

**MINISTÉRIO DA DEFESA  
EXÉRCITO BRASILEIRO  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA E DE  
ARMAMENTO**

**JOSÉ LAURO DE OLIVEIRA SCHRAMM**

**CONSTRUÇÃO DE UMA GARRA DE DOIS DEDOS PARA ROBÔ ABB E UR**

**RIO DE JANEIRO  
2022**

JOSÉ LAURO DE OLIVEIRA SCHRAMM

CONSTRUÇÃO DE UMA GARRA DE DOIS DEDOS PARA ROBÔ ABB E UR

Projeto de Final de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica e de Armamento do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica e de Armamento.

Orientador(es): Diogo Lopes Fernandes, M. Sc.

Rio de Janeiro

2022

©2022

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha

Rio de Janeiro – RJ CEP: 22290-270

Este exemplar é de propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmear ou adotar qualquer forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do(s) autor(es) e do(s) orientador(es).

Schramm, José Lauro de Oliveira.

Construção de uma garra de dois dedos para robô ABB e UR / José Lauro de Oliveira Schramm. – Rio de Janeiro, 2022.

57 f.

Orientador(es): Diogo Lopes Fernandes.

Projeto de Final de Curso (graduação) – Instituto Militar de Engenharia, Engenharia Mecânica e de Armamento, 2022.

1. manipuladores. 2. garras robóticas. 3. manufatura aditiva. 4. ferramentas robóticas. 5. pinças robóticas. 6. garras impactivas. 7. biela-manivela. i. Lopes Fernandes, Diogo (orient.) ii. Título

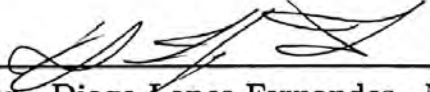
**JOSÉ LAURO DE OLIVEIRA SCHRAMM**

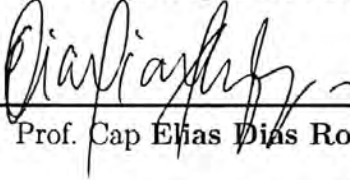
**Construção de garra de dois dedos para robô ABB e UR**


Projeto de Final de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica e de Armamento do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica e de Armamento.

Orientador(es): Diogo Lopes Fernandes.

Aprovada em 10 de outubro de 2022, pela seguinte banca examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Cap. **Diogo Lopes Fernandes** - M.Sc. do IME - Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Cap **Elias Dias Rossi Lopes** - D.Sc. do IME

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Major **Euter Martins Mozer** - M.Sc. do IME

Rio de Janeiro  
2022

*Dedico este trabalho a todos os que me ajudaram ao longo desta árdua caminhada.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, aos meus pais José Lauro Schramm Neto e Alice Gomes de Oliveira Schramm que, ao longo de toda a minha vida estiveram presentes com amor, dedicação, carinho e com muitos ensinamentos que carreguei durante toda a minha formação. Agradeço ao meu querido irmão, Pedro Evaldo Schramm Neto, que foi meu amigo e companheiro durante toda a minha vida.

Quero agradecer ainda ao meu orientador Cap QEM Diogo Lopes Fernandes que, ao longo deste ano, me apoiou no desenvolver do projeto fornecendo todo o auxílio necessário ao andamento e à conclusão deste, e a banca de professores, responsável por auxiliar a nortear o trabalho e que realizou contribuições relevantes em sua execução.

Por fim, quero agradecer a todas as pessoas que, de alguma forma me auxiliaram nesta jornada, especialmente aos meus queridos colegas e amigos da turma de Mecânica, sem os quais certamente não seria capaz de concluir este curso, pela companhia no dia a dia que deixou mais leve esses anos no Instituto e pelas infindáveis horas de estudos que compartilhamos.

*“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito.  
Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.*  
*(Martin Luther King)*

## RESUMO

A robótica é uma área do conhecimento multidisciplinar que estuda máquinas capazes de substituir os seres humanos e automatizar atividades indesejáveis, repetitivas ou perigosas. O rápido desenvolvimento dessas máquinas nas últimas décadas, permitiu que elas realizassem atividades cada vez mais complexas e de maior relevância no cotidiano das pessoas. Fica evidente então a importância de se pesquisar e desenvolver os subsistemas que compõe essas máquinas.

Nesse contexto, este trabalho tem por finalidade de projetar e construir uma garra de dois dedos para ser utilizada com os robôs manipuladores do IDR LAB do IME, com o intuito de se ter um produto open source, de fácil instalação e operação em contraste com a garra já existente. Inicialmente, estudou-se outros trabalhos com a mesma finalidade deste e produtos similares no mercado, para então comparar e delimitar os requisitos de projeto a ser executado. Em seguida, foi realizado o projeto em CAD utilizando o Solidworks de uma garra de dois dedos rígidos e paralelos, acionados por um servomotor por meio de um mecanismo biela-manivela. Para então, por meio de impressão 3D produzir os seus componentes. Por fim, foi realizada a integração e o comando das garras por meio da controladora dos robôs, utilizando dois métodos. O primeiro, realizando a conexão do microprocessador Arduino com uma saída digital da controladora. O segundo método foi utilizando o ROS (*robot operating system*) para fazer o Arduino receber comandos. Como resultado, foi entregue ao laboratório de robótica um produto, que apesar de suas limitações, tem utilidade didática de explorar diversas configurações de dedos e de aspectos de robótica.

**Palavras-chave:** manipuladores. garras robóticas. manufatura aditiva. ferramentas robóticas. pinças robóticas. garras impactivas. biela-manivela.



# ABSTRACT

Robotics is a multidisciplinary area of knowledge that studies machines capable of replacing humans and automating undesirable, repetitive, or dangerous activities. The rapid development of these machines in recent decades has allowed them to perform increasingly complex and more relevant activities in people's daily lives. It is then evident the importance of researching and developing the subsystems that make up these machines.

In this context, this work aims to design and build a two-finger gripper to be used with IME's IDR LAB manipulator robots, to have an open-source product, easy to install and operate in contrast to the existing claw.

Initially, other works with the same purpose and similar products on the market were studied, to then compare and delimit the project requirements to be executed. Then, the CAD design of a claw with two rigid fingers with parallel motion was carried out using Solidworks, driven by a servo motor through a connecting rod-crank mechanism. Then, through 3D printing, produce its components. Finally, the integration and command of the claws were carried out through the robot controller, using two methods. The first, connecting the Arduino microprocessor with the digital output of the controller. The second method was using ROS (*robot operating system*) to make the Arduino receive commands. As a result, a product was delivered to the robotics laboratory, which, despite its limitations, has didactic utility to explore various configurations of fingers and robotics aspects.

**Keywords:** manipulators. grippers. additive manufacturing. robotic tools. impactive grippers. robotic pincers. cranck-slider.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Robótica aplicada na agricultura (1) . . . . .	12
Figura 2 – Robô na indústria automotiva . . . . .	13
Figura 3 – Os tipos de pega humana . . . . .	15
Figura 4 – Estado da arte das mãos robóticas . . . . .	17
Figura 5 – Casa construída por manufatura aditiva (2) . . . . .	22
Figura 6 – Modelo em CAD . . . . .	23
Figura 7 – Importação do modelo em CAD para o fatiador . . . . .	23
Figura 8 – Geração da trajetória da ferramenta . . . . .	23
Figura 9 – Produção da peça . . . . .	23
Figura 10 – Esquemático do processo de impressão por FDM (3) . . . . .	25
Figura 11 – Parâmetros que afetam a qualidade da peça(3) . . . . .	26
Figura 12 – Suporte de impressão gerado pelo Netfabb . . . . .	26
Figura 13 – Base de fixação com mola de torção . . . . .	31
Figura 14 – Conceito de fixação ao manipulador. . . . .	32
Figura 15 – Esquemático da cinemática do mecanismo de acionamento. . . . .	32
Figura 16 – Diferentes modelos de insertos, em CAD . . . . .	33
Figura 17 – Dimensões e recomendações de design para aplicação de insertos roscados . . . . .	34
Figura 18 – Imagem renderizada do carro (4) . . . . .	34
Figura 19 – Imagem renderizada da garra fechada . . . . .	35
Figura 20 – Imagem renderizada da garra aberta . . . . .	35
Figura 21 – Fotografia da garra montada com o novo dedo . . . . .	36
Figura 22 – Vista explodida da montagem do novo dedo com a pastilha de TPU . . . . .	36
Figura 23 – Fotografia das peças com insertos aplicados. . . . .	38
Figura 24 – Fotografia da garra montada . . . . .	39
Figura 25 – Circuito divisor de tensão . . . . .	40
Figura 26 – Circuito construído no Thinkercad . . . . .	40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Lista de materiais utilizados . . . . .	38
--	----

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
1.1	OBJETIVOS	14
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>15</b>
2.1	MÃOS ROBÓTICAS	15
2.1.1	CLASSIFICAÇÃO DOS <i>GRIPPERS</i>	17
2.1.2	GUIA DE BOAS PRÁTICAS PARA A CONSTRUÇÃO DE <i>END-EFFECTORS</i>	20
2.2	MANUFATURA ADITIVA	22
2.2.1	FDM	25
2.2.2	<i>POLYLACTIC ACID</i> (PLA)	26
2.2.3	<i>THERMOPLASTIC POLYURETHANE</i> (TPU)	27
2.3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
2.3.1	VERSÕES COMERCIAIS	29
2.3.2	ESTADO DA ARTE E TRABALHOS RELACIONADOS	29
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DA GARRA</b>	<b>31</b>
3.1	PROBLEMA, REQUISITOS E SUPOSIÇÕES	31
3.2	PROJETO MECÂNICO	31
3.3	ANÁLISE CINEMÁTICA	37
3.4	FABRICAÇÃO	38
3.5	INTEGRAÇÃO COM OS MANIPULADORES	39
3.5.1	CONEXÃO DIRETA	39
3.5.2	CONEXÃO VIA ROS ( <i>ROBOT OPERATING SYSTEM</i> )	40
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>42</b>
4.1	TRABALHOS FUTUROS	42
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>43</b>
	<b>APÊNDICE A – DESENHOS TÉCNICOS</b>	<b>45</b>
	<b>APÊNDICE B – CÓDIGOS FONTES</b>	<b>55</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A robótica está preocupada com o estudo de máquinas capazes de substituir os seres humanos na execução de tarefas, tanto físicas quanto relacionadas à tomada de decisão. Para tanto, um robô deve poder coordenar a percepção do ambiente à ação desejada para alterá-lo. Um sistema robótico é composto por vários subsistemas, a depender de sua complexidade, os componentes são: o sistema mecânico (este constituído por um aparato de locomoção e por um aparato de manipulação), o sistema de atuação, o sistema de controle, o sistema de sensoriamento e o sistema de inteligência computacional ou de tomada de decisão (5).

O rápido desenvolvimento dessa área de estudo nos últimos 40 anos permitiu a utilização dessas máquinas em aplicações cada vez mais complexas, incorporando-se aos modos de produção industriais e agrários, uso em cirurgias delicadas e mesmo integrando-se às relações humanas e ao modo que as pessoas interagem com o ambiente ao seu redor. Um exemplo dessa mudança de paradigmas é o uso de robôs para auxiliar os cuidados à saúde mental de idosos (1). É certo, portanto, que o estilo de vida hoje usufruído não seria possível sem a robótica, uma vez que desde a produção agrícola (6) até a fabricação de carros e de aviões estão mais e mais dependentes de aplicações robóticas, como mostra a figura 1 e 2.

A forma com a qual um robô interage com o ambiente e desempenha as suas funções é determinada pelas ferramentas acopladas a ele, seja uma máquina de solda, uma broca, uma mão robótica ou outra. Portanto, o projeto adequado da ferramenta robótica para certo requisito de operação é determinístico para a capacidade do robô de realizar uma certa tarefa.



Figura 1 – Robótica aplicada na agricultura (1)

Na indústria, os robôs mais frequentemente utilizados são os manipuladores, que são uma sequência de corpos rígidos ligados por juntas com um único grau de liberdade e acionada por atuadores formando uma cadeia cinemática que é fixa à uma base (5).



Figura 2 – Robô na indústria automotiva

A destreza, precisão e repetibilidade dos movimentos dos manipuladores, em destaque o manipulador antropomórfico, permite a substituição dos seres humanos em atividades perigosas, repetitivas e indesejáveis e nas quais têm o potencial de serem economicamente mais vantajosos(7) ou que excedem a capacidade física normal de um ser humano (8). No fim da cadeia cinemática, encontra-se o *end-effector*, ou atuador final, onde se encontra uma ferramenta para a execução de uma tarefa dentro de um espaço de trabalho. O espaço de trabalho é a região na qual o *end-effector* pode efetivamente alcançar. Sua geometria e dimensões dependem do tipo e da configuração das juntas existentes em sua cadeia cinemática. Esses robôs são capazes de executar diversas atividades, como, dentre outras: pintar, soldar, parafusar e, em especial, manipular objetos - cuja ferramenta é uma mão robótica.

Segundo Tai et al.(9), as garras são componentes muito versáteis que têm sido utilizados em aplicações como indústrias automotivas, linhas de fabricação, colhedoras de vegetais, prensão MEMS, aplicações cirúrgicas e braços protéticos. A maioria dessas garras utiliza um método de prensão dito *impactive*. Desde então, essa classe de garras se ramificou em muitos segmentos, incluindo garras que acionadas por sensores, acionada por câmeras, garras piezoelétricas, garras macias, MEMS (Sistemas microeletromecânicos), garras com vários dedos, garras subatuadas, garras elásticas e maleáveis e garras com vários braços. Em geral, garras que têm mais *feedback* do sensor tendem a rastrear e agarrar objetos com mais frequência. As garras piezoelétricas e MEMS atuam com alta precisão, porém não possuem muita força de prensão. Garras maleáveis podem pegar muitos objetos de formas estranhas, mas podem se deteriorar após muitos ciclos de atuação. Garras duplas e multi-braços estão tendendo a substituir humanos em muitas tarefas, como linhas de montagem e assistência médica.

## 1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo a construção de uma garra com 2 dedos compatível com os robôs ABB e UR presentes no IDRLAB do IME, seguindo o guia de boas práticas para o projeto de garras robóticas de (7), visando produzir uma garra mais leve, barata e *open source*. Durante o desenvolvimento deste projeto, a construção física utilizando técnicas de manufatura aditiva ou usinagem, o controle de acionamento do mesmo, o estudo da cinemática e da dinâmica do mecanismo desenvolvido, bem como a sua interface com as controladoras dos robôs.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Mãos robóticas

A mão do robô é uma ferramenta que permite o robô interagir com o ambiente. É esperado que desempenhe tarefas de forma similar à qual uma mão humana é capaz de exercer efeito sobre o ambiente, com destreza e com adaptabilidade para atuar sobre objetos com diferentes pesos, tamanhos e geometrias. No entanto, uma mão similar à mão humana requer mecanismos e algoritmos de controle complexos uma vez que a mão humana possui 27 graus de liberdade(8).

Além destes pré-requisitos, as aplicações industriais de manipuladores geralmente apenas precisam manipular um número limitado de formas, portanto mãos como a dos humanos não são economicamente viáveis, sendo preferíveis as destinadas a manipular um tipo de objeto específico. Essas mãos são chamadas de garras robóticas (7), sendo o subsistema de tecnologia robótica com o maior variedade de designs(8). Isso se deve ao fato de que apesar de um manipulador ser uma máquina bastante flexível, as mãos robóticas que o equipam desempenham tarefas muito específicas, logo, para atender os requisitos específicos de instalação, de ambiente, de energização, de emprego e do objeto a ser manipulado, o projeto do *gripper* a ser utilizado serão *ad hoc*(8).

A preensão da mão humana é dividida em seis classes de pegada: palmar (ou de três dedos), lateral ( ou de língua), cilíndrica, esférica, pinça e gancho (Figura 3).

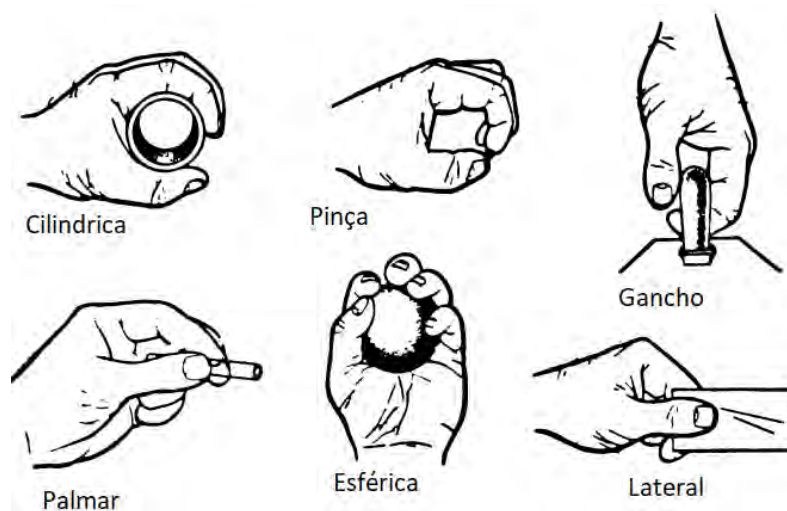


Figura 3 – Os tipos de pega humana



A mão humana pode realizar várias funções de preensão usando seus cinco dedos articulados. Ao projetar uma mão robótica, um subconjunto dos tipos de pegada da mão humana é considerada, de acordo com a tarefa requerida. Para cumprir a função de agarrar um objeto, uma mão precisa de no mínimo dois dedos conectados entre si usando uma articulação com 1 grau de liberdade por seu movimento abre-fecha.

Se a mão tem dois dedos rígidos, ela tem a capacidade de agarrar apenas objetos de formas limitadas e pré-determinadas e não é capaz de incluir objetos de múltiplas formas. Então, este tipo de mão não pode ter função de manipulação porque todos os graus de liberdade são usados para manter a preensão.

Existem duas maneiras de melhorar a capacidade de acomodar a mudança de formas de objetos. Uma solução é colocar juntas em cada dedo que podem se mover de acordo com a forma do objeto agarrado. A outra é aumentar o número de dedos. A função de manipulação também emerge desse design. Para manipular os objetos, a mão geralmente deve ter mais dedos e articulações acionados externamente e independentemente do que a mão projetada para agarrar objetos. Quanto mais dedos, articulações e graus de liberdade que a mão tem, mais versátil e hábil ela pode ser(7).

Apesar de existirem há décadas mãos mecânicas capazes de imitar as capacidades da mão humana, como o projeto do MIT e de Harvard/Utah, somente com o recente desenvolvimento na miniaturização de sensores, atuadores e circuitos eletrônicos que designs como o SVD da empresa alemã Schunk e o *Shadow Dexterous Hand* da empresa britânica Shadow Robots que hoje representam o estado da arte nesse ramo que têm alcançado algum sucesso comercial. Entretanto, devido ao custo muito elevado, essas mãos robóticas têm um nicho muito limitado aos setores de pesquisa e aeroespacial (Figura 4)(10).



(a) SVD.



(b) Shadow Dextrous Hand

Figura 4 – Estado da arte das mãos robóticas

### 2.1.1 Classificação dos *grippers*

Existem muitos tipos de classificações para garras de robôs. Cada um pode ser usado para diferentes propósitos. Para projetar uma garra, existem alguns fatores e requisitos que precisam ser considerados (11). A quantidade de força e torque que deve ser produzido é um dos principais fatores. Também é importante ter conhecimento suficiente sobre o objeto a ser apreendido, incluindo sua forma, geometria, material, rigidez e peso, que são algumas características que são significativas na concepção e escolha de um tipo de garra. Considerando os critérios de manipulação e suas limitações como a velocidade de

manipulação é outro importante fator a ser considerado na escolha de um projeto adequado para uma garra (12).

### 1. Classificações relacionadas ao princípio de preensão

Segundo Monkman, Hesse e Schunck(8) *grippers* podem ser classificados de acordo com o método de preensão e de interação com objeto de trabalho.

- a) *Impactive*: A preensão decorre das forças normal e de atrito provenientes do impacto ou contato dos dedos do *gripper* com a superfície do objeto a ser manipulado. A força de pegada portanto depende do movimento de componentes mecânicos.
- b) *Ingressive*: A preensão é o resultado da deformação ou mesmo penetração da superfície do objeto pela garra robótica. Diferentemente das técnicas "impac-tivas", as técnicas "ingressivas" não necessitam de constante manutenção de forças pelo *gripper*.
- c) *Contigutive*: A ação desses *grippers* requerem o contato direto com a superfície do objeto para a criação de forças de adesão entre a garra e o objeto de forma temporária. Exemplos incluem adesão química (colas e adesivos) e adesão térmica .
- d) *Astrictive*: Nessa classe de métodos de preensão, não é aplicado ao objeto forças de natureza compressiva. Por exemplo, a sucção por vácuo, é um desses métodos que encontram uma ampla aplicação na indústria. No caso de forças eletrostáticas ou de forças eletromagnéticas, não é sequer necessário o contato entre o *gripper* e objeto de trabalho.

### 2. Classificações relacionadas à configuração

Baseadas no número, tipo e disposição dos dedos.

- a) Garra de dois dedos: As garras de 2 dedos são consideradas as mais garras robóticas básicas, pois são facilmente usadas e fabricadas, têm ótimo custo-benefício e são econômicas. São apropriadas para muitas aplicações industriais. Esses tipos de mãos robóticas têm a capacidade de fazer várias tarefas, como montagem, *pick and place*, e simples manipulações.(13)
- b) Garra de três dedos: A pinça de três dedos consiste em três dedos rígidos para agarrar um objeto. Este tipo de garra não é tão comumente usado como o tipo de dois dedos, pois para a maioria das aplicações uma garra de dois dedos é boa o suficiente para desempenhar a tarefa, portanto seu uso não seria econômico. No entanto, para tarefas que exigem mais precisão e acurácia para manipular objetos frágeis, o uso desse tipo de *gripper* se torna atrativo apesar da maior complexidade e custo de fabricação.

- c) Garra multi-dedos ou adaptativos: Como um desenvolvimento relativamente novo, este design permitiu que os robôs pudessem agarrar uma grande variedade de produtos que antes eram impossíveis de se manipular de forma confiável. Essas garras podem fornecer *feedback* de força para o controlador e também pode agarrar objetos com formas irregulares, macios ou esféricos.
- d) Garra preenchida por grãos : Esta garra tem um balão cheio de grãos ou outros materiais para pegar algo. Para segurar o objeto, o ar do balão é sugado, causando uma deformação na forma da garra para combinar com a forma do objeto.
- e) Garra tipo fole: A pinça de fole é usada para agarrar uma superfície cilíndrica. Este tipo de garra é preenchido com ar comprimido, o que resulta na expansão da garra e agarrando o objeto. Para soltar o objeto, o ar na garra deve ser liberado.
- f) Garra com ventosas: Esses modelos usam a diferença entre a pressão atmosférica e o vácuo para levantar, segurar e mover objetos. Essas garras se destacam em aplicações com grande necessidade de mobilidade(14).
- g) Garra para *o-rings*: É um dispositivo especial projetado para lidar com esses anéis de vedação. A garra O-ring tem seis ou às vezes oito dedos que expanda e pegue o seu diâmetro interno.

### 3. Baseada no tipo de atuador

- a) Atuado por cabos: Utiliza motores para tracionar os cabos que por sua vez acionam o mecanismo para abrir ou fechar a garra.
- b) Atuado por vácuo: A garra a vácuo é composta por uma borracha ou espuma parte de sucção para segurar o objeto. A vantagem do vácuo garras é que eles têm um alto nível de flexibilidade, enquanto proporciona uma boa aderência de um objeto. Como o ar é limpo e pode ser transmitido através de tubos e mangueiras, este tipo de garra é preferido em aplicações em que a contaminação pode ser um problema.
- c) Atuação pneumática: Esse atuador é do tipo *bang-bang*, isto é um sistema que transita de forma abrupta entre dois estados. Assim esse tipo de garra não é muito precisa e tem um custo de operação. No entanto, é bastante leve e possui dimensões reduzidas. Além disso, de forma similar aos *grippers* acionados por vácuo, são bastantes limpos, não deixando resíduos.
- d) Atuação hidráulica: As garras Hidráulicas ganham força com o auxílio de bombas hidráulicas. Esses tipos têm uma grande capacidade de produzi alta quantidade de força em comparação com outros tipos de garras. A força é

gerada com base no acúmulo de pressão em diferentes câmaras do atuador. A desvantagem do sistema hidráulico garras é que elas precisam de manutenção constante, com o risco de vazamento de óleo afetar o seu funcionamento e contaminar o objeto. A grande vantagem das garras hidráulicas é segurar o objeto mesmo quando o fornecimento de pressão é cortado, ou seja, não há necessidade de fornecer energia quando a garra está em modo parado, reduzindo assim a quantidade de energia em aplicações, nas quais, um objeto deve ser mantido por um longo período de tempo sem qualquer movimento.

- e) Atuação servo-elétrica: A garra servo-elétrica tem um alto nível de flexibilidade. Portanto, não se limita a lidar com um objeto especial. A parte mais importante da garra servo-elétrica é o seu motor eletrônico usado para controlar os dedos. É facilmente controlável, possui baixo custo de manutenção e tem aplicação flexível. Entretanto, as forças produzidas são baixas comparadas com os demais métodos de atuação.

#### 4. Baseada na rigidez

Essa classificação diz respeito à ordem de grandeza do módulo de elasticidade dos materiais utilizados na manufatura das garras.

- a) Garras rígidas: São as garras tradicionais, que podem ser modeladas como se fossem corpos rígidos. Têm o módulo de elasticidade da faixa de  $10^8 - 10^{11} Pa$ . Empregando materiais como aço e alumínio. São ideias para o ambiente industrial, fornecendo alta precisão e grandes forças sem a necessidade de serem flexíveis.
- b) Garras moles: São garras produzidas com materiais com módulo de elasticidade na ordem de  $10^2 - 10^4 Pa$ , próximas ao módulo de elasticidade de tecidos humanos e por isso encontra aplicação em robôs para cirurgias e robôs colaborativos. São capazes de manipular uma vasta quantidade de objetos devido a sua flexibilidade, deformando-se ao contorno do objeto-alvo.

### 2.1.2 Guia de boas práticas para a construção de *end-effectors*

Tanie(7), reuniu algumas recomendações para o projeto mecânico de *grippers* e *end-effectors* em geral:

1. Projetar para remoção rápida ou troca do efetuator final, exigindo um pequeno número de ferramentas (chaves, chaves de fenda, etc). Utilizar os mesmos fixadores sempre possível.
2. Fornecer buchas de localização, ranhuras de chave ou linhas de marcação para troca rápida e precisa, mantendo o registro de alinhamento.

3. Quebrar todos os cantos afiados para proteger as mangueiras os fios e a equipe de manutenção de fricção e corte e o pessoal de manutenção contra possíveis ferimentos.
4. Permitir a flexão total das linhas e mangueiras até os extremos dos eixos de movimento.
5. Para reduzir o peso, use buracos para diminuir o peso ou materiais leves sempre que possível.
6. Para considerações de desgaste, utilizar materiais leves com endurecimento superficial ou inserções roscadas duras em materiais macios.
7. Conceituar e avaliar várias alternativas de projeto para o efetuador final.
8. Não fazer poupar recursos de forma fútil ao projetar o efetuador final; É necessário certo esforço e custo para produzir um efetor final confiável e digno de produção, e não apenas um protótipo.
9. Projetar diferentes movimentos no efetuador para auxiliar o robô em sua tarefa.
10. Projetar a incorporação de sensores para detectar a presença de peças durante a transferência (interruptor de limite, proximidade, jato de ar, etc).
11. Para segurança em aplicações de manuseio de peças, considerar qual será o efeito de uma perda de energia para o efetor final. Use dispositivos de prensão de trava de alternância ou válvulas de retenção para promover a segurança.
12. Coloque pinos de cisalhamento para proteger componentes mais caros e reduzir o tempo de inatividade em caso de falha.
13. Para manusear ferramentas com o robô, incorporar recursos integrados de inspeção de ferramentas, seja em o efetuador final ou equipamento periférico.
14. Projetar várias funções no efetuador.
15. Fornecer acessibilidade para manutenção e troca rápida de peças de desgaste.
16. Use rolamentos vedados para o efetuador.
17. Forneça insertos ou dedos intercambiáveis para a troca de peças.
18. Ao manusear peças quentes, fornecer um dissipador de calor ou blindagem térmica para proteger o efetuador final e o robô.
19. Montar os atuadores e válvulas para o efetuador no antebraço do robô.
20. Construir a fixação do efetuador com certa flexibilidade quando necessário.

21. Projetar os sensores de ação no efetuador para detectar movimento aberto/fechado ou outras condições de movimento.
22. Analisar os requisitos de inércia, o centro de gravidade da carga útil, a força centrífuga e outras considerações dinâmicas no projeto do efetuador final.
23. Observar os requisitos de movimento para o dispositivo de prensão na coleta de peças (a mão de ação única deve ser capaz de mover a peça durante a coleta; centros de mão de ação dupla parte em uma direção; três ou quatro dedos na parte central em mais de uma direção).
24. Ao usar uma mão eletromagnética, considerar o magnetismo residual nas peças e possível coleta de cavacos.
25. Ao usar o coletor de ventosas em peças oleosas, use também um sopro positivo.
26. Observe as forças de inserção do robô ao usar um efetuador em tarefas de montagem.
27. Mantenha a orientação da peça no efetuador pela força e coeficiente de atrito ou características de localização.

## 2.2 Manufatura aditiva

A manufatura aditiva, comumente chamada de impressão 3D, é uma classe de tecnologias de manufatura para a produção de peças pela adição de material camada por camada. O material pode ser um polímero, concreto (figura 6), metal ou mesmo compósitos.



Figura 5 – Casa construída por manufatura aditiva (2)

Os processos de manufatura aditiva têm basicamente as mesmas etapas:

- Modelagem em um software de CAD (*Computer aided design*);



Figura 6 – Modelo em CAD

- Fatiamento e geração da trajetória da ferramenta por um software fatiador;

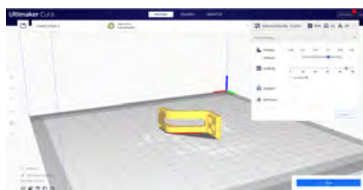


Figura 7 – Importação do modelo em CAD para o fatiador

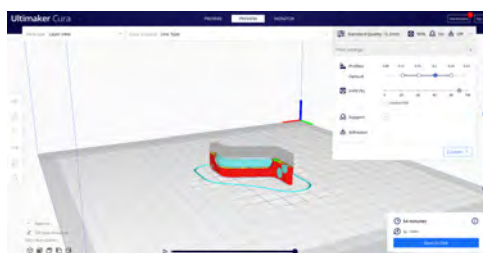


Figura 8 – Geração da trajetória da ferramenta

- Conversão do modelo tridimensional digital em uma peça real



Figura 9 – Produção da peça



A manufatura aditiva possui as seguintes vantagens: maior eficiência quanto ao uso do material quando comparado com a usinagem, eficiência quanto aos recursos secundários como ferramentas e fixações, capacidade de produzir peças de alta complexidade e flexibilização na produção(3).

Em contrapartida, os processos de manufatura aditiva possuem limitações relativas ao tamanho das peças que podem ser produzidas, à susceptibilidade à imperfeições superficiais e micro estruturais e ao custo elevado dos equipamentos de manufatura aditiva. Além disso, os processos são muito lentos, logo a aplicação dessas tecnologias à produção em massa é desafiadora.

### 2.2.1 FDM

Do inglês, *Fused deposition modelling* (FDM), é um método de manufatura aditiva no qual há a extrusão de um material fundido, geralmente um polímero, por um bocal, depositando material na forma de camadas sobre a superfície da mesa. O cabeçote do bocal, mais conhecido como bico, é capaz de mover-se com três graus de liberdade, seguindo as instruções em código G da unidade de comando numérico. O princípio do FDM é ilustrado na Figura 10.

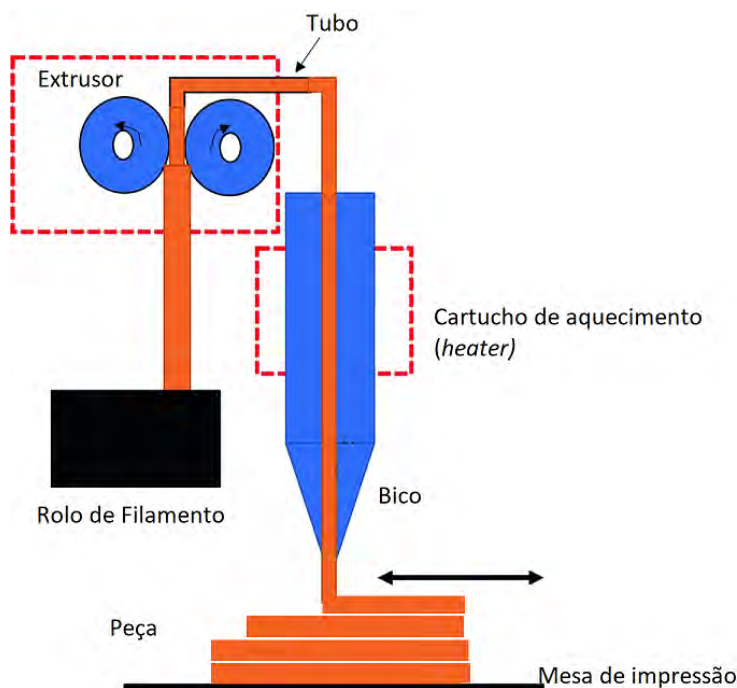


Figura 10 – Esquemático do processo de impressão por FDM (3)

A qualidade e o desempenho das partes produzidas via FDM dependem de vários parâmetros, relacionados às propriedades do material e aos parâmetros da máquina introduzidos pelo software fatiado. Os parâmetros de impressão estão ilustrados pelo organograma da Figura 11.

O software fatiador (*Slicer*) é responsável por gerar as instruções de impressão em código G, a partir do modelo tridimensional. O fatiador corta o modelo em CAD em camadas baseadas nas definições do usuário, calculando o quanto de material deve ser utilizado, a trajetória a ser seguida e o tempo total de impressão(15). Os rápidos avanços em otimização de trajetória, técnicas de impressão e otimização topológica na geração do suporte e do preenchimento interno contribuem para o aumento da precisão topológica, desempenho mecânico das peças produzidas eficiência de impressão, além de criar novas possibilidades para a geometria das peças. Alguns desses softwares, como o Netfabb da Autodesk têm integradas ferramentas avançadas de análise por elementos finitos, para a simulação, análise de desempenho e modificação do modelo CAD (figura 12) .

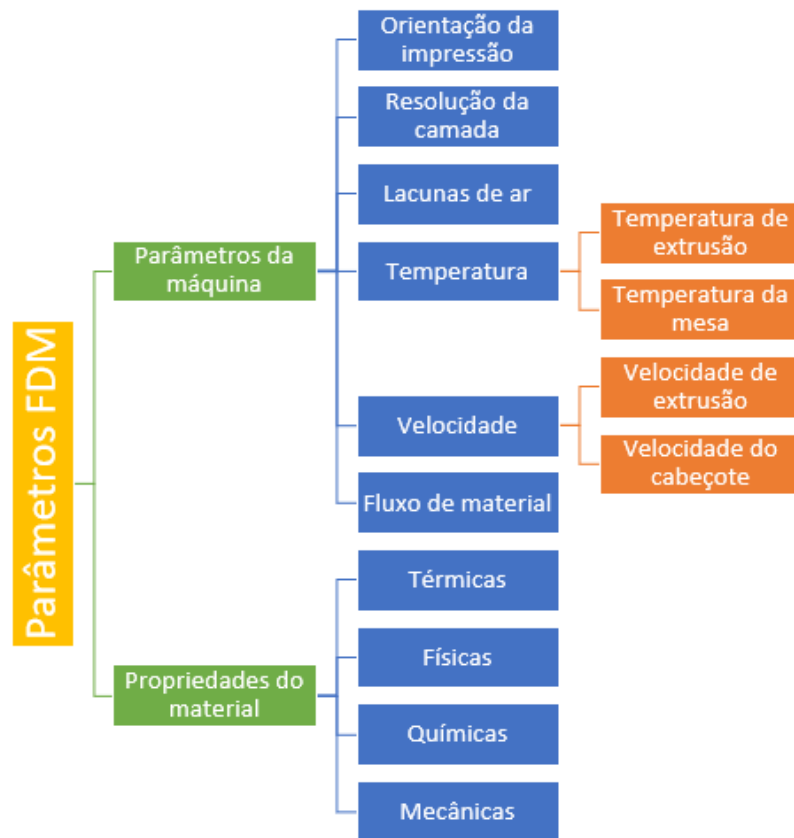


Figura 11 – Parâmetros que afetam a qualidade da peça(3)

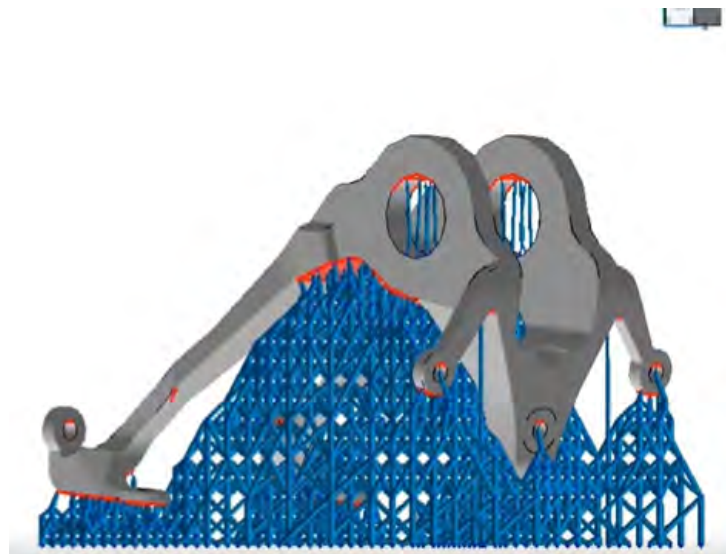


Figura 12 – Suporte de impressão gerado pelo Netfabb

### 2.2.2 Polylactic Acid (PLA)

As impressoras FDM são capazes de utilizar diversos materiais. Dentre eles, o PLA é o mais adotado, tanto para uso doméstico quanto para uso industrial pelos seguintes motivos(3):

- PLA, ácido polilático é um bioplástico, não prejudicial à humana ou animal. É produzido a partir de recursos renováveis como a cana-de-açúcar.
- O PLA tem uma temperatura de transição vítrea entre 50 e 70°C e uma temperatura de fusão considerada baixa, variando entre 180 e 220 °C. Dessa forma, é um material que demanda pouca energia, comparando com outros materiais como o Acrylonitrile Butadiene styrene(ABS), que tem temperatura de impressão entre 260°C e 290°C.
- O PLA é compostável e se degrada rapidamente na natureza sem emitir substâncias tóxicas.
- Em sua forma semicristalina, o PLA exibe uma boa resistência mecânica, especialmente à flexão.
- Não demanda necessariamente o aquecimento da mesa para a aderência ou de uma estufa que enclausure a máquina, ao contrário do ABS, que além sofrer deformações é suscetível ao descolamento da superfície de impressão, aumentando em muito a probabilidade de falha.

Entretanto, devido ao baixo ponto de fusão, esse material não é indicado para aplicações que gerem muito calor ou estejam suscetíveis a atrito .

### 2.2.3 *Thermoplastic Polyurethane (TPU)*

O TPU, como é conhecido o poliuretano termoplástico, é um material com uma elasticidade similar a da borracha, mas com uma excelente resistência a abrasão, superior inclusive ao PVC. Esse material possui uma vasta gama de aplicações desde produtos esportivos a equipamentos médicos. Além disso, devido a sua resistência a óleos, a graxas e a uma grande variedade de solventes, o TPU vem sido aplicado na confecção de partes industriais de alto desempenho que demandam materiais flexíveis com boas propriedades mecânicas, químicas e físicas, por exemplo, correias transportadoras e sincronizadoras, anéis de vedação, tubos e mangueiras.

As suas principais características são:

- Alta resistência ao impacto.
- Excepcional resistência à fadiga.
- Excelente flexibilidade ao longo de um grande intervalo de temperaturas.
- Resistência a abrasão
- Resistência química média-alta.

- Temperatura de fusão de  $220^{\circ}C$ , dessa forma a temperatura de extrusão deve ser de  $250^{\circ}C$  e a temperatura da mesa de 60
- Insolubilidade em água, graxas e óleos.
- É biocompatível
- É biodegradável e biocompostável.
- É higroscópico.

O TPU, no entanto, é um material difícil de se utilizar em uma máquina FDM e requer cuidados adicionais e configurações específicas. Primeiramente, como consequência de ser flexível, o filamento tende a sofrer flexão e flambagem com facilidade, dessa forma, a velocidade de extrusão deve ser bem reduzida, a cerca de  $15mm/s$ , caso contrário, as tensões geradas causarão o entupimento do bico extrusor. Além disso, nem todas as impressoras disponíveis no mercado são capazes de utilizar esse material, devido à configuração da extrusora.(16)

Em segundo lugar, por ser um material higroscópico(16), isto é, absorve a umidade do ar atmosférico, a extrusão desse material quando exposto à atmosfera por alguns dias é acompanhada pela formação de bolhas de vapor de água. Como resultado, a peça gerada apresenta muita porosidade, causando assim a degradação de suas propriedades e um péssimo acabamento. Dessa forma, o material deve ser acondicionado em um ambiente seco e de preferência hermeticamente fechado. Caso o filamento seja exposto por alguns dias à atmosfera, é possível o recuperar ao pô-lo no forno a uma temperatura de  $70^{\circ}C$  por 8 horas.

Finalmente, há limitações de projeto. O TPU não propenso a permitir a formação de pontes e ao uso de retrações durante a impressão. Retrações é o ato de a impressora fazer um movimento ao longo do eixo z, antes de terminar a camada, sendo necessárias quando se requer que o extrusor caminhe grandes lacunas sem depositar material. No entanto as retrações são particularmente problemáticas com filamentos flexíveis, uma vez que eles são muito sensíveis a movimentos rápidos e bruscos.

## 2.3 Revisão bibliográfica

### 2.3.1 Versões comerciais

Considerando a grande variedade de requisitos e condições específicas de trabalho de plantas industriais não é de se espantar a grande variedade de garras robóticas existentes no mercado, de modo que os fabricantes tem em seus catálogos milhares de modelos diferentes, justamente para acomodar as diferentes demandas e requisitos de operação. No entanto, é curioso que a maioria das empresas que produzem os robôs e as linhas de montagem com automação rígida não produzem também os *grippers* (8).

Segundo Monkman, Hesse e Schunck(8), os tipos de *grippers* industriais mais utilizados nas indústrias de um modo geral são as garras *impactive*, mais especificamente as de dois dedos rígidos, e as garras que utilizam a sucção por vácuo com ventosas.

Em seu trabalho, Birglen e Schlicht(10), fizeram uma análise estatística das garras industriais mais amplamente utilizadas. Em uma análise preliminar encontraram nos catálogos de seis empresas:AFAG, Festo, IPR, PHD, Schunk e SommerAutomation, que o tipo mais amplamente utilizado, e com uma grande margem, são as garras de dois dedos acionadas por ar comprimido, sem a assistência de molas e que tem um movimento paralelo. Foi encontrado que, nesse universo, a média da amplitude de operação é de 20,8mm, mas podendo atingir até 300mm. Quanto ao peso, foi encontrado que existe uma grande amplitude: desde 8g até 70kg. Já o valor médio, foi de 3,41kg

Algumas das empresas fabricantes de *gripper* serão aqui listadas: Schunk, SMC, Festo, IAI, Parker Hannifin, Yamaha Motor, Zimmer, Destaco, SMAC, OnRobot, Gimatic, PHD, Camozzi, Columbia Okura e Sichuan Dongju, SSA automação.

### 2.3.2 Estado da arte e trabalhos relacionados

Atakuru e Samur(17) discutiram o projeto de uma garra robótica para pegar dois objetos simultaneamente. Neste estudo, foi projetado e desenvolvido uma garra de dois graus de liberdade para manipuladores industriais com o objetivo de manipular dois objetos chegam aleatoriamente simultaneamente com um único manipulador de modo a reduzir consideravelmente o tempo de ciclo e o consumo de energia do manipulador.

Pálsson, Hjálmarsson e Foley(18) realizaram o projeto de uma garra robótica utilizando o método de design axiomático. A garra projetada foi um gripper de dois dedos paralelo acionado por servo motor utilizando um mecanismo do tipo biela-manivela e utilizando trilhos rodas para guiamento.

Liu et al.(19) projetaram e construíram uma garra robótica de dois dedos com elementos flexível para operações de pick-and-place de frutas. Neste trabalho foi utilizada otimização topológica para produzir um dedo adaptativo a ser impresso em 3D. A garra

resultante tem uma movimentação angular, mas seu acionamento é dado por motor de passo conectado a um fuso de forma a produzir um deslocamento linear. Com esse projeto, foi possível realizar operações de *pick-and-place* sem sensores e sem danificar as frutas.

Cannella et al.(20) projetaram uma garra tipo garra para realizar reorientação e posicionamento precisos que pode ser utilizada para montagem flexível em fabricação de pequeno porte.

Hassana e Abomoharam(21) projetaram e fabricaram com impressão 3D uma garra de quatro dedos com um único grau de liberdade acionada por um servomotor utilizando um mecanismo combinado de biela-manivela e quatro barras.

Silva-Caballero, González-Palacios e Aguilera-Cortés(22) projetou uma garra de dois dedos linear acionada por cames para ser utilizado em um manipulador.

## 3 DESENVOLVIMENTO DA GARRA

### 3.1 Problema, requisitos e suposições

Considerando o objetivo de se construir uma garra de dois dedos compatível com os robôs manipuladores existentes no IDRLAB do IME, provendo uma mão robótica mais facilmente utilizada. O presente desenho foi feito de modo a seguir, quando aplicável, o guia de boas práticas para a construção de Tanie(7).

Como teste de prova da modularidade e facilidade de instalação, serão projetados e produzidos vários dedos com configurações e objetivos de pega diferentes.

### 3.2 Projeto Mecânico

Para atender o pré-requisito da facilidade de instalação da garra ao manipulador, é necessário que haja a facilidade de acesso da ferramenta de fixação aos parafusos que prendem a garra ao manipulador, por isso é preferível que esse acesso seja feito pelo lado externo das garras. Além disso, deve-se utilizar o mínimo número de fixadores diferentes. Como solução, foi proposto que uma base de fixação fosse afixada à flange do manipulador. Para fixar a garra, bastaria então pressionar o corpo da garra contra as molas de torção dentro da base de fixação e gira-lo para uma posição em que há uma trava mecânica. (Figuras 13 e 14 )

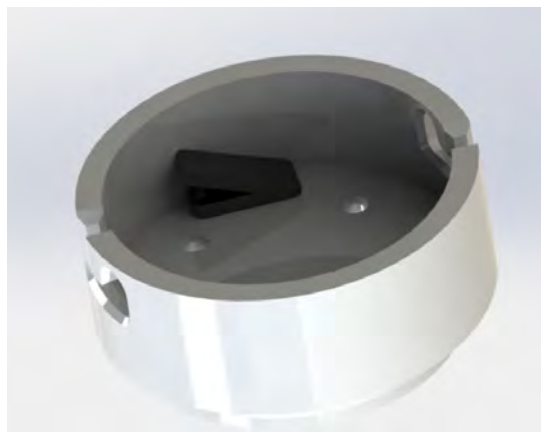


Figura 13 – Base de fixação com mola de torção





(a) Garra solta.

(b) Garra travada.

Figura 14 – Conceito de fixação ao manipulador.

Para o desenvolvimento do primeiro protótipo da garra, optou-se por utilizar uma garra acionada por um único servomotor controlado por uma placa Arduino, utilizando um mecanismo simples de biela-manivela com *off-set*, uma vez que a linha de viagem do carro é excêntrica, ou seja, não passa pelo pivô da base da manivela. Assim o movimento do carro deslizante não é simétrico, de forma que o movimento em um sentido é mais rápido que o outro. Os dedos das garras repousam sobre um carro com rolamentos lineares que pode deslizar livremente sobre dois eixo-guias retificados. O acionamento do movimento é feito pelo servo e simultaneamente transmitido por meio de bielhas aos carros. O esquemático do funcionamento do mecanismo é mostrado na figura 15.

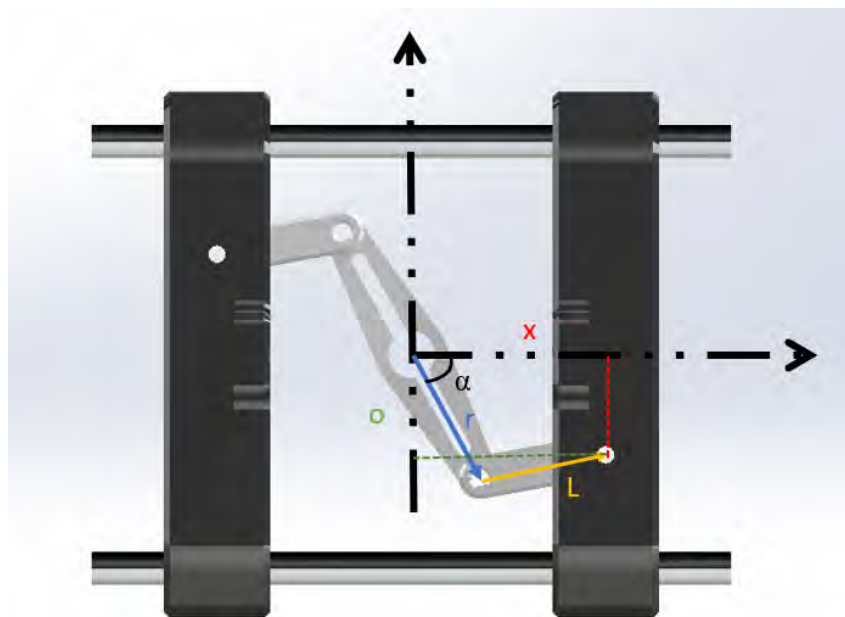


Figura 15 – Esquemático da cinemática do mecanismo de acionamento.

Para atender o pré-requisito de modularidade dos dedos, pode-se fazer valer de insertos roscados de latão, para que não haja o desgaste da peça com a repetida inserção e retirada de parafusos de fixação à peça, visto que o PLA é muito mais macio que os parafusos. A técnica de instalação dos insertos roscados (Figura 16) é executada ao se pressioná-lo contra a superfície da peça impressa e pós-processada com um ferro de solda à temperatura de fusão do PLA, a  $200^{\circ}\text{C}$ , dessa forma, fundindo localmente o material entre as ranhuras do inserto. Para assegurar que o inserto esteja paralelo ao furo, deve-se utilizar uma pinça para ajustar sua orientação relativa à superfície da peça de modo a ficar rente. Após esfriar a peça, o resultado é uma peça impressa que pode receber parafusos sem sofrer desgaste, além de apresentar um bom acabamento. Uma alternativa aos insertos roscados é o uso de porcas embutidas na peça, entretanto não têm a mesma resistência ao torque que os insertos roscados. O método de aplicação de porcas embutidas por sua vez torna-se vantajosa, quando o esforço esperado seja predominantemente de cisalhamento, por seu menor custo e maior resistência ao cisalhamento (4).

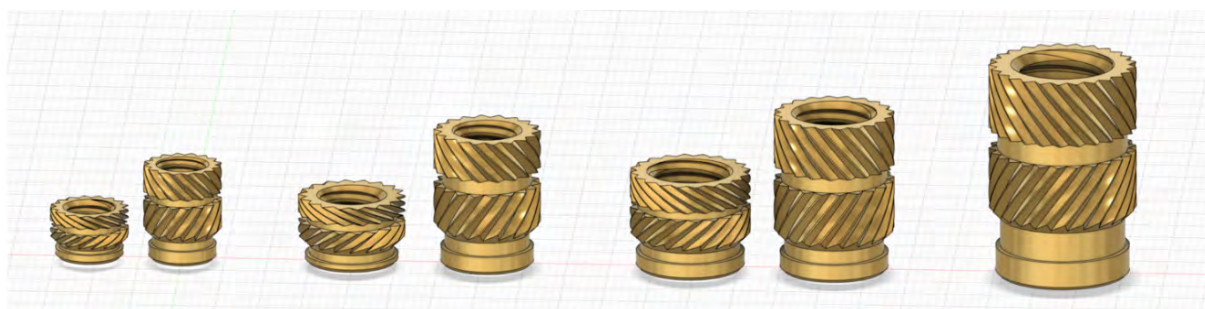
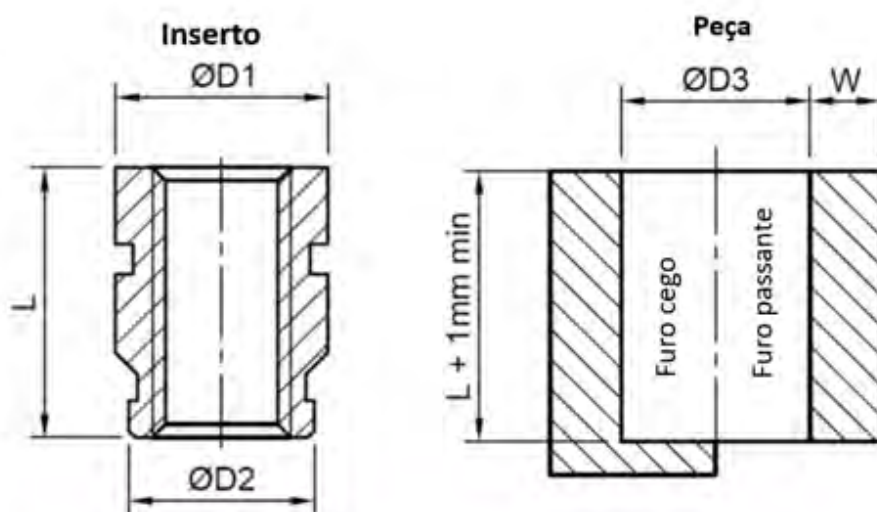


Figura 16 – Diferentes modelos de insertos, em CAD

Para o desenho da peça a receber um inserto roscado, deve-se seguir as recomendações na Figura 17, que relaciona o tipo de inserto a ser utilizado com recomendações de dimensionamento da peça. O caso o diâmetro do furo da peça seja inferior ao recomendado, pode ocorrer o entupimento do inserto com o plástico derretido, conseqüentemente inutilizando a peça. Por sua vez, caso o diâmetro seja inferior ao recomendado, o material derretido não cobrirá totalmente a superfície externa do inserto resultando em perda de resistência ao cisalhamento e à torção.

Tendo em vista ainda a modularidade e a facilidade de permuta de dedos, o carro contém uma espiga para facilitar a fixação dos dedos, que pode ser feita por meio de parafusos M3 X 8 pelo lado externo da garra, assim facilitando o acesso pela ferramenta. A Figura 18 mostra a imagem renderizada do carro que conduz os dedos.



Tipo	Comprimento L	Diâmetro do inserto D1	Diâmetro da ponta de instalação D2	Diâmetro do furo D3	Espessura da parede mínima W
M3	5,7	4,6	3,9	4	1,6
M4	8,1	6,3	5,5	5,6	2,1
M5	9,5	7,1	6,3	6,4	2,6
1/4" - 20	12,7	8,7	7,9	8	3,3
M3 curto	3	4,6	3,9	4	1,6
M4 curto	4	6,3	5,5	5,6	2,1
M5 curto	5,8	7,1	6,3	6,4	2,6

Figura 17 – Dimensões e recomendações de design para aplicação de insertos roscados



Figura 18 – Imagem renderizada do carro (4)

O modelo em CAD da garra é vista nas figuras 19 e 20



Figura 19 – Imagem renderizada da garra fechada

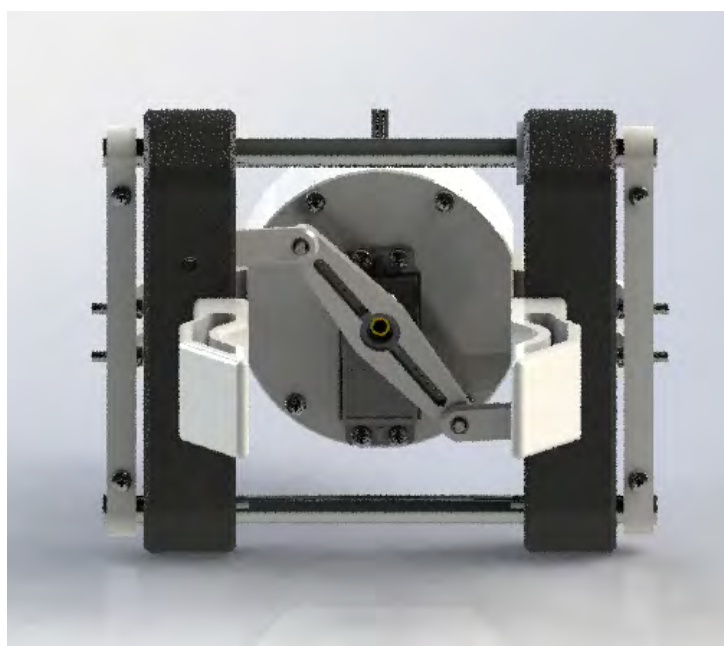


Figura 20 – Imagem renderizada da garra aberta

Em uma segunda iteração de projeto dos dedos visou aumentar a força de atrito dos dedos, uma vez que, na configuração da solução proposta a única força que mantém o objeto em posição é a força de atrito. Para tal, a solução proposta foi pastilhas modulares impressas em TPU, aproveitando de suas propriedades similares à borracha, não somente se aumenta o atrito produzido como, devido à flexibilidade do material, é reduzida a

probabilidade de dano ao objeto. As figuras 21 e 22 mostram a montagem da 2ª versão do dedo ao carro.

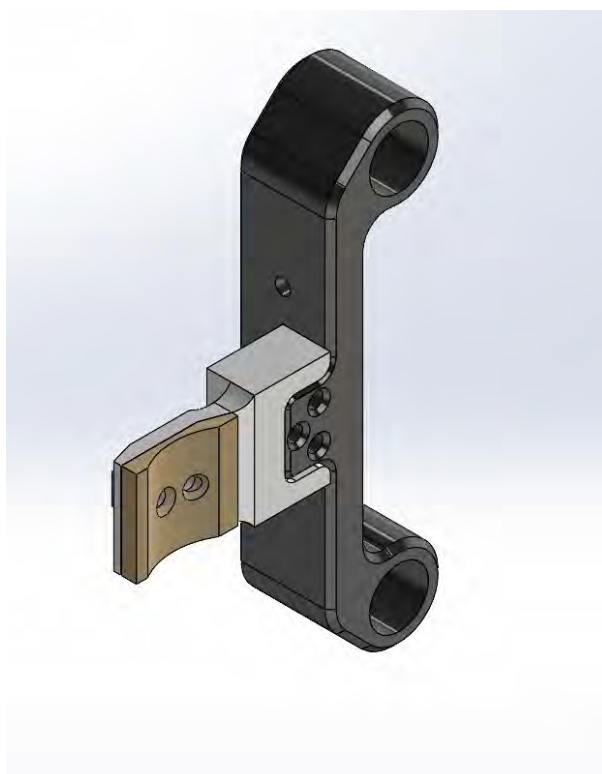


Figura 21 – Fotografia da garra montada com o novo dedo

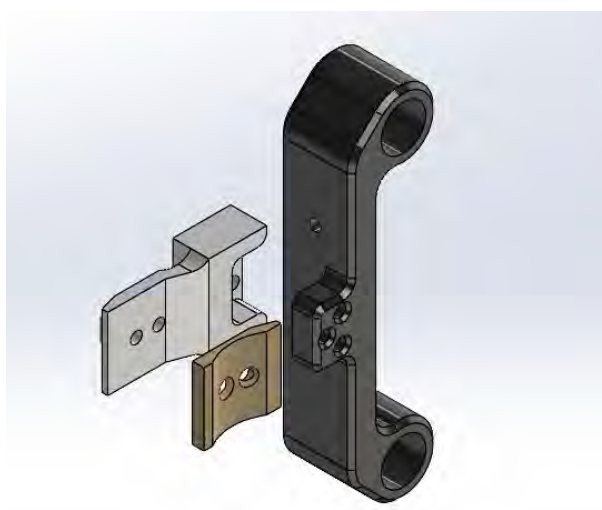


Figura 22 – Vista explodida da montagem do novo dedo com a pastilha de TPU

### 3.3 Análise cinemática

O mecanismo que move os carros contento os dedos é um mecanismo biela-manivela com *off-set* da linha de ação.

Para uma manivela de comprimento  $r$ , biela de comprimento  $L$  e um *off-set* de  $o$  ( figura 15), a posição  $x$  é uma função do ângulo  $\alpha$  (23).

$$x = r \cos \alpha + \sqrt{l^2 - (r \sin \alpha - o)^2} \quad (3.1)$$

A velocidade é dada pela primeira derivada da posição:

$$\dot{x} = \left[ \frac{r \cos(\alpha) (o - r \sin(\alpha))}{\sqrt{l^2 - (o - r \sin(\alpha))^2}} - r \sin(\alpha) \right] \dot{\alpha} \quad (3.2)$$

Já a aceleração é dada por:

$$\ddot{x} = \frac{r \cos(\alpha) \sigma_5 \sigma_3}{\sqrt{\sigma_4}} - r \sin(\alpha) \sigma_3 - \frac{r^2 \sigma_2 \sigma_1}{\sqrt{\sigma_4}} - \frac{r \sin(\alpha) \sigma_1 \sigma_5}{\sqrt{\sigma_4}} - r \cos(\alpha) \sigma_1 - \frac{r^2 \sigma_2 \sigma_1 \sigma_5^2}{\sigma_4^{3/2}}$$

onde :

$$\sigma_1 = \dot{\alpha}^2$$

$$\sigma_2 = \cos(\alpha)^2 \quad (3.3)$$

$$\sigma_3 = \ddot{\alpha}$$

$$\sigma_4 = l^2 - \sigma_5^2$$

$$\sigma_5 = o - r \sin(\alpha)$$

Já a vantagem mecânica do mecanismo, isto é, a relação entre a força  $F$  que atua sobre os dedos e o torque  $\tau$  no eixo é aproximadamente dada por:

$$\tau = Fr \sin(\alpha + \beta) \quad (3.4)$$

### 3.4 Fabricação

As peças projetadas utilizando o *software* de CAD SolidWorks foram impressas em PLA e TPU com uma impressora Ender3. Para a construção da garra, os materiais da Tabela 1 foram empregados.

Tabela 1 – Lista de materiais utilizados

Lista de Materiais	Quantidade
Rolamento Linear UU8	4
Eixo Retificado 8x150mm	2
Parafuso M3x12	20
Parafuso M3x 20	8
Porca M3	4
Inserto Roscado M3	12
Inserto Roscado M4	Filamento PLA preto
1	
Filamento PLA branco	1
Filamento TPU preto	1

Os insertos roscados foram aplicados às peças onde é esperada a troca de peças e o uso de parafusos. A Figura 23 mostra duas peças em que foram aplicadas os insertos.



(a) Caixa do servo



(b) Carro dos dedos

Figura 23 – Fotografia das peças com insertos aplicados.

A Figura 24 mostra a garra após a montagem, utilizando as recomendações do software fatiador Cura para os materiais empregados.

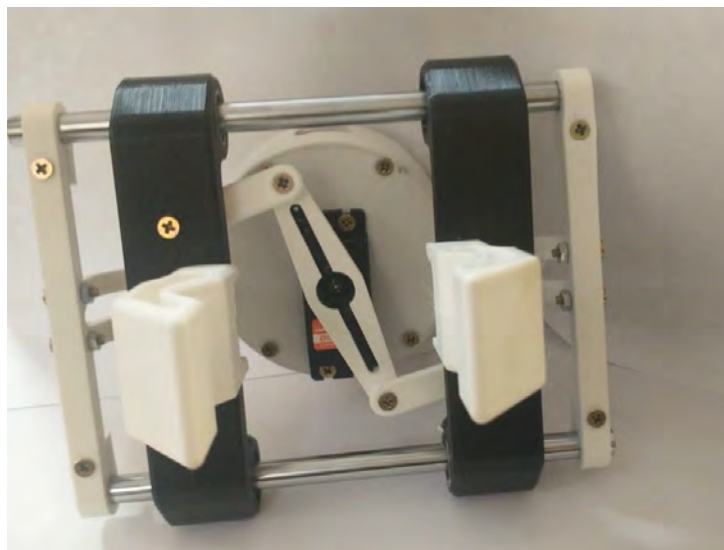


Figura 24 – Fotografia da garra montada

## 3.5 Integração com os manipuladores

### 3.5.1 Conexão direta

Para integrar a garra aos robôs, é necessário garantir que haja comunicação entre a controladora do manipulador e o Arduino da garra robótica. Para esse fim, tanto o ABB 120 como o UR5 fornecem saídas digitais de 12V pelas quais comandos podem ser transmitidos. No entanto, o micro controlador do Arduino, o Atmega 328, tem uma tensão de operação máxima de 6V. Dessa forma, para uma operação segura é necessário que o sinal digital de entrada no Arduino seja de uma tensão entre 4,5V e 5,5V, conforme recomendação do *datasheet* do micro processador.

A redução da tensão pode ser facilmente alcançada com um circuito divisor de tensão básico, representado na Figura 25.

A expressão para a tensão de saída de um divisor de tensão, com os resistores  $R_1$  e  $R_2$  é :

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in} \quad (3.5)$$

De acordo com a especificação de operação do microprocessador, fazendo  $R_2 = 330\Omega$  e  $R_1 = 1,33k\Omega$  a partir de resistores de  $1k\Omega$  e  $330\Omega$  se obtém uma tensão de saída de 5,15V.

A alimentação da placa, pode ser feita via porta serial USB, presente nas controladoras de ambos manipuladores.



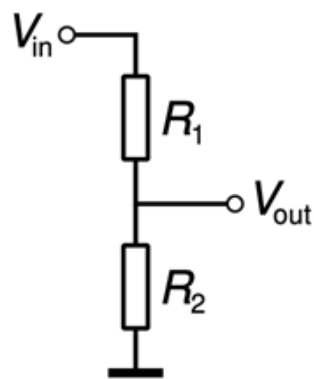


Figura 25 – Circuito divisor de tensão

É necessário ainda igualar o aterramento da controladora do robô com o aterramento, do micro controlador do Arduino, de forma a referenciar o sinal ALTO do manipulador com o do Arduino. A Figura 26 representa a simulação do circuito e do sistema no Thinkercad, onde é mostrado o divisor de tensão e o aterramento da controladora e do Arduino.

### 3.5.2 Conexão via ROS ( *Robot Operating System* )

Um segundo método de integração da garra foi implementado utilizando o ROS de forma a transformar o Arduino em um nó dentro do ROS, assim o Arduino recebe mensagens por meio de uma sub-inscrição permitindo o controle da garra.

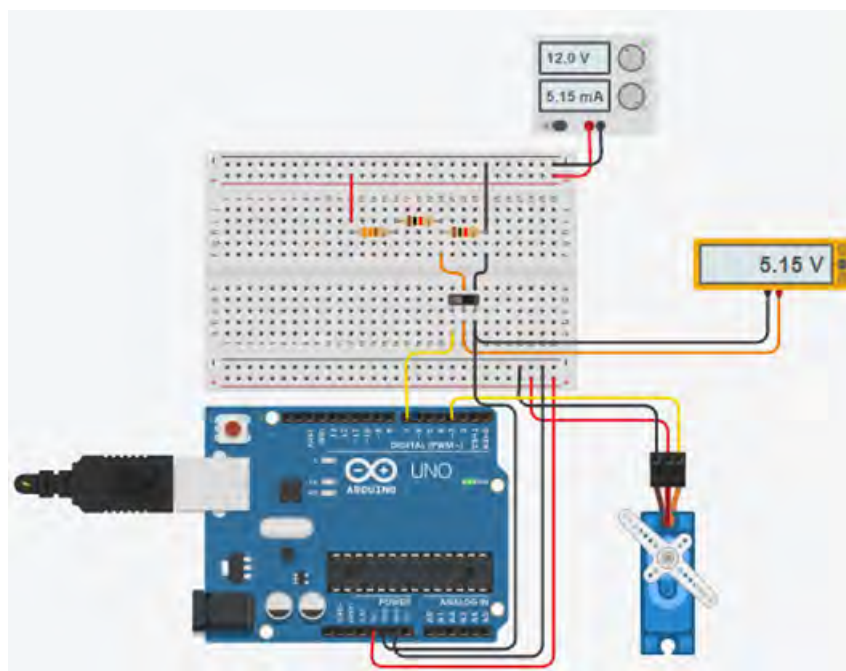


Figura 26 – Circuito construído no Thinkercad

Uma vantagem desse método é a existência de muitas bibliotecas prontas para a integração com diversas plataformas, justamente pelo ROS ser uma plataforma *open-source* com uma comunidade ampla, muito ativa e muito bem documentada.

Outra vantagem é a existência de *drivers* e ambientes de simulação tanto para robô ABB quanto para o robô UR5.

## 4 CONCLUSÃO

Foi realizada com sucesso o projeto e a construção da garra de baixo custo utilizando métodos de manufatura aditiva. A garra construída teve um peso de 500g, em contraste com os 1,2 kg da garra já existente do laboratório, e apresentou rigidez para sua utilização em um manipulador. Além disso, a amplitude de movimento alcançada pela pinça robótica foi de 75mm.

O uso de insertos roscados mostrou-se muito eficaz para a fixação de peças de forma além de possuir uma boa resistência mecânica, e possibilitar o uso de parafusos metálicos em uma peça de PLA, proporcionou um bom acabamento às partes.

A modularidade de dedos, conforme pré-requisito, permite a versatilidade de utilização da garra projetada como elemento didático, podendo ser proposto como atividade o projeto de novos dedos para que novas funcionalidades sejam alcançadas.

Dois métodos de integração da garra aos manipuladores foram propostos. O primeiro, por via de conexão direta à controladora, foi aplicado com sucesso à controladora do robô UR5. Já o segundo, criando um nó ROS e o associado ao Arduino, foi implementado somente a uma máquina operando o sistema operacional Ubuntu, mas não aos manipuladores.

### 4.1 Trabalhos futuros

Como proposta de continuação deste trabalho, pode-se incluir a mudança de mecanismo de atuação, o projeto de novos dedos para novas capacidade, incluindo trabalhos envolvendo dedos que abordem robótica mole e mecanismos flexíveis.

Ademais,

## REFERÊNCIAS

- 1 ROBOTNIK. *Robotics applications in agriculture*. 2022. 8 mai. de 2022. Disponível em: <<https://robotnik.eu/robotics-applications-in-agriculture/>>.
- 2 TECMUNDO. *Casa construída com impressão 3d*. 2022. 8 mai. de 2022. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/imprensa-3d/114742-casa-imprensa-3d-erguida-em-24h-custa-r-30-mil.htm>>.
- 3 MWEMA, F. M.; AKINLABI, E. T. Basics of fused deposition modelling (fdm). *Fused Deposition Modelling: Estratégias for quality Enhancement*, v. 1, n. 1, p. 1–15, 2020.
- 4 KITCHEN, C. *HELICOILS, THREADED INSETS AND EMBEDDED NUTS IN 3D PRINTS - STRENGTH STRENGTH ASSESSMENT*. 2021. 8 mai. de 2022. Disponível em: <<https://www.cnckitchen.com/blog/helicoils-threaded-insets-and-embedded-nuts-in-3d-prints-strength-amp-strength-assessment>>.
- 5 SICILIANO, B. 3. ed. Rio de Janeiro: Robotics Vision and Control, 1993. Acesso em: 21 ago 2013.
- 6 KUKA. *Automation in the automotive industry*. 2022. 8 mai. de 2022. Disponível em: <<https://www.kuka.com/en-ch/industries/automotive>>.
- 7 TANIE, K. Robotic hands and end-effectors. In: \_\_\_\_\_. *Handbook of Industrial Robotics*. New York: Wiley, 1999. p. 99–141.
- 8 MONKMAN, G.; HESSE, S.; SCHUNCK, H. *Robot Grippers*. 2. ed. [S.l.: s.n.].
- 9 TAI, K.; EL-SAYED, A.-R.; BIRGLARBEGIAN, M.; MAHMUD, S. State of the art robotic grippers and applications. *Robotics MDPI*, 2016.
- 10 BIRGLEN, L.; SCHLICHT, T. A statistical review of industrial robotic grippers. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, v. 77, 2018. 8 mai. de 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/journal/robotics-and-computer-integrated-manufacturing>>.
- 11 ROBOTS, U. *Tipos de garras*. 2022. 8 mai. de 2022. Disponível em: <<https://www.universal-robots.com/br/blog/como-definir-a-melhor-garra-rob%C3%B3tica-para-seu-projeto/>>.
- 12 SAMADIKHOSHKHO, Z.; ZAREINIA, K.; JANABI-SHARIFI, F. A brief review on robotic grippers classifications. *IEEE*, v. 458, 2019. 8 mai. de 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785317329152>>.
- 13 ROBOTS, U. *Tipos de garras*. 2022. 8 mai. de 2022. Disponível em: <<https://www.universal-robots.com/br/blog/garra-rob%C3%B3tica-entenda-o-que-%C3%A9-e-como-%C3%A9-usada-uma-pinca-rob%C3%B3tica/>>.
- 14 ROBOTS, U. *Tipos de garras*. 2022. 8 mai. de 2022. Disponível em: <<https://www.universal-robots.com/br/blog/tipos-de-garras-rob%C3%B3ticas-usadas-na-manufatura/>>.

- 15 SONG, Y.; YANG, Z.; LIU, Y.; DENG, J. Function representation based slicer for 3d printing. *Computer Aided Geometric Design*, v. 62, n. 1, p. 276–293, 2018.
- 16 RODRÍGUEZ-PARADA, L.; ROSA, S. de la; MAYUET, P. F. Influence of 3d-printed tpu properties for the design of elastic products. *Polymers*, 2021.
- 17 ATAKURU, T.; SAMUR, E. A robotic gripper for picking up two objects simultaneously. *Mechanism and Machine Theory*, v. 121, 2018.
- 18 PÁLSSON, B. F. E. and Ingólfur Hreimsson and Páll I.; HJÁL MARSSON, S. J.; FOLEY, J. T. Axiomatic design of a linear motion robotic claw with interchangeable grippers. *Procedia CIRP*, v. 53, 2016.
- 19 LIU, C.-H.; CHIU, C.-H.; CHEN, T.-L.; PAI, T.-Y.; CHEN, Y.; HSU, M.-C. A soft robotic gripper module with 3d printed compliant fingers for grasping fruits. *Proceedings of the 2018 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, v. 53, 2018.
- 20 CANNELLA, F.; CHEN, F.; CANALI, C.; EYTAN, A.; BOTTERO, A.; CALDWELL, D. Design of an industrial robotic gripper for precise twisting and positioning in high-speed assembly. *Proceedings of 2014 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)*, 2014.
- 21 HASSANA, A.; ABOMOHARAM, M. Design of a single dof gripper based on four-bar and slider-crank mechanism for educational purposes. *Proceedings of 2013 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)*, 2013.
- 22 SILVA-CABALLERO, A.; GONZÁLEZ-PALACIOS, M.; AGUILERA-CORTÉS, L. Dimplementation of the slide-o-cam mechanism in the design of a robot gripper. *13th World Congress in Mechanism and Machine Science*, 2011.
- 23 HA, J.-L.; FUNG, R.-F.; CHEN, K.-Y.; HISIEN, S.-C. Dynamic modeling and identification of a slider-crank mechanism. *Journal of sound and vibration*, 2004.

## APÊNDICE A – DESENHOS TÉCNICOS

4 3 2 1

F

F

E

E

D

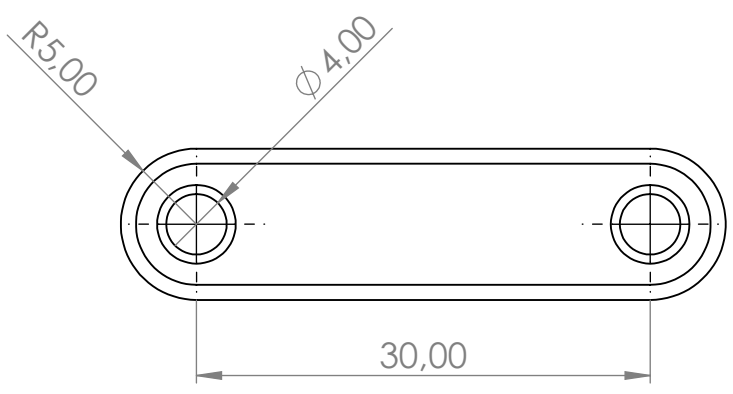
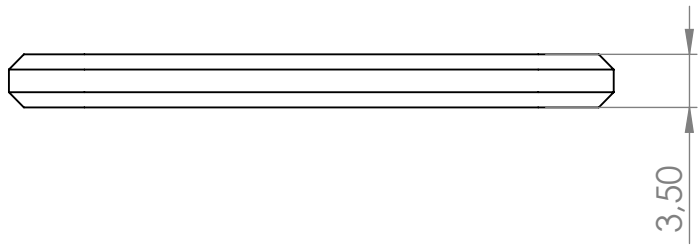
D

C

C

B

B



SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: ANGULAR:	ACABAMENTO:			REBARBAR E QUEBRAR ARESTAS AGUDAS	NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO	REVISÃO

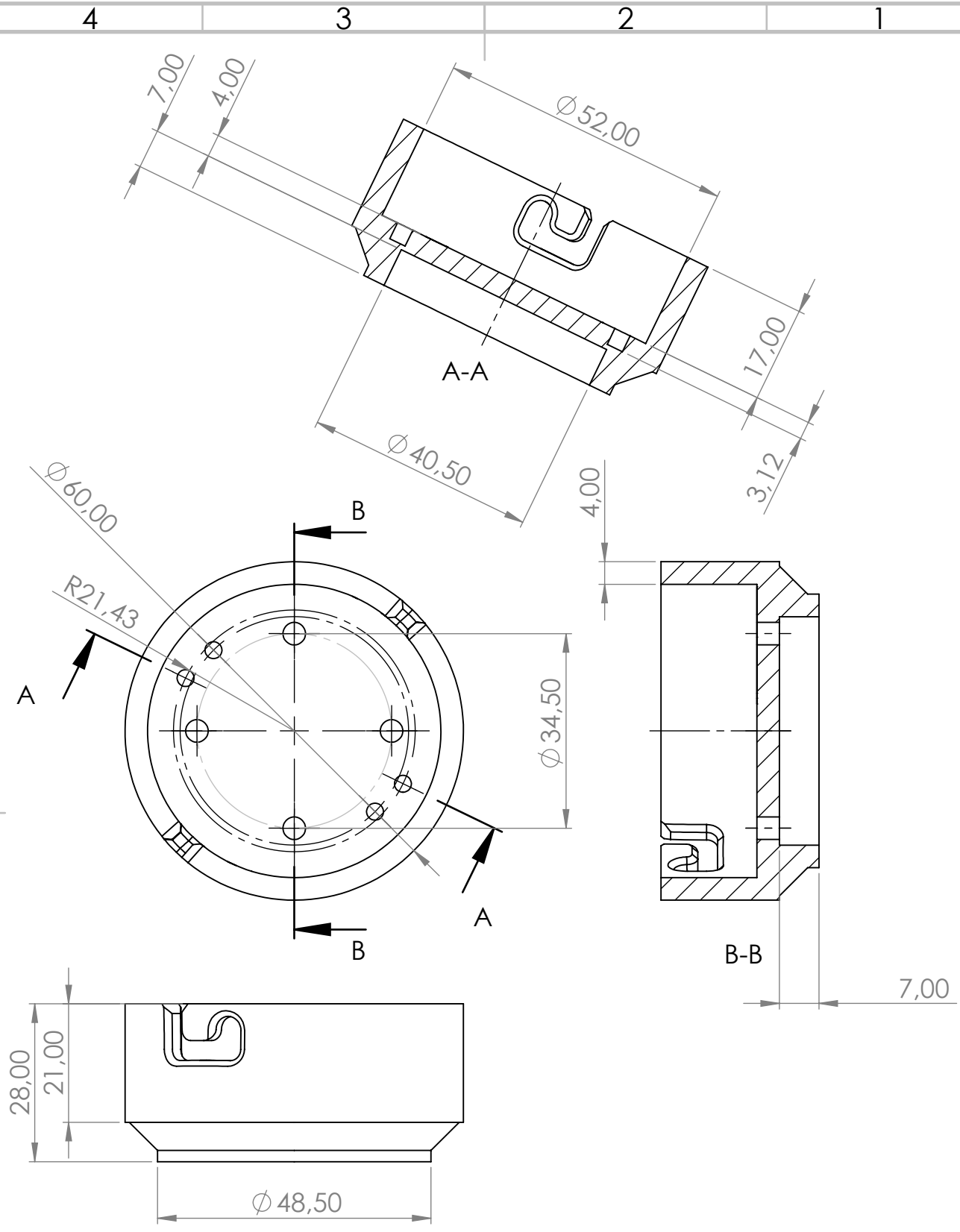
	NOME	ASSINATURA	DATA		
DESEN.					
VERIF.					
APROV.					
MANUF					
QUALID					
				MATERIAL:	
				PESO:	

TÍTULO:	
DES. Nº	
<b>Biela</b>	
	A4
ESCALA:2:1	FOLHA 1 DE 1

A

A

4 3 2 1



SE NÃO ESPECIFICADO:  
 DIMENSÕES EM MILÍMETROS  
 ACABAM. SUPERFÍCIE:  
 TOLERÂNCIAS:  
 LINEAR:  
 ANGULAR:

ACABAMENTO:

REBARBAR E  
 QUEBRAR  
 ARESTAS  
 AGUDAS

NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO

REVISÃO

	NOME	ASSINATURA	DATA
DESEN.			
VERIF.			
APROV.			
MANUF.			
QUALID.			

TÍTULO:

DES. Nº

# Base de Fixação A4

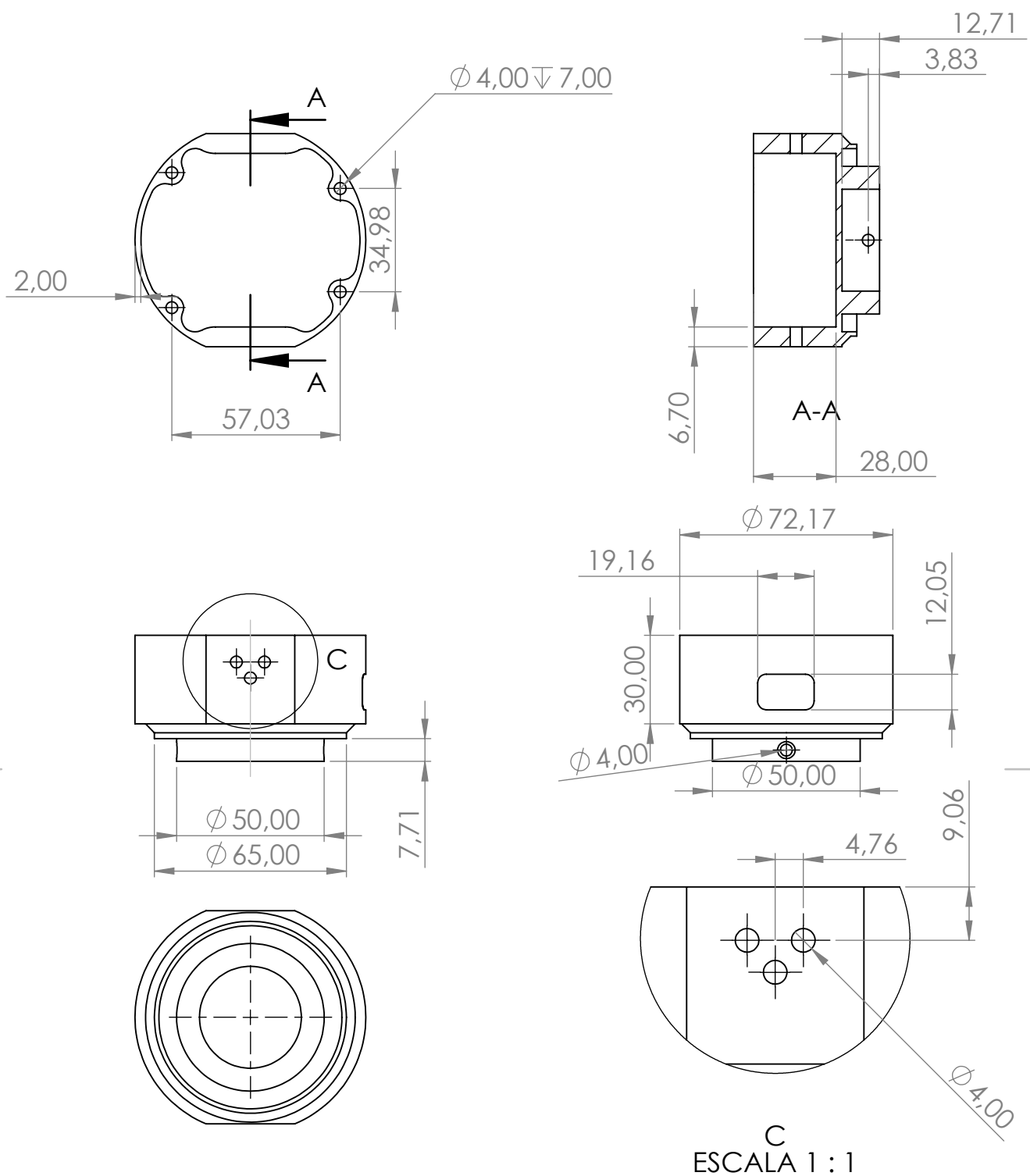
MATERIAL:

PESO:

ESCALA: 1:1

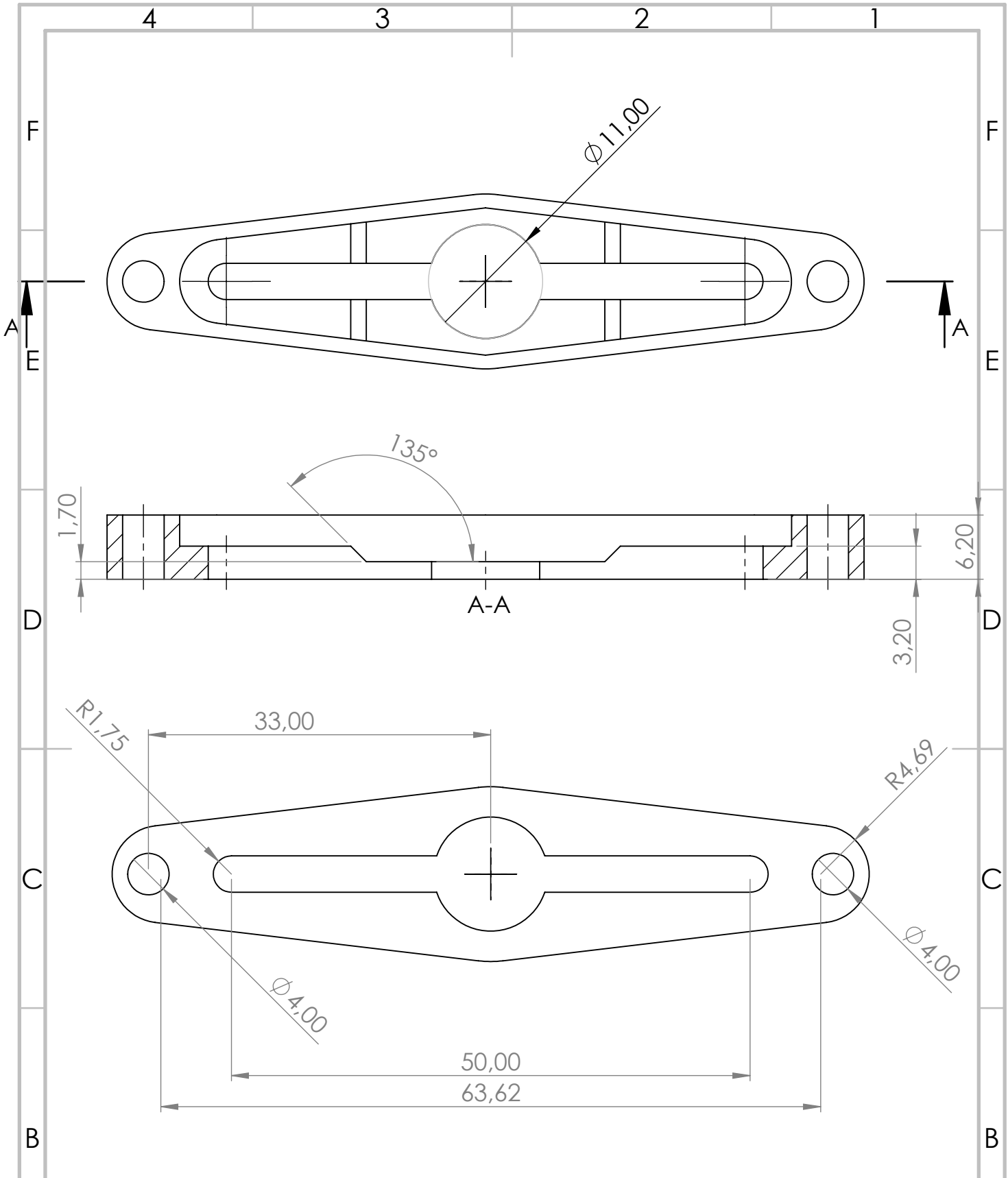
FOLHA 1 DE 1





C  
ESCALA 1 : 1

SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: ANGULAR:			ACABAMENTO:		REBARBAR E QUEBRAR ARESTAS AGUDAS		NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO		REVISÃO		
NOME					ASSINATURA		DATA		TÍTULO:		
DESEN.									Caixa		
VERIF.											
APROV.											
MANUF											
QUALID					MATERIAL:		DES. Nº		A4		
PESO:					ESCALA:1:2		FOLHA 1 DE 1				



SE NÃO ESPECIFICADO:  
DIMENSÕES EM MILÍMETROS  
ACABAM. SUPERFÍCIE:  
TOLERÂNCIAS:  
LINEAR:  
ANGULAR:

ACABAMENTO:

REBARBAR E  
QUEBRAR  
ARESTAS  
AGUDAS

NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO

REVISÃO

	NOME	ASSINATURA	DATA	
DESEN.				
VERIF.				
APROV.				
MANUF.				
QUALID.				

TÍTULO:

MATERIAL:

DES. Nº

Crank

A4

PESO:

ESCALA:2:1

FOLHA 1 DE 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

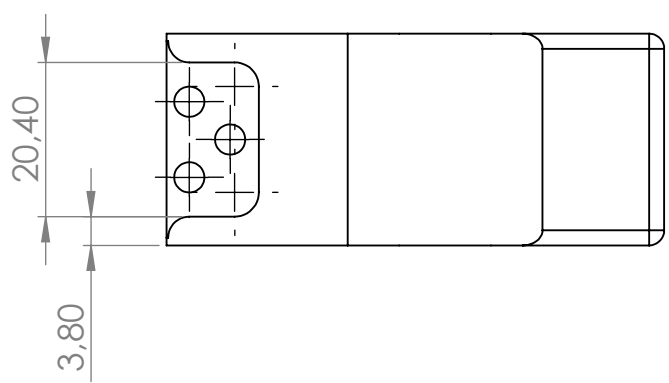
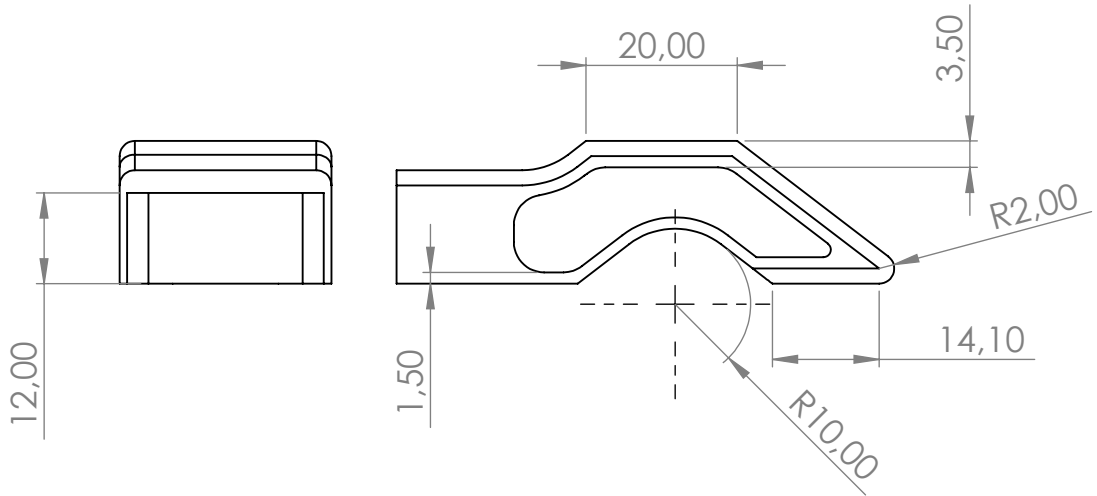
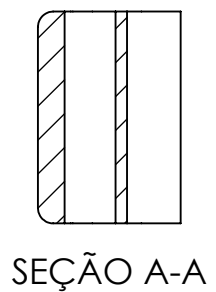
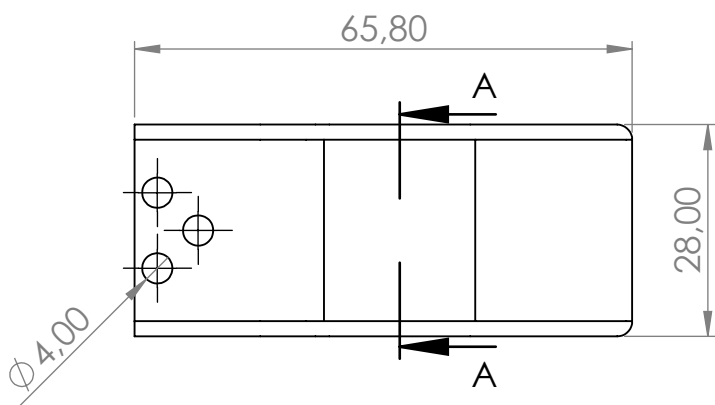
C

B

B

A

A



SE NÃO ESPECIFICADO:  
DIMENSÕES EM MILÍMETROS  
ACABAM. SUPERFÍCIE:  
TOLERÂNCIAS:  
LINEAR:  
ANGULAR:

ACABAMENTO:

REBARBAR E  
QUEBRAR  
ARESTAS  
AGUDAS

NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO

REVISÃO

	NOME	ASSINATURA	DATA
DESEN.			
VERIF.			
APROV.			
MANUF.			
QUALID.			

TÍTULO:

DES. Nº

# Dedo garra

A4

PESO:

ESCALA:1:1

FOLHA 1 DE 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

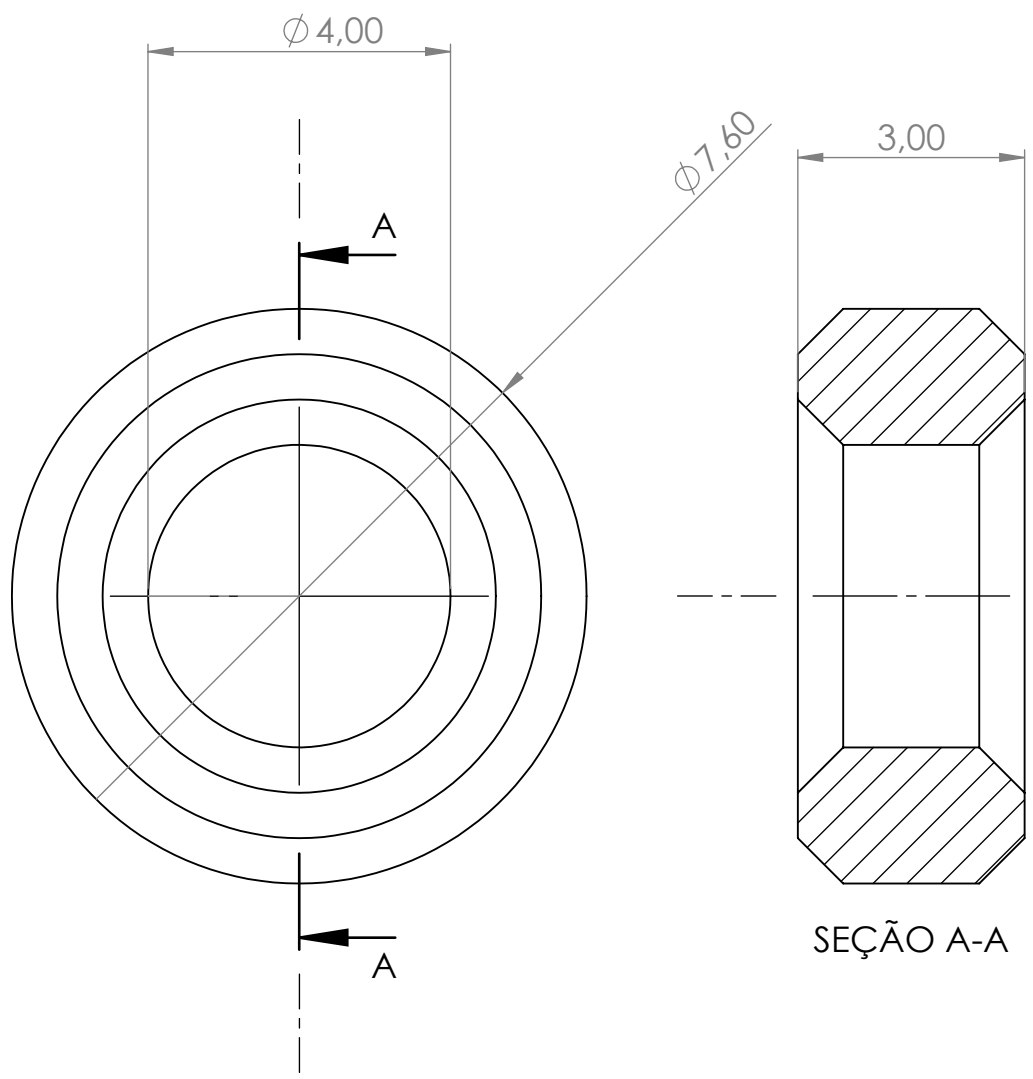
C

B

B

A

A



SE NÃO ESPECIFICADO:  
 DIMENSÕES EM MILÍMETROS  
 ACABAM. SUPERFÍCIE:  
 TOLERÂNCIAS:  
 LINEAR:  
 ANGULAR:

ACABAMENTO:

REBARBAR E  
 QUEBRAR  
 ARESTAS  
 AGUDAS

NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO

REVISÃO

	NOME	ASSINATURA	DATA
DESEN.			
VERIF.			
APROV.			
MANUF			
QUALID			

TÍTULO:

DES. Nº

**Espaçador**

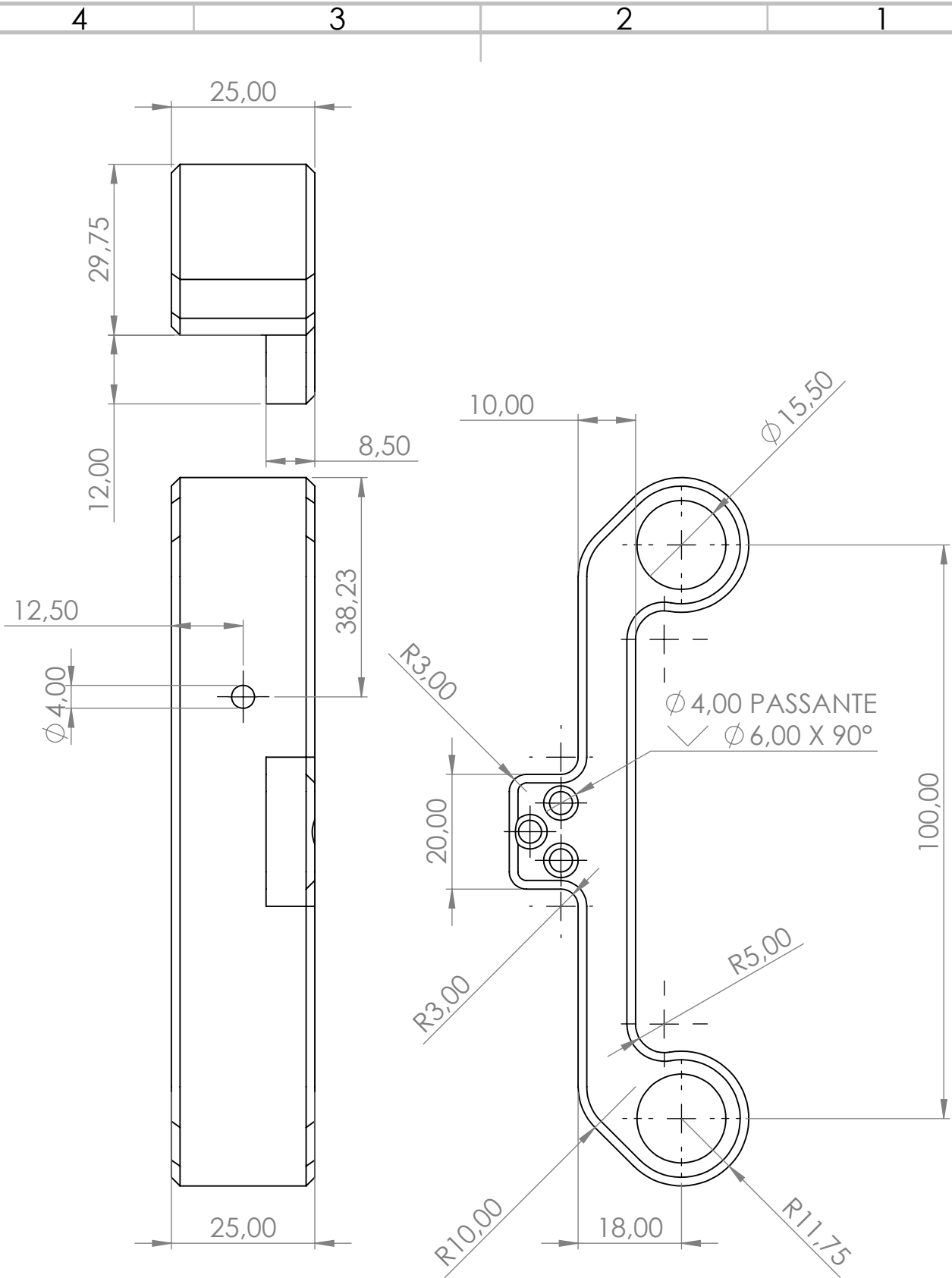
A4

PESO:

ESCALA:10:1

FOLHA 1 DE 1

4 3 2 1



SE NÃO ESPECIFICADO:  
DIMENSÕES EM MILÍMETROS  
ACABAM. SUPERFÍCIE:  
TOLERÂNCIAS:  
LINEAR:  
ANGULAR:

ACABAMENTO:

REBARBAR E  
QUEBRAR  
ARESTAS  
AGUDAS

NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO

REVISÃO

	NOME	ASSINATURA	DATA	
DESEN.				
VERIF.				
APROV.				
MANUF.				
QUALID.				

TÍTULO:

DES. Nº

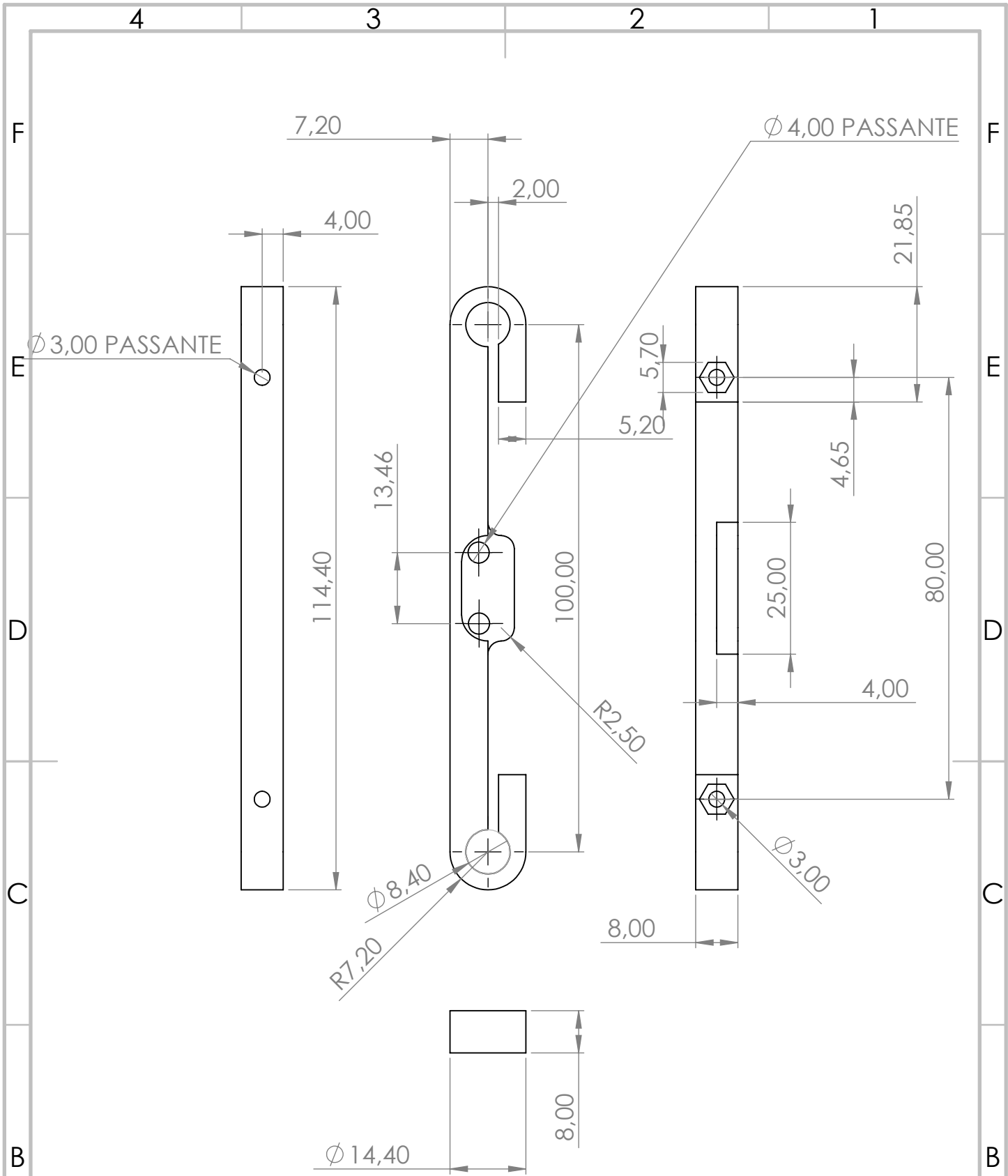
**Garra**

A4

PESO:

ESCALA:1:1

FOLHA 1 DE 1



SE NÃO ESPECIFICADO:  
DIMENSÕES EM MILÍMETROS  
ACABAM. SUPERFÍCIE:  
TOLERÂNCIAS:  
LINEAR:  
ANGULAR:

ACABAMENTO:

REBARBAR E  
QUEBRAR  
ARESTAS  
AGUDAS

NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO

REVISÃO

	NOME	ASSINATURA	DATA
DESEN.			
VERIF.			
APROV.			
MANUF.			
QUALID.			

TÍTULO:

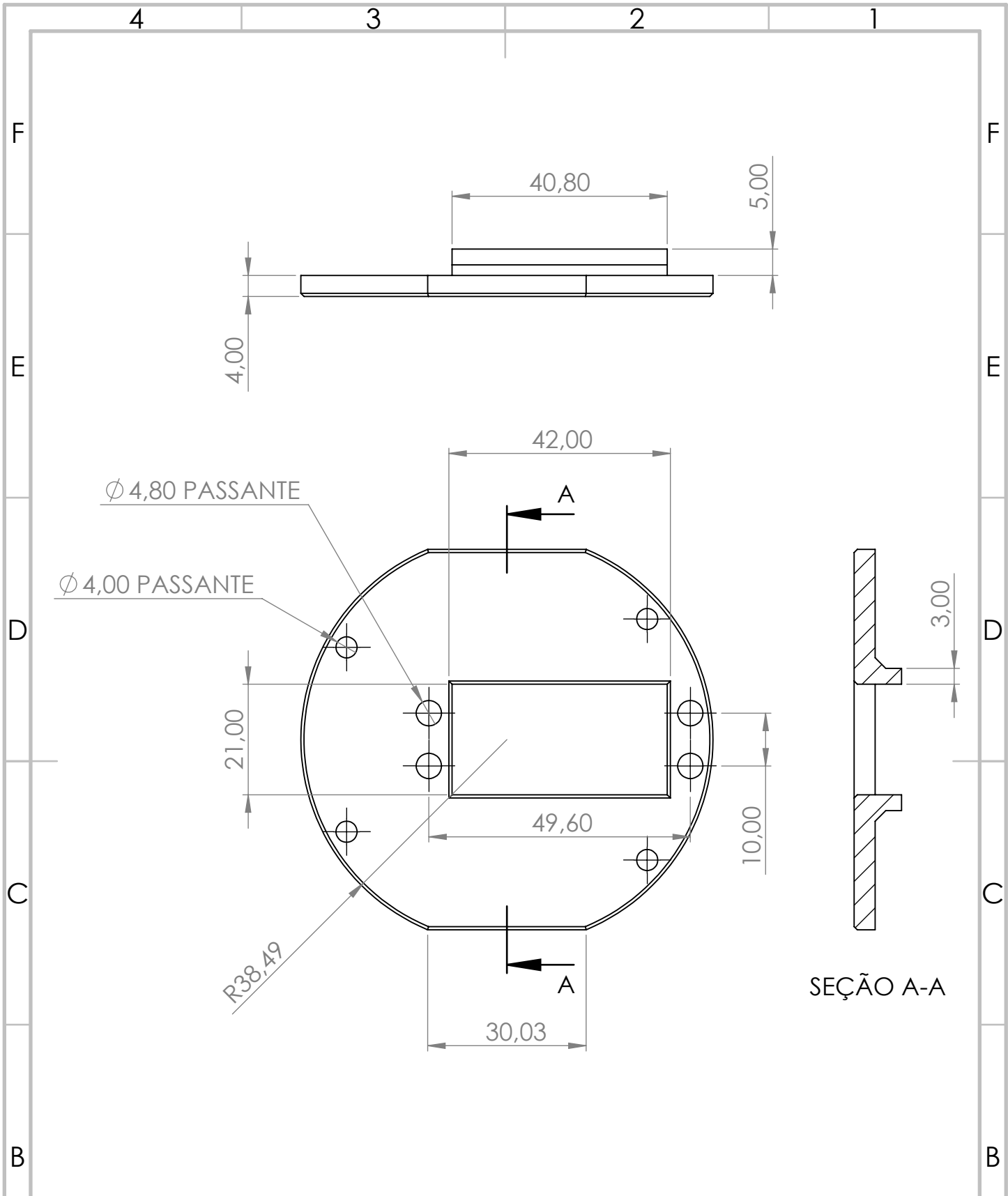
DES. Nº

**Suporte lateral** A4

PESO:

ESCALA:1:1

FOLHA 1 DE 1



SE NÃO ESPECIFICADO:  
 DIMENSÕES EM MILÍMETROS  
 ACABAM. SUPERFÍCIE:  
 TOLERÂNCIAS:  
 LINEAR:  
 ANGULAR:

ACABAMENTO:  
  
 REBARBAR E  
 QUEBRAR  
 ARESTAS  
 AGUDAS

NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO      REVISÃO

	NOME	ASSINATURA	DATA	
DESEN.				
VERIF.				
APROV.				
MANUF				
QUALID				

TÍTULO:  
  
 MATERIAL:  
 DES. Nº  
**Tampa**  
 A4  
 PESO:  
 ESCALA:1:1  
 FOLHA 1 DE 1

## APÊNDICE B – CÓDIGOS FONTES

---

```
1  #include <Servo.h>
2
3  Servo servo1;
4  int PINSERVO=3;
5  int PULSOMAX = 2000;
6  int PULSOMIN = 1000;
7  int digitalInPin=7;
8  int val=0;
9
10
11 void setup() {
12
13     pinMode(PINSERVO,OUTPUT);
14     pinMode(digitalInPin,INPUT);
15     servo1.attach(PINSERVO,PULSOMIN,PULSOMAX);
16 }
17
18 void loop() {
19
20
21     val=digitalRead(digitalInPin);
22
23     if (val == HIGH){
24     servo1.write(0);
25     }
26     else
27     {
28     servo1.write(90*2);
29
30     }
31     Serial.println(val);
32     delay(500);
33 }
```

---



---

```
1  #include <Servo.h>
2  #include <ros.h>
3  #include <std_msgs/String.h>
4  #include <std_msgs/Float64.h>
5  #include <std_msgs/Float64MultiArray.h>
6  #include <std_msgs/Empty.h>
7  #include <geometry_msgs/Twist.h>
8
9  Servo servo1;
10 int PINSERVO=3;
11 int PULSOMAX = 2000;
12 int PULSOMIN = 1000;
13
14 ros::NodeHandle nh; //diz que existe um nó ROS
15
16 void messageCb(const geometry_msgs::Twist& msg)
17     {
18     double x = msg.linear.x;
19     double z_rotation = msg.angular.z;
20     if (x<=0){
21     servo1.write(25); //aberto
22     }else{
23     servo1.write(70); // fechado
24     }
25     }
26
27 ros::Subscriber<geometry_msgs::Twist> sub("/cmd_vel", messageCb );
28
29 void setup() {
30 // put your setup code here, to run once:
31 Serial.begin(9600);
32 nh.initNode(); // iniciar esse nó
33 nh.subscribe(sub); // inscrevendo no tópico cmd_vel
34 servo1.attach(5);
35 }
36
37 void loop() {
38 // put your main code here, to run repeatedly:
```

```
39 Serial.println("Recebendo sinais");  
40 nh.spinOnce();  
41 delay(100);  
42 }
```

---

Os desenhos técnicos, arquivos .STL, .SLDPRT e .IGS e os códigos utilizados estão disponíveis no endereço do código QR a seguir.

