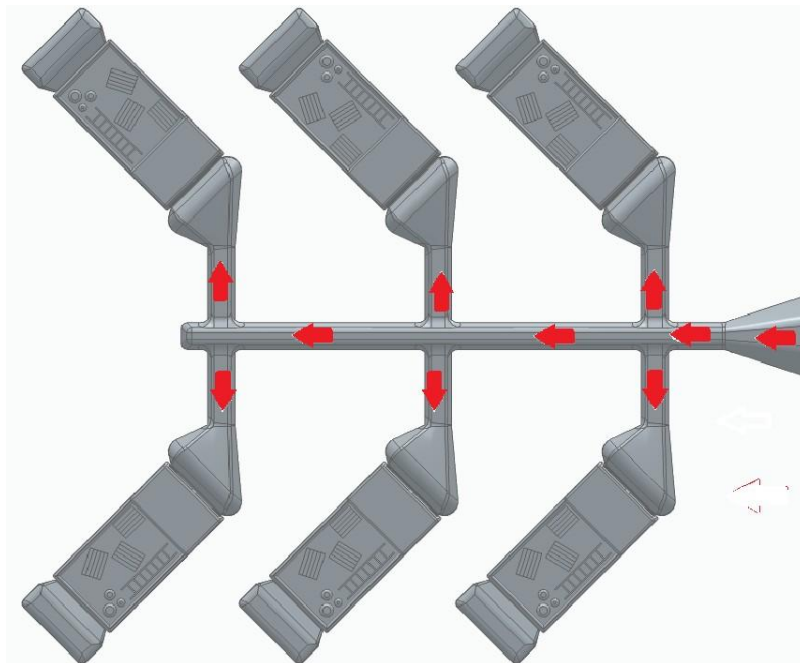


Figura 3.6 – fluxo do canal de alimentação.

Para a primeira condição, será avaliado o volume das peças proporcionalmente com o canal. Considerando 6 peças, totalizando um volume de, aproximadamente,  $40450 \text{ mm}^3$ , um canal de  $52420 \text{ mm}^3$  e bolsas que, somadas, totalizam cerca de  $12000 \text{ mm}^3$ . Somando-se os volumes totais do material que será convertido em peça e dividindo-se pelo volume do material que não será aproveitado como peça, obtém-se um rendimento em torno de 60%, valor superior aos 30% exigidos.

De acordo com o Totten (2003), a velocidade de entrada para a injeção de alumínio pode ficar entre 30 e 36 m/s por meio de um diâmetro de 6 mm. Os gates aplicados nesse projeto possuem uma largura de 26,4 mm, uma altura de 0,3 mm e, por consequência, uma área por gate de  $7,92 \text{ mm}^2$ . A área do *gate* corresponde à menor entre as seções do canal de alimentação. No cenário menos favorável — caracterizado por alta turbulência e baixa produtividade, com apenas uma peça sendo injetada —, obtém-se uma velocidade de 107 m/s. Esse valor excede o limite definido na condição 6. Portanto, é necessário injetar, no mínimo, duas peças para reduzir a velocidade no *gate* para um valor inferior a 60 m/s, resultando em uma velocidade aproximada de 53,5 m/s.

Uma vez com essas considerações definidas, se insere no *software* CAD o modelo desenvolvido no *software* CAE. Para tal, o modelo foi salvo na extensão *parasolid (x\_t)*. Com isso, o *software* solicitará os parâmetros para injeção do material.

O primeiro parâmetro solicitado é o tipo de material. Para a aplicação desse estudo, considerou-se uma liga de alumínio 7075. Na figura 3.7, apresentam-se os valores de condutividade térmica, variando conforme a temperatura aumenta. Tais parâmetros já estavam disponíveis no *software*.

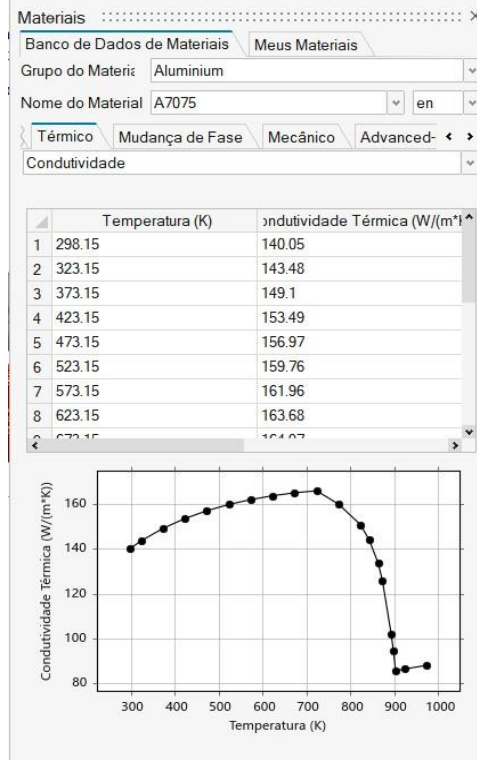


Figura 3.7 – parâmetros de condutividade térmica do material alumínio A7075 em função da temperatura

Na Figura 3.8, apresentam-se as tensões limite de escoamento em função da temperatura. Com base nesses dados, observa-se que, à medida que a temperatura aumenta, a tensão de escoamento diminui, o que facilita a condução do material pelos canais.

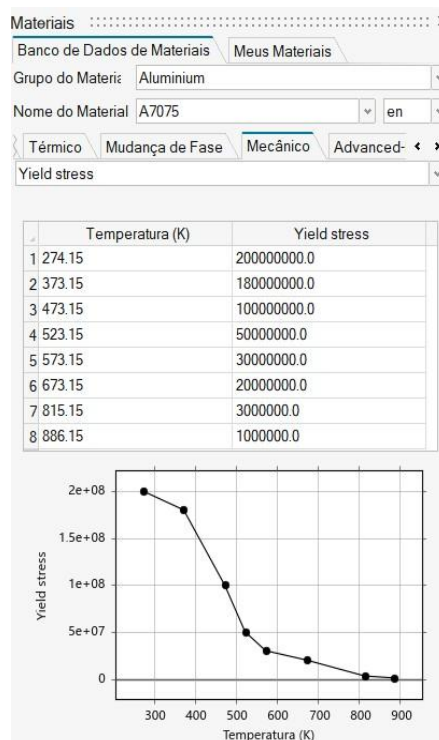


Figura 3.8 – parâmetros de tensão de limite de escoamento do material alumínio A7075 em função da temperatura

Na figura 3.9, apresenta-se o coeficiente de Poisson. Esse parâmetro é responsável por avaliar a deformação transversal de um elemento infinitesimal. Quanto maior a temperatura, maior o coeficiente.

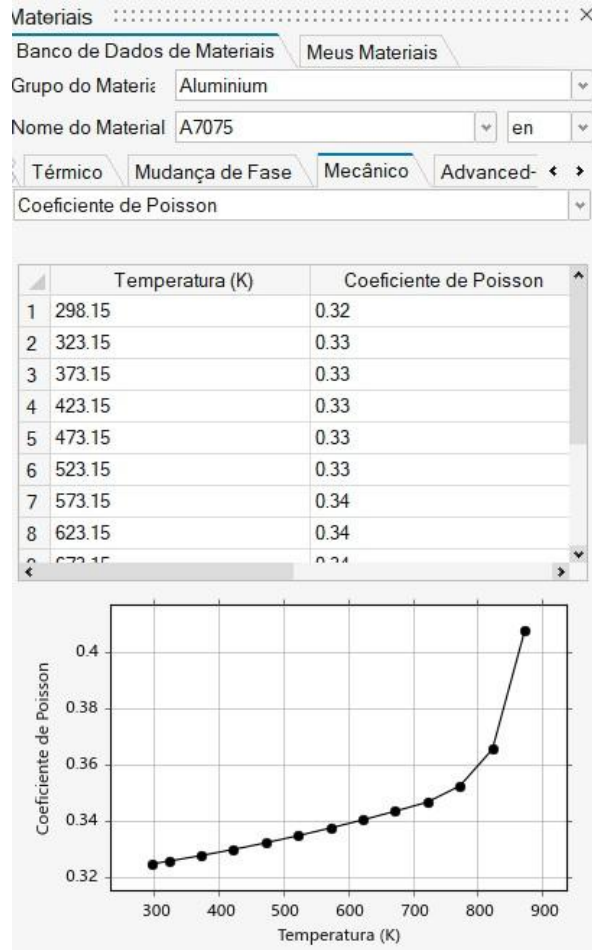


Figura 3.9 – parâmetro de coeficiente de Poisson do material alumínio A7075

De acordo com Totten (2003), é indicada, para o alumínio, uma velocidade para fluxo do fluido entre 30 e 35m/s. Na figura 3.10, demonstra-se o campo referente ao tempo de enchimento e a velocidade.



Figura 3.10 – velocidade inicial e tempo de preenchimento utilizados na simulação

Na figura 3.11, apresentam-se os parâmetros de espessura média, as análises que se deseja executar, a precisão da malha, a temperatura de abertura do molde e a temperatura para análise.

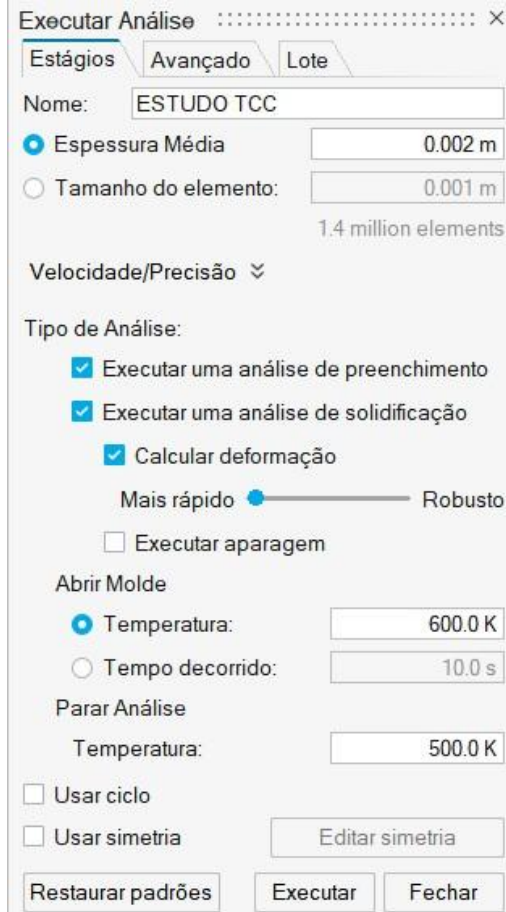


Figura 3.11 – Parâmetros de análise da malha.

#### 4. Resultados e discussões

Como primeira etapa para este projeto, conforme apresentado na figura 4.1, foi testado um galho assimétrico. O objetivo foi comparar as duas posições e entender qual apresentaria o resultado mais adequado.

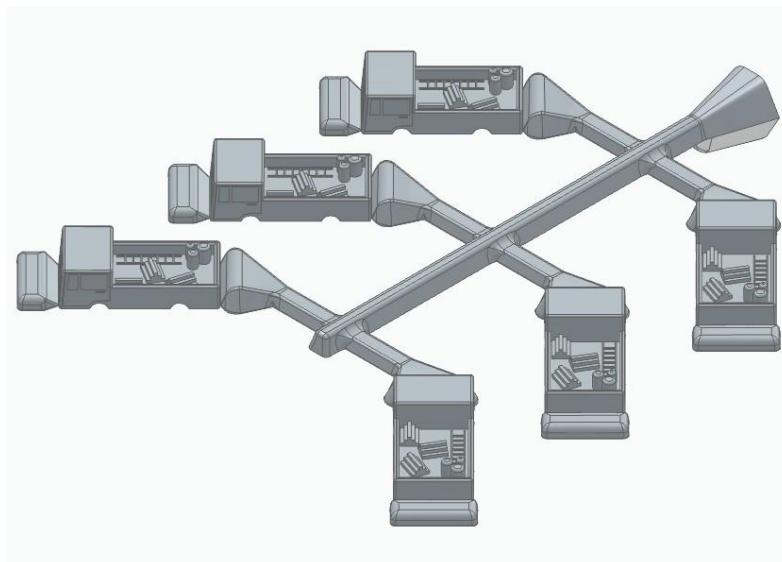


Figura 4.1 – primeiro *Layout* de galho testado

O objetivo dessa primeira configuração foi avaliar o comportamento de preenchimento do fluido. O primeiro parâmetro avaliado foi o tempo de preenchimento, conforme a figura 4.2. Quanto mais uniforme for o preenchimento das câmaras, maior será a qualidade da injeção.

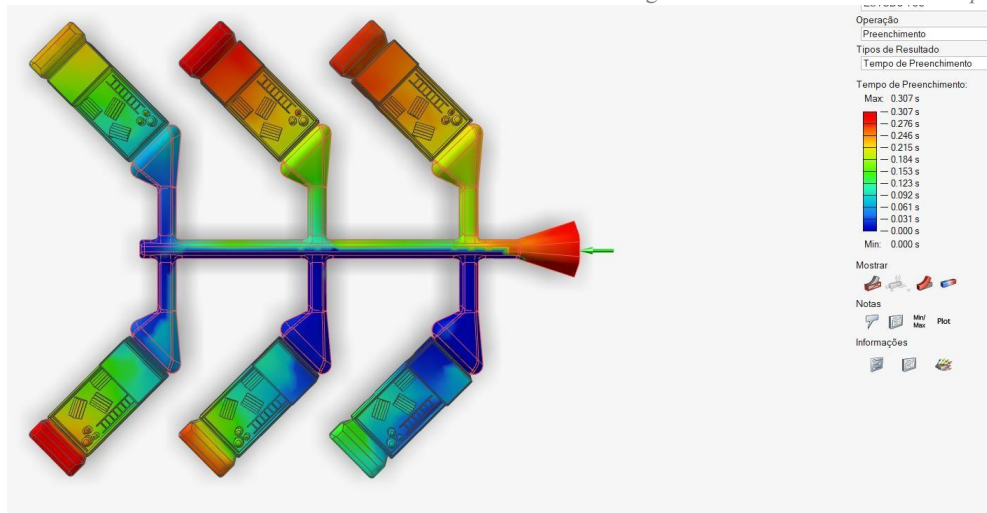


Figura 4.2 – tempo de preenchimento de câmara

Foi possível avaliar uma diferença de tempo entre as peças acima da entrada do canal e as abaixo. Por apresentar um tempo maior de preenchimento nas peças superiores, é possível afirmar que há menos resistência de preenchimento das câmaras inferiores.

O segundo parâmetro avaliado foi o desgaste na matriz, causado durante o processo de injeção, por consequência da erosão, conforme a figura 4.3. Quanto maior é o valor na escala, maior é o dano causado na cavidade da matriz. O canal inferior direito corresponde ao local de maior dano causado.

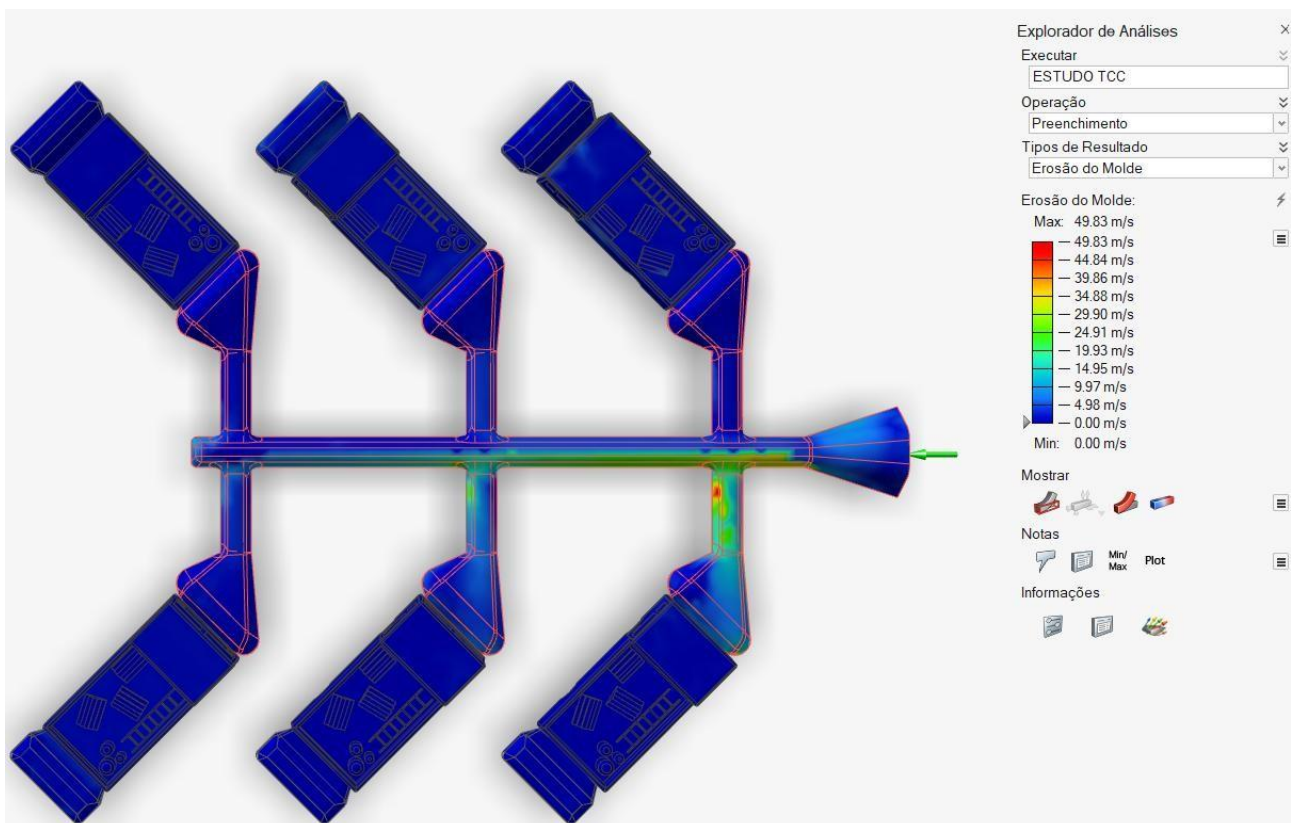


Figura 4.3 – erosão de câmara

De acordo com a escala de erosão da imagem, a câmara direita inferior apresentou maior dano em comparação às outras.

O terceiro parâmetro avaliado foi a quantidade de bolhas geradas no interior da câmara ao longo do processo de injeção. Na figura 4.4, as bolsas executaram suas funções e armazenaram o ar excedente. Nenhuma bolha foi gerada em algum ponto crítico.

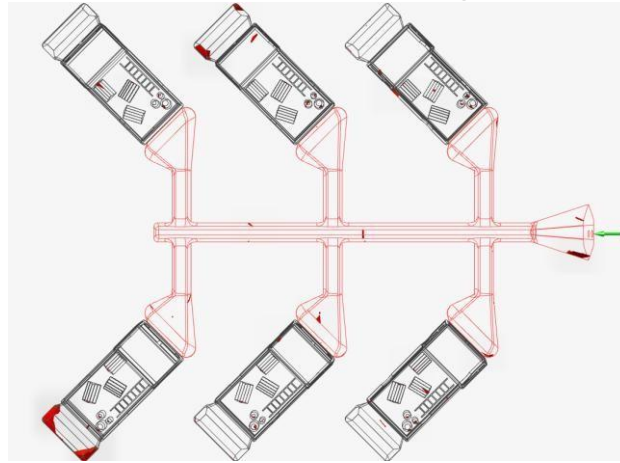


Figura 4.4 – bolhas de ar

Ainda sobre o preenchimento das câmaras, as cavidades inferiores mostraram um gradiente menor do que os superiores. Quanto à erosão da matriz, o primeiro produto inferior foi o que apresentou maior dano e, quanto às bolsas de ar, as maiores bolhas localizam-se nos itens inferiores.

Com base nas informações obtidas nas primeiras avaliações, não foram apresentados resultados adequados. Aparentemente, o posicionamento das peças, conforme a figura 4.5, representa a configuração adequada baseada nos resultados obtidos.

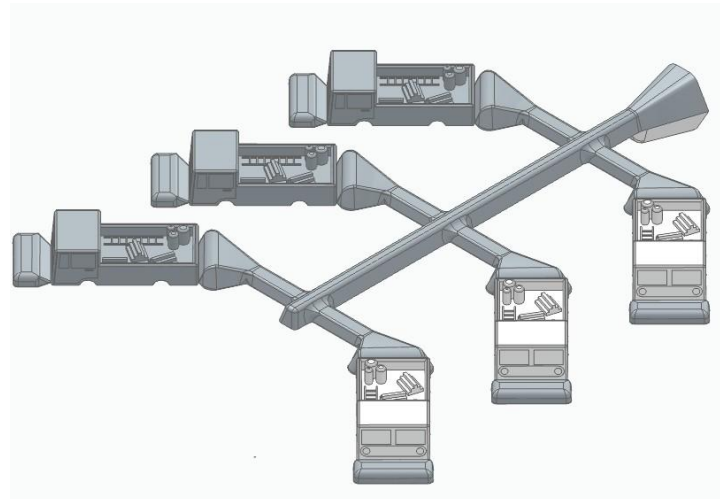


Figura 4.5 – segundo *Layout* de galho testado

Essa configuração apresentou falhas no preenchimento. Conforme a Figura 4.6, as setas vermelhas indicam regiões vazias. Os resultados revelam que essas falhas ocorreram devido ao resfriamento do canal ter sido mais rápido que o das cavidades dos produtos e das bolsas. Diante do preenchimento inadequado, o *software* impede a execução de outras análises.

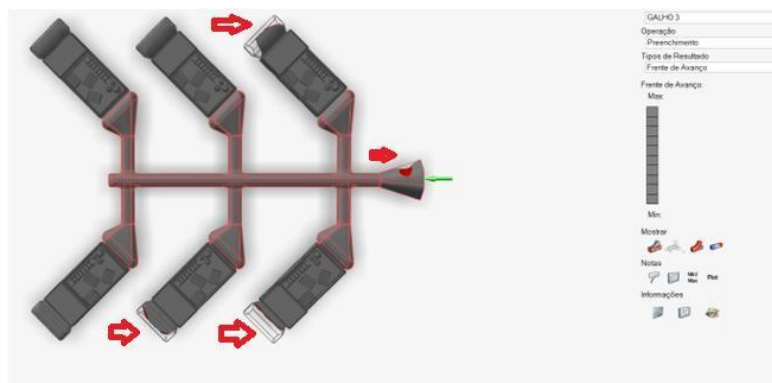


Figura 4.6 – avaliação de preenchimento da matriz

Uma vez que a condição anterior não atendeu as condições para preenchimento, as cavidades foram rotacionadas em seu centro, a um ângulo de 180°, conforme a figura 4.7.

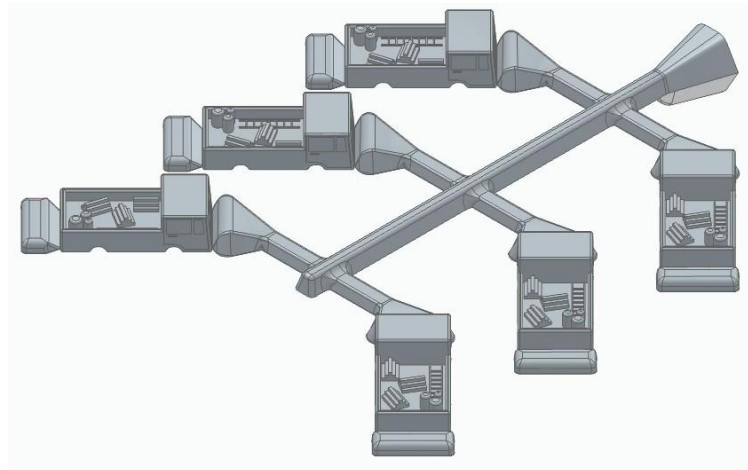


Figura 4.7 – terceiro *Layout* de galho testado

Assim como a configuração anterior, essa análise apresentou falhas quanto ao preenchimento das câmaras, conforme figura 4.8. Esta configuração também apresentou falha quanto ao preenchimento, conforme a configuração anterior. De acordo com os resultados gerados, essa falha foi consequência de um resfriamento do canal ter ocorrido de forma mais rápida do que as cavidades dos produtos e das bolsas. Sem o preenchimento adequado, o *software* não permite executar outras análises.

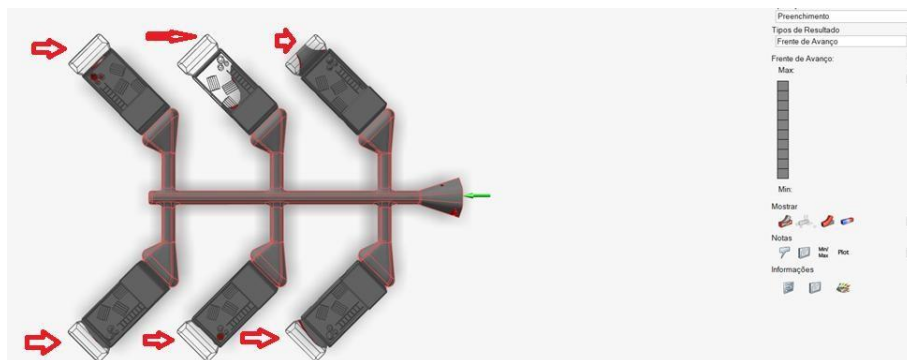


Figura 4.8 – avaliação de preenchimento da matriz

A segunda e a terceira configuração de galho não apresentaram resultados satisfatórios, em virtude de o canal resfriar anteriormente às câmaras. Assim, outro parâmetro é a redução de volume do galho. Essa decisão impactará diretamente a produtividade. No entanto, considerando que os problemas persistiram mesmo após a alteração das posições da peça, a modificação do volume a ser injetado configura-se como um fator que deve ser cuidadosamente avaliado. Assim, o galho foi reduzido de 6 peças para 4, conforme a figura 4.9.

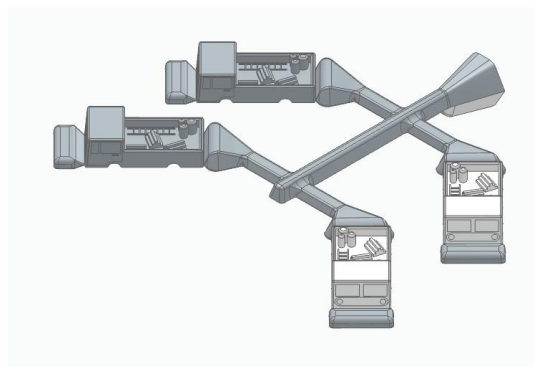


Figura 4.9 – quarto *Layout* de galho testado

Com duas peças a menos, mantendo os parâmetros de injeção, é possível avaliar o tempo de preenchimento do molde, conforme a figura 4.10.

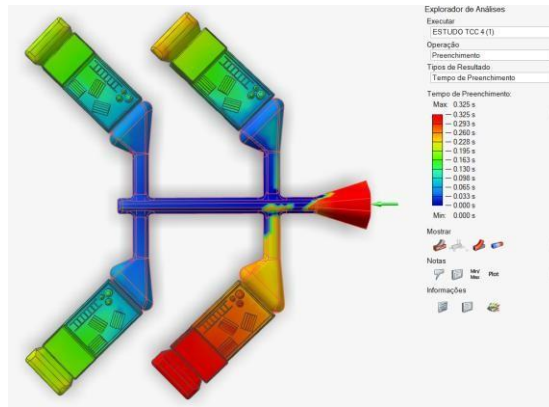


Figura 4.10 – tempo de preenchimento de câmara

De acordo com Fuoco (2006), um preenchimento uniforme consiste em um critério a ser considerado na injeção de material. Na condição da figura 4.10, 3 das 4 cavidades apresentaram velocidades próximas de preenchimento.

O segundo parâmetro avaliado foi o dano causado durante o processo de injeção, conforme a figura 4.11. O canal inferior direito corresponde ao local de maior dano causado, de acordo com a escala da imagem. Ainda assim, este apresenta uma variação inferior em comparação aos outros *Layouts* já apresentados.

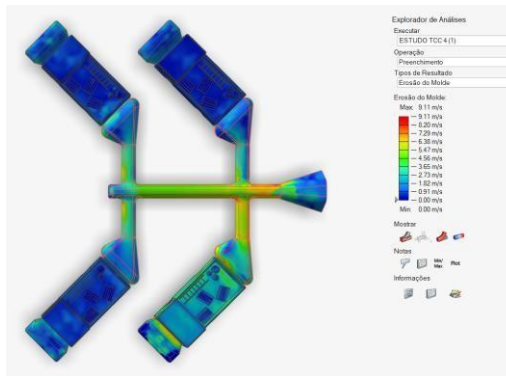


Figura 4.11 – erosão de câmara

O terceiro parâmetro avaliado foi a quantidade de bolhas geradas no interior da câmara ao longo do processo de injeção. Na figura 4.12, é possível observar se as bolsas executaram suas funções e armazenaram o ar excedente. Nenhuma bolha foi gerada em algum ponto crítico.

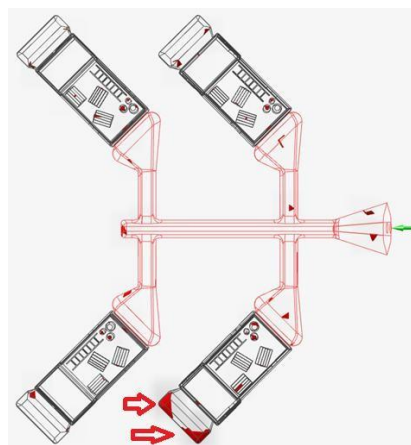


Figura 4.12 – Bolhas de ar

Na tabela 2, apresenta-se um comparativo entre os quatro *Layouts* avaliados.

**Tabela 2. Resumos dos resultados obtidos através das análises CAE executadas no Altair Inspire cast**

Galho	Tempo de preenchimento	Erosão de molde	Bolhas de ar	Melhoria a ser executada
1	Foram avaliadas duas formas de alinhamento. O tempo de preenchimento para pares de peças posicionadas de forma igual	O primeiro canal inferior apresentou sinais de desgaste	Presença de poucas bolhas.	Nenhuma, pois esta etapa consistia em dar o primeiro passo em direção à otimização.
2	Apresentou falha no preenchimento, inviabilizando os próximos testes. A falha ocorreu em função do canal de injeção ter se solidificado antes do preenchimento total das câmaras.	-	-	Uma possível solução para isso seria acrescentar aquecimento à matriz. Porém vai contra um dos pontos deste estudo que é reduzir custos para execução deste projeto.
3	Apresentou falha no preenchimento, inviabilizando os próximos testes. A falha ocorreu em função do canal de injeção ter se solidificado antes do preenchimento total das câmaras.	-	-	Uma possível solução para isso seria acrescentar aquecimento à matriz. Porém vai contra um dos pontos deste estudo que é reduzir custos para execução deste projeto.
4	Tempo de preenchimento satisfatório. Apenas uma cavidade apresentou uma diferença de tempo de preenchimento mais do que as outras, mas ainda assim nada crítico para aplicação em questão.	O ponto mais crítico, semelhante à primeira análise, continuou sendo o primeiro canal inferior.	Poucas bolhas, em volume pequeno. O ponto mais crítico ficou localizado na primeira bolha inferior e por se tratar de uma região de sacrifício, não impacta no resultado desejado.	Sem melhorias. Esta avaliação se mostrou satisfatória, atendendo todos os 8 pontos mencionados na metodologia, apresentando assim qualidade, custo baixo para execução, devido à sua baixa complexidade de fabricação e tempo de produtividade, com um rendimento de aproximadamente 50% com uma entrega de quatro peças por injeção

## 5. Conclusão

A primeira configuração serviu como ponto de partida para a análise. Por meio dela, definiram-se algumas orientações para a segunda configuração, como a velocidade de preenchimento, a erosão causada na matriz e a formação de bolhas de ar. A segunda e a terceira configurações apresentaram a mesma falha: um canal se solidificando antes que as cavidades das peças estivessem devidamente preenchidas. Já no último cenário, as peças atenderam aos critérios de qualidade, apresentaram boa produtividade e menor custo de fabricação, especialmente em comparação a matrizes com dispositivos de arrefecimento, considerando que, com apenas processos de usinagem e ferramentaria, é possível confeccionar uma matriz adequada para essa aplicação.

O galho quatro foi o que apresentou o resultado adequado. Enfatiza-se que não é a única solução possível para essa aplicação, porém, com o objetivo de se reduzir a complexidade de fabricação e os custos em caso de fabricação, manipularam-se parâmetros apenas dimensionais.

Não foram explorados neste trabalho parâmetros como diferentes velocidades, canais de entrada e malhas mais precisas em função da limitação técnica do computador que a estava executando. Ainda assim, não se trata de parâmetros que comprometam a análise, embora permaneça em aberto, para trabalhos futuros, a possibilidade de disponibilizar os arquivos e parâmetros para a extrapolação de possibilidades.

Também não foram consideradas configurações como matriz aquecida, canais de ar, ferramentas de 4 movimentos, visando manter o custo baixo. Majoritariamente, empresas que trabalham com aviamentos, vestuário, brinquedos, utensílios domésticos e similares produzem uma quantidade de peças consideravelmente grande e, com isso, cada centavo de aumento no custo pode ser crucial quanto ao sucesso ou fracasso do projeto. Além dos custos, há redução de consumo de insumos e geração de rejeitos.

Os sistemas CAE têm se mostrado, a cada dia, uma ferramenta indispensável para quem busca rendimento, produtividade ou performance. Diante da competitividade atual das indústrias, aquele que melhor domina essa técnica possui uma vantagem significativa. Por isso, análises como as apresentadas neste trabalho tornam-se cada vez mais relevantes no contexto industrial. Por meio delas, é possível economizar recursos e ampliar os resultados.

Ressalta-se que, apesar das simulações, seria importante executar testes experimentais, com o objetivo de validar as simulações.

## 6. Agradecimentos

Em primeiro lugar, à professora Lisiane Trevisan, a qual, desde o início, demonstrou interesse e empenho em ajudar. Ao professor Giácomo Gai Soares, por me acompanhar ao final desta etapa, sempre de forma muito prestativa. À minha esposa Vanessa Canali, que me acompanhou durante esta jornada. Aos meus pais e amigos, pela paciência.

Um Agradecimento especial, também, ao Paulo Araújo, Representante do Altair – Inspirecast.

Além de fornecer a licença estudantil, também disponibilizou canais educativos sobre a utilização do software e compartilhou sua experiência sobre este. Por fim, ao Prof. Anderson Hander, pela revisão e críticas a este trabalho.

## 7. Referências

- [1] Andresen, Bill. 2005. “Die Casting Engineering, a Hydraulic, Thermal, and Mechanical Process”, Ed. Marcel Dekker, New York, EUA.
- [2] MATTEL. Disponível em: [https://images.mattel.net/images/w\\_900,f\\_auto,c\\_scale/shop-usprod/files/o0sqnvs14auikeo1qdxn\\_2d37f768-d041-442f-ab46-6183bc3cdf47/.jpg](https://images.mattel.net/images/w_900,f_auto,c_scale/shop-usprod/files/o0sqnvs14auikeo1qdxn_2d37f768-d041-442f-ab46-6183bc3cdf47/.jpg). Acesso em: 07/01/2025
- [3] ALTAIR. *Cast User Guide*. 2022. Disponível em: [https://2022.help.altair.com/2022.3/cast/en\\_us/index.htm](https://2022.help.altair.com/2022.3/cast/en_us/index.htm). Acesso em: 06/01/2025.
- [4] Tâmega, Fábio, 2017, Fundição de processos siderúrgicos – Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2017.
- [5] Sully. 1992. “ASM Metals HandBook Volume 15 – Casting”
- [6] Oliveira, Reinaldo José de e Galhardi, Antonio Cesar. 2016. “Simulação Numérica e a Fundição de Metais no Brasil”, CEETEPEPS, São Paulo, Brasil.
- [7] Totten George E. 2003. “Handbook of Aluminum Volume 1”
- [8] Fuoco, Ricardo. 2006. “Curso de Fundição sob Pressão”, IPT
- [9] Ravi, B. e Srinivasan, M. N. 1996. “Casting solidification analysis by modulus vector method”, Int. J. Cast Metals Res., Vol.9, pp. 1-7

# **CASE STUDY: ALUMINUM INJECTION INTO AN COMPLEX GEOMETRY MOLD**

Gustavo Reis Soares, [gustrs@hotmail.com](mailto:gustrs@hotmail.com)

Lisiane Trevisan, [lisiane.trevisan@farroupilha.ifrs.edu.br](mailto:lisiane.trevisan@farroupilha.ifrs.edu.br)

Giácomo Gai Soares, [lisiane.trevisan@farroupilha.ifrs.edu.br](mailto:lisiane.trevisan@farroupilha.ifrs.edu.br)

<sup>1</sup>IFRS-Campus Farroupilha, R. São Vicente, 785 - Cinquentenário, Farroupilha – RS, 95174-274

**Abstract.** *The present study aims to present simulations of the injection process of a product made from aluminum, using the CAE Altair inspirecast simulation software. Numerical analyzes were performed testing patterns, Layout definitions, sizing and the impact on the result of filling the injection die mold. Four different contexts will be presented with the aim of optimizing processes to achieve the best possible result.*

**Keywords:** *simulation, injection, aluminium.*