

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA

LUCAS FURTADO DAMASCENO

DESEMPENHO DE INSERTOS DE PETG EM MOLDES HÍBRIDOS DE INJEÇÃO DE
PEÇAS EM POLIPROPILENO

Joinville

2023

LUCAS FURTADO DAMASCENO

DESEMPENHO DE INSERTOS DE PETG EM MOLDES HÍBRIDOS DE INJEÇÃO DE
PEÇAS EM POLIPROPILENO

Trabalho apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Automotiva, no Centro Tecnológico de Joinville, da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Dr. Carlos Maurício Sacchelli

Joinville

2023

LUCAS FURTADO DAMASCENO

DESEMPENHO DE INSERTOS DE PETG EM MOLDES HÍBRIDOS DE INJEÇÃO DE
PEÇAS EM POLIPROPILENO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi
julgado adequado para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Automotiva, no
Centro Tecnológico de Joinville, da
Universidade Federal de Santa Catarina.

Joinville (SC), 27 de Junho de 2023.

Banca Examinadora:

Prof. Carlos Maurício Sacchelli, Dr.
Orientador(a)/Presidente

Prof. Wagner Maurício Pachekoski, Dr.
Membro(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Ecio José Molinari, Me.
Membro(a)
3DBio Pesquisa e Desenvolvimento Científico Ltda

AGRADECIMENTOS

No decorrer de toda a graduação passei por vários desafios até esta última etapa em especial, quero agradecer a todos que de alguma forma prestaram apoio e ajuda nesta jornada.

Em especial quero agradecer aos meus pais Wilson e Katicilene, que deram todo o suporte, motivação e amor a todo o tempo.

Aos meus irmãos Rafael e Kathyane, pelo apoio e ajuda em todas as situações, dividi moradia com eles e agradeço a todos os momentos passados.

Ao meu amigo Tiago Cieslinsky, que hoje divido moradia e prestou um grande apoio nesta jornada.

E a toda a família Triplo X, que estiveram presentes diariamente trazendo momentos únicos passados na graduação.

RESUMO

O processo de injeção é o mais utilizado no meio industrial, por ter uma boa precisão dimensional, como também utilizar um molde para a produção de grandes lotes. Nos últimos anos houve um grande aumento na competitividade mundial para a produção de produtos cada vez mais complexos priorizando um menor custo e tempo para o lançamento no mercado. Com o aumento dessa demanda no mercado, é necessário a fabricação de uma maior quantidade de moldes. Utilizando as formas tradicionais de fabricação de molde de injeção se têm grandes problemas em questão de altos custos e longos períodos para a finalização. O molde tem uma ligação direta com o produto, a complexidade da geometria é refletida no molde e por consequência se tem um aumento do tempo e custo de fabricação. Neste contexto e com a evolução da tecnologia a manufatura aditiva utilizando molde híbrido vem como uma solução para a produção de pequenos lotes, melhorando assim o custo e tempo de fabricação. Com base nestas demandas, este trabalho utilizou a manufatura aditiva por decomposição fundida (FDM) para a construção de um inserto em PETG e o outro inserto em PETG com 20% de fibra de carbono, tendo como objetivo a investigação do desempenho do inserto na injeção de produtos em PP. No presente estudo está descrito as etapas realizadas como também os materiais utilizados para a análise. Com os resultados obtidos concluiu-se que a utilização da manufatura aditiva em moldes híbridos é adequada para pequenos lotes ou produção de protótipo, onde que após a injeção o inserto em PETG teve um desgaste menor comparadas com o inserto em PETG com fibra de carbono, devido a característica da fibra ter resistência a condutibilidade térmica o inserto obteve temperaturas altas como também um desgaste maior, realizado testes de tração nos corpos de provas injetados os do inserto em PETG com fibra obteve maiores valores de tensão a tração e deslocamento devido ao Polipropileno ter uma maior cristalização a temperatura mais altas obtidas no processo e nos ensaios de impacto o resultado foi ao contrário devido a aderência de matéria-prima no inserto com fibra de carbono.

Palavras-chave: Manufatura aditiva. Molde-híbrido. Injeção.

ABSTRACT

The injection process is the most used in the industrial environment, because it has good dimensional accuracy, as well as using a mold for the production of large batches. In recent years there has been a great increase in global competitiveness for the production of increasingly complex products, prioritizing lower cost and time for market launch. With the increase of this demand in the market, it is necessary to manufacture a larger amount of molds. Using the traditional forms of injection mold manufacturing, there are big problems in terms of high costs and long lead times for completion. The mold has a direct connection with the product, the complexity of the geometry is reflected in the mold and consequently there is an increase in manufacturing time and cost. In this context and with the evolution of technology, additive manufacturing using hybrid mold comes as a solution for the production of small batches, thus improving cost and manufacturing time. Based on these demands, this work used additive manufacturing by fused decomposition (FDM) to build an insert in PETG and the other insert in PETG with 20% carbon fiber, with the objective of investigating the performance of the insert in injection of PP products. In the present study, the steps taken are described as well as the materials used for the analysis. With the results obtained, it was concluded that the use of additive manufacturing in hybrid molds is suitable for small batches or prototype production, where after injection the insert in PETG had less wear compared to the insert in PETG with carbon fiber, due to the characteristic of the fiber having resistance to thermal conductivity, the insert obtained high temperatures as well as greater wear, tensile tests were carried out on the injected test specimens, those of the insert in PETG with fiber obtained higher values of tensile stress and displacement due to the Polypropylene having greater crystallization at higher temperatures obtained in the process and in the impact tests the result was the opposite due to the adherence of the raw material to the insert with carbon fiber.

Keywords: Additive manufacturing. Mold-hybrid. Injection.

LISTA FIGURAS

FIGURA 1 – PROJEÇÕES DO MERCADO DE IMPRESSÃO 3D ATÉ 2024.	8
FIGURA 2 – DIFERENÇAS DAS MANUFATURAS MA, MS E MF.	10
FIGURA 3 – INDICAÇÃO DAS ETAPAS DO PROCESSO DE INJEÇÃO.	11
FIGURA 4 – TEMPO DE CICLO MÉDIO EM PERCENTUAL.	11
FIGURA 5 – FORMA SIMPLIFICADA DE MOLDE HÍBRIDO.	14
FIGURA 6 – MOLDES HÍBRIDOS FABRICADOS PELA IMPRESSÃO 3D.	14
FIGURA 7 – COMPARATIVO DE CUSTOS DOS MOLDES FABRICADOS POR MS E MA.	15
FIGURA 8 – COMPARATIVO DO LANÇAMENTO POR MS E MA.	15
FIGURA 9 – FLUXO SIMPLIFICADO DO DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO.	17
FIGURA 10 – PROCESSO DE MA POR FDM SIMPLIFICADO.	20
FIGURA 11 - FALHA DA AMOSTRA DE PETG E rPETG COM FIBRA DE CARBONO.	22
FIGURA 12 – CORPOS DE PROVA TIPO V DE TRAÇÃO.	24
FIGURA 13 – CORPO DE PROVA DE IMPACTO COM ENTALHE EM V.	25
FIGURA 14 - MOLDE MODULAR.	26
FIGURA 15 - PORTA INSERTO LADO SUPERIOR (A) LADO INFERIOR COM O LABIRINTO DA FIAÇÃO DOS SENSORES (B).	27
FIGURA 16 – PROJETO DO INSERTO MA DOS CORPOS DE PROVA.	28
FIGURA 17 - PAQUÍMETRO DA PANTEC.	29
FIGURA 18 - BALANÇA DE PRECISÃO	30
FIGURA 19 - OBSTRUÇÃO DO BICO DE INJEÇÃO	32
FIGURA 20 – LOCALIDADE ONDE O PRODUTO FICA PRESO, (A) INSERTO PETG E (B) INSERTO PETG + FIBRA DE CARBONO.	32
FIGURA 21 - TODOS OS CORPOS DE PROVA EM PP (A) DO INSERTO PETG E (B) DO INSERTO PETG COM FIBRA DE CARBONO.	33
FIGURA 22 - INSERTOS ANTES E DEPOIS DA INJEÇÃO, (A) INSERTO EM PETG E (B) INSERTO EM PETG COM FIBRA DE CARBONO.	34
FIGURA 23 - DESGASTE DOS CORPOS DE IMPACTO INÍCIO MEIO E FIM, (A) INSERTO EM PETG E (B) INSERTO EM PETG COM FIBRA DE CARBONO.	35
FIGURA 24 - TEMPERATURA DE CADA AMOSTRA INJETADAS NOS INSERTOS.	36
FIGURA 25 - PESO DE CADA AMOSTRA INJETADAS NOS INSERTOS.	37
FIGURA 26 - AMOSTRAS DE DEFORMAÇÃO DO CORPO DE IMPACTO LADO SUPERIOR E INFERIOR (A) PETG E (B) PETG + FIBRA DE CARBONO.	38

FIGURA 27 - AMOSTRAS DOS CORPOS DE TRAÇÃO LADO SUPERIOR E INFERIOR, (A) DO INSERTO EM PETG E (B) DO INSERTO EM PETG COM FIBRA DE CARBONO.	39
FIGURA 28 – PONTOS PARA REALIZAR A ANÁLISE DIMENSIONAL DOS CORPOS DE PROVA.	40
FIGURA 29 - ANÁLISE DIMENSIONAL DO INSERTO EM PETG	40
FIGURA 30 - ANÁLISE DIMENSIONAL DO INSERTO PETG COM FIBRA DE CARBONO.....	41
FIGURA 31 - TESTE DE TRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA DO INSERTO EM PETG.....	42
FIGURA 32 - TESTE DE TRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA DO INSERTO EM PETG COM FIBRA DE CARBONO.	42
FIGURA 33 - FORÇA MÁXIMA A TRAÇÃO DOS INSERTOS PETG E PETG COM FIBRA DE CARBONO.	43
FIGURA 34 - TENSÃO MÁXIMA DE CADA AMOSTRA.....	43
FIGURA 35 - TESTE DE TRAÇÃO DOS TRÊS CORPOS DE PROVA DE MA EM PETG.	44
FIGURA 36 - RESULTADOS DOS ENSAIOS DE IMPACTO NAS AMOSTRAS.....	45
FIGURA 37 - ENERGIA ABSORVIDA QUE CADA AMOSTRA TEVE NO ENSAIO DE IMPACTO.....	46

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – TERMOPLÁSTICOS E SUAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.	13
TABELA 2 – CLASSIFICAÇÃO DAS 7 DIFERENTES TECNOLOGIAS DE MA.	19
TABELA 3 – PROPRIEDADES TÉRMICAS DO PETG E RPETG.	21
TABELA 4 - CARACTERÍSTICAS DOS TERMOPARES TIPO K E TIPO T.....	23
TABELA 5 - DIMENSÃO DO CORPO DE PROVA TIPO V.....	24
TABELA 6 – DIMENSÃO DO CORPO DE PROVA DE IMPACTO COM ENTALHE EM V.....	25
TABELA 7 – PARÂMETROS PARA A INJEÇÃO.....	31
TABELA 8 - RESULTADOS DOS TESTES DE TRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA DE MA EM PETG...45	

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	5
1.1.	OBJETIVOS.....	6
1.1.1.	Objetivos Específicos.....	6
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	7
2.1.	MERCADO DO PLÁSTICO E IMPOTÂNCIA DA MANUFATURA ADITIVA....	7
2.2.	DIFERENÇAS DOS TIPOS DE MANUFATURAS	9
2.3.	MANUFATURA FORMATIVA POR INJEÇÃO.....	10
2.4.	MOLDES HIBRIDOS UTILIZANDO MA E MS	13
2.4.1.	Concepção e construção do produto em 3D e prototipagem	16
2.4.2.	Inserto Intercambiável Utilizando MA	18
2.4.1.1.	<i>Matéria-prima PETG na Manufatura Aditiva.....</i>	20
2.5	SENSORIAMENTO	23
3	MATERIAIS E METODOS.....	24
3.1	DESENVOLVIMENTO DO PORTA INSERTO E INSERTO	26
3.2	MÁQUINA PARA A INJEÇÃO	28
3.3	ANÁLISE DOS INSERTOS E CORPOS DE PROVA	29
4.	RESULTADOS.....	31
4.1	INJEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	31
4.2	ANÁLISE DOS RESULTADOS	36
5.	CONCLUSÃO	47
	REFERÊNCIAS	49
	ANEXO 1 – DESENHOS PARA A FABRICAÇÃO DO PORTA INSERTO E	
	INSERTO.....	52

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, as empresas de injeção vêm aumentando a competitividade no mercado, constantemente diferenciar seus produtos, em seu processo de desenvolvimento como na concepção final, com finalidade de estar sempre a frente de seus concorrentes. Como também procuram reduzir o tempo de introdução do seu produto no mercado, conhecido como *time-to-market*. (BARRETA, 2007)

Segundo Barreta (2007) a etapa da fabricação dos moldes e ferramentas para produção de componentes plásticos é a que demanda um maior tempo e custo, no desenvolvimento de novos produtos. É um grande problema para os produtos que tem um baixo volume de produção, ou altos volume e rápidas mudanças. Aliados a isso, a complexidade dos produtos esta inteiramente ligada a complexidade do ferramental, e devido ao alto grau de engenharia aplicada para a concepção do molde tem como consequência um tempo de fabricação e seu custo final altos.

Para a solução desta problemática Rodrigues (2014) demonstra que nos últimos anos houve um progresso no setor industrial dos moldes e plásticos com o base no conceito de molde híbrido, bastante popular no mercado industrial, principalmente para a produção de pequenos lotes, obtendo neste processo um custo menor, mais rápido e competitivo.

Na Manufatura Aditiva (MA) é possível obter produtos com diversas geometrias, com um custo e tempo bem menor que na Manufatura Subtrativa (MS), onde a MS é o processo de fabricação tradicional mais utilizados nas ferramentarias. (WILTGEN e GOMES, 2021)

Conforme demonstra Santana (2018) houve um aumento da utilização de modelagem por fusão e decomposição (FDM), por ter a característica de utilizar técnicas mais comuns de fabricação, facilidade de uso e boa relação de custo-benefício. A tecnologia do processo de FDM consiste na extrusão da matéria-prima, inicialmente é um filamento que é aquecido gradualmente e extrudado por um bico calibrado sobre uma plataforma pré-aquecida, o material depositado se resfria rapidamente, solidifica e se une as estruturas previamente extrudadas.

Segundo Chan (2016) logo após o vencimento das patentes da modelagem FDM, muitas pessoas começaram a desenvolver máquinas de modelagem por FDM e consequentemente o custo abaixou, tornando a compra mais acessível.

Como cita Wang (2013) um material vem ganhando espaço na MA é o PETG por conta de sua menor rigidez que o PET, uma maior resistência a produtos químicos como também obter uma boa flexibilidade, durabilidade e ser fácil de utilizar na impressão de peças.

A fabricação de um produto por Manufatura Aditiva começa pela sua concepção e desenvolvimento em um software 3D, logo após finalizado seu projeto, é utilizado um software específico da impressora, começando a realizar a fabricação do produto, onde que é fundido a matéria-prima por camada com a espessura desejada pelo operador, e o *lay-out* que cada camada vai ter, finalizando a impressão obtendo o produto sólido. (FERIOTTI et. al., 2021)

Neste contexto o presente trabalho contribuiu com uma análise do desempenho de dois insertos fabricados por Manufatura Aditiva sendo um em PETG e o outro em PETG com 20% fibra de carbono, utilizando um molde híbrido para a fabricação de corpos de prova em polipropileno, sendo um corpo de prova de tração e outro de impacto, seguindo as normas da ASTM D638-14 para o corpo de prova de tração e ASTM D256-10 para o corpo de prova de impacto, para obter uma investigação mais detalhada do comportamento térmico foi utilizado sensores termopares.

1.1. OBJETIVOS

Analisar o desempenho de moldes de injeção híbridos, com insertos produzidos em PETG e PETG com fibra de carbono pelo processo de FDM de manufatura aditiva.

1.1.1. Objetivos Específicos

- Analisar o desgaste dos insertos com análise dimensional e térmico dos produtos injetados.
- Analisar o desgaste dos insertos com uma análise visual.
- Analisar as características de desgastes diferentes do inserto PETG comparando com o inserto em PETG com fibra de carbono.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são dispostas as referências teóricas necessárias para o desenvolvimento do trabalho, começando com a Manufatura Aditiva (MA), o processo de fabricação por injeção e a utilização de molde híbridos.

2.1. MERCADO DO PLÁSTICO E IMPOTÊNCIA DA MANUFATURA ADITIVA

Conforme citam Gastão e Carlos (2019) a competitividade mundial é crescente, no segmento de injeção, as empresas procuram constantemente alternativas e tecnologias para a melhoria na fabricação de moldes.

Atual realidade das empresas é buscar entregar produtos em menor tempo, com menores custos, tendo como foco a confiabilidade e eficiência para se manterem competitivos, junto a tecnologias que no decorrer dos anos vem se aperfeiçoando, auxiliando e criando formas de produzir os produtos, trazendo grandes benefícios tanto para os consumidores quanto para os produtores. (MOURÃO et. al., 2019)

Nesse contexto, a Manufatura Aditiva (MA) ou popularmente conhecido como impressão 3D, está ganhando espaço e se mostrando presente em vários segmentos do mercado, como na iluminação, calçados, próteses, instrumentos musicais, automotivo e aeronáutica. (MOURÃO et. al., 2019)

Novas técnicas de MA atendem à necessidade de desenvolver novos produtos e reduzem consideravelmente os tempos de fabricação e melhoria de projetos, ao contrário do processo tradicional de construção de moldes usando manufatura subtrativa (MS), onde custos e prazos são quase sempre um problema. (WILTGEN e GOMES, 2021)

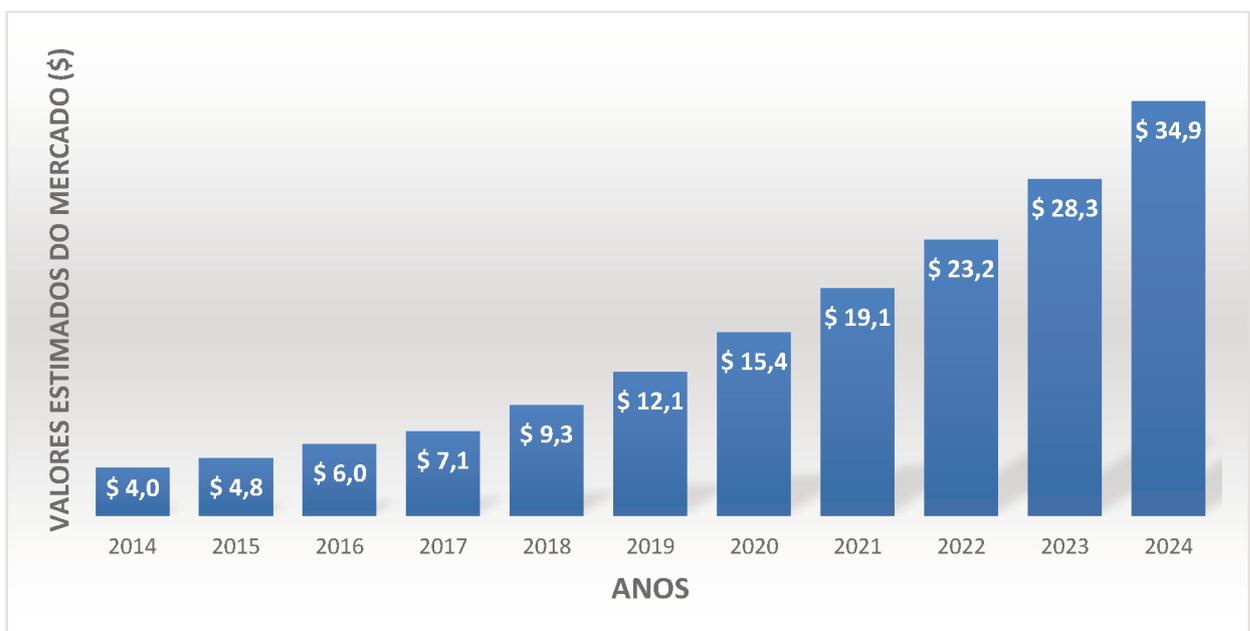
Segundo Lipson e Kurman (2013) a técnica da MA com a impressora 3D ajudou muito na questão de custos, complexidade e tempo. A complexidade do produto não tem um grande impacto no custo do processo, diferentemente da manufatura tradicional. Na manufatura aditiva é possível realizar vários outros objetivos, sem o custo de treinar pessoas, ou comprar novas ferramentas, apenas se faz necessário um novo modelo digital e a matéria-prima que deseja realizar a MA. Os autores citam que o *lead time* (tempo de espera) é igual a zero, pois é possível a fabricação do produto do que o cliente deseja próximo a sua data de entrega, onde que na MA permite uma entrega imediata do produto.

No decorrer do projeto se necessário uma alteração no produto, na MA é possível obter um menor tempo e de forma mais precisa e enxuta em comparação com as técnicas tradicionais, devido ter a base de utilização de um modelo digital da concepção do produto que é repassado posteriormente para o software da impressora realizar a fabricação. (ABREU, 2015; GREENBERG, 2014; LIPSON; KURMAN, 2013)

No setor automotivo a MA está sendo utilizada, por exemplo, para produzir peças testes em alta qualidade para resolver problemas recorrentes do produto. Como também no setor da saúde, este processo de manufatura é utilizado para a fabricação de próteses, com um custo mais baixo e a possibilidade de personalização pelo cliente. E no setor aeronáutico levaram em conta dois fatores importantes, que são o peso e a rapidez de produção, onde algumas montadoras utilizam pois os produtos são mais leves e com fácil montagem, consequentemente tendo um reparo rápido, sem esperar muito tempo para a chegada da peça nova e retornar aos voos. (CERTI, 2022)

Segundo um artigo publicado por Wishbox (2021) após o início da pandemia em 2019 o setor da MA cresceu muito, a empresa começou uma grande produção de proteções para o setor da saúde. Os mesmos demonstram na Figura 1 a expectativa de crescimento nos próximos anos até 2024.

Figura 1 – Projeções do mercado de Impressão 3D até 2024.



Fonte: Adaptado de Wishbox (2021).

No ano de 2019, o mercado de MA obteve em média de 12,1 bilhões de dólares, tendo um crescimento de 25% anual desde 2014, levando em conta sistemas, software, materiais e serviços de impressão 3D. A perspectiva para 2024 é que o mercado fature mesmo acontecendo variáveis externa (como por exemplo a pandemia do COVID19) que podem mudar o mercado, obtendo um crescimento estimado de abaixo de até 20% ou alto com cerca de 28%, sendo um faturamento com cerca de 24 bilhões ou acima de 45 bilhões de dólares. (WISHBOX, 2021)

2.2. DIFERENÇAS DOS TIPOS DE MANUFATURAS

Como Lopes e Wiltgen (2022) cita, houve um grande avanço tecnológico, principalmente nas metodologias aplicadas nos processos produtivos, desenvolvimento de novas técnicas e matérias como também a utilização de novas tecnologias nos processos de manufatura.

As manufaturas que serão utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho serão a Manufatura Aditiva (MA), Manufatura Subtrativa (MS) e a Manufatura Formativa (MF).

Um molde fabricado pela MS, que de forma geral é a remoção de material até a forma desejada, se tem boa precisão geométrica e acabamento superficial, mas algumas variáveis são importantes para ter excelentes resultados, como ter boas ferramentas, máquinas e um profissional com experiência neste processo de manufatura. A MS é a mais tradicional e utilizada nas ferramentarias.

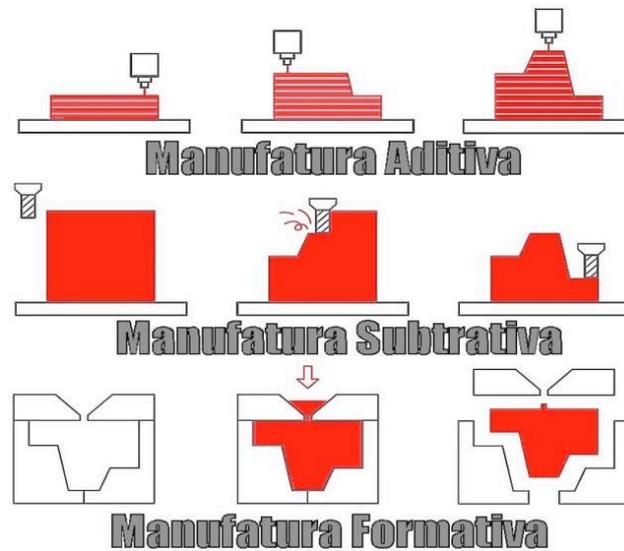
A MA é a tecnologia mais recente, o seu processo de fabricação consiste na utilização de um modelo computacional 3D realizado por um *software* CAD (*Computer Aided Design* – Desenho Assistido por Computador), onde que é utilizado o modelo 3D para passar as informações da geometria do produto que será uma programação de fabricação, e a máquina que é a impressora 3D irá realizar a fabricação do modelo, depositando a matéria-prima por camada no eixo Z e a forma geometria da camada nos eixos X e Y.(WILTGEN,2022)

E a MF é um do processo mais conhecido na fabricação de produtos que é a injeção de termoplástico, devido ao seu alto custo de ferramental é indicado para produção em larga escala. (MIRANDA, 2017)

Onde que para a produção do produto é necessário de um molde mecânico, onde que por definição é um molde de uma cavidade com a geometria do produto desejado, no qual é introduzido a matéria-prima na forma líquida ou semilíquida nesta cavidade formando o produto com a mesma geometria que o molde mecânico. (HARADA, 2004)

Na Figura 2 é possível observar as diferenças das manufaturas.

Figura 2 – Diferenças das manufaturas MA, MS e MF.



Fonte: Wiltgen (2019).

É possível notar as diferenças entre elas, tendo cada uma as suas vantagens, nestes próximos capítulos será demonstrado suas principais vantagens e desvantagens no processo, tempo e custo, que são requisitos competitivos no mercado.

2.3. MANUFATURA FORMATIVA POR INJEÇÃO

Em relação ao que foi citado no capítulo anterior, a manufatura que foi utilizada neste trabalho é a MF por injeção de termoplástico.

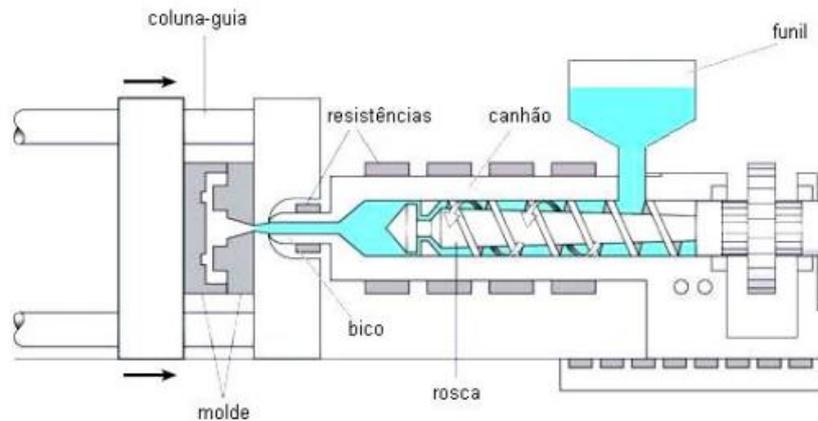
A injeção é um processo bem comum na produção de produtos de plástico, onde se tem um tempo de produção rápido com geometrias simples ou complexas dos produtos, e com as dimensões precisas. (VIANA, 2009)

Na fabricação de um produto por injeção as seguintes etapas são realizadas conforme a Figura 3: a matéria-prima (na cor azul) está na forma de partículas sólidas é inserida na injetora pelo funil, onde é conduzida até o cilindro de plastificação, tem uma rosca sem fim no seu interior, que vai levar a matéria prima até o bico injetor, no trajeto tem resistores que aquecem o material até a sua forma fundida. (WILTGEN, 2022)

O polímero em sua forma fundida ao passar pelo bico injetor, começa a preencher a cavidade no interior do molde mecânico bipartido. É aplicada pressão no polímero até seu resfriamento e solidificação, após esta etapa, o molde mecânico é aberto e a peça é conformada

e extraída, e conseqüentemente se inicia um novo ciclo para a produção de uma nova peça. (WILTGEN, 2022)

Figura 3 – Indicação das etapas do processo de injeção.

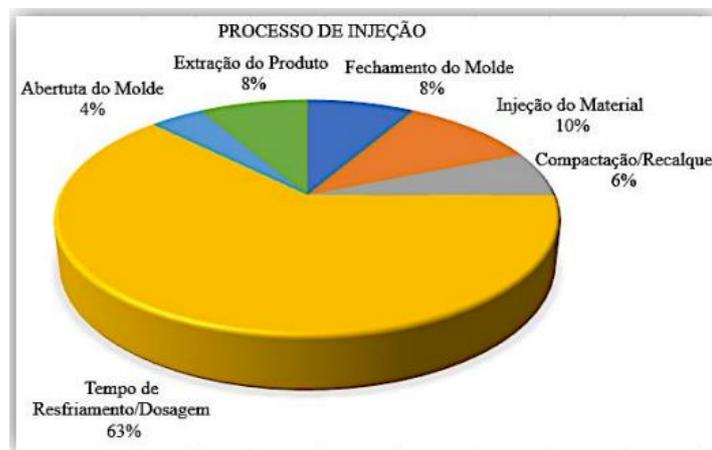


Fonte: Adaptada de LOPES e WILTGEN (2021).

Para a produção de cada produto é necessário passar por um ciclo de fabricação relatado anteriormente, é fundamental obter um excelente desempenho e otimização desse processo, obtendo baixos tempos de ciclos e com excelentes dimensões de peças, onde no processo é atender as especificações de peças, volume e menor tempo de ciclo possível. (VIANA, 2009)

Na Figura 4 é possível observar como é distribuído o tempo do ciclo de produção em MF.

Figura 4 – Tempo de ciclo médio em percentual.



Fonte: COSTA e JUNIOR (2019).

Analisando a Figura 4 é possível notar que o tempo de resfriamento toma mais da metade do tempo de ciclo de fabricação de uma peça, isso significa que o molde precisa ter um eficiente sistema de refrigeração para obter tempo de ciclos menores.

A matéria-prima em um processo de injeção pode ser divididos em dois tipos, a primeira e mais utilizada que são os termoplásticos, e a segunda são os termofixos.

Segundo Harada (2004) uma das características mais importantes do termoplástico é que eles podem ser moldados ao serem aquecidos e atingir o estágio de amolecimento, esta troca de estado sólido para semilíquidos ou líquidos não altera sua estrutura química, permitindo que uma vez resfriado, ele pode ser novamente aquecido e reaproveitado.

Já as características nos termofixos, Harada (2004) cita que após ser submetidos a polimerização a estrutura sofre uma transformação química, por consequência não é possível a reversão para o estado original, sendo assim impedido de ser reutilizado.

Cada matéria-prima tem suas características físico-químicas, onde tem influência no processo e resultado do produto.

Na Tabela 1 tem alguns polímeros aplicados no processo de injeção com as suas características.

Tabela 1 – Termoplásticos e suas características físicas.

Nome genérico	Abreviatura	Peso específico (g/cm ³)	Temperatura de transformação (°C)	Temperatura máxima de resistência no serviço (°C)
Acetato de Celulose	CA	1,34	184 – 230	60
Acetato-Butirato de Celulose	CAB	1,22	160 – 200	70
Poliamida(Náilon)	PA	1,15	180 – 290	100
Cloreto de Polivinila Rígido	PVC	1,45	175 – 200	65
Cloreto de Polivinila Flexível	PVC	1,45	175 – 200	65
Polimetilmetacrilato	PMMA	1,18	180 – 230	80
Poliestireno	PS	1,04	180 – 210	80
Acrilonitrila - Butadieno Estireno	ABS	1,05	180 – 250	80
Acrilonitrila-Estireno	SAN	1,08	220 – 240	85
Polietileno Baixa Densidade	PEBD	0,92	150 – 175	90
Polietileno Alta Densidade	PEAD	0,96	185 – 220	105
Polipropileno	PP	0,91	200 – 220	140
Policarbonato	PC	1,2	240 – 290	130
Polioximetileno (Acetal)	POM	1,4	175 – 190	95

Fonte: Harada (2004).

2.4. MOLDES HÍBRIDOS UTILIZANDO MA E MS

O molde híbrido tem o conceito que para a sua fabricação se faz necessário a utilização de duas manufaturas, podendo ser a MS e a MA. A manufatura híbrida está em constante crescimento no meio industrial e um dos seus principais propósitos é o aumento de produtividade em um processo de injeção com MA. (WILTGEN, 2022)

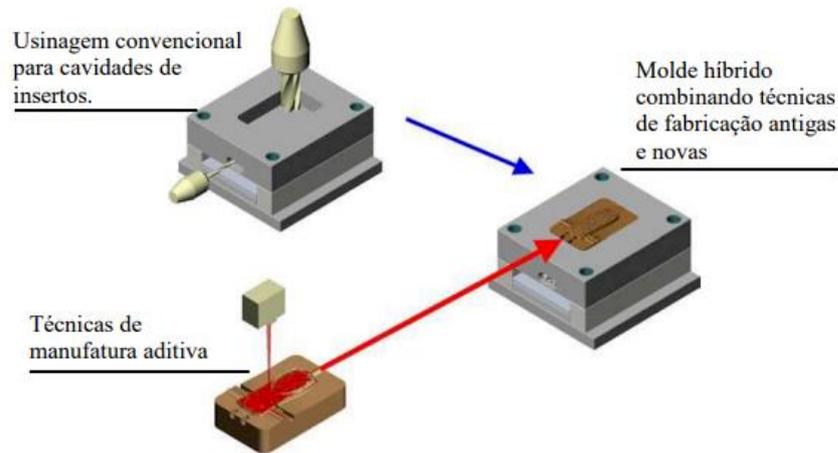
A utilização da MS é para fabricação de um molde porta inserto, onde este molde vai ter uma cavidade para alocar um inserto intercambiável, e este inserto terá a forma do produto desejado a ser desenvolvido.

Na parte do inserto se tem o diferencial deste processo, pois podem ser fabricados por diversos tipos de manufaturas, desde as tradicionais por MS ou a partir de diferentes tecnologias de prototipagem rápida que é a MA, algumas vantagens deste método são: redução do consumo de energia, possibilidade de mudanças na geometria do produto. (MARTNHO et. al., 2009)

Para Rivette, Mognol e Hascoet (2013) é possível a fabricação de diversos produtos, e com as características da MA podem satisfazer as demandas e necessidades dos clientes, onde ao realizar a mudança do conceito do produto, não tem um grande custo e tempo de produção.

Na Figura 5 é possível observar como é um molde híbrido.

Figura 5 – Forma simplificada de molde híbrido.



Fonte: MARTINHO et. al. (2009).

O inserto (na cor marrom) demonstrado na Figura 5 é intercambiável, com isso existe a possibilidade da realização de outros diversos produtos com o mesmo porta-inserto que foi fabricado com a MS.

Conforme menciona Fernandes et al. (2014) em vez de realizar gastos em diversos moldes utilizando manufatura tradicional para a produção de pequenos lotes de componentes ou produtos, com a MA é possível minimizar custos e agilizar o tempo de lançamento do produto.

Fernandes et. al (2014) cita que alguns fabricantes estão utilizando o molde híbrido com MA, com foco na aceleração do processo e redução de custos, tendo moldes produzidos nas impressoras 3D da Stratsys, conforme observado na Figura 6.

Figura 6 – Moldes híbridos fabricados pela Impressão 3D.

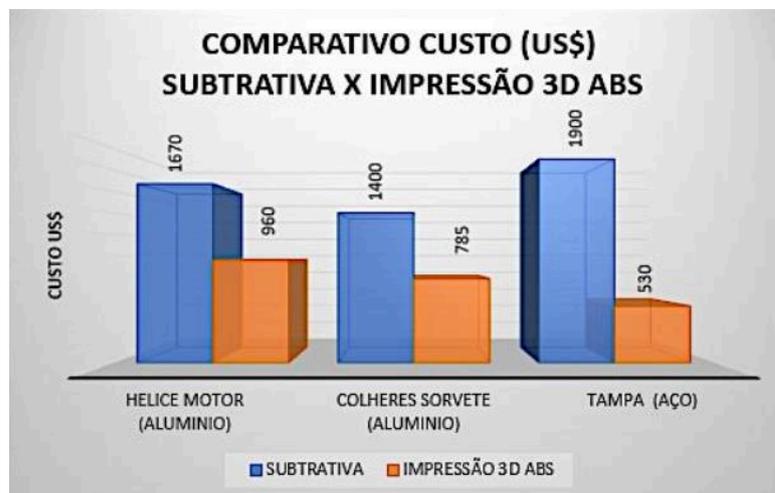


Fonte: FERNANDES et al. (2014).

É possível observar que há situações que o molde híbrido é uma possibilidade bem viável para estes materiais específicos.

Fernandes et. al (2014) realizou orçamentos com dois desenvolvedores de ferramentais, realizou um comparativo entre a manufatura tradicional MS e a MA, obteve uma economia significativa, de 43% menor que o molde de alumínio e 72% mais barato que o molde de aço, como demonstrado na Figura 7.

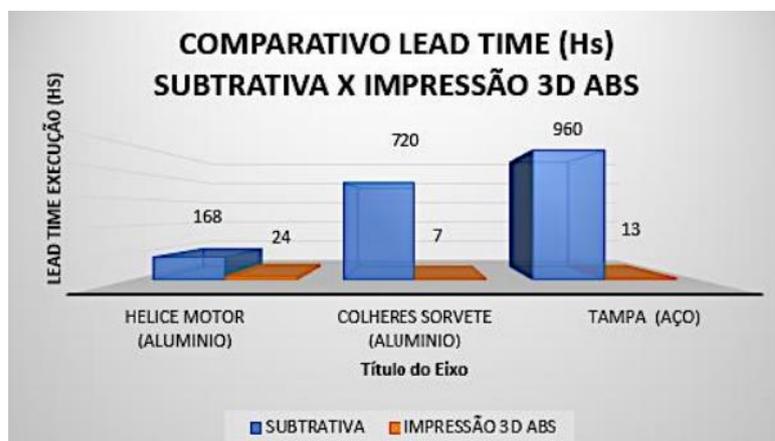
Figura 7 – Comparativo de custos dos moldes fabricados por MS e MA.



Fonte: FERNANDES et al. (2014).

Como outra vantagem da impressão 3D, além da redução de custos, é a redução do tempo de lançamento do produto, comparando o *lead time* de fabricação, conforme demonstrado na Figura 8.

Figura 8 – Comparativo do lançamento por MS e MA.



Fonte: FERNANDES et al. (2014).

Se tem uma grande diferença entre as duas manufaturas, Fernandes et al. (2014) obteve a mesma conclusão de outros autores, onde que para pequenos lotes de produção e validação de projetos ou validação de produtos com órgão regularizadores, é muito eficaz um molde híbrido com inserto em MA em comparação com moldes com MS.

2.4.1. Concepção e construção do produto em 3D e prototipagem

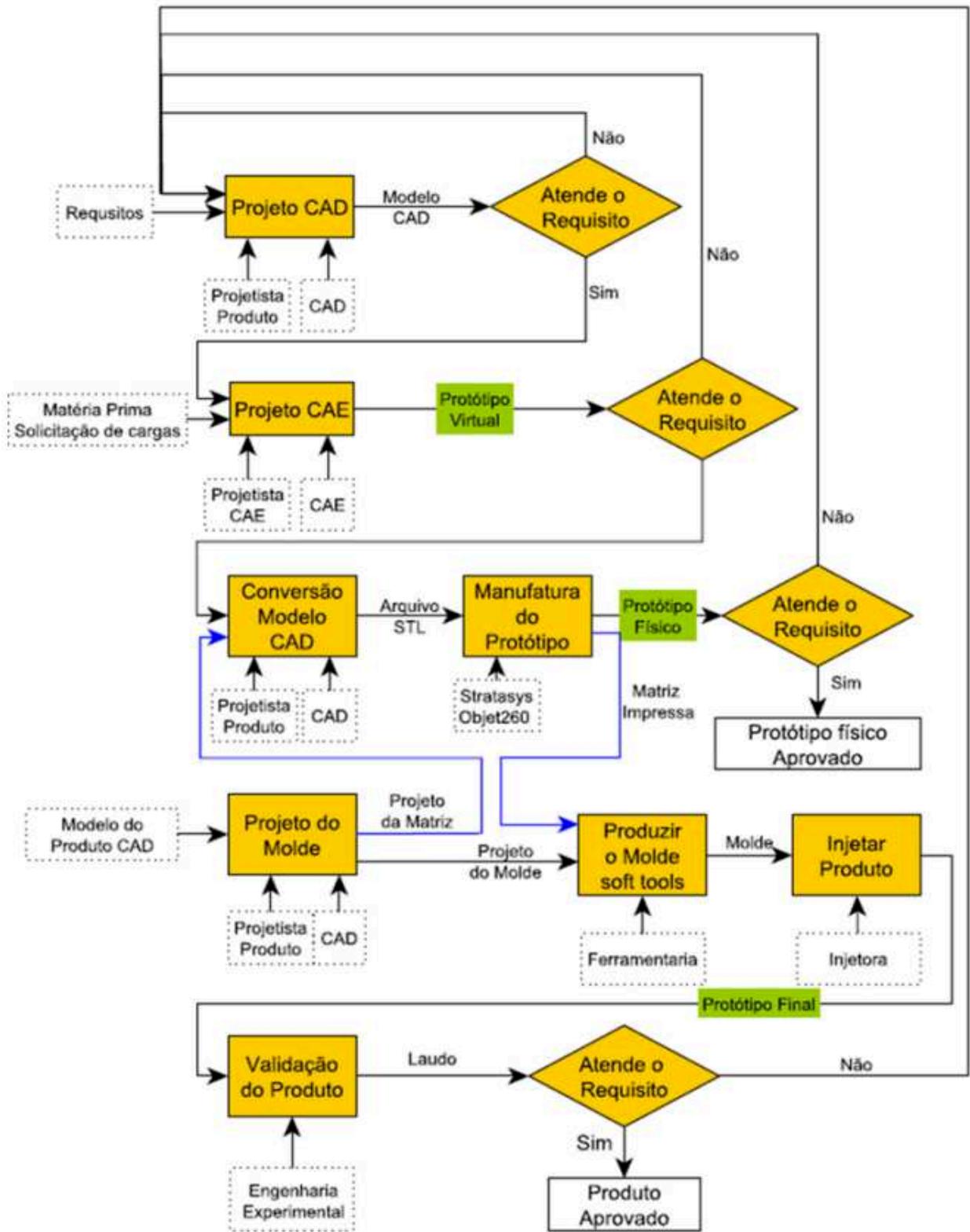
Conforme Wiltgen (2019) a prototipagem é uma técnica muito utilizada para acelerar o desenvolvimento de projetos, é realizado na mesma escala do produto real ou em uma escala reduzida(menor), normalmente é confeccionado com materiais igual ou semelhante ao original.

Utilizar a tecnologia de prototipagem da agilidade necessária para garantir a inovação industrial, normalmente utilizada na fase de desenvolvimento do produto, obtendo diversos protótipo até a concepção final do produto. Protótipos são fabricados para obter nas suas aplicações informações sobre o seu funcionamento, análise dos processos de fabricação, entre outros. (WILTGEN, 2019).

Para o desenvolvimento de um protótipo segue diversas fases de desenvolvimento, iniciando com um projeto 3D digital no CAD, passar por diversas avaliações e simulações computacionais, verificado se atende as aplicações e matéria prima, por fim ocorre a fabricação para avaliação e futuros ajustes se necessário.

Wiltgen e Lopes (2022) demonstram na Figura 9 um fluxo simplificado de desenvolvimento de um projeto.

Figura 9 – Fluxo simplificado do desenvolvimento de um projeto.



Fonte: Wiltgen (2022).

Neste fluxo simplificado é possível notar que o desenvolvimento inicia com o modelamento no CAD, seguindo com as simulações de funcionamento, em sequência a fabricação dos protótipos e após aprovação, finalizando com o desenvolvimento do produto.

2.4.2. Inseto Intercambiável Utilizando MA

Segundo Wiltgen e Lopes (2022) o processo de MA utiliza alguns *softwares* tecnológicos, como a modelagem do produto ou molde desejado em um *software* CAD, após desenvolvido o modelo tridimensional do produto levado para impressora que realizara a MA, onde a impressora terá seus meios tecnológicos para decodificar o modelo desenvolvido em CAD para linguagem computacional e realizar a impressão em camadas que se unem e formam o objeto sólido.

Com esta manufatura por conta destas tecnologias utilizadas se tem alguns desafios em relação a velocidade de impressão e o alto custo do ferramental como também programas utilizados. (FERIOTTI et al., 2021)

Conforme Torabi et al. (2014) cita existem diversas impressoras 3D que realizam o processo de MA, elas atendem a uma grande gama de materiais que podem ser utilizados, até materiais de alto desempenho, onde é possível a impressão de peças capazes de absorver diversas situações aplicadas no ambiente industrial. Porém impressoras que realizam esta impressão tem um custo alto.

Existem outros fatores que podem ser limitantes no inserto utilizando esta tecnologia, de acordo com Plessis et al. (2016) o nível de porosidade é um deles, em que pode comprometer a aplicação em alguns casos, tendo um exemplo os inserto que possuem algum canal de refrigeração é necessário que suas superfícies sejam polidas para não ocorrer infiltrações no circuito de refrigeração. Diversos estudos demonstram que a impressão 3D tem influência na ocorrência de defeitos de porosidade, como também indicam aos projetistas de moldes os cuidados necessários em questão do posicionamento ideal dos modelos matemáticos 3D do processo.

Cada impressora tem suas limitantes em questão da temperatura do bico de impressão como também as dimensões da mesa base, essas variáveis são importantes pois serão pontos de controle do projeto.

A dimensão da mesa base é um ponto de controle do tamanho do seu produto ou inserto a ser impresso, e a temperatura que o bico de impressão suporta é um ponto de controle da matéria prima em que se deseja ser impresso, pois para realizar o processo de MA é necessário

que a matéria-prima esteja líquida o suficiente para a modelagem e solidificação conforme o produto desejado.

Para a utilização da tecnologia da MA é possível obter produtos com diferentes processo e materiais, como cada material tem suas características estruturais é necessário diversificar os processos. Em 2010 foi realizado a normalização e classificação dos processos de manufatura aditiva em 7 categorias, podendo ser observado na Tabela 2, a norma em questão é a F42 que tem como órgão responsável a ASTM (*American Society for Testing and Materials*), é um órgão estadunidense de normalização de materiais, produtos, sistemas e serviços. (COSTA E JUNIOR, 2019)

Tabela 2 – Classificação das 7 diferentes tecnologias de MA.

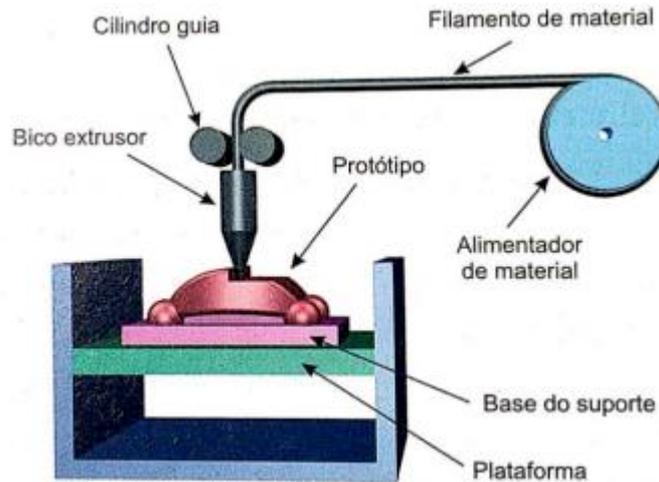
Método	Processo	Material típico
VAT <i>Photopolymerisation</i>	Cura de camada líquida através de laser	Resina líquida fotosensível
FDM (<i>Fused Deposition Model</i>)	Extrusão de filamento termoplástico	Filamento termoplástico
<i>Material Jetting</i>	Material pressurizado e depositado em gotas endurecido por luz UV	Polímeros
<i>Binder Jetting</i>	Material em pó é endurecido por meio de jatos de aglutinantes	Polímeros e cerâmicas
<i>Powder Bed Fusion</i>	Fusão do leito de pó com feixe de laser ou elétrons	Polímeros, metais, cerâmicas
<i>Sheet Lamination</i>	Laminação de material em folhas	Papel, Polímeros, metais em laminas
<i>Directed Energy Deposition</i>	Um bocal para depósito de pó ou fio metálico sendo fundido por uma fonte de laser, elétrons ou arco de plasma	Pó de metais, níquel, cobalto, titânio, etc.

Fonte: Conforme a norma ASTM F42

O método utilizado para este estudo consiste no FDM, que segundo Souza e Ulbrich (2009) este método tem seus componentes para o funcionamento composto por um bico extrusor, realizando movimentos nas coordenadas X e Y, na base tem a mesa que se desloca no eixo Z de acordo com a espessura de uma camada desejada a ser depositada, como é possível observar na Figura 10, o material extrudado em contato com o material da superfície da peça, se solidifica com a camada anterior. Este ciclo se repete continuamente, sendo depositado

material no eixo X e Y e a mesa se deslocando no eixo Z, até a peça desenvolvida ser totalmente fabricada.

Figura 10 – Processo de MA por FDM simplificado.



Fonte: SOUZA e ULBRICH (2009).

Segundo Misugi e Neto (2014) a MA pelo método FDM é muito utilizada, onde que com o término da vigência das patentes se tornou popular consequentemente mais acessíveis, barateando os seus meios de produção. E atualmente se tem grande parte do mercado, justifica Foggiatto et al. (2004) por conta que esse método possui preços competitivos, como também uma fácil instalação e utilização obtendo produtos com boas propriedades mecânicas.

Outras vantagens deste método de manufatura, onde Feriotti et al. (2021) cita que em comparação com os moldes convencionais, a impressão dos moldes de plástico é uma alternativa muito eficaz na redução de custos e tempo de fabricação de pequenas séries de produção para validação de projeto ou órgão reguladores.

2.4.1.1. Matéria-prima PETG na Manufatura Aditiva

Segundo Kovacova et al (2020) a utilização da manufatura aditiva vem aumentando no meio industrial, as empresas que vendem as impressoras vêm procurando vantagens competitivas no mercado, e uma das grandes vantagens é que com a utilização de um mesmo equipamento o cliente possa realizar a impressão com novos materiais com aplicações profissionais mais exigentes.

Cada impressora segue com um setup definido e pode ser utilizado um limite de matérias-primas, segundo Kovacova et al (2020) existem diversos termoplásticos comumente

utilizados no processo FDM, um deles é o PET onde que é muito utilizado em diversas aplicações, e no processo de impressão 3D como também para aplicação desta pesquisa foi utilizado o copolímero PET modificado com glicol se tornando o PETG.

Conforme demonstra Kovacova et al (2020) o poli(-etilenoglicol-co-1,4-ciclohexanodimetanol tereftalato) (PETG) é sintetizado pela substituição parcial das unidades de etilenoglicol (EtGly) do PET por unidades de 1,4-ciclohexanodimetanol (CHDM). Copolímero PETG é amorfo e tem propriedades mecânicas próximas do PET.

A utilização do PETG na impressão 3D vem crescendo muito, e ainda por ser um material que pode ser reciclado ajuda o meio ambiente, existem diversos estudos sobre a comparação do PETG virgem e o reciclado rPETG e um deles é de Duralek et al (2019) onde demonstra que as características diferentes entre os dois são as propriedades térmicas, realizado o estudo com a mistura do PETG virgem em comparação com o reciclado rPETG, na Tabela 3 é demonstrado os resultados obtidos do estudo conforme a porcentagem de desgaste.

Tabela 3 – Propriedades térmicas do PETG e rPETG.

Material	T_{2%} (°C)	T_{5%} (°C)	T_{máx} (°C)	T_g (°C)
100% PETG	366	378	420	75
90% PETG-10% rPETG	323	344	393	73
80% PETG-20% rPETG	321	343	390	73
70% PETG-30% rPETG	299	340	381	72
100% rPETG	166	275	380	49

Fonte: Duralek et al (2019).

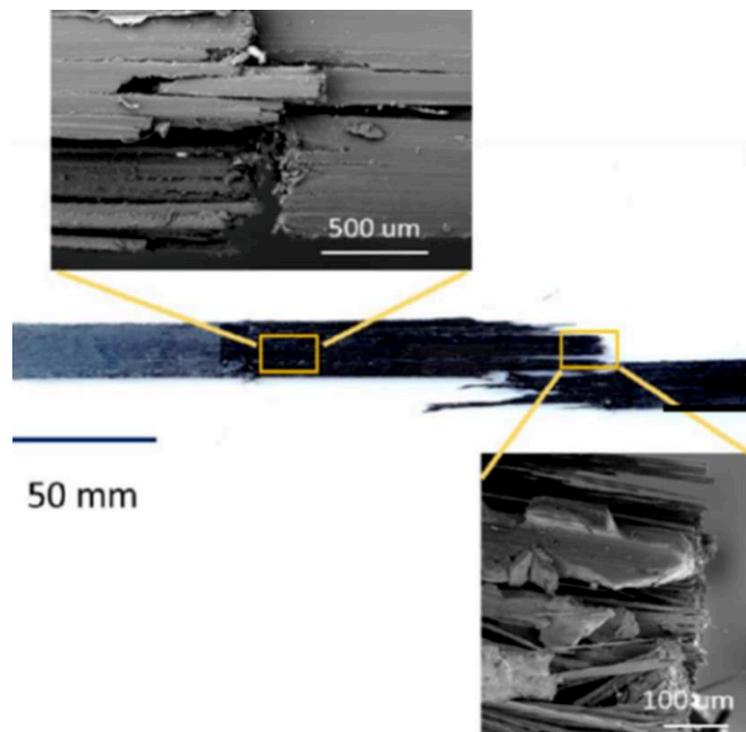
Observando os resultados de Duralek et al (2019) existe uma grande diferença na temperatura de desgaste inicial de 2% nos materiais para o 100% PETG temperatura cerca de 366°C com a temperatura de transição vítrea de T_g 75°C e para o material 100% reciclado rPETG temperatura cerca de 166°C com a T_g 49°C, isso pode ser um grande diferencial dependendo da aplicação do produto.

A utilização do PETG está em grande crescimento, devido a isso para aprimorar as características da matéria-prima existem estudo da aplicação de fibra de carbono, com a finalidade de melhorar suas propriedades mecânicas.

Segundo o estudo de Bex et al (2021) que realizou a impressão de corpos de prova utilizando o PETG virgem e rPETG, e os dois adicionando cerca de 25% de fibra de carbono, onde que para esta impressão foi utilizado dois carreteis, um da fibra de carbono e outro do material que deseja misturar que vão para o mesmo cabeçote de impressão.

Os resultados que Bex et al. (2021) obteve em relação as características de tração e cisalhamento foi melhores com a adição da fibra de carbono do que os materiais virgem e reciclado, uma característica importante é a análise morfológica que obtiveram, conforme a Figura 11 que é um teste de tração em uma das amostras com fibra de carbono, é possível observar os feixes de fibra parecidos com uma “vassoura”. Segundo Cook e Gordon (1964) explicam que o fenômeno da “divisão longitudinal” ocorre com materiais reforçados com fibras, isso explica que com a fibra de carbono a trica associada ao cisalhamento se propaga no corpo até próximo ao cisalhamento final próximo a fibra, e com isso se tem a falha tipo “vassoura” pois cada fibra do corpo tem lugares diferentes de fragilidade.

Figura 11 - Falha da amostra de PETG e rPETG com fibra de carbono.



Fonte: Bex et al. (2021).

E outra característica importante que Bex et al. (2021) demonstra é que o PETG não obteve muito a adesão da fibra de carbono na estrutura, obtendo valores de cerca de 13% de força de tração menores que o rPETG que teve uma adesão maior da fibra de carbono, obtendo melhores características.

2.5 SENSORIAMENTO

Os sensores são uma ferramenta que para o setor de pesquisa e industrial tem um grande apoio, pois no processo de fabricação de injeção se tem grandes temperaturas de trabalho, e com os sensores é possível observar essa grande variação da temperatura que podem modificar as características do produto.

Os termopares são sensores com o funcionamento baseado no efeito Seebeck, descoberto pelo físico Thomas Seebeck em 1822. Que consiste na união de dois materiais diferentes, e cada um tem uma temperatura, e ocorre o surgimento de uma diferença de potencial elétrico entre os dois metais, e realizando a aferição da tensão entre essa diferença de potencial é possível obter a temperatura. (MATTEDE, 2014)

Segundo Mattede (2014) os termopares são divididos por três categorias que são: termopar de metal nobre (R, S, B), termopar de metal base (K, J, N, E, T) e termopar não definido por letras. A diferença entre os metais é que um contém níquel o “nobre” e o outro contém platina o “base”.

São comumente utilizados termopares do tipo T e K em moldes, onde que ambos têm uma boa resistência a oxidação, química, térmica e a tração. Eles têm um baixo custo e é possível utilizar aferir as temperaturas com multímetros convencionais.

Na Tabela 4 é demonstrado algumas características deles.

Tabela 4 - Características dos termopares Tipo K e Tipo T.

Termopar	Nome do Termoelemento	Faixa de Utilização (°C)	Limite de Erro	
			Padrão	Especial
Tipo K	(+) Chromel	-200 a 1260	±2,2°C ou 0,75%	±1,1°C ou 0,4%
	(-) Alumel			
Tipo T	(+) Cobre	0 a 370	±1°C ou ±0,75%	±0,5°C ou ±0,4%
	(-) Constantan	-200 a 0	±1°C ou ±1,5%	–

Fonte: ECIL (2019).

Conforme a Tabela 4 é possível observar que cada um tem uma característica específica utilizando cada termoelemento, onde que para temperaturas maiores que 370°C se faz necessário a utilização de apenas o termopar Tipo K.

3 MATERIAIS E METODOS

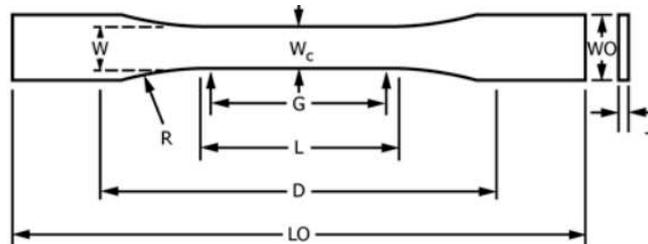
Para o desenvolvimento de corpos de prova foi seguido as medidas e tolerâncias demonstradas nas normas D638-14 e D256-10 do órgão ASTM.

Conforme demonstra a norma D638-14 da ASTM para a realização do método de testes dos corpos de prova de tração, a geometria dos corpos é normalizada em forma de retangular e as condições de teste devem ser definidas como a temperatura, umidade e velocidade da máquina de teste.

Os corpos de prova de tração podem ser produzidos por diferentes processos de fabricação e matérias-primas, desde chapas metálicas, compósitos reforçados e moldadas por injeção.

Para o desenvolvimento dos corpos de prova de tração a ASTM separou em cinco tipos (I, II, III, IV, V) onde que cada um tem suas as suas dimensões, para este trabalho foi utilizado corpo tipo V, segue o modelo do corpo de prova conforme a Figura 12.

Figura 12 – Corpos de prova Tipo V de tração.



Fonte: Conforme Norma ASTM D638.

Este tipo de corpo de prova tem um corpo longo e abas proporcionais, as dimensões mais importantes estão na Tabela 5.

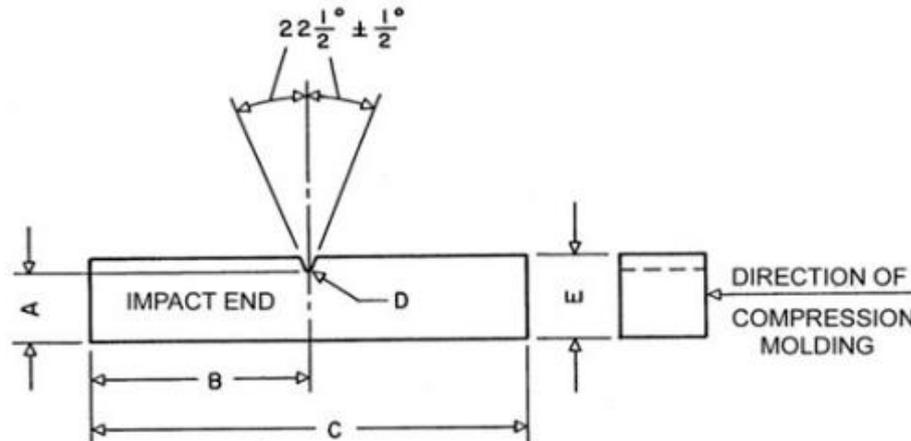
Tabela 5 - Dimensão do corpo de prova Tipo V.

Dimensões (mm) – Tipo V	
W	3,18 ±0,5
L	9,53 ±0,5
W ₀	9,53 ±3,18
L ₀	63,5
G	7,62 ±0,25
D	25,4 ±5
R	12,7 ±1
T	3,2 ±0,4

Fonte: Conforme Norma ASTM D638.

Já para os corpos de prova de impacto foi seguido a norma D256-10 do órgão ASTM onde abrange todo o processo da metodologia de teste e a dimensão ideal, conforme demonstrado na Figura 13 é possível observar os pontos se serão controlados.

Figura 13 – Corpo de prova de impacto com entalhe em V.



Fonte: Conforme a norma D256-10.

Na Tabela 6 demonstra todas as dimensões e tolerâncias necessárias para a produção do corpo de prova de impacto.

Tabela 6 – Dimensão do corpo de prova de impacto com entalhe em V.

Dimensões (mm) corpo de prova de impacto	
A	$10,16 \pm 0,05$
B	$31,8 \pm 1,0$
C	$63,5 \pm 2,0$
D	$0,25R \pm 0,05$
E	$12,7 \pm 0,20$
T	3,0 a 12,7

Fonte: Conforme a norma D256-10.

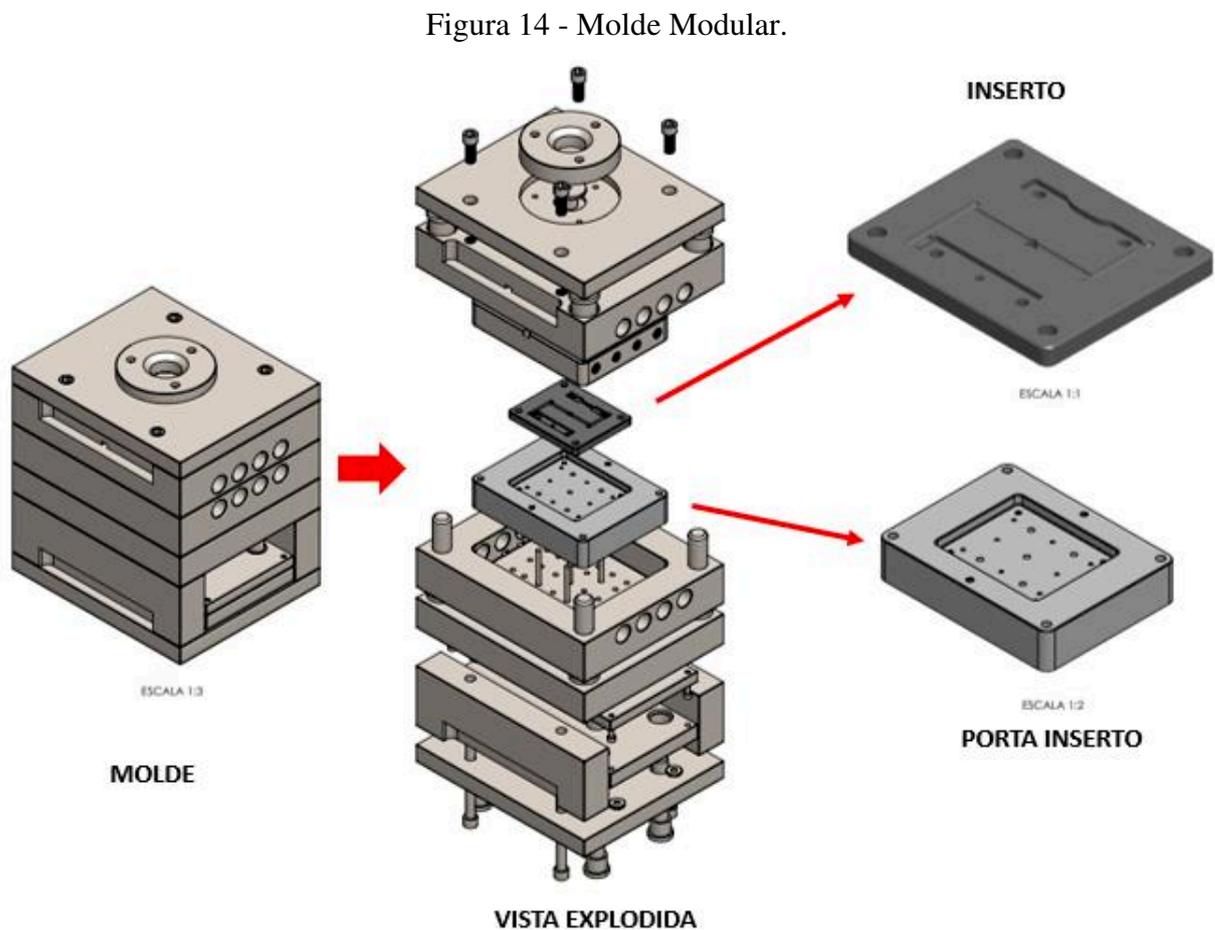
Existe um entalhe no corpo de prova, que é um concentrador de tensão e no teste é o local onde vai acontecer a quebra, são divididos em três diferentes tipos, é realizado após a injeção do corpo de prova, onde pode ser usinado com ferramentas específicas para obter as dimensões exatas.

Para a injeção a matéria-prima utilizada foi PP H105 fornecidos pela Braskem, onde ficou duas horas antes dos inícios dos testes de injeção em uma estufa a 60°C para a retirada de umidade.

3.1 DESENVOLVIMENTO DO PORTA INSERTO E INSERTO

No desenvolvimento desta pesquisa foi utilizado muitos componentes de um molde modular desenvolvido pelo Luciano (2021), onde com este molde é possível realizar utilização de porta moldes de diversas dimensões.

Na Figura 14 está disposto os locais onde foi alocado o inserto e o porta inserto no molde.

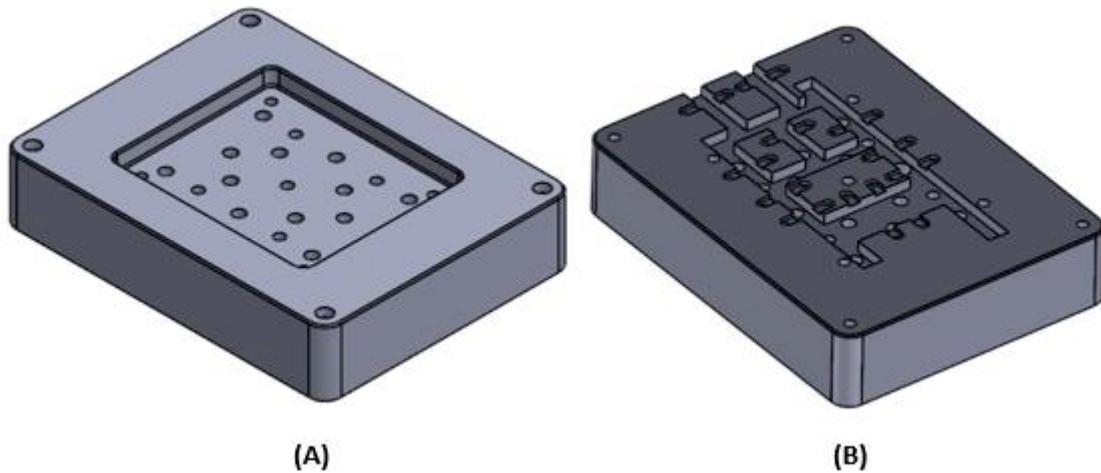


Fonte: Adaptado de LUCIANO (2021).

Seguindo como referência as dimensões dos desenhos do projeto e do molde físico, foi desenvolvido o porta inserto e o inserto no *software Solidworks* versão 2017, inicialmente definido o formato e espessura do inserto para realizar a cavidade do mesmo, e posteriormente projetado as furações dos extratores e sensores.

No porta inserto foi desenvolvido cinco furos para os extratores e doze furos para os sensores. Como serão utilizados sensores para os testes, é necessário o labirinto na parte inferior do molde, demonstrado na Figura 15 a concepção final do projeto do porta inserto.

Figura 15 - Porta inserto Lado Superior (A) Lado Inferior com o labirinto da fiação dos sensores (B).



Fonte: Autor (2023).

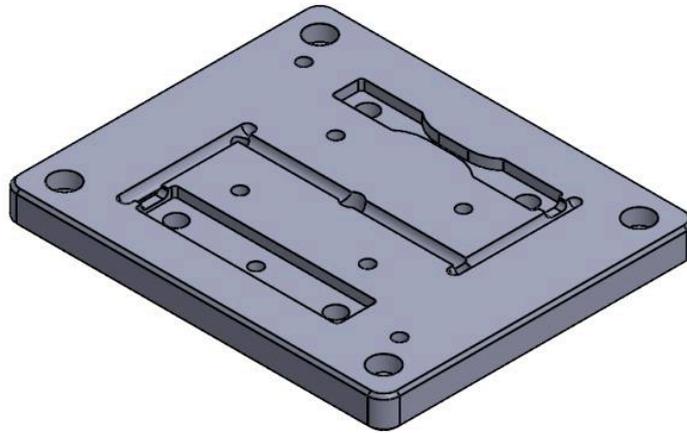
Junto com o desenvolvimento do porta inserto, utilizando o mesmo *software* Solidworks foi realizado o modelamento do inserto intercambiável, onde é a componente em que será injetado o produto.

Na concepção inicial do inserto foi realizado para alocar 12 sensores, o produto que será injetado nele são os dois corpos de prova, os dimensionais tanto dos corpos de prova como o do gate até o produto foi realizado conforme as normas da ASTM, sendo que para o corpo de prova de tração seguindo os dimensionais da norma D638-14, já para o corpo de prova de impacto seguindo os dimensionais da norma D256-10 e para o gate dimensionais conforme a norma D3641-15.

Foi realizado o desenvolvimento de acordo com o balanceamento do inserto na injeção por *software* obtidos pelos resultados da Vasconcelos (2023), tendo assim as dimensões exatas dos gates para o preenchimento completo e no mesmo tempo.

Na Figura 16 é demonstrado como a concepção final do inserto.

Figura 16 – Projeto do inserto MA dos corpos de prova.



Fonte: Autor (2023).

Logo após finalizado o desenvolvimento da geometria dos componentes iniciou-se a fabricação do inserto e do porta inserto.

Para a fabricação do porta inserto em Aço SAE 1045 utilizando máquinas e ferramentais da MS, foi realizado na universidade com base nos desenhos 2D desenvolvidos demonstrando as dimensões que está disposto no Anexo 1.

Utilizando a MA de FDM foi realizado a impressão de dois insertos, ambos tiveram o preenchimento de 100% de material, o primeiro foi fabricado em PETG e o segundo também em PETG mas com adição de 20% de Fibra de Carbono.

Para fabricação dos inserto foi realizado em uma empresa parceira da universidade, onde foi repassado o projeto e desenhos do inserto com as dimensões e tolerâncias do Anexo 1, e após alguns dias o fornecedor finalizou a impressão.

3.2 MÁQUINA PARA A INJEÇÃO

A fabricação com a MF de injeção será realizada com a máquina Arburg Allrounder 320 C Golden Edition, que está disposta no laboratório de manufatura da UFSC de Joinville.

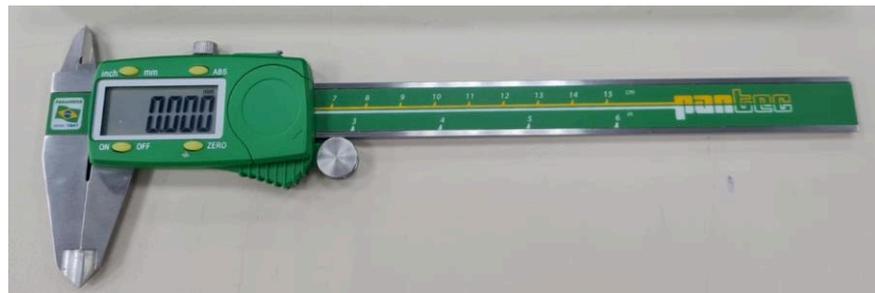
Foi realizado antes dos testes a instalação dos termopares e o sistema de controle dos termopares, e cerca de trinta minutos antes dos testes foi ligado a máquina para deixar pré-aquecida.

3.3 ANÁLISE DOS INSERTOS E CORPOS DE PROVA

Na análise térmica no processo de injeção foi utilizado dois termopares, um tipo K e o outro tipo T, onde que um teve contato direto com o produto que foi o termopar Tipo T que estava no corpo de prova de tração, e o outro termopar esteve a 5 mm do corpo de prova de tração. A coleta dos dados dos termopares foi realizada simultaneamente com a injeção, utilizado um amplificador BMX da HBM que coletava os dados dos termopares e repassa as informações para um *notebook* e no final os dados obtidos foram exportados para uma tabela em excel

Para a análise dimensional dos corpos de prova foi utilizado o paquímetro da Figura 17 digital da marca PANTEC, com dimensão máxima de 150 mm e resolução de 0,001 mm.

Figura 17 - Paquímetro da PANTEC.



Fonte: Autor (2023).

A aferição da massa dos corpos de prova foi realizada com a balança de precisão da Figura 18 da marca JOANLAB com limite máximo de 220g e resolução de 0,1 mg,.

Figura 18 - Balança de precisão



Fonte: Autor (2023).

Foi realizado a aferição das massas dos corpos de prova após alguns dias da injeção, quando o produto está totalmente resfriado.

Os corpos de prova foram submetidos a testes de tração e impacto, retirados algumas amostras de cada inserto de acordo com os números (1,5,10,...,50), lixado as abas de fixação pois podem escorregar e não obter valores exatos.

Realizado os testes de tração no laboratório da UFSC utilizando o equipamento Instron modelo EMIC 23-100, com a capacidade de utilizar força até 100kN. Para a realização dos testes foi utilizado uma célula de carga de capacidade 2 kN/kgf, para fixação dos corpos de prova foi utilizado um par de garras auto travante por efeito de alavanca simples.

Seguido a norma ASTM D638-14 para o ensaio nos testes de tração dos corpos de prova em PP foi utilizado um avanço de 5 mm/min em uma temperatura ambiente de 23°C.

Para a realização dos ensaios de impacto seguindo a norma ASTM D256-10, foi utilizado um martelo de 10,93J para os testes nos corpos de prova em polipropileno, e para os corpos impressos em PETG foi utilizado um martelo de 5,47J em uma temperatura ambiente de 23°C.

4. RESULTADOS

Neste capítulo será demonstrado os resultados e dificuldades obtidas no trabalho.

4.1 INJEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Para a definição do setup inicial de injeção a Vasconcelos (2023) realizou a simulação de injeção e obteve alguns parâmetros de injeção, levados como base inicial.

O processo de injeção dos corpos de prova foi realizado, primeiramente utilizando inserto em PETG e em seguida o inserto em PETG + Fibra de Carbono, a cada início do processo de injeção realizou-se a montagem e testes dos sensores termopares tipo T e tipo K como também o sistema de coleta de dados.

Na realização dos primeiros testes foi necessário realizar ajustes dos parâmetros de injeção, realizado três injeções para chegar aos parâmetros ideais demonstradas na Tabela 7, logo após tendo início obtendo 50 amostras do inserto em PETG.

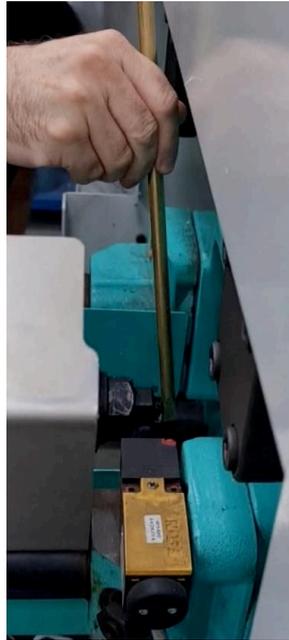
Tabela 7 – Parâmetros para a injeção.

Descrição	Parâmetros do Processo
Material	PP H105 Braskem
Temperatura da matéria-prima	210°C
Força de fechamento	100 kN
Tempo médio de ciclo	39,17 s
Tempo de injeção	1 s
Tempo de resfriamento	20 s
Tempo de recalque	10 s
Dosagem	55 mm/s
Pressão de injeção	230 bar
Pressão de recalque	150 bar

Fonte: Autor (2023).

Seguindo a produção em um ambiente industrial foi realizado uma produção contínua em série, uma injeção em sequência da outra, devido à baixa temperatura do fuso com cerca de 210°C, a matéria prima solidificava e obstruía o bico, realizou-se três paradas na injeção no processo, para desobstrução o bico utilizou-se algumas ferramentas conforme demonstra na Figura 19.

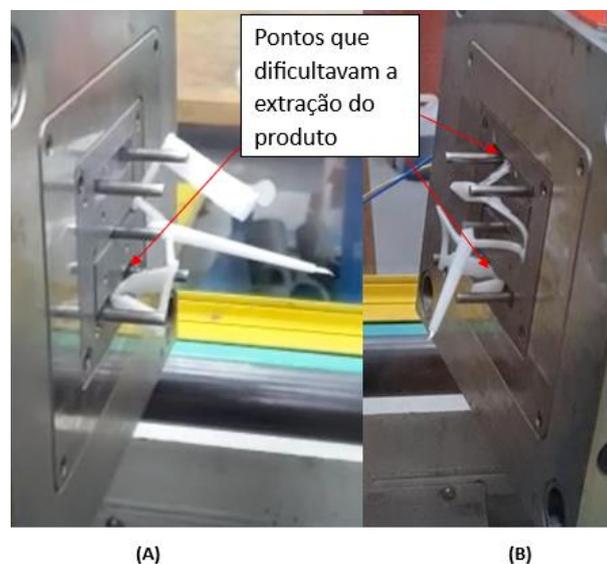
Figura 19 - Obstrução do Bico de Injeção



Fonte: Autor (2023).

Outro fator que estava interrompendo o tempo de produção foi devido aos corpos não serem extraídos pelos pinos extratores, o corpo de tração mesmo desenvolvido um angulo de saída ficou preso no inserto, tendo todos os corpos de prova retirados manualmente, no PETG ficou preso o corpo de tração e no PETG + Fibra de carbono nas primeiras injeções ficou preso nos dois corpos de prova como demonstrado na Figura 20.

Figura 20 – Localidade onde o produto fica preso, (A) inserto PETG e (B) Inserto PETG + Fibra de Carbono.



Fonte: Autor (2023).

No inserto em PETG o processo de injeção teve a duração de uma hora, obtendo 50 amostras retiradas manualmente do inserto, uma característica não desejada analisada no inserto em PETG foi um pequeno vazamento na ponta do corpo de impacto. A partir da amostra 3, o inserto teve início de seu desgaste no canal de alimentação do extrator central, na amostra 6 os corpos de prova começaram a ter marcas de desgaste do inserto, na amostra 11 os canais de alimentação começaram a perder as dimensões e no decorrer das outras amostras foram obtidos um maior desgaste do inserto.

A injeção dos corpos de prova no inserto em PETG com Fibra de Carbono, realizado em 47 minutos, o inserto teve outro comportamento de desgaste, a partir da amostra 3 o desgaste ocorreu no corpo de prova de tração, a matéria-prima apresentava comportamento de aderência no inserto, na amostra 13 o canal de alimentação do extrator central perdeu dimensão e o inserto obteve um maior desgaste nas outras amostras.

No inserto em PETG com Fibra de Carbono devido adição da fibra em sua estrutura, o inserto começou a ter um comportamento de deformação em feixes de fibra conforme o estudo de BEX et al (2021).

Na Figura 21 é demonstra-se todos os corpos de prova injetados onde os que obtiveram uma maior deformação visual dos corpos de prova foram os do inserto com fibra de carbono.

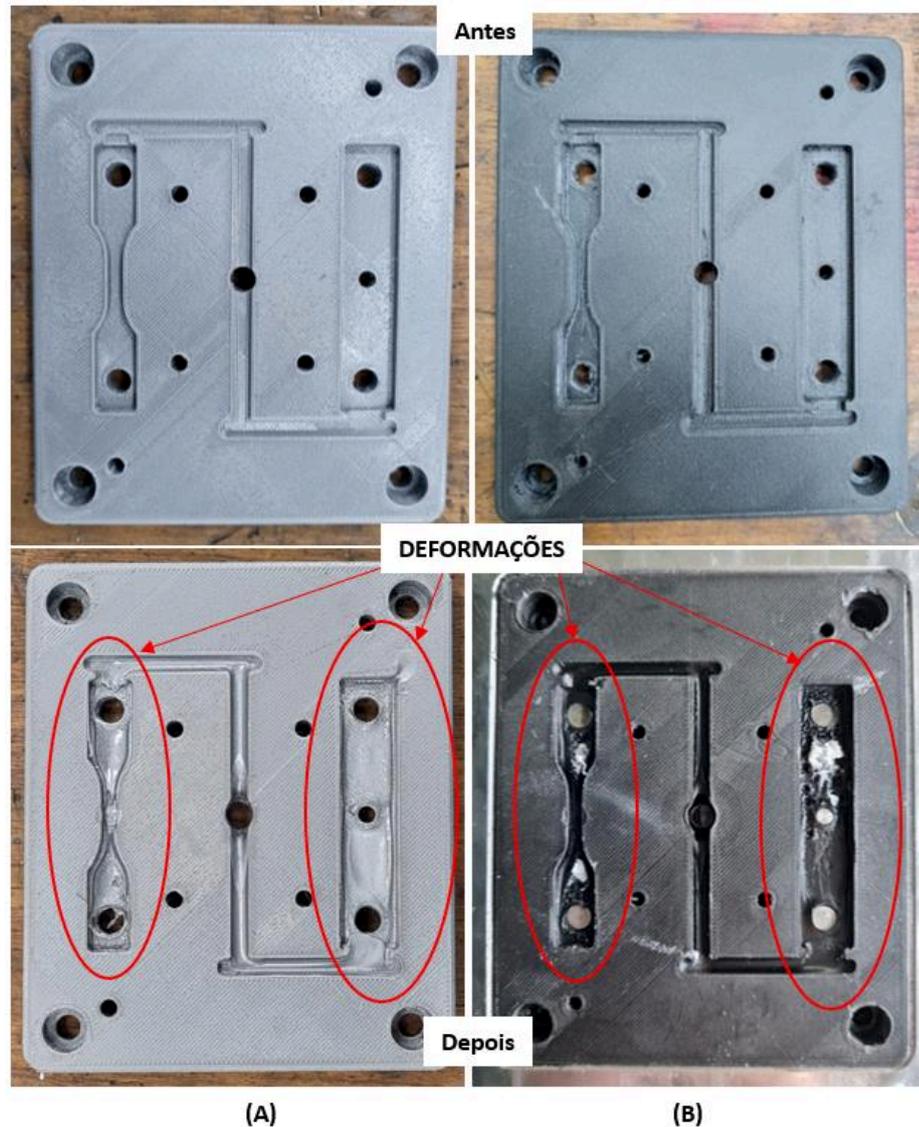
Figura 21 - Todos os corpos de prova em PP (A) do inserto PETG e (B) do inserto PETG com Fibra de carbono.



Fonte: Autor (2023).

Na Figura 22 é possível observar a diferença dos insertos antes da injeção e após a injeção.

Figura 22 - Insertos Antes e Depois da injeção, (A) Inseto em PETG e (B) Inseto em PETG com fibra de carbono.



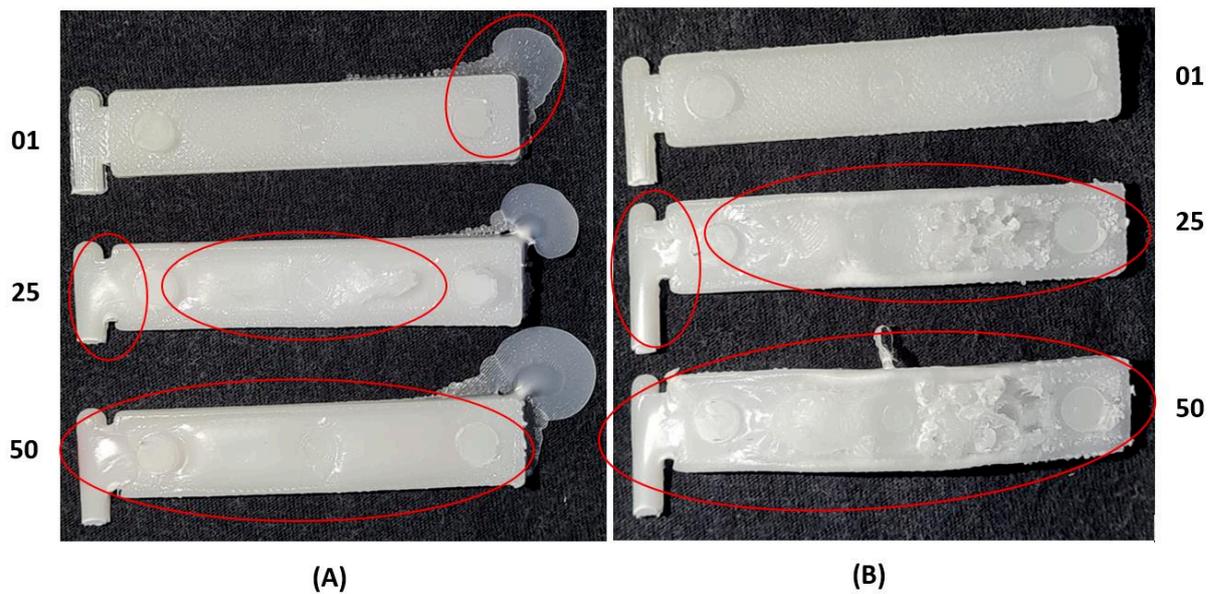
Fonte: Autor (2023).

Conforme demonstrado na Figura 22 cada inserto obteve um comportamento de desgaste diferente, em uma análise visual o inserto em PETG com fibra de carbono obteve um desgaste maior que o inserto em PETG, mesmo com a característica da dificuldade de cristalização o PETG obteve desgastes mas com semelhança a estruturas cristalinas do PET, e no inserto em PETG com fibra de carbono devido as suas estruturas com adição da fibra, o

inserto obteve características da resistência de tensões de tração e cisalhamento obtendo o efeito “vassoura” como demonstrado por Bex et al. (2021).

Demonstra-se na Figura 23 três amostras, do início o meio e fim do processo de injeção.

Figura 23 - Desgaste dos corpos de impacto início meio e fim, (A) Inserto em PETG e (B) Inserto em PETG com fibra de carbono.



Fonte: Autor (2023).

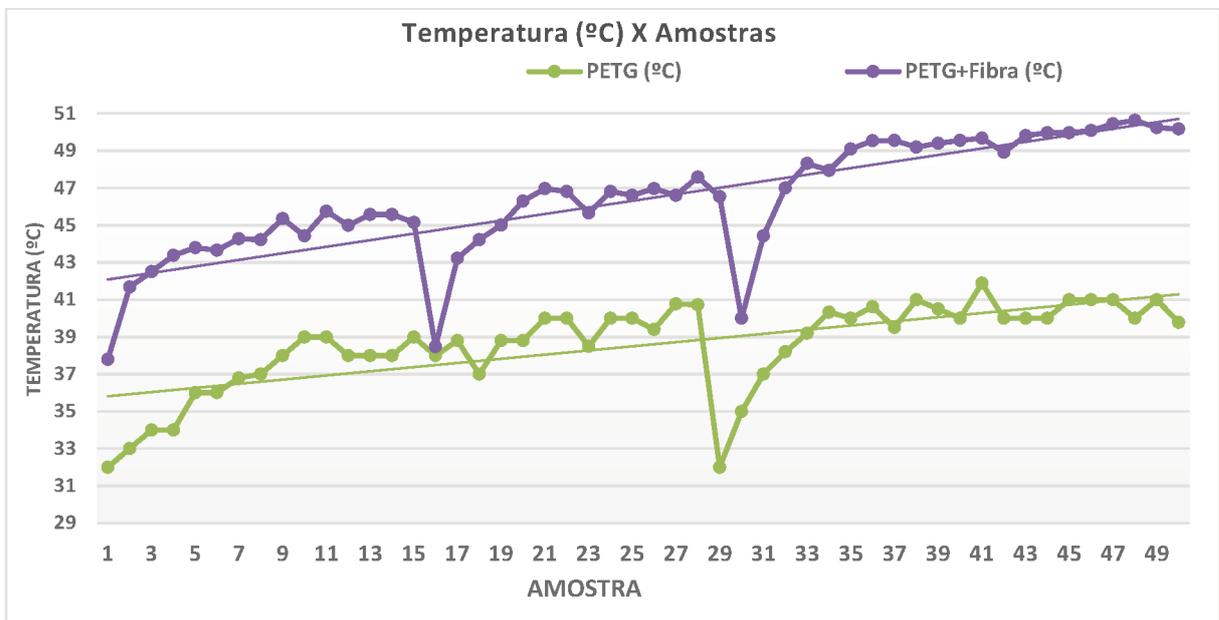
Como demonstrado na Figura 23 o inserto em PETG obteve um vazamento logo no primeiro corpo de prova, na ponta do corpo de prova de impacto, a partir da amostra 25 houve a perda de dimensional do canal de alimentação e do corpo de prova, no final do processo de injeção na amostra 50 o inserto teve um grande desgaste com a perda total do canal de alimentação e do corpos de prova, como também aumentado o seu vazamento de matéria-prima.

No inserto em PETG com fibra de carbono, observa-se na Figura 23 características diferentes de desgastes comparadas com o inserto em PETG, a partir da amostra 25 houve um desgaste no canal de alimentação e uma perda de matéria-prima devido a aderência da matéria-prima no inserto por conta da adição da fibra de carbono, os demais corpos de prova até a amostra 50 obtiveram as características de aderência de matéria-prima no inserto e perda do seu dimensional.

4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

No decorrer da fabricação das 50 amostras de cada inserto, e através do *setup* de monitoramento dos sensores termopares que esteve em contato direto com a matéria prima no corpo de prova de impacto foram obtidos a temperatura de cada amostra como demonstra a Figura 24 ou para uma melhor identificação o Anexo 2.

Figura 24 - Temperatura de cada amostra injetadas nos insertos.



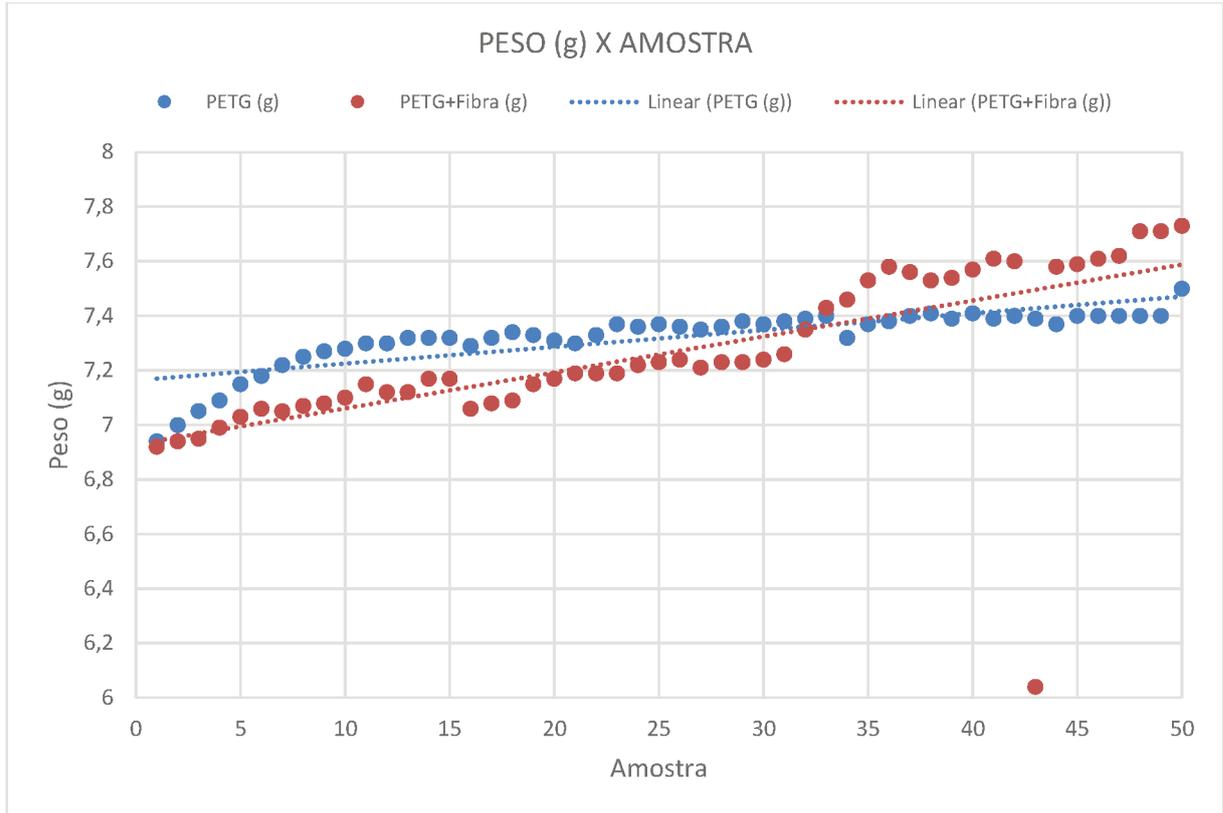
Fonte: Autor (2023).

Na Figura 24 é possível analisar que o inserto em PETG com fibra de carbono obteve maiores temperaturas do início de 37,8°C até o final de 50,18°C com um delta de 12,38°C do processo de injeção comparando com o inserto em PETG com início a temperatura de 32°C e final de 39,78°C com um delta de 7,78°C, observando as linhas de tendencias lineares, o inserto em PETG com fibra de carbono tende o aumento da temperatura mais rápido que o inserto em PETG, esta característica é dada por conta de que a fibra de carbono tem maior resistência a condutibilidade térmica, concentrando uma temperatura maior na cavidade produto e no canal de alimentação, aumentando o tempo de dissipação.

É possível notar a queda de temperatura no inserto em PETG com fibra de carbono duas vezes e uma vez no inserto em PETG, ocasionados pelo entupimento do bico de injeção e parando o processo.

Como relatado na metodologia, realizou-se a aferição dos pesos de todas as amostras dos corpos de prova dos dois insertos, na Figura 25 é demonstrado todos os resultados obtidos de cada amostra de injeção ou para uma melhor identificação Anexo 3.

Figura 25 - Peso de cada amostra injetadas nos insertos.



Fonte: Autor (2023).

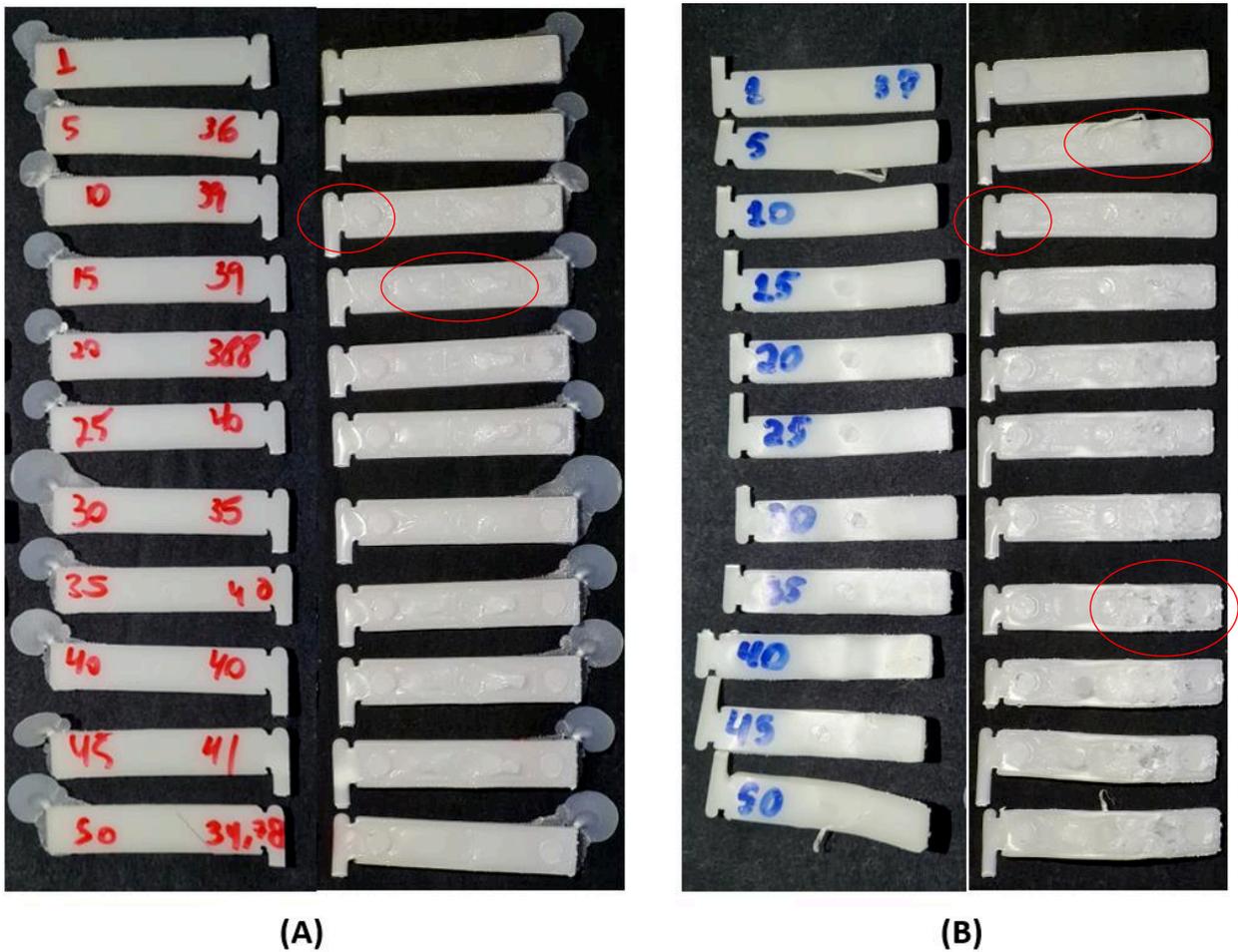
Analisando os dados obtidos a massa de cada amostra da Figura 25, o inserto em PETG teve amostras com massas semelhantes aos do inserto em PETG com fibra de carbono, mas no decorrer da injeção das amostras houve uma convergência da massa em 7,4 gramas, se observar na Figura 24 e realizar uma comparação da massa com a temperatura é possível observar que próximo da amostra 25 houve um comportamento de convergência da massa em 7,4 gramas a uma temperatura de 40°C.

Já no inserto em PETG com fibra de carbono as amostras tiveram massa menores que o inserto em PETG, mas a partir da amostra 32 foram obtidas massa maiores, isso pode ter sido ocorrido por conta que o inserto começou a ter um maior desgaste na cavidade do produto, realizando uma comparação com a temperatura obtida na amostra 32 da Figura 24 que esta amostra estava a uma temperatura superior a 48°C e isso pode ter aumentado o desgaste. Na amostra 43 teve uma massa mais baixa que o normal de 6,4 g por conta do acúmulo de matéria

prima que ocorreu no inserto na cavidade do corpo de prova de impacto como demonstrado na Figura 22.

Para uma análise visual mais detalhada dos corpos de prova e como estavam se desgastando os insertos, na Figura 26 é possível obter as características de deformação de cada inserto nos corpos de prova de impacto e na Figura 27 os corpos de prova de tração.

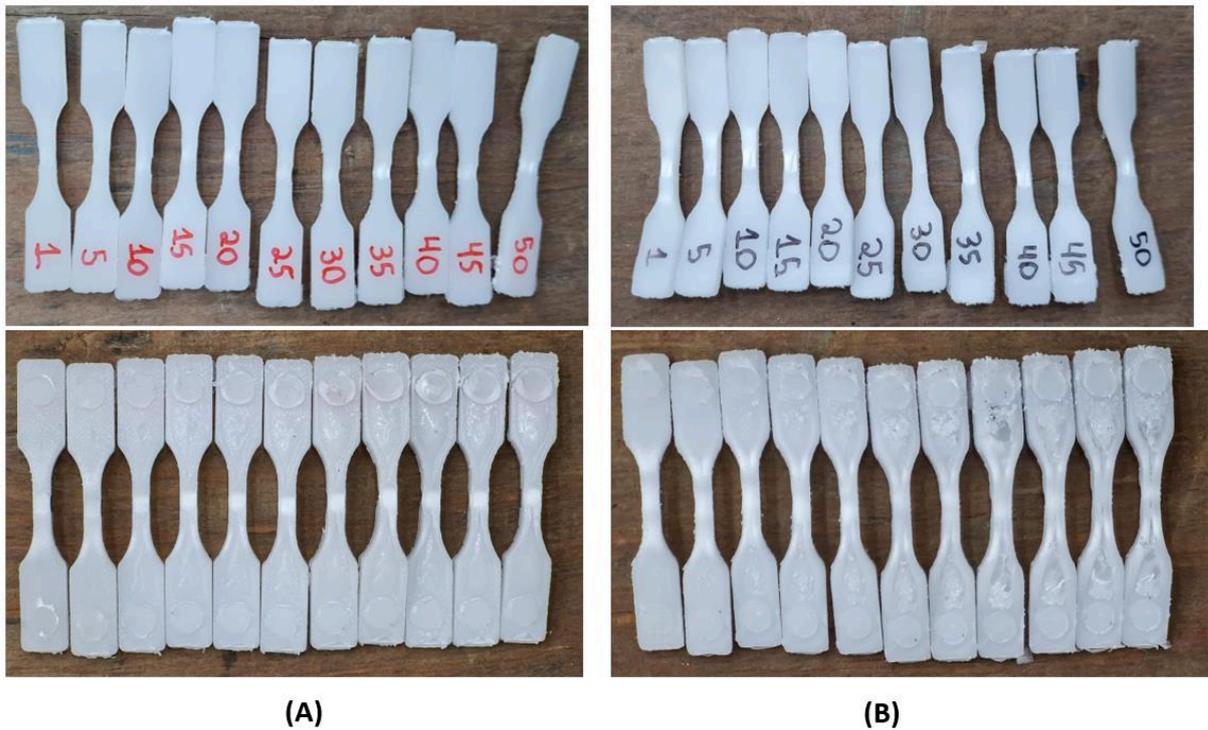
Figura 26 - Amostras de deformação do corpo de impacto lado superior e inferior (A) PETG e (B) PETG + Fibra de Carbono.



Fonte: Autor (2023).

Na Figura 26 é possível observar que os corpos de prova de impacto tiveram características diferentes de desgaste para cada inserto, como também para os corpos de tração da Figura 27.

Figura 27 - Amostras dos corpos de tração lado superior e inferior, (A) do Inserto em PETG e (B) do inserto em PETG com Fibra de Carbono.

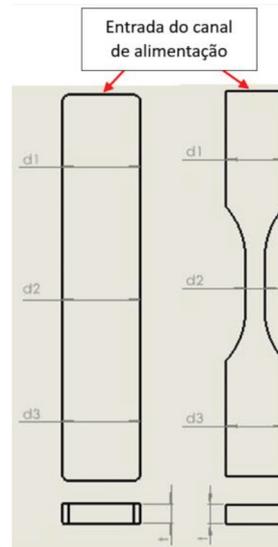


Fonte: Autor (2023).

Conforme demonstra na Figura 26 e 27 e com as informações da Figura 24 e 25, os corpos de prova tem o começo de deformação na amostra 5 como também no canal de alimentação, na amostra 10 tem a deformação do canal alimentação e na amostra 30 até a última um maior desgaste no dois inserto, porém com um maior desgaste no inserto em PETG com fibra de carbono que também tem um maior empenamento no produto.

Seguindo com a realização de uma análise dimensional com um paquímetro, para um conjunto de amostras, se fez necessário a utilização de alguns pontos para esta análise demonstrados na Figura 28.

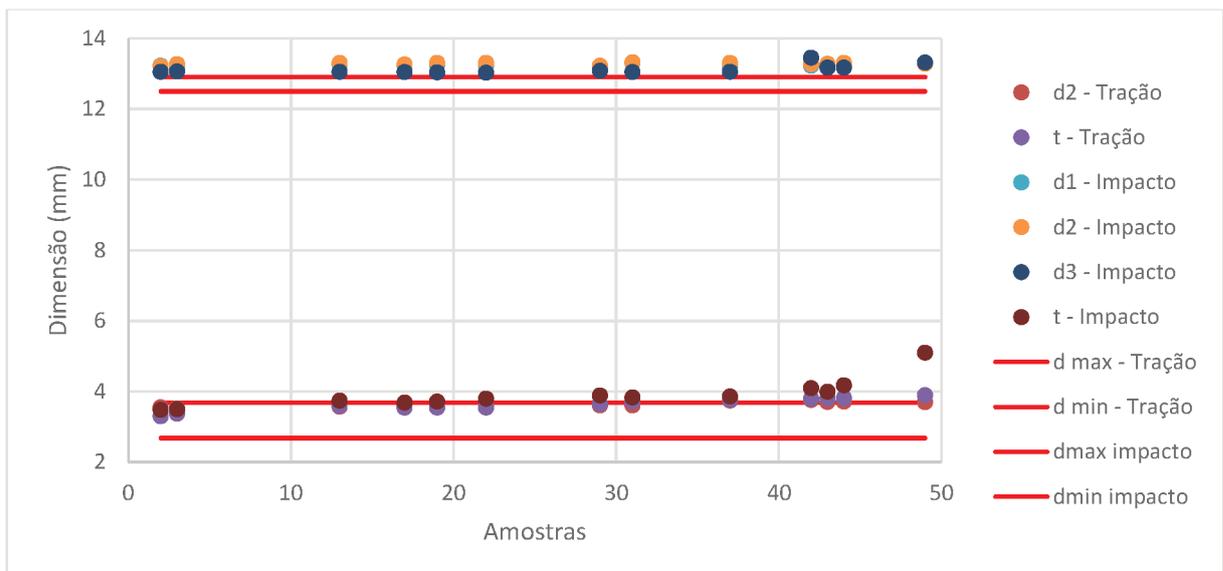
Figura 28 – Pontos para realizar a análise dimensional dos corpos de prova.



Fonte: Autor (2023).

Seguindo que as dimensões mais críticas dos corpos de prova são a dimensão (d2) no corpo de tração e a espessura (t) e no corpo de impacto a dimensão (d1), (d2), (d3) e espessura (t), na Figura 29 é demonstrado os resultados do dimensional de algumas amostras dos corpos de prova do inserto em PETG.

Figura 29 - Análise dimensional do inserto em PETG



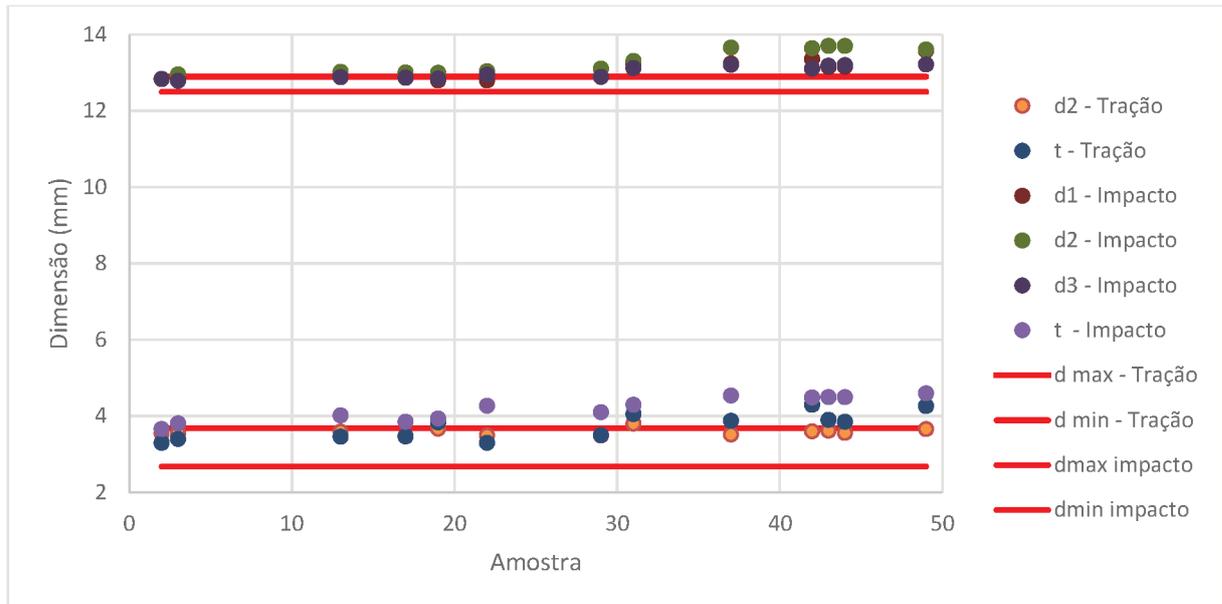
Fonte: Autor (2023).

Conforme demonstra na Figura 29 os corpos de prova já tinham na terceira amostra algumas cotas fora da tolerância devido ao ângulo de saída colocado no inserto, no decorrer das

outras amostras só aumenta as dimensões por conta do inserto estar se desgastando e aumentando as suas dimensões.

A análise dimensional foi realizada nos corpos de prova do inserto em PETG com fibra de carbono disposto na Figura 30.

Figura 30 - Análise dimensional do inserto PETG com Fibra de Carbono.

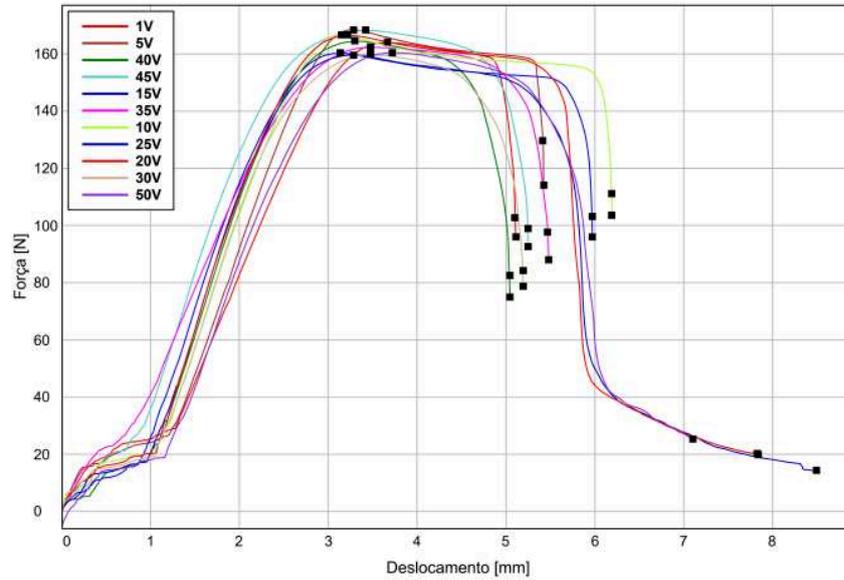


Fonte: Autor (2023).

Os resultados obtidos na Figura 30 é notado que na 13 amostra os corpos de prova estavam fora do dimensional, onde que no decorrer do processo os corpos de prova aumentaram seu dimensional de uma maneira mais alta que o inserto em PETG, obtendo um delta de variação das dimensões de 0,94 mm no inserto PETG com fibra e 0,24 no inserto em PETG, demonstrando que o inserto com fibra desgastou mais.

Na Figura 31 é demonstrado o comportamento dos corpos de prova de tração moldados com o inserto em PETG para uma melhor análise segue os resultados no Anexo 4.

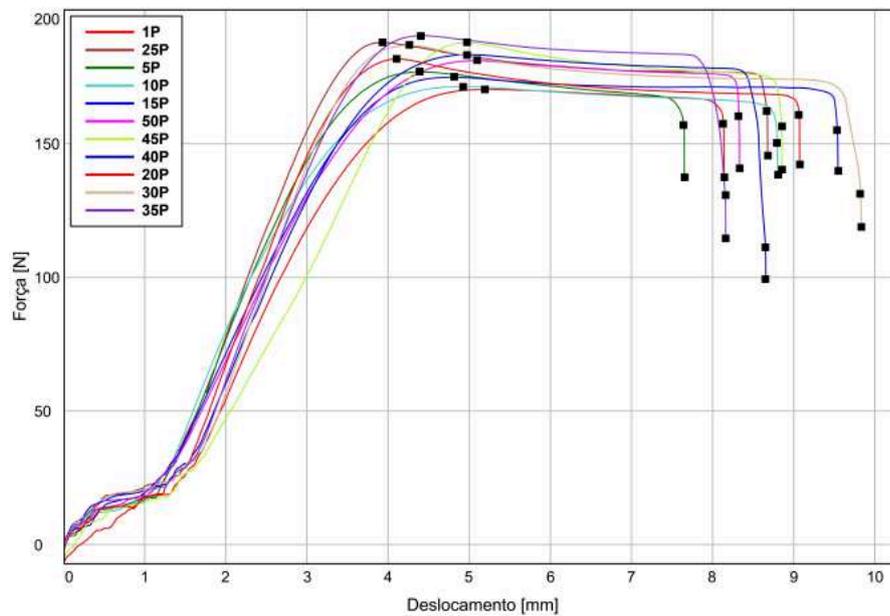
Figura 31 - Teste de tração dos corpos de prova do inserto em PETG.



Fonte: Autor (2023).

Na Figura 32 é demonstrado os valores dos ensaios de tração dos corpos de prova moldados em PETG com fibra de carbono.

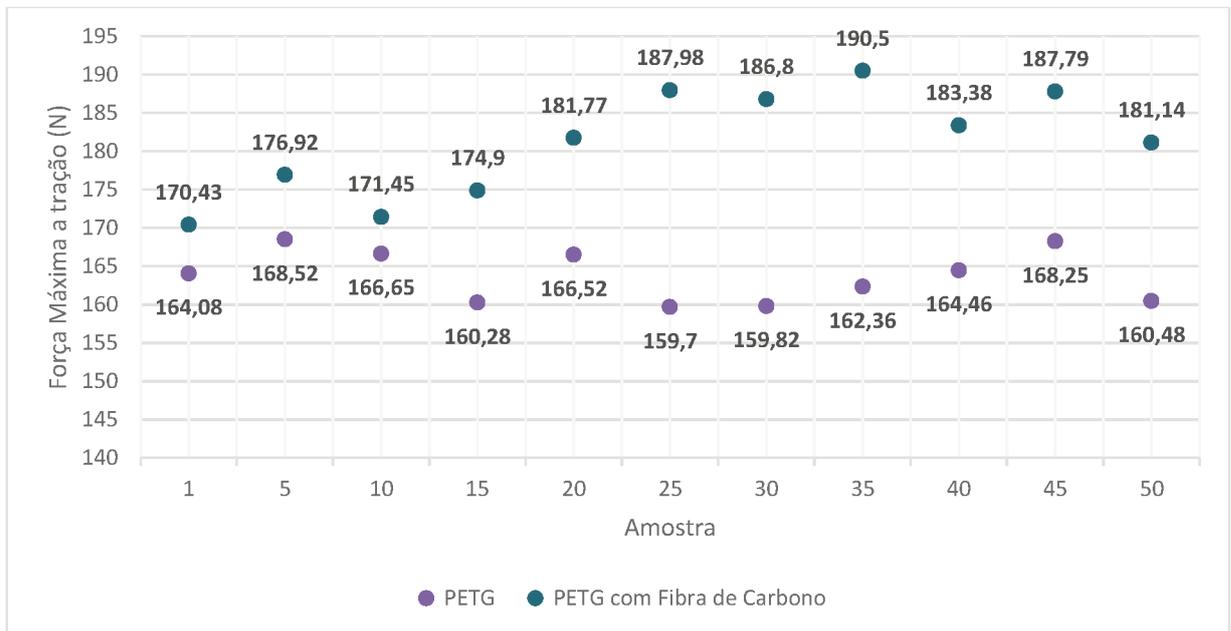
Figura 32 - Teste de tração dos corpos de prova do inserto em PETG com Fibra de Carbono.



Fonte: Autor (2023).

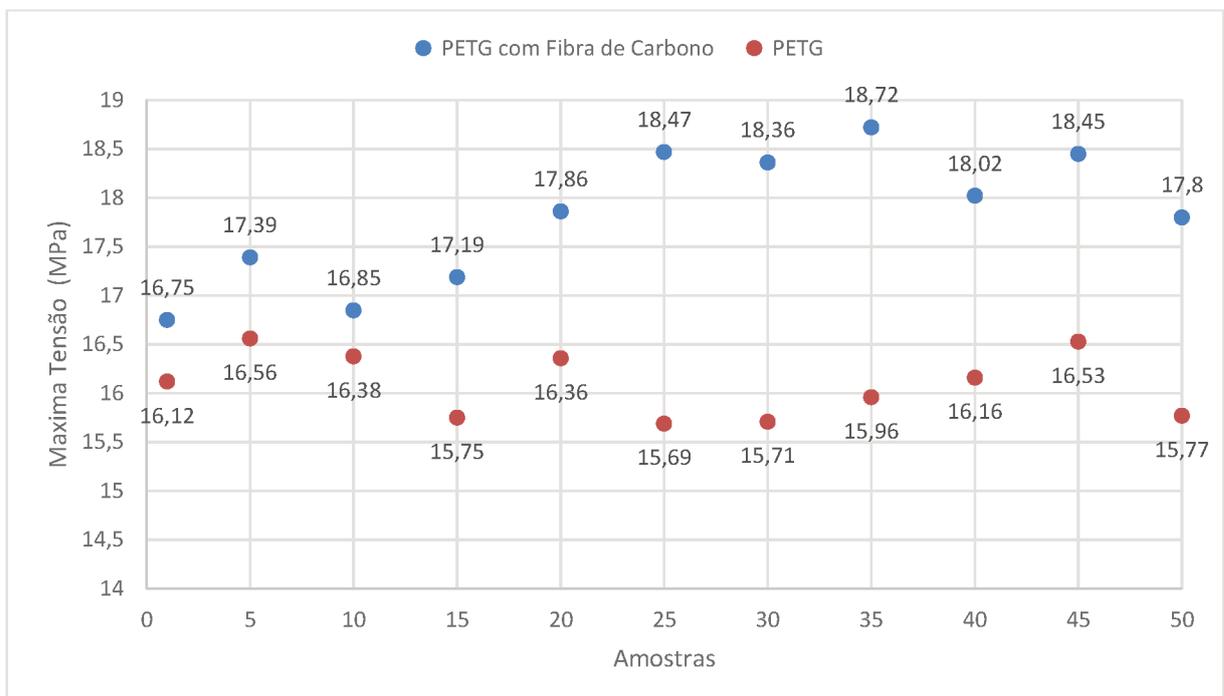
Com base nas informações de tração máxima obtidas e o deslocamento máximo, foi desenvolvido os dados da Figura 33, onde estão dispostos a diferença da força máxima obtida nas amostras de cada inserto como também a tensão máxima na Figura 34

Figura 33 - Força máxima a tração dos insertos PETG e PETG com Fibra de Carbono.



Fonte: Autor (2023).

Figura 34 - Tensão máxima de cada amostra.



Fonte: Autor (2023).

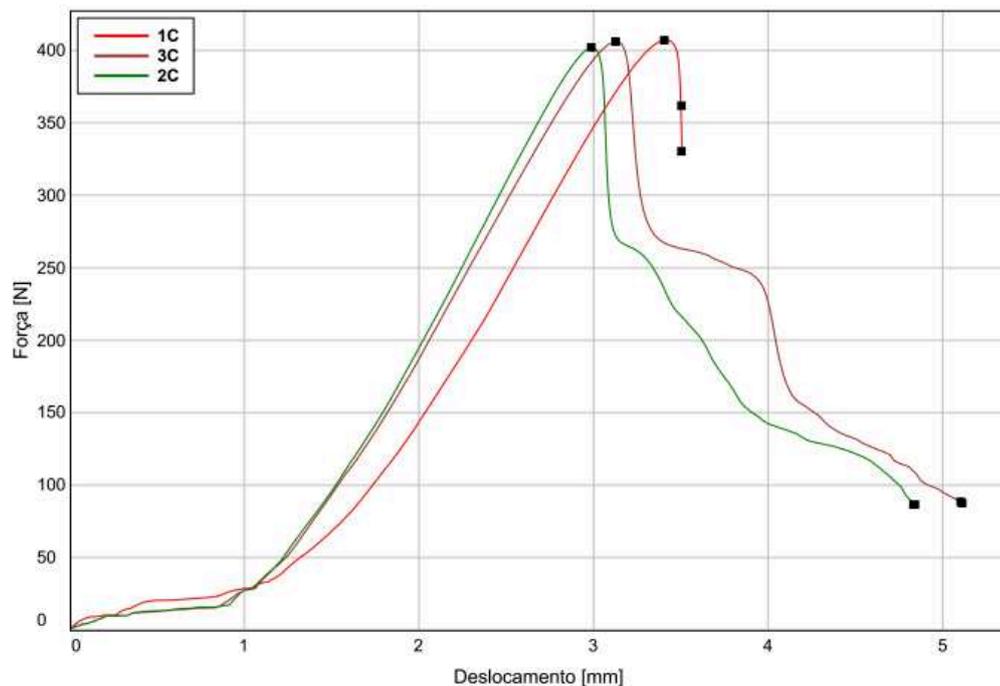
Os corpos de prova do inserto em PETG com 25% de fibra de carbono como demonstrado na Figura 33 e 34, obtiveram desde o primeiro inserto uma maior resistência a tração em comparação com os corpos de prova do inserto em PETG, obtendo maiores forças e

tensão para o seu rompimento, é possível observar que o gráfico aumentou e os corpos de prova injetados no inserto em PETG mesmo com o aumento da massa nos corpos de prova não obtiveram maiores resistências a tração, esta maior resistência ocorreu devido que os corpos de prova do inserto em PETG com FC por terem sido injetados a uma maior temperatura, o PP teve uma maior cristalização tendo uma estrutura com mais ligações dificultando o rompimento.

O delta dos corpos de prova do inserto em PETG é de 8,82 N sendo mais baixo que o inserto com fibra de carbono que é de 20,07 N, onde é possível notar que a maior temperatura no processo de injeção mudou a estrutura do PP.

Realizados testes de tração com corpos de prova moldados por MA no processo de FDM em PETG, demonstrado na Figura 35 os resultados dos ensaios de tração.

Figura 35 - Teste de tração dos três corpos de prova de MA em PETG.



Fonte: Autor (2023).

É possível observar que o ensaio de tração no corpo em MA obteve um deslocamento semelhante aos corpos do inserto em PETG, mas com uma força de tensão a tração mais que o dobro, demonstrado na Tabela 8 outras características do ensaio.

Tabela 8 - Resultados dos testes de tração dos corpos de prova de MA em PETG.

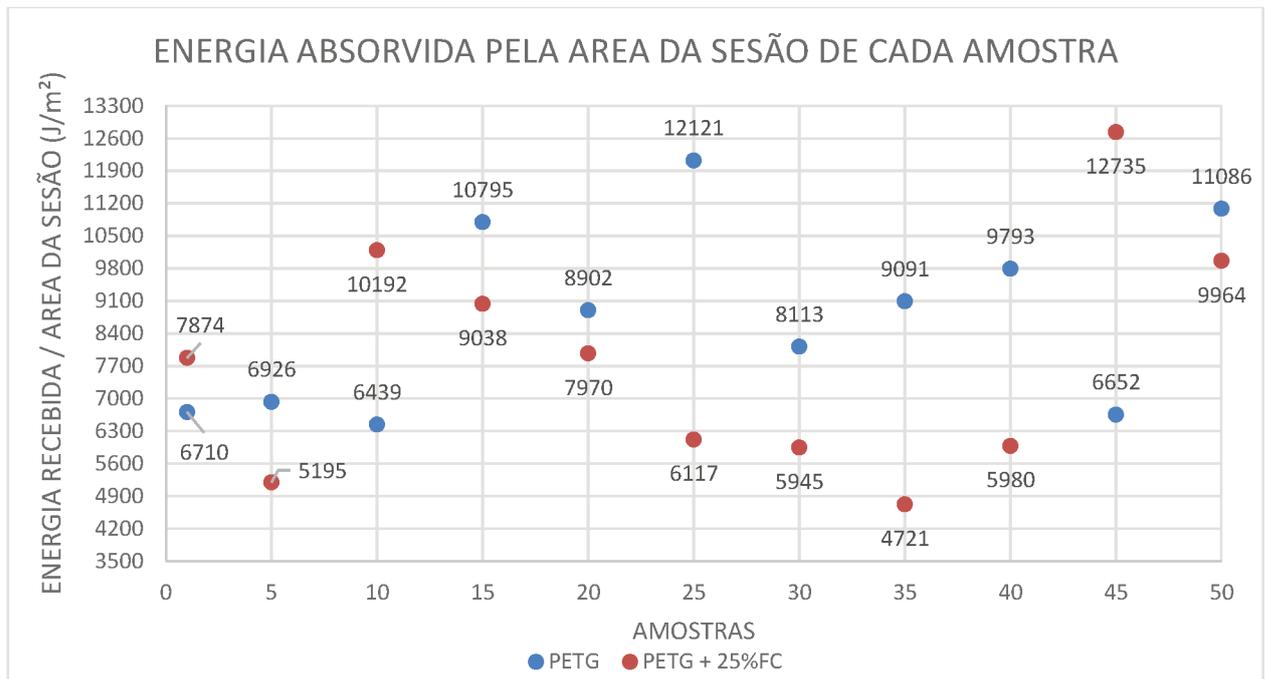
Nº da amostra	Máximo Tensão à tração (MPa)	Força na Máximo Tensão à tração (N)	Módulo (Automático de Young) (MPa)	Deslocamento na Quebra (Padrão) (mm)
1C	40,04	407,4	2387,76	3,5
3C	39,92	406,23	2414,97	5,1
2C	39,52	402,16	2556,44	4,83

Fonte: Autor (2023).

Os ensaios foram realizados a temperatura ambiente e nota-se que o corpo de prova impresso em MA tem bons resultados a tração, em comparação com os corpos de prova em PP dos insertos que tiveram um resultado inferiores, mas o corpo de prova injetado no inserto em PETG com Fibra de Carbono teve um gradual aumento.

Realizou-se os ensaios de impacto, onde foram obtidos os resultados dispostos na Figura 36.

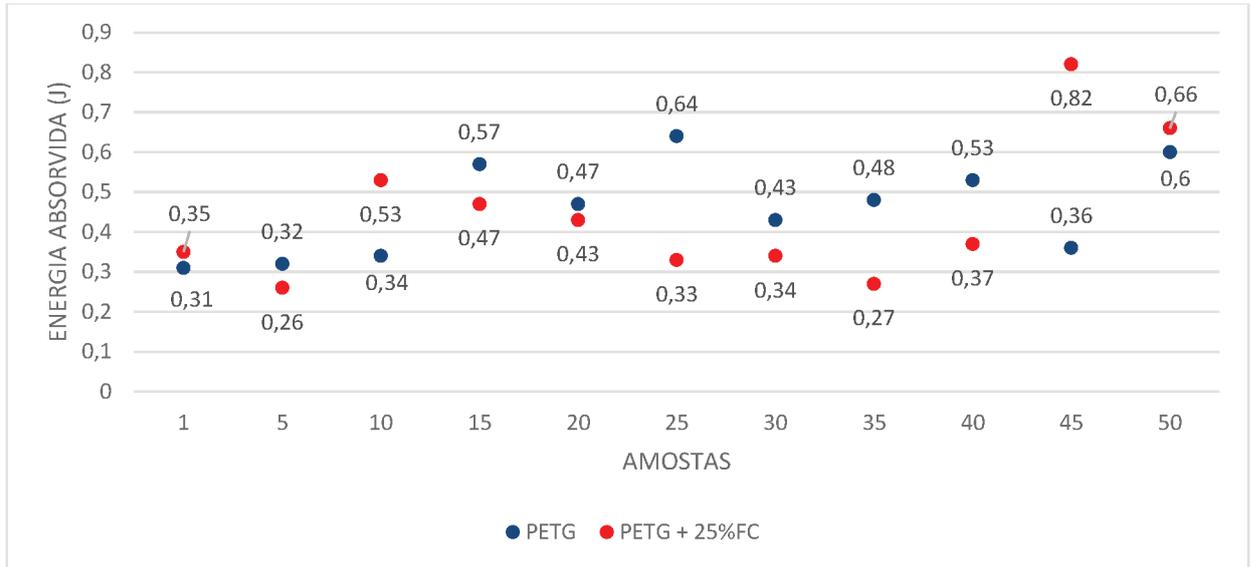
Figura 36 - Resultados dos ensaios de impacto nas amostras.



Observando os resultados de impacto da Figura 36 nota-se que as amostras dos corpos de prova do inserto em PETG obtiveram resultados maiores que os corpos do PETG com fibra de carbono, devido o dimensional dos corpos de prova do inserto PETG com fibra de carbono ter aumentado a área de seção, a energia absorvida pelos corpos de impacto foi menor.

Como demonstra os resultados da Figura 37 a energia absorvida pelos corpos de impacto dos corpos de prova do inserto em fibra foram menores.

Figura 37 - Energia Absorvida que cada amostra teve no ensaio de impacto.



Fonte: Autor (2023).

Observando os resultados das Figuras 36 e 37, os resultados foram diferentes dos ensaios de tração, mesmo com a característica do PP obter uma maior cristalização para os corpos de impacto os corpos do inserto com fibra de carbono obtiveram uma menor resistência ao impacto, podendo ser a causa desta queda a aderência de matéria-prima no inserto com fibra de carbono, obtendo uma estrutura mais frágil.

5. CONCLUSÃO

Em poucos corpos de prova injetados os insertos já começaram a se desgastar, primeiramente ocorrendo no canal de alimentação, depois na própria estrutura do produto e posteriormente no canal inteiro de alimentação, obtendo esta conclusão com a análise dimensional e aferição das massas dos corpos, como também inspeção visual foi confirmado este desgaste.

Na investigação do trabalho o inserto em PETG teve um desgaste menor que o inserto em PETG com fibra de carbono, por conta que a fibra de carbono tem característica de ter resistência a condutividade térmica, e a cavidade onde foi injetado o produto teve temperaturas mais elevadas que o inserto em PETG.

Devido ao inserto em PETG com fibra de carbono obter maiores temperaturas de injeção em seu processo, a matéria-prima que foi o PP tem uma cristalização maior a essas temperaturas maiores, devido a isso nos ensaios de tração os corpos de prova em PETG com fibra de carbono obtiveram resultados maiores que o outro inserto em PETG.

A utilização de Fibra de Carbono veio com a possibilidade de melhoria na resistência do inserto para o desgaste no molde híbrido, porém os resultados foram o contrário, por conta da característica que a fibra de carbono tem uma resistência maior a temperatura.

De acordo com os resultados e análises obtidos, para as indústrias a utilização de insertos fabricados por MA em modelagem FDM, tem pontos positivos que é o ajuste rápido no processo de injeção com molde híbrido, com o objetivo de validar algum ajuste ou a produção de pequenos volumes de produtos, as vantagens são o baixo custo com uma velocidade de fabricação rápida, porém com uma vida útil baixa do inserto, é adequado também para a realização de protótipos e na validação de processos ou produtos.

RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Como o molde híbrido com inserto em MA é algo inovador na indústria, se tem muitas melhorias e oportunidades a serem realizadas, tendo alguns pontos importantes levantados neste estudo que podem ser realizados como oportunidades de pesquisa de melhoria neste tema, segue as seguintes recomendações:

- Desenvolver insertos com um canal de alimentação sem os cantos vivos, mais uniforme com curvatura e tamanho contínuo;
- Desenvolver insertos de outros materiais com características mais resistentes de temperatura e estruturais para a utilização nos os insertos fabricados por MA;
- Analisar a estrutura molecular e morfológica da diferença entre o PETG e rPETG no molde híbrido fabricando produtos termoplásticos.
- Realizar um projeto com a utilização de canais de refrigeração e analisar o comportamento da refrigeração na melhoria da eficiência do ciclo e empenamento do produto.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D3641-14**: Standard Practice for Injection Molding Test Specimens of Thermoplastic Molding and Extrusion Material, 2014.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D638-14**: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic, 2010.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D256-10**: Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics, 2010.
- BARRETA, D. R. Estudo comparativo e experimental de materiais aplicados a insertos machos de molde de injeção dentro do conceito de molde híbrido. **Dissertação (Mestrado) na Universidade de Caxias do Sul**. 2007.
- BEX, G. J. P. et al. Sustainable approach to produce 3D-printed continuous carbon fiber composites: “A comparison of virgin and recycled PETG”. **POLYMER COMPOSITES**, v. 42, ed.9, p. 4253-4264. 2021.
- CERTI. **Manufatura aditiva: conheça a tecnologia e suas vantagens**. Disponível em: <https://certi.org.br/blog/manufatura-aditiva-conheca-a-tecnologia-e-suas-vantagens/>. Acesso em: 04 mai. 2022.
- COSTA, C. A.; JUNIOR, G. B. M. Manufatura aditiva aplicada na fabricação de insertos para moldes de injeção termoplásticos. **SCIENTIA CUM INDUSTRIA**, v. 7, n. 2, p. 76 — 82, 2019.
- CHAN, K. et al. Low-cost 3D printers enable high-quality and automated sample preparation and molecular detection. **PloS one**, v. 11, n. 6, Jun. 2016.
- DURALEK, P. L. et al. Thermal, Rheological and Mechanical Properties of PETG/rPETG Blends. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 27, p. 2600–2606. 2019.
- ECIL. **Termopares Tipo K e Tipo T**. Disponível em: <https://ecil.com.br/pirometria-2/termopares/termopar-tipo-k/>. Acesso em: 18 mai. 2023.
- FERIOTTI, M. A.; MARCELINO, D. M.; POHLMANN, M. N.; NETO, J. M.; ROSA, J. L. Aplicações da manufatura aditiva e impressão 3D na fabricação de moldes para injeção de termoplásticos. **Brazilian Journal of Production Engineering**, v. 7, n.3, p. 199-218, set., 2021.
- FERNANDES, A. F. et al. Supply chain e o impacto da impressora 3D. **Trabalho final de disciplina (MBA em Engenharia e Gestão de Manufatura e Manutenção) - Universidade de São Paulo**. 2014. Disponível em: https://brasscom.org.br/wp-content/uploads/2017/08/estudosassociados_imprensa_usp.pdf
- FOGGIATTO, J. A. et al. Moldes de ABS construídos pelo processo de modelagem por fusão e deposição para injeção de PP e PEBD. **Polímeros**, [s.l.], v. 14, n. 5, p.349-353, dez. 2004. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-14282004000500013>. Acesso em: 23 mai. 2023.

HARADA, J. **Moldes para injeção de termoplásticos: projetos e princípios básicos**. [S.l.]: Artliber, 2004.

KOCHOV, A. Mold Design and Production by Using Additive Manufacturing (AM) - Present Status and Future Perspectives. **International Scientific Journal Industry 4.0**. v.3(02), pp.82-85, 2018.

KOVACOVA, Maria. **Novel Hybrid PETG Composites for 3D Printing**. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app10093062>. Acesso em 18 mai. 2023

LIPSON, H.; KURMAN, M. **Fabricated: The New World of 3D Printing**. Indianápolis: John Wiley and Sons, Inc., 2013.

LOPES, M.; WILTGEN, F. Manufatura aditiva e subtrativa na construção de moldes mecânicos híbridos para aplicação em manufatura formativa. **RETEC**, v. 15, n. 1, p. 45-63, jan./jun., 2022.

LUCIANO, L. S. PROJETO DE UM MOLDE DE INJEÇÃO DE TERMOPLÁSTICO MODULAR. **Dissertação (Graduação) na Universidade Federal de Santa Catarina**. 72p. 2021.

MARTINHO, P. G.; BÁRTOLO, P. J.; POUZADA, A. S. 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.

MATTEDE, H. **Termopar tipo k – Características e aplicações!**. Mundo da Elétrica. 2014. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/termopar-tipo-k-caracteristicas-aplicacoes/>. Acesso em: 24 mai. 2023.

MIRANDA, D. A. Estudo Experimental e de Simulação Computacional para Análise e Melhoria da Eficiência de um Molde de Injeção de Termoplásticos. **Dissertação (Mestrado) na Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE)**. 112p. 2017.

MISUGI, G.; NETO, L. G. A Insuficiência dos Paradigmas de Proteção à Propriedade Intelectual Frente às Novas Tecnologias: Desafios Jurídicos em Decorrência da Comercialização de Scanners e Impressoras 3D. In: ASSAFIM, João Marcelo de Lima; BOFF, Salete Oro; PIMENTEL, Luiz Otavio. (Org.). **Propriedade intelectual, transferência de tecnologia e inovação**. 1ed. Florianópolis: CONPEDI, v. 23, p. 53-76, 2014.

MOURÃO, L. B.; MIRANDA, C. A. S.; TAVARES, P. H. C. P. Impacto da Manufatura Aditiva nos Processos Tradicionais de Produção: Um Estudo de Caso em Joalheria Artesanal. **GEPROS**. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, v. 14, n.3, p. 222 - 233, 2019.

PLESSIS, D.A.; ROUX, S. G. L.; BOOYSEN, G.; ELS, J. Directionality of cavities and porosity formation in powder-bed laser additive manufacturing of metal components investigated using X-Ray Tomography. **3D printing and additive manufacturing**, v.3, n.1, p.48 - 55, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1089/3dp.2015.0034>. Acesso em: 16 mai. 2023.

RODRIGUES, S. J. F. Estudo do Desempenho de Moldes Híbridos em Moldação Por Injeção. **Dissertação (Mestrado) na Universidade do Minho**. 130p. 2014.

R. A. **Additive Manufacturing Market To Reach USD 23.33 Billion By 2026**. Disponível em: <http://www.globenewswire.com/news-release/2019/03/18/1756526/0/en/Additive-Manufacturing-Market-To-Reach-USD-23-33-Billion-By-2026.html>. Acesso em: 25 mai. 2023

RIVETTE, M.; MOGNOL, P.; HASCOET, J.y. Method to obtain hybrid rapid tools with elementary component assembly. **Rapid Prototyping Journal**, [s.l.], v. 19, n. 2, p.77-87, mar. 2013.

SANTANA, L.; ALVES, J. L.; NETTO, A. C. S.; MERLIN, C. Estudo comparativo entre PETG e PLA para Impressão 3D através de caracterização térmica, química e mecânica. **Revista Matéria**, v.23 n.4, 2018.

TORABI, P.; PETROS, M.; KHOSHNEVIS, B. Selective inhibition sintering: the process for consumer metal additive manufacturing. **3D printing and additive manufacturing**, v.1 n.3, P.152-155. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1089/3dp.2014.0017>

VASCONCELOS, L. Desempenho de Insertos em PLA em Moldes Híbridos na Injeção de peças em Polipropoleno. **Trabalho de Conclusão de Curso na Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville**. 2023.

VIANA, J. **Tempo de Ciclo, Processamento de Polímeros II**. 2009.

WANG, X.; LIU, W.; ZHOU, H. et al. Study on the effect of dispersion phase morphology on porous structure of poly (lactic acid)/poly (ethylene terephthalate glycol-modified) blending foams. **Polymer**, v. 54 n. 21, p. 5839-5851, Oct. 2013.

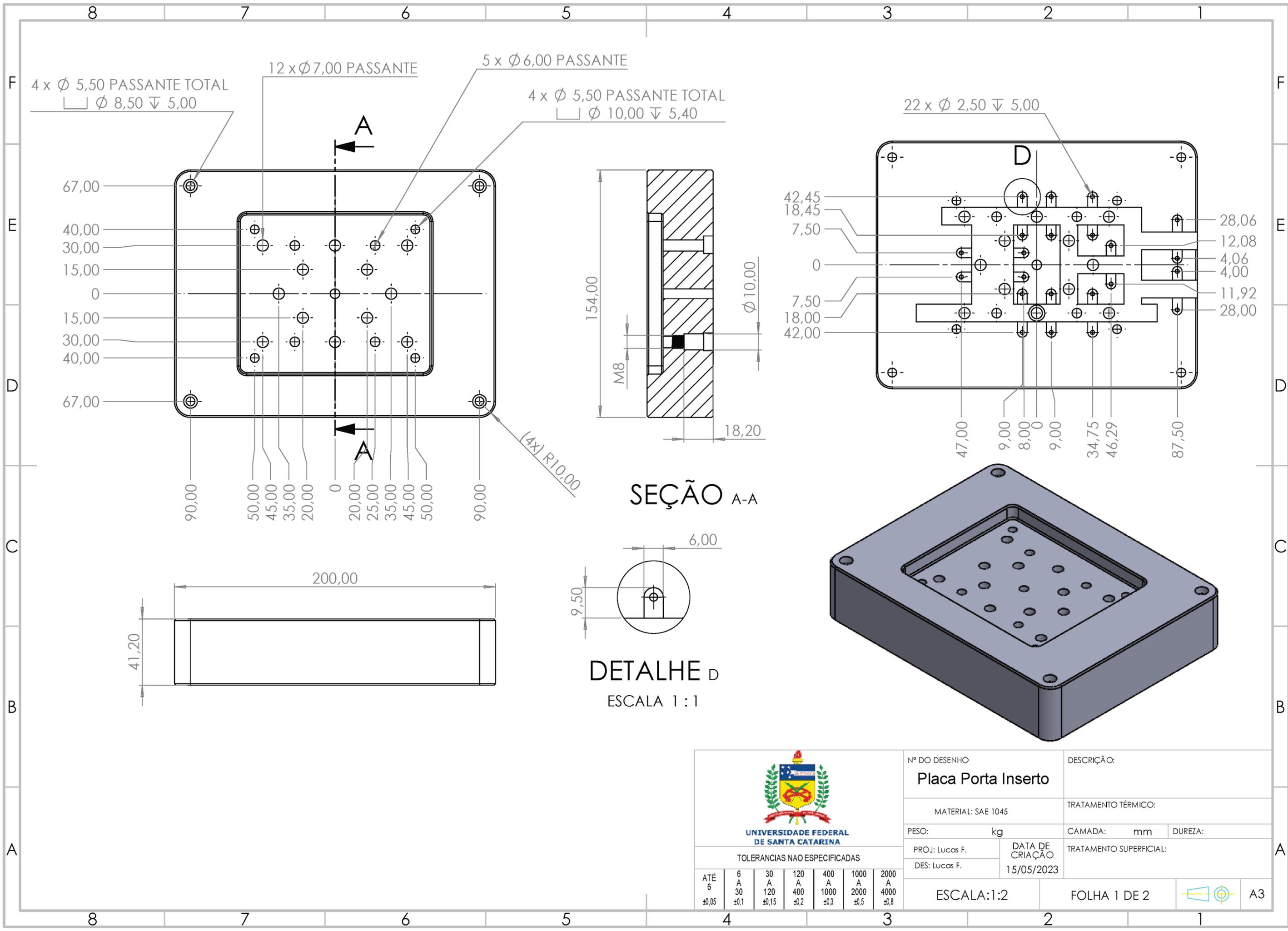
WILTGEN, F.; GOMES, J. Simulação Fluidodinâmica de Trem de Pouso de Aeronaves: Manufatura Aditiva versus Manufatura Subtrativa. **Revista de Engenharia e Tecnologia**. v.13(04), p.75-84, 2021.

WISHBOX. **[Manufatura aditiva em 2021] Um ano de renovação radical para a indústria**. Disponível em: <https://www.wishbox.net.br/blog/manufatura-aditiva-2021/>. Acesso em: 04 mai. 2023

ANEXO 1 – Desenhos para a fabricação do porta inserto e inserto

Neste anexo esta todos os desenhos desenvolvidos do projeto:

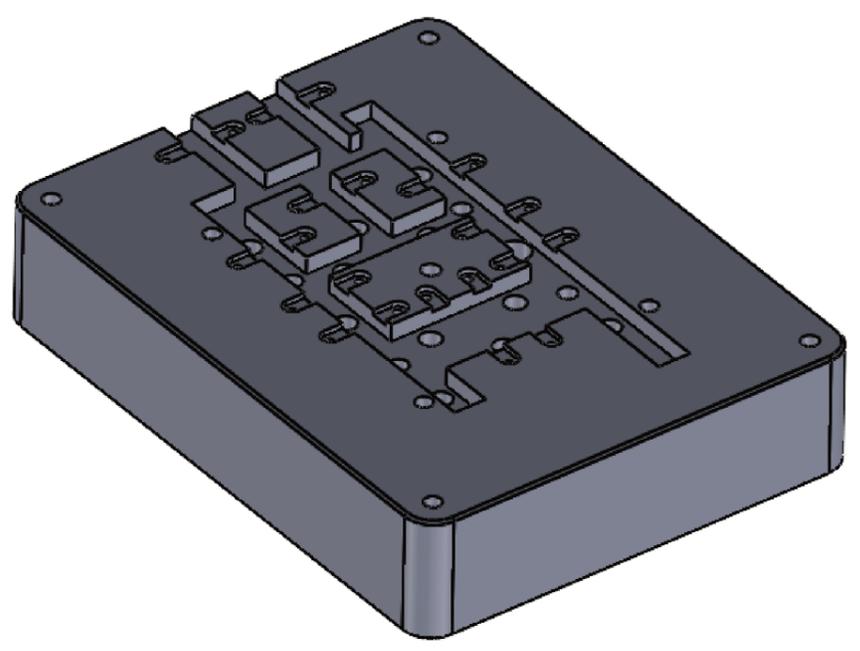
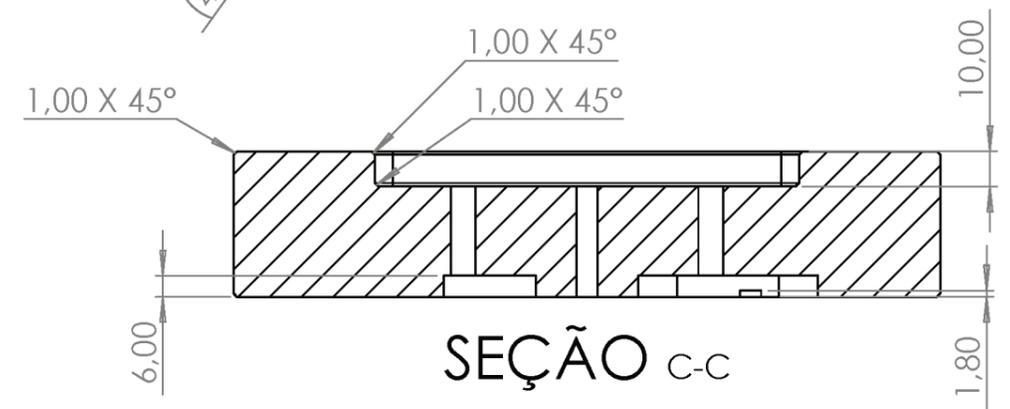
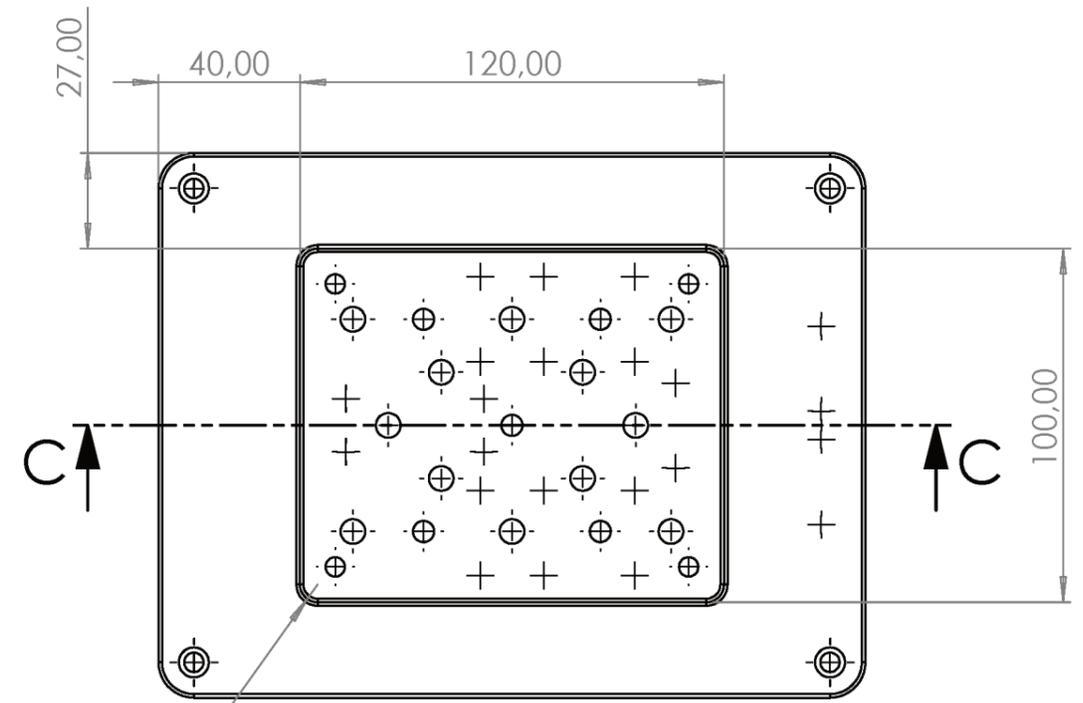
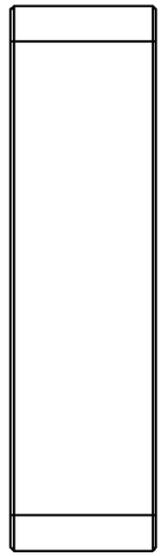
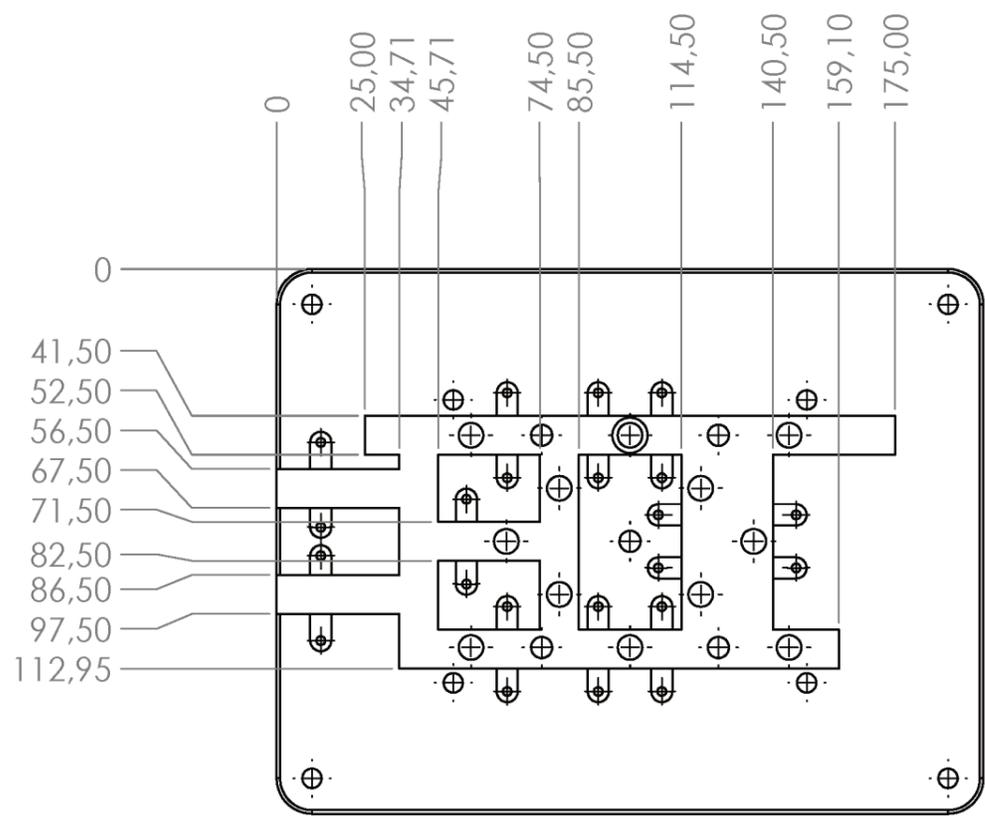
- Placa Porta Inserto
- Inserto MA Corpos de prova
- Corpo de Prova Tração
- Corpo de Prova Impacto



 UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA TOLERANCIAS NAO ESPECIFICADAS	Nº DO DESENHO		DESCRIÇÃO:																													
	Placa Porta Inserto																															
	MATERIAL: SAE 1045		TRATAMENTO TÉRMICO:																													
	PESO: kg	CAMADA: mm	DUREZA:																													
PROJ: Lucas F.	DATA DE CRIAÇÃO	TRATAMENTO SUPERFICIAL:																														
DES: Lucas F.	15/05/2023																															
<table border="1"> <tr> <td>ATÉ</td> <td>6</td> <td>30</td> <td>120</td> <td>400</td> <td>1000</td> <td>2000</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>30</td> <td>120</td> <td>400</td> <td>1000</td> <td>2000</td> <td>4000</td> </tr> <tr> <td>±</td> <td>0,05</td> <td>±0,1</td> <td>±0,15</td> <td>±0,2</td> <td>±0,3</td> <td>±0,5</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>±0,8</td> </tr> </table>	ATÉ	6	30	120	400	1000	2000	A	30	120	400	1000	2000	4000	±	0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5							±0,8	ESCALA: 1:2	FOLHA 1 DE 2	 A3	
ATÉ	6	30	120	400	1000	2000																										
A	30	120	400	1000	2000	4000																										
±	0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5																										
						±0,8																										

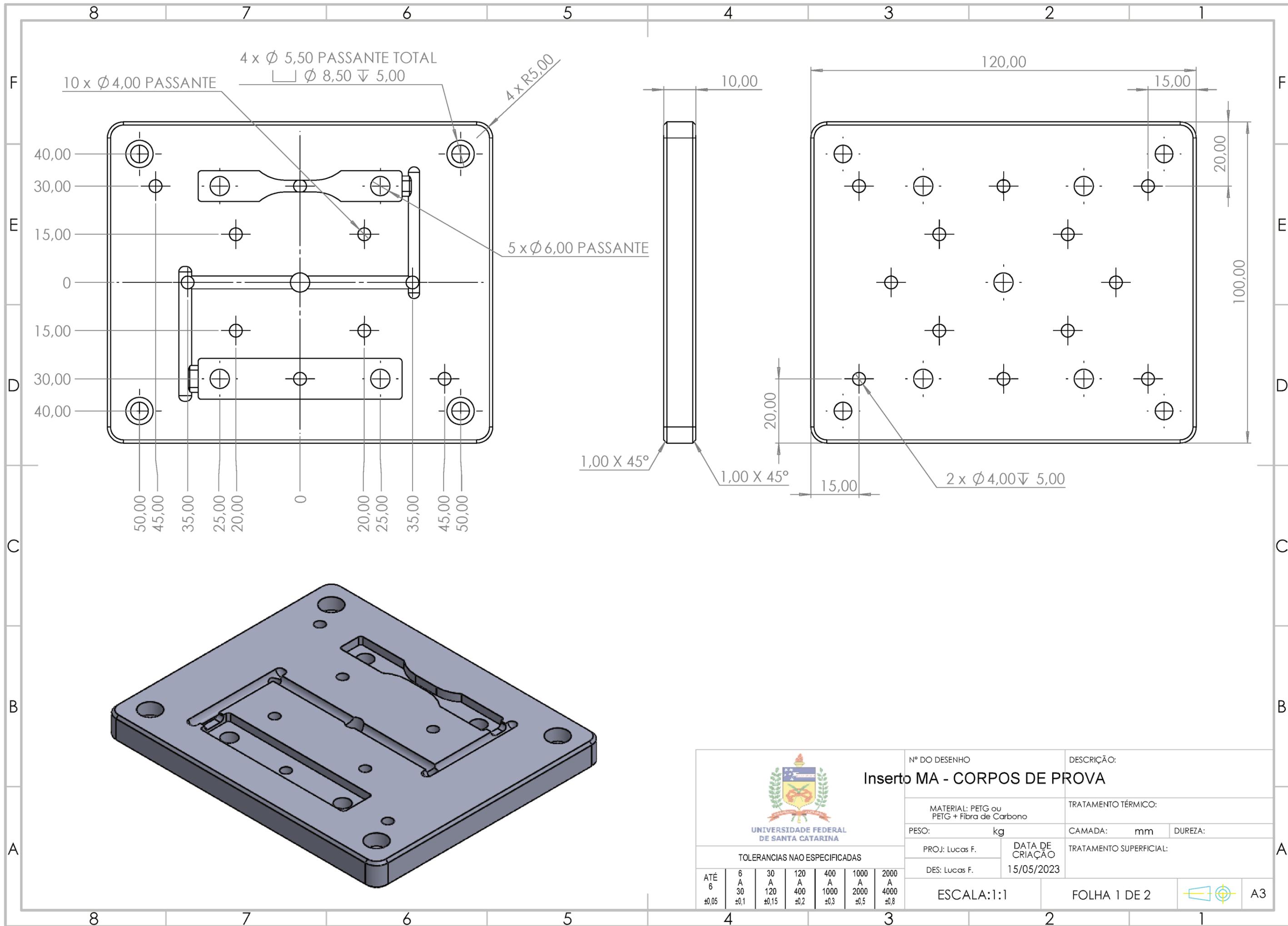
8 7 6 5 4 3 2 1

F
E
D
C
B
A

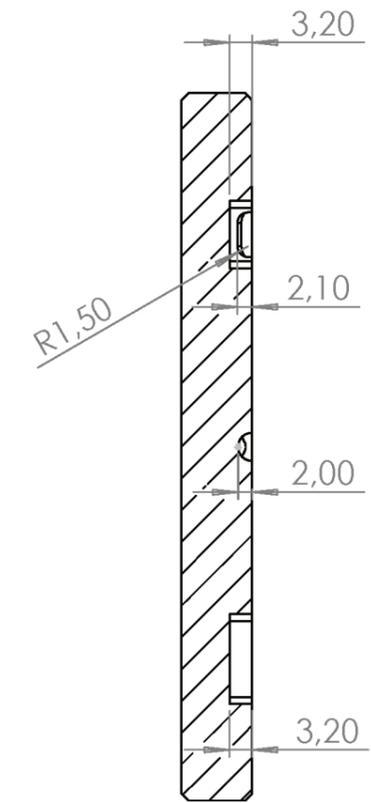
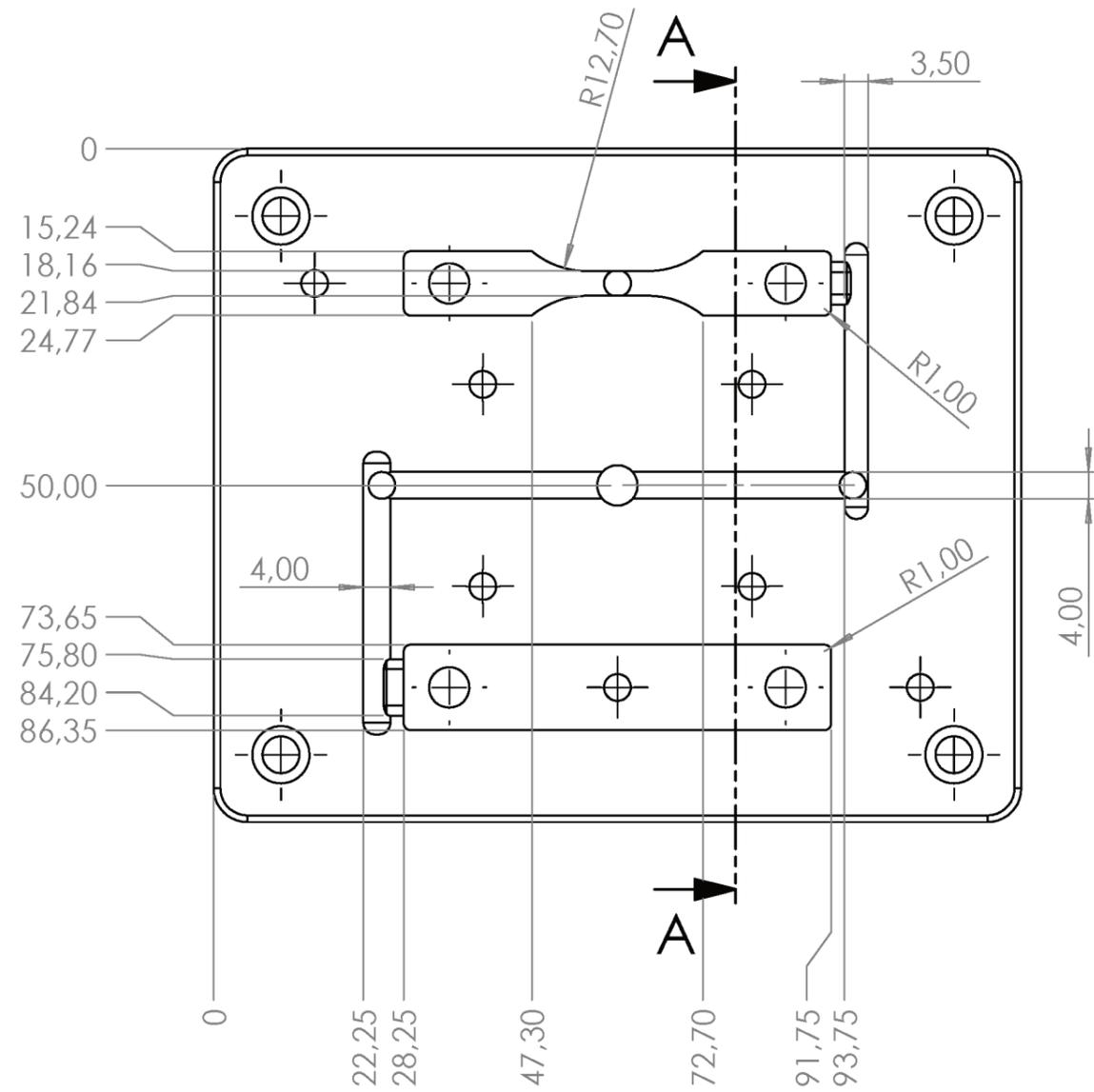


 <p>UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA</p> <p>TOLERANCIAS NAO ESPECIFICADAS</p>	Nº DO DESENHO		DESCRIÇÃO:			
	Placa Porta Inserto					
	MATERIAL: SAE 1045		TRATAMENTO TÉRMICO:			
	PESO:	kg	CAMADA:	mm	DUREZA:	
PROJ:	Lucas F.	DATA DE CRIAÇÃO	TRATAMENTO SUPERFICIAL:			
DES:	Lucas F.	15/05/2023				
ATÉ	6	30	120	400	1000	2000
6	A	A	A	A	A	A
±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8
ESCALA: 1:2		FOLHA 2 DE 2				A3

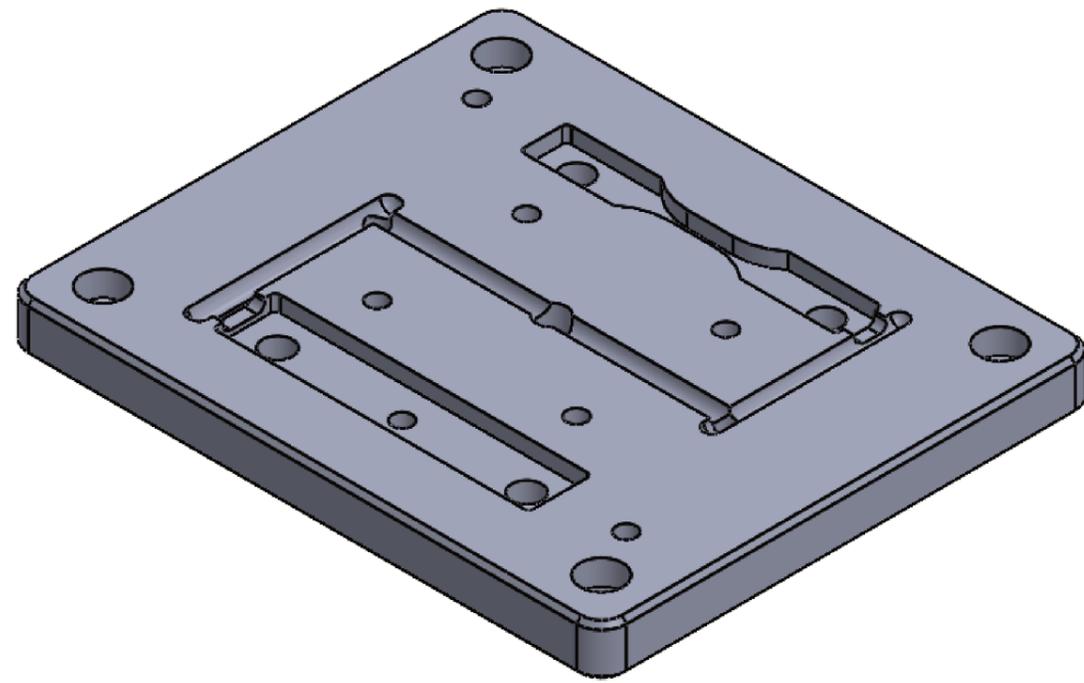
8 7 6 5 4 3 2 1



 UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA	Nº DO DESENHO		DESCRIÇÃO:			
	Inserto MA - CORPOS DE PROVA					
MATERIAL: PETG ou PETG + Fibra de Carbono		TRATAMENTO TÉRMICO:				
PESO: kg		CAMADA:	mm	DUREZA:		
PROJ: Lucas F.		DATA DE CRIAÇÃO		TRATAMENTO SUPERFICIAL:		
DES: Lucas F.		15/05/2023				
TOLERANCIAS NAO ESPECIFICADAS		<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <p>ATÉ 6</p> <p>±0,05</p> </div> <div> <p>6 A 30</p> <p>±0,1</p> </div> <div> <p>30 A 120</p> <p>±0,15</p> </div> <div> <p>120 A 400</p> <p>±0,2</p> </div> <div> <p>400 A 1000</p> <p>±0,3</p> </div> <div> <p>1000 A 2000</p> <p>±0,5</p> </div> <div> <p>2000 A 4000</p> <p>±0,8</p> </div> </div>				
ESCALA: 1:1		FOLHA 1 DE 2		 A3		



SEÇÃO A-A



 UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA		Nº DO DESENHO	DESCRIÇÃO:			
		Inserto MA - CORPOS DE PROVA		TRATAMENTO TÉRMICO:		
MATERIAL: PETG ou PETG + Fibra de carbono		PESO: kg	CAMADA: mm	DUREZA:		
TOLERANCIAS NAO ESPECIFICADAS		PROJ: Lucas F.	DATA DE CRIAÇÃO	TRATAMENTO SUPERFICIAL:		
		DES: Lucas F.	15/05/2023			
ATÉ	6	30	120	400	1000	2000
	A	A	A	A	A	A
	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5
ESCALA: 1:1			FOLHA 2 DE 2		 A3	

4 3 2 1

F

F

E

E

D

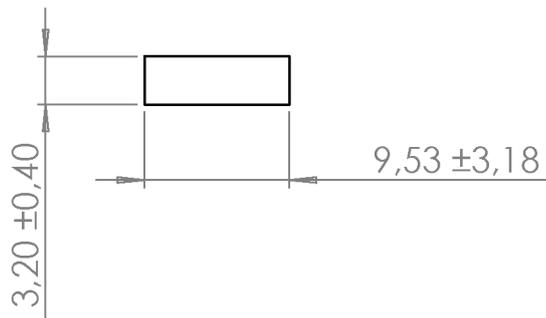
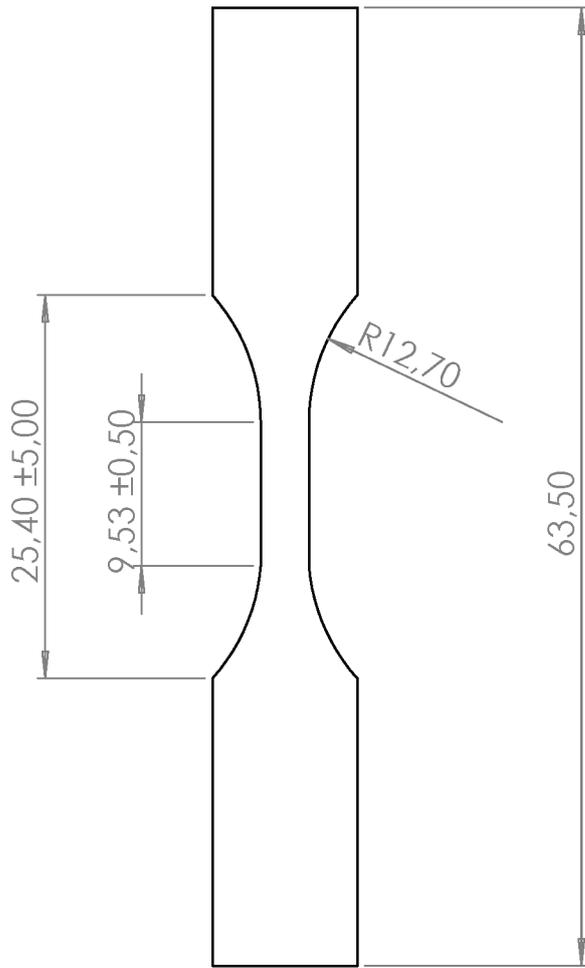
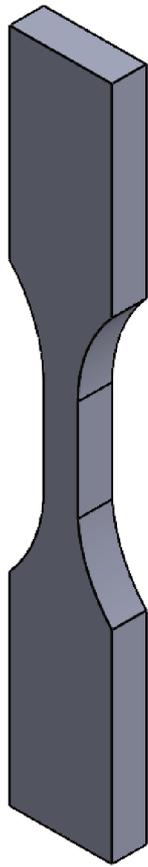
D

C

C

B

B



Nº DO DESENHO
Corpo de Prova Tração

DESCRIÇÃO:

MATERIAL: PP

TRATAMENTO TÉRMICO:

PESO: kg

CAMADA: mm

DUREZA:

PROJ: Lucas F.

DATA DE CRIAÇÃO
15/05/2023

TRATAMENTO SUPERFICIAL:

DES: Lucas F.

TOLERANCIAS NAO ESPECIFICADAS

ATÉ	6	30	120	400	1000	2000
6	A	A	A	A	A	A
±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8

ESCALA:2:1

FOLHA 1 DE 1



A4

4 3 2 1

A

A

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

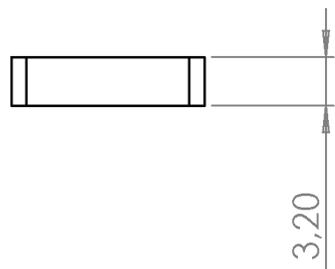
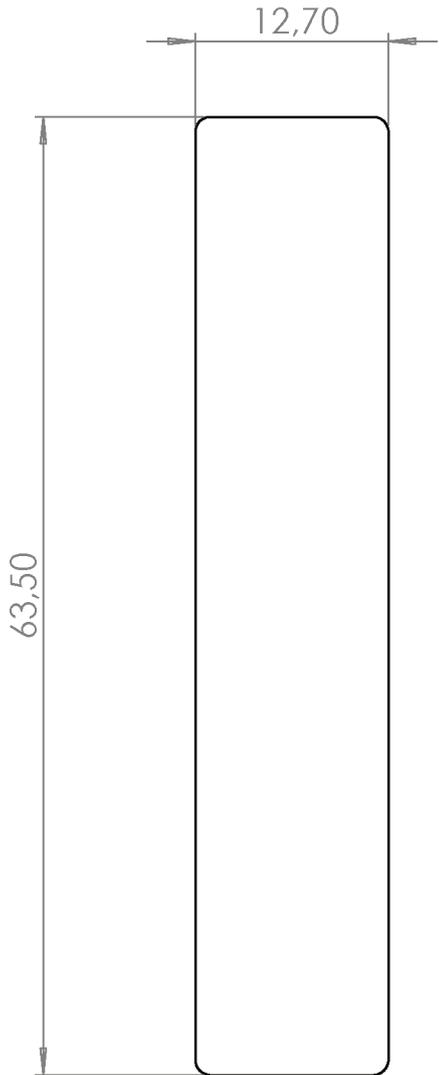
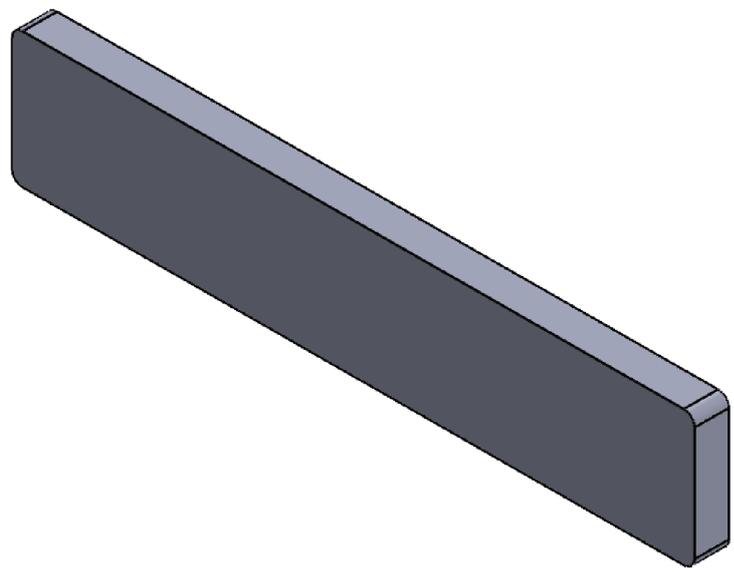
C

B

B

A

A



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

TOLERANCIAS NAO ESPECIFICADAS

ATÉ	6	30	120	400	1000	2000
6	A	A	A	A	A	A
±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8

Nº DO DESENHO		DESCRIÇÃO:	
Corpo de Prova Impacto			
MATERIAL: PP		TRATAMENTO TÉRMICO:	
PESO:	kg	CAMADA:	mm
PROJ: Lucas F.	DATA DE CRIAÇÃO	TRATAMENTO SUPERFICIAL:	
DES: Lucas F.	15/05/2023		

ESCALA:2:1

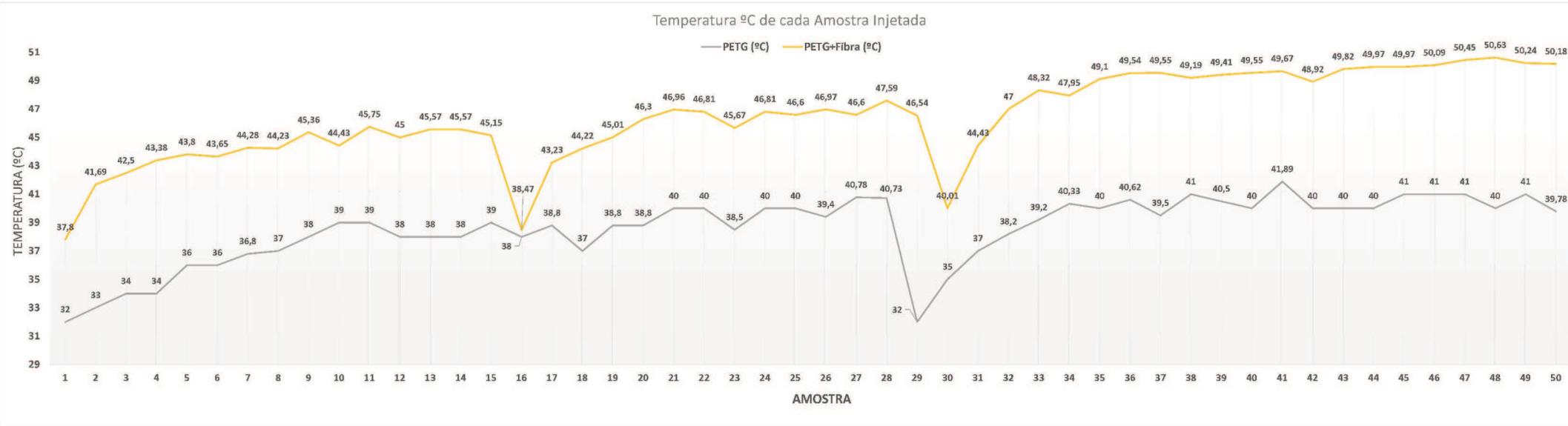
FOLHA 1 DE 1



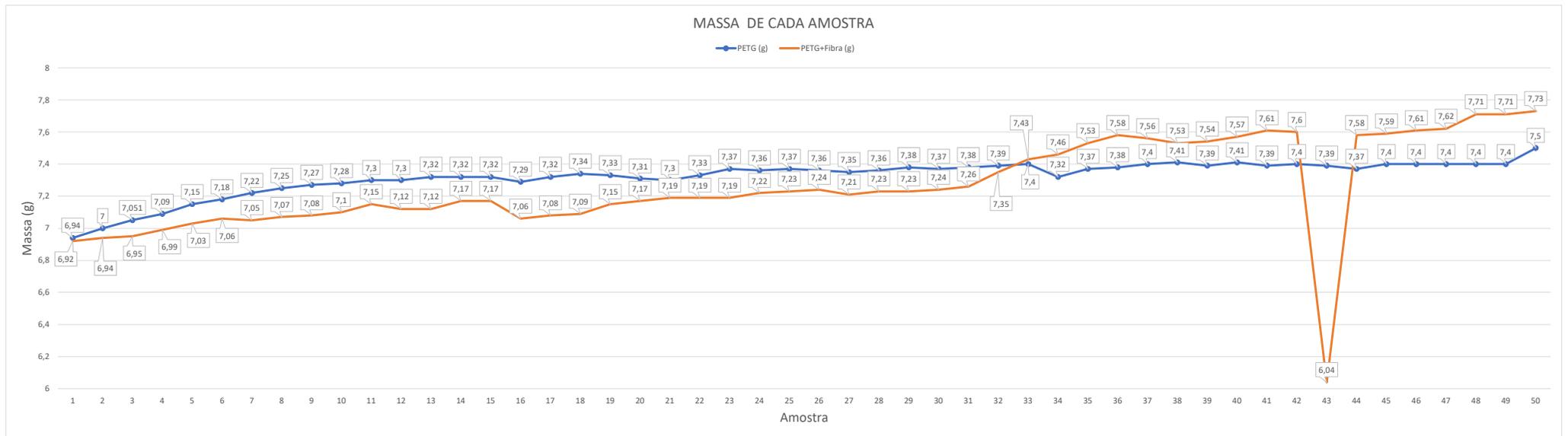
A4

4 3 2 1

ANEXO 2 - Temperatura de cada amostra



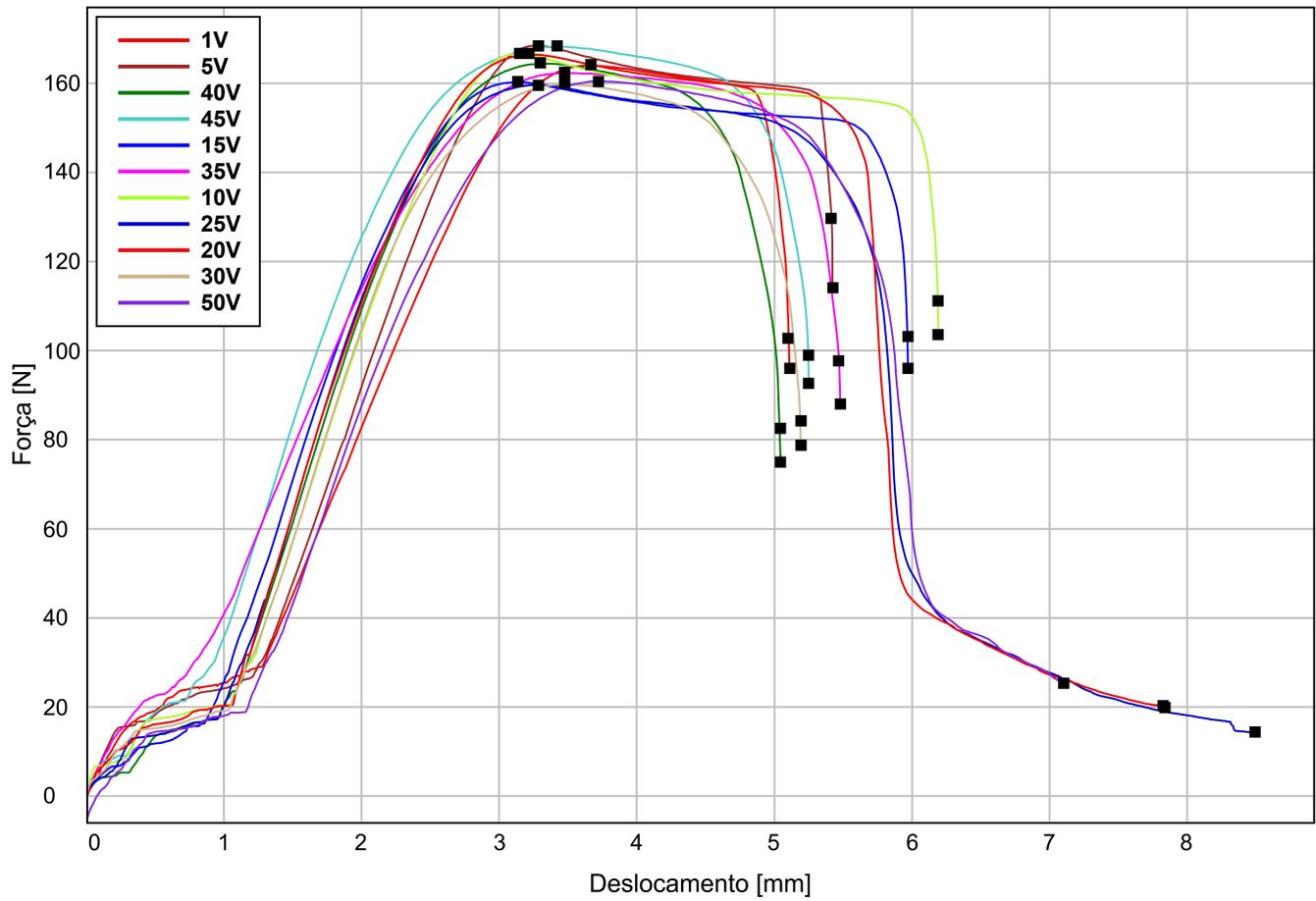
ANEXO 3 - Massa de cada Amostra dos insertos



ANEXO 4 - Resultados dos ensaios de tração

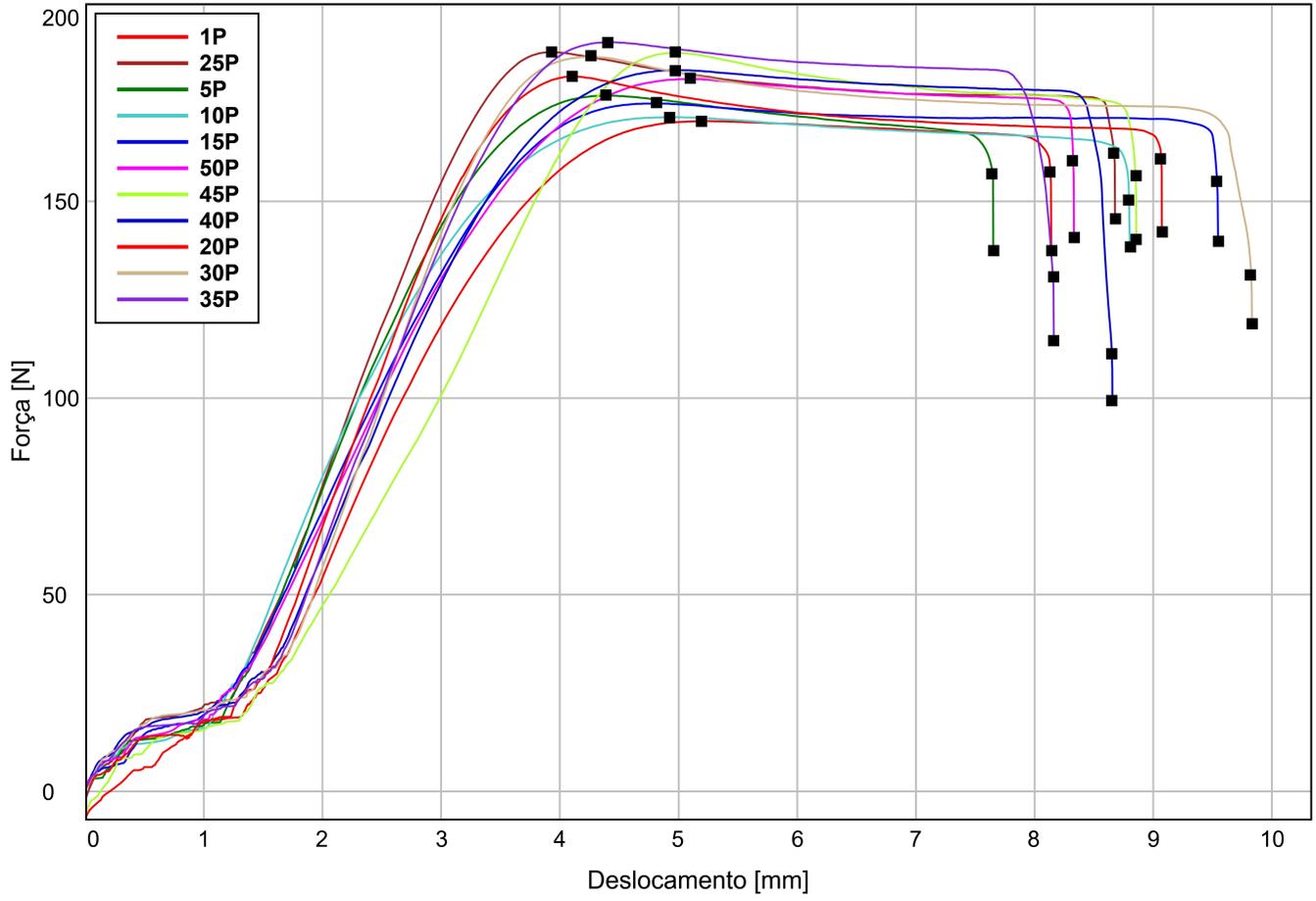
Amostras Inserto PETG

Corpo de prova



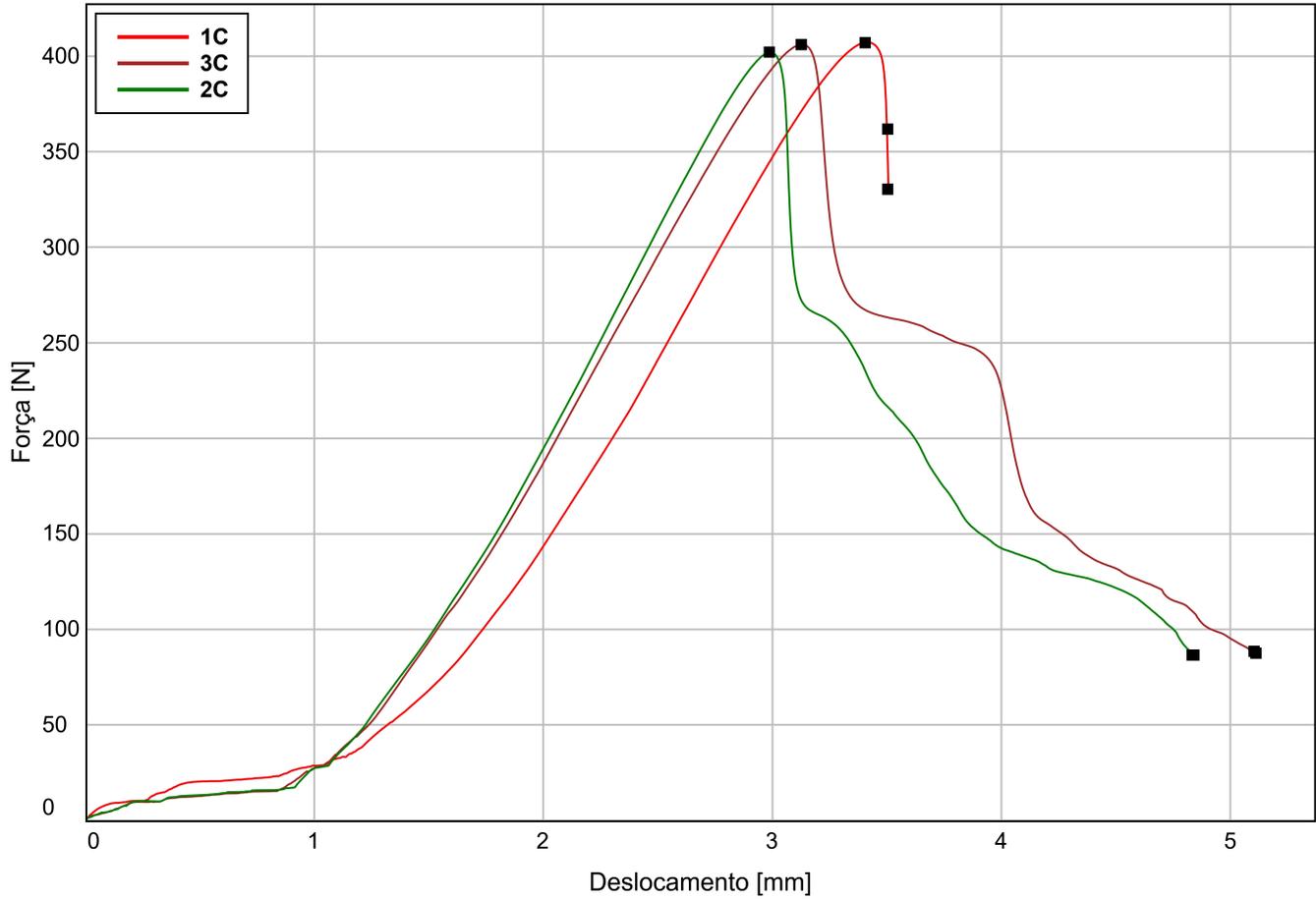
Amostras Inserto PETG + Fibra de Carbono

Corpo de prova



Amostras impressas em PETG

Corpo de prova



	Etiqueta do corpo de prova	Taxa 1 [mm/min]	Máximo Tensão à tração [MPa]
1	1V	5,00	16,12
2	5V	5,00	16,56
3	40V	5,00	16,16
4	45V	5,00	16,53
5	15V	5,00	15,75
6	35V	5,00	15,96
7	10V	5,00	16,38
8	25V	5,00	15,69
9	20V	5,00	16,36
10	30V	5,00	15,71
11	50V	5,00	15,77
12	1P	5,00	16,75
13	25P	5,00	18,47
14	5P	5,00	17,39

	Etiqueta do corpo de prova	Taxa 1 [mm/min]	Máximo Tensão à tração [MPa]
15	10P	5,00	16,85
16	15P	5,00	17,19
17	50P	5,00	17,80
18	45P	5,00	18,45
19	40P	5,00	18,02
20	20P	5,00	17,86
21	30P	5,00	18,36
22	35P	5,00	18,72
23	1C	5,00	40,04
24	3C	5,00	39,92
25	2C	5,00	39,52

	Tensão à tração na Quebra (Padrão) [MPa]	Força na Máximo Tensão à tração [N]	Módulo (Automático de Young) [MPa]
1	10,08	164,08	821,35
2	12,74	168,52	974,63
3	8,12	164,46	1106,98
4	9,72	168,25	1111,17
5	10,12	160,28	1099,02
6	9,60	162,36	827,25
7	10,92	166,65	1078,20
8	1,40	159,70	1160,34
9	1,98	166,52	1150,66
10	8,30	159,82	1096,80
11	2,50	160,48	1005,01
12	15,46	170,43	766,91
13	15,93	187,98	939,92
14	15,43	176,92	880,63
15	14,77	171,45	837,09
16	15,26	174,90	724,28
17	15,78	181,14	707,46
18	15,36	187,79	690,08
19	10,96	183,38	779,36
20	15,81	181,77	416,55
21	12,90	186,80	994,76
22	12,87	190,50	898,05
23	35,57	407,40	2387,76
24	8,66	406,23	2414,97

	Tensão à tração na Quebra (Padrão) [MPa]	Força na Máximo Tensão à tração [N]	Módulo (Automático de Young) [MPa]
25	8,54	402,16	2556,44

	Deslocamento na Quebra (Padrão) [mm]
1	5,10
2	5,42
3	5,04
4	5,25
5	5,97
6	5,47
7	6,19
8	8,49
9	7,83
10	5,19
11	7,10
12	8,13
13	8,67
14	7,65
15	8,80
16	9,54
17	8,33
18	8,85
19	8,65
20	9,07
21	9,83
22	8,15
23	3,50
24	5,10
25	4,83