



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE BOM JESUS DA LAPA
ENGENHARIA MECÂNICA**

GEOVANA SILVA DE SOUZA

**PROJETO DE MOLDE POR INJEÇÃO PARA MANUFATURA DE CORPOS DE
PROVA PARA TESTE DE ARRANCAMENTO DE FIBRA**

BOM JESUS DA LAPA – BA

2025

GEOVANA SILVA DE SOUZA

**PROJETO DE MOLDE POR INJEÇÃO PARA MANUFATURA DE CORPOS DE
PROVA PARA TESTE DE ARRANCAMENTO DE FIBRA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica, do Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa, da Universidade Federal do Oeste da Bahia, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

ORIENTADOR: PROF. ME. IURI BENEDITO DA SILVA SANTOS

COORIENTADOR: PROF. ME. FILIPI MARQUES DE SOUZA

BOM JESUS DA LAPA – BA

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

S729

Souza, Geovana Silva de

Projeto de molde por injeção para manufatura de corpos de prova para teste de arrancamento de fibra. / Geovana Silva de Souza. – 2025.

75f.:

Orientador: Prof. Me. Iuri Benedito da Silva Santos

Coorientador: Prof. Me. Filipi Marques de Souza

TCC - Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa - BA, 2025.

1. Polímeros. 2. Materiais de engenharia. 3. Engenharia Mecânica. I. Santos, Iuri Benedito da Silva. II. Universidade Federal do Oeste da Bahia – Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa - BA. III. Título.

CDD 547.7

Biblioteca Universitária de Bom Jesus da Lapa – UFOB



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE BOM JESUS DA LAPA

ATA DE DEFESA PÚBLICA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos dezoito dias do mês de dezembro de 2025, às 17 00 h, em sessão pública, no formato remoto, por meio de plataforma de Googlemeet e na presença da Banca Examinadora presidida pelo Professor Iuri Benedito da Silva Santos e coorientador Prof. Me. Filipi Marques de Souza e composta pelos examinadores 1 – Prof. Me. Lucas Aninger De Barros Rocha, da Instituição: Universidade Federal do Oeste da Bahia - UFOP. 2 – Eng. Me. Edgley Alves de Oliveira Paula. O estudante Geovana Silva de Souza apresentou o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “PROJETO DE MOLDE POR INJEÇÃO PARA MANUFATURA DE CORPOS DE PROVA PARA TESTE DE ARRANCAMENTO DE FIBRA”, como requisito curricular indispensável para a integralização do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica. Após reunião em sessão reservada, a Banca Examinadora deliberou e decidiu pela APROVAÇÃO do referido trabalho, com divulgando o resultado formalmente ao estudante e demais presentes, e eu, na qualidade de Presidente da Banca, lavrei a presente ata que será assinada por mim, pelos demais examinadores e pelo estudante.

Documento assinado digitalmente
gov.br IURI BENEDITO DA SILVA SANTOS
Data: 20/01/2026 08:26:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Iuri Benedito da Silva Santos
e Presidente da Banca Examinador

Documento assinado digitalmente
gov.br GEOVANA SILVA DE SOUZA
Data: 21/01/2026 14:24:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Geovana Silva de Souza Orientador
Estudante

Documento assinado digitalmente
gov.br FILIPI MARQUES DE SOUZA
Data: 21/01/2026 09:01:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Filipi Marques de Souza
Coorientador

Documento assinado digitalmente
gov.br LUCAS ANINGER DE BARROS ROCHA
Data: 21/01/2026 08:09:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Lucas Aninger De Barros Rocha
Examinador 1

Documento assinado digitalmente
gov.br EDGLEY ALVES DE OLIVEIRA PAULA
Data: 21/01/2026 10:38:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Eng. Me. Edgley Alves de Oliveira Paula
Examinador 2

GEOVANA SILVA DE SOUZA

**PROJETO DE MOLDE POR INJEÇÃO PARA MANUFATURA DE CORPOS DE
PROVA PARA TESTE DE ARRANCAMENTO DE FIBRA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica, do Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa, da Universidade Federal do Oeste da Bahia, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Bom Jesus da Lapa, 18 de dezembro de 2025.

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou este Trabalho:

Prof. Me. Iuri Benedito da Silva Santos, Presidente
Universidade Federal do Oeste da Bahia

Prof. Me. Filipi Marques de Souza
Universidade Federal do Oeste da Bahia

Prof. Me. Lucas Aninger de Barros Rocha
Universidade Federal do Oeste da Bahia

Eng. Me. Edgley Alves de Oliveira Paula
Universidade Federal Rural do Semi-Árido

No limite da inovação encontramos a descoberta – ou até mesmo a criação – de materiais totalmente novos.

(Donald R. Askeland; Wendelin J. Wright, 2024)

RESUMO

SOUZA, Geovana Silva de. **PROJETO DE MOLDE POR INJEÇÃO PARA MANUFATURA DE CORPOS DE PROVA PARA TESTE DE ARRANCAMENTO DE FIBRA**. 2025. 75 páginas. Monografia – Universidade Federal do Oeste da Bahia, Bom Jesus da Lapa - BA, 18 de dezembro de 2025.

Os compósitos de matriz polimérica são bastante versáteis, devido à sua boa combinação de propriedades são aplicados em diversos setores, como automobilístico, marítimo e aeroespacial. No entanto, suas propriedades mecânicas são diretamente dependentes da adesão interfacial fibra/matriz, comumente avaliada pelo ensaio de arrancamento de fibra. A produção de corpos de prova para este fim por métodos convencionais, como termoformagem, é frequentemente de alto custo e demorada. A moldagem por injeção surge como alternativa viável economicamente, no entanto, sua aplicação é limitada pela fragmentação de fibras contínuas durante o processo. Dessa forma, esse trabalho apresenta o projeto de um molde para a máquina injetora Thermo Scientific HAAKE MiniJet II, para a manufatura do corpo de prova proposto por Oushabi (2017), incorporando um sistema de fixação e tensionamento que preserva a integridade de fibras contínuas durante o processo de injeção. O projeto foi desenvolvido por modelagem 3D, utilizando o software Autodesk Inventor, além da realização de uma simulação de injeção auxiliado pelo Autodesk Fusion, o qual indicou tempo de preenchimento total, bem como pressão de comutação e confiabilidade de preenchimento. Além da elaboração do planejamento e a análise de custos para a fabricação do molde, demonstrando a viabilidade técnica e econômica para a solução proposta, resultando em um molde eficiente para a produção de corpos de prova, com confiabilidade de 100% de preenchimento, de acordo com a simulação, além de garantir uma fixação e posicionamento correto da fibra.

Palavras-chave: Compósitos poliméricos. Fibras contínuas. Processos de fabricação. Modelagem 3D. Simulação de injeção.

ABSTRACT

Polymer matrix composites are highly versatile due to their favorable combination of properties and are used in various sectors such as automotive, maritime, and aerospace. However, their mechanical properties are directly dependent on the fiber/matrix interfacial adhesion, commonly evaluated by the fiber pull-out test. The production of test specimens for this purpose using conventional methods, such as thermoforming, is often costly and time-consuming. Injection molding emerges as an economically viable alternative; however, its application is limited by the fragmentation of continuous fibers during the process. Therefore, this work presents the design of a mold for the Thermo Scientific HAAKE MiniJet II injection molding machine, for manufacturing the test specimen proposed by Oushabi (2017), incorporating a fixation and tensioning system that preserves the integrity of continuous fibers during the injection process. The project was developed through 3D modeling using Autodesk Inventor software, in addition to an injection simulation assisted by Autodesk Fusion, which indicated total filling time, as well as switch-over pressure and filling confidence. Additionally, planning and cost analysis for mold manufacturing were carried out, demonstrating the technical and economic feasibility of the proposed solution, resulting in an efficient mold for specimen production, with 100% filling reliability according to the simulation, while ensuring proper fiber fixation and positioning.

Keywords: Polymer composites. Continuous fibers. Manufacturing processes. 3D Modeling. Injection molding simulation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Classificação dos compósitos segundo sua matriz e tipo de reforço	16
Figura 2 – Compósitos baseados na matriz: (a) Compósito de Matriz Cerâmica; (b) Compósito de Matriz Metálica; (c) Compósito de Matriz Polimérica.....	17
Figura 3 – Esquematização de compósitos reforçados com partículas.....	17
Figura 4 – Esquematização de compósitos reforçados com fibra: (a) contínua e alinhada; (b) descontínua e alinhada; (c) descontínua e desalinhadas.....	18
Figura 5 – Classificação das fibras sintéticas.....	19
Figura 6 – Esquematização da classificação de fibras naturais	20
Figura 7 – Esquematização da ligação interfacial em compósitos	21
Figura 8 – Esquematização de um sistema de moldagem por injeção	22
Figura 9 – Estudos disponíveis no Fusion.....	23
Figura 10 – Exemplo de simulação de moldagem por injeção	24
Figura 11 – Operações permitidas no Autodesk Inventor	25
Figura 12 – Thermo Scientific Haake MiniJet II	26
Figura 13 – Molde utilizado na máquina injetora Thermo Scientific HAAKE MiniJet II	27
Figura 14 – Processos de fabricação: (a) torneamento; (b) fresamento; (c) furação	28
Figura 15 – Classificação das operações de usinagem	29
Figura 16 – Operações de torneamento: (a) Faceamento; (b) Torneamento cônico externo; (c) Torneamento de perfis; (d) Chanfradura; (e) Sangramento.	30
Figura 17 – Principais operações de fresamento vertical.....	31
Figura 18 – Principais operações de fresamento horizontal.....	31
Figura 19 – Principais operações de furação: (a) alargamento; (b) rosqueamento; (c) escareamento cilíndrico; (d) escareamento cônico; (e) furação central; (f) faceamento localizado.	32
Figura 20 – Operações de serramento: (a) serramento retilíneo horizontal; (b) serramento retilíneo vertical; (c) serramento circular.	33
Figura 21 – Formatos comuns de matrizes: (a) esférico; (b) paralelepípedo retangular	35
Figura 22 – Dimensões do corpo de prova estabelecido pela norma ISO 19375:2024	35
Figura 23 – Esquematização do ensaio	36

Figura 24 – Fluxograma das etapas do projeto	38
Figura 25 – Esquematização do corpo de prova para o ensaio de arrancamento de fibra	39
Figura 26 – Molde utilizado na máquina injetora	40
Figura 27 – Dimensões externas do molde	40
Figura 28 – Modelagem do corpo de prova	41
Figura 29 – Seleção do tipo de estudo	42
Figura 30 – Configurações da simulação	42
Figura 31 – Dimensões do fechamento do molde	47
Figura 32 – Dimensões do suporte do bico injetor	47
Figura 33 – Espaçamento após suporte do bico injetor	48
Figura 34 – Divisão da cavidade do molde	48
Figura 35 – Posicionamento e fixação da fibra na cavidade esquerda	49
Figura 36 – Dimensões da seção de posicionamento e fixação da fibra	49
Figura 37 – Dimensões da placa de fixação	50
Figura 38 – Dimensões dos furos de conexão entre as cavidades	50
Figura 39 – Fibra fixada	51
Figura 40 – Posicionamento dos pinos de conexão das cavidades	52
Figura 41 – Conexão das cavidades	52
Figura 42 – Molde completamente montado	53
Figura 43 – Resultados da simulação	53
Figura 44 – Campo de pressão	54
Figura 45 – Formação de linhas de solda	55
Figura 46 – Análise da confiança de preenchimento	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações da máquina injetora	26
Tabela 2 – Planejamento de fabricação	43
Tabela 3 – Lista de itens a determinar o custo	45
Tabela 4 – Potência e Tempo de uso dos equipamentos	46
Tabela 5 – Lista de empresas consultadas	46
Tabela 6 – Primeira etapa do levantamento de custos	56
Tabela 7 – Segunda etapa do levantamento de custos	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A.C	Antes de Cristo
AISI	American Iron and Steel Institute (Instituto Americano do Ferro e Aço)
CAD	Computer Aided Design (Projeto Assistido por Computador)
CAM	Computer Aided Manufacturing (Manufatura Assistida por Computador)
CMC	Compósito de Matriz cerâmica
D	Diâmetro
FRP	Polímero Reforçado com Fibra
ISO	International Organization for Standardization (Organização Internacional de Padronização)
MMC	Compósito de Matriz Metálica
NFRPC	Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras Naturais
PBT	Polibutileno Tereftalato
PET	Polietileno Tereftalato
PMC	Compósitos de Matriz Polimérica
PP	Polipropileno
PVA	Álcool Polivinílico
PVC	Policloreto de Vinila
RPM	Rotações Por Minuto
RTM	Moldagem por Transferência de Resina
SAE	Society of Automotive Engineers (Sociedade dos Engenheiros Automotivos)
SFRPC	Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras Sintéticas
VC	Velocidade de Corte

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA	14
1.2	OBJETIVOS	15
1.2.1	Objetivo geral	15
1.2.2	Objetivos específicos	15
2	REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1	MATERIAIS COMPÓSITOS	16
2.1.1	Compósitos poliméricos reforçados com fibras sintéticas (SFRPCs)	18
2.1.2	Compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais (NFRPCs)	19
2.1.3	Ligação interfacial fibra/matriz	21
2.2	MOLDAGEM POR INJEÇÃO	22
2.2.1	Autodesk Fusion	23
2.2.1.1	Autodesk Inventor	25
2.2.2	Máquina injetora	25
2.2.3	Moldes de injeção	27
2.2.3.1	Processos de fabricação	28
2.2.3.1.1	<i>Torneamento</i>	30
2.2.3.1.2	<i>Fresamento</i>	30
2.2.3.1.3	<i>Furação</i>	32
2.2.3.1.4	<i>Serramento</i>	33
2.2.3.1.5	<i>Planejamento de fabricação</i>	33
2.3	CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA	34
2.3.1	Ensaio de arrancamento de fibra	34

3	MATERIAIS E MÉTODOS	37
3.1	MATERIAIS UTILIZADOS	37
3.2	METODOLOGIA DE PROJETO	37
3.3	METODOLOGIA DE ENSAIO	38
3.4	THERMO SCIENTIFIC HAAKE MINIJET II	39
3.5	DIMENSIONAMENTO DO MOLDE	41
3.6	METODOLOGIA DE SIMULAÇÃO	41
3.7	PLANEJAMENTO DE FABRICAÇÃO	43
3.7.1	Seleção do material	44
3.8	METODOLOGIA DE LEVANTAMENTO DE CUSTO	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1	DIMENSIONAMENTO DO MOLDE	47
4.2	MONTAGEM DO MOLDE	51
4.3	SIMULAÇÃO DE INJEÇÃO	53
4.4	LEVANTAMENTO DE CUSTOS	56
5	CONCLUSÃO	58
	REFERÊNCIAS	59
	APÊNDICE A – Desenho técnico do fechamento do molde	66
	APÊNDICE B – Desenho técnico da cavidade esquerda	68
	APÊNDICE C – Desenho técnico da cavidade direita	70
	APÊNDICE D – Desenho técnico da placa de fixação	72
	ANEXO A – Valores de velocidade de corte pré-estabelecidos	74
	ANEXO B – Dimensões do parafuso	75

1 INTRODUÇÃO

Os compósitos são sistemas de materiais projetados a partir da combinação de pelo menos dois componentes distintos e insolúveis entre si, classificados como matriz e reforço, que exibem uma proporção significativa das propriedades de ambos. Essa combinação resulta em um material com características mecânicas superiores às dos materiais constituintes, tais como rigidez, tenacidade e resistência às condições do ambiente e a elevadas temperaturas (CALLISTER; RETHWISCH, 2016).

Devido à sua versatilidade, os compósitos são utilizados em diversas indústrias, incluindo aeroespacial, marítima, médica, automobilística, de construção e esportiva. Essa categoria de materiais é bastante ampla e diversificada, incluindo desde os polímeros reforçados com fibras, aos materiais híbridos metais, compósitos e concretos estruturais (NETO; PARDINI, 2016, p. 20; OLADELE; ADELANI, 2022).

Historicamente, o conceito de reforço fibroso é muito antigo. Em 1500 a.C., egípcios e mesopotâmicos utilizaram palha como reforço na fabricação de tijolos de barro. No entanto, os primeiros compósitos de fibra foram introduzidos apenas em 1935 e desenvolvidos durante a Segunda Guerra Mundial. Devido à sua maior resistência e menor peso, após a guerra, os compósitos reforçados com fibra foram introduzidos em outros mercados (KHAN et al., 2024).

Nos últimos anos, os compósitos de matriz polimérica têm se destacado na substituição dos materiais convencionais, como aço, madeira, alumínio e titânio, devido à sua capacidade mecânica de suportar carga e ampla gama de aplicações, além da economia durante a produção em massa. Essa classe de compósitos se classifica pelo tipo de matriz, que pode ser termoplástica ou termofixa, cada uma com propriedades e vantagens distintas (KANGISHWAR et al., 2023).

Para garantir que o compósito apresente propriedades mecânicas superiores às da matriz sem reforço, é de suma importância que a interface fibra/matriz apresente uma boa aderência. Essa interface se refere à ligação entre a superfície da fibra e da matriz, sendo responsável pela transferência de cargas entre ambas. Portanto, a caracterização da adesão fibra/matriz é crucial para a avaliação das propriedades dos compósitos (HUANG et al., 2021; LEE et al., 2021).

Dentre os métodos de avaliação da resistência da ligação interfacial, o ensaio de arrancamento de fibra se destaca como uma abordagem experimental eficaz. O ensaio consiste em incorporar um feixe de fibras, ou uma única fibra, até um

determinado comprimento na matriz e posteriormente aplicar um carregamento para extraí-la. Durante o teste, as tensões de cisalhamento interfaciais desenvolvem-se entre a fibra e a matriz, e, quando a tensão aplicada ultrapassa a resistência máxima ao cisalhamento da ligação interfacial, ocorre o descolamento da fibra e da matriz (MÜSSIG; GRAUPNER, 2020; NUHOGLU et al., 2024).

Para preparar amostras para o ensaio de arrancamento, diferentes técnicas são descritas na literatura, como os métodos *push-in* e moldagem por compressão. No entanto, nem todas são aplicáveis a todas as fibras em todas as matrizes. A pultrusão e a moldagem por transferência de resina (RTM) são exemplos de métodos de fabricação para matrizes termofixas. Quanto às matrizes termoplásticas, destacam-se: a moldagem por injeção e a termoformagem (MÜSSIG; GRAUPNER, 2020; JEONG et al., 2022).

O processo de moldagem por injeção possui algumas vantagens em relação a outros métodos de fabricação, como baixo custo unitário e bom acabamento superficial, além de permitir a fabricação de peças com diferentes níveis de complexidade. Nos últimos anos, pesquisas sobre o processo de moldagem por injeção de termoplásticos reforçados com fibra permaneceram na fase de simulação, devido às limitações observadas nos modelos numéricos, que afetam diretamente o processo real (PROY et al., 2021; ZOU et al., 2023).

Dessa forma, torna-se essencial o desenvolvimento de um molde por injeção eficiente para a produção de corpos de prova de termoplásticos reforçados com fibra padronizados, voltadas para a realização do ensaio de arrancamento de fibra.

1.1 JUSTIFICATIVA

Com o avanço dos compósitos termoplásticos e o aumento de suas aplicações, torna-se fundamental compreender seu comportamento mecânico, o qual é essencialmente influenciado pela adesão entre a fibra e a matriz. Há décadas, o ensaio de arrancamento de fibras tem sido utilizado para este propósito, demonstrando ser um método adequado para o estudo dessa interação.

O processo de produção de corpos de prova termoplásticos reforçados com fibras pode ser dividido em etapas: inicialmente é fabricado um material pré-impregnado com termoplásticos e, posteriormente, desenvolve-se o produto final utilizando o pré-impregnado, seja por meio de termoformagem ou sobreformagem. No

entanto, esses processos demandam um elevado tempo de produção, além de apresentarem custo significativo.

Uma alternativa para a produção de termoplásticos com custo de fabricação e tempo de ciclo reduzidos, é o processo de moldagem por injeção. Entretanto, no caso de compósitos, esse método se limita a fibras curtas, devido à movimentação do parafuso da injetora, que acaba fragmentando as fibras contínuas.

Diante disso, este trabalho busca desenvolver um novo modelo de molde aplicado ao processo de injeção, para a produção de corpos de prova para ensaio de arrancamento de fibra, de modo que a fibra contínua não tenha sua integridade comprometida durante a produção de corpos de prova, reduzindo, assim, o tempo de produção e custos de fabricação.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Projetar um molde por injeção para ser utilizado na máquina Thermo Scientific HAAKE MiniJet II, com finalidade de confeccionar corpos de prova para testes de arrancamento de fibra a partir de compósitos poliméricos reforçados com fibra única.

1.2.2 Objetivos específicos

- Estabelecer os requisitos do corpo de prova definidos por Oushabi (2017), considerando o formato, dimensões, matéria-prima e tipo de máquina;
- Projetar o *layout* da cavidade do molde;
- Selecionar o material, levando em consideração a resistência mecânica, a usinabilidade, a dureza, a disponibilidade nacional e o custo;
- Elaborar um planejamento de fabricação;
- Determinar o custo de fabricação.

2 REVISÃO DA LITERATURA

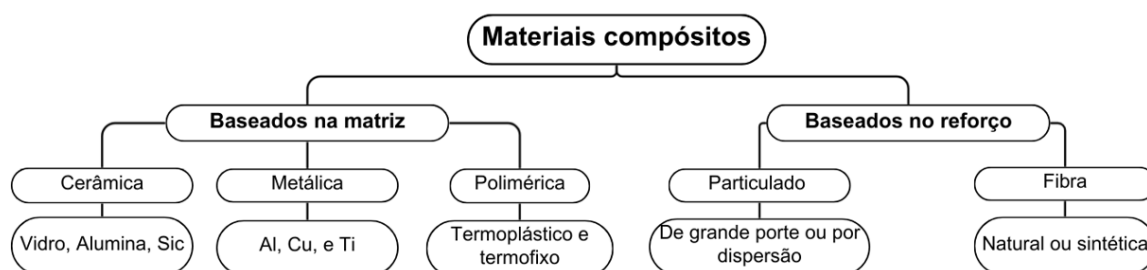
2.1 MATERIAIS COMPÓSITOS

Os materiais compósitos existem há muito tempo na natureza, desde antes da chegada do homem moderno. Por exemplo, a madeira é um compósito natural amplamente utilizado em estruturas. Ao longo dos séculos, essa classe de materiais evoluiu, pois se percebeu que estruturas compostas resistiam melhor às forças da natureza (BUNSELL; JOANNÈS; THIONNET, 2021).

As estruturas compostas consistem em uma combinação de dois materiais com propriedades distintas, sendo que essa união confere desempenho superior ao novo material. Em escala microscópica, os constituintes ainda podem ser visualizados separadamente (MUSSATTO et al., 2020).

Os compósitos podem ser classificados de acordo com a matriz ou reforço. Nesse sentido, a Figura 1 apresenta um esquema da classificação dos compósitos, destacando suas principais categorias (SUMITHRA et al., 2023).

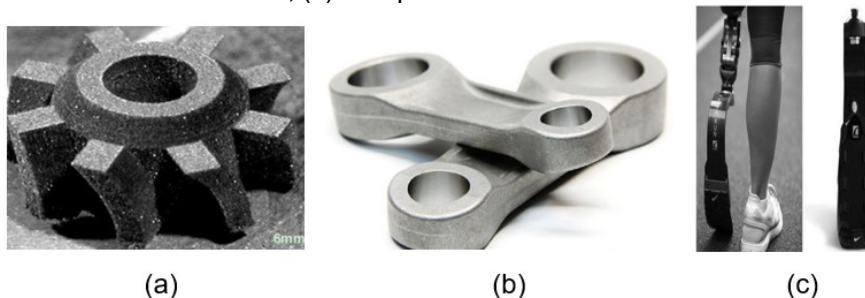
Figura 1 – Classificação dos compósitos segundo sua matriz e tipo de reforço



Fonte: Adaptado de Sumithra et al. (2023).

Entre os materiais baseados na matriz estão os Compósitos de Matriz Cerâmica (CMC), os Compósitos de Matriz Metálica (MMC) e os Compósitos de Matriz Polimérica (PMC). Por exemplo, os CMC (Figura 2a) frequentemente são produzidos com vidro, alumina ou carbeto de silício, apresentando alta resistência à fadiga. Por sua vez, os MMC (Figura 2b) são fabricados com alumínio, cobre e titânio, e se destacam por sua alta condutividade elétrica. Já os PMC (Figura 2c), produzidos com materiais termoplásticos ou termofixos, possuem boa rigidez e resistência (KANGISHWAR et al., 2023).

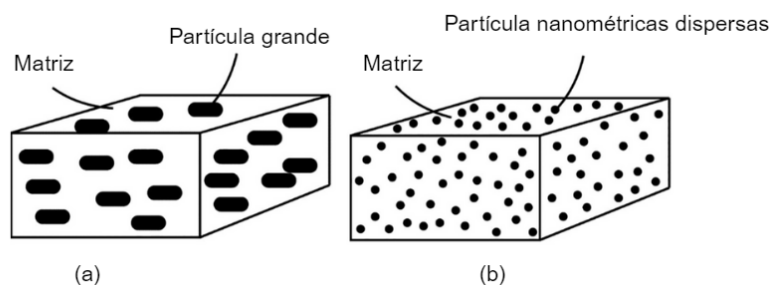
Figura 2 – Compósitos baseados na matriz: (a) Compósito de Matriz Cerâmica; (b) Compósito de Matriz Metálica; (c) Compósito de Matriz Polimérica.



Fonte: Lu et al. (2019); Engenheiro de materiais (2016); Merlini (2021).

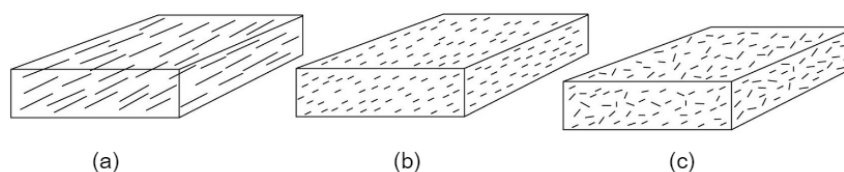
No que se refere ao tipo de reforço, existem os compósitos reforçados com partículas, que podem ser grandes (Figura 3a) ou por dispersão (Figura 3b), e os compósitos reforçados com fibras, classificadas em naturais ou sintéticas, podendo ser contínuas (Figura 4a) ou descontínuas (Figuras 4b e 4c) (KIELING; SANTANA; SANTOS, 2019). As fibras sintéticas são produzidas artificialmente, enquanto as naturais são obtidas de fontes renováveis, como plantas ou animais. Além desses, existem os compósitos estruturais, que se dividem em laminados e painéis (sanduíche) (KIELING; SANTANA; SANTOS, 2019).

Figura 3 – Esquematização de compósitos reforçados com partículas.



Fonte: Adaptado de Egbo (2021).

Figura 4 – Esquemática de compósitos reforçados com fibra: (a) contínua e alinhada; (b) descontínua e alinhada; (c) descontínua e desalinhadas



Fonte: Egbo (2021).

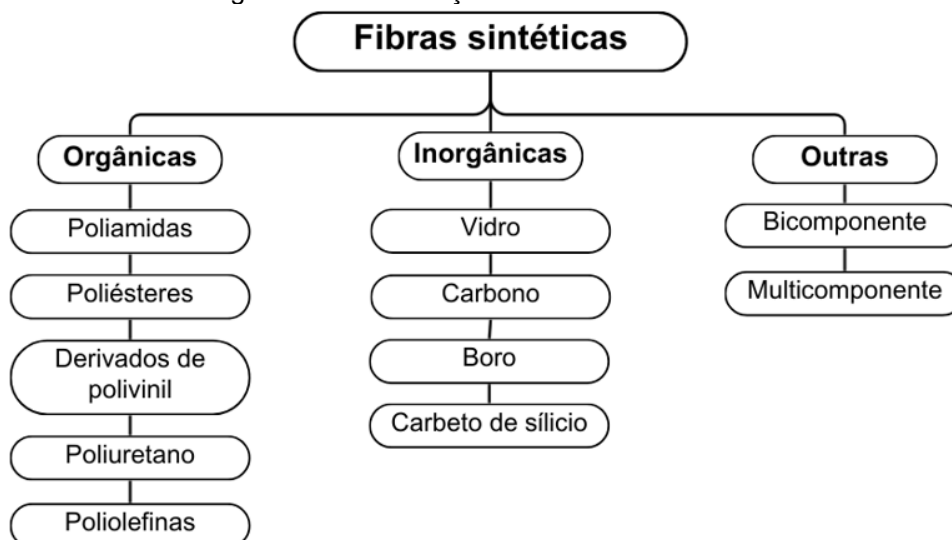
Nos últimos anos, os compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras naturais têm se tornado uma alternativa para a substituição de compósitos reforçados com fibra de vidro, principalmente por apresentarem baixo custo, renovabilidade e reciclabilidade, além de combinarem alta resistência e baixa densidade. No entanto, a interação entre as fibras vegetais e a matriz é influenciada pela qualidade da ligação interfacial (JARIWALA; JAIN, 2019; LEE et al., 2021; NETO et al., 2022).

2.1.1 Compósitos poliméricos reforçados com fibras sintéticas (SFRPCs)

Os compósitos poliméricos reforçados com fibras sintéticas são amplamente utilizados como reforço em estruturas de concreto, aço e madeira. Essa combinação de matriz polimérica com fibras de reforço (FRP) resulta em diversos materiais SFRPCs tradicionais, como os de carbono, vidro, aramida e basalto (NAVARATNAM et al., 2023).

As fibras sintéticas são produzidas em laboratório, a partir de polímeros que não ocorrem naturalmente. Para o desenvolvimento dessas fibras, utilizam-se os seguintes métodos: fiação, polimerização e processamento de filamentos (RAJAK et al., 2022). Tais fibras são classificadas em três categorias: fibras orgânicas, fibras inorgânicas e outras, como bicomponente e multicomponentes. A classificação das fibras é apresentada na Figura 5 (RAJAK et al., 2022).

Figura 5 – Classificação das fibras sintéticas



Fonte: Adaptado de Rajak et al. (2022).

Dentre as fibras orgânicas estão as poliamidas, como Nylon 6, Nylon 6.6 e Aramidas, os poliésteres, como PET e PBT, os derivados de polivinil, como poliacrilonitrila, PVC e PVA, os poliuretanos, como elastano e spandex, e as poliolefinas, como polietileno e polipropileno (BEGUM et al., 2020). Quanto às inorgânicas, existem as fibras de vidro, utilizadas em barcos e banheiras. As de carbono, utilizadas principalmente para melhorar a condutividade térmica e elétrica de compósitos. As de boro, utilizadas como reforço em compósitos aeronáuticos e as de carbetto de silício, normalmente utilizadas em turbinas a gás (BEGUM et al., 2020).

2.1.2 Compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais (NFRPCs)

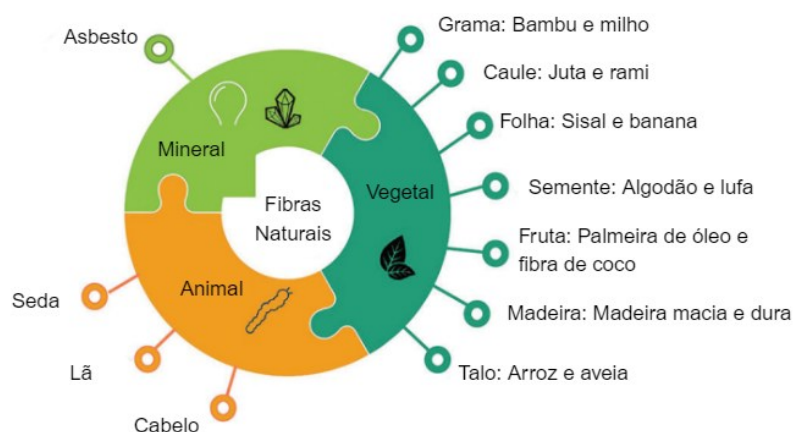
Os compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais são materiais em que as fibras são incorporadas na matriz polimérica. Essa matriz pode ser classificada em duas categorias: termoplásticos e termofixos (RADZI et al., 2022).

Os polímeros termofixos reforçados com fibras são amplamente utilizados principalmente em componentes de aeronaves e nas indústrias de transporte aquático, devido às suas vantagens estruturais e estéticas, além do custo e trabalhabilidade. No entanto, a principal desvantagem dessa matriz é a dificuldade de reciclagem, que geralmente demanda condições severas ou muita energia (MORICI; DINTCHEVA, 2022; SILVA et al., 2022).

Por outro lado, os compósitos termoplásticos se destacam por seu potencial de reciclagem após a vida em serviço, além de possuir maior resistência química e ambiental. Também oferecem um desempenho superior à impactos e um ciclo de processamento menos complexo, o que contribui para a redução dos custos de produção (SANTOS, 2021). Dessa forma, o desenvolvimento de compósitos termoplásticos reforçados com fibras naturais representa uma alternativa promissora para desenvolver materiais sustentáveis e eficientes (SANTOS, 2021).

Quanto às fibras, elas podem ser de origem animal, vegetal ou mineral. As de origem animal são à base de proteína, enquanto as de origem vegetal são compostas de celulose. Além disso, as fibras naturais se destacam por serem biodegradáveis, possuírem baixo peso e economicamente viáveis. A Figura 6 apresenta um esquema com a classificação das fibras de acordo com sua origem (NETO et al., 2022).

Figura 6 – Esquemática da classificação de fibras naturais



Fonte: Adaptado de Neto et al. (2022).

Exemplos de fibras de origem animal incluem seda, lã e cabelo, enquanto de origem mineral tem-se asbesto. Por sua vez, as fibras de origem vegetal são extraídas de diferentes partes das plantas como caule, folhas, sementes, frutos e madeira, além de palha de cereais e gramíneas. No caso dos NFRPCs, as fibras vegetais são as mais utilizadas como reforço (ABDOLLAHIPARSA et al., 2023).

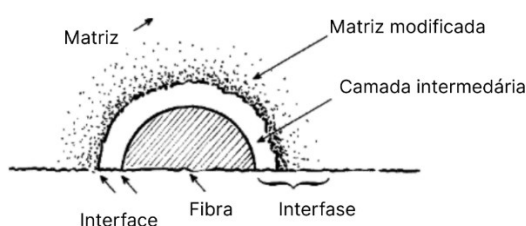
Diversos autores comprovaram que a utilização de fibras naturais como reforço em compósitos resultou em melhora significativa nas propriedades desses materiais. Rodrigues (2019), por exemplo, demonstrou a viabilidade da aplicação da fibra de bananeira como reforço em polímeros, identificando ainda uma faixa ideal de concentração, entre 0% e 3% de fibra. Por sua vez, Silva et al. (2022) evidenciaram

que a incorporação da fibra do caroço de açaí em compósitos termoplásticos leva a melhoria de suas características mecânicas.

2.1.3 Ligação interfacial fibra/matriz

A interface é o limite entre a fibra e a matriz, é através dessa ligação que a carga é transferida da matriz para a fibra. Um compósito com interface ruim é incapaz de transferir as cargas da matriz para a fibra, o que pode resultar em deterioração das propriedades mecânicas e térmicas. Dessa forma, o efeito do reforço das fibras na matriz não é atingido (HUANG et al., 2021; LEE et al., 2021). Na Figura 7 é possível observar uma esquematização da ligação interfacial em compósitos.

Figura 7 – Esquemática da ligação interfacial em compósitos



Fonte: Adaptado de Müssig; Graupner (2020).

A interface apresenta características físicas e mecânicas distintas das encontradas na matriz e na fibra. Outra região importante é a interfase, que se diferencia da interface por possuir espessura finita com propriedades que variam entre as da fibra e as da matriz. Portanto, a combinação da interface e interfase garante uma ligação eficiente entre a fibra e a matriz, contribuindo para a otimização nas propriedades dos compósitos (SEGHINI, 2020).

Nos NFRPCs, deve ser realizado tratamento químico para melhorar a ligação interfacial. A celulose, por ser hidrofílica, apresenta baixa afinidade com a matriz hidrofóbica, resultando em uma interface ineficiente. Dentre os tratamentos utilizados se destacam os métodos alcalino, silano, ácido acético e peróxido de benzoíla. Esses tratamentos reduzem os grupos funcionais de OH e aumentam a rugosidade da superfície, otimizando o contato interfacial (MOHAMMED et al., 2022).

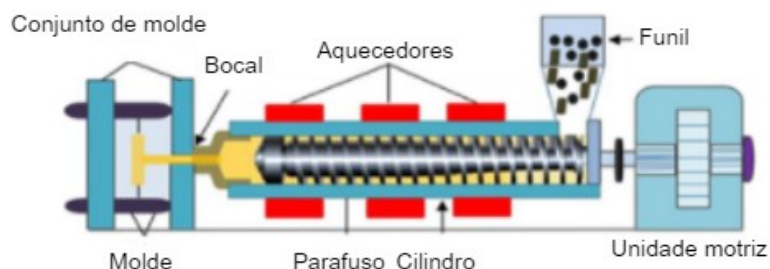
Apesar das vantagens desse tipo de reforço, o uso de fibras naturais em matrizes termoplásticas ainda apresenta um problema considerável. Devido à alta temperatura

de fusão e alta viscosidade dos termoplásticos, há dificuldade no processo de incorporação da fibra na matriz, o que pode afetar a integridade das fibras. Dessa forma, a escolha adequada do processo de fabricação se torna essencial para garantir a qualidade do compósito (JEONG et al., 2022).

2.2 MOLDAGEM POR INJEÇÃO

Dentre os processos de fabricação dos compósitos, a moldagem por injeção se destaca pela produção em massa. Esse método é complexo e exige um entendimento do comportamento do material durante as fases essenciais do procedimento (RABBI et al., 2021). A Figura 8 apresenta uma esquematização do sistema de moldagem por injeção.

Figura 8 – Esquemática de um sistema de moldagem por injeção



Fonte: Adaptado de Islam et al. (2024).

O processo de moldagem por injeção inicia-se com a adição do material na forma de grânulos no funil. Em seguida, a unidade motriz (motor) aciona o parafuso dentro do cilindro, movendo e comprimindo o material. Durante esse caminho, os aquecedores aumentam a temperatura do cilindro, derretendo os grânulos à medida que avançam. Por fim, o bocal injeta o material fundido no molde, onde ele se solidifica no formato desejado (ISLAM et al., 2024). Atualmente, diversas máquinas de injeção estão disponíveis no mercado para atender requisitos específicos. Além disso, existem vários softwares CAD/CAM que permitem a simulação do processo de injeção, como Autodesk *Fusion* e *Ansys Workbench* (ISLAM et al., 2024).

2.2.1 Autodesk Fusion

O Fusion é um *software* baseado em nuvem para desenvolvimento colaborativo de produtos. Suas ferramentas permitem a exploração e a iteração de ideias, garantindo rapidez e facilidade de design, focando na forma, função e fabricação dos produtos. A partir do Fusion, variados estudos podem ser realizadas, como frequências modais, flambagem estrutural e simulação de moldagem por injeção (Figura 9) (RTC ANTWERPEN, 2020).

Figura 9 – Estudos disponíveis no Fusion



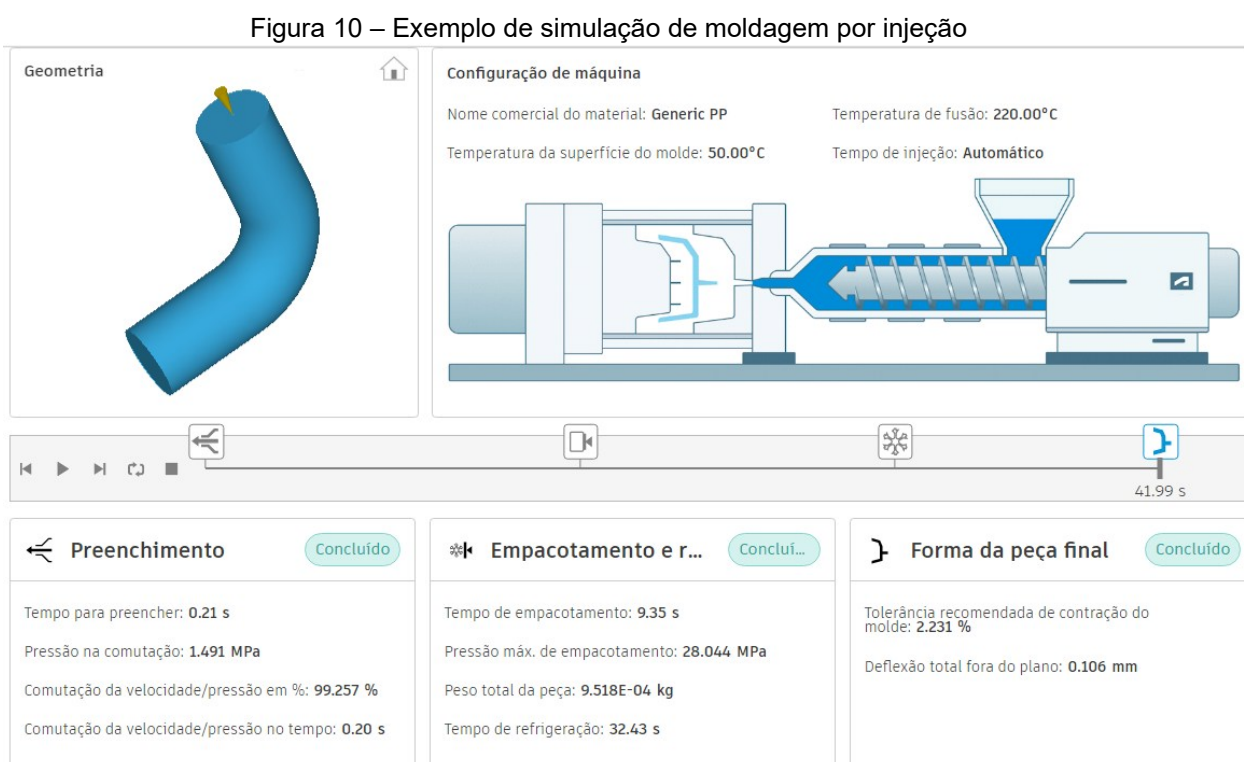
Fonte: Autodesk (2025).

A produção de peças injetadas pode ser bastante difícil a depender do design, por exemplo, é possível que a capacidade de preencher completamente o molde seja influenciada. Além disso, a qualidade geral do produto final depende de vários fatores, podendo resultar em falhas visíveis na superfície ou variações dimensionais. Dessa forma, o Fusion ajuda a sinalizar problemas de moldagem antes da criação do molde, fornecendo resultados guiados que respondem perguntas como (RAALTE, 2021):

- A peça será preenchida?

- Haverá marcas de afundamento e linhas de solda?
- Surgirão problemas com empenamento excessivo?

Além de fornecer informações sobre o preenchimento, empacotamento e refrigeração, como pressão, tempo de preenchimento e refrigeração, peso total e tolerância recomendada de contração do molde. Um exemplo de simulação de moldagem por injeção pode ser observado na Figura 10 (RAALTE, 2021).



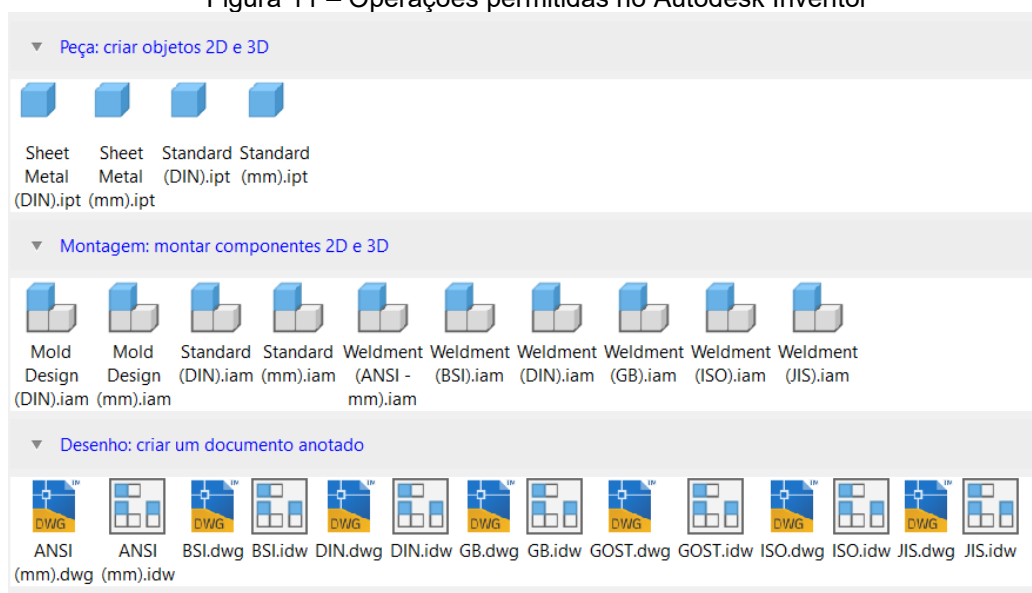
Fonte: Autodesk (2025).

O funcionamento do Fusion consiste em, inicialmente, importar a geometria da peça de um *software* alternativo, como o Autodesk Inventor, em seguida definir o tipo de estudo (sendo simulação de moldagem por injeção). Posteriormente, são definidos a temperatura de injeção e a temperatura do molde, além de definir a posição do ponto de injeção. Após a definição dos parâmetros, inicia-se a execução dos resultados, por fim, o *software* exibe os resultados obtidos (AUTODESK, 2025).

2.2.1.1 Autodesk Inventor

O Autodesk Inventor é um *software* CAD (Computer Aided Design) 3D, utilizado para design, simulação, visualização e documentação, desde o início de um projeto até iterações e desenvolvimentos posteriores, sendo amplamente utilizado na indústria para o projeto de equipamentos. O *software* permite desde a criação de desenhos 2D e 3D até montagem desses componentes, além de criar desenhos anotados (Figura 11), facilitando o desenvolvimento de projetos (WARREN, 2020; RODRIGUES, 2020).

Figura 11 – Operações permitidas no Autodesk Inventor



Fonte: Autodesk (2025)

Uma das principais vantagens do Inventor é a redução das complexidades durante o desenvolvimento do projeto, possibilitada por sua diversidade de ambientes de design disponíveis no *software*. Além disso, o programa permite a abertura de design de outros *softwares*, como AutoCAD, Mechanical Desktop e AutoCAD LT (TICKOO, 2024).

2.2.2 Máquina injetora

Como ilustrado na Figura 12, a Thermo Scientific HAAKE MiniJet II é uma máquina de moldagem por injeção de pistão. Essa máquina se destaca pela

preparação eficiente de corpos de prova para testes mecânicos. Abaixo é possível observar as especificações técnicas da máquina (Tabela 1) (RHEOLOGY SOLUTIONS, ([s.d])).

Figura 12 – Thermo Scientific Haake MiniJet II



Fonte: Rheology Solutions ([s.d]).

Tabela 1 – Especificações da máquina injetora
Especificações Técnicas HAAKE MiniJet II

Pressão de injeção	Máx. 1200 bar
Material do molde	Aço 1.2767
Dimensões	300 mm x 460 mm x 710 mm
Potência	230 V \pm 10 %, 3.15 A, 50...60 Hz 115 V \pm 10 %, 3.15 A, 60 Hz
Pressão do ar	Máx. 10 bar
Temperatura do molde	Máx. 250 °C
Temperatura do cilindro	Máx. 400 °C

Fonte: Adaptado de Thermo Scientific (2008).

Por ser equipada com controles precisos baseados em microprocessadores, o sistema HAAKE MiniJet garante corpos de prova consistentes e reproduzíveis. Além disso, todos os parâmetros de processamento como temperatura, pressão e duração da injeção podem ser controlados. Ademais, a máquina também permite a produção de corpos de prova desde geometria padrão até moldes exclusivos e personalizados,

adaptando-se às exigências específicas de cada pesquisa (THERMO SCIENTIFIC, 2008).

2.2.3 Moldes de injeção

Moldes de injeção são definidos como um sistema de uma ou várias cavidades, utilizados no processo de moldagem por injeção. Para determinar o molde a ser empregado, é fundamental considerar os seguintes fatores: o tipo de molde, formato, o número de peças que será produzido e, principalmente, o tipo de máquina utilizada, a qual o molde deve se adaptar em termos de tamanho, centralização e conexões. O molde adequado para aplicação na máquina injetora Thermo Scientific HAAKE MiniJet II é apresentado na Figura 13 (ALMEIDA; SOUZA, 2015).

Figura 13 – Molde utilizado na máquina injetora Thermo Scientific HAAKE MiniJet II



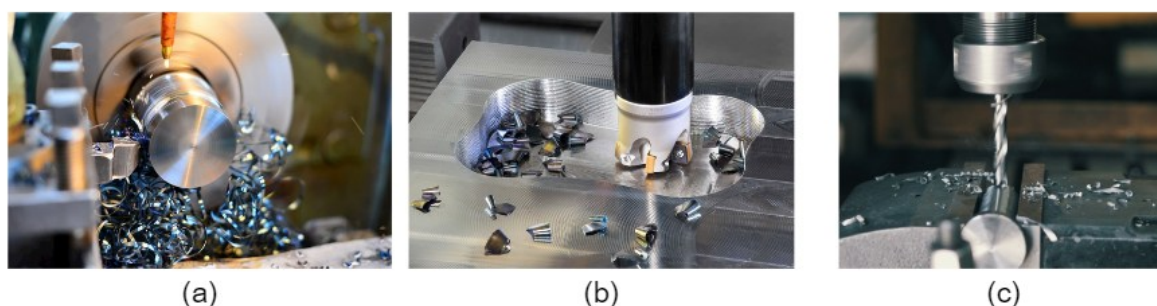
Fonte: Thermo Scientific (2008).

Os principais sistemas funcionais de um molde de injeção incluem a cavidade e macho, que definem o formato, as dimensões e o acabamento da peça. O sistema de centragem e guiamento garantem o alinhamento entre as duas metades do molde, enquanto o sistema de alimentação conduz e controla o fluxo do polímero fundido (ZOTO, 2020). Além desses, há o sistema de ventilação, responsável pela saída dos gases, o sistema de resfriamento, que controla a temperatura do molde, e o sistema de extração, que permite a retirada da peça (ZOTO, 2020).

No projeto do molde, diversos materiais e métodos de fabricação podem ser empregados. Dentre os materiais utilizados, aços como AISI H13, P20 e o SAE1045

se destacam principalmente devido a combinação de propriedades, como resistência mecânica, tenacidade, usinabilidade, dureza e polibidade, responsável pelo acabamento final da peça moldada. Quanto aos métodos de fabricação, os mais comuns são os processos de usinagem, que incluem torneamento, fresamento e furação, apresentados na Figura 14 (ALMEIDA; SOUZA, 2015; BARBOSA; CALVÃO, 2020; TOME et al., 2024).

Figura 14 – Processos de fabricação: (a) torneamento; (b) fresamento; (c) furação



Fonte: Metalgon (2022); MBA Iscar ([s.d]); WCM Componentes ([s.d]).

2.2.3.1 Processos de fabricação

Os processos de fabricação podem ser categorizados em processos sem remoção de cavaco, como fundição, soldagem, metalurgia do pó e conformação, e processos com remoção de cavaco, como a usinagem. A usinagem tem como finalidade conferir forma, dimensões ou acabamento à peça, podendo ainda, ser uma combinação dessas três operações (VALIM, 2018). Trata-se de um processo de fabricação que consiste na remoção controlada de material por meio de uma ferramenta de corte, sendo classificado em operações convencionais ou não convencionais. A Figura 15 apresenta a classificação das operações de usinagem (VALIM, 2018).

Figura 15 – Classificação das operações de usinagem



Fonte: Adaptado de Machado; Coelho; Abrão (2015).

Dentre as operações convencionais, estão o torneamento, o fresamento, o aplainamento, a furação, o mandrilamento e o serramento. Quanto aos não convencionais, existem o jato d'água, o jato abrasivo, a eletroerosão, a ultrassom, a eletroquímica e o laser (MACHADO; COELHO; ABRÃO, 2015).

Para a correta operação de máquinas de usinagem, é fundamental determinar os parâmetros de corte, como a velocidade de corte dos materiais e o número de rotações por minuto. As equações para o cálculo da velocidade de corte e o número de rotações por minuto são apresentadas a seguir (ALMEIDA; SOUZA, 2015):

$$VC = \frac{\pi \times D \times n}{1.000} = m/min \quad (1)$$

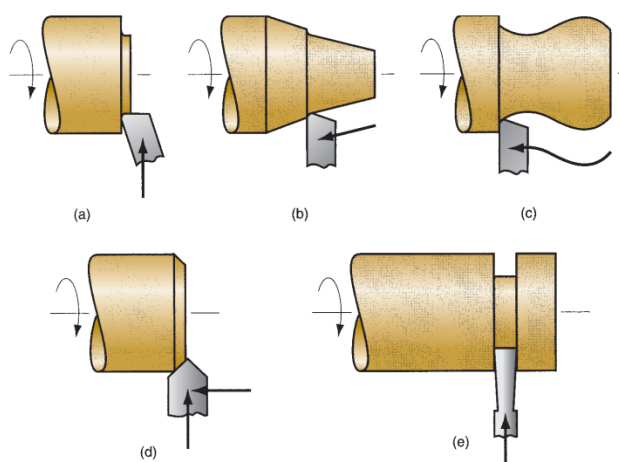
$$rpm = \frac{VC \times 1.000}{\pi \times D} \quad (2)$$

Nas equações, VC é a velocidade de corte, π é considerado 3,14, D o diâmetro da peça, n o número de rotações por minuto (rpm) e 1.000 a constante para converter o valor para milímetros por minuto. Quando deseja-se conhecer o valor da velocidade de corte para determinar rpm, tabelas de velocidade de corte devem ser consultadas (ANEXO A) (ALMEIDA; SOUZA, 2015).

2.2.3.1.1 Torneamento

O torneamento é um processo de usinagem no qual a peça a ser usinada gira em torno do eixo principal de rotação da máquina, enquanto a ferramenta se desloca simultaneamente realizando um movimento de avanço longitudinal e/ou transversal. Diversas operações de torneamento podem ser realizadas, as principais são apresentadas na Figura 16 (FERRARESI, 1970).

Figura 16 – Operações de torneamento: (a) Faceamento; (b) Torneamento cônico externo; (c) Torneamento de perfis; (d) Chanfradura; (e) Sangramento.



Fonte: Adaptado de Groover (2013).

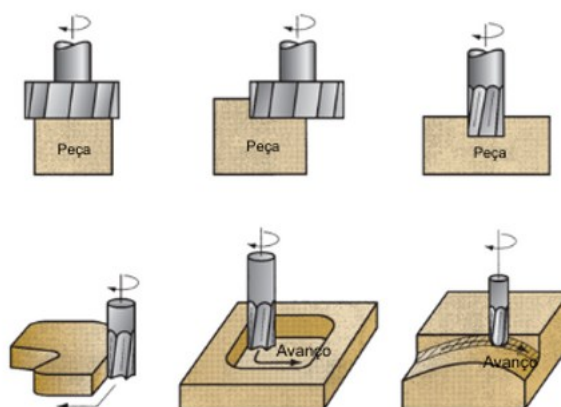
Entre as principais operações de torneamento estão o faceamento (Figura 16a), no qual a ferramenta é alimentada radialmente, criando uma superfície plana na extremidade. O torneamento cônico (Figura 16b), no qual a ferramenta de corte realiza uma trajetória em ângulo, criando um formato cônico. O torneamento de perfis (Figura 16c), no qual a ferramenta segue um contorno não retilíneo, resultando em uma forma contornada na peça torneada. A chanfradura (Figura 16d), na qual a aresta da ferramenta de corte é utilizada para cortar um ângulo no canto do cilindro, produzindo um chanfro. Por fim, o sangramento (Figura 16e), que consiste em abrir canais em uma peça utilizando uma ferramenta de corte especial (GROOVER, 2013).

2.2.3.1.2 Fresamento

O fresamento é um processo mecânico no qual a remoção do material resulta do movimento relativo entre a ferramenta e a peça. Neste método de fabricação, a

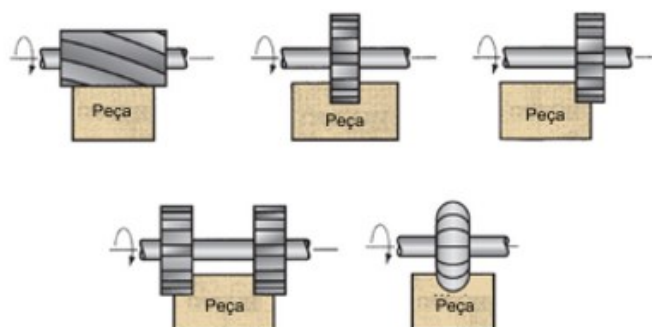
ferramenta de corte (fresa) executa um movimento rotativo enquanto é pressionada contra a peça, o que pode resultar em uma superfície com diferentes formas, como planas e curvas. Devido à flexibilidade desse tipo de máquina e diversidade de tipos de ferramenta, o fresamento é amplamente utilizado para a usinagem de peças. O fresamento pode ser horizontal ou vertical, sendo as principais operações apresentadas na Figuras 17 e 18 (KIMINAMI; CASTRO; OLIVEIRA, 2013).

Figura 17 – Principais operações de fresamento vertical



Fonte: Adaptado de Groover (2013).

Figura 18 – Principais operações de fresamento horizontal



Fonte: Adaptado de Groover (2013).

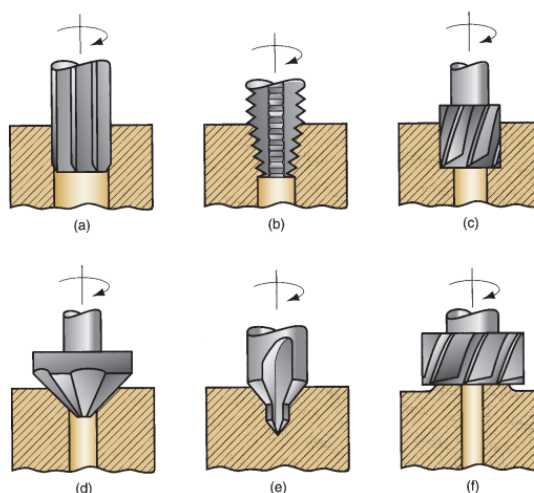
O fresamento horizontal é utilizado para obter-se superfície plana paralela ao eixo de rotação da máquina, como o fresamento tangencial (de canais ou de perfis), o fresamento de topo e o fresamento frontal (FERRARESI, 1970; KIMINAMI; CASTRO; OLIVEIRA, 2013). Já o fresamento vertical é o processo utilizado para a obtenção de superfície plana perpendicular ao eixo de rotação, como o fresamento

frontal, o fresamento com fresa de topo esférica e o fresamento de cavidade (FERRARESI, 1970; KIMINAMI; CASTRO; OLIVEIRA, 2013).

2.2.3.1.3 Furação

O processo de furação é destinado a obtenção de furos em uma peça, auxiliados por ferramentas multicortantes. Para executar esse processo, a ferramenta de corte ou a peça giram e, simultaneamente, a ferramenta ou a peça se desloca em uma trajetória retilínea. As principais operações de furação são apresentadas na Figura 19 (FERRARESI, 1970).

Figura 19 – Principais operações de furação: (a) alargamento; (b) rosqueamento; (c) escareamento cilíndrico; (d) escareamento cônico; (e) furação central; (f) faceamento localizado.



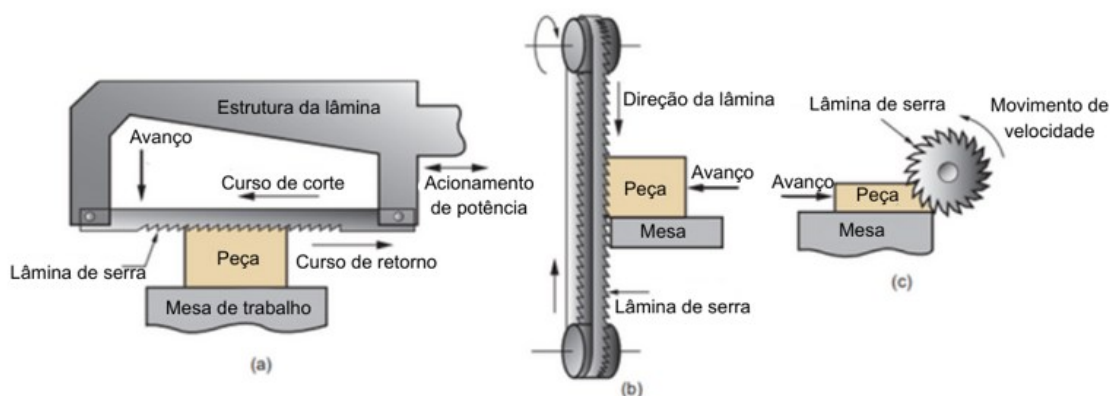
Fonte: Groover (2013).

O alargamento (Figura 19a) é utilizado para aumentar um furo, realizado utilizando um alargador. Já o rosqueamento (Figura 19b) é o processo de criação de roscas internas, realizado com um macho de roscar. Por sua vez, o escareamento cilíndrico (Figura 19c) ou cônico (Figura 19d), é responsável pela criação de furos escalonados, no qual o diâmetro maior segue o diâmetro menor dentro do furo. Além desses, existem a furação central (Figura 19e), uma operação realizada para se obter com precisão a localização de um furo posterior, e o faceamento localizado (Figura 19f), utilizado para produzir uma superfície plana em uma área específica da peça (GROOVER, 2013).

2.2.3.1.4 Serramento

O serramento é um processo de usinagem cujo objetivo é seccionar ou recortar uma peça com auxílio de ferramentas multicortantes de pequena espessura. Esse processo pode ser classificado em retilíneo ou circular, sendo suas principais operações apresentadas na Figura 20 (FERRARESI, 1970).

Figura 20 – Operações de serramento: (a) serramento retilíneo horizontal; (b) serramento retilíneo vertical; (c) serramento circular.



Fonte: Adaptado de Groover (2013).

No serramento retilíneo horizontal (Figura 20a), o corte é realizado apenas com o movimento de avanço da lâmina de serra. Esse movimento pode ser feito manualmente ou por meio de serra elétrica, que fornece o mecanismo de acionamento. Já o serramento retilíneo vertical (Figura 20b) é executado com a serra de fita, uma máquina que promove um acionamento semelhante a uma polia para mover continuamente e guiar a lâmina sobre a peça. Por fim, o serramento circular (Figura 20c) emprega uma lâmina rotativa, que proporciona um movimento contínuo de corte sobre a peça (GROOVER, 2013; KIMINAMI; CASTRO; OLIVEIRA, 2013).

2.2.3.1.5 Planejamento de fabricação

Após o dimensionamento de uma peça, é fundamental elaborar um planejamento de fabricação, de modo a garantir que a execução do trabalho seja eficiente, segura e resulte em uma peça de boa qualidade. Para elaborar o planejamento, devem ser definidas a ordem dos processos, máquinas e ferramentas necessárias, além de responder perguntas como (FITZPATRICK, 2013):

- Qual máquina deve ser utilizada primeiro?
- Como é a peça a ser fixada e posicionada durante a usinagem?
- É necessário sobremetal para fixação da peça?
- A sequência global é eficiente?

Dessa forma, o trabalho é otimizado, além de reduzir atrasos, retrabalho e desperdícios na linha de produção (FITZPATRICK, 2013).

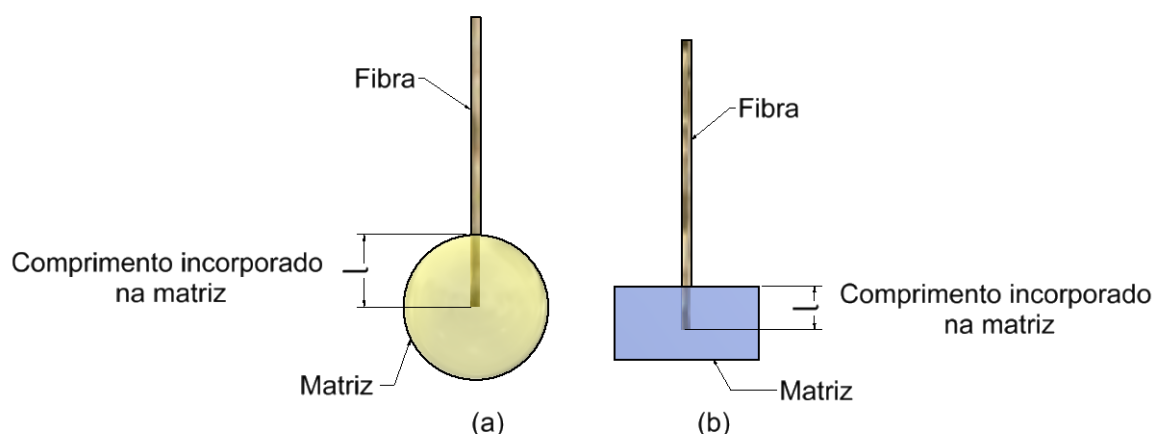
2.3 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA

Para determinar as propriedades de um material, os ensaios mecânicos e físicos são essenciais, os quais são fundamentais para garantir que o material esteja de acordo com as especificações de projeto. Em compósitos, a ligação interfacial entre a fibra e a matriz impacta diretamente as propriedades mecânicas, dessa forma, compreender seu comportamento é fundamental para projetar um compósito com propriedades aprimoradas (NAIK et al., 2019). Para a caracterização da interface, são utilizados alguns ensaios específicos, como o de arrancamento de fibra, de microligação e testes indiretos, como ensaio de flexão e fragmentação de fibra única (SABA et al., 2018).

2.3.1 Ensaio de arrancamento de fibra

Os ensaios de arrancamento de fibra foram introduzidos há mais de cinquenta anos e, devido à sua versatilidade, continuam sendo utilizados até os dias atuais. Para sua realização, é necessário produzir corpos de prova específicos, nos quais as fibras são parcialmente incorporadas na matriz até um determinado comprimento. As matrizes podem apresentar diferentes formatos, os mais comuns são os formatos esférico (Figura 21a) e paralelepípedo retangular (Figura 21b) (MÜSSIG; GRAUPNER, 2021; ZHANDAROV et al., 2019).

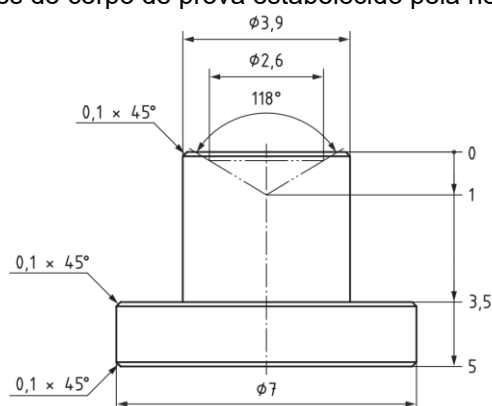
Figura 21 – Formatos comuns de matrizes: (a) esférico; (b) paralelepípedo retangular



Fonte: Adaptado de Müssig; Graupner (2020).

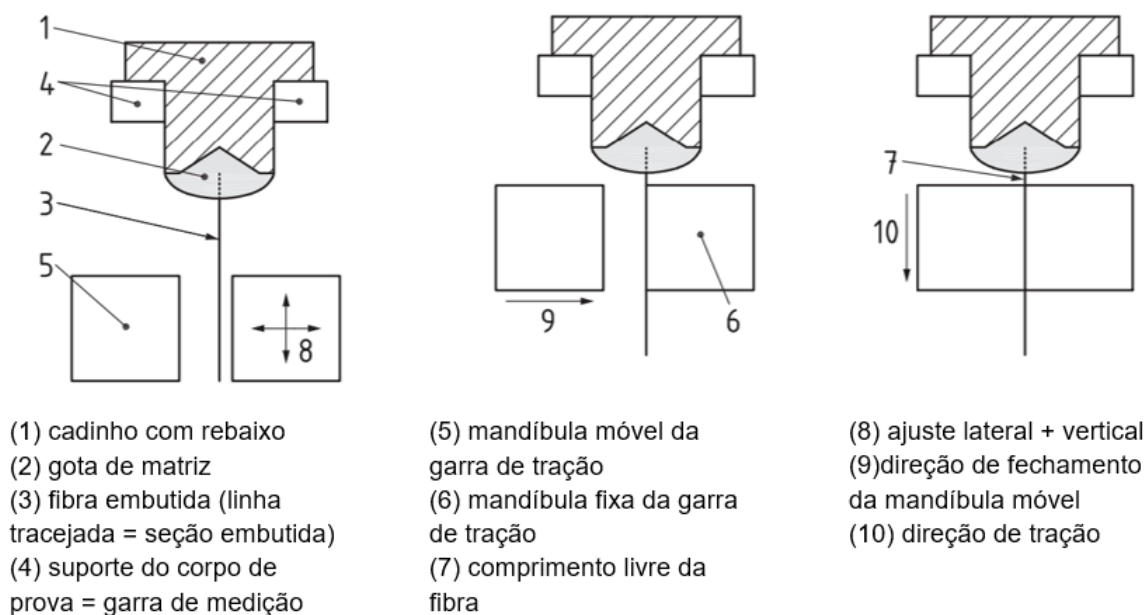
Uma das normas utilizadas para a realização do ensaio de arrancamento de fibra é a ISO 19375:2024, aplicada a fibras de reforço como fibras de carbono, de vidro, de basalto e fibras de reforço semelhantes, e a matrizes termoplásticas, termofixas e concreto de granulometria fina, não sendo aplicável a fibras elastômeras e matrizes elastoméricas, matrizes que curam ou derretem a temperaturas acima de 400 °C, matrizes com tendência a formação de bolhas e espumas (ISO, 2024). O corpo de prova estabelecido pela norma consiste em um cadinho metálico, no qual uma gota da matriz é colocada na pequena cavidade e, por fim, a fibra é incorporada na matriz. A Figura 22 exhibe as dimensões do corpo de prova estabelecido pela norma, enquanto a Figura 23 apresenta uma esquematização do ensaio (ISO, 2024).

Figura 22 – Dimensões do corpo de prova estabelecido pela norma ISO 19375:2024



Fonte: ISO (2024).

Figura 23 – Esquemática do ensaio



Fonte: Adaptado de ISO (2024).

Para a realização do ensaio, o corpo de prova é fixado em uma máquina de tração universal, em seguida, a fibra é removida com velocidade que pode variar de 0,1 mm/min à 100 mm/min, enquanto os dados de carga e deslocamento da fibra são registrados ao longo do processo, posteriormente, esses dados são analisados e utilizados para calcular o comprimento crítico da fibra (OUSHABI, 2019; HUANG et al., 2021; ISO, 2024).

De modo geral, a preparação dos corpos de prova para o ensaio de arrancamento é um processo trabalhoso e sensível a variações. Além disso, os corpos de prova devem ser padronizados, tendo em vista que a variação deles pode influenciar as propriedades mecânicas do compósito (MÜSSIG; GRAUPNER, 2021).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

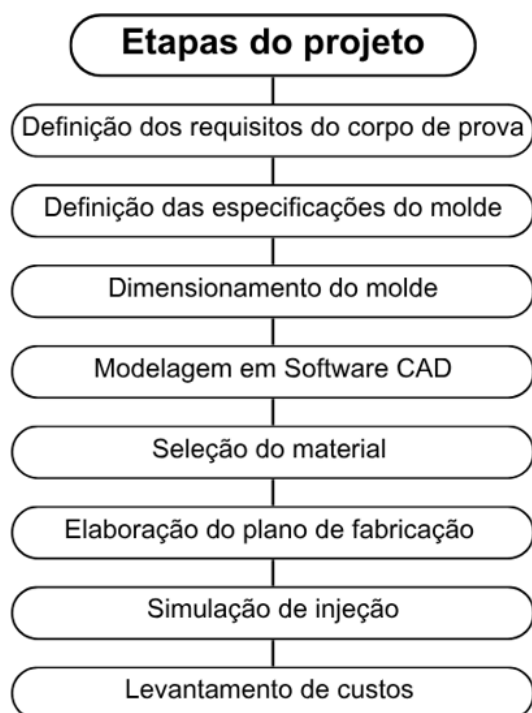
Os materiais utilizados durante o desenvolvimento deste trabalho estão listados a seguir:

- Notebook Acer Aspire 5 Intel Core I5H 512 GB;
- Autodesk Inventor Professional 2024;
- Autodesk Fusion 2025;
- Torno Mecânico EUROSTEC – C6241x1000;
- Fresadora Universal KONE KFU-2/IMP;
- Serra de Fita MANROD MR-122;
- Furadeira BOSCH.

3.2 METODOLOGIA DE PROJETO

Para o desenvolvimento deste projeto, foi adotada uma abordagem qualitativa, de natureza descritiva e experimental, com ênfase na descrição detalhada das etapas envolvidas no projeto do molde. Em seguida, a etapa experimental foi realizada, simulando o comportamento do molde durante o processo de injeção. Um fluxograma com as etapas do projeto é apresentado na Figura 24.

Figura 24 – Fluxograma das etapas do projeto



Fonte: Autor (2025).

Inicialmente foram definidos os requisitos técnicos do corpo de prova utilizado no ensaio de arrancamento, seguindo o corpo de prova definido por Oushabi (2017), incluindo geometria da peça e o posicionamento da fibra na matriz polimérica, além de definir as especificações do molde utilizado na máquina injetora HAAKE MiniJet II.

Posteriormente o molde foi dimensionado levando em consideração os requisitos definidos. Além disso, foi realizada uma modelagem tridimensional por meio de software CAD, com o objetivo de gerar os desenhos técnicos e simular a montagem final do molde.

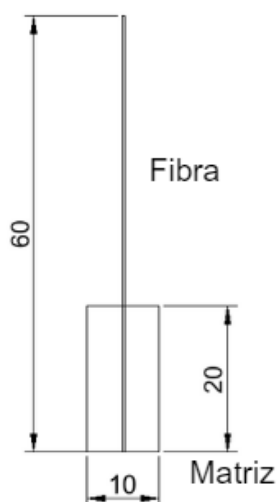
A escolha do material levou em conta resistência mecânica, dureza, disponibilidade no mercado nacional e custo. Por fim, foram definidos os processos de fabricação e o levantamento de custos.

3.3 METODOLOGIA DE ENSAIO

Apesar de existirem normas técnicas para ensaios de arrancamento de fibra, na aplicação de termoplásticos, o método proposto não é de fácil aplicação por necessitar da manutenção de uma alta temperatura até a incorporação da fibra na matriz, sendo mais facilmente aplicável a matrizes termofixas. Sendo assim, este trabalho foi

desenvolvido com base na metodologia descrita por Oushabi (2017). Dessa forma, o molde foi projetado para atender as dimensões definidas, as quais são apresentadas na Figura 25.

Figura 25 – Esquematização do corpo de prova para o ensaio de arrancamento de fibra



Fonte: Autor (2025).

O corpo de prova consiste em uma fibra contínua com comprimento de 60 mm parcialmente incorporada e mantida na matriz de 20 mm x 10 mm x 10 mm. Portanto, o molde foi desenvolvido considerando tais dimensões, garantindo a adequada fixação da fibra e repetibilidade na produção de corpos de prova.

3.4 THERMO SCIENTIFIC HAAKE MINIJET II

A máquina injetora HAAKE MiniJet II é um sistema de mini-injeção em que a pressão durante a moldagem é controlada por meio de um pistão pneumático, possibilitando uma pressão de até 1200 bar, além de permitir temperaturas do molde e do cilindro de até 250 °C e 400 °C, respectivamente. Seu funcionamento consiste em, inicialmente, definir os parâmetros do processo, como pressão e temperatura. Em seguida, o molde apropriado é selecionado e inserido na máquina.

Posteriormente, o material a ser injetado é inserido no cilindro na forma de grânulos, então o cilindro é fixado na máquina e o processo de injeção se inicia. Ao término da injeção, o cilindro e o molde são removidos, e a amostra é extraída do

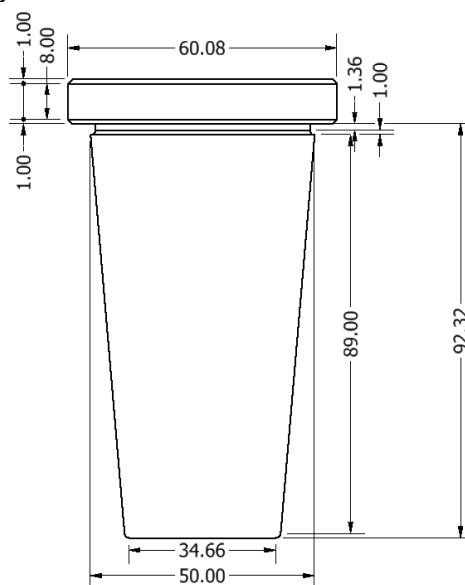
molde. A Figura 26 apresenta o molde utilizado na máquina injetora, enquanto a Figura 27 mostra suas dimensões externas.

Figura 26 – Molde utilizado na máquina injetora



Fonte: Autor (2025).

Figura 27 – Dimensões externas do molde



Fonte: Autor (2025).

Dessa forma, as cavidades do molde foram definidas de acordo com o tipo de corpo de prova a ser produzido, de modo a garantir um molde adequado para a operação correta na máquina injetora HAAKE MiniJet II.

3.5 DIMENSIONAMENTO DO MOLDE

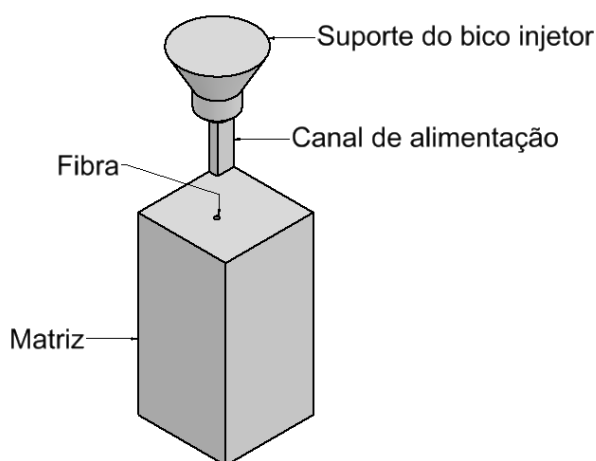
Como apresentado na Figura 25, as fibras são incorporadas no centro da matriz. Levando em consideração as dimensões da matriz e o posicionamento das fibras, uma cavidade descentralizada foi projetada de modo que o canal de alimentação não coincidissem com as fibras, com o objetivo de preservar sua integridade e evitar o desalinhamento e ruptura durante o processo de injeção.

Além disso, foi desenvolvida uma forma eficiente de fixação das fibras, que permitisse seu posicionamento correto antes do fechamento do molde e garantisse fibras estáveis e centralizadas durante todo processo.

3.6 METODOLOGIA DE SIMULAÇÃO

Para executar a simulação, levou-se em consideração o fato de o *software* utilizado (Fusion) não permitir a simulação para testar o molde em si, apenas a peça moldada. Dessa forma, utilizando o Autodesk Inventor, o corpo de prova foi modelado em conjunto com o suporte do bico injetor e o espaço de fixação da fibra. O corpo de prova modelado é apresentado na Figura 28.

Figura 28 – Modelagem do corpo de prova



Fonte: Autor (2025).

Após a modelagem do corpo de prova, ele foi exportado para o Fusion. Ao abrir o desenho no Fusion, foi aberta a seção de simulação, criando um estudo de

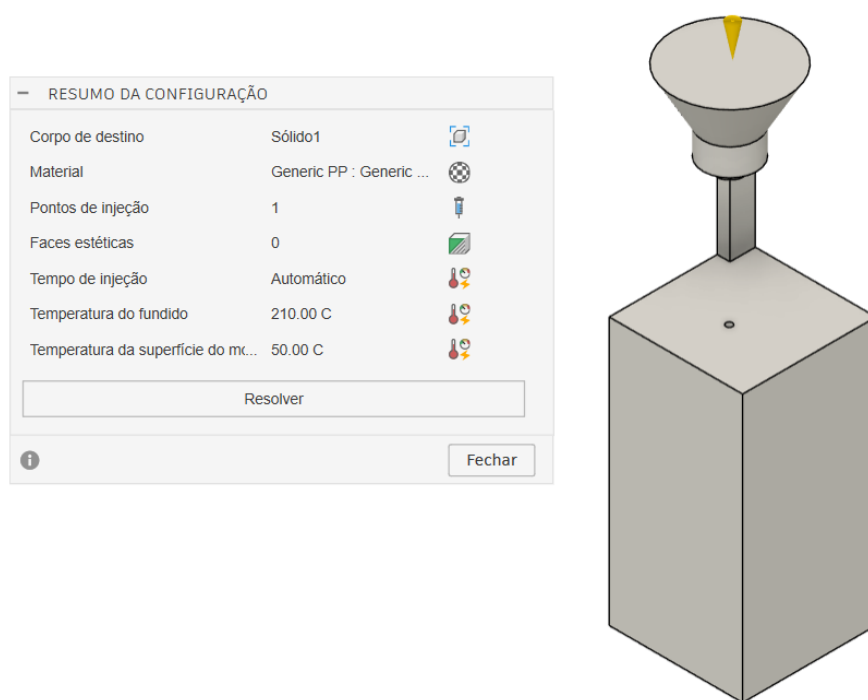
simulação de moldagem por injeção (Figura 29). As configurações da simulação e a posição do ponto de injeção são exibidos na Figura 30.

Figura 29 – Seleção do tipo de estudo



Fonte: Autor (2025).

Figura 30 – Configurações da simulação



Fonte: Autor (2025).

Após a criação do estudo, a simulação foi configurada, definindo o ponto de injeção e parâmetros como temperatura de injeção à 210 °C e temperatura do molde à 50 °C, além de definir o material, sendo polipropileno genérico (PP). Além disso, foi considerada uma fibra de tamareira, como especificado por Oushabi (2017). De acordo com Al-Sulaiman (2002), as fibras de tamareira longas e unidirecionais apresentam uma resistência à tração média entre 127,4–152,3 MPa. Já as fibras médias e curtas apresentam valores entre 8,4–62,6 MPa.

3.7 PLANEJAMENTO DE FABRICAÇÃO

Para a fabricação eficiente de uma peça, seja complexa ou simples, é fundamental desenvolver um planejamento detalhado, determinando a operação a ser realizada e a ferramenta a ser utilizada. Para a fabricação do molde, um planejamento de fabricação foi elaborado (Tabela 2).

Tabela 2 – Planejamento de fabricação

Nº	OPERAÇÃO	FERRAMENTA	COMENTÁRIO
1º	Corte do tarugo	Lâmina de corte	Cortar a barra com altura de 150 mm; posteriormente separar em 3 partes.
2º	Faceamento	Ferramenta de facear	Criar superfície plana na parte superior e inferior do molde.
3º	Torneamento cilíndrico externo	Ferramenta de torneamento externo	Criar diâmetro maior do molde.
4º	Sangramento	Ferramenta de sangrar, 1 mm.	Essa operação deve ser realizada lentamente para atingir um sangramento de 1,36 mm.
5º	Torneamento de perfis	Ferramenta de torneamento externo.	Criar o perfil arredondado após o sangramento.
6º	Torneamento cônico externo	Ferramenta de torneamento externo (alteração no carro transversal).	Determinar o ângulo considerando o diâmetro menor e o diâmetro maior do molde.
7º	Chanfro	Ferramenta de chanfrar.	Formar chanfro de 1 mm x 45°.
8º	Arredondamento	Ferramenta de torneamento externo.	Arredondamento de 1 mm na base do molde.

Fonte: Autor (2025).

Tabela 2 – Planejamento de fabricação

N°	OPERAÇÃO	FERRAMENTA	COMENTÁRIO
9°	Alargamento cônico	Broca cônica para metal: Ø 8,5 mm.	Criar a parte cônica do canal de alimentação.
10°	Furação	Broca helicoidal: Ø 5 mm, Ø 4 mm, Ø 2 mm.	Criar os furos de fixação do molde, da fibra e parte do canal de alimentação.
11°	Fresamento de cavidade	Fresa de topo reto: Ø 1 mm e Ø 8 mm.	Desbaste com a fresa de 8 mm e acabamento com fresa de 1 mm.
12°	Rosqueamento	Macho para rosca Ø 2 mm	Gerar as roscas dos furos de fixação da fibra

Fonte: Autor (2025).

Dessa forma, é possível garantir uma sequência global eficiente, definindo qual máquina deve ser utilizada inicialmente, sendo uma serra de fita. Além de determinar o comprimento do sobremetal para a fixação correta da peça (aproximadamente 47 mm).

3.7.1 Seleção do material

A partir dos materiais apresentados como os mais utilizados na produção de moldes de injeção (AISI H13, AISI P20 e SAE 1045) foram avaliadas as vantagens e desvantagens de cada um.

O aço AISI H13 é amplamente empregado em ferramentas para trabalho a quente, apresentando elevada resistência mecânica e alta resistência ao desgaste. No entanto, para um bom desempenho, o material necessita passar por tratamento térmico, além de possuir baixa disponibilidade nacional.

O aço AISI P20, por sua vez, apresenta boa resistência a impactos e uma composição química balanceada, sendo amplamente recomendado para a fabricação de moldes de injeção de pequeno e médio porte. Entretanto, assim como o AISI H13, o AISI P20 também apresenta baixa disponibilidade nacional.

Por fim, o aço SAE 1045, um aço de médio carbono (0,43% a 0,50%) conhecido por possuir um bom equilíbrio entre resistência mecânica, usinabilidade e dureza, empregado em aplicações que exigem componentes duráveis. Além disso, possui um

preço relativamente baixo, quando comparado aos outros, e uma boa disponibilidade nacional, sendo de fácil acesso.

Dessa forma, considerando os materiais apresentados, suas vantagens e desvantagens, o material selecionado para a fabricação do molde de injeção foi o aço SAE 1045.

3.8 METODOLOGIA DE LEVANTAMENTO DE CUSTO

O processo de levantamento de custos foi estabelecido em duas fases, sendo a primeira o custo de produção do molde com mão de obra própria e a segunda com mão de obra terceirizada.

Para a primeira fase, considerou-se a disponibilidade de máquinas-ferramentas no Laboratório Didático de Engenharia Mecânica da UFOB, de acordo com o estabelecido no planejamento de fabricação. Dessa forma, foram determinados os custos dos itens exibidos na Tabela 3, com base em consultas a fornecedores online.

Tabela 3 – Lista de itens a determinar o custo

QTD.	ITEM
2	Tarugos Ø 2.1/2" x 150 mm SAE 1045
1	Lâmina de Fita de serra MR-122

Fonte: Autor (2025).

Além de levantar os custos dos materiais necessários para a fabricação do molde, também foi determinado o gasto energético, o qual é dado por:

$$\text{Consumo [kWh]} = \text{Potência do equipamento [kW]} \times \text{Tempo de uso [h]} \quad (3)$$

A potência e o tempo estimado de uso de cada equipamento são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Potência e Tempo de uso dos equipamentos

EQUIPAMENTO	POTÊNCIA	TEMPO DE USO
Torno Mecânico EUROSSTEC – C6241x1000	3,3 kW	3 horas
Fresadora Universal KONE KFU-2/IMP	2,94 kW	1 hora
Serra de Fita MANROD MR – 122	0,75 kW	0,5 horas
Furadeira BOSCH	0,5 kW	0,5 horas

Fonte: Autor (2025).

Na segunda etapa, o levantamento foi realizado por meio de consultas a empresas especializadas em usinagem de precisão, considerando a execução completa do projeto do molde, desde a compra do material até a produção final. A lista de empresas consultadas é exposta na Tabela 5.

Tabela 5 – Lista de empresas consultadas

EMPRESA	LOCALIZAÇÃO
Empresa A	Curitiba – Paraná
Empresa B	Três Rios – Rio de Janeiro

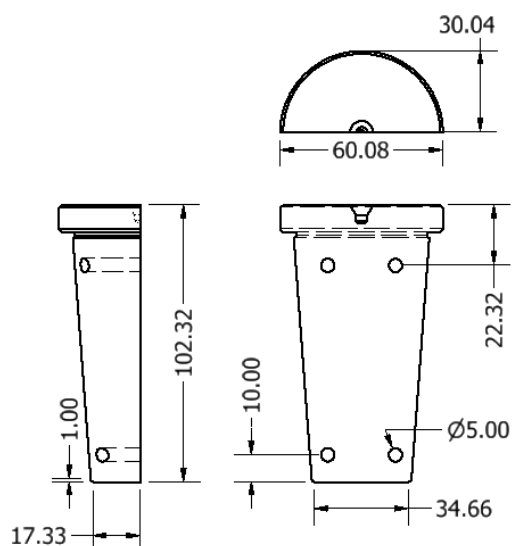
Fonte: Autor (2025).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DIMENSIONAMENTO DO MOLDE

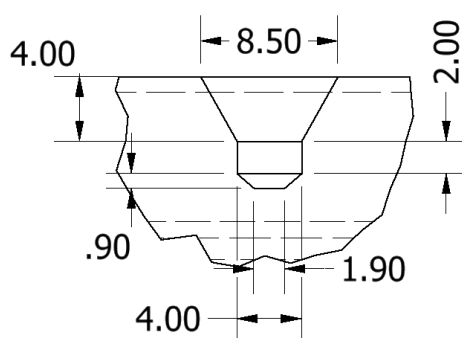
Usualmente, o molde padrão da HAAKE MiniJet II é composto por duas partes, das quais uma suporta a cavidade, enquanto a outra é responsável pelo fechamento do molde. Devido à necessidade de fixação da fibra e posicionamento da mesma na cavidade, para este trabalho, a parte que suporta a cavidade foi subdividida em outras duas. Inicialmente, utilizando o *software* Autodesk Inventor, foi dimensionado o fechamento do molde, considerando tanto as dimensões externas (Figura 31) quanto as dimensões do suporte do bico injetor (Figura 32).

Figura 31 – Dimensões do fechamento do molde



Fonte: Autor (2025).

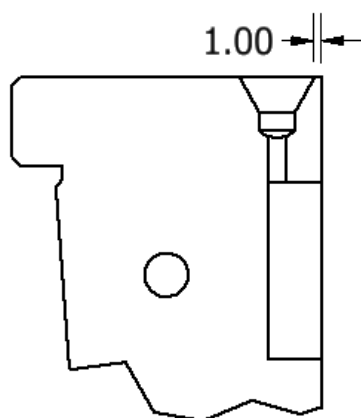
Figura 32 – Dimensões do suporte do bico injetor



Fonte: Autor (2025).

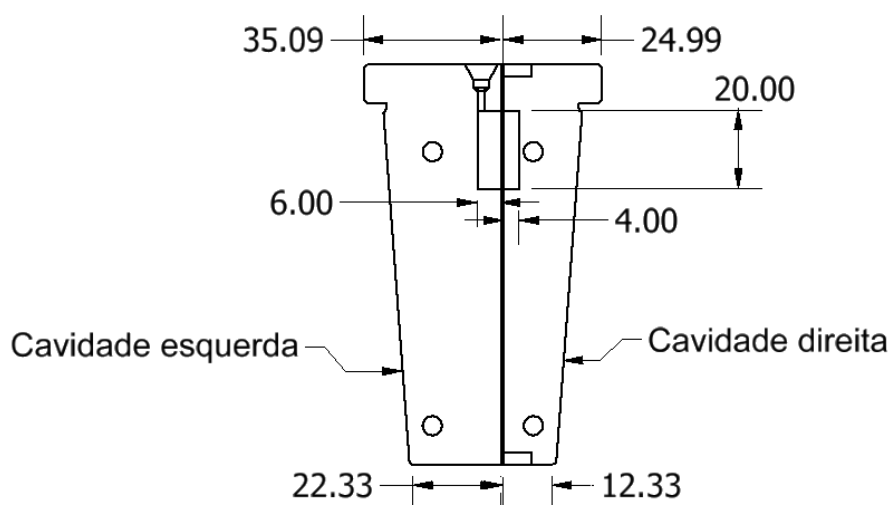
Por se tratar de um molde para corpos de prova com fibra única (compósitos), é necessário que haja espaço para posicionar e fixar a fibra durante o processo de injeção. Dessa forma, para definir as dimensões de cada parte, foi considerado o posicionamento do suporte do bico injetor, visto que, caso fosse coincidente com a fibra, ela poderia ter sua integridade comprometida. Portanto, além de descentralizar a cavidade, foi acrescentado um espaço de 1 mm em relação ao suporte do bico injetor, como mostra a Figura 33. A cavidade dividida em duas é apresentada na Figura 34.

Figura 33 – Espaçamento após suporte do bico injetor



Fonte: Autor (2025).

Figura 34 – Divisão da cavidade do molde

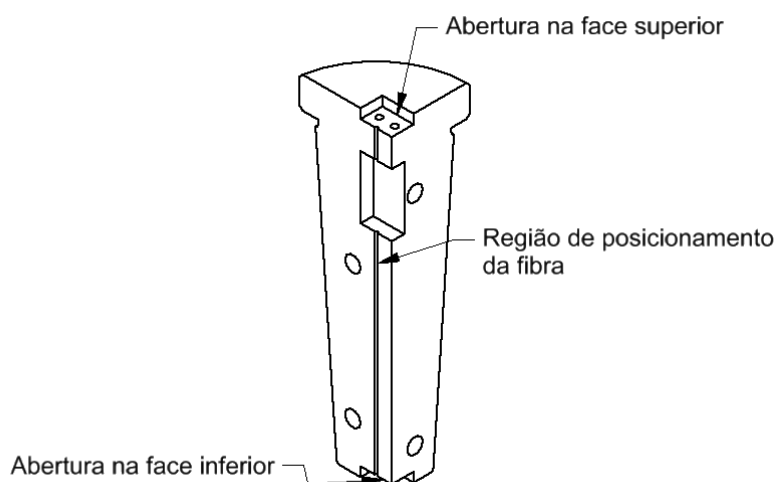


Fonte: Autor (2025).

Logo, a cavidade esquerda possui 6 mm de largura enquanto a cavidade direita suporta 4 mm, com ambas tendo 20 mm de altura e 10 mm de profundidade, conforme o corpo de prova a ser produzido. Para posicionar a fibra, determinou-se uma abertura centralizada de 1 mm de diâmetro.

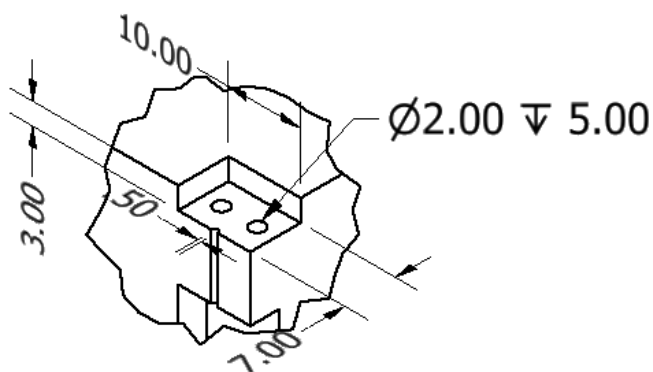
Uma característica fundamental do corpo de prova é que a fibra deve permanecer tensionada no interior da matriz, dessa forma, para que a fibra permaneça fixa e esteja de acordo com a necessidade do corpo de prova, foi definido um pequeno espaço de 3 mm de profundidade, com dimensões de 10 mm x 7 mm, tanto na face superior quanto na face inferior da cavidade esquerda, como apresentado na Figura 35. Além disso, foram abertos dois furos roscados com 2 mm de diâmetro, assim, a fibra será posicionada e fixada antes do processo de injeção. As dimensões são exibidas na Figura 36.

Figura 35 – Posicionamento e fixação da fibra na cavidade esquerda



Fonte: Autor (2025).

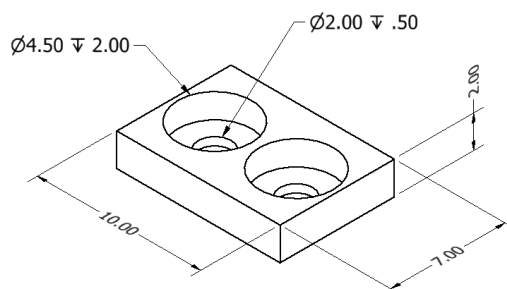
Figura 36 – Dimensões da seção de posicionamento e fixação da fibra



Fonte: Autor (2025).

Para manter a fibra fixa no espaço definido, foi desenvolvida uma placa, com dimensões de 10 mm x 7 mm x 2 mm, com dois furos, sendo o maior de 4,5 mm de diâmetro e 2 mm de profundidade, enquanto o menor possui diâmetro de 2 mm e 0,5 mm de profundidade, para que a cabeça do parafuso esteja nivelada com a face superior da placa. A placa e suas dimensões são apresentadas na Figura 37.

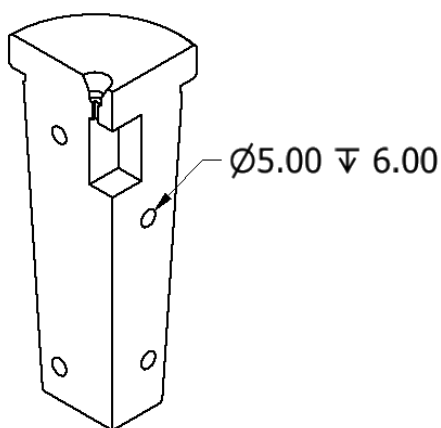
Figura 37 – Dimensões da placa de fixação



Fonte: Autor (2025).

Para reconectar as cavidades direita e esquerda entre si, foram efetuados dois furos em ambas as partes, com 5 mm de diâmetro e 6 mm de profundidade, que serão unidos por pinos de dimensões iguais a 12 mm x 5 mm, como apresentado na Figura 38.

Figura 38 – Dimensões dos furos de conexão entre as cavidades



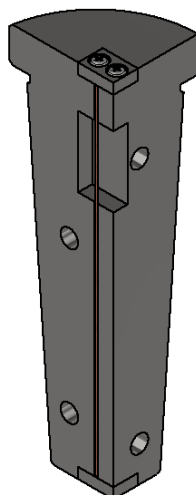
Fonte: Autor (2025).

Após o dimensionamento de todas as partes que compõem o molde, iniciou-se a montagem final. Além disso, todas as dimensões detalhadas de cada parte estão disponíveis nos Apêndices A, B, C e D.

4.2 MONTAGEM DO MOLDE

Após o dimensionamento do molde, iniciou-se o processo de montagem. Inicialmente, a fibra foi posicionada na cavidade esquerda, em seguida, uma placa foi posicionada e fixada na face superior com dois parafusos (M2 x 6 mm), posteriormente, a fibra foi tensionada e fixada na face inferior, como apresentado na Figura 39. O modelo e as dimensões do parafuso utilizado podem ser analisados no Anexo B.

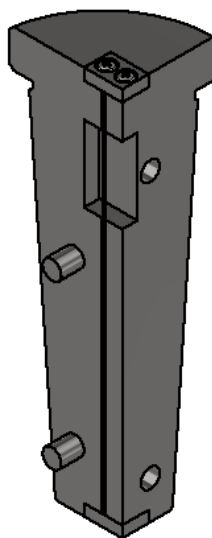
Figura 39 – Fibra fixada



Fonte: Autor (2025).

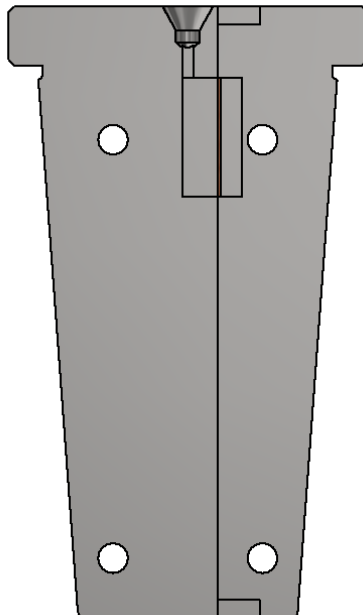
Após a fixação da fibra, os pinos foram posicionados na cavidade esquerda (Figura 40) e, sequencialmente, a cavidade direita foi conectada ao conjunto (Figura 41). Por fim, a parte responsável pelo fechamento da cavidade foi posicionado no conjunto e fixadas com pinos de 5 mm de diâmetro (Figura 42).

Figura 40 – Posicionamento dos pinos de conexão das cavidades



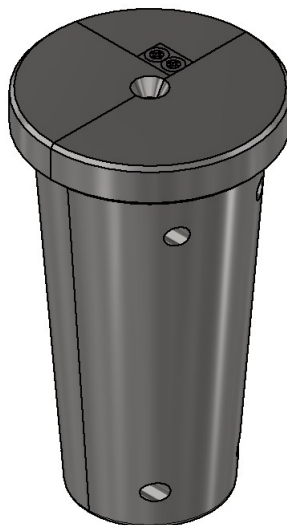
Fonte: Autor (2025).

Figura 41 – Conexão das cavidades



Fonte: Autor (2025).

Figura 42 – Molde completamente montado



Fonte: Autor (2025).

Com o molde completamente montado, nota-se que foi possível assegurar tanto a fixação adequada da fibra quanto o dimensionamento correto da cavidade, garantindo que, mesmo com a divisão em três partes, o molde permanece adequado para a operação na injetora Thermo Scientific HAAKE MiniJet II.

4.3 SIMULAÇÃO DE INJEÇÃO

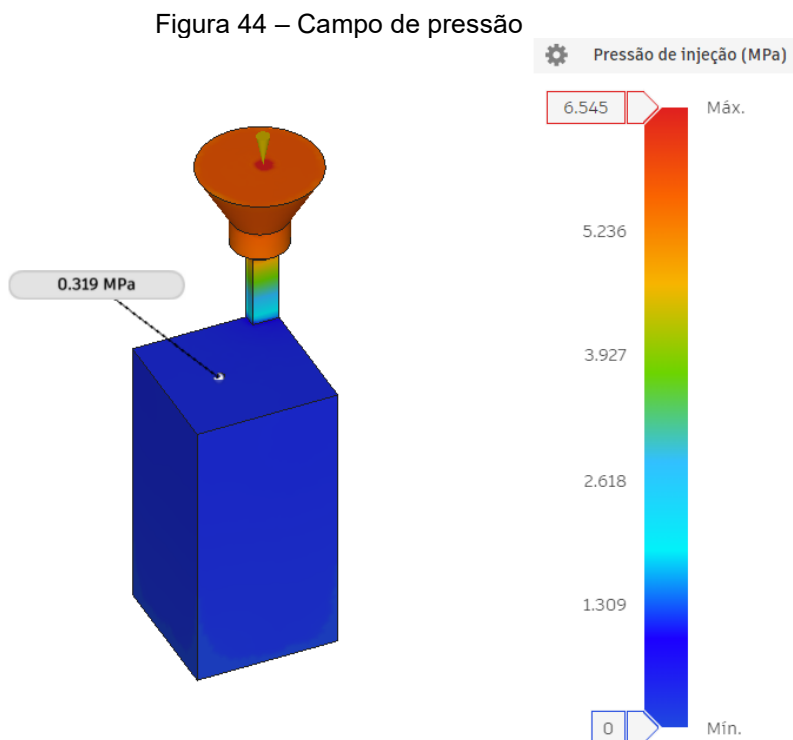
Os resultados obtidos durante a simulação são apresentados na Figura 43.

Figura 43 – Resultados da simulação



Fonte: Autor (2025).

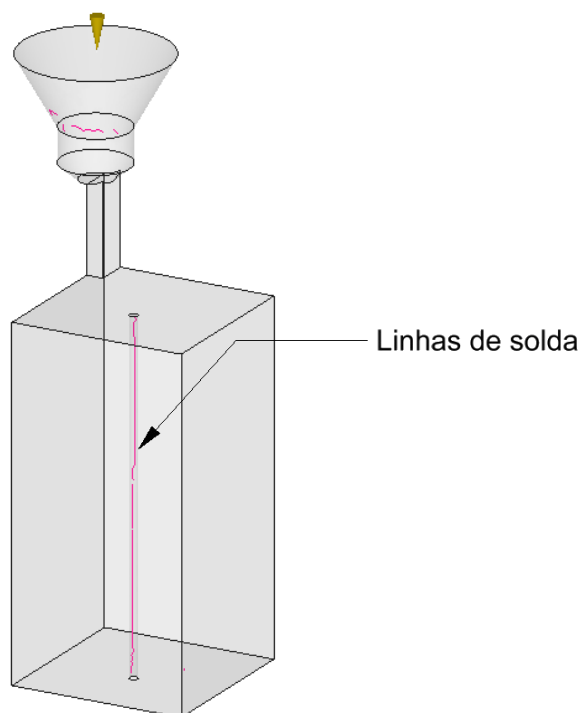
A partir dos dados simulados, observou-se um tempo de preenchimento de 0,61 s, pressão de comutação de 6,545 MPa, com uma pressão máxima de empacotamento de 31,582 Mpa. O campo de pressão é ilustrado na Figura 44.



Fonte: Autor (2025).

Ao analisar a pressão na região de fixação da fibra, observa-se um valor de 0,319 Mpa. Por ser significativamente inferior à pressão média do processo e a resistência a tração média da fibra de tamareira, não compromete a fixação nem o posicionamento da fibra durante o preenchimento da cavidade, preservando sua integridade. Em complemento, também foi possível analisar a formação de linhas de solda, apresentadas na Figura 45.

Figura 45 – Formação de linhas de solda

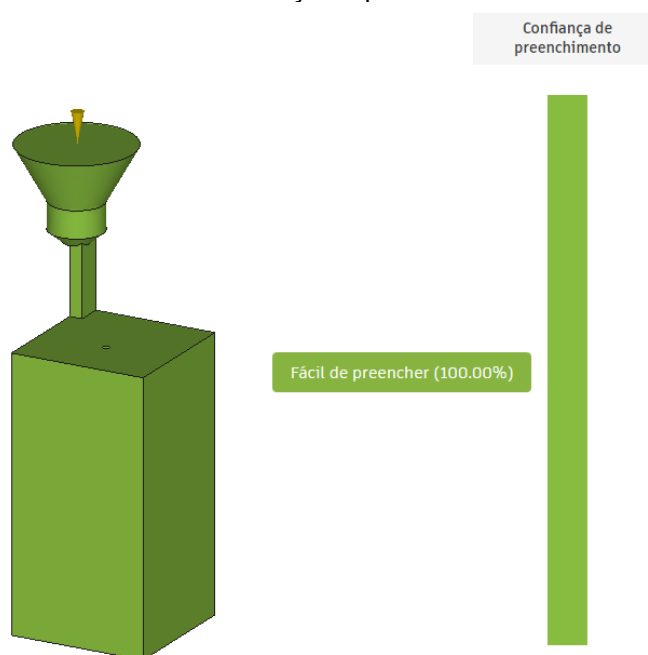


Fonte: Autor (2025).

As linhas de solda surgem do encontro entre duas frentes de fluxo. No corpo de prova, sua formação ocorreu devido à presença da fibra, que impediu um preenchimento contínuo da cavidade. O software Fusion sugeriu a mudança do ponto de injeção como alternativa para evitar o surgimento das linhas de solda, no entanto, observa-se que essa modificação não eliminaria totalmente o problema, uma vez que a fibra permaneceria como um obstáculo fixo.

Por fim, foi analisada a confiabilidade do preenchimento, responsável por indicar a facilidade de preencher completamente a cavidade. O resultado é apresentado na Figura 46.

Figura 46 – Análise da confiança de preenchimento



Fonte: Autor (2025).

Sendo assim, a simulação apresentou um resultado satisfatório. Apesar das linhas de solda causadas pela adição da fibra, o processo de injeção apresentou uma confiabilidade de 100% de preenchimento (de acordo com o Autodesk Fusion), além da baixa pressão no ponto de fixação da fibra, o que garante que ela permanecerá imóvel durante o processo. Dessa forma, para o material selecionado (PP), o molde pode ser aplicado para qualquer fibra que possua tensão superior à desenvolvida no processo de injeção.

4.4 LEVANTAMENTO DE CUSTOS

Na primeira etapa do levantamento de custos, referente à mão de obra própria, foram consultados fornecedores online como Mercado Livre, Casas Bahia e Carrefour. Os valores médios obtidos para cada item são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Primeira etapa do levantamento de custos

QTD.	ITEM	VALOR UNITÁRIO	VALOR
2	Tarugos SAE 1045	R\$ 115,00	R\$ 230,00
1	Lâmina de Serra Fita MR-122	R\$ 78,99	R\$ 78,99
VALOR TOTAL		R\$ 308,99	

Fonte: Autor (2025).

Utilizando a equação (3) para o cálculo do consumo energético, obtém-se:

$$\text{Consumo} = 3,3 \times 3 + 2,94 \times 1 + 0,75 \times 0,5 + 0,5 \times 0,5$$

$$\text{Consumo} = 13,46 \text{ kWh}$$

De acordo com a Neoenergia Coelba (2024), concessionária de energia de Bom Jesus da Lapa – BA, o custo do kWh de energia é de 0,821 reais na tarifa convencional. Dessa forma, o gasto energético em reais será de R\$ 11,05. Portanto, para a fabricação do molde com mão de obra própria, o gasto estimado é de R\$ 320,04. No entanto, devido à falta de tempo hábil, não foi possível executar o planejamento de fabricação.

Quanto aos custos de fabricação terceirizada do molde, os valores são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Segunda etapa do levantamento de custos

EMPRESA	CUSTO	PRAZO DE FABRICAÇÃO
Empresa A	R\$ 3.424,00	Entre 18 a 22 dias úteis.
Empresa B	R\$ 6.500,00	Entre 15 a 25 dias úteis.

Fonte: Autor (2025).

A empresa Empresa A retornou a solicitação de orçamento com um valor de 3.424,00 reais e um prazo de fabricação entre 18 a 22 dias úteis, enquanto a Empresa B retornou um valor de 6.500,00 reais e um prazo entre 15 a 25 dias úteis.

Ao comparar os custos de cada etapa, observa-se que a fabricação terceirizada apresenta um valor até 20 vezes superior ao custo de fabricação com mão de obra própria. Essa diferença se deve à complexidade do molde, que exige alta precisão dimensional em componentes de pequenas dimensões, além do tempo necessário para a execução, com um prazo médio de 20 dias úteis.

Apesar do custo elevado da execução do projeto por meio de terceirização, essa alternativa proporciona maior precisão e melhor acabamento na fabricação, ao contrário da fabricação com mão de obra própria, que não permite a obtenção da cavidade com cantos vivos, operação realizada com eletroerosão, processo indisponível no Laboratório Didático de Engenharia Mecânica.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo o dimensionamento de um molde de injeção para a produção de corpos de prova estabelecidos por Oushabi (2017), bem como o projeto do *layout* da cavidade do molde, a seleção do material com base em resistência mecânica, usinabilidade, dureza, disponibilidade nacional e custo, além da elaboração do planejamento e análise dos custos de fabricação.

No dimensionamento, o molde foi dividido em três partes, tendo sido projetada uma cavidade descentralizada que permitiu o posicionamento e fixação da fibra antes do início do processo. Adicionalmente, foram incorporadas aberturas na face superior e inferior para fixação e tensionamento da fibra, bem como aberturas para reconexão das partes divididas.

Posteriormente, realizou-se uma simulação de injeção que constatou um tempo de preenchimento total de 0,61 s, pressão de comutação de 6,545 MPa e confiabilidade de preenchimento de 100%. Registrou-se uma pressão de 0,319 MPa na região de fixação da fibra, insuficiente para comprometer sua integridade. Além disso, é possível garantir que, para o Polipropileno, o molde pode ser aplicado para qualquer fibra com resistência a tração maior que a desenvolvida na região de fixação. No entanto, linhas de solda surgiram devido à fibra, que permanece como um obstáculo fixo.

Após a seleção do aço SAE 1045, realizou-se o levantamento de custos, comparando valores de fabricação com mão de obra própria e terceirizada. Foram obtidos valores de R\$ 320,04 e de R\$ 3.424,00 a R\$ 6.500,00, respectivamente, justificados pela complexidade do molde.

Diante do exposto, conclui-se que o molde desenvolvido atende aos requisitos estabelecidos por Oushabi (2017) para manufatura de corpos de prova para ensaios de arrancamento. A divisão do molde em três partes demonstrou ser eficaz para o posicionamento e fixação da fibra, os quais são os principais requisitos para o corpo de prova. Do ponto de vista econômico, avaliou-se a viabilidade da fabricação com mão de obra própria, com valores até 20 vezes inferiores à fabricação terceirizada. Como limitação no desenvolvimento do trabalho, reconhece-se a não fabricação do molde para a realização de testes. Dessa forma, para trabalhos futuros, recomenda-se a fabricação do molde e manufatura dos corpos de prova, além da realização do ensaio de arrancamento de fibra para validação da eficiência do molde.

REFERÊNCIAS

- ABDOLLAHIPARSA, H.; SHAHMIRZALOO, A.; TEUFFEL, P.; BLOK, R. A review of recent developments in structural applications of natural fiber-reinforced composites (NFRCS). **Composites and Advanced Materials**, v. 32, 2023. DOI: [10.1177/26349833221147540](https://doi.org/10.1177/26349833221147540).
- ALMEIDA, Gustavo Spina Gaudêncio de; SOUZA, Wander Burielo de. **Moldes e Matrizes – Características, Desenvolvimento e Funcionalidades para Transformação de Plásticos**. Rio de Janeiro: Érica, 2015. *E-book*. Pág.15. ISBN 9788536520490. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788536520490/>. Acesso em: 10 jun. 2025.
- AL-SULAIMAN, F. A. **Mechanical properties of date palm fiber reinforced composites**. Applied Composite Materials, v. 9, n. 6, p. 369–377, 2002. DOI: 10.1023/A:1020216906846. Disponível em: <https://pure.kfupm.edu.sa/en/publications/mechanical-properties-of-date-palm-fiber-reinforced-composites>>. Acesso em: 01 dez. 2025.
- AUTODESK. **Autodesk Fusion 360 – Software CAD, CAM, CAE 3D e PCB em nuvem: Visão geral**. São Paulo: Autodesk, 2025. Disponível em: <https://www.autodesk.com/br/products/fusion-360/overview>. Acesso em: 27 out. 2025.
- BARBOSA, Leonardo Sala; CALVÃO, Patrícia Schmid. **Desenvolvimento de molde para a injeção de polímeros termoplásticos**. In: SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, DIDÁTICA E DE AÇÕES SOCIAIS DA FEI, 10., 2020, São Bernardo do Campo. Anais [...]. São Bernardo do Campo: Centro Universitário FEI, 2020.
- BEGUM, S., FAWZIA, S., & HASHMI, M. S. J. (2020). **Polymer matrix composite with natural and synthetic fibres**. In Advances in Materials and Processing Technologies (Vol. 6, Issue 3, pp. 547–564). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/2374068X.2020.1728645>. Acesso em: 27 out. 2025.
- BUNSELL, A. R.; JOANNÈS, S.; THIONNET, A. **Fundamentals of Fibre Reinforced Composite Materials**. 2. Ed. Boca Raton: CRC Press, 2021. ISBN 978-0-367-02373-7.
- CALLISTER, William D. Jr.; RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 9. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- EGBO, M. K. A fundamental review on composite materials and some of their applications in biomedical engineering. **Journal of King Saud University – Engineering Sciences**, [S.l.], v. 33, n. 8, p. 557–568, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.JKSUES.2020.07.007>. Acesso em: 12 jun. 2025.
- ENGENHEIRO DE MATERIAIS. **Compósitos com matriz metálica (MMC)**. 22 abr. 2016. Disponível em: <https://engenheirodemateriais.com.br/2016/04/22/compositos-com-matriz-metalica-mmc/>. Acesso em: 12 jun. 2025.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da usinagem dos metais** . São Paulo: Editora Blucher, 1970. E-book. Pág.30. ISBN 9788521214199. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521214199/>. Acesso em: 07 nov. 2025.

FITZPATRICK, Michael. **Introdução aos processos de usinagem**. (Tekne) . Porto Alegre: Bookman, 2013. E-book. Pág.465. ISBN 9788580552294. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788580552294/>. Acesso em: 28 out. 2025.

GROOVER, Mikell P. **Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems**. 5. Ed. Hoboken (NJ): John Wiley & Sons, 2012. ISBN 978-1118231463.

HUANG, S.; FU, Q.; YAN, L.; KASAL, B. Characterization of interfacial properties between fibre and polymer matrix in composite materials – A critical review. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 13, p. 1441–1484, 2021. Elsevier Editora Ltda. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.05.076>. Acesso em: 24 abr. 2025.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Fibre-reinforced composites — Measurement of interfacial shear strength by means of a micromechanical single-fibre pull-out test**. ISO 19375:2024. Geneva: ISO, 2024.

ISLAM, T. et al. Advancements and challenges in natural fiber-reinforced hybrid composites: A comprehensive review. **SPE Polymers**, [S.l.], v. 5, n. 4, p. 481–506, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/PLS2.10145>. Acesso em: 12 jun. 2025.

JARIWALA, H.; JAIN, P. A review on mechanical behavior of natural fiber reinforced polymer composites and its applications. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, v. 38, n. 10, p. 441-453, 2019. DOI: 10.1177/0731684419828524. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0731684419828524>. Acesso em: 14 maio 2025.

JEONG, E.; KIM, Y.; HONG, S.; YOON, K.; LEE, S. Innovative Injection Molding Process for the Fabrication of Woven Fabric Reinforced Thermoplastic Composites. **Polymers**, v. 14, n. 8, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/polym14081577>. Acesso em: 4 maio 2025.

KANGISHWAR, S.; RADHIKA, N.; SHEIK, A. A.; CHAVALI, A.; HARIHARAN, S. A comprehensive review on polymer matrix composites: material selection, fabrication, and application. **Polymer Bulletin**, v. 80, n. 1, p. 47–87, 2023. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00289-022-04087-4>. Acesso em: 5 maio 2025.

KHAN, F.; HOSSAIN, N.; MIM, J. J.; RAHMAN, S. M.; IQBAL, M. J.; BILLAH, M.; CHOWDHURY, M. A. Advances of composite materials in automobile applications – A review. **Journal of Engineering Research (Kuwait)**. Elsevier B.V., 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jer.2024.02.017>. Acesso em: 24 abr. 2025.

KIELING, A. C.; SANTANA, G. P.; SANTOS, M. C. Compósitos de madeira plástica: considerações gerais 1. In: **Scientia Amazonia**. Issue 1, 2019. Disponível em: <http://www.scientia-amazonia.org>. Acesso em: 15 maio 2025.

KIMINAMI, Cláudio S.; CASTRO, Walman Benício de; OLIVEIRA, Marcelo Falcão de. **Introdução aos processos de fabricação de produtos metálicos**. 2. Ed. São Paulo: Editora Blucher, 2013. E-book. Pág.135. ISBN 9788521206835. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521206835/>. Acesso em: 07 nov. 2025.

LEE, C. H.; KHALINA, A.; LEE, S. H. Importance of interfacial adhesion condition on characterization of plant-fiber-reinforced polymer composites: a review. **Polymers**, Basel, v. 13, n. 3, p. 438, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/polym13030438>. Acesso em: 24 abr. 2025.

LU, Z.; CAO, J.; SONG, Z.; LI, D.; LU, B. Research progress of ceramic matrix composite parts based on additive manufacturing technology. **Virtual and Physical Prototyping**, [S.l.], v. 14, n. 4, p. 333–348, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/17452759.2019.1607759>. Acesso em: 12 jun. 2025.

MACHADO, Álisson R.; COELHO, Reginaldo T.; ABRÃO, Alexandre M. **Teoria da usinagem dos materiais**. 3. Ed. São Paulo: Editora Blucher, 2015. E-book. P.19. ISBN 9788521208440. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521208440/>. Acesso em: 15 ago. 2025.

MBA ISCAR. **Fresamento: soluções e serviços**. MBA Iscar. Disponível em: <https://www.mbaiscar.com.br/produto/fresamento#gallery-servicos-1>. Acesso em: 25 jun. 2025.

MERLINI, Claudia. **Ciência e tecnologia de compósitos poliméricos**. São Paulo: Artliber, 2021.

METALGON. **Torneamento: o que é, tipos e suas principais aplicações**. Metalgon, 16 ago. 2022. Disponível em: <https://www.metalgon.com.br/post/137-torneamento>. Acesso em: 25 jun. 2025.

MOHAMMED, M.; RAHMAN, R.; MOHAMMED, A. M.; ADAM, T.; BETAR, B. O.; OSMAN, A. F.; DAHHAM, O. S. Surface treatment to improve water repellence and compatibility of natural fiber with polymer matrix: Recent advancement. **Polymer Testing**, v. 115, p. 107707, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.POLYMERTESTING.2022.107707>. Acesso em: 29 maio 2025.

MORICI, E.; DINTCHEVA, N. T. (2022). **Recycling of Thermoset Materials and Thermoset-Based Composites: Challenge and Opportunity**. *Polymers* 2022, Vol. 14, Page 4153, 14(19), 4153. <https://doi.org/10.3390/POLYM14194153>. Acesso em: 15 ago. 2025.

MUSSATTO, Andre; AHAD, Inam UI; MOUSAVIAN, Reza Taherzadeh; DELAURE, Yan; BRABAZON, Dermot. Advanced production routes for metal matrix composites. **Engineering Reports**, v. 3, n. 5, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/eng2.12330>. Acesso em: 17 abr. 2025.

MÜSSIG, J.; GRAUPNER, N. Test methods for fibre/matrix adhesion in cellulose fibre-reinforced thermoplastic composite materials: A critical review. **Reviews of Adhesion and Adhesives**, v. 8, n. 2, p. 68–129, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.7569/RAA.2020.097306>. Acesso em: 17 abr. 2025.

NAIK, D. L.; SHARMA, A.; CHADA, R. R.; KIRAN, R.; SIROTIK, T. Modified pullout test for indirect characterization of natural fiber and cementitious matrix interface properties. **Construction and Building Materials**, [S.l.], v. 208, p. 381–393, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2019.03.021>. Acesso em: 12 jun. 2025.

NAVARATNAM, S., SELVARANJAN, K., JAYASOORIYA, D., RAJEEV, P.; SANJAYAN, J. (2023). **Applications of natural and synthetic fiber reinforced polymer in infrastructure: A suitability assessment**. Journal of Building Engineering, 66, 105835. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2023.105835>. Acesso em: 27 out. 2025.

NEOENERGIA Coelba. **Tarifas de energia elétrica – Grupo B – Resolução Homologatória n.º 3.320 de abril de 2024. Vigência: 22/04/2024 a 21/04/2025**. Disponível em: https://www.neoenergia.com/documents/d/bahia/01_neoenergia-coelba_tarifas-de-energia-eletrica-grupo-b_abril_2024_reh_n-3320-pdf?download=true. Acesso em: 24 nov. 2025.

NETO, Flaminio L.; PARDINI, Luiz C. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia**. 2. Ed. São Paulo: Editora Blucher, 2016. E-book. P. 20. ISBN 9788521210795. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521210795/>. Acesso em: 12 abr. 2025.

NETO, J.; QUEIROZ, H.; AGUIAR, R.; LIMA, R.; CAVALCANTI, D.; BANEJA, M. D. A review of 62cessoe advances in hybrid natural fiber reinforced 62cessoe composites. Journal of Renewable Materials, **Tech Science Press**, v. 10, n. 3, p. 561–589, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.32604/jrm.2022.017434>. Acesso em: 16 maio 2025.

NUHOGLU, K.; BALODANO, N. M.; CELIK, E. Investigation of Fiber–Matrix Interface Strength via Single-Fiber Pull-Out Test in 3D-Printed Thermoset Composites: A Simplified Methodology. **Materials**, v. 17, n. 10, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma17102433>. Acesso em: 17 abr. 2025.

OLADELE, I. O.; ADELANI, S. O. Applications and Disposal of Polymers and Polymer Composites: A Review. **European Journal of Advances in Engineering and Technology**, v. 9, n. 3, p. 65-89, mar. 2022. ISSN 2394-658X. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/359278531>. Acesso em: 21 abr. 2025

OUSHABI, A. The pull-out behavior of chemically treated lignocellulosic fibers/polymeric matrix interface (LF/PM): A review. **Composites Part B: Engineering**, v. 174, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107059>. Acesso em: 12 jun. 2025.

OUSHABI, A.; SAIR, S.; OUDRHIRI HASSANI, F.; ABBOUD, Y.; TANANE, O.; EL BOUARI, A. The effect of alkali treatment on mechanical, morphological and thermal properties of date palm fibers (DPFs): Study of the interface of DPF–Polyurethane composite. **South African Journal of Chemical Engineering**, v. 23, p. 116–123, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2017.04.005>. Acesso em: 25 jun. 2025.

PROY, J.; MASSA, F.; NOTTA-CUVIER, D.; LAURO, F.; TISON, T.; SPINGLER, G. Integrating fibers and injection molding process variability in short-natural-fiber-reinforced thermoplastics behavior: A review. **Materials Today Communications**, v. 29, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2021.102785>. Acesso em: 4 maio 2025.

RAALTE, Hanno Van. **What is Injection Molding Simulation in Autodesk Fusion?** Autodesk Blog, 25 ago. 2021. Disponível em: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/what-is-injection-molding-simulation-in-fusion-360/>. Acesso em: 27 out. 2025.

RABBI, M. S.; ISLAM, T.; ISLAM, G. M. S. Injection-molded natural fiber-reinforced 63cessoe composites – a review. **International Journal of Mechanical and Materials Engineering**, [S.l.], v. 16, n. 1, 2021. Springer. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40712-021-00139-1>. Acesso em: 12 jun. 2025.

RADZI, A. M.; ZAKI, S. A.; HASSAN, M. Z.; ILYAS, R. A.; JAMALUDIN, K. R.; DAUD, M. Y. M.; AZIZ, S. A. Bamboo-Fiber-Reinforced Thermoset and Thermoplastic Polymer Composites: A Review of Properties, Fabrication, and Potential Applications. **Polymers**, MDPI, v. 14, n. 7, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/polym14071387>. Acesso em: 16 maio 2025.

RAJAK, D. K., WAGH, P. H., & LINUL, E. (2022). **A Review on Synthetic Fibers for Polymer Matrix Composites: Performance, Failure Modes and Applications**. *Materials* 2022, Vol. 15, Page 4790, 15(14), 4790. <https://doi.org/10.3390/MA15144790>. Acesso em: 27 out. 2025.

RHEOLOGY SOLUTIONS. **Thermo Scientific HAAKE MiniJet II**. Disponível em: <https://www.rheologysolutions.com/thermo-scientific-haake-minijet-ii/>. Acesso em: 12 jun. 2025.

RODRIGUES, Ana Carolina Bomfim. **Produção e caracterização de um compósito polimérico com fibra de bananeira**. Bom Jesus da Lapa: Universidade Federal do Oeste da Bahia, 2019.

RODRIGUES, Roberval. **Apostila de INVENTOR 2018: Comandos Básicos**. Santo André: [s.n.], 2020. Disponível em:

https://www.jorgestreet.com.br/offline/2AN/2AN_MATERIAL_DTEA%202_ROBERVA_L_Apostila%20de%20INVENTOR%202018.pdf. Acesso em: 6 nov. 2025.

RTC ANTWERPEN. **Autodesk Fusion 360 Training**. Bélgica: RTC Antwerpen, 2020. Disponível em: <https://rtc-antwerpen.be/wp-content/uploads/2020/03/Fusion-360-Training.pdf>. Acesso em: 27 out. 2025.

SABA, N.; JAWAID, M.; SULTAN, M. T. H. An overview of mechanical and physical testing of composite materials. In: **MECHANICAL and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites**. [S.l.]: Elsevier, 2018. P. 1–12. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102292-4.00001-1>. Acesso em: 12 jun. 2025.

SANTOS, Luis Felipe de Paula. **Processamento e caracterização de compósitos termoplásticos multifuncionais reforçados com fibras de carbono e buckypapers de nanotubos de carbono**. 2021. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/215748>. Acesso em: 16 maio 2025.

SEGHINI, Maria Carolina. **Investigation into the mechanical properties and fibre/matrix interface optimization for next generation of basalt-plant fibre hybrid composites**. 2020. Tese (Doutorado) – Universidade de Roma, Itália.

SILVA, C. O. da; SILVA, F. N. da; BANNA, W. R. El; NASCIMENTO, W. A. do. Uso das fibras do caroço do açaí como fase dispersa em compósitos de matriz termoplástica: uma revisão bibliográfica. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 4, p. 28654–28679, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv8n4-384>. Acesso em: 16 maio 2025.

SUMITHRA, G.; REDDY, R. N.; DHEERAJ KUMAR, G.; OJHA, S.; JAYACHANDRA, G.; RAGHAVENDRA, G. Review on composite classification, manufacturing, and applications. **Materials Today: Proceedings**, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.637>. Acesso em: 14 maio 2025.

THERMO SCIENTIFIC. **HAAKE MiniJet – Piston injection molding system**. [S.l.]: Thermo Fisher Scientific, 2008. Disponível em: https://www.pragolab.cz/documents/DB_MiniJet_E.pdf. Acesso em: 12 jun. 2025.

TICKOO, Sham. **Autodesk Inventor Professional 2025 for Designers**. 25. Ed. Mission: CAD/CIM Technologies, 2024. ISBN 9781640572539.

TOME, S., PAULIN, I., & GODEC, M. (2024). **AISI H13 tool steel – comparison between powder bed fused and classically produced parts**. *Metal* 2024, 2024-May(May), 166–171. <https://doi.org/10.37904/METAL.2024.4881> Acesso em: 24 nov. 2025.

VALIM, Diego B. **Usinagem**. Porto Alegre: SAGAH, 2018. E-book. Pág.26. ISBN 9788595025110. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595025110/>. Acesso em: 07 nov. 2025.

V. CARDOSO – Indústria e Comércio de Artefatos de Metais Ltda. **Parafuso M2 cabeça chata**. Disponível em: <https://www.vcardoso.com/parafuso-m2-cabeca-chata>. Acesso em: 24 nov. 2025.

WARREN, Leo. **Inventor: A Beginner's Guide (As Fast As Possible)**. Class ID: EDU463362-L. [S.l.]: Autodesk University, 2020. Disponível em: https://static.au-uw2-prd.autodesk.com/EDU463362-L_Class_Handout_EDU463362L_Leo_Warren.pdf. Acesso em: 6 nov. 2025.

WCM COMPONENTES. **Furação e rosqueamento**. WCM Componentes. Disponível em: <https://www.wcmcomponentes.com.br/servico/furacao-e-rosqueamento>. Acesso em: 25 jun. 2025.

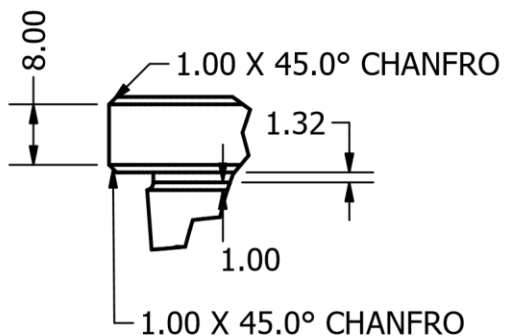
ZHANDAROV, S.; SCHEFFLER, C.; MÄDER, E.; GOHS, U. Three specimen geometries and three methods of data evaluation in single-fiber pullout tests. **Mechanics of Composite Materials**, v. 55, n. 1, p. 69–84, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/S11029-019-09793-1>. Acesso em: 12 jun. 2025.

ZOTO, Jacson Fabiano. **Especificação técnica aplicada às etapas de desenvolvimento de projeto de moldes de injeção de termoplásticos**. Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul, 2020.

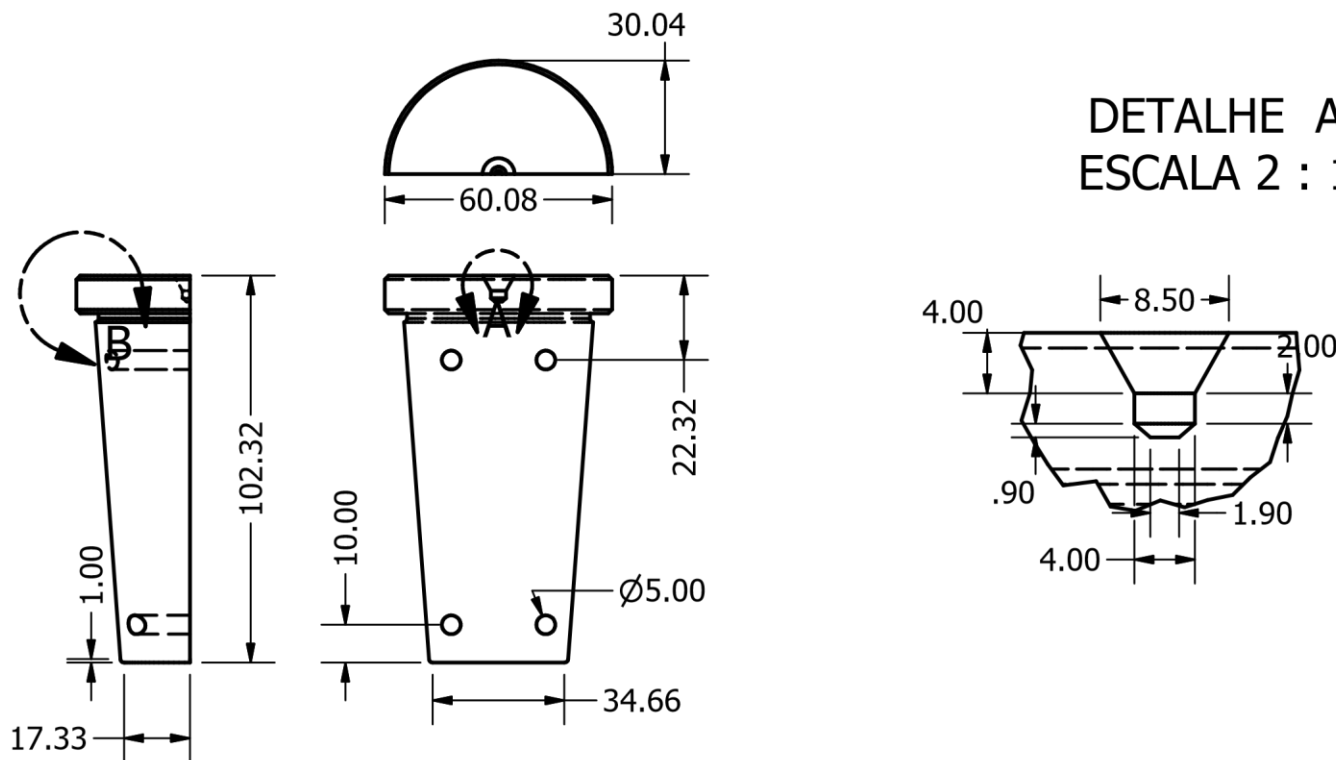
ZOU, W.; ZHENG, X.; HUANG, J.; WANG, G.; GUO, Z. Recent Advances in Injection Molding of Carbon Fiber Reinforced Thermoplastic Polymer Composites: A Review. **ES General**, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.30919/esg938>. Acesso em: 4 maio 2025.

APÊNDICE A – Desenho técnico do fechamento do molde

DETALHE B
ESCALA 1 : 1

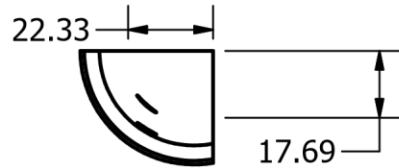
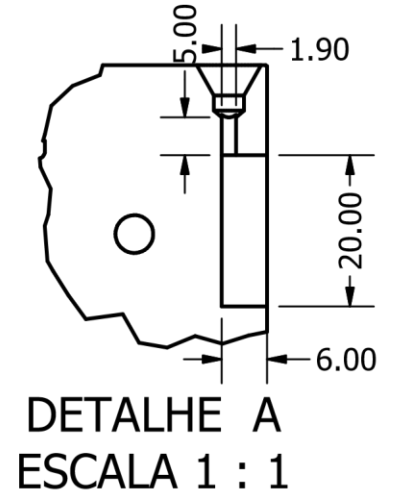
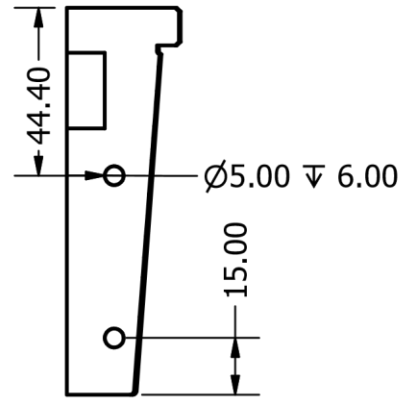
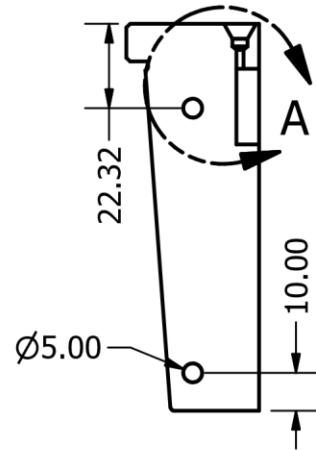
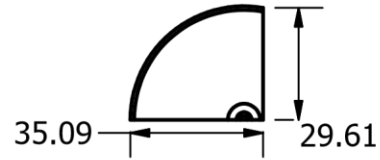
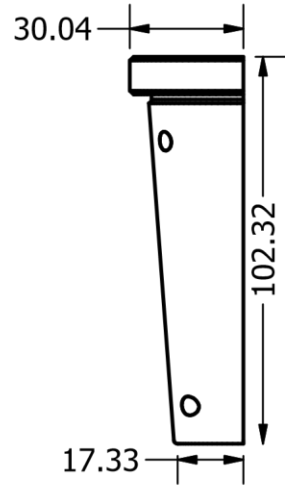


DETALHE A
ESCALA 2 : 1



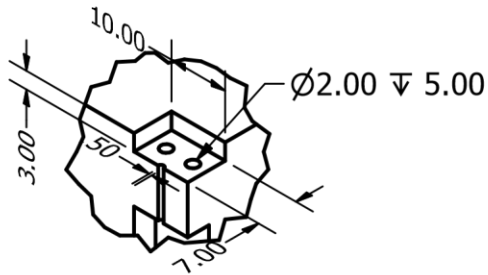
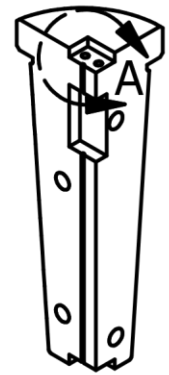
DRAWN	Geovana S. de Souza	28/10/2025	Universidade Federal do Oeste da Bahia		
CHECKED	Geovana S. de Souza	29/10/2025	TITLE		
QA			Desenho técnico do fechamento do molde		
MFG	Filipi Marques	29/10/2025			
APPROVED	Iuri Benedito	29/10/2025	SIZE	DWG NO	REV
			A4	1	3
			SCALE	1 : 2	SHEET 1 OF 1

APÊNDICE B – Desenho técnico da cavidade esquerda

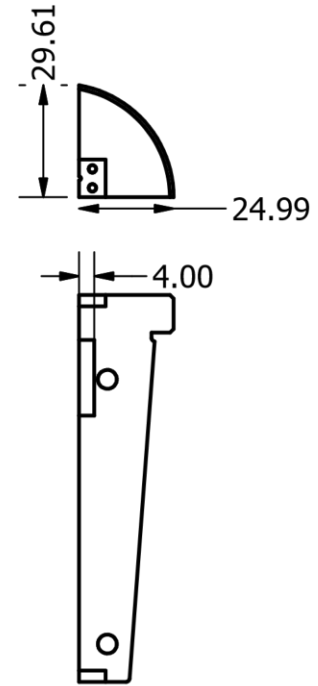
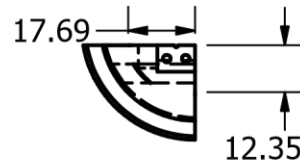
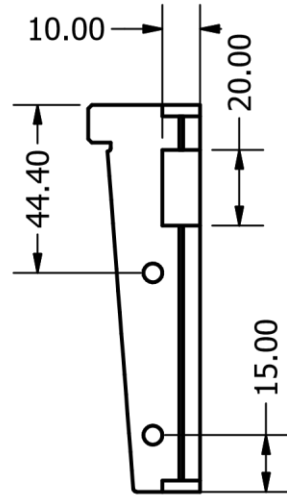
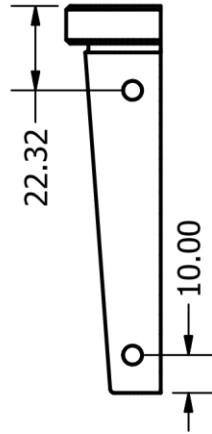


DRAWN	Geovana S. de Souza	19/11/2025	Universidade Federal do Oeste da Bahia		
CHECKED	Geovana S. de Souza	19/11/2025	TITLE		
QA			Desenho técnico cavidade esquerda		
MFG	Filipi Marques	19/11/2025			
APPROVED	Iuri Benedito	19/11/2025	SIZE	DWG NO	REV
			A4	2	3
			SCALE	1 : 2	SHEET 1 OF 1

APÊNDICE C – Desenho técnico da cavidade direita

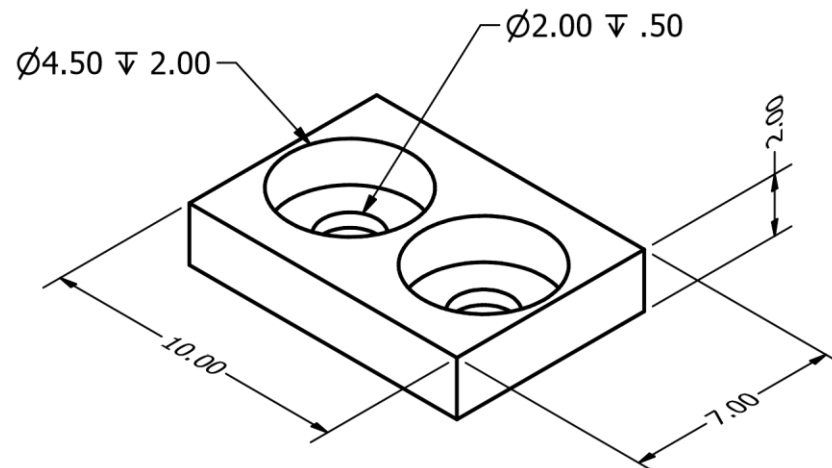


DETALHE A
ESCALA 1 : 1



DRAWN	Geovana S. de Souza	19/11/2025	Universidade Federal do Oeste da Bahia		
CHECKED	Geovana S. de Souza	29/10/2025	TITLE		
QA			Desenho técnico cavidade direita		
MFG	Filipi Marques	30/10/2025	SIZE	DWG NO	REV
APPROVED	Iuri Benedito	30/10/2025	A4	3	3
			SCALE	1 : 2	SHEET 1 OF 1

APÊNDICE D – Desenho técnico da placa de fixação.



DRAWN	Geovana S. de Souza	28/10/2025	Universidade Federal do Oeste da Bahia		
CHECKED	Geovana S. de Souza	05/11/2025	TITLE		
QA			Desenho técnico da placa de fixação		
MFG	Filipi Marques	05/11/2025	SIZE	DWG NO	REV
APPROVED	Iuri Benedito	05/11/2025	A4	4	3
			SCALE	5:1	SHEET 1 OF 1

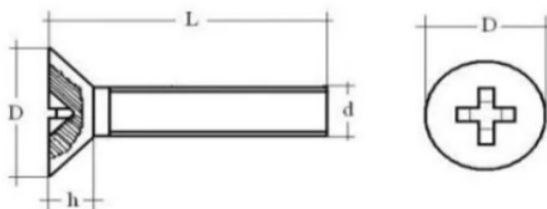
ANEXO A – Valores de velocidade de corte pré-estabelecidos

Valores de velocidade de corte válidos para profundidade de corte de até 5 mm						
Material a ser usinado	Velocidade de corte (m/min)					
Material da ferramenta: HSS (<i>High Speed Steel</i>) MD (Metal Duro)	Avanço em mm/rot NR – Não recomendável					
	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	
Aço-carbono com resistência até 500 N/mm ² (0,10% a 0,25% de C)	HSS	NR	60	45	34	25
	MD	280	236	200	170	67
Aço-carbono com resistência até 700 N/mm ² (0,30% a 0,45% de C)	HSS	NR	44	32	24	18
	MD	240	205	175	145	50
Aço-carbono com resistência até 900 N/mm ² (0,50% a 0,60% de C)	HSS	NR	32	24	18	13
	MD	200	170	132	106	34
Aço-liga e aço fundido com resistência até 900 N/mm ²	HSS	NR	34	25	19	14
	MD	150	118	95	75	24
Aço-liga e aço fundido com resistência até 1.250 N/mm ²	HSS	NR	24	17	12	8,5
	MD	118	108	85	71	24
Aço-liga e aço fundido com resistência até 1.500 N/mm ²	HSS	NR	9	NR	NR	NR
	MD	50	40	32	27	8,5
Ferro fundido (FC-100 a 150) com resistência até 150 N/mm ²	HSS	NR	48	28	20	14
	MD	140	118	95	80	67
Ferro fundido (FC-100 a 250) com resistência até 250 N/mm ²	HSS	NR	43	27	18	13
	MD	125	90	75	63	53
Ferro fundido (FMP 55005) com resistência até 550 N/mm ²	HSS	NR	32	18	13	9,5
	MD	106	90	75	63	53
Aço ao manganês	HSS	NR	NR	NR	NR	NR
	MD	40	32	25	20	17

Fonte: Almeida (2015).

ANEXO B – Dimensões do parafuso

PARAFUSOS ROSCA MÁQUINA CABEÇA CHATA PHILIPS - DIN 965



d		M1,6	M2	M2,5	M3
p		0,35	0,4	0,45	0,5
D	min.	2,75	3,5	4,4	5,3
	max.	3	3,8	4,7	5,6
h		0,96	1,48	1,88	2,26
Chave		0	1	1	1

L	3,0	3,0	3,0	4,0
	4,0	4,0	4,0	5,0
	6,0	6,0	5,0	6,0
	8,0	8,0	6,0	8,0
		10,0	8,0	10,0
			10,0	12,0

Fonte: VCardoso ([s.d]).