

INVESTIGAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA À TRAÇÃO DE UM CORPO DE PROVA INJETADO EM CAVIDADES DE AÇO E DE ABS NO CONCEITO MOLDE HÍBRIDO

David Willian Barbosa, david_willian@estudante.sc.senai.br¹

Edimar Rodrigues, edimar_rodrigues@estudante.sc.senai.br¹

Ivan Ramires Gonçalves, ivan_r_goncalves@estudante.sc.senai.br¹

Anderson de Carvalho Fernandes, anderson.c.fernandes@edu.sc.senai.br¹

Bruna Zappelino, bruna.zappelino@edu.sc.senai.br¹

Angelo Reck Neto, angeloneto@edu.sc.senai.br¹

¹Faculdade de Tecnologia SENAI Joinville, Rua Arno Waldemar Döhler, 957 – Santo Antônio - 89219-510, Joinville

Resumo: Atualmente a manufatura aditiva, conhecida também por impressão 3D, vem despertando interesses em vários setores, um exemplo são as indústrias que estão buscando essa tecnologia para a fabricação de protótipos e também para peças funcionais. Em paralelo a esse cenário, o uso de componentes injetados de polímero aumenta a cada ano em todos os segmentos. Com isso, a necessidade de criar métodos de fabricação mais rápidos se mostra interessante, uma vez que reduz o lead time e consequentemente deixa as empresas mais competitivas. Com isso, o conceito de molde híbrido vem ganhando força, pois uma alternativa é usar a manufatura aditiva para a fabricação de cavidades para moldes de injeção. Neste contexto o objetivo deste trabalho é realizar um estudo sobre o comportamento mecânico de peças injetadas em uma cavidade fabricada por usinagem CNC (método tradicional) com uma cavidade feita por manufatura aditiva, validando o conceito de molde híbrido. A cavidade fabricada possibilita a injeção de duas peças por ciclo e para o presente trabalho foram realizados 5 ciclos de injeção para cada cavidade, resultando em 10 corpos de prova. Após os ensaios de tração e análise dos resultados, constatou-se que as peças injetadas na cavidade de ABS obtiveram resistência à tração 30% maior que as peças injetadas na cavidade de aço, mostrando-se como uma alternativa para a produção de pequenos lotes de peças.

Palavras-chave: manufatura aditiva, impressão 3d, Modelagem por Fusão e Deposição (FDM), molde híbrido.

1. INTRODUÇÃO

Com a globalização e consequentemente com a concorrência, aparece a necessidade da criação de novos métodos para a manufatura de peças e componentes com diversas aplicações na indústria, ou no próprio dia-a-dia das pessoas. O ciclo de vida do produto está a cada dia menor e não é diferente com o processamento de polímeros.

Os polímeros estão entre os materiais mais utilizados para aplicações diversas, exemplos: na geladeira, celular, carro, televisor, computador, enfim a nossa volta para onde olharmos encontraremos algum produto fabricado com polímero.

A moldagem por injeção é o processo mais importante para a obtenção de produtos poliméricos das mais variadas geometrias, com muitas vantagens, em especial a produção em larga escala de geometria complexa, elevada reprodutibilidade de detalhes e tolerância apertada. A flexibilidade na geometria da peça injetada é tão alta que pode ser produzida em uma única etapa. É um processo não contínuo, mas permite automação, diminuindo falhas humanas (HARADA; UEKI, 2012).

O molde é o ferramental para a moldagem por injeção, e um dos processos para fabricação desses ferramentais é o processo de fabricação por usinagem CNC. Atualmente uma alternativa para a fabricação de peças para os moldes é o uso de tecnologias de manufatura aditiva (MA).

A MA é um conjunto de tecnologias que tem como objetivo a fabricação de peças por adição de material, camada por camada, onde a partir de um modelo CAD 3D é gerado as coordenadas para a deposição do material. Dentre as tecnologias de MA, tem-se a Modelagem por Fusão e Deposição (*Fused Deposition Modeling - FDM*), conforme Figura 1.

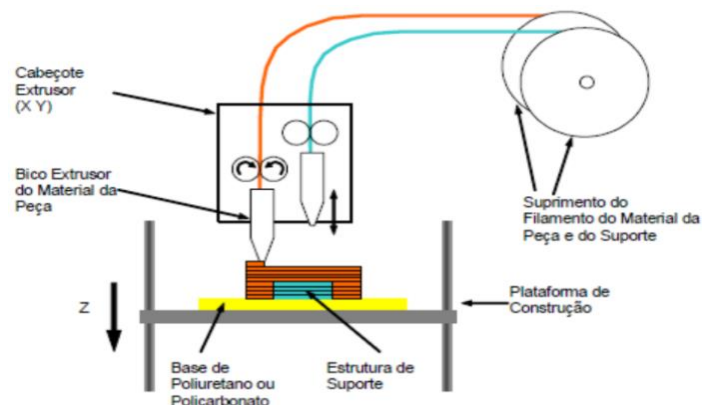


Figura 1 - Representação da tecnologia FDM

Fonte: VOLPATO et al (2007)

As vantagens da MA possibilitam a fabricação de insertos de polímeros para o desenvolvimento de moldes híbridos e surgem para suprir as novas tendências da indústria do plástico. Martinho, Bártolo e Pouzada (2009) descrevem moldes híbridos como ferramentas que são fabricadas a partir de diferentes tecnologias e materiais resultando em vantagens relacionadas à redução do consumo de energia na produção, possibilidade de customização e flexibilidade na modificação e implementação de conceitos de projeto.

Segundo Bareta (2007), é considerado um molde híbrido de injeção o molde que faz uso de técnicas e/ou materiais não convencionalmente usados na construção dos insertos (macho e fêmea). Conforme ilustra a Figura 2, (a) as estruturas são fabricadas utilizando técnica e equipamentos convencionais, (b) enquanto os insertos são obtidos por processos não convencionais (fabricação por adição de camadas ou vazamento de resinas com adição de cargas).

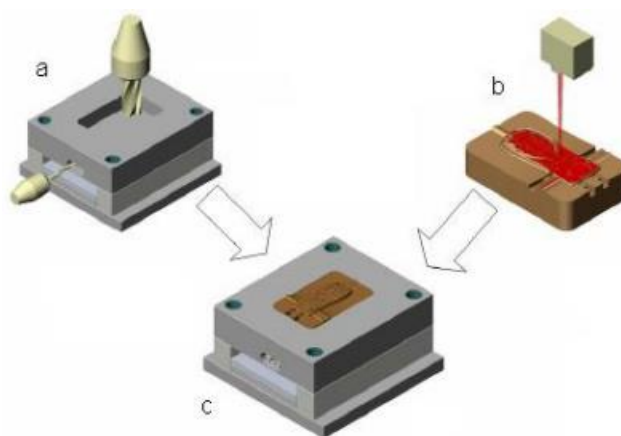


Figura 2 - Conceito de Molde Híbrido: (a) estrutura do molde fabricado convencionalmente; (b) inserto fabricado por adição de camadas e (c) molde com o inserto montado.

Fonte: Adaptado de Queirós (2005)

O ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno) é um polímero bastante utilizado pelas indústrias por ter boas propriedades, como a resistência mecânica. No processo de FDM o filamento de ABS é um dos materiais mais usado. Com uma boa resistência mecânica, resistência térmica e a facilidade de dar acabamento posterior.

Com isso, o objetivo do presente trabalho é a comparação das propriedades mecânicas de peças fabricadas por moldagem por injeção, onde foi utilizado duas cavidades: uma fabricada por usinagem CNC, com material de aço e outra cavidade fabricada por manufatura aditiva, pelo processo de FDM com material ABS. Após a obtenção das peças foram realizados o ensaio de tração para o conhecimento das propriedades mecânicas.

2. METODOLOGIA

Para a fabricação das cavidades, foi utilizado o projeto CAD 3D, conforme a Figura 3, para a usinagem CNC e manufatura por FDM.

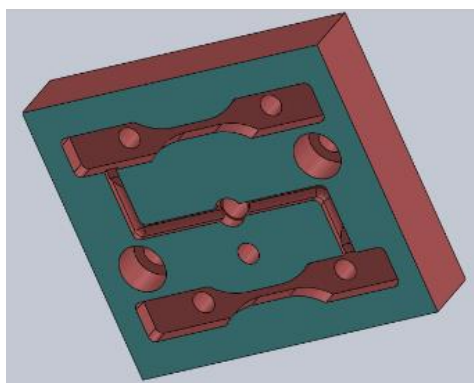


Figura 3 - Projeto CAD 3D da cavidade

Fonte: Os autores (2022)

A cavidade foi projetada para injetar duas peças por ciclo, onde a geometria da peça é um corpo de prova de tração tipo V conforme norma ASTM-D638. Para usinagem CNC foi utilizada uma fresadora vertical ROMI D600, comando Siemens, e o material da cavidade foi o aço SAE 1045. A fabricação da cavidade de ABS foi utilizado uma impressora 3D modelo Sethi S3, com 100% de preenchimento. A Figura 4 mostra as cavidades fabricadas para o presente estudo.

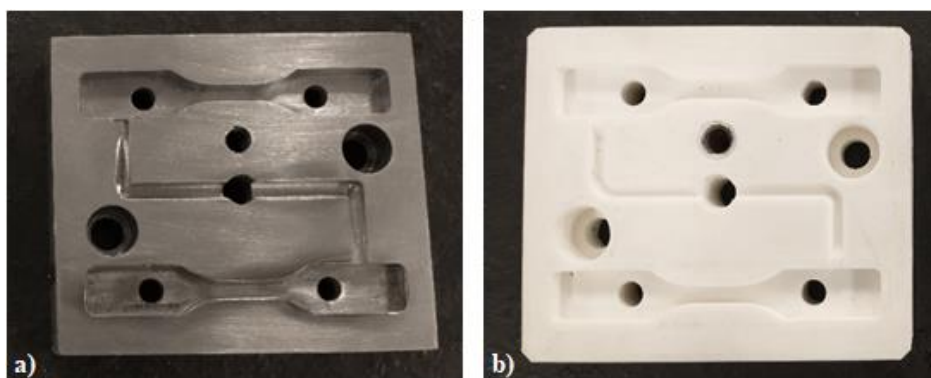


Figura 4 - Cavidades, a) de aço SAE 1045 e b) de ABS

Fonte: Os autores (2022)

Foi utilizado um porta-molde no conceito híbrido, onde foi trocado apenas as cavidades para a moldagem das peças. A Figura 5 mostra o ferramental utilizado no presente trabalho, onde foi realizado primeiro o processo com a cavidade em Aço e posteriormente a cavidade de ABS.

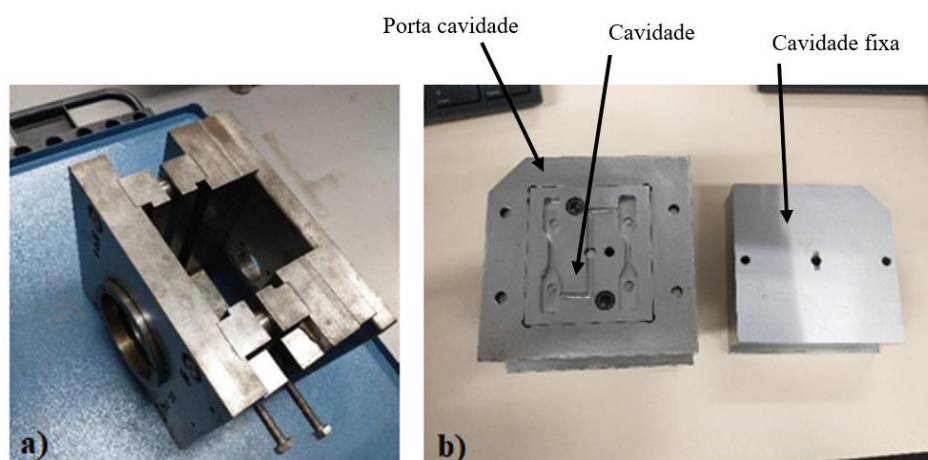


Figura 5 - Ferramental para moldagem por injeção, a) porta molde e b) cavidades com o inserto de aço ajustado

Fonte: Os autores (2022)

Na Figura 4b é apresentado o porta cavidade do molde, onde foram ajustado cada cavidade do presente trabalho (em aço e em ABS), e a cavidade fixa fabricada em aço SAE 1045 que foi utilizado para ambos os processos.

Para a realização do processo de moldagem por injeção, foi utilizado uma máquina injetora Romi EL 75, com força de fechamento de 75 toneladas e curso máximo de abertura de 360 milímetros. Na Tabela 1 é apresentado os parâmetros utilizados no processo.

Tabela 1 - Parâmetros para moldagem por injeção

Descrição dos parâmetros	Valores cavidade de SAE 1045	Valores cavidade de ABS
Temperatura de injeção	215 °C	215 °C
Volume de injeção	22 cm ³	22 cm ³
Pressão de injeção	800 bar	800 bar
Velocidade de injeção	0,84 cm ³ /s	0,84 cm ³ /s
Temperatura do molde	ambiente	ambiente
Pressão de recalque	0	0
Tempo de injeção	15 segundos	15 segundos
Tempo de recalque	2 segundos	2,36 segundos
Tempo de resfriamento	20 segundos	60 segundos

Para conhecer as propriedades mecânicas das peças, foi realizado o ensaio de tração em um equipamento modelo INSTRON 3366 (Figura 6), usando uma taxa de aplicação da carga de 10 mm/min.



Figura 6 - Máquina de ensaio de tração
Fonte: Os autores (2022)

3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Para a realização dos ensaios, os corpos de prova (CP) foram confeccionados conforme norma ASTM-D638. Na Tabela 2 são apresentados os dados obtidos no ensaio de tração, para as peças injetadas na cavidade de SAE 1045 e ABS.

Tabela 2 - Tensão de Escoamento (MPa)

Peça	Cavidade de SAE 1045	Cavidade de ABS
1	32,76	41,19
2	31,83	41,87
3	31,67	36,97
4	32,70	39,98
5	32,11	40,84
6	32,03	41,67
7	32,26	41,88
8	32,29	40,06
9	31,22	41,39
10	31,41	41,22
Média	32,03	40,71
Desvio	0,48	1,40

Como pode-se observar os resultados estão próximos em cada condição, onde na cavidade de SAE 1045 o desvio foi de 0,48 Mpa e na cavidade de ABS o desvio foi um pouco maior, de 1,40 Mpa. Comparando a média dos valores, na cavidade de ABS obteve peças com maior tensão comparada com as peças feitas na cavidade de SAE 1045, 40,71 Mpa e 32,03 Mpa respectivamente. A Figura 7 apresenta o diagrama de pontos.

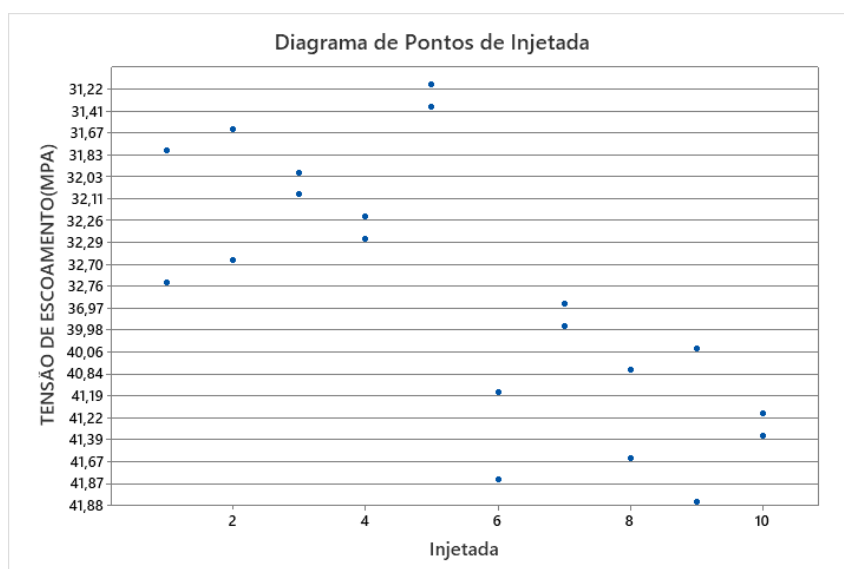


Figura 7 - Diagrama de pontos

Fonte: Os autores (2022)

No diagrama pode-se observar que os pontos sempre estão próximos em pares, podendo deduzir que esses pares são as duas peças injetadas no mesmo ciclo. Percebe-se também que as cavidades de SAE 1045 e ABS tem uma dispersão similar, porém a cavidade de aço apresenta pontos com menor tensão comparadas com os corpos de prova injetados na cavidade de ABS. A Figura 8 mostra o gráfico de valor individual e de amplitude móvel de tensão de escoamento para as peças injetadas na cavidade de SAE 1045.

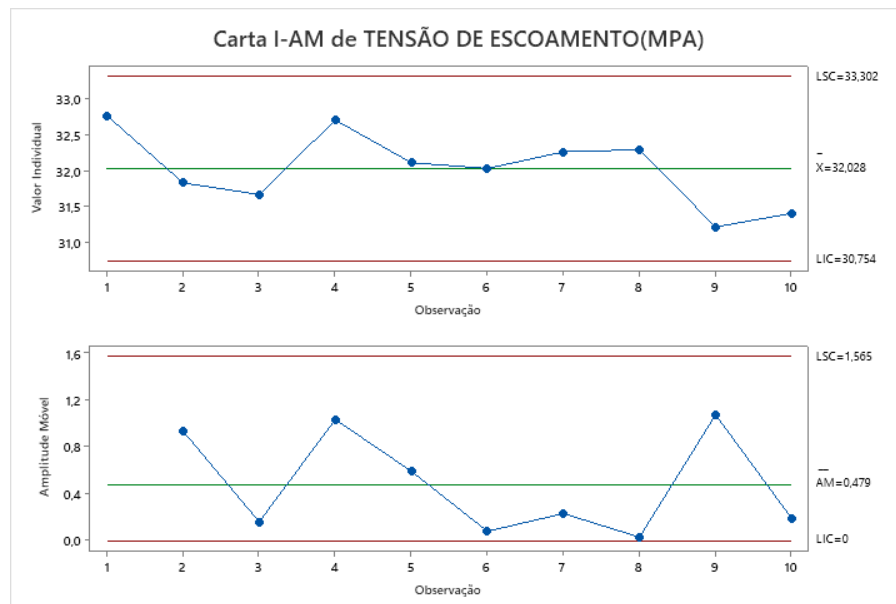


Figura 8 - Gráfico de tensão de escoamento cavidade de SAE 1045
Fonte: Autor (2022)

Para a cavidade de SAE 1045 a média foi de 32,028 MPa, obtendo valores constantes com uma amplitude que teve uma variação que ficou na média de 0,479 MPa. A Figura 9 mostra o gráfico de valor individual e de amplitude móvel de tensão de escoamento para as peças injetadas na cavidade de ABS.

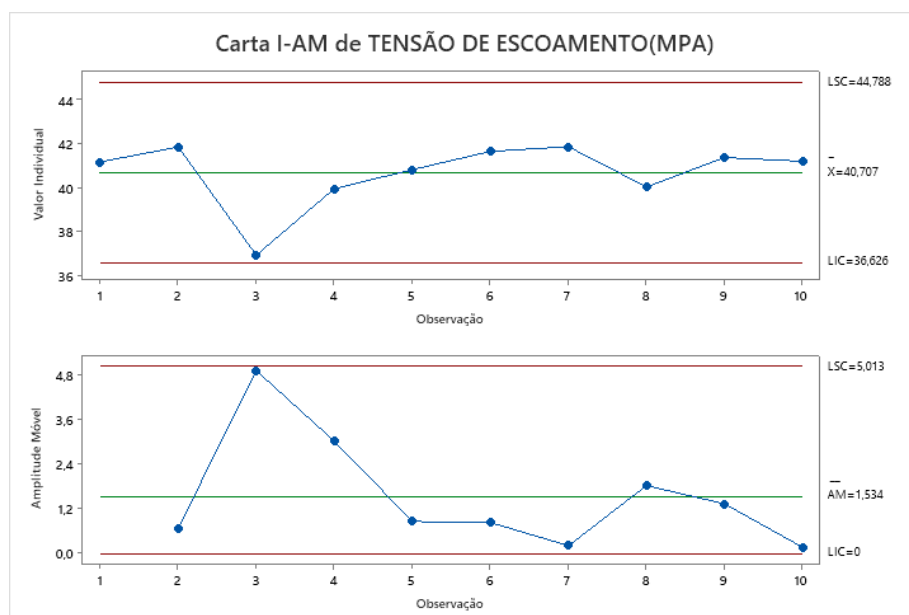


Figura 9 - Gráfico de tensão de escoamento cavidade de ABS
Fonte: Autor (2022)

Para a cavidade de ABS a média foi de 40,707 MPa e a amplitude apresentou uma variação que ficou na média de 1,534 MPa. Em um ponto a variação foi maior tanto na resistência como na amplitude.

A moldagem por injeção de polímeros em cavidades obtidas por meio do processo de fabricação por FDM, pode obter um resultado satisfatório e até mesmo superior, quando tratamos de propriedades mecânicas em relação a cavidades de moldes de injeção obtidas pelo processo de usinagem CNC.

Isso é relacionado possivelmente pela diferença de materiais e com isso diferente relação de troca térmica entre cavidade e peça no momento da injeção, como o material ABS retém a temperatura mais elevada por mais tempo isso garante uma melhor organização molecular com isso melhorando a cristalização e consequentemente a resistência à tração.

Além disso, no caso da fabricação de uma cavidade por FDM pode apresentar vantagens como tempo de fabricação e custo relacionado com a fabricação por usinagem CNC.

Com isso, o presente trabalho oferece uma grande contribuição para a otimização no processo de moldagem por injeção no conceito de molde híbrido, pois as peças fabricadas com a cavidade de ABS fabricadas pelo processo de FDM obtiveram resultados de tensão de escoamento superior as peças fabricadas pela cavidade de aço SAE 1045 fabricadas por usinagem CNC.

4. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Faculdade de Tecnologia SENAI Joinville pela infraestrutura disponibilizada para a realização do presente trabalho.

5. REFERÊNCIAS

- Bareta, D. R. Estudo comparativo e experimental de materiais aplicados a insertos macho de moldes de injeção dentro de conceito molde híbrido, 158p. Dissertação de Mestrado, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul. 2007.
- Harada, Júlio; UEKI, Marcelo M. Injeção de termoplásticos: produtividade com qualidade. 1ª ed. São Paulo: Artliber Editora, 2012.
- Martinho, Pedro Gonçalves; Bártolo, Paulo Jorge; Pouzada, António Sérgio. Hybrid moulds: effect of the moulding blocks on the morphology and dimensional properties. Rapid Prototyping Journal, [s.l.], v. 15, n. 1, p.71-82, 16 jan. 2009. Emerald
- Queirós, L. M. P. Projecto de moldes híbridos com auxílio de técnicas assistidas por computador, 125p. Tese de Mestrado, Universidade do Minho, Portugal. 2005.
- Volpato, N.; Ahrens, C. H.; Ferreira, C. V.; Petrush, G.; Carvalho, J.; Santos, J. R. L.; Silva, J. V. L. (2007). Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações. São Paulo: Edgard Blucher.

6. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

INVESTIGATION OF THE MECHANICAL TENSION RESISTANCE OF A SPECIMENS INJECTED IN STEEL AND ABS CAVITIES IN THE HYBRID MOLD CONCEPT

David Willian Barbosa, david_willian@estudante.sc.senai.br¹

Edimar Rodrigues, edimar_rodrigues@estudante.sc.senai.br¹

Ivan Ramires Gonçalves, ivan_r_goncalves@estudante.sc.senai.br¹

Anderson de Carvalho Fernandes, anderson.c.fernandes@edu.sc.senai.br¹

Bruna Zappelino, bruna.zappelino@edu.sc.senai.br¹

Angelo Reck Neto, angeloneto@edu.sc.senai.br¹

¹Faculdade de Tecnologia SENAI Joinville, Rua Arno Waldemar Döhler, 957 – Santo Antônio - 89219-510, Joinville

Abstract: Currently additive manufacturing, also known as 3D printing, has aroused interest in several sectors, an example is the industries that are seeking this technology for the manufacture of prototypes and also for functional parts. In parallel with this scenario, the use of injected polymer components increases every year in all segments. With this, the need to create faster manufacturing methods is interesting, since it reduces lead time and consequently makes companies more competitive. As a result, the hybrid mold concept has been gaining strength, as an alternative is to use additive manufacturing to manufacture cavities for injection molds. In this context, the objective of this work is to carry out a study on the mechanical behavior of injected parts in a cavity manufactured by CNC machining (traditional method) with a cavity made by additive manufacturing, validating the concept of hybrid mold. The manufactured cavity allows the injection of two parts per cycle and for the present work, 5 injection cycles were performed for each cavity, resulting in 10 specimens. After the tensile tests and analysis of the results, it was found that the parts injected into the ABS cavity obtained tensile strength 30% higher than the parts injected into the steel cavity, proving to be an alternative for the production of small batches of parts.

Keywords: additive manufacturing, 3d printing, Fusion and Deposition Modeling (FDM), hybrid mold.