

SIMULAÇÃO CAE E CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO DE HPDC (HIGH PRESSURE DIE CASTING)

Gabriel Arraiol Casaes, g.arraiol@hotmail.com¹

Carlos M. Sacchelli, carlos.sacchelli@gmail.com¹

¹ Universidade Federal de Santa Catarina Campus Joinville, R. Dona Francisca, 8300 – Bloco U Zona Industrial Norte Joinville – SC – Brasil

Resumo. Um dos grandes desafios da indústria automotiva é a redução das emissões de gases aliado a uma maior eficiência energética dos combustíveis, desta maneira a utilização de materiais com baixa densidade como os materiais plásticos e o alumínio são cada vez mais utilizados nos automóveis como alternativa. Um dos processos mais utilizados para a obtenção de peças em alumínio é o processo de injeção em alta pressão (HPDC) com a utilização de moldes de injeção. Estes moldes são de custo elevado e há necessidade de uma assertividade grande no seu projeto para que os retrabalhos sejam minimizados. Uma das ferramentas que pode ser utilizada para minimizar estes erros são os softwares CAE (Computer Aided Engineering). Assim, o objetivo deste trabalho foi demonstrar a importância da utilização do CAE no projeto das peças e do molde de injeção de alumínio de alta pressão. Para tanto foi utilizado o software QuikCAST®, também foram discutidas particularidades do processo de injeção e algumas das principais falhas que podem ocorrer no molde. Ao fim do artigo conclui-se que a utilização do alumínio na indústria automotiva é uma tendência a ser seguida e ainda tem muito a evoluir, e para isso o HPDC se apresenta como uma ótima opção, por produzir uma gama variadas de peças com uma ótima precisão dimensional e baixa rugosidade, contudo, por ser um ferramenta de alto custo, deve-se ter total atenção no seu projeto e uso, e para isso se dá a importância de softwares CAE, com ele as falhas nos moldes e nas peças são possíveis de serem identificadas. O CAE foi de grande auxílio para identificar o ponto de entrada de material na peça e saídas de ar.

Palavras chave: Automotiva, CAE, HPDC, Molde de Injeção.

Abstract. One of the great challenges of the automotive industry is the reduction of gas emissions combined with greater energy efficiency of fuels, in this way the use of materials with low density such as plastics and aluminum are increasingly used in cars as an alternative. One of the most used processes to obtain aluminum parts is the high pressure die casting (HPDC) with the use of injection molds. These molds are expensive and there is a need for great assertiveness in your project so that reworks are minimized. One of the tools that can be used to minimize these errors is CAE (Computer Aided Engineering) software. Thus, the objective of this work will be to demonstrate the importance of using CAE in the design of parts and high pressure aluminum injection mold. For this, the QuikCAST® software will be used, particularities of the injection process and some of the main failures that can occur in the mold will also be discussed. At the end of the article, it is concluded that the use of aluminum in the automotive industry is a trend to be followed and still has a lot to evolve, and for that the HPDC presents itself as a great option, for producing a varied range of parts with a great Dimensional precision and roughness, as it is a high-cost tool, one must pay close attention to its use and, for that, the importance of CAE software is given, with it, flaws in molds and parts are possible to be identified. CAE was of great help in identifying the point of entry of material into the part and air outlets.

Keywords: Automotive, CAE, HPDC, Injection Mold.

1. INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios para a indústria automotiva é a redução das emissões de gases aliado a uma maior eficiência energética dos combustíveis, nos carros produzidos antigamente não se tinha a preocupação com a massa dos veículos, mas aos poucos foi se relacionando a massa com a emissão de poluentes e maior consumo de combustíveis, a partir deste momento iniciou uma corrida para solucionar estes problemas.

Um entrave para esta situação seria reduzir a massa dos carros sem afetar a segurança dos usuários e a estabilidade do veículo, uma das soluções foi o emprego e pesquisas por novos materiais a serem utilizados, entre eles o alumínio

(ABAL, 2021). O alumínio apresenta propriedades que apontam seu seguro destaque nesta corrida tecnológica, pois possui baixa densidade, boa resistência mecânica, elevada resistência à corrosão, podendo ser reciclado (Rebello, 2000).

Nos dias atuais as empresas do ramo automobilístico já investem no processo de injeção de alumínio, tanto sob pressão como também em baixa pressão para vários componentes do veículo como motor, caixa de câmbio e caixa de direção, ocorrendo também uma tendência mundial de uso do alumínio na parte estrutural do veículo.

A Fundição sob Pressão HPDC (*High Pressure Die Casting*) é um processo de fundição em que o metal fundido é alimentado sob alta pressão e em alta velocidade para uma cavidade em um molde permanente. Lá ele se solidifica e o produto final é assim produzido (Gašpár, *et al.*, 2021). O processo de injeção sob pressão é regido por uma série de parâmetros, que adequadamente determinados e ajustados, resultam em uma peça injetada de qualidade (Verran, *et al.*, 2005).

O processo de HPDC é complexo e depende de alguns parâmetros para obter uma melhor qualidade nas peças e um menor desgaste nas ferramentas, nesse âmbito, para evitar falhas e retrabalhos é recomendada a utilização de softwares CAE (*Computer Aided Engineering*), com ele é possível verificar falhas antes mesmo da fabricação tanto do ferramental como da peça injetada, sendo também possível variar os parâmetros de processo para se obter uma melhor combinação.

A utilização de ferramentas para análise via CAE, tornou-se elemento essencial para otimização das condições de processo de fundição, do projeto dos ferramentais e das peças fundidas (Verran e Mendes, 2006). Através dela pode-se analisar o processo de fabricação da peça injetada, num curto espaço de tempo a um custo adequado, modificando parâmetros de processo ou mesmo detalhes da geometria tanto do molde como da peça a ser fabricada.

Desta maneira, o objetivo principal deste trabalho, será demonstrar a importância da utilização de ferramentas CAE no projeto de injeção de alumínio de alta pressão. Para isto, será utilizado no estudo de caso uma peça de geometria simples a fim de demonstrar a funcionalidade do software e o potencial de melhora dos parâmetros de processo para a obtenção das peças injetadas.

2. PROCESSO DE INJEÇÃO SOB PRESSÃO - HPDC

O processo de HPDC consiste em injetar um metal líquido (liga de alumínio, zinco ou magnésio) contido em um recipiente para o interior da cavidade de um molde, submetendo o metal a altas pressões (Malavazi, 2005). Neste processo são obtidas peças de geometrias complexas através da injeção a alta pressão do metal líquido até o final da solidificação no molde. Esta condição permite obter peças de excelente acabamento e precisão, podendo até eliminar processos de usinagens posteriores (Cardinali e Toledo, 2011).

O HPDC pode ser considerado como um processo de precisão, já que se consegue produzir peças com espessuras finas e geometrias complexas. A precisão dimensional pode variar entre 0,05 mm até 0,25 mm, sendo que a mínima espessura que pode ser obtida é de 2,5 mm. As peças fabricadas podem possuir massa entre 50 g e 64 kg de material injetado e a rugosidade superficial pode variar entre 0,4 μm à 3,2 μm , dependendo do acabamento superficial do molde (Falavigna, 2014).

Embora este processo tenha várias vantagens, os componentes fabricados podem apresentar algumas limitações devido à sua porosidade. A porosidade pode ocorrer pela contração do metal fundido ou serem incluídos durante o preenchimento do molde (Brevick, 2009). Para evitar a porosidade pode-se controlar algumas variáveis do processo, normalmente, as principais são a temperatura do molde, volume de dosagem, velocidades lentas e rápidas de injeção, pontos de comutação, pressões de injeção e de recalque, bem como a qualidade metalúrgica, composição química e temperatura do alumínio líquido (Verran, *et al.*, 2005).

Na Figura 1 pode-se observar uma máquina utilizada para produção de peças no sistema de HPDC.



Figura 1: Máquina HPDC (ZITAI, 2021)

2.1. Molde de injeção

No projeto do molde de injeção de alumínio em alta pressão para pequenos itens normalmente se usa um porta molde padrão que é constituído por placas que tem a função de acomodar cavidade da peça, auxiliar na injeção, resfriamento e abertura para retirada da peça, mas conforme o projeto para peças grande também pode ser utilizado visando diminuir o tempo de troca de ferramenta. Na Fig. 2 tem-se o exemplo de um porta molde.

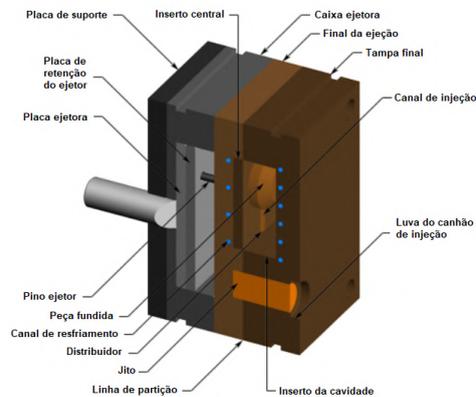


Figura 2. Porta Molde HPDC (source: www.custompartnet.com)

No projeto da cavidade alguns itens são essenciais para uma correta fabricação da peça, um destes itens é a bolacha, onde ocorre a entrada do material fundido. Após passar pela bolacha o metal corre pelo canal de entrada até a cavidade principal, que tem o formato da peça desejada. Para evitar que o ar fique preso na peça, a cavidade ainda tem dois recursos que são as saídas de ar e as bolsas de sobra de material.

Na Figura 3 tem-se um exemplo de cavidade de molde onde pode-se observar importantes itens no projeto de um molde de HPDC, como o bloco de vácuo, bolacha de injeção, canal de injeção e a saída do excesso de material.

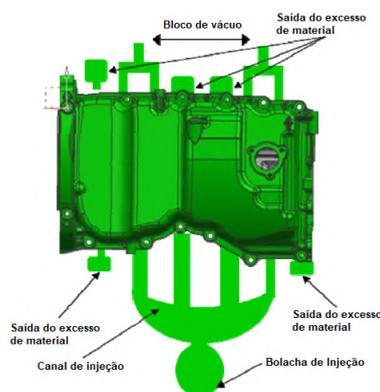


Figura 3. Exemplo de cavidade de HPDC (Hong e Kwang, 2013)

Para o projeto do molde alguns fatores devem ser considerados, como a presença de concentradores de tensões, tais como frisos, furos, cantos vivos e elevada rugosidade superficial aumentam o estado de tensões de origem geométrica que adicionadas ao aumento do gradiente térmico resultará em trincas térmicas preferencialmente nessas áreas do que numa área plana. Defeitos superficiais como marcas de retífica afetam e dão origem a fissuras pela mesma razão dos frisos, furos e cantos (NADCA, 2009).

Um dos fatores de grande importância na conservação do molde é o pré aquecimento e controle das temperaturas durante o processo, o contato inicial entre a ferramenta fria e o metal fundido causa um choque térmico severo no material da matriz. Desta maneira, trincas térmicas podem iniciar nos primeiros ciclos e crescer rapidamente até a falha total. Por isso, é importante notar que a resistência ao impacto, isto é, a habilidade do material resistir ao choque térmico e mecânico, aumenta significativamente pelo pré-aquecimento da ferramenta, se realizado antes do primeiro ciclo (NADCA, 2009).

2.2. Softwares CAE

A tecnologia CAE ajuda os profissionais a gerar, verificar, validar e otimizar as soluções de design. Em um aspecto da qualidade do produto e previsão de defeitos, a simulação CAE é a tecnologia mais eficiente e econômica para análise, previsão e avaliação da qualidade e defeitos do produto fundido e do molde (Hong e Kwang, 2013). O uso de simulação para análise do enchimento de um molde é um importante recurso para otimização de canais, localização de bolsas de ar e determinação de parâmetros relativos ao processo de fundição sob pressão. Em função do alto investimento nos moldes para fundição sob pressão, a simulação torna-se elemento de fundamental importância (Rebello, 2000).

Estes recursos viabilizam a previsão de um conjunto de informações fundamentais para a construção do molde e definição de processo, como avaliação da vida útil do molde, suas variações dimensionais e possíveis deformações de seus componentes pela análise térmica. O mesmo pode-se aplicar à peça, prevendo propriedades estruturais localizadas, campos de tensões, precisão dimensional, crescimento de grão, segregações e defeitos provenientes da contração do metal durante o processo de solidificação e resfriamento, permitindo o ajuste de canais de distribuição e ataque, adaptações na geometria da peça, adequação dos canais de refrigeração, localização de bolsas de ar e outros parâmetros do processo (Tseng e Askeland, 1992).

Alguns dos softwares de simulação mais utilizados para HPDC, são o MAGMASOFT®, ProCAST®, QuikCAST® e o AnyCasting®, cada um deles com suas interfaces porém com funções e usos parecidos, cada software usa seu próprio cálculo para realizar as simulações o MAGMASOFT® emprega o método das diferenças finitas para resolver a transferência de calor e massa em uma malha retangular. É uma ferramenta útil para simular o fluxo de metal fundido em um molde permanente, já o ProCAST® e o QuikCAST® são solucionadores de elementos finitos, que trabalham totalmente em problemas tridimensionais e produzem malhas tetraédricas. Eles fornecem a análise de estresse de fluxo térmico acoplado com base no método dos elementos finitos. O ProCAST® permite ao usuário personalizar a maior parte do processo, incluindo os parâmetros de execução, nele os limites podem ser atribuídos em formas de nó, superfície, interface e volume (Wannarumon e Grande, 2009).

Alguns parâmetros são importantes para obter uma melhor qualidade na injeção, entre eles estão a velocidade de primeira fase, velocidade de segunda fase e a pressão de recalque (Verran, *et al.*, 2005). Além dos parâmetros já citados, entre os fatores controláveis do processo, que não exigem alterações no projeto do molde, também são importantes, a temperatura do metal, curso da primeira fase de injeção e temperatura do molde (Viana e Faria Neto, 2013).

2.3. Falhas no molde

Após o molde desenvolvido, durante sua utilização, há algumas formas de desgastes, que podem vir a causar sua falha, em que cerca de 75% das falhas são relacionadas as microtrincas, as quais estão relacionadas à tensão térmica, composição química e acabamento superficial do molde, entre estes o maior causador é a tensão térmica que ocorre da diferença de temperatura entre o molde e a liga injetada.

Outros fatores que levam a falha do molde são a erosão e o desgaste, estes provêm dos esforços mecânicos causados pelo impacto da liga de alumínio fundida com o molde.

As trincas grosseiras também influenciam na vida do molde, geralmente são causadas por falha de projeto ou material e tratamento inadequados. A corrosão e a aderência também levam a falha do molde mesmo que em menor quantidade, são causadas pela reação química do alumínio com o material do molde (Arieta, 2021). Na Fig. 4 pode-se observar um gráfico dos mecanismos de falha mais recorrentes.

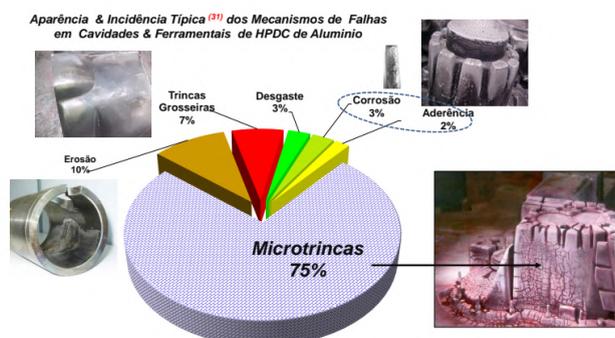


Figura 4. Mecanismos de falha (Arieta, 2021)

A maior causa de falhas é a fadiga térmica, o contato repetitivo do molde com a liga líquida produz desgaste e fadiga térmica. Por esta razão, são utilizados aços ferramentas especiais, que no entanto apresentam uma certa fragilidade que pode se tornar crítica quando o molde é submetido à fadiga térmica. Rachaduras superficiais podem se formar, que posteriormente se propagam para dentro do molde se for novamente submetido a ciclos de fadiga térmica, especialmente se estiver sujeita a oxidação. Durante as fundições subsequentes, o fundido se encaixa nessas trincas comprometendo a qualidade da superfície da peça produzida e inutilizando o molde (Rosso e Lombardo, 2017).

As trincas térmica ocorrem por um processo de fadiga de baixo ciclo, cujas tensões são decorrentes de ciclagens térmicas em regiões próximas à superfície do molde. No início de um ciclo, quando o molde é preenchido com o alumínio líquido, a superfície é aquecida e há formação de um gradiente térmico perpendicular à superfície do molde. A tendência natural seria a expansão térmica dessa camada superficial, entretanto este movimento é restringido pelas camadas mais internas, que se encontram mais frias. O resultado é a formação de tensões de compressão e quanto mais acentuada for o gradiente de temperatura, mais elevadas são as tensões (Gonçalves, 2012).

Cabe ressaltar que atualmente alguns softwares CAE realizam com grande precisão a análise da fadiga térmica nos moldes, possibilitando desta maneira uma boa alternativa de verificação e de escolha de materiais das cavidades nos moldes pelos projetistas.

3. ESTUDO DE CASO

A Figura 5 demonstra, para uma melhor compreensão, as atividades que foram realizadas no estudo de caso, sendo: Definição da geometria da peça, Definição dos parâmetros de processo, Simulação CAE e Análise dos resultados.

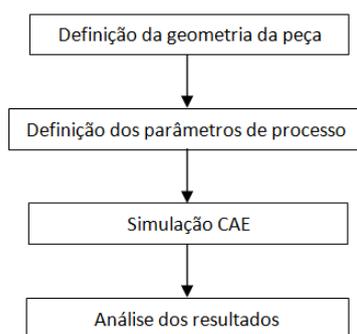


Figura 5. Fluxograma das atividades (Autor, 2022)

Para o estudo de caso foi analisada uma peça de geometria simples para demonstrar a funcionalidade do software QuikCAST®, para isso alguns parâmetros de entrada foram selecionados entre eles a temperatura do molde, temperatura do alumínio a ser injetado, velocidade de injeção, material do molde e da peça, com isso obtidos alguns dados como tempo de enchimento e locais onde ocorreram porosidade e com possíveis marcas na peça.

A geometria escolhida para o estudo foi uma caixa de luz industrial de passagem com uma entrada e uma saída que pode ser visualizada na Fig. 6.

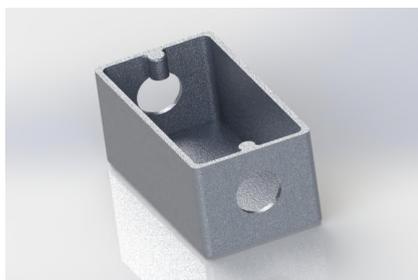


Figura 6. Forma geométrica escolhida para o estudo (Autor, 2022)

Para realização das análises, foram identificados alguns pontos onde poderiam ser as entradas de material e também alguns pontos para a saída de ar, com a análise realizada, dois métodos foram escolhidos, no primeiro caso (Fig. 7-a) tem-se a entrada pela parte de cima da peça na lateral maior e duas saídas de ar pelos locais onde ficarão os furos para

fixação, no segundo caso (Fig. 7-b) a entrada do material também se deu por cima porém na lateral menor e a saída de ar pelo centro da base. Na Fig. 7 pode-se observar na simulação em um tempo de 0,0011 segundos para ambos, os pontos de entrada de material na peça e a temperatura correspondente.

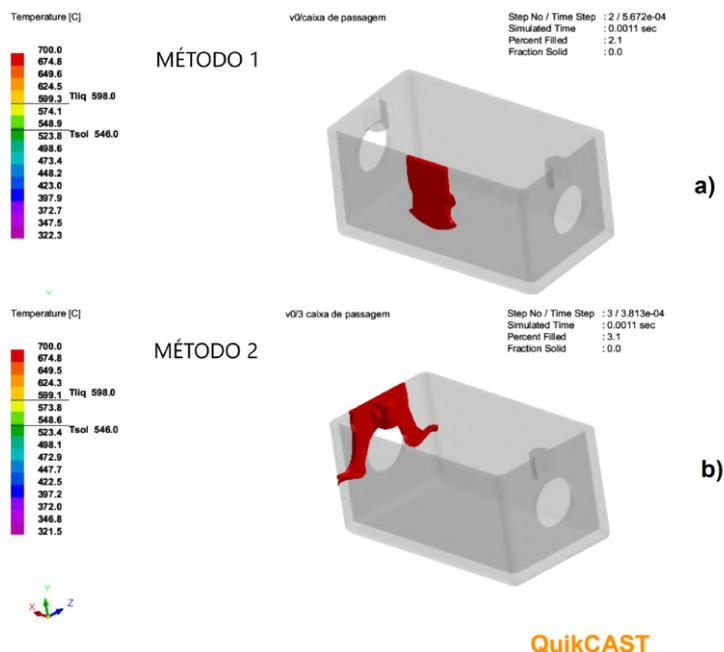


Figura 7. Simulação de Temperatura: a) Método 1; b) Método 2; (Autor, 2022)

Analisando os dois métodos obteve-se o tempo total de simulação semelhantes, no primeiro caso (Fig. 8-a) de 5,76 segundos e no segundo (Fig. 8-b) de 5,82 segundos, como pode-se observar no painel de informações lateral direito na Fig. 8.

No uso do software e tempo de simulação na Fig. 8-a foram necessários 201 passos, enquanto na Fig. 8-b somente 107, na Fig. 8-a pode-se observar um tempo de solidificação de 5,11 segundos e na Fig. 8-b de 5,25 segundos. Nos dois casos obteve-se a peça completa, sem repuxos, um defeito recorrente nos processos de HPDC.

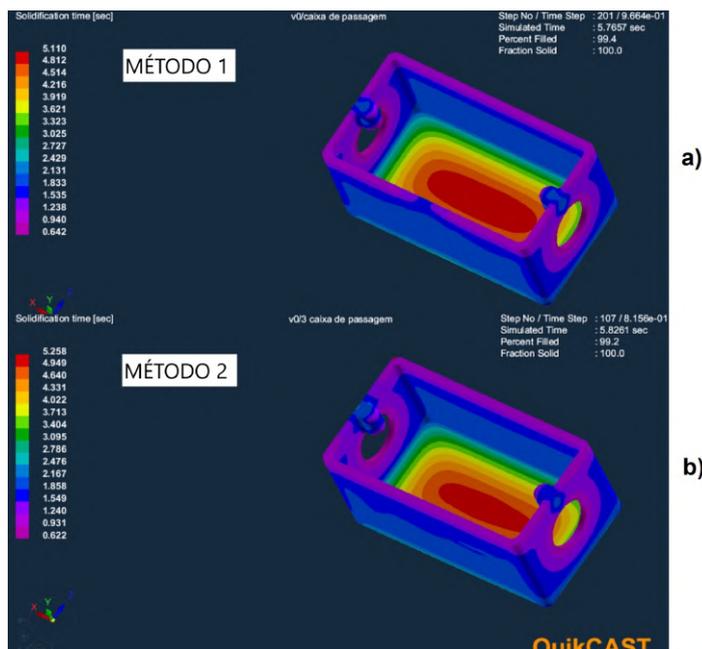


Figura 8. Tempo de solidificação: a) Método 1; b) Método 2; (Autor, 2022)

O software QuikCAST® possibilita observar onde foram obtidas as pressões máximas e mínimas do gás durante a injeção, na Fig. 9, pode-se observar os pontos onde foram obtidas as maiores pressões dos dois métodos de injeção, também é possível verificar que na Fig. 9-a as pressões do gás obtidas foram menores do que na Fig 9-b.

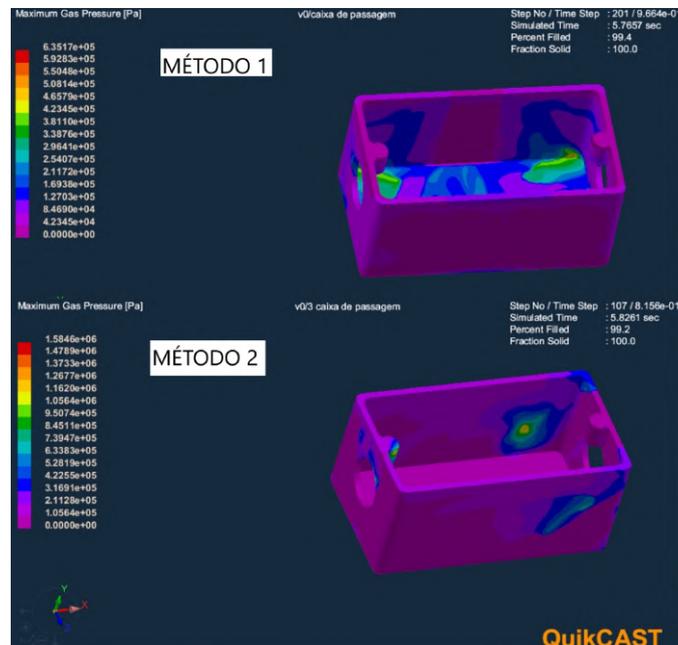


Figura 9. Pressão máxima do gás: a) Método 1; b) Método 2; (Autor, 2022)

Na Figura 10, pode-se observar o tempo de enchimento da cavidade, na Fig. 10-a se tem o valor de 0,0346 segundos e na Fig. 10-b de 0,0296 segundos. Essa imagem se faz interessante quando comparada a Fig. 9, analisando é possível verificar que os locais onde finalizou o enchimento da cavidade conforme a Fig. 10, foram em sua grande maioria os mesmos pontos que a Fig. 9 mostrou como pontos de pressão máxima, com essas observações pode-se iniciar um estudo futuro, onde as saídas de ar se localizariam nesses locais onde ocorre a máxima pressão de ar, unido ao final da injeção do material.

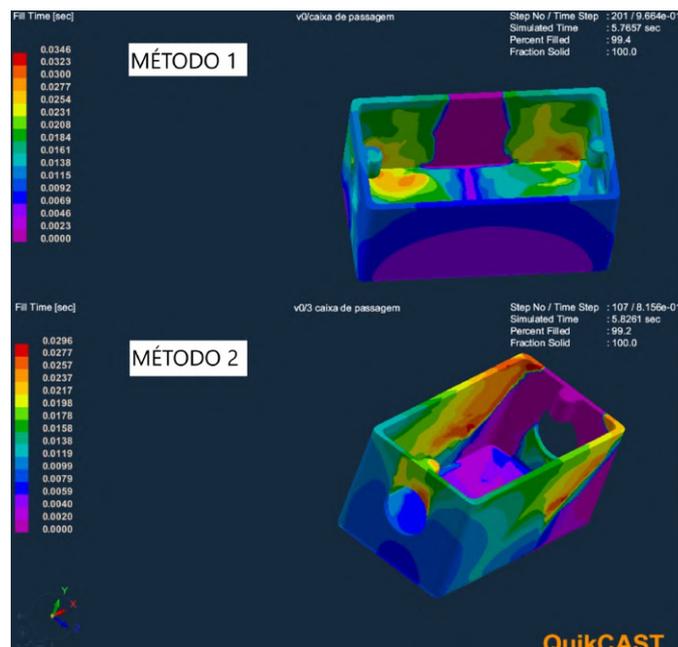


Figura 10. Tempo de enchimento: a) Método 1; b) Método 2; (Autor, 2022)

Com base nas simulações CAE da peça comparando os dois pontos de entrada, conclui-se que o modelo 1 entre os dois modelos é o que se mostra mais interessante, por ter um menor tempo total de ciclo e concentrar uma menor pressão de gases dentro da peça.

Ressalta-se que essa tomada de decisão do projeto somente foi possível com o auxílio do CAE, demonstrando sua importância na etapa de projeto.

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi possível observar que a utilização de peças injetadas de alumínio pela indústria automotiva é uma tendência, auxiliando na meta de redução de emissões de gases e aumento da eficiência energética. O processo HPDC se apresenta como uma ótima opção, por produzir uma gama variada de peças com uma boa precisão dimensional e baixa rugosidade, muitas vezes eliminando até processamentos posteriores de fabricação.

No projeto de um molde de HPDC existem diversos itens a serem observados entre eles devem ser evitados a presença de concentradores de tensões, tais como frisos, furos, cantos vivos e elevada rugosidade superficial, por ser uma ferramenta de alto custo, deve-se evitar ao máximo retrabalhos e até perda da ferramenta por erros de projeto.

As falhas nos moldes e nas peças são possíveis de serem identificadas pela simulação CAE. Como exemplo de uso da ferramenta CAE foi utilizado o software QuikCAST®, demonstrando algumas funcionalidades e possíveis usos e percepções que o mesmo pode oferecer antes mesmo do molde projetado, ajudando desde o projeto do molde à peça final. Uma das funções demonstrada neste trabalho foi a análise de pressão máxima do gás e o tempo de enchimento que unidas ajudam mesmo antes do projeto do molde finalizado a definir corretamente onde devem ser colocados os bolsões de ar.

No estudo realizado, dentre as duas opções de entrada de material, a primeira opção foi mais interessante por ter um menor tempo total de ciclo e concentrar uma menor pressão de gases dentro da peça, em estudos futuros poderiam ser mudadas as saídas de ar da peça para diminuir ainda mais essas pressões.

Como conclusão final, pode-se observar que com o avanço da indústria automotiva será necessária a inclusão de materiais menos densos, e com isto a realização de novas pesquisas e inovações na área da manufatura relacionada ao alumínio, entre elas, um maior uso dos softwares CAE que são imprescindíveis no projeto de ferramentas HPDC, reduzindo custos e retrabalhos.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à ESI Group pela disponibilidade do software QuikCAST® na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e à FUNDEP por meio do programa ROTA 2030 pelo apoio ao projeto Melhoria no projeto de ferramentas de injeção de alumínio.

6. REFERÊNCIAS

- ABAL, 2021. “APLICAÇÕES DO ALUMÍNIO: AUTOMOTIVO E TRANSPORTES”. 28 Nov. 2021 <<http://abal.org.br/aplicacoes/automotivo-e-transportes/automoveis/#accordion2>>
- Arieta, F., 2021. “Mecanismos de desgaste em ferramentas de injeção sob pressão de ligas de alumínio”, Projeto FUNDEP - ROTA 2030, Junho de 2021.
- Brevick, J., Die casting porosity guidebook, Wheeling: North American Die Casting Association, 2009.
- Cardinali, A., Toledo, E. F., 2011. “A INFLUÊNCIA DO TEOR DE ALUMÍNIO EM INJETADOS SOB PRESSÃO NAS LIGAS DE ZINCO”. SENAI, Osasco, dezembro de 2011.
- Falavigna, D., 2014. “ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO DE LUBRIRREFRIGERANTE NA QUALIDADE SUPERFICIAL DE PEÇAS DE ALUMÍNIO TORNEADAS ”. Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2014.
- Gašpár, Š.; Coranič, T.; Majerník, J.; Husár, J.; Knapčiková, L.; Gojdan, D.; Paško, J. Influence of Gating System Parameters of Die-Cast Molds on Properties of Al-Si Castings. *Materials* 2021, 14, 3755.
- Gonçalves, C. S.. Efeito do processo de nitretação sob plasma no comportamento em fadiga térmica dos aços ferramenta para moldes para injeção de alumínio sob pressão. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- Hong, K. K., Kwang, K. Seo., 2013. “CAE simulation of HPDC Process with Automobile part (Oil Pan)”, *International Journal of Digital Content Technology and its Applications (JDCTA)* Volume7, Number13, Sep 2013.
- Malavazi, J. Área de fundição: Processo de fundição sob pressão. Osasco: SENAI, 2005.
- NADCA. Business Solutions Based on NADCA Research. *DIE MATERIALS & TECHNOLOGIES*. Wheeling, IL: NADCA, 2009.

- Rebello, M.A. O Uso de Análise via CAE na Fundição sob Pressão de Ligas de Alumínio, Dissertação de Mestrado, 2000.
- Rosso, M., Lombardo, S.. Analisi dei vantaggi derivanti dal controllo termico dello stampo nella pressocolata. La Metallurgia Italiana, Milano, v. 5, p. 15-24, maio 2017.
- Tseng, C.H.E. e Askeland, D.R. 1992. Study of the EPC Mold Filling Process Using metal Velocity and Mass and Energy Balances. AFS Transactions, 100:520- 529.
- Verran, G. O., Mendes, R. P. K., Rossi, M. A.. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE INJEÇÃO SOBRE A FORMAÇÃO DE DEFEITOS EM PEÇAS INJETADAS EM LIGAS DE ALUMÍNIO: RESULTADOS EXPERIMENTAIS VS. SIMULAÇÃO NUMÉRICA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 2005, Joinville. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO.
- Verran, G. O., Mendes, R. P. K.. Simulação numérica e DOE aplicados na melhoria do processo de fundição sob pressão de ligas de alumínio. Estudos tecnológicos - Vol. 2, nº 1:13-25. 2006.
- Viana, Denilson & Faria Neto, Antonio. (2013). Otimização do processo de fundição sob pressão aplicando o método de Taguchi. Revista Produção Online. 13. 1435. 10.14488/1676-1901.v13i4.1431.
- Wannarumon, S., Grande, M. A., 2009. “Comparisons of Computer Fluid Dynamic Software Programs applied to Jewelry Investment Casting Process”. Alessandria, Italy, 2009.
- ZITAI PRECISION MACHINERY CO., LTD.
<<https://www.zitai.com/pt/product-506999/2500T-Injetoras-de-Aluminio-Camara-Fria-de-Alta-Press%C3%A3o-ZD-C-2500TCM.html>>

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.