

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO – Engenharia Mecânica
Disciplina MEC041 - Trabalho Final de Graduação II

**USO DE MATERIAIS COMPÓSITOS NA CONFECÇÃO DE
CAVIDADES DE MOLDES PARA INJEÇÃO PLÁSTICA**

Autor 1 – Eduardo Rauwers Vargas

91329@upf.br

Autor 2 – Prof. Dr. Charles Leonardo Israel

israel@upf.br

Comissão Examinadora – William Haupt

RESUMO

O maior custo e complexidade do processo de injeção plástica está na fabricação dos moldes, pois eles são compostos de várias partes e necessitam de precisão para que o produto fique com qualidade após injetado, além de terem um período longo de desenvolvimento. A fim de reduzir esse tempo, várias tecnologias vêm sendo desenvolvidas, entre elas o processo de fabricação por camadas, sendo um dos principais a impressão 3D. Esses processos são relativamente novos e existem poucas informações com relação ao seu uso na confecção de moldes de injeção. Buscando uma solução menos complexa de fabricar um molde, foi desenvolvido esta pesquisa em conjunto com uma empresa fabricante de produtos para implementos agrícolas, que utiliza a injeção plástica em seus projetos. Ao final do estudo, identificou-se que a cavidade impressa não suportou um ciclo de injeção danificando-se durante o processo.

Palavras-chave: injeção plástica; impressão 3D; materiais compósitos; moldes de injeção;

1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, o processo de injeção plástica compõe cerca de 31% dos processos produtivos utilizados na produção de transformados plásticos, devido a sua versatilidade e aplicabilidade em vários ramos industriais: construção civil, alimentos e bebidas, automóveis e autopeças, agricultura, eletrônicos, eletrodomésticos etc. No ano de 2012 tivemos uma produção de transformados plásticos representando em torno de R\$53,8 bilhões, utilizando cerca de 6,6 mil toneladas de material polimérico, sendo que um dos setores brasileiros que mais consomem produtos plásticos é o automotivo, consumindo 15% do total produzido. (MARTINS, A. 2014)

Com um cenário internacional cada dia mais globalizado, a rapidez na criação de novos produtos acaba se tornando um fator de extrema importância para as empresas se manterem competitivas. Sendo assim, é imprescindível, tanto para sobrevivência quanto para o crescimento de uma empresa, que seus produtos não somente possuam preços competitivos, mas também mantenham sua qualidade e velocidade de produção. Em se tratando do setor de componentes fabricados através da injeção plástica, para ser produzida a primeira peça, é necessário projetar e fabricar o molde, feito usualmente através da usinagem em aço ou alumínio. Sendo que em muitos casos, esta etapa não é realizada na mesma empresa que faz a injeção plástica, sendo este serviço terceirizado. As empresas de ferramentarias, que desenvolvem os moldes, acabam sendo pressionadas a desenvolver o molde completo, recebendo seu pagamento apenas após o mesmo ser aprovado, sendo feita a injeção de um lote pequeno de peças. (VOLPATO, N. 1999)

Projetar e desenvolver estes moldes, através de métodos convencionais, não somente é um processo caro, como longo. Com o objetivo de reduzir tempo e custo, estão sendo desenvolvidas novas tecnologias que envolvem processos de fabricação por adição de camadas para a confecção de ferramental rápido, visto que o tempo para desenvolver e fabricar um molde é longo, sendo em torno de duas a quatro semanas para molde simples, e de quatro a oito semanas para finalizar um molde mais complexo. Sabendo o quão competitivo está o mercado como o atual, isso pode se tornar um problema, e para contornar isto, começaram a ser criados processos de fabricação de ferramental rápido (*rapid tooling RT*). (WOHLERS, T. 2000)

Existem hoje uma grande variedade de técnicas e materiais para o desenvolvimento de ferramental rápido, podendo elas serem categorizadas em ferramentas diretas ou indiretas. São consideradas ferramentas indiretas, quando o produto da fabricação por camadas é um modelo que então será utilizado para a criação do molde através de outro processo. Já para as ferramentas diretas, o próprio molde final é produzido através de algum processo de adição de camadas. (EQUBAL, A. e KUMAR, A. 2015)

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Avaliação da utilização do processo de impressão 3D na confecção da cavidade do molde de injeção, utilizando-se do material compósito onyx.

1.1.2 Objetivos específicos

- Definir um tipo de corpo de prova a ser utilizado como padrão para os estudos;
- Imprimir a cavidade do molde em onyx;
- Realizar a injeção plástica dos corpos de prova no molde;
- Realizar testes no molde e nos corpos de prova.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Introdução

Este capítulo apresenta a revisão bibliográfica realizada para dar apoio ao entendimento dos conceitos envolvidos no trabalho. Será apresentado um breve conceito sobre moldes, fabricação por adição de camadas, materiais compósitos e impressão 3d.

2.2 Moldes para injeção plástica

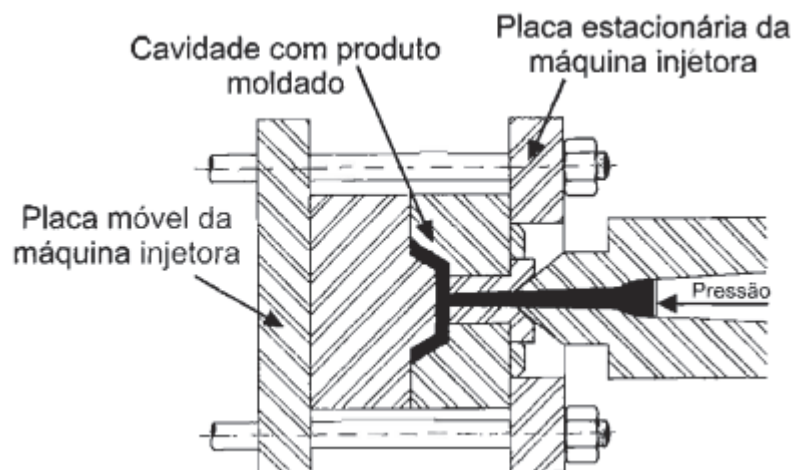
A injeção plástica é hoje um dos principais processos industriais para produção de peças em polímeros, sendo o princípio da injeção plástica, o uso de um polímero sólido, o qual será aquecido até sua temperatura de fusão, e então injetado numa cavidade presente dentro do molde, e ao se solidificar, o polímero toma a forma desta cavidade. (DIMLA, 2005).

Segundo Harada(2004):

O molde de injeção é uma unidade completa com condições de produzir peças moldadas. Suas cavidades possuem as formas e as dimensões da peça desejada. O molde é adaptado ao final da máquina de injeção e recebe, em sua cavidade, o material plástico fundido, introduzido por meio de pressão.

O molde em geral é constituído de duas partes, sendo elas uma parte que permanece fixa na máquina injetora, e outra parte móvel (Figura 1), podendo ser constituído de uma ou mais cavidades, estas que darão a forma final ao produto. (SILVA, 2009)

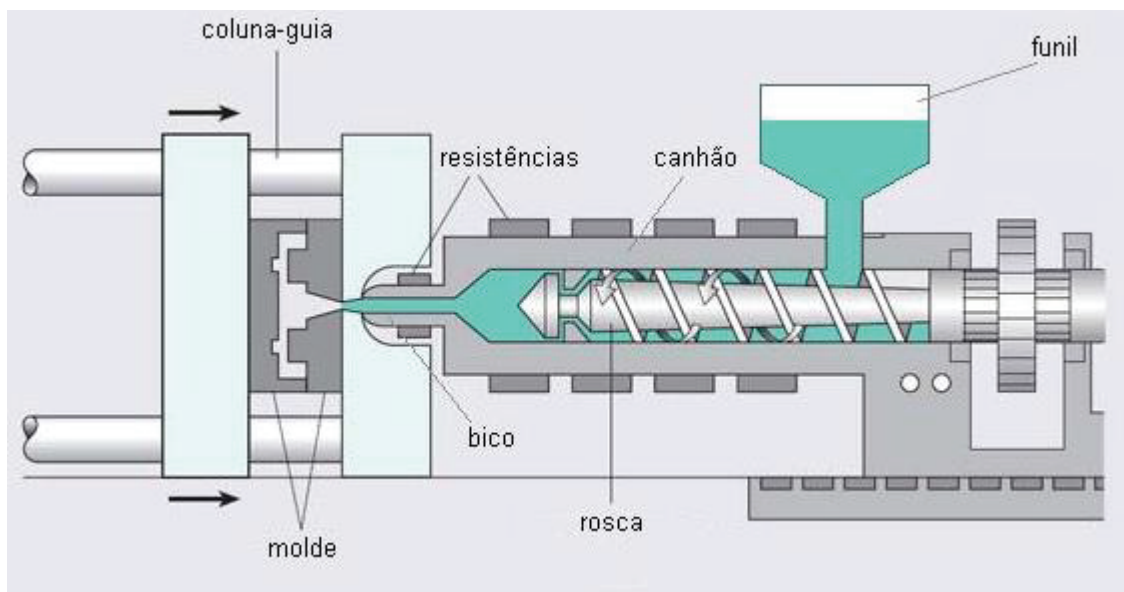
Figura 1 - Configuração do molde de injeção



Fonte: Harada, 2004.

Para ser utilizado, o molde necessita de uma máquina de injeção plástica, como representado na Figura 2. Primeiramente inicia-se o ciclo de fechamento do molde, juntando a parte móvel com a fixa, para então iniciar o preenchimento do canhão, com o material colocado no funil, seguindo para o avanço do pistão, injetando o material, fundido pelo aquecimento das resistências, para dentro do molde. A seguir começa fase de pressurização da peça, para evitar que surjam defeitos devido a contração do material. Após a pressurização, o tempo que decorre até que seja feita abertura do molde, é o tempo de arrefecimento, para que seja possível a remoção da peça sem qualquer problema. (Manual de injeção, 2019)

Figura 2 - Exemplo de injetora plástica

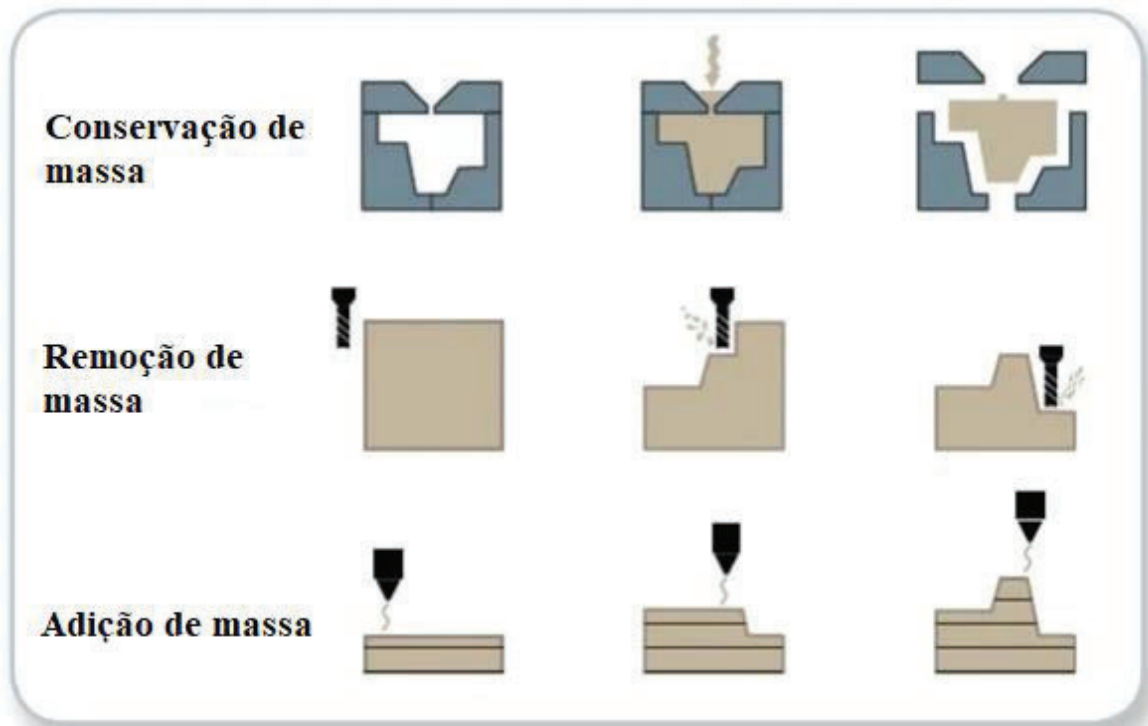


Fonte: Ferplastic, 2016.

2.3 Fabricação por adição de camadas

Para dar forma a algum material, as técnicas de fabricação geralmente se baseavam em remover ou conservar massa para alcançar a forma final, por exemplo, ao removermos massa de uma peça através dos processos de torneamento, corte a laser, fresamento etc. No caso dos processos que conservam a massa, podemos citar o forjamento, laminação, fundição. Porém atualmente, estamos nos deparando cada vez mais com novas técnicas de fabricação, nas quais a forma final do produto é alcançada pela adição de material e não pela remoção ou deformação, como podemos ver na Figura 3. Esta técnica é a base inicial dos processos de fabricação por camadas, inicialmente chamados de *Rapid Prototyping (RP)*, aonde pequenas camadas do material são adicionadas sucessivamente, como se fossem blocos sendo sobrepostos, até alcançarem a forma final. (KAI, C. C. e FAI, L. K. 1997)

Figura 3 - Técnicas de fabricação



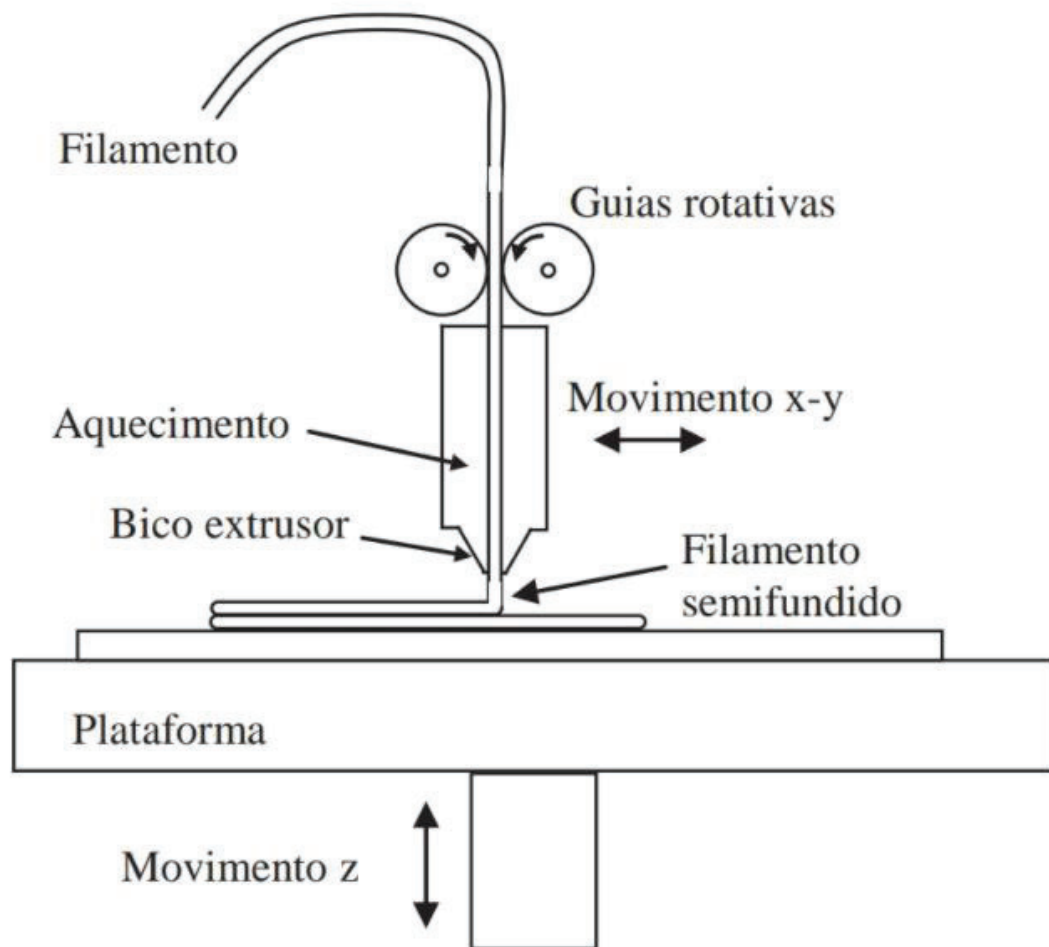
Fonte: (Adaptado) AZO Materials, 2019.

Os processos por adição, também conhecidos por *Layer Manufacturing* (LM), começaram a ser desenvolvidos na década de 80 com a estereolitografia, processo que utiliza o *laser* como agente transformador, o qual polimeriza um material do estado líquido para o sólido. Desde então várias outras ideias foram surgindo e sendo patenteadas, com cada tipo de processo possuindo suas próprias características e utilizando-se de diferentes materiais, sendo o mais conhecido e utilizado hoje, a impressão 3d. (LEVY, G.N., SCHINDEL, R. e KRUTH, J.P. 2003)

2.3.1 Processo de impressão 3d e materiais compósitos

A impressão 3d é um processo fundamentado na extrusão de filamentos de material termoplástico, onde o produto a ser produzido fica sobre uma plataforma, a qual se movimenta na vertical enquanto o cabeçote de extrusão, com temperatura controlada, se movimenta no plano horizontal, depositando o material continuamente, camada por camada, sobre a plataforma (Figura 4), repetindo o processo até que o objeto seja finalizado. (JACOBS, F. 1992)

Figura 4 - Esquema básico de impressão 3D



Fonte: LIRA V.L. 2021.

Este processo de fabricação por adição, utiliza-se de informações obtidas diretamente de um objeto 3D modelado em um sistema CAD, como mostrado na Figura 5, e sendo totalmente automatizado.

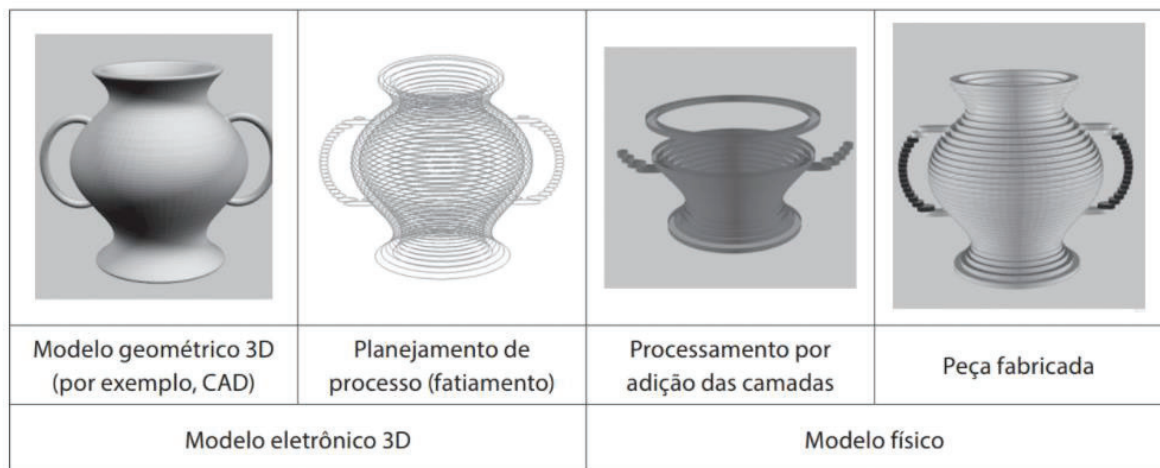
Segundo Volpato (2017):

O processo tem início com o modelo 3D da peça sendo “fatiado” eletronicamente, obtendo-se as “curvas de nível” 2D que definirão, em cada camada, onde será ou não adicionado material. A peça física é, então, gerada por meio do empilhamento (e da adesão) sequencial das camadas, iniciando na base até atingir o seu topo.

Ainda de acordo com Volpato (2017), em uma forma geral, o processo possui as seguintes etapas:

- Modelagem 3D, em um sistema CAD, da peça a ser produzida;
- Obtenção do modelo 3D em um formato específico para a impressão, como por exemplo os padrões STL (*StereoLithography*) ou AMF (*additive manufacturing format*);
- Planejamento do processo, definindo como será feito o fatiamento, estruturas de suporte e as estratégias de deposição do material;
- Fabricação da peça;
- O pós-processamento, o qual pode variar bastante dependendo da tecnologia utilizada, podendo envolver desde limpeza e acabamento, como etapas adicionais de processamento.

Figura 5 - Representação das principais etapas do processo de impressão 3D



Fonte: Volpato, N. 2017.

Impressoras 3d modernas tem a capacidade de imprimir componentes de materiais compósitos e criar materiais compósitos. Estes materiais consistem na utilização em conjunto de pelo menos dois materiais com propriedades diferentes, criando artificialmente um material homogêneo. Um dos componentes usualmente é bem rígido, funcionando como um reforço para o composto, sendo o segundo componente um material ligante, podendo ser metálico, cerâmico ou polímero. Realizando esta ligação entre materiais com diferentes propriedades, cria-se um material com propriedades melhoradas, chamado de material composto. As características da grande maioria dos materiais compostos são o baixo peso, alta resistência, tenacidade e resistência a fadiga. Alguns compósitos podem possuir uma melhor resistência à corrosão, maior resistência ao calor, melhor isolamento térmico, menor expansão térmica, menos deformação entre outras propriedades. Os materiais compósitos podem, portanto, ser definidos como um material gerado pela combinação macroscópica de dois componentes. Porém o ponto fraco destes materiais está no seu alto preço e dificuldade de reciclagem, além do fato de alguns materiais serem anisotrópicos, ou seja, suas propriedades mecânicas mudam dependendo da direção. (BURAGOHAIN M. K. 2017)

2.4 Ferramental rápido (*rapid tooling*)

Técnicas de ferramentas diretas, fazem uso de prototipagem rápida para criação do molde, sem necessidade de utilização de nenhum modelo no processo. Esta categoria inclui Sinterização a Laser (SLS), Sinterização Direta a Laser de Metal (DMLS), Modelagem por Deposição Fundida (FDM), Estereolitografia e Impressão 3D.

Dependendo do material, o ferramental rápido pode ser classificado em ferramentas leves e ferramentas duras. As ferramentas leves podem ser consideradas as feitas de materiais mais maleáveis e fáceis de processar do que o aço, como por exemplo, resinas plásticas, ligas de baixo ponto de fusão e alumínio, já as ferramentas duras seriam as de aço.

As propriedades mecânicas e térmicas das ferramentas leves variam bastante se comparadas com as de aço, e afetam a qualidade e a longevidade do produto, sendo usualmente utilizadas para fabricações em pequena escala ou protótipos.

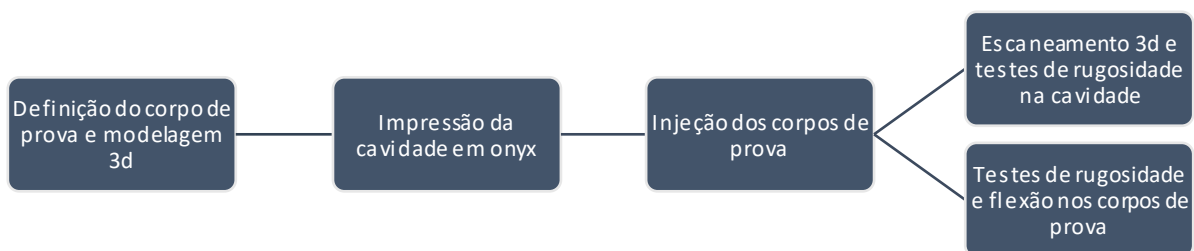
Porém, estudos realizados sobre as propriedades de peças injetadas em moldes fabricados utilizando-se a Sinterização a Laser (SLS), quando comparadas com moldes usinados em aço, mostram que a força e rigidez das peças injetadas em policarbonato com fibra de vidro, ficam entre 94 e 98 por cento dos valores obtidos pelas peças injetadas nos moldes de aço, sendo muitas vezes encontradas valores de flexão e alongamento maiores em peças injetadas em moldes SLS, sendo isso atribuído principalmente às tensões residuais mais baixas, devido à menor transferência de calor entre o material injetado e o molde. (HARRIS, R.A. 2004),

3 METODOLOGIA

Neste capítulo, será apresentado o desenvolvimento deste trabalho, seu planejamento e definições, e a metodologia utilizada para avançarmos no estudo, com base em normas e estudos prévios, buscando uma resposta concreta sobre a viabilidade do uso de impressão 3d para fabricação de cavidades.

Na Figura 6 podemos ver as etapas subsequentes que serão apresentadas e detalhadas.

Figura 6 - Fluxograma de etapas

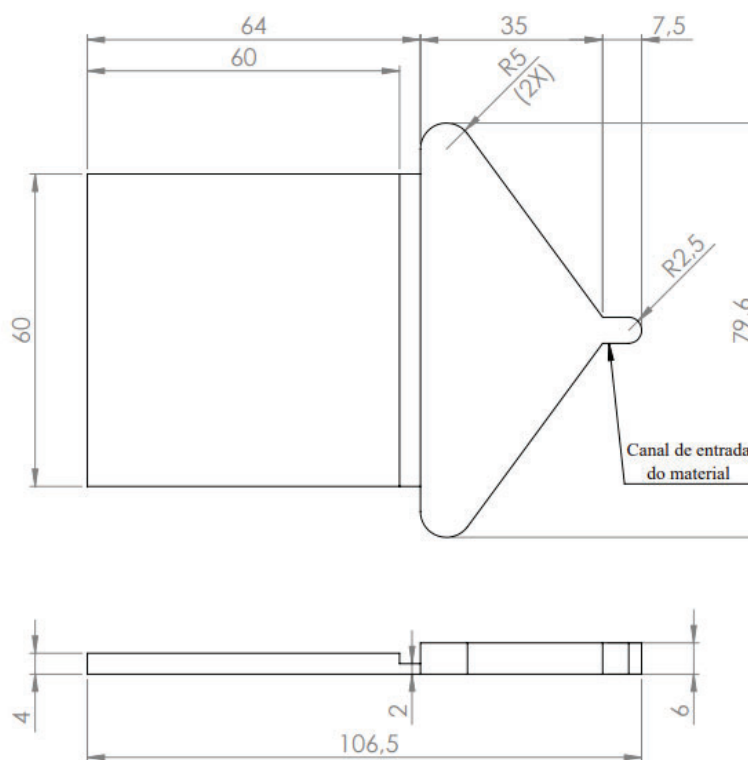


Fonte: Do Autor, 2022

3.1 Definição do corpo de prova para os testes de injeção

Verificando a norma ASTM D 955, a qual designa os métodos para medição na retração das dimensões de termoplásticos, o corpo de prova utilizado pela norma foi utilizado como base para o CP deste estudo, sendo criado um modelo com as dimensões coerentes que possibilitassem a injeção posterior (Figura 7).

Figura 7 - Desenho em 2D do Corpo de Prova (Norma ASTM D955)

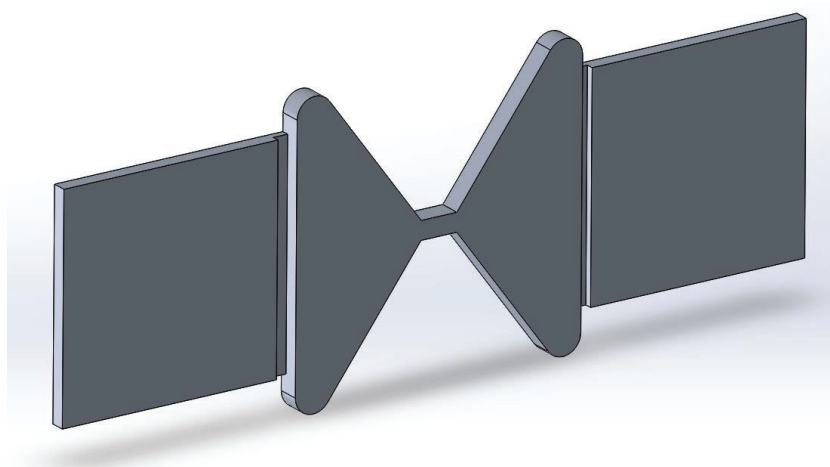


Fonte: Do Autor

3.2 Modelo 3D dos corpos de prova

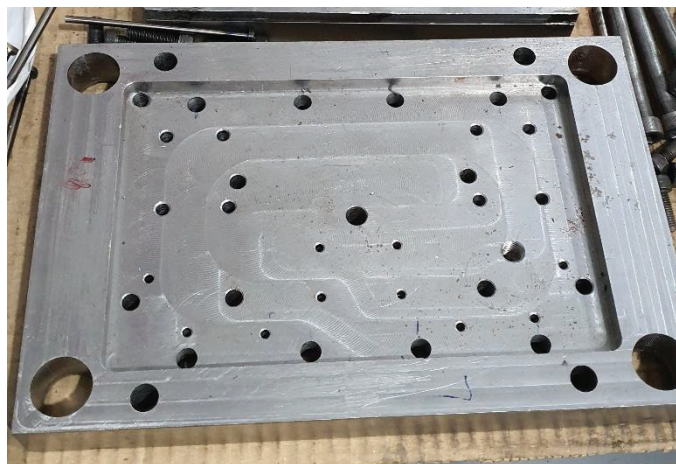
Para fazer um aproveitamento melhor da máquina injetora, foi decidido modelar dois CPs em conjunto (Figura 8), já que o porta-moldes (Figura 9) suporta a dimensões dos dois, um ao lado do outro.

Figura 8 - Desenho 3D do Corpo de Prova



Fonte: Do Autor, 2022

Figura 9 - Porta Molde

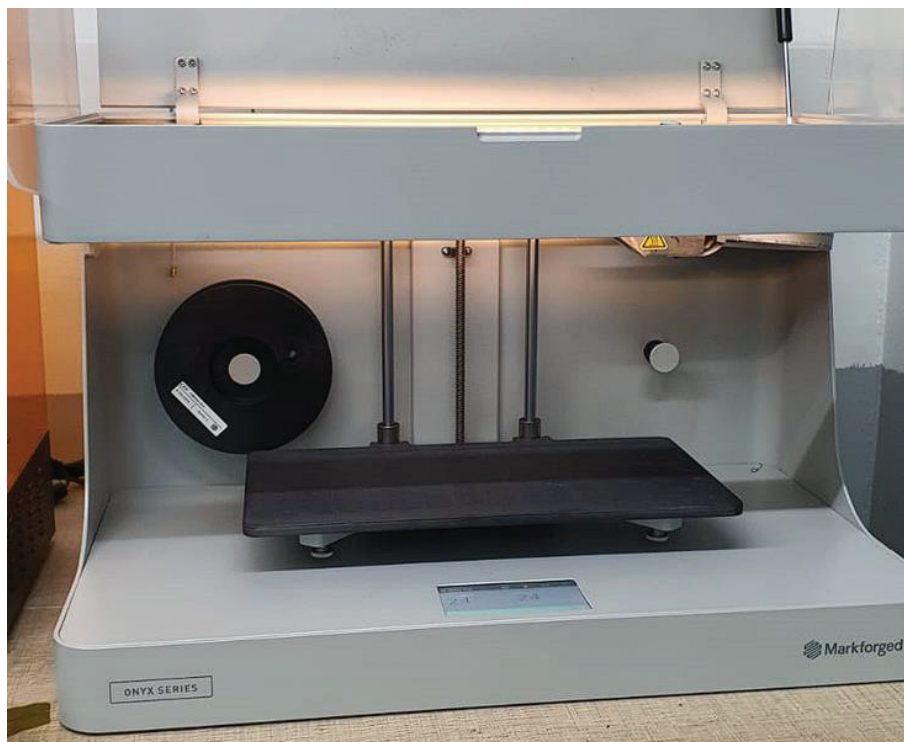


Fonte: Do Autor, 2022

3.3 Impressão da cavidade em Onyx

A impressora 3d que será utilizada no estudo é um modelo Onyx Pro (Figura 10), da fabricante Markforged, sendo este modelo capaz de trabalhar com materiais compósitos, utilizando um sistema de extrusão duplo: um que extruda o material base, neste caso um composto de nylon, e um segundo que trabalha com a fibra de carbono, formando assim o material compósito Onyx, sendo este até 1,4 vezes mais resistente que plásticos tradicionais utilizados em impressões 3D.

Figura 10 - Impressora Onyx Pro

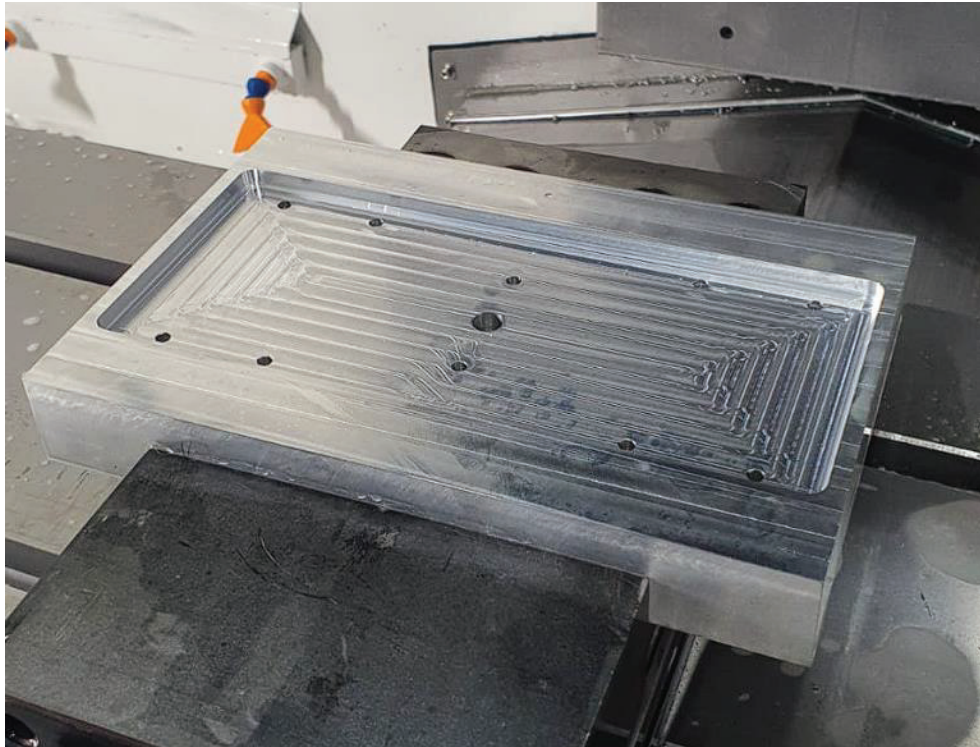


Fonte: Do Autor, 2022.

Visando facilitar a produção do molde em Onyx, optou-se por utilizar como base para a cavidade, duas placas em alumínio, diminuindo assim a quantidade necessária de material usado para imprimir a cavidade, e reduzindo o tempo de fabricação, visto que um bloco maciço pode levar horas para ser fabricado na impressora 3D, e caso seja necessário fabricar outro, o custo também ficaria muito elevado.

Um destes blocos foi então usinado, criando um rebaixo no seu centro, em formato retangular, a fim de servir como a base para a cavidade impressa, para que ela seja encaixada dentro deste rebaixo, como representado na Figura 11. Já o segundo bloco servirá somente como a base lisa do molde, realizando o fechamento contra a cavidade, visto que o CP que será injetado possui um dos seus lados completamente liso.

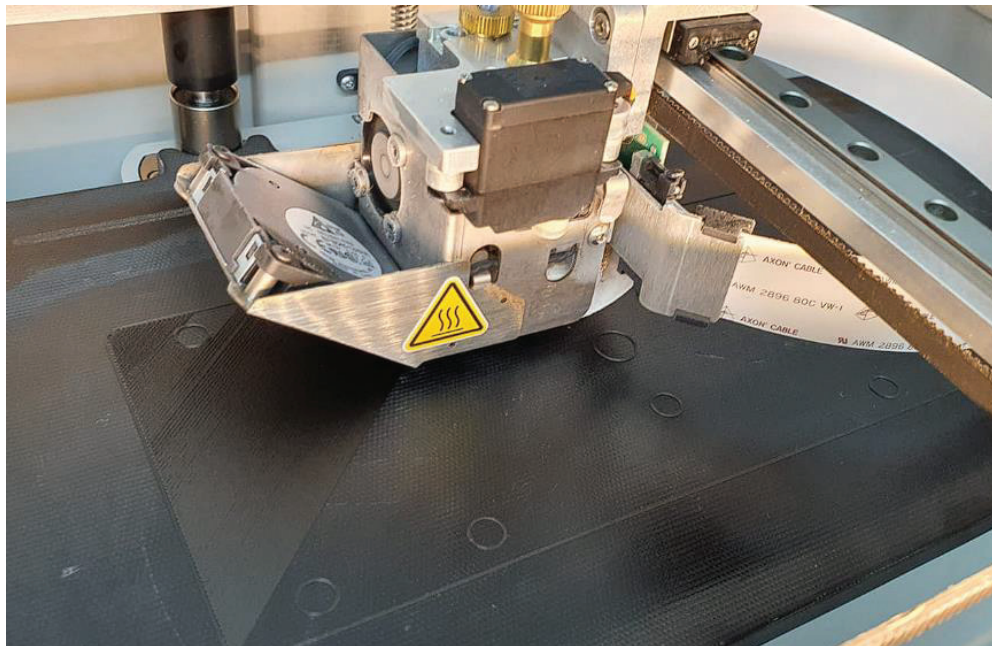
Figura 11 - Placa de alumínio usinada



Fonte: Do autor 2022

A próxima etapa foi a impressão da cavidade, na impressora 3D, utilizando-se do material Onyx, como demonstrado na Figura 12.

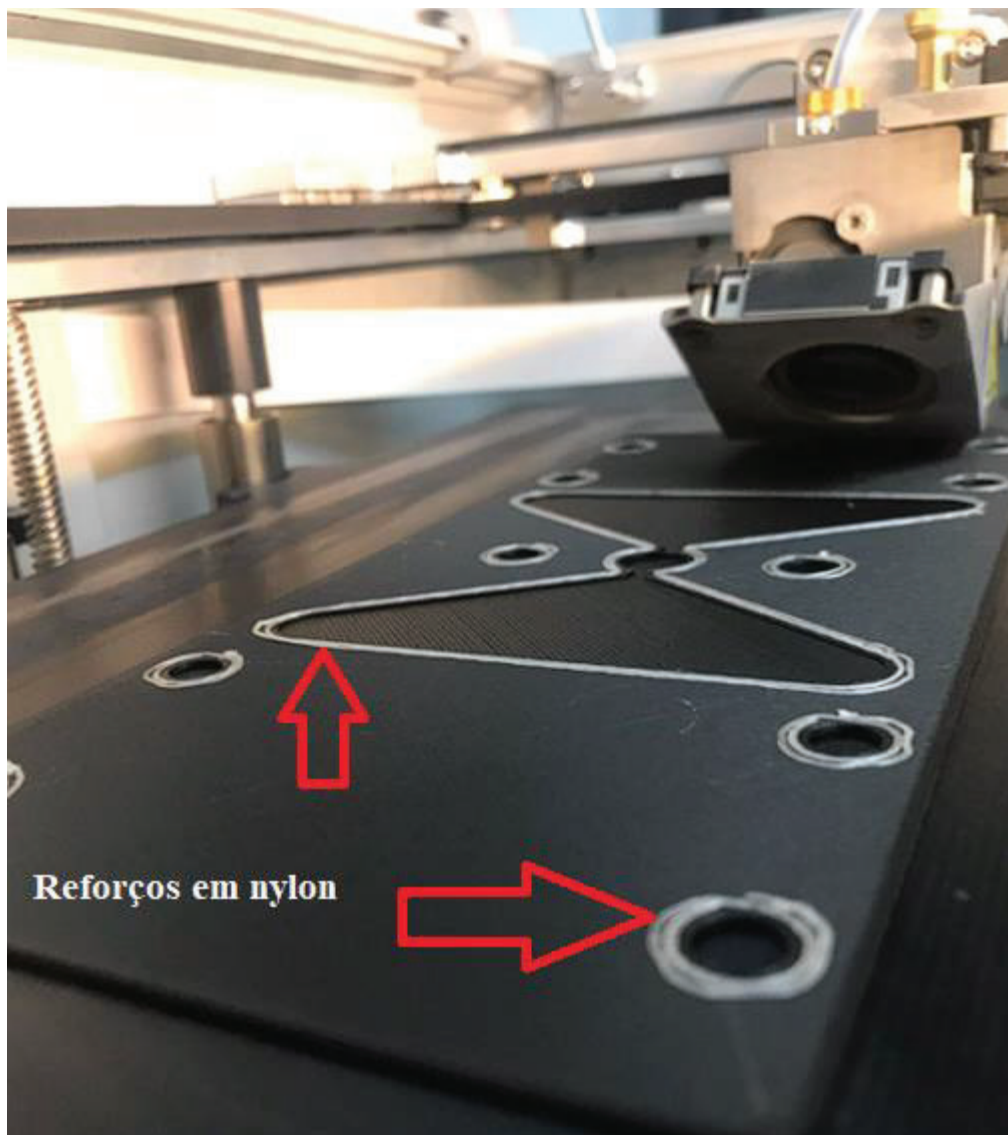
Figura 12 – Início da impressão da cavidade



Fonte: Do autor 2022

A fim de aumentar a resistência da cavidade, foram adicionados reforços em nylon (Figura 13), principalmente ao redor dos furos, quais serão utilizados para fixação da cavidade dentro do bloco de alumínio usinado.

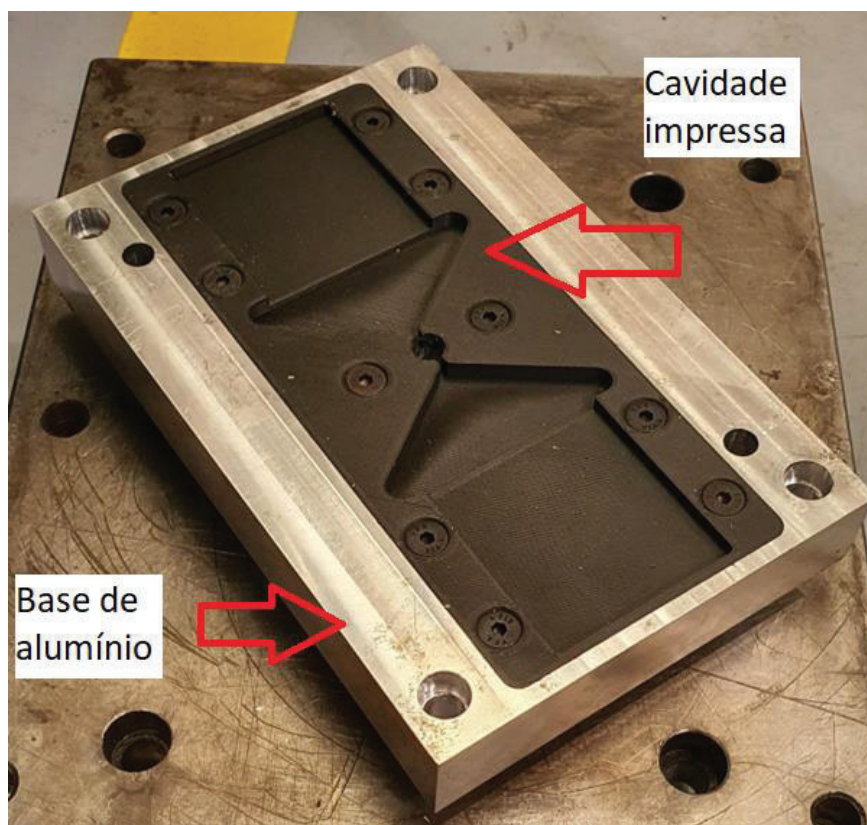
Figura 13 – Adição de reforços em nylon



Fonte: Do autor 2022

O tempo total de impressão ficou em torno de 10 horas, e o resultado pode ser visto abaixo na Figura 14, com a cavidade impressa já fixada ao bloco de alumínio, por 10 parafusos allen de cabeça cônica.

Figura 14 – Cavidade impressa e fixada ao bloco

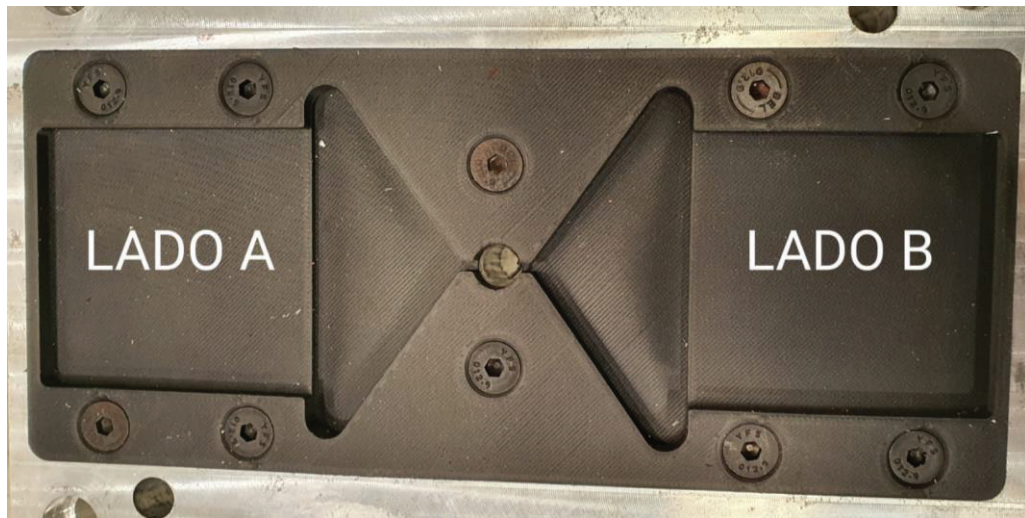


Fonte: Do autor 2022

3.4 Medição de rugosidade na cavidade

Foram então realizados testes de rugosidade na cavidade, para serem comparados com os resultados dos testes realizados posteriores à injeção dos corpos de prova. Foram tiradas quatro medidas de rugosidade, duas em cada lado da cavidade, como demonstrado na Figura 15, sendo os resultados representados na tabela 1.

Figura 15 – Posições dos testes de rugosidade



Fonte: Do autor 2022

Tabela 1 – Resultados teste de rugosidade

Rugosidade(μm)	Lado A	Lado B
1	5,106	6,547
2	5,745	6,856

Fonte: Do autor 2022

3.5 Injeção dos corpos de prova

Com os dados de rugosidade em mãos, o bloco usinado e a cavidade em Onyx impressa e já fixada, partiu-se para a injeção dos corpos de prova, que foram realizados na injetora Romi Pratica 170 (Figura 16).

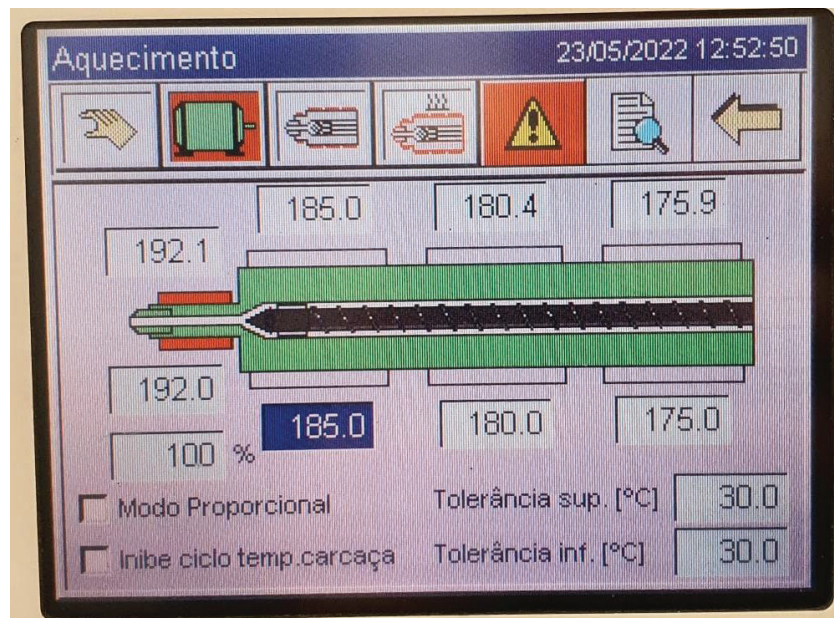
Figura 16 - Injetora Romi



Fonte: Do Autor, 2022

A máquina injetora foi programada com velocidade de injeção variando entre 30 e 10 cm^3/s , e com temperaturas de aquecimento no início do canhão de injeção de 175°C , e na saída do bico injetor com temperatura de 192°C , como visto na Figura 17.

Figura 17 – Programação de temperatura da injeção

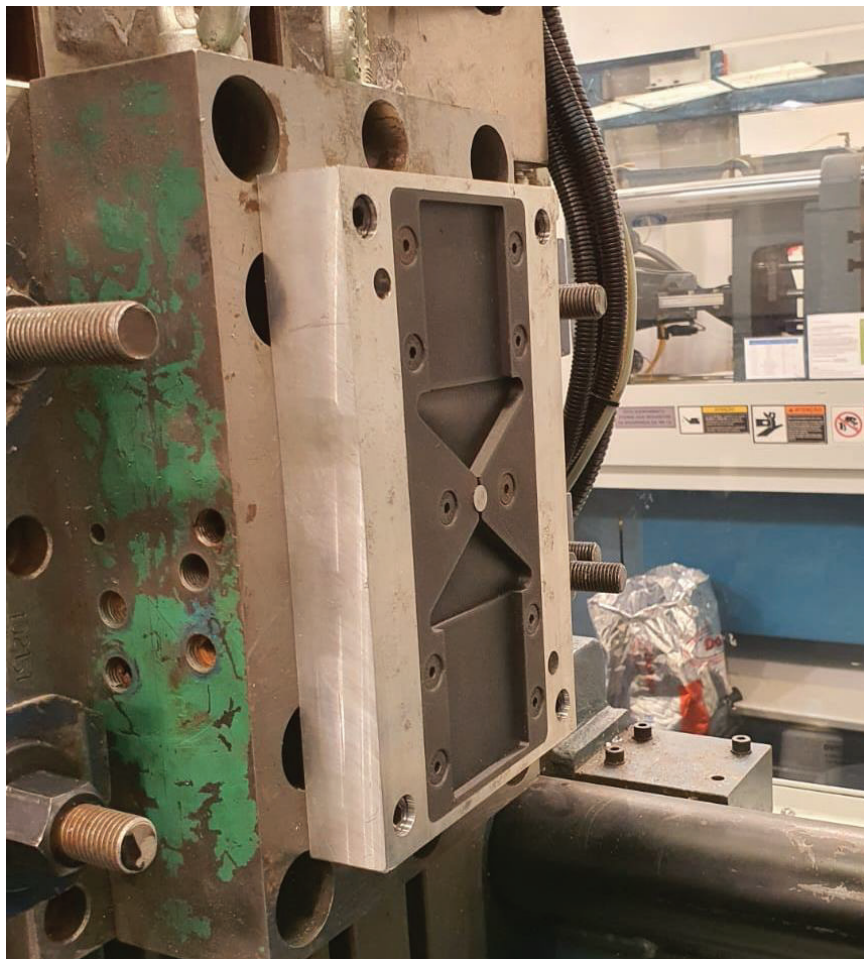


Fonte: Do Autor, 2022

O material escolhido para a injeção foi uma mistura de polipropileno com 30% de fibra, escolhido por ser um material com temperatura de fusão baixa, em torno de 160°C, e para adicionar uma maior resistência, foi feita uma adição de 2% de um composto de polipropileno com grafeno, da empresa Masterbatch. A mistura foi então pré-aquecida na máquina à uma temperatura de 80°C.

Iniciou-se então a montagem do porta-molde na injetora, seguido da fixação do bloco de alumínio e a cavidade em Onyx no porta-molde. (Figura 18)

Figura 18 – Molde e cavidade posicionados na injetora



Fonte: Do Autor, 2022

Terminada a montagem, com a máquina já programada e a mistura de polipropileno e grafeno já pré aquecidas, deu-se inicio ao primeiro ciclo de injeção. A máquina estava configurada para aguardar 40 segundos para resfriamento da peça dentro do molde, totalizando 80 segundos de ciclo de injeção, porém ao término do ciclo, e abertura do molde, notou-se que a peça injetada não havia saído de dentro da cavidade, e ao analisarmos mais de perto, percebeu-se que a cavidade acabou não suportando a pressão de injeção, estufando e danificando tanto o corpo de prova quanto a ela mesma. (Figura 19)

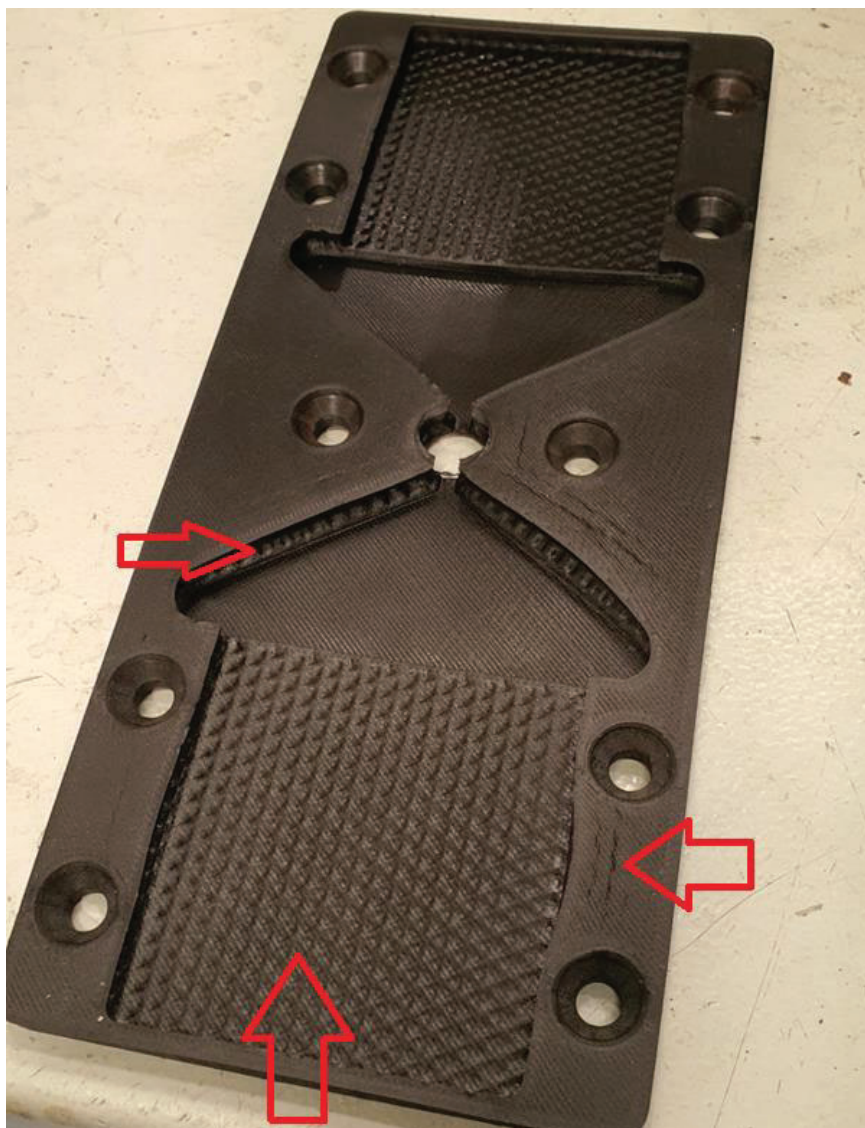
Figura 19 – Abertura do molde pós injeção



Fonte: Do Autor, 2022

Ao retirarmos os corpos de prova de dentro do molde, ficou mais claro o problema, sendo possível identificar os danos tanto à cavidade, quanto as peças injetadas, ficando bastante enunciadas as marcas de deformação, que seguiram as linhas de impressão, colapsando entre os espaços não preenchidos, como identificados na Figura 20.

Figura 20 – Cavity danificada pós ciclo de injeção



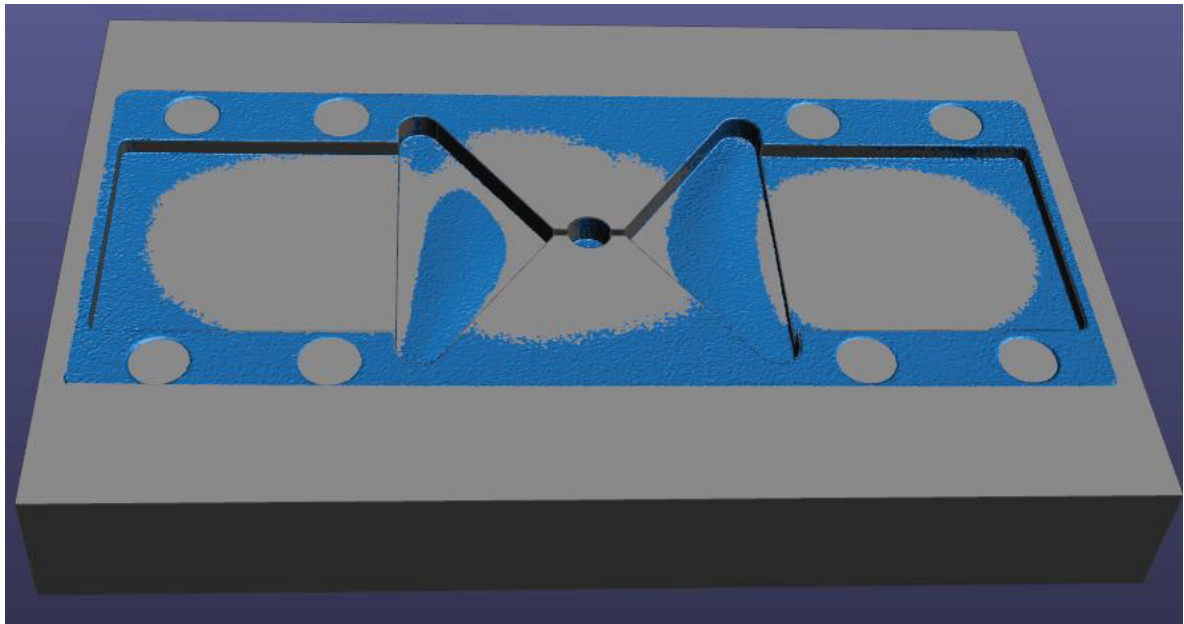
Fonte: Do Autor, 2022

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.2 Escaneamento 3D da cavidade

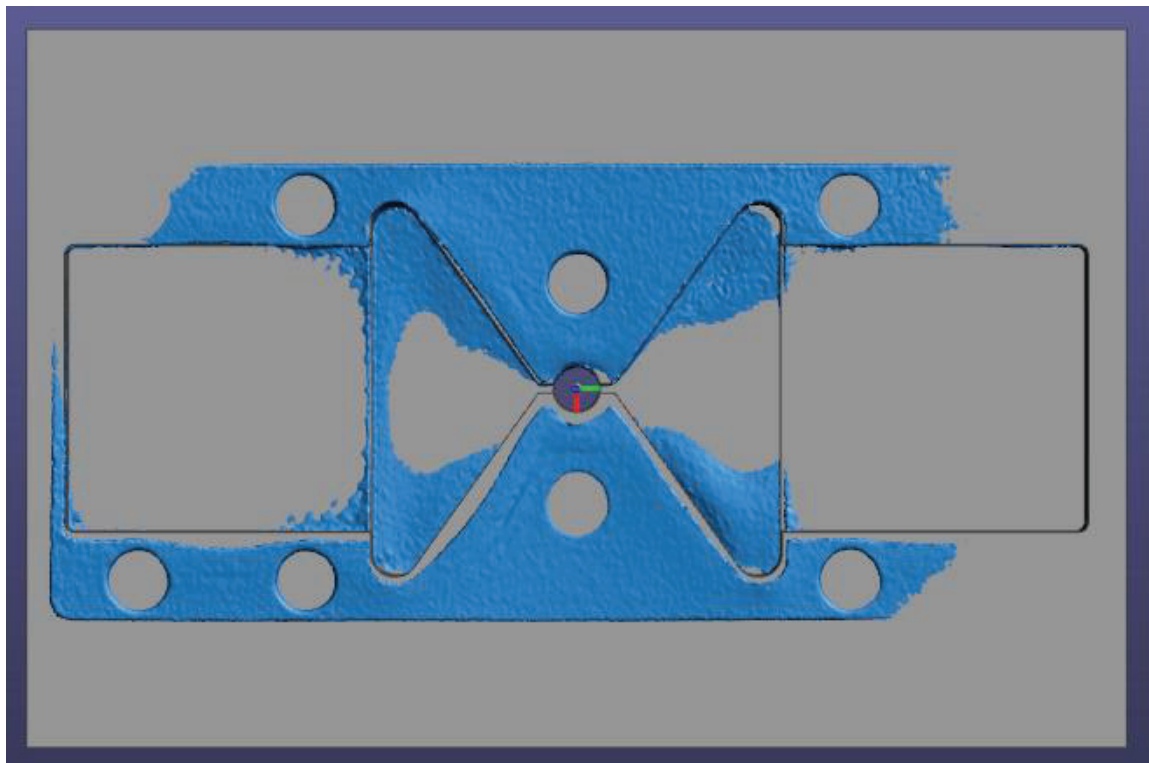
A análise da cavidade no pré e pós injeção, era um dos resultados que se buscava, portanto foi realizado o escaneamento da cavidade, antes do ciclo de injeção e após, a fim de comparar os efeitos que os ciclos causariam sobre a ela. Sendo primeiramente comparado o escaneamento 3D da cavidade pré-injeção com o modelo em CAD (Figura 21), e posteriormente ao ciclo de injeção, feito outro escaneamento, tendo assim uma segunda sobreposição, da cavidade pós-injeção comparada com o modelo em CAD. (Figura 22)

Figura 21 – Sobreposição cavidade pré-injeção



Fonte: Do Autor, 2022

Figura 22 – Sobreposição cavidade pós-injeção

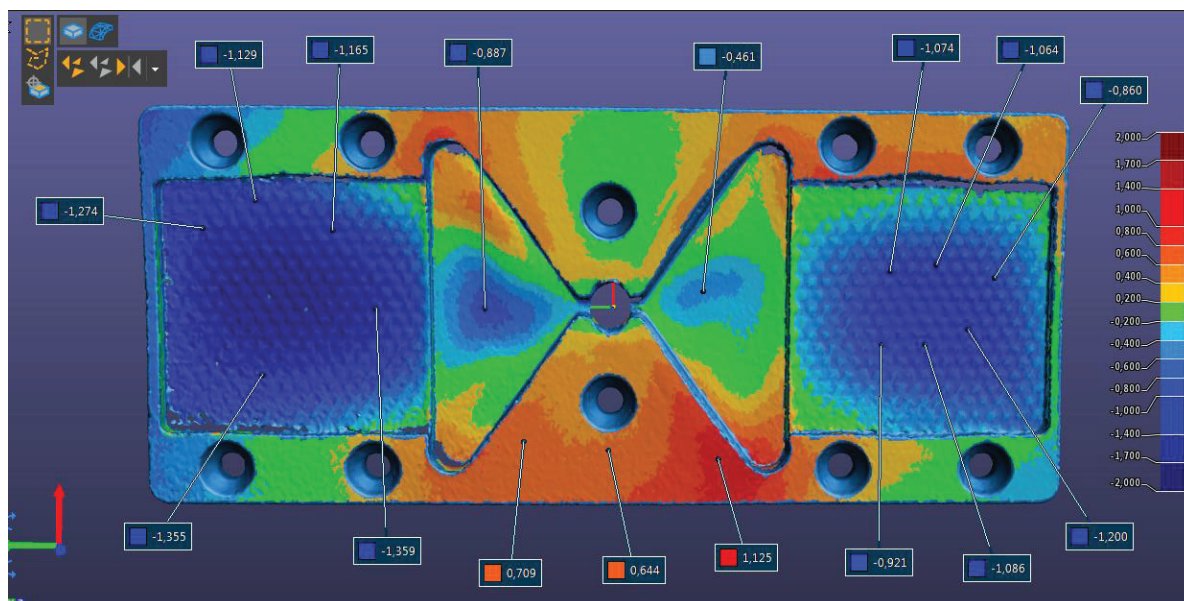


Fonte: Do Autor, 2022

Após isso, foi gerado um mapa de cores, indicando os locais com maiores deformações, comparando com o modelo em CAD da cavidade pré-injeção (Figura 23), a qual teve um pequeno abaulamento durante a impressão, na sua parte mais fina, chegando a uma variação de 0,669mm, mas que não afetaria a fabricação do corpo de prova, visto que a pressão de injeção

Figura 23 – Mapa de cores da cavidade pré-injeção

Figura 24 – Mapa de cores da cavidade pós-injeção



Fonte: Do Autor, 2022

4.3 Análise de rugosidade da cavidade

Pelo fato de a cavidade ter tido deformações de mais de 1,3mm nos locais onde foram realizados os testes posteriores de rugosidade, tornou-se inviável um novo teste de rugosidade para efeito de comparação.

4.4 Análise de rugosidade e de flexão do corpo de prova

Como a cavidade não suportou os esforços de injeção, os corpos de prova foram danificados, como pode ser visto na Figura 25, inviabilizando a realização de um teste de rugosidade ou flexão.

Figura 25 – Corpo de prova danificado



Fonte: Do Autor, 2022

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho demonstrou um pouco de como é feita a produção de um molde, e quais as dificuldades que uma empresa do ramo tem para desenvolvê-lo, assim como algumas tecnologias que surgiram e que podem ajudar nessas dificuldades.

Os moldes impressos podem ser uma grande alternativa aos moldes tradicionais produzidos em aço ou alumínio, principalmente quando uma empresa necessita de rapidez na produção de pequenos lotes de peças injetadas, podendo através dele produzir um molde protótipo e fabricar esses lotes rapidamente.

Porém, mesmo sabendo do potencial que as novas tecnologias de impressão 3D possuem hoje, os materiais compósitos como o Onyx são muito recentes e pouco estudados no geral, em especial quanto à sua utilização na fabricação de cavidades para injeção.

A partir desse contexto, foi desenvolvido uma cavidade impressa no material Onyx, e seguido uma metodologia para realizar o teste dela em uma máquina de injeção, buscando reduzir custos, e trabalhando de acordo com as limitações de tempo e cronograma da empresa.

Infelizmente a cavidade impressa acabou não suportando mais que um ciclo de injeção, possivelmente por ter sido impressa utilizando um preenchimento em forma de favo de mel, método que acabou não garantindo solidez suficiente à cavidade, acabando esta por deformar, inutilizando os corpos de prova.

É possível que alterando a forma de impressão, utilizando diferentes ângulos de inserção das fibras ou realizando uma impressão maciça, que elevaria bastante o custo e o tempo de impressão, ela consiga suportar mais ciclos de injeção.

REFERÊNCIAS

BURAGOHAIN M. K. Composite structures. CRC Press, Boca Raton, 731, 2017.

Classificação do molde de injeção. Moldes Injeção Plásticos, 2021. Disponível em: < <http://moldesinjecaoplasticos.com.br/classificacao-do-molde-de-injecao/> >. Acesso em: 31 de out. de 2021.

DIMLA, E. e CAMILOTTO, M. Design and optimization of conformal cooling channels in injection moulding tools. Italy 2005.

EQUBAL, A. e KUMAR, A. Rapid tooling: a major shift in tooling practice. Journal of Manufacturing and Industrial Engineering, Vol. 14, 2015.

Fiber Reinforcement Strategies, 2021. Disponível em: < <https://markforged.com/resources/learn/design-for-additive-manufacturing-plastics->

[composites/3d-printing-strategies-for-composites/fiber-reinforcement-strategies](#) >. Acesso em: 30 de out. de 2021.

HARADA, J. Moldes para injeção de termoplásticos: projetos e princípios básicos. São Paulo: ArtLiber, 2004. 308 p.

HARRIS, R.A., The structure of parts produced by stereolithography injection mould tools and the effect on part shrinkage. International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 44, 2004.

How Can 3D Optical Profiling Optimize Additive Manufacturing Processes? AZO Materials, 2019. Disponível em: < <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=17901> >. Acesso em: 31 de out. de 2021.

JACOBS, F. Rapid prototyping & manufacturing: fundamentals of stereolithography, Society of Manufacturing Engineers, Michigan, USA, 1992.

KAI, C. C. e FAI, L. K. Rapid prototyping - principles and applications in manufacturing. John Wiley & Sons, Singapore, 1997

LEVY, G.N., SCHINDEL, R. e KRUTH, J.P. Rapid manufacturing and rapid tooling with layer manufacturing (LM) technologies, state of the art and future perspectives, CIRP Annals-Manufacturing Technology, Vol. 52, 2003.

LIRA, V. M. Processos de fabricação por impressão 3D: Tecnologia, equipamentos, estudo de caso e projeto de impressora 3D. Editora Blucher, 2021

Manual de injeção. Innova, 2019. Disponível em: < <https://innova.com.br/wp-content/uploads/2019/06/manual-de-injecao.pdf> >. Acesso em: 25 de out. de 2021.

MARTINS, M. Indústria de transformação de plásticos. Ano VIII, N.º 02, agosto de 2014.

O processo de moldagem por injeção. Ferplastic, 2016. Disponível em: < <https://ferplastic.wordpress.com/2016/06/29/o-processo-de-moldagem-por-injecao/> >. Acesso em: 31 de out. de 2021.

Onyx Pro. Markforged, 2021. Disponível em: < <https://markforged.com/product/f-pr-4012/> >. Acesso em: 29 de out. de 2021.

SILVA, S. L. Sistemática para o Projeto do Sistema de Refrigeração de Moldes para Injeção de Polímeros. 2009. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Florianópolis, 2009.

VOLPATO, N. Manufatura aditiva; Tecnologias e Aplicações da Impressão 3D. Editora Blucher, 2017.

VOLPATO, N. Prototipagem rápida e ferramental rápido no processo de desenvolvimento de produto. Máquinas e Metais, Aranda Editora Técnica Ltda., São Paulo-SP, Brasil, 1999.

WOHLERS, T. Rapid Prototyping and Tooling – State of the Industry –2000. Worldwide Progress Report, Wohlers Associates Inc., 2000.