



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Stéphane Tavares Pereira

**Projeto e construção de sistemas de manipulação
de componentes eletrónicos para equipar um robô
colaborativo**



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Stéphane Tavares Pereira

**Projeto e construção de sistemas de manipulação
de componentes eletrónicos para equipar um
robô colaborativo**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do:

Professor Doutor José Filipe Bizarro Meireles

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição-NãoComercial

CC BY-NC

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

AGRADECIMENTOS

Várias pessoas apoiaram e contribuíram, quer com os seus conhecimentos quer com a sua presença, para o desenvolvimento desta dissertação de mestrado. Como tal, alguns agradecimentos devem ser endereçados.

Gostaria de começar por agradecer ao Professor José Meireles por me ter aceitado, orientado e para todo o aconselhamento, acessibilidade e apoio contínuo ao longo de todo o trabalho. Por todo o apoio técnico e científico, paciência e disponibilidade demonstrados ao longo deste percurso.

Aos meus pais, obrigado pelo vosso apoio incondicional, pela educação que me proporcionaram e por todo o esforço que fizeram para que nunca me faltasse nada.

À empresa, Dib4t, pela sua orientação simpatia na transmissão de conhecimentos e disponibilidade ao longo do projeto.

Aos amigos que têm acompanhado este percurso, demonstrando apoio e amizade, os maiores agradecimentos.

Por fim, um agradecimento especial a toda a minha família, que durante esta caminhada universitária me apoiaram incondicionalmente para que chegasse a esta fase de conclusão do meu percurso com sucesso.

“Este trabalho foi realizado ao abrigo de um projeto com a referência: POCI-01-0247-FEDER-045070, cofinanciado pelo FEDER - Fundo Europeu do Desenvolvimento Regional - Programa Operacional de Competitividade e Internacionalização (POCI) através do Sistema de Incentivos às empresas e Investigação e Desenvolvimento Tecnológico, Projetos de I&D em Copromoção – Programa Operacional de Competitividade e Internacionalização (POCI) - COMPETE 2020, do Portugal 2020.”



UNIÃO EUROPEIA

Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho acadêmico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

A área da manipulação, definida como a área da robótica em que manipuladores ou dedos cooperam para agarrar e orientar objetos é considerada uma área chave e é estimado ser uma das principais áreas a desenvolver no futuro. A seguinte dissertação foi realizada na Universidade do Minho com a colaboração da empresa Dib4T e tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema de manipulação de componentes eletrónicos para equipar um robô colaborativo, dentro de um projeto mais amplo que, tem por objetivo a automatização e construção de uma linha de montagem.

Desta forma, considerou-se várias soluções para o sistema de manipulação que se distinguem não só pela sua geometria, mas também pelo tipo de atuação. Sendo que o grande desafio consiste em assegurar a exatidão necessária para a inserção do componente que está na ordem dos micrómetros e assegurar um tempo de ciclo reduzido tudo isto tendo em conta os constrangimentos determinados pelos vários elementos do sistema. A dissertação acompanha a criação de duas garras específicas sendo uma eletromecânica e outra pneumática até às suas fases finais incluindo todas as especificações necessárias para a criação de um protótipo. Ambas as soluções são distintas sendo que a solução apresentada para a garra mecânica, consiste numa solução mais inovadora. Adicionalmente, desenvolveu-se uma solução para a fixação das placas PCB, contribuindo para a redução de erros no momento da inserção do componente. Para além disso, também se efetuou um estudo e seleção de um acoplador rápido para equipar o robô colaborativo e satisfazer as necessidades.

Por fim, para a criação de um protótipo relativamente às soluções propostas para a garra, optou-se pela solução pneumática, uma vez que na solução mecânica, como todos os sistemas inovadores, existem sempre dúvidas que providenciam incertezas em relação à sua fiabilidade e viabilidade.

PALAVRAS-CHAVE

SISTEMA DE MANIPULAÇÃO, ROBÔ, AUTOMATIZAÇÃO, GARRA, INSERÇÃO, SISTEMA DE FIXAÇÃO.

ABSTRACT

The area of manipulation, defined as the area of robotics in which manipulators or fingers cooperate to grasp and guide objects, is considered a key area and is estimated to be one of the main areas to develop in the future. The following dissertation was carried out at the University of Minho with the collaboration of the company Dib4T and has as an objective the development of a system for the manipulation of electronic components to equip a collaborative robot, within a wider project that, has as an objective the automation and construction of an assembly line.

In this way, several solutions were considered for the manipulation system that differ not only by their geometry, but also by the type of actuation. The great challenge consists in assuring the necessary precision for the insertion of the component which is in the order of thousandths of millimetres and assuring a reduced cycle time all this considering the constraints determined by the several elements of the system. The dissertation follows the creation of two specific grips, one being electromechanical and the other pneumatic, up to their final stages, including all the necessary specifications for the creation of a prototype. Both solutions are distinct, being the solution presented for the mechanical gripper a more innovative one. Additionally, a solution for fixing the PCB boards was developed, contributing to reduce errors when inserting the component. Besides, a study and selection of a quick coupler to equip the collaborative robot and satisfy the needs was also carried out.

Finally, for the creation of a prototype regarding the proposed solutions for the gripper, the pneumatic solution was chosen, since in the mechanical solution, as in all innovative systems, there are always doubts that provide uncertainties regarding its reliability and viability.

KEYWORDS

GRASP; ROBOTICS; ASSEMBLY LINE; FIXING SYSTEM; GRIPPER.

ÍNDICE

Agradecimentos.....	ii
Resumo.....	iv
Abstract.....	v
Índice.....	vi
Índice de Figuras.....	ix
Índice de Tabelas.....	xiv
Lista de Símbolos.....	xv
1. Introdução.....	1
1.1. Motivação.....	1
1.2. Objetivos.....	1
1.3. Organização da Tese.....	2
2. Revisão de literatura.....	3
2.1. Automatização e Indústria 4.0.....	3
2.1.1. Robótica.....	4
2.1.2. Grippers.....	7
2.2. Mecanismos de acopladores rápidos.....	15
2.2.1. Acopladores rápidos manuais.....	15
2.2.2. Acopladores rápidos automáticos.....	16
2.3. Placas de Circuito Impresso.....	17
2.3.1. Composição.....	19
2.3.2. Tipos de PCB´s.....	20
2.4. Processo de montagem de componentes eletrônicos em placas de circuito impresso.....	22

2.4.1.	Máquinas “pick and place” para componentes eletrônicos em placas de circuito impresso	23
2.5.	Análise e Caracterização de Métodos e Ferramentas de Projeto	25
2.5.1.	Metodologia de Projeto	26
2.6.	Seleção e Dimensionamento	30
2.6.1.	Dimensionamento de uma Mola	30
2.6.2.	Estudo de flexão em vigas	31
3.	Caso de Estudo	33
3.1.	Apresentação do sistema em estudo	33
3.2.	Estação de trabalho	38
3.3.	Garra Robótica	39
3.3.1.	Garra Mecânica	40
3.3.2.	Garra Pneumática	44
3.4.	Acoplador Rápido	48
3.5.	Sistema de Fixação	49
3.5.1.	PCB	49
4.	Estudo e Projeto da Garra, Acoplador e Suporte	58
4.1.	Acoplador Rápido	58
4.1.1.	1ª Opção Acoplador Rápido da OnRobot	58
4.1.2.	2ª opção Acoplador rápido da Schunk	60
4.1.3.	3ª opção Acoplador rápido da OX	62
4.1.4.	4ª opção Acoplador rápido da Milibar (MTCAE-UR3510-M6)	64
4.1.5.	5ª opção Acoplador rápido da Zimmer (HWR2050L)	66
4.1.6.	6ª opção Acoplador rápido da Gimatic	68
4.1.7.	Comparação das várias opções	71
4.2.	Garra Mecânica	72
4.2.1.	Solução Principal	72

4.2.2.	Dimensionamento	79
4.3.	Garra Pneumática	90
4.3.1.	Cilindro Pneumático	90
4.3.2.	Solução principal	91
4.3.3.	Dimensionamento	93
4.3.4.	Projeto da Garra Pneumática	106
4.4.	Projeto do suporte para PCB	107
5.	Conclusões	109
5.1.	Conclusões do projeto	109
Anexo 1 –	Tecnologias De Montagem De Componentes Tht Em Placas De Circuito Impressos.....	112
Processo de soldadura manual		112
Soldadura Automatizada e Soldadura por Onda.....		113
Soldadura PiP (Pin-in-Paste)		114
Processo de montagem de componentes smt em placas de circuito impressos		115
Anexo 2 –	Desenhos Técnicos dos Dedos Desenvolvidos.....	119
Anexo 3 –	Desenhos Técnicos do Suporte do PCB	128
Anexo 4 –	Desenhos Técnicos Do Gripper Pneumático.....	135
Bibliografia		143

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - As várias fases da revolução industrial.[2].....	4
Figura 2 - Robô cartesiano da campetella.[3].....	5
Figura 3 - Robo articulado da Kuka.[4]	5
Figura 4 - Scara robô da fanuc.[5].....	6
Figura 5 - Robô delta da fanuc.[6]	6
Figura 6 - Robô colaborativo da Omron.[7]	6
Figura 7 - Métodos de preensão para um objeto esférico[10].....	10
Figura 8 - Possíveis pontos de contacto entre componente e dedo (adaptado de [10])	13
Figura 9 - Diferentes métodos de preensão dependendo do número de dedos (adaptado de [10]).	14
Figura 10 - Parâmetros que governem a seleção da garra.	14
Figura 11 - Acoplador rápido manual HWR2031F[12].....	16
Figura 12 - Acoplador automático do fabricante LT.[13].....	17
Figura 13 - Gráfico de repartição de PCB's na indústria (adaptada de [17]).....	18
Figura 14 - Composição de um PCB. [20]	19
Figura 15 - PCB de camada única.....	21
Figura 16 - PCB camada dupla.	21
Figura 17 - PCB multicamadas [22].	21
Figura 18 - PCB flexível [23].....	22
Figura 19 - Tecnologia THT e SMT[19]	23
Figura 20 - Características de uma máquina "pick and place" para linhas de montagem SMD. 24	
Figura 21 - Atividades envolvidas na área da engenharia de projeto[24].....	25
Figura 22 - Documento VDI 221 [25].	27
Figura 23 - Modelo do desenvolvimento do problema até à solução [26].....	29
Figura 24 - Sistema "black box"	30
Figura 25 - Tipos de extremidades. [27]	31
Figura 26 - Deslocamento e flexão em vigas solicitadas[28]	32
Figura 27 - Componentes considerados para a célula de trabalho.....	33
Figura 28 - Componente SN02.....	34

Figura 29 - Blister do componente SN02.....	34
Figura 30 - Área de contacto permitida.....	35
Figura 31 - Componente SN02 inserido na sua placa PCB.....	36
Figura 32 - Desenho técnico do componente SN02.	36
Figura 33 - Recomendação da cotagem dos furos na placa PCB correspondentes ao componente SN02.	37
Figura 34 - Tolerâncias recomendadas para varios ajustes[29].	37
Figura 35 - Ilustração dos possíveis posicionamentos dos furos e pinos.....	38
Figura 36 - Célula de trabalho atual.	39
Figura 37 - Estação intermedia.	40
Figura 38 - Dimensões dos pinos.	41
Figura 39 - Gripper 2FG7 da OnRobot [30].....	41
Figura 40 - Árvore de objetivos para os dedos mecânicos do <i>gripper</i>	42
Figura 41 - Função global do sistema.....	43
Figura 42 - Estrutura de funções.....	44
Figura 43 - Árvore de objetivos para o <i>gripper</i> pneumático.....	46
Figura 44 - Função global do sistema pneumático.....	47
Figura 45 - Estrutura de funções para a garra pneumática.....	47
Figura 46 - Dimensões da cabeça do robô.[31]	49
Figura 47 - PCBs considerados para a projeção do sistema de fixação.....	50
Figura 48 - Base comum a todas as PCBs.....	50
Figura 49 - Ilustração do encaixe.....	51
Figura 50 - Contacto entre as peças de encaixe.....	51
Figura 51 - Vista explodida da base do suporte.....	52
Figura 52 - Ilustração da montagem dos componentes.....	53
Figura 53 - Barra central para o PCB.	53
Figura 54 - PCB montado no suporte.	54
Figura 55 - Barra central para as restantes duas PCBs.....	54
Figura 56 - PCB do componente SN02 montada no suporte.....	55
Figura 57 - PCB inserido no suporte.....	55
Figura 58 - PCB 2M07 montado no suporte.	56
Figura 59 - Suporte PCB após alterações.	57

Figura 60 - Acoplador rápido da OnRobot [30].....	58
Figura 61 - Acoplador ligado ao robô [30].....	59
Figura 62 - Acoplador ligado ao gripper [30].....	59
Figura 63 - Acoplador rápido da marca Schunk [32].....	60
Figura 64 - Desenho técnico do acoplador Schunk [32].	61
Figura 65 - Acessórios para o acoplador [32].	62
Figura 66 - Acoplador ligado à cabeça do robô [33].....	62
Figura 67 - Acoplador ligado à garra [33].	63
Figura 68 - Dimensões do acoplador ligado a cabeça do robô [33].	63
Figura 69 - Acoplador Milibar normalizado para gama UR [34].	64
Figura 70 - Dimensões do acoplador [34].....	65
Figura 71 - Acoplador rápido da Zimmer [35].....	66
Figura 72. - Dimensões do acoplador [35].....	67
Figura 73 - Mecanismo do acoplador [35].	68
Figura 74 - Acoplador rápido QC75 da Gimatic [36].	68
Figura 75 - Dimensões do acoplador ligado ao robô [36].	69
Figura 76 - Dimensões do acoplador lado do gripper [36].....	69
Figura 77 - Modulo elétrico para o acoplador [36].	70
Figura 78 - Primeiro esboço efetuado.....	72
Figura 79 - Esboço mais detalhado.	73
Figura 80 – Desenvolvimento dos novos dedos.	73
Figura 81 - Dedos montados no gripper 2FG7.	74
Figura 82 - Vista explodida dos dedos.	74
Figura 83 - Ligação slot/pino.	75
Figura 84 - Zona de inserção dos pinos da parte central dos dedos.	76
Figura 85 - Sistema de bloqueio.....	77
Figura 86 - Índice das dimensões das molas.	80
Figura 87 - Características da liga de alumínio 1060.	81
Figura 88 - Constrangimento do veio.....	81
Figura 89 - Força exercida sobre o veio.	82
Figura 90 - Malha composta pelos elementos tetraédricos.....	82
Figura 91 - Deformação do veio.	82

Figura 92 - Forças envolvidas.....	84
Figura 93 - Esforços a que o veio está sujeito.	86
Figura 94 - Deflexão sofrida pelo veio.	87
Figura 95- Gráfico ilustrando a deflexão ao longo do veio.....	88
Figura 96 - Layout da célula de trabalho visto de cima.....	89
Figura 97 - Layout da célula de trabalho em perspetiva.	89
Figura 98 - Modelos de grippers paralelos apresentados pela Airtac.....	91
Figura 99 - Especificações do cilindro pneumático.....	91
Figura 100 - Desenvolvimento do gripper pneumático.	92
Figura 101 - Vista explodida.....	92
Figura 102 - Distribuição das forças no momento de aperto.[38].....	93
Figura 103 - Gráfico que relaciona a força de aperto com a pressão e offset do ponto de contacto.[38].....	94
Figura 104 - Offset entre o gripping point e os dedos do cilindro pneumático.[38].....	95
Figura 105 - Offset de pega.....	95
Figura 106 - Gráfico dado pelo fornecedor que correlaciona a altura "H" com o comprimento "L".[38].....	96
Figura 107 - Dedos projetados.	96
Figura 108 - Possível variação da altura do componente.....	97
Figura 109 - Secção do componente.	98
Figura 110 - Semelhança de triângulos.	99
Figura 111 - Desenho técnico do pino.	100
Figura 112 - Vista em perspetiva do componente.	101
Figura 113 - Esboço com todas as cotas relevantes.....	101
Figura 114 - Desenho técnico dos dedos.....	102
Figura 115 - Esboço incluindo as cotas relevantes para a inserção do componente.....	103
Figura 116 - Simulação CAD do processo de inserção.	105
Figura 117 - Folga no momento da inserção.	106
Figura 118 - Vista de frente do componente central.....	106
Figura 119 - Dedos da garra pneumática ligados ao acoplador rápido.....	107
Figura 120 - Momento de inserção do componente.	107
Figura 121 - Suporte PCB projetado.	108

Figura 122 - PCB's montadas no suporte.	108
Figura 123 - Processo de soldadura manual [19].	113
Figura 124 - Processo de soldadura por onda [39].	114
Figura 125 – Processo PiP [41]	115
Figura 126 - Sequência do processo de montagem de componentes eletrônicos em PCB's [14].	116
Figura 127 - Processo de impressão por serigrafia da pasta de solda [42].	116
Figura 128 - Equipamentos de soldadura comumente utilizado.[43]	117

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros que influenciem o tipo de garra a utilizar.	8
Tabela 2 - Características essenciais para a definição do gripper relativamente ao componente.	12
Tabela 3 - Principais características acoplador rápido da ONROBOT.	60
Tabela 4 - Principais características acoplador rápido da Schunk.	61
Tabela 5 - Principais características acoplador rápido da OX.	64
Tabela 6 - Dimensões do acoplador rápido da Milibar.	65
Tabela 7 - Principais características acoplador rápido da Milibar.	66
Tabela 8 - Principais características acoplador rápido da Zimmer.	67
Tabela 9 - Principais características acoplador rápido da GIMATIC.	70
Tabela 10 – Comparação dos vários modelos.	71
Tabela 11 - Lista de componentes do sistema mecânico.	77
Tabela 12 - Características da mola D-160.	79
Tabela 13 - Dados para mola do veio principal.	80
Tabela 14 - Valores da força provocada pela mola.	80
Tabela 15 - Características da mola do veio secundário.	83
Tabela 16 - Dados para a mola do veio secundário.	83
Tabela 17 - Valores da força provocada pela mola.	84
Tabela 18 - Características da mola do sistema de bloqueio.	85
Tabela 19 - Dados da mola do sistema de bloqueio.	86
Tabela 20 - Valores da força provocada pela mola.	86
Tabela 21 - Valores para o cálculo da força de aperto.	93

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área	m^2
a	Aceleração do objeto	m/s^2
d	Diâmetro do arame	mm
d_1	Diâmetro de montagem	mm
d_2	Distancia da unha até ao veio	mm
De	Diâmetro Externo	mm
Dd	Diâmetro	mm
E	Módulo de Elasticidade	GPa
F	Força	N
FG	Força Gravítica	N
FGR	Força exercida pela Garra	N
F_{Mola}	Força da Mola	N
F_{max}	Força máxima do gripper	N
F_n	Força máxima com carga estática	N
FT	Força exercida Total	N
$F\mu$	Força de atrito	N
g	aceleração gravítica	m/s^2
h	altura	m

I	Momento de Inercia	mm ⁴
k	Rigidez da mola	N/mm
L	Comprimento da Mola	m
L_n	Comprimento mais pequeno com carga estática	mm
L_o	Comprimento não tensionado da mola	mm
m	Massa	g
M_T	Momento	N.mm
N	Número de rodízios	-
R	Raio	m
n	coeficiente de segurança	-
y	Flecha	mm
Y_{max}	Distancia para a flecha máxima	mm
x	Distância	mm

Símbolos Gregos:

μ	Coeficiente de Atrito	-
Δl	Deslocamento	

Abreviações:

3D - Tridimensional

CAD - Desenho Assistido por computador

DEI – Departamento de Eletrônica Industrial

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

MEF – Método de Análise por elementos finitos

PCI – Placa de circuito impresso

PCB – Printed Circuit Board

PLC – Power Line Communication

SCARA – Selective Compliance Assembly Robot Arm

SMD – Dispositivos surface-mounted

SMT – Tecnologia surface-mounted

SPP – Tecnologia Stencil Printing Pencil, ou impressão serigráfica

THD – Dispositivos through-hole

THT – Tecnologia through-hole

VDI – Verrein Deutscher Ingenieure

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho, desenvolvido no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, visa o estudo de uma célula robótica para manipular e montagem de componentes eletrónicos e em particular o desenvolvimento e construção de dedos robóticos para uma linha de montagem de componentes eletrónicos.

Esta dissertação foi realizada em projeto de investigação com a empresa Dib4t, Lda – Engenharia & Produção e com a colaboração do departamento de eletrónica industrial.

Neste capítulo descreve-se o enquadramento, objetivos e estrutura da dissertação.

1.1. MOTIVAÇÃO

Nos dias correntes, os componentes eletrónicos tornam-se partes essenciais de muitos produtos. Cada vez mais os produtos incluem mais tecnologia, desde eletrodomésticos, dispositivos da indústria automóvel entre outros de diferentes indústrias.

Adicionalmente os robôs colaborativos estão se a tornar cada vez mais populares em ambientes industriais devido à sua capacidade de trabalhar ao lado dos humanos de forma segura e eficiente. Uma das principais características de um robô é a sua garra, que é responsável pela recolha e manipulação de vários objetos. No caso de componentes eletrónicos, muitas das vezes as especificações do produto requerem um manuseamento preciso e uma manipulação delicada.

Conceber e construir uma garra para manipulação de componentes eletrónicos não é um feito fácil, requer uma compreensão profunda das propriedades dos componentes, bem como da mecânica da própria garra.

O projeto tem o potencial de dar um contributo para o campo da robótica e da automação. A conclusão bem-sucedida do projeto poderá resultar no desenvolvimento de uma nova garra que seja mais eficaz, eficiente, e de fácil utilização. Isto poderia ter implicações de grande alcance para a indústria, incluindo aumento da produtividade, melhoria da segurança, e redução de custos.

1.2. OBJETIVOS

A presente dissertação tem como principal objetivo o projeto da célula de trabalho e em particular a construção de dedos robóticos para manipulação de um componente eletrónico específico de acordo com a especificação do cliente, para aplicação num robô colaborativo da nova linha de montagem da

Projeto e construção de sistemas de manipulação de componentes eletrônicos para equipar um robô colaborativo

Dib4t. O desenvolvimento deste produto é com o intuito de automatizar um processo realizado atualmente de forma manual. Sendo que para tal é necessário ter em conta vários requisitos, nomeadamente tipo de robô e garra, tipo de componente a ser manuseado e também evitar defeitos de produção e acidentes com trabalhadores.

De forma a concretizar o objetivo principal, vários sub-objetivos foram também definidos, nomeadamente a definição do tipo de atuador que se pretende utilizar, assim como a definição da geometria dos dedos e de toda a sua estrutura envolvente. Estudo relativamente as exigências que vão ser exigidas no momento da inserção do componente, assim como o desenvolvimento dos meios de fixação adjacentes à célula de trabalho e definição de um sistema de troca de ferramentas.

1.3. ORGANIZAÇÃO DA TESE

O presente trabalho está dividido em 5 partes.

No primeiro capítulo apresenta-se uma introdução e enquadramento ao tema, onde são definidos os objetivos do projeto e uma estrutura da dissertação em si.

No capítulo 2 são abordados os diferentes conceitos relativos ao trabalho. Em específico são abordados os diferentes tipos de robôs, de garras e de PCB's existentes, bem como o processo de montagem de componentes eletrônicos em placas de circuito impresso.

Seguidamente, no capítulo 3, é exposto o caso de estudo, onde é apresentada a estação de trabalho, o componente a manipular e as duas opções de partida para o desenvolvimento da garra, uma mecânica e uma pneumática. Para cada uma delas foi estabelecida uma árvore de objetivos e uma estrutura de funções, onde são identificados os objetivos e requerimentos a cumprir e as funções a executar.

No capítulo 4, foram consideradas possíveis soluções para o projeto, estudo dos atuais acopladores disponíveis no mercado, onde foram selecionados aqueles compatíveis com o robô em estudo e foi feita uma comparação das opções para definição do modelo mais indicado.

Em último, no capítulo 5 são apresentadas as conclusões finais desta dissertação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo serão abordados os conceitos teóricos que fundamentam o trabalho desenvolvido no decorrer do projeto e da dissertação. Este encontra-se dividido por cinco subcapítulos, automatização e indústria 4.0 onde é abordado o desenvolvimento da indústria assim como os vários equipamentos que permitem a sua automatização, nomeadamente os robôs e os seus grippers. No segundo subcapítulo é abordado o conceito das placas de circuito impresso assim como a sua composição. Seguidamente, é abordado a tecnologia envolvida dos processos de montagem de componentes eletrônicos em PCB's. Finalmente nos últimos dois subcapítulos discutem-se as várias ferramentas utilizadas na área de projeto mecânico, assim como métodos utilizados para a seleção e dimensionamento de componentes.

2.1. AUTOMATIZAÇÃO E INDÚSTRIA 4.0

Todas as revoluções industriais trazem consigo benefícios e desafios socioeconómicos aos países que se envolveram nessa transformação.

A invenção da máquina a vapor no século XVII e a sua aplicação a várias indústrias, tais como mineração, transportes e outras indústrias transformadoras, marcou a primeira revolução industrial e baseou-se em novas tecnologias mecânicas e termodinâmicas. O século XIX trouxe a eletricidade à indústria e permitiu o surgimento de linhas de montagem e produção em massa. A partir da década de 1970, os avanços na informática e automação trouxeram a terceira revolução industrial.

A quarta revolução industrial, também chamada Indústria 4.0, consiste na criação de "fábricas inteligentes" capazes de interligar os vários mundos, físico, biológico e digital. Para tal, devem ser capazes de integrar e coordenar tecnologias existentes e em desenvolvimento, tais como: inteligência artificial, sistemas ciberfísicos, análise de dados, computação em nuvem, cibersegurança, modelação e simulação 3D, realidade aumentada, robôs autónomos, nanotecnologia, neurotecnologia e computação quântica. As máquinas conseguem, monitorizar-se, perceber se existem falhas e, através de cálculos independentes, determinar quando é necessária a manutenção. Consequentemente, estas mudanças tornaram a produção e a logística mais flexíveis, uma vez que a informação não será processada por uma unidade central. A comunicação entre as máquinas e produtos requer novos protocolos de comunicação, capazes de descrever os dados de forma elegível para as mesmas, permitindo que outras máquinas ou sistemas realizem ações, baseadas nesta informação [1].

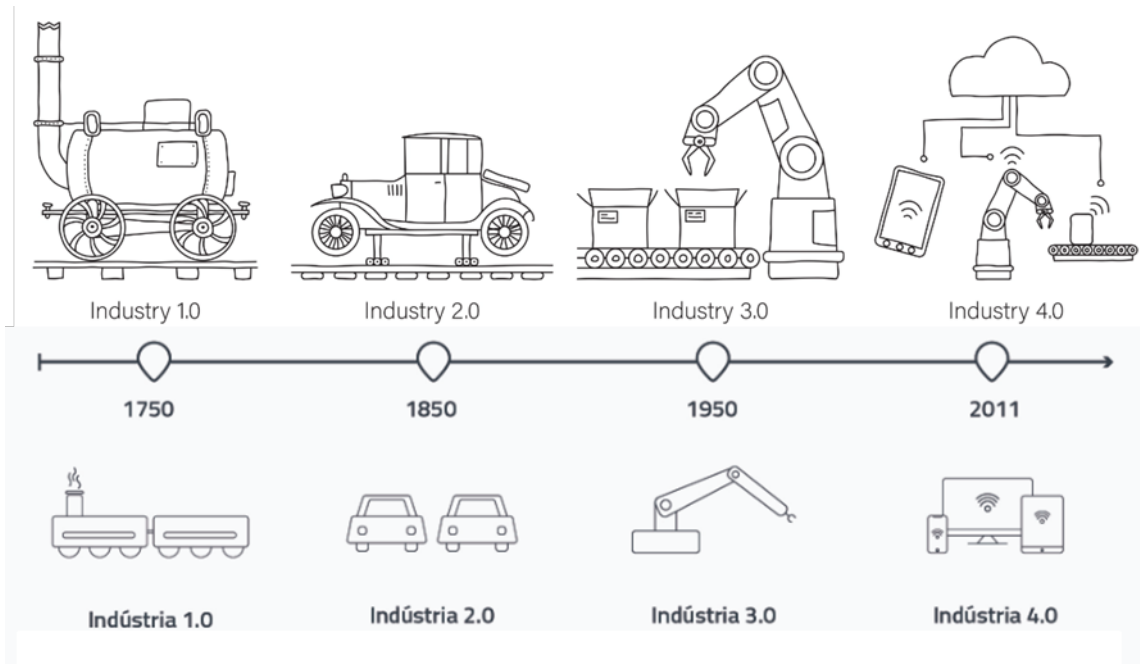


Figura 1 - As várias fases da revolução industrial.[2]

2.1.1. ROBÓTICA

Numa altura em que os sistemas automáticos, os sistemas inteligentes, a inteligência artificial e os robôs são elementos do nosso dia a dia e ameaçam fazer uma transformação radical na forma como vivemos e trabalhamos, faz sentido estudar os fundamentos de uma das áreas mais importantes nos desenvolvimentos que permitiram a quarta revolução industrial: a robótica Industrial[2]. Trata-se de uma área muito vasta, que integra conhecimentos de muitas outras áreas científicas e técnicas.

Embora existam muitos tipos diferentes de robôs industriais, existem alguns principais tipos que são utilizados por diferentes fabricantes.

- **Robôs cartesianos:** são também conhecidos como robôs lineares. Usam o sistema de coordenadas cartesianas, estes robôs trabalham em 3 eixos lineares, o que significa que se movem em linhas retas em 3 eixos diferentes. São populares porque são flexíveis em termos do que podem fazer. A sua velocidade, precisão, tamanho e comprimento do curso podem ser ajustáveis. São frequentemente utilizados para impressão 3D e máquinas CNC.



Figura 2 - Robô cartesiano da campetella.[3]

- **Robôs articulados:** A sua configuração e movimentos mecânicos assemelham-se muito aos braços humanos. A maioria tem 4 a 6 eixos, sendo que cada eixo suplementar permite um maior grau de liberdade no que toca à sua movimentação. Tipicamente, os robôs articulados são aplicados em tarefas como a soldadura, manipulação de objetos, embalagem, tratamento de máquinas, e montagem numa linha de produção.



Figura 3 - Robo articulado da Kuka.[4]

- **Robôs scara:** scara é um acrónimo que significa “Selective Compliance Assembly Robot Arm” ou “Selective Compliance Articulated Robot Arm”. Trata-se de um robô que se movimenta ao longo de 3 eixos tal como os robôs cartesianos, mas para além disso também permitem um movimento rotacional ao longo de um eixo. Os robôs scara destacam-se nos movimentos laterais e são normalmente mais rápidos e têm uma integração mais fácil do que os robôs cartesianos. Tipicamente, os robôs scara são utilizados para montagem como para aplicação na aérea da biomedicina.



Figura 4 - Scara robô da fanuc.[5]

- **Robôs delta:** Os robôs delta, possuem três braços ligados a uma única base, que é montada por cima do espaço de trabalho. Os robôs delta possuem uma movimentação precisa e delicada isto tudo a alta velocidade. Os robôs delta são frequentemente utilizados para aplicações rápidas de recolha e colocação nas indústrias alimentar, farmacêutica e eletrônica.



Figura 5 - Robô delta da fanuc.[6]

- **Robôs colaborativos:** Robôs colaborativos são robôs que podem interagir diretamente e seguramente com os humanos numa célula de trabalho. São tipicamente utilizados para a recolha e colocação de objetos, e inspeção de qualidade.



Figura 6 - Robô colaborativo da Omron.[7]

O mercado global de robótica foi avaliado em 27,73 bilhões de dólares em 2020 e deve atingir 74,1 bilhões até 2026.[8]

2.1.2. GRIPPERS

A evolução da tecnologia está associada ao trabalho do ser humano que sempre procurou em adquirir novas competências, conhecimentos, métodos de trabalho e ferramentas específicas com o objetivo de facilitar as suas tarefas e otimizar as mesmas.[9] O crescimento da indústria robótica para tarefas que por norma são executadas via a manipulação de um ser humano mais especificamente por mãos humanas, levou à necessidade de aprofundar o conhecimento sobre equipamentos de manipulação mais eficazes, especialmente ferramentas de preensão mais comumente chamadas de “grippers” ou “garras”. No entanto, os robôs não são simplesmente um substituto para as pessoas. A sua relevância é frequentemente para além da capacidade física ou temporal da mão de obra convencional. Exemplos incluem, trabalho com condições perigosas ou trabalho repetitivo.[10]

As garras são ligações ativas entre o equipamento de manipulação e a peça que está a ser manipulada. As suas funções dependem das suas aplicações específicas e incluem:

- garantir uma posição bem definida e orientação do objeto em relação à garra e ao equipamento de manipulação;
- ter a capacidade de trabalhar sob a influência de forças estáticas como por exemplo o próprio peso da peça assim como forças dinâmicas que incluem o movimento a aceleração e desaceleração da peça e por fim ter a capacidade de trabalhar com momentos e forças específicas;
- determinação e mudança de posição e orientação do objeto em relação ao equipamento de manipulação por meio de eixos.

As garras não são apenas aplicadas em robôs industriais, são consideradas um componente universal na automatização. As garras funcionam com:

- Robôs industriais (manipulação de objetos);
- Máquinas de troca de ferramentas;
- Manipuladores guiados à mão (preensão remota);
- Placa de fixação de peça num torno.

No que toca à área da robótica, as garras pertencem às unidades funcionais com a particularidade de ter uma grande variação no que toca ao design e funções da mesma. Isto é devido ao facto que embora o robô ser uma máquina flexível, as garras são concebidas para tarefas muito mais específicas

com aplicações particulares. No entanto, estas tarefas não se limitam apenas à função de “apertar” a peça, razão pela qual também se costuma usar um termo mais geral na indústria “end-of arm tooling”. [10]

Os diversos requisitos desde diferentes tipos de objetos a manipular assim como células de trabalho específicas com condições atípicas continuarão a estimular novos desenvolvimentos e novos conhecimentos na conceção de garras. As garras tornaram-se um fator essencial no que toca à viabilidade económica dos sistemas de montagem autónomos. Na Tabela 1 é possível identificar varios parâmetros que influenciam as garras.

Tabela 1 - Parâmetros que influenciem o tipo de garra a utilizar.

Condições ambientais	Propriedades da peça a manipular	Condições durante a operação de pick and place
Fator económico	Geometria	Tolerâncias de montagem
Propriedades de segurança	Forma	Acessibilidade
Requerimentos de instalação	Dimensão	Posição e orientação da peça
Temperatura	Tolerâncias	
Tipo de alimentação	Peso	
Condições de manutenção	Centro de gravidade	
Higiene	Superfície	
	Material	

Mais recentemente foram desenvolvidas garras miniaturizadas a fim de manipular componentes delicados na microtecnologia. Esta evolução tem estado em forte corroboração com o surgimento de métodos inovadores de prensão. O número de garras aplicadas em áreas não industriais, por exemplo, no setor da engenharia civil, setor aeronáutico e medicina, está constantemente a aumentar.

2.1.2.1. CLASSIFICAÇÕES DAS GARRAS

As garras podem ser classificadas em quatro tipos, de acordo com o seu princípio de funcionamento, ou método de preensão [10]:

- Impacto: As garras deste tipo necessitam do movimento dos dedos da garra de forma a produzir a força necessária. Aqui é possível distinguir forças de preensão de forças de retenção. A força de preensão é aplicada no início do processo de agarrar o objeto enquanto a força de retenção é mantida, até libertação dele, e é geralmente inferior em magnitude à força de preensão.

- Ingressivo: Resultam na deformação ou penetração da superfície do objeto até uma dada profundidade. É feita à custa de ganchos e agulhas. A preensão de continuidade implica um contacto direto entre o sistema garra-objeto, utilizando adesão térmica ou química.

- Continuidade: Geralmente são usadas para preensão de microcomponentes, utilizando técnicas de tensão superficial ou processos térmicos para objetos flexíveis têxteis, carbono e fibra de vidro.

- Atritivo: Pode ser utilizada para materiais ferrosos, com recurso à adesão magnética, em microcomponentes e materiais leves com recurso à adesão elétrica e em materiais rígidos não porosos com o uso da sucção a vácuo.

Portanto, considerando todas as características do objeto a manipular, como por exemplo, a finalidade, massa, volume ou coeficiente de fricção, método de preensão, a garra deve ser dimensionada, de forma a satisfazer todas as funções exigidas. Geralmente, os métodos de preensão do tipo impacto são mais utilizados para objetos rígidos com superfícies de contorno regular. Já a preensão ingressiva é utilizada em objetos flexíveis como a indumentária. Embora possam ser utilizados grippers universais com amplas faixas de preensão para várias formas de objetos, em muitos casos devem ser adaptados à forma específica da peça de trabalho. Na Figura 7 estão ilustrados possíveis métodos de preensão de um objeto esférico.

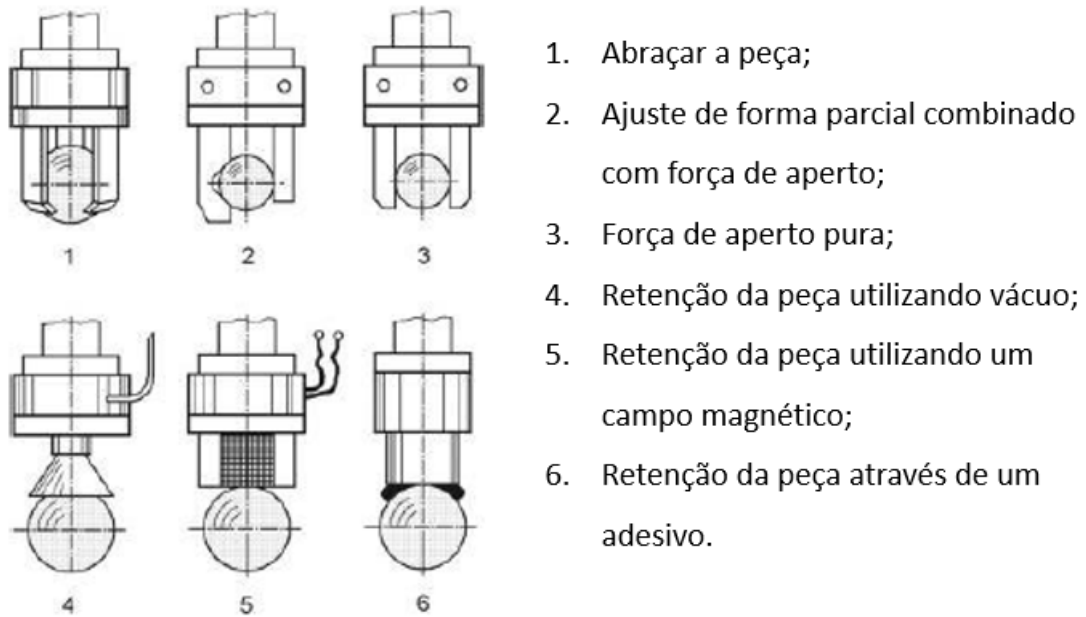


Figura 7 - Métodos de prensão para um objeto esférico[10].

Três das formas mais usuais (impactivo, atritivo e contínuo) de prensão de objetos estão representadas em seis exemplos diferentes Figura 7. Podem ser diferenciados entre as forças de prensão e de retenção. Enquanto a força de prensão é aplicada no ponto inicial de contacto, a força de prensão mantém-se até à libertação do objeto. Em muitos casos, a força de retenção pode ser mais fraca do que a força de prensão.

2.1.2.2. TIPOS DE ATUAÇÃO

Relativamente aos tipos de atuação existentes, estes podem ser os seguintes:

- **Pneumático:** A atuação pneumática faz uso de fluidos compressíveis, usualmente o ar, para obtenção de energia. A pressão de trabalho, quando comparado com drives hidráulicos, faz que esta solução seja a mais segura e fácil de trabalhar. Ao contrário de outros líquidos, as propriedades dinâmicas do ar tais como a viscosidade nula e rigidez baixa tornam esta atuação mais atrativa. Algumas desvantagens são o potencial ruído causado pelo sistema e a facilidade de fugas do ar pressurizado com consequentes perdas de energia. Para cargas pesadas que exijam forças consideráveis com trajetória de movimento pré-definidas será melhor a utilização de outros modos de atuação, tais como atuação hidráulica. Podem-se categorizar os atuadores pneumáticos existentes em atuadores pneumáticos lineares, multi-posição e angulares.
- **Hidráulico:** Os atuadores hidráulicos são adequados a aplicações que exijam elevada força mecânica já que conseguem produzir forças vinte e cinco vezes superiores às atingidas com

cilindros pneumáticos de igual tamanho. Algumas das vantagens são o elevado rácio de potência/peso e a capacidade de manter força e binário constante sem fornecer mais fluido ou pressão (devido à incompressibilidade dos fluidos). As desvantagens são potenciais fugas como no caso dos atuadores pneumáticos, com conseqüentes perdas energéticas e o agravamento da poluição ambiental que não existe no caso pneumático. Outra desvantagem é a necessidade de um elevado número de diferentes componentes como motores, válvulas, bombas hidráulicas, equipamento de redução de ruído, tornando o sistema final maior e mais difícil de acomodar. Esta atuação é ainda uma das mais utilizadas especialmente quando são precisos movimentos rápidos com grande capacidade de carga. Podem-se categorizar em atuadores hidráulicos lineares, rotativos, existindo também soluções híbridas eletro-hidráulicas.

- **Elétrico:** Atualmente, cerca de 50% dos robots utilizam unidades elétricas. As vantagens do uso destas são a facilidade de compra dos motores e o movimento preciso e seguro para sistemas de controlo sofisticados. Ainda, é mais fácil de instalar quando comparado com sistemas pneumáticos e hidráulicos, ocupam um menor volume e não necessitam de elevada manutenção pois não existe perigo de fugas. Apresentam menores perdas e reduzidos efeitos negativos no ambiente devido à poluição. No entanto, apresentam desvantagens tais como o rácio de potência/peso ou binário/peso que é pior nos motores elétricos comparado às soluções hidráulicas.
- **Eletromagnético:** O princípio de funcionamento da garra magnética consiste na aplicação de uma força magnética libertada após a magnetização. Essa força magnética pode pegar, segurar, transportar a peça ferromagnética e colocá-la noutra posição, sendo tudo isto feito automaticamente pelo robô. Isto permite aos robôs de manipular laminas de aço por exemplo.
- **Adesivo:** Uma garra adesiva consiste num sistema que agarra objetos aderindo literalmente a eles. Na sua forma mais primitiva, este tipo de garra consiste numa haste, esfera, ou outro objeto sólido coberto com fita adesiva de duas faces. Uma grande vantagem da pinça adesiva é o facto de ser simples. Desde que o adesivo mantenha a sua adesividade, continuará a funcionar sem manutenção. No entanto, existem certas limitações. A mais significativa é o facto de que o adesivo não pode ser facilmente desativado a fim de libertar a aderência sobre um objeto. Alguns outros meios, tais como dispositivos que fixam o objeto agarrado no lugar, devem ser utilizados.

2.1.2.3. COMPONENTE A MANIPULAR

Os componentes a manipular são o ponto de partida de qualquer desenvolvimento de uma garra. Antes dos componentes serem agarrados é preciso ter em conta as características do mesmo que define a maneira de como o objeto vai ser manipulado. A partir daí, deve ser definido o estatuto da peça isto é como é que a peça é apresentada ao próprio gripper.

Na Tabela 2 à semelhança da tabela anteriormente apresentada estão ilustradas algumas características a ter em conta dos componentes que tem grande importância para a definição do gripper afetando assim a sua função e geometria. As características do componente podem ser divididas em duas partes, características da peça e comportamento estático e dinâmico da peça.

Tabela 2 - Características essenciais para a definição do gripper relativamente ao componente.

Características do componente			Comportamento do componente	
Geometria	Elementos de forma	Propriedades físicas	Estático	Dinâmico
Dimensões	Chanfros	Material	Estabilidade	Escorregamento
Simetria	Filetes	Rigidez	Orientação	Rotatividade
Tamanho	Furos	Peso	Estado de equilíbrio	Estabilidade direcional
	Slots	Superfície		
	Entalhes	Centro de gravidade		

Uma das características mais importantes é a geometria da peça, uma vez que ela define as opções para aplicar força de prensão no componente. No que toca às características de elementos de forma, servem principalmente para a orientação dos componentes e são essenciais no momento da inserção do componente. As características físicas do componente determinam a forma como as forças são aplicadas. Por fim, o comportamento do componente é definido quando o componente está em repouso e quando está em movimento. Um componente que tem uma superfície escorregadia ou com possibilidades de rodar deve ser mantido estável para evitar que mude de posição quando estiver a ser agarrado.

A Figura 8 ilustra possíveis métodos de contacto para as três formas geométricas básicas mais utilizadas, onde k corresponde ao número de pontos de contacto. As superfícies ativas são designadas através das letras em que A corresponde a um ponto de contacto, B linha de contacto, C contacto de superfície, D contacto circular e E duplo contacto de linha.

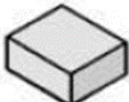
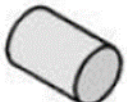

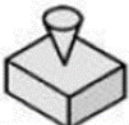
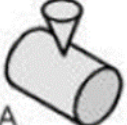
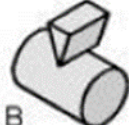



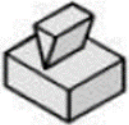
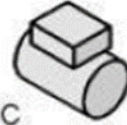


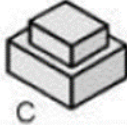
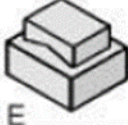
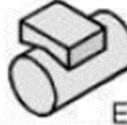

		Formas do objeto		
		Cúbico	Cilíndrico	Esférico
k				
	1	 A	 A  B	 A  B  C
	2	 B	 C  E	 E
	3	 C  E	 E	 D

Figura 8 - Possíveis pontos de contacto entre componente e dedo (adaptado de [10]) .

Um dos elementos mais importantes relativamente aos métodos de apreensão é a estabilidade do componente quando está agarrado. O desalinhamento do componente agarrado devido ao seu peso ou a sua inercia não deve ocorrer durante todo o processo. Isto deve ser assegurado pela força de aperto nos pontos de contacto ou pelas superfícies de contacto entre componente e dedo. Grandes superfícies de contacto melhoram a estabilidade do componente e permitem uma redução no que toca à força de aperto. Isto também pode ser conseguido através do aumento de superfícies de contacto. Alguns exemplos de varios pontos de contacto entre dedos e objeto estão ilustrados na Figura 9.

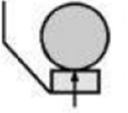




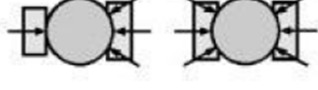
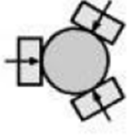
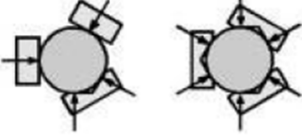
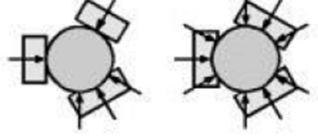
	1 ponto de contacto	2 pontos de contacto	Multi-pontos de contacto
1 dedo			
2 dedos			
3 dedos			

Figura 9 - Diferentes métodos de prensão dependendo do número de dedos (adaptado de [10]).

A máxima correspondência entre dedo e perfil do objeto permite a máxima estabilidade do objeto quando agarrado. Relativamente a objetos sensíveis, deve ser sublinhado que a prensão do mesmo com a força mínima só é possível quando a prensão é assegurada pela toda a sua forma, isto é, correspondência entre dedo e objeto em que o dedo deve adquirir a mesma forma do objeto por toda a sua superfície. Existem dificuldades semelhantes na manipulação de pequenos componentes utilizados em microsistemas. Um contacto físico pode facilmente levar a danos na sua superfície.

De forma a resumir os parâmetros a ter em conta no que toca ao estudo e seleção de um gripper foi feito um diagrama que resume todos os principais aspetos a ter em conta representado na Figura 10.

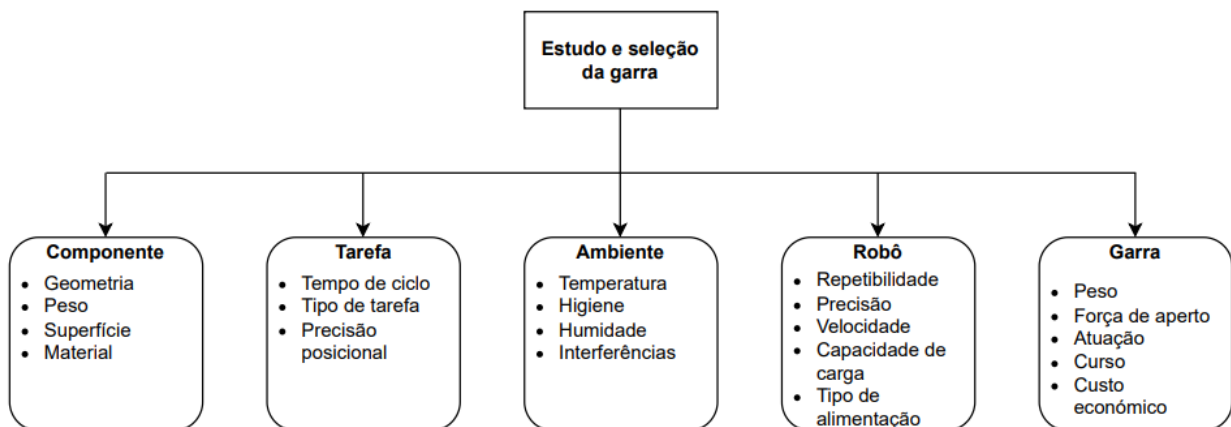


Figura 10 - Parâmetros que governem a seleção da garra.

2.2. MECANISMOS DE ACOPLADORES RÁPIDOS

Como referido, os robôs estão a se tornar cada vez mais uma parte integrante de sistemas industriais para a produção e não só. Robôs colaborativos tornam a robótica ainda mais versátil, permitindo uma interação próxima entre operadores e a célula de trabalho tornando o espaço mais dinâmico. O número de tarefas que um robô pode realizar é diretamente influenciado pelo número de ferramentas que tem à sua disposição e é um ponto-chave para a versatilidade do robô. Por conseguinte, há décadas foram conduzidas investigações em mecanismos de mudança de ferramentas. Os mecanismos de troca de ferramentas robóticas permitem a troca da ferramenta durante a montagem ou processos de fabrico. Há alguns fabricantes de acessórios robóticos que oferecem uma gama de diferentes tipos de acopladores rápidos, e podem ser geralmente agrupados em acopladores rápidos manuais e acopladores rápidos automático [11].

No que toca à seleção de um dos dois sistemas acima mencionado, é importante ter em consideração a frequência de troca de ferramentas que se pretende.

Se a frequência variar entre ocasionalmente a poucas alterações num dia, então é possível utilizar acopladores rápidos manuais. Mas, quando essa troca aumenta para além de um certo limite, torna-se impraticável fazê-lo manualmente, pelo que, nestes casos, é recomendado encontrar uma forma e utilizar acopladores rápidos automáticos.

Para além dos acopladores rápidos, os fabricantes propõem uma gama de acessórios como por exemplo módulos elétricos, permitindo estabelecer uma comunicação entre a ferramenta e o robô tornando assim os acopladores rápidos como um meio de comunicação intermedio entre ferramenta e robô.

2.2.1. ACOPLADORES RÁPIDOS MANUAIS

Como referido anteriormente os acopladores rápidos manuais tornam-se relevantes quando a frequência de troca de ferramentas é bastante baixa. A composição básica de um acoplador rápido manual consiste em duas partes, uma diretamente ligada à cabeça do robô e outra ligada à ferramenta. Existem alguns modelos disponibilizados por varios fabricantes, o princípio de funcionamento permanece sempre o mesmo o que difere os varios modelos são os geralmente os mecanismos de bloqueio acessórios assim como o seu peso. Um exemplo de um acoplador rápido manual apresentado pelo fabricante *Zimmer* está representado na Figura 11.



Figura 11 - Acoplador rápido manual HWR2031F[12].

O sistema de bloqueio é feito através do pino central representado a cinzento do lado esquerdo da Figura 11, onde se vem juntar a parte que esta diretamente ligada à ferramenta (lado direito) e que através de uma rotação de 90° permite o bloqueio do sistema.

2.2.2. ACOPLADORES RÁPIDOS AUTOMÁTICOS

A composição dos acopladores rápidos automáticos não difere muito da composição dos acopladores manuais, ou seja, tal como os acopladores manuais os automáticos também são compostos por duas partes, uma diretamente ligada à cabeça do robô e outra ligada à ferramenta. O que difere é o sistema de bloqueio que como o título indica é feito automaticamente. Dentro desses sistemas de bloqueio automáticos apresentados pelos fabricantes há duas divisões que podem ser feitas, sistema de bloqueio ativo e passivo. O sistema de bloqueio ativo consiste em atuadores elétricos ou pneumáticos que permitem estabelecer a ligação entre as duas metades do acoplador. Um sistema de bloqueio passivo, por outro lado, utiliza o próprio movimento do “pulso” do robô para efetuar a ligação um pouco à semelhança dos acopladores manuais, mas desta vez efetuado pelo próprio robô. Um exemplo de um acoplador automático ativo está ilustrado na Figura 12.



Figura 12 - Acoplador automático do fabricante LT.[13]

Em que o bloqueio se faz através de ar pressurizado, quando encaixado um no outro é ativada uma ligação pneumática que é responsável pelo mecanismo de bloqueio das duas partes. Este modelo também está equipado com um sistema de segurança permitindo garantir o bloqueio do sistema mesmo havendo uma falha na alimentação pneumática, ou seja, caso durante o funcionamento por motivos alheios houver uma falha no sistema pneumático as duas partes do acoplador permanecem ligadas entre si.

2.3. PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

Durante a última década, a indústria eletrônica esteve sujeita a taxas de crescimento consideravelmente superiores à média devido a produtos inovadores e à utilização abrangente de dispositivos eletrônicos de controle para quase todos os tipos de produtos técnicos. Assim, a montagem de placas de circuitos impressos (PCB) pode ser vista como um dos ramos mais dinâmicos da indústria eletrônica. Na manufatura eletrônica, sistemas de montagem altamente automatizados são utilizados para montar os componentes em locais pré-especificados nos PCB's. Devido à tremenda complexidade da tecnologia de processos e enormes investimentos de capital, planejamento e controle altamente sofisticados são necessárias estratégias para o funcionamento das fábricas de montagem. [14]

Por outras palavras, as crescentes aplicações industriais e de consumo de PCB, juntamente com os avanços tecnológicos como a inteligência artificial e a automação, conduziram ao crescimento rápido e contínuo do mercado global de PCB. A evolução do mercado mundial de PCB deverá atingir 86.17 mil

milhões de dólares até 2026, contra 70.92 mil milhões em 2020, atingindo uma taxa de crescimento anual composta de 3.3% durante 2021 e 2026 [15]. Como mencionado anteriormente, os PCBs são indispensáveis em praticamente todas as indústrias em que se possa pensar. Dito isto, na Figura 13 estão as indústrias de topo que dependem fortemente dos PCB [16].

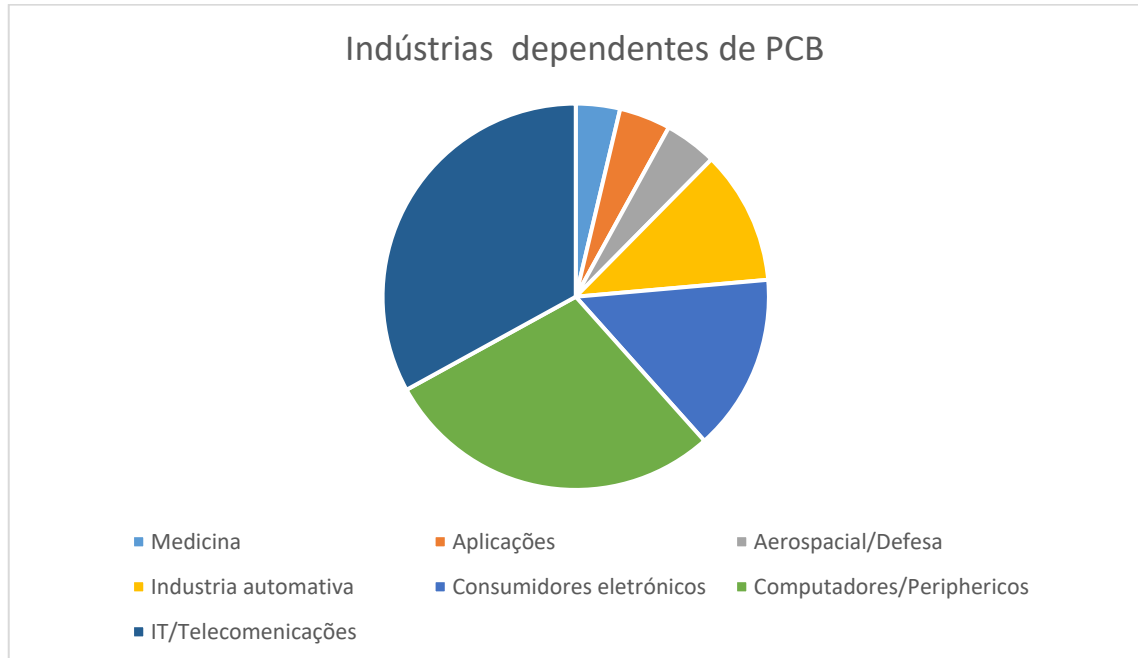


Figura 13 - Gráfico de repartição de PCB's na indústria (adaptada de [17]).

Para formar um sistema operativo electrónico, todos os seus componentes têm que estar interligados e ter uma disposição bem definida, como base para esses sistemas são usadas placas de circuito impressos (PCB). A montagem de placas de circuito impresso (PCBs) é em geral, uma tarefa complicada. Máquinas sofisticadas devem realizar operações específicas, envolvendo diferentes tipos de ferramentas e vários componentes, de modo a proceder à montagem das placas. Inúmeros constrangimentos causam este processo de montagem desafiante. Além disso, a concorrência enfrentada por um fabricante de PCBs causa uma necessidade de taxas de produção elevadas. Em resposta a essa necessidade, os fabricantes optem cada vez mais por incorporar processos automatizados na linha de produção.[18]

As placas de circuitos impressos (PCBs) podem ser divididas em duas classes que têm características comuns com base nas suas funções finais [19]. Estas duas têm materiais, requisitos e funções diferentes e, como resultado disso, processos de fabrico diferentes. A primeira classe contém PCB analógicos, PCB de radiofrequências e PCB de micro-ondas, tais como encontrados em transmissores, recetores, fornos micro-ondas e produtos similares. A segunda classe corresponde a

circuitos de base digital, tais como computadores, processadores de sinais, impressoras e outros produtos que contêm circuitos digitais complexos.

PCB analógico/RF/micro-ondas	PCB com circuitos de base digital
Baixa complexidade do circuito	Alta complexidade do circuito
Minimização do espaço é essencial	A minimização do espaço é desejável
Essencialmente constituído por 1 ou 2 camadas	PCB constituído por várias camadas
Número de componentes moderado	Constituído por um grande número de componentes
A correspondência precisa da impedância é frequentemente requisitada	Admite-se uma certa tolerância no que toca aos ajustes da impedância

2.3.1. COMPOSIÇÃO

Calor e adesivos com o objetivo de unir várias camadas numa só, são os principais métodos utilizados para a construção de um PCB. A composição de um PCB pode ser dividida em 4 partes [20] (Figura 14).

1. Substrato;
2. Máscara de solda;
3. *Silkscreen*;
4. Lamina de cobre.

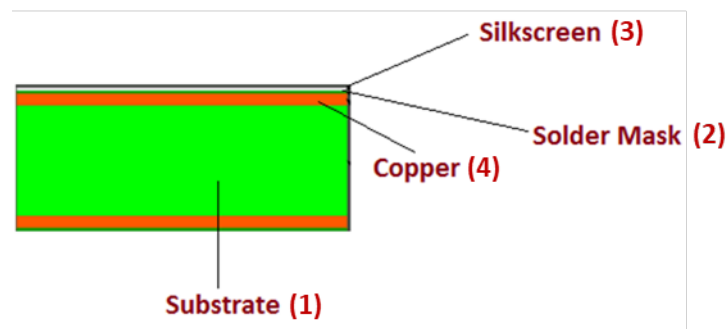


Figura 14 - Composição de um PCB. [20]

Substrato: A fase inicial de construção de um PCB é quase sempre o material de base do substrato. O tipo mais comum de substrato utilizado atualmente é um material com grau FR-4. A denominação FR refere-se à resistência do material quando sujeito a chamas e indica que o material está em conformidade com as normas sobre a inflamabilidade. O material em si é constituído por películas laminadas em epóxi reforçadas com fibra de vidro [21]. A espessura do material varia em função do fabricante, contudo apresenta sempre dimensões de poucos milímetros. A utilização de um material de núcleo sólido como

a fibra de vidro é o que dá ao PCB a sua rigidez e ajuda a evitar danos provocados por quebras acidentais. No entanto, existem também PCB flexíveis que são utilizados em situações que requerem uma flexibilidade dos componentes eletrônicos, estes PCB's são construídos de plástico flexível que também é capaz de resistir a altas temperaturas. Muitas vezes, o primeiro bloco de construção de um PCB é apenas uma peça de chapa FR-4.

Lâmina de cobre: Após o substrato, é aplicada uma camada de cobre, que é colocada com um adesivo e depois fixada ao substrato por meio de calor. O número de camadas de cobre pode variar entre 1-16 ou mais. A Espessura do cobre varia com o seu peso e com o desempenho pretendido. PCB's que estão sujeitos a altas intensidades tendem a ter uma maior espessura de cobre.

Entre a folha de cobre e a camada do núcleo, pode haver uma camada de resina que foi impregnada com epóxi. Essa camada é colada entre o núcleo e a folha de cobre. Durante o processo de ligação, são aplicados calor e pressão, criando assim uma “sanduiche” permitindo a ativação do epóxi de modo a ligar o núcleo e o cobre. Este processo corresponde geralmente ao processo de fabrico de placas de circuito impresso com multicamadas.

Máscara de solda: A seguir à folha de cobre é aplicada uma camada de máscara de solda. A máscara de solda é o que dá ao PCB a sua cor. Normalmente, as camadas de máscara de solda de PCB são verdes, mas alguns fabricantes utilizam cores diferentes, como o vermelho. A máscara de solda é utilizada pelos fabricantes para manter o cobre isolado de outros metais, ou outros tipos de materiais condutores.

Silkscreen: Após a aplicação da máscara de solda, a última camada é uma camada de serigrafia, geralmente em tinta branca. A serigrafia é utilizada para adicionar informação ao PCB que lhe permite montar mais facilmente e ser mais compreensível pelos humanos. Normalmente esta informação toma a forma de números, letras e outros símbolos, tais como notações de função para os pinos ou LEDs.

2.3.2. TIPOS DE PCB 'S

Dentro da variedade de gamas de PCB's rígidos e flexíveis disponíveis, os rígidos diferenciam-se pelo número de camadas de cobre [19].

- **Camada única:** Diz-se que um PCB é de camada única para as placas que têm apenas uma camada condutora de um lado da placa (Figura 15). No entanto os componentes podem ser montados em ambos os lados da placa. Existe apenas um lado disponível para o circuito, ou seja, o cruzamento de fios não é possível e isto limita a utilização de placas para circuitos únicos.



Figura 15 - PCB de camada única.

- **Camada dupla:** Um PCB é de dupla camada quando em ambos dos seus lados se encontra uma camada de cobre. Entre as camadas que estão presentes nos dois lados, situa-se uma ponte elétrica. Como é de camada dupla, a área disponível para encaminhamento é duas vezes maior comparada com as placas de uma camada. Daí que os fios podem agora cruzar-se uns com os outros, permitindo esta placa para circuitos complexos.



Figura 16 - PCB camada dupla.

- **Multicamadas:** Estes PCB têm uma ou mais camadas condutoras inseridas no interior, além de ter uma camada condutora em cada superfície exterior. As camadas interiores são ligadas às camadas exteriores através das pontes elétricas (FIGURA 17). Estes tipos de PCB tem uma ampla variedade de aplicações digitais que vão desde computadores pessoais a supercomputadores. O número de camadas varia de 3 até 50 para aplicações especiais. Os materiais laminados são quase sempre algum tipo de fibra de vidro impregnado com uma resina que é escolhida para satisfazer requisitos tais como a capacidade para suportar temperaturas elevadas, custo, constante dielétrica, ou resistência a produtos químicos.

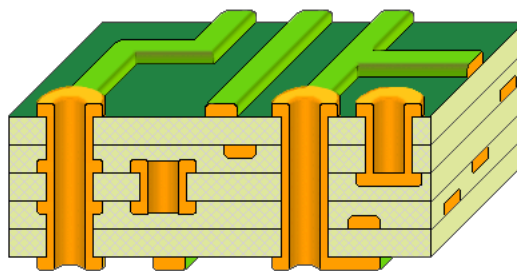


Figura 17 - PCB multicamadas [22].

- **Flexíveis:** Estes circuitos são feitos através da laminação de folha de cobre sobre um substrato flexível como o Kevlar ou Kapton (FIGURA 18). Podem variar desde uma única camada condutora até várias camadas. São frequentemente utilizados para substituir um circuito de cabos por um circuito plano para poupar peso ou espaço. Muitas vezes, o circuito flexível contém componentes ativos e passivos. As aplicações comuns são as câmaras, impressoras, discos duros, satélites e na aviação



Figura 18 - PCB flexível [23].

2.4. PROCESSO DE MONTAGEM DE COMPONENTES ELETRÔNICOS EM PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

Existem duas etapas básicas na montagem de componentes numa placa de circuito impresso, a primeira consiste na colocação dos componentes (resistências, condensadores, etc.) sobre o substrato e a segunda consiste em soldar esses componentes no sítio pretendido. Embora esta seja uma descrição bastante simples, quase todas as operações de montagem de eletrónica são, de facto, consideravelmente mais complexas. Uma listagem mais exata, embora ainda relativamente geral, das etapas do processo de montagem é proposta por [19]:

1. Preparação das superfícies dos componentes e do substrato a soldar;
2. Aplicação do fluxo e da pasta de solda;
3. Fusão da pasta de solda para completar a junta;
4. Limpeza pós-processamento do conjunto soldado;
5. Inspeção e teste.

Algumas destas etapas podem ser combinadas ou eliminadas em conjunto, dependendo da particularidade da linha de produção.

Os processos de montagem dos componentes eletrónicos nas placas de circuito impresso, têm sofrido várias alterações ao longo dos anos de forma a tornar estes processos cada vez mais

automatizados, eficientes, rápidos e económicos. Os processos podem ser divididos nas três seguintes categorias, que são descritas pelos tipos de componentes utilizados nas placas de circuito impresso:

1. Tecnologia com furo passante (THT), que utiliza componentes de montagem em que a ligação à placa se faz através dos pinos do componente inseridos nos furos da placa;
2. Tecnologia de montagem de superfície (SMT), que utiliza componentes montados na própria superfície da placa;
3. Tecnologia mista, que é uma combinação dos processos THT e SMD onde na mesma placa de circuito impresso é aplicado os dois tipos de componentes.

As diferentes tecnologias de montagem de componentes eletrônicos encontram-se no Anexo 1. Anexo 1

A Figura 19 ilustra os princípios de ambas as tecnologias THT e SMT acima enumeradas.

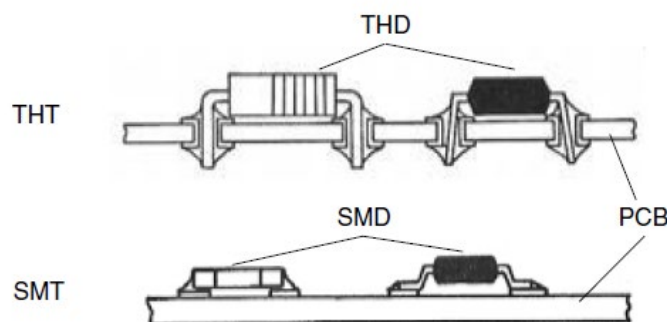


Figura 19 - Tecnologia THT e SMT[19] .

Dentro de cada uma destas tecnologias de montagem existem diferentes níveis de automatização. O grau de automatização será otimizado, dependendo do produto, lista de materiais, capital de investimento, e custos reais de fabrico.

2.4.1. MÁQUINAS "PICK AND PLACE" PARA COMPONENTES ELETRÓNICOS EM PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

A operação de colocação de componentes, frequentemente chamada "pick and place", consiste em todos os passos necessários para remover um componente da sua unidade de armazenamento e montá-lo na placa de circuito impresso. Devido à extrema precisão necessária ($\pm 0,2$ mm ou menos para muitos tipos de componentes) obriga à introdução de máquinas automatizadas para todos os volumes de produção.

A sequência básica de colocação consiste nos seguintes passos:

1. Localização do PCB: O posicionamento do PCB deve estar bem definido;

2. Coordenação entre Máquina e placa: O alinhamento entre a placa com o sistema de coordenadas da máquina deve estar bem definido;
3. Informação sobre o componente: é necessário comunicar à Máquina o tipo de componente que se pretende montar assim como o local pré-definido onde deve ser montado;
4. Recolha do componente: Extração do componente do seu alimentador e preparação do mesmo para realizar a sua colocação;
5. Centramento do componente: Alinhamento entre o componente e o sistema de coordenadas da Máquina;
6. Colocação do componente: é feito o transporte do componente até ao local pretendido para proceder à sua colocação.

Dependendo dos requisitos pode ser necessário adicionar um passo, nomeadamente a testagem e a inspeção dos componentes antes de serem montados.

As três principais características de uma máquina “pick and place” consistem em:

1. Precisão;
2. Rapidez;
3. Flexibilidade.

A precisão de uma máquina define o intervalo de tipos de componentes que a máquina é capaz de manipular. A rapidez em que a máquina é capaz de operar, define a capacidade de volume de produção, e a flexibilidade determine a capacidade da máquina em trabalhar com diferentes tipos de componentes.

Na Figura 20 observa-se um extrato de valores de características de uma máquina de montagem de componentes multifuncional do tipo “pick and place” para linhas e montagem SMD. De notar que a precisão da mesma corresponde a 30μ e a repetibilidade a 15μ e uma precisão angular de montagem de $\pm 0,1^\circ$.

Mounting accuracy (X,Y) $\mu + 3\sigma$	$\pm 50\mu$ for chips 01005-0201-0402	Line array camera PA 2969/35 required
	$\pm 75\mu$ for all chips and SOIC (this is lead dependent) $\pm 30\mu$ for QFP's	When using Line array camera PA 2969/36 (all placement heads and all placement angles, with special components and board)
Mounting accuracy (ϕ) 3σ	For Chips and SOIC (Lead dependent) $\pm 0.1^\circ$ for QFP's	Line array camera system (all placement heads and all placement angles)
Mounting repeatability X,Y 3σ	15μ for QFP's	
Mounting angle	0° up to 360° (programmable in steps of 0.01)	

Figura 20 - Características de uma máquina "pick and place" para linhas de montagem SMD.

2.5. ANÁLISE E CARACTERIZAÇÃO DE MÉTODOS E FERRAMENTAS DE PROJETO

A engenharia de projeto/design é uma área essencial para um projetista principalmente quando se trata de uma inovação. Atualmente, é uma área que é incorporada em praticamente todas as escolas de engenharia e aplicada na indústria. No entanto é uma área bastante recente, que nos anos 1970 era considerado como uma arte mais de que engenharia devido à falta de conhecimento das metodologias de projeto e design. A principal função do engenheiro consiste na aplicação dos seus conhecimentos na solução de um dado problema e por fim otimizar essas soluções respeitando os requisitos e constrangimentos inicialmente definidos. A área de design e concepção de um produto, torna-se uma área muito interessante, mas também complexa uma vez que envolve uma ampla gama de atividades que nem sempre pertencem à engenharia. Na Figura 21 observa-se todas as atividades envolvidas na engenharia de projeto.

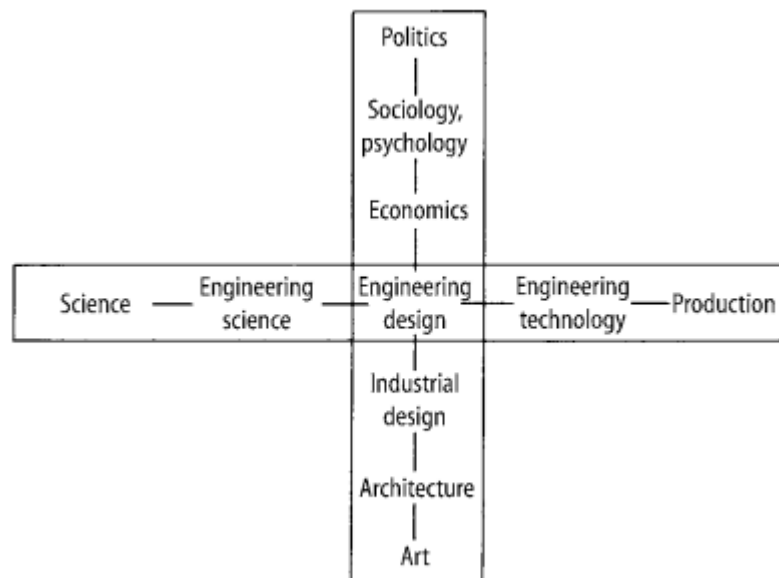


Figura 21 - Atividades envolvidas na área da engenharia de projeto[24].

Iniciativa, resolução, conhecimentos económicos, otimismo, trabalho em equipa são algumas das qualidades que um projetista deve ter.

De um ponto de vista sistemático a engenharia de projeto corresponde à otimização de um dado objetivo tendo em conta os seus constrangimentos. De um ponto vista organizacional, o design é uma parte essencial do ciclo de vida de um produto. Ciclo que geralmente surge de uma necessidade do mercado atual ou nova ideia. Neste caso há um planeamento que também é feito no fim do ciclo de vida do produto, tentando reciclar ou reutilizar o mesmo para outras funções, reduzindo assim o seu impacto ambiental. Este ciclo corresponde a retirar o máximo de valor possível de um produto no fim do seu ciclo

de vida. Daí a importância de um projetista estar em constante cooperação com especialistas de várias áreas científicas. A tarefa do projetista torna-se mais simples, tendo uma abordagem sistemática ao projeto através de um modelo, percebendo as várias fases do projeto assim como ter pleno conhecimento das atuais soluções presentes no mercado.

Assim sendo o trabalho de um projetista é dividido por duas partes, uma parte “direta” que está relacionado diretamente com o produto, geração da solução conceitual, desenhos da solução adotada, desenvolvimento de um protótipo e otimização do mesmo. Por outro lado, a parte “indireta” que corresponde à recolha de informação, estudo do mercado, reuniões e coordenação dos vários membros da equipa.

2.5.1. METODOLOGIA DE PROJETO

Os mapas ou planos relativos ao desenvolvimento sistemático de um processo para um projeto, incluem etapas que estão ligadas entre si conjugando assim as várias fases do projeto. Não só considerando as várias fases do design, mas também considerando a organização e a informação. Estes mapas precisam de ser flexíveis e adaptáveis a qualquer tipo de problema e permitam persuadir e encorajar os projetistas a adotar formas de trabalho ainda mais aperfeiçoadas oferecendo um procedimento sistemático. Muitos destes mapas realçam a necessidade de um trabalho mais analítico, a preceder a geração da solução conceitual, garantindo que o objetivo que se pretende atingir esteja completamente percebido, e que nenhum elemento importante é descartado. Também incluem estratégias, regras e princípios para atingir objetivos específicos assim como métodos para solucionar problemas individuais ou tarefas parciais. No entanto as necessidades da experiência e o instinto de um projetista não deixam de ser relevantes, antes pelo contrário, a abordagem sistemática permite maximizar as competências de um projetista. Para além de maximizar as competências, também ajudam a tornar o projeto mais compreensível e fácil de explicar.

Assim sendo, um mapa para a metodologia de projeto deve:

- Permitir a aplicação de qualquer tipo de problema envolvendo a conceção e design de um produto;
- Promover a inovação assim como a compreensão, de modo a facilitar a procura das soluções ideais;
- Ser compatível com várias disciplinas;
- Facilitar aplicações de soluções conhecidas a tarefas relacionadas ao projeto;
- Ser fácil de compreensão;
- Refletir os conhecimentos da psicologia cognitiva e ciência moderna;

- Facilitar o planeamento e a gestão do trabalho em equipa assim como a sua integração;
- Fornecer orientação para os líderes da equipa de desenvolvimento de produto.

Assim, para o desenvolvimento deste projeto foi considerado um modelo apresentado por *Pahl* e *Beitz*, que depois foi trabalhado e adaptado pelo organismo “*Verein Deutscher Ingenieure*”. Desta forma o organismo desenvolveu o documento VDI 221 (Figura 22). Baseia-se numa análise elaborada de um sistema técnico, que sugere uma abordagem sistemática, em que o processo está subdividido em diversas etapas de trabalho, tornando-o numa abordagem racional e independente de qualquer ramo industrial. O objetivo do modelo é adaptar declarações gerais para os requisitos da engenharia de projeto e incorporar as etapas específicas de trabalho e tomada de decisão.

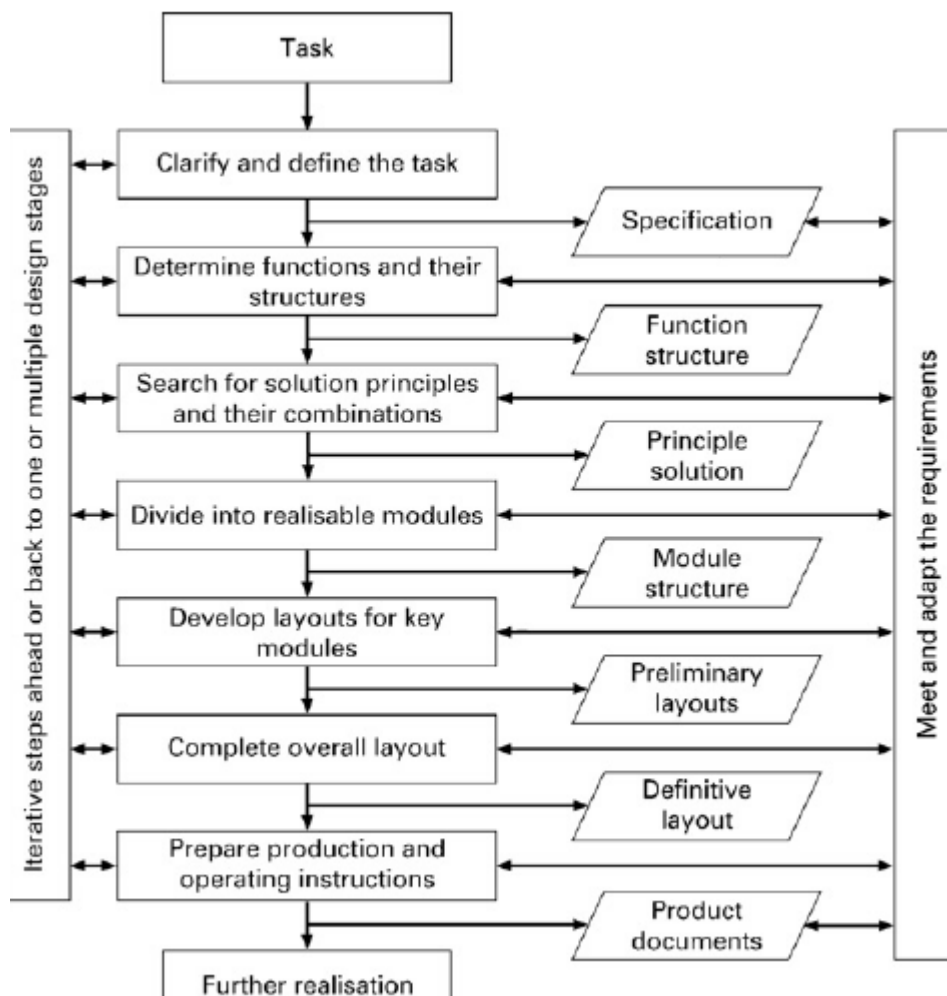


Figura 22 - Documento VDI 221 [25].

1. A primeira etapa, passa pela especificação e definição do objetivo, é uma etapa fundamental, que é constantemente revista e atualizada e usada como referência para todas as restantes fases. O pleno conhecimento do problema em si é crucial para o desenvolvimento do projeto.

2. A segunda etapa, consiste na determinação das funções necessárias para a conceção do projeto, e representação da estrutura de funções.
3. Na terceira etapa, procura-se os princípios de solução para todas as subfunções, as quais serão combinadas de acordo com a estrutura global de funções numa solução principal.
4. A quarta etapa consiste em dividir o problema em módulos realizáveis em que as soluções estão expostas numa estrutura de módulos para cada módulo fundamental.
5. Na quinta etapa, os módulos fundamentais são desenvolvidos em que é feita uma serie de esboços preliminares.
6. Na sexta etapa, são refinados e desenvolvidos os esboços, que nesta fase representam os esboços de soluções definitivas.
7. Por fim na última etapa é feita a preparação e elaboração dos documentos finais do produto.

De realçar que esta fase não tem necessariamente, de seguir esta ordem, são muitas vezes, levadas a cabo interactivamente em que as diferentes fases podem interagir umas com as outras, o que permite uma otimização de cada passo.

O modelo segue um procedimento sistemático, em que se analisa e compreende o problema de uma forma pormenorizada, o qual se divide em subproblemas e para os quais se encontram subsoluções adequadas que são combinadas numa solução final global como representado na Figura 23.

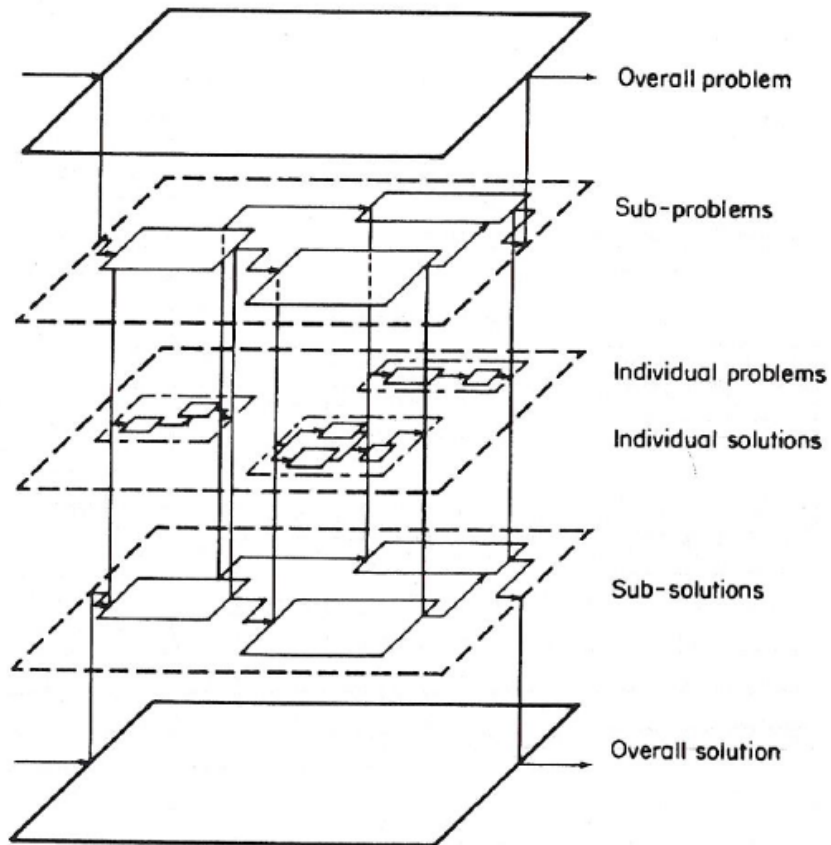


Figura 23 - Modelo do desenvolvimento do problema até à solução [26].

2.5.1.1. ESTRUTURA DE FUNÇÕES

A análise de sistemas técnicos torna claro que todos eles envolvem processos em que energia, material e sinais são transmitidos e convertidos numa chamada "black box system" ver Figura 24. Em certos sistemas um tipo de fluxo pode prevalecer sobre outros, dependendo do problema ou tipo de solução. Nesse caso distingue-se o fluxo predominante como fluxo principal. Apesar de haver um fluxo principal, geralmente todos os três entram em jogo. Não pode por exemplo, haver fluxo de material ou de sinais sem um fluxo de energia, por menor que seja. A conversão de energia nesses casos pode não dominar, mas continua a ser necessário para o sistema.



Figura 24 - Sistema "black box".

2.6. SELEÇÃO E DIMENSIONAMENTO

Na área de projeto mecânico a seleção e dimensionamento dos vários componentes que compõem o sistema torna-se crítica, o colapso ou mau funcionamento de um sistema mecânico deve-se geralmente a um dimensionamento pouco preciso ou a um mau selecionamento dos componentes, assim sendo, para que o sistema seja viável e cumprir todos os requisitos inicialmente pretendidos é importante perceber quais são os componentes que permitem chegar aos objetivos para depois poder definir as suas propriedades e proceder ao dimensionamento dos mesmos.

2.6.1. DIMENSIONAMENTO DE UMA MOLA

As molas são componentes mecânicos que definem a base de muitos sistemas mecânicos. A função das mesmas passa por armazenar ou absorver energia quando deformadas, exercer uma força de reação após deformação voltando assim ao seu estado de equilíbrio e permitem introduzir uma grande flexibilidade em sistemas.

Existem diferentes tipos de molas para aplicações específicas, como as molas de compressão, molas de tração, molas de torção, molas em espiral e por fim molas de laminas. Estes diferentes tipos de molas distingue-se pelas suas extremidades ou pela estrutura da mesma.

No caso das molas helicoidais de compressão as extremidades são preparadas conforme a necessidade de aplicação, para proporcionar maior estabilidade e assentamento na basa que irá sustentá-la. Distingue-se quatro tipos de extremidades diferentes representadas na Figura 25.

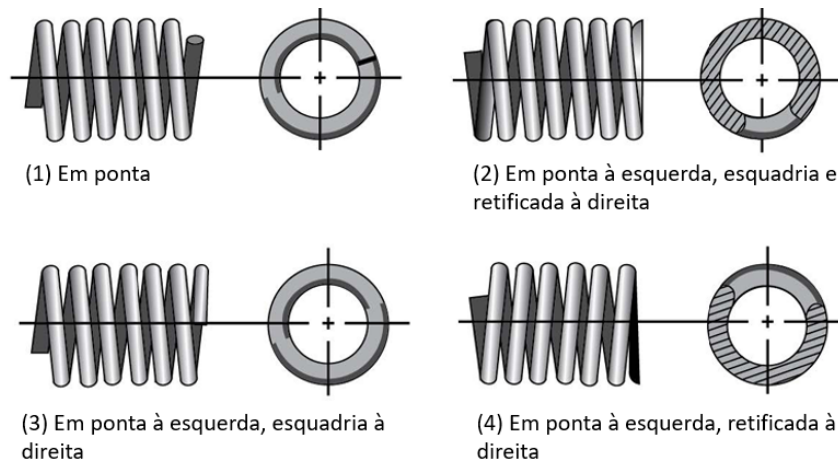


Figura 25 - Tipos de extremidades. [27]

Para o cálculo teórico da deformação de uma mola, é necessário saber a sua constante de rigidez, e a força aplicada para depois introduzir na lei de Hook.

$$F_{\text{Mola}} = k \cdot \Delta l \quad (2.1)$$

Onde:

F_{Mola} - Força aplicada na mola;

k - Constante de rigidez da mola;

Δl - Deslocamento da mola.

2.6.2. ESTUDO DE FLEXÃO EM VIGAS

Na maioria dos casos, as cargas são perpendiculares ao eixo da viga. Uma carga transversal causa apenas flexão e uma tensão de corte na viga. Quando as cargas não estão perpendiculares ao eixo da viga, também produzem forças axiais na viga. No que toca às solicitações, estas podem ser de diferentes tipos, nomeadamente cargas pontuais, cargas distribuídas ou momento fletor. No caso da viga, a mesma pode ser encastrada numa das suas extremidades ou em ambas as extremidades que é o caso de uma viga bi-encastrada. Na Figura 26 estão representados alguns possíveis exemplos com diferentes tipos de solicitações e diferentes tipos de encastramento.

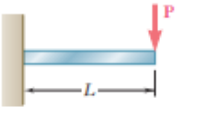
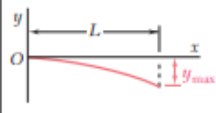
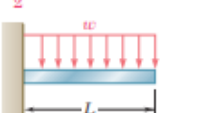
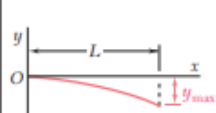

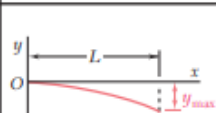
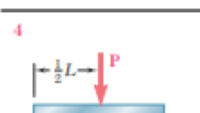
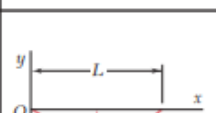
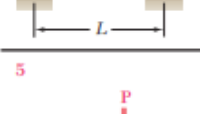
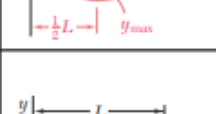
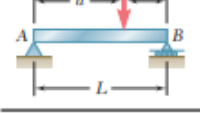
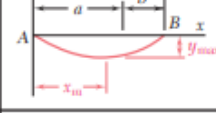
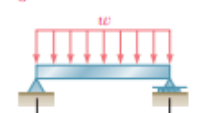
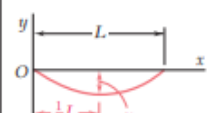
Beam and Loading	Elastic Curve	Maximum Deflection	Slope at End	Equation of Elastic Curve
		$-\frac{PL^3}{3EI}$	$-\frac{PL^2}{2EI}$	$y = \frac{P}{6EI}(x^3 - 3Lx^2)$
		$-\frac{wL^4}{8EI}$	$-\frac{wL^3}{6EI}$	$y = -\frac{w}{24EI}(x^4 - 4Lx^3 + 6L^2x^2)$
		$-\frac{ML^2}{2EI}$	$-\frac{ML}{EI}$	$y = -\frac{M}{2EI}x^2$
		$-\frac{PL^3}{48EI}$	$\pm \frac{PL^2}{16EI}$	For $x \leq \frac{1}{2}L$: $y = \frac{P}{48EI}(4x^3 - 3L^2x)$
		For $a > b$: $-\frac{Pb(L^2 - b^2)^{3/2}}{9\sqrt{3}EIL}$ at $x_m = \sqrt{\frac{L^2 - b^2}{3}}$	$\theta_A = -\frac{Pb(L^2 - b^2)}{6EIL}$ $\theta_B = +\frac{Pa(L^2 - a^2)}{6EIL}$	For $x < a$: $y = \frac{Pb}{6EIL}[x^3 - (L^2 - b^2)x]$ For $x = a$: $y = -\frac{Pa^2b^2}{3EIL}$
		$-\frac{5wL^4}{384EI}$	$\pm \frac{wL^3}{24EI}$	$y = -\frac{w}{24EI}(x^4 - 2Lx^3 + L^3x)$
		$\frac{ML^2}{9\sqrt{3}EI}$	$\theta_A = +\frac{ML}{6EI}$ $\theta_B = -\frac{ML}{3EI}$	$y = -\frac{M}{6EIL}(x^3 - L^2x)$

Figura 26 - Deslocamento e flexão em vigas solicitadas[28] .

Dependendo do caso em estudo a Figura 26 disponibiliza a informação sobre a deflexão máxima, o deslocamento máximo assim como a equação representativa do deslocamento ao longo de toda a viga.

3. CASO DE ESTUDO

Como referido anteriormente o objetivo deste projeto consiste em desenvolver e construir dedos robóticos para a manipulação de um componente eletrônico com a finalidade de automatizar um processo de uma linha de montagem.

3.1. APRESENTAÇÃO DO SISTEMA EM ESTUDO

A célula de trabalho robótica em estudo tem como objetivo de ser versátil e ter a possibilidade de se adaptar a varios componentes eletrônicos de uma forma rápida e eficiente. Obtendo assim uma célula de trabalho flexível e atrativa. Os componentes que deverão ser trabalhados estão representados na Figura 27. Todos eles deverão ser inseridos nas respectivas placas de circuito impresso através dos seus terminais.



Figura 27 - Componentes considerados para a célula de trabalho.

Para o presente trabalho foi necessário definir um dos 4 componentes apresentados na Figura 27 para o desenvolvimento do estudo. Sendo assim, o objeto a manipular trata-se do componente SN02 representado na Figura 28. Este componente é montado numa placa PCB em que a ligação se faz através da inserção dos pinos representados do lado esquerdo da Figura 28. Como é possível observar na Figura 28 trata-se de um componente com uma geometria bastante complexa, além disso, a grande quantidade de pinos torna o processo de montagem ainda mais exigente e complicado.

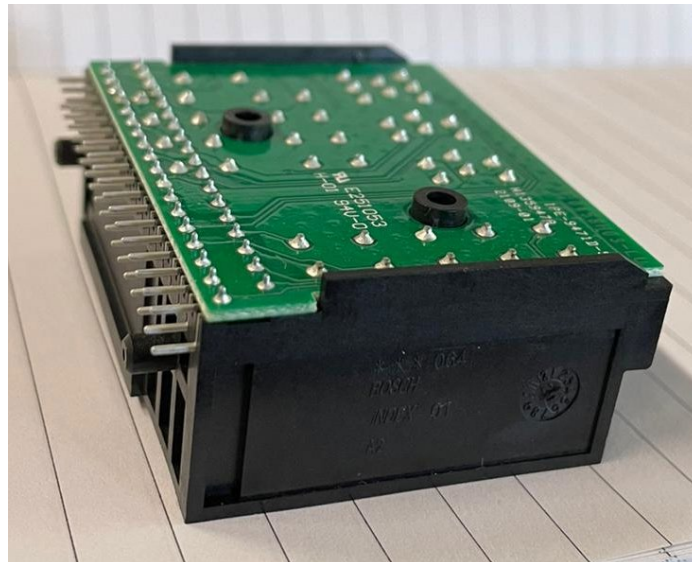


Figura 28 - Componente SN02.

O fornecimento deste componente à linha de produção é feito através de tabuleiros chamados *blisters* que têm a capacidade de 12 componentes SN02. Na Figura 29, está representada uma modelação do *blister* utilizado pelo fornecedor no abastecimento à empresa, em que se encontra um componente SN02 inserido. Este tabuleiro é utilizado no fornecimento de componentes pelo produtor para a maior parte dos fabricantes de produtos eletrônicos pelo que não se pode alterar sem que o custo do componente transportado sofra aumento significativo. O tabuleiro é um suporte de componentes bastante flexível o que representa uma dificuldade na sua utilização para a manipulação automática.

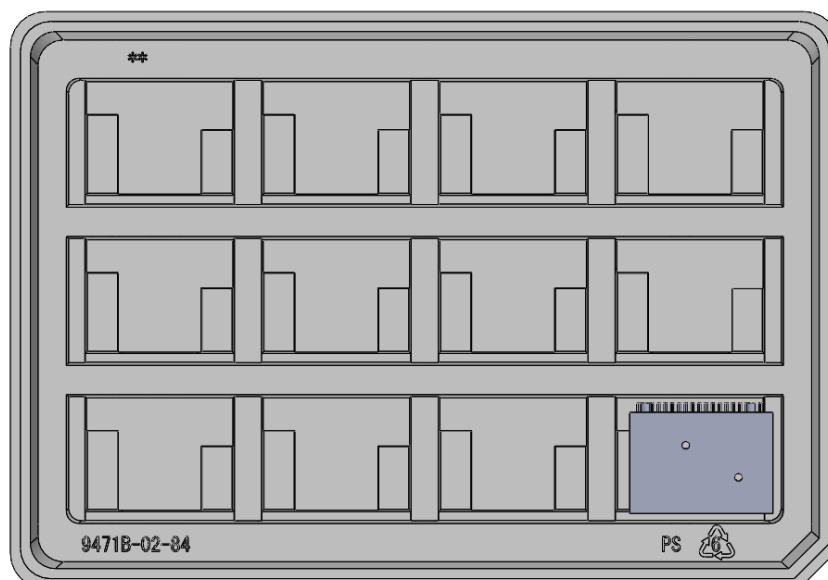


Figura 29 - Blister do componente SN02.

Devido ao alojamento restringido pelas paredes laterais do *blister* que separam os vários componentes, a superfície de contacto entre o componente e os dedos é bastante reduzida o que limita

a geometria dos futuros dedos projetados. Na Figura 30 a área de aperto está delimitada pela superfície sombreada a verde. Em que a altura máxima da superfície de contacto corresponde a 8 mm e o comprimento a 40 mm.

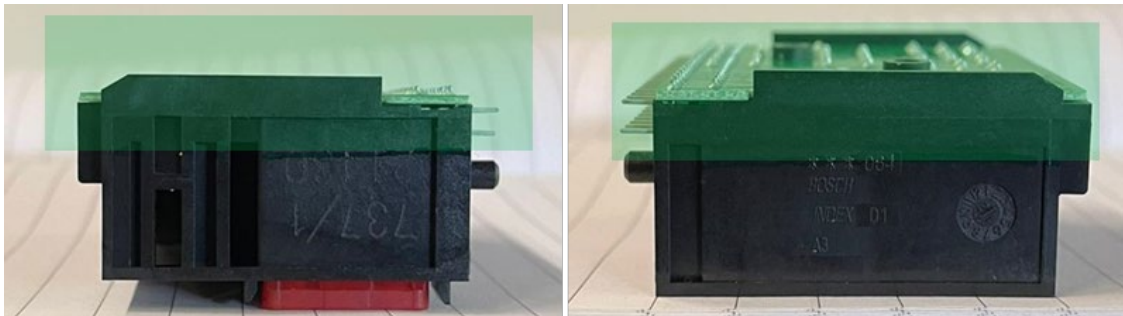


Figura 30 - Área de contacto permitida.

Antes de começar com o desenvolvimento dos dedos, é crucial entender as especificações do componente, o processo de montagem assim como as limitações impostas pelo processo. A razão pela qual é importante fazer este estudo deve-se à elevada precisão e toleranciamento impostas pelo próprio produto. Desta forma é preciso ser feito um dimensionamento rigoroso de todas as peças envolvidas de modo a não prejudicar a precisão do seu posicionamento e assegurar as tolerâncias impostas pelo componente. Sendo assim, a montagem do componente na sua devida posição pode ser dividida por 3 fases:

Aperto do componente SN02: a garra precisa de apertar o componente ainda inserido no tabuleiro, considerando o espaço limitado entre o componente e o seu alojamento e garantindo sempre a mesma posição de aperto para além de ter que garantir que o plano do componente se encontre paralelo com o plano de aperto.

Rotação do componente: a montagem do componente é feita através da inserção dos pinos num local bem definido da sua placa PCB (Figura 31). O componente no momento da inserção deverá já estar na sua devida posição, que neste caso é com os pinos direccionados para baixo. Uma vez que essa posição não corresponde àquela em que o componente é fornecido no seu tabuleiro (Figura 29). Implica, assim, que haja uma rotação de 90° do próprio componente para que a montagem seja possível. Adicionando desta forma uma possível fonte de imprecisão.

Montagem do componente: a última fase passa então pela montagem do componente SN02, esta montagem requer alta precisão que está fortemente relacionado pela pequena folga entre os terminais e os furos do pcb.

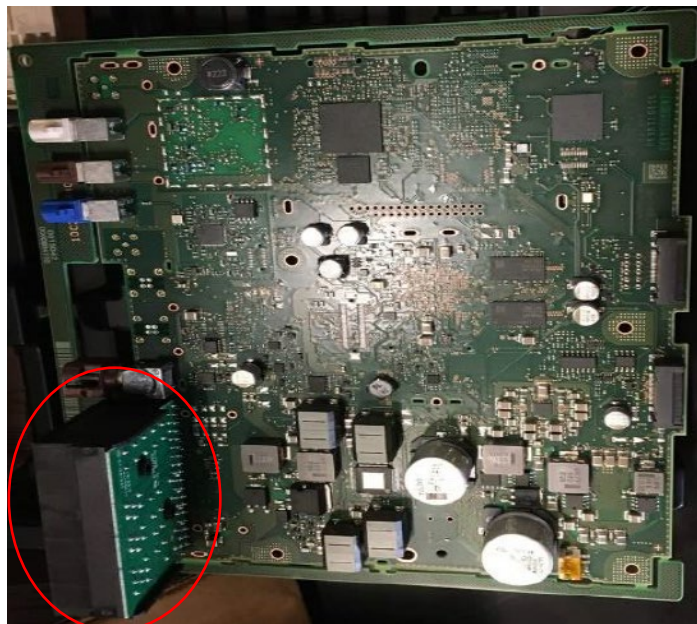


Figura 31 - Componente SN02 inserido na sua placa PCB.

Como é possível verificar pela Figura 32 o componente SN02 é um componente de pequena dimensão e com uma geometria complexa, o facto de possuir muito terminais torna o processo de montagem ainda mais exigente. Desta forma é fundamental perceber quais são as precisões exigidas para o processo de inserção do componente, razão pela qual é feito um estudo que visa a determinar as precisões necessário.

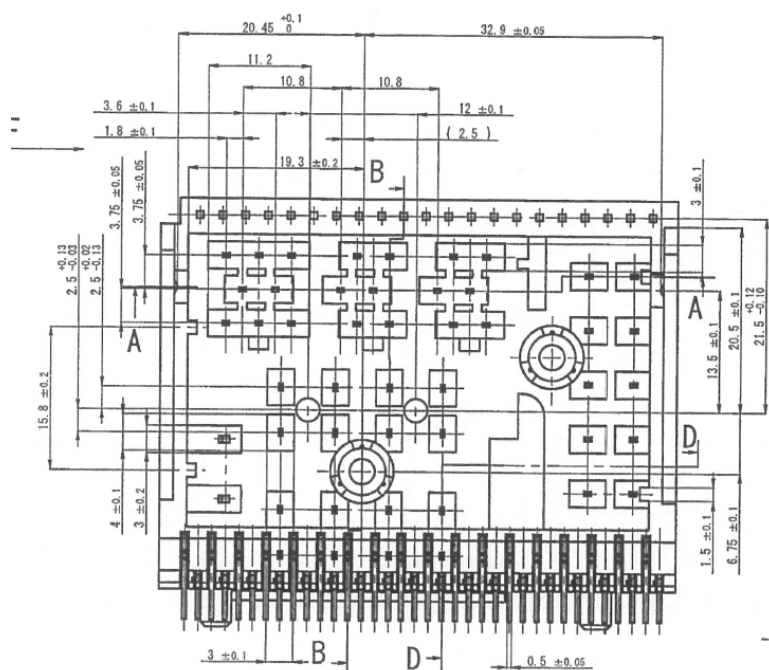


Figura 32 - Desenho técnico do componente SN02.

Começamos então pelo desenho imposto pelo componente (Figura 32), através do desenho técnico observa-se que a distancia entre pinos é de 3 mm com a possibilidade de serem fabricados com uma tolerância mínima de $(3 - 0.1) = 2.9$ mm ou tolerância máxima de $(3 + 0.1) = 3.1$ mm.

Quanto aos pinos do componente, estes são de secção quadrada com 0.5 ± 0.05 mm de lado. Tendo em conta que para a inserção dos pinos nos furos é necessário considerar a sua diagonal, através do teorema de Pitágoras temos que a diagonal d correspondente aos terminais equivale a $d = \sqrt{0.5} = 0.707 \pm \sqrt{0.005}$ mm que corresponde à tolerância imposta pelo fabricante (± 0.05 mm). Tendo em conta a tolerância máxima temos um valor para a diagonal dos terminais d correspondente a $(0.707 + \sqrt{0.005}) = 0.777$ mm e para a tolerância mínima temos $(0.707 - \sqrt{0.005}) = 0.636$ mm.

Através da Figura 33, observa-se que a recomendação do fabricante para o diâmetro dos furos é de 1 mm e para a distancia entre pinos no mesmo plano é de 3mm.

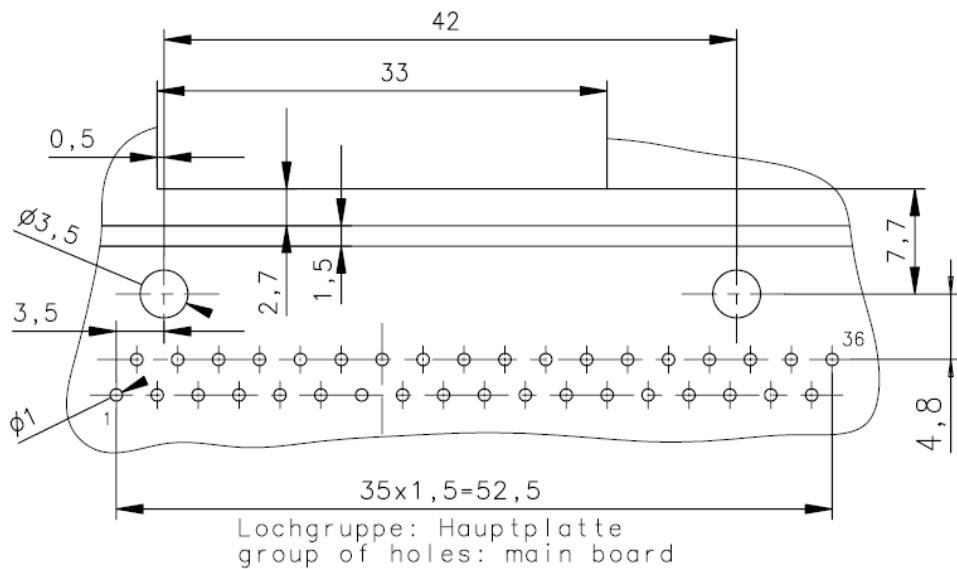


Figura 33 - Recomendação da cotagem dos furos na placa PCB correspondentes ao componente SN02.

Uma vez que estes não estão tolerenciados considerou-se a tolerância de H6 para a cota dos furos que corresponde a uma tolerância de $+0.006$ mm (Figura 34). No que toca à distância entre furos considerou-se uma tolerância de ± 0.1 mm que também corresponde à mesma tolerância da distância entre pinos recomendada pelo fabricante.

Classificação das Dimensões Standard (mm)		Classe da Zona de Tolerância de Encaixe															
>	≤	B10	C9	C10	D8	D9	D10	E7	E8	E9	F6	F7	F8	G6	G7	H6	H7
-	3	+180	+85	+100	+34	+45	+60	+24	+28	+39	+12	+16	+20	+8	+12	+6	+10
		+140	+60	+60	+20	+20	+20	+14	+14	+14	+6	+6	+6	+2	+2	0	0

Figura 34 - Tolerâncias recomendadas para varios ajustes[29].

Isto significa que a cota mínima para o diâmetro dos furos na placa PCB corresponde a 1 mm e a cota máxima a $(1+0.075) = 1.006$ mm e que a distancia entre furos tem uma cota mínima de 2.9 mm $(3 - 0.1)$ e uma cota máxima de 3.1 mm $(3 + 0.1)$. Tendo então todos os possíveis posicionamentos para os furos e pinos definidos, elaborou-se uma representação esquemática na Figura 35.

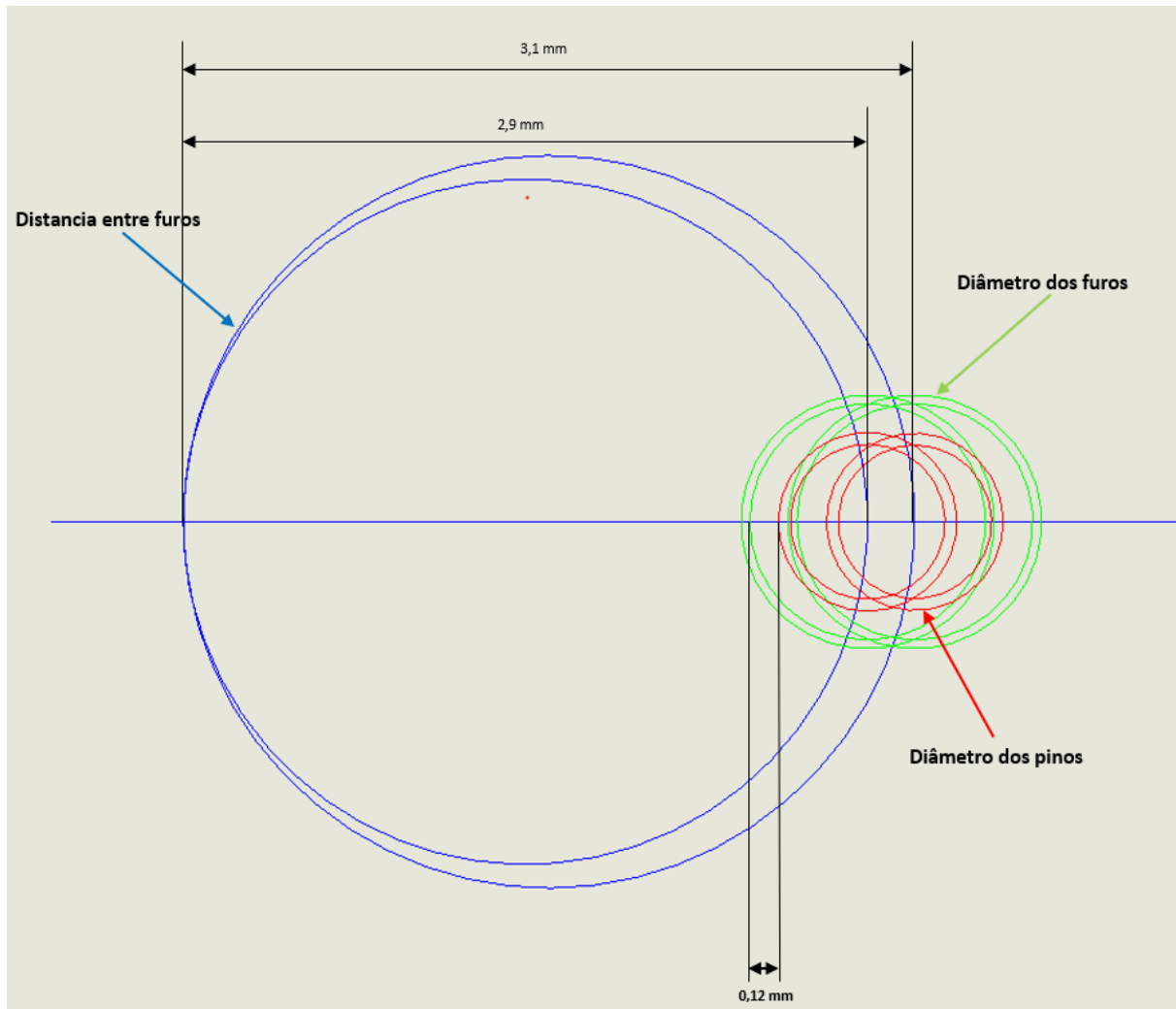


Figura 35 - Ilustração dos possíveis posicionamentos dos furos e pinos

Através da Figura 35, conclui-se que a folga mínima corresponde a 0.12 mm. Nestas condições o robô devera assegurar uma precisão de ± 0.12 mm.

3.2. ESTAÇÃO DE TRABALHO

No presente projeto, pretende-se então desenvolver a célula de trabalho presente na Figura 36 com o objetivo de aumentar a sua versatilidade. A estação de trabalho é composta por um robô colaborativo da *OMRON* com a referência TM5-700, uma garra robótica da *OnRobot* com a referência 2FG7 e uma mesa onde esta montado o robô assim como os restantes elementos. Os dedos que estão

montados na garra robótica (Figura 36) assim como o suporte para o *blister* e o PCB, são específicos para aquele componente e não podem ser utilizados para outros casos.



Figura 36 - Célula de trabalho atual.

3.3. GARRA ROBÓTICA

A principal função de uma garra é de garantir a posição e a orientação desejada ao transportar o objeto. Para o caso em estudo foram consideradas duas possíveis opções para o desenvolvimento da garra robótica, uma opção mecânica que consiste mais precisamente no desenvolvimento de dedos mecânicos com base num gripper anteriormente adquirido. A segunda opção consiste numa vertente pneumática em que o objetivo também passa por desenvolver os dedos, mas desta vez associados a um atuador pneumático cujo também deveria ser selecionado.

Inicialmente foi considerado optar por um estação intermédia (Figura 37) que serviria de posto de rotação assim como posto de análise dos pinos eliminando assim a necessidade de ter 2 graus de liberdade nos próprios dedos. O objetivo consiste em o robô agarrar no componente e inserir o mesmo na estação (Figura 37) através da inserção pinos nos orifícios do componente representado na Figura 28. Deste modo seria possível localizar o componente com bastante precisão, a abertura da estação permitiria ao scanner de ler os pinos do componente, enquanto a base inclinada tem o propósito de não comprometer a funcionalidade do robô. Isto é, através da inclinação de 45° para que o componente se encontre na sua posição de montagem apenas seria necessário rodar outros 45° isto elimina, assim, a

necessidade de rotação da cabeça do robô de 90° que era problemático, uma vez que as dimensões do gripper não permitiam que o robô alcançasse a mesa de trabalho quando sujeito a uma rotação de 90°.

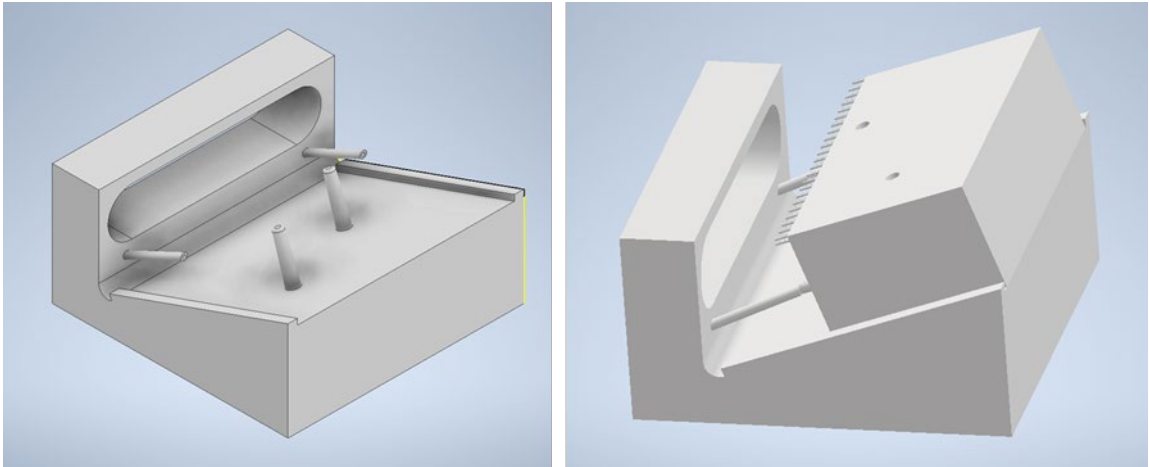


Figura 37 - Estação intermedia.

Devido ao aumento do tempo de ciclo e à desistência de implementar um scanner que por consequência baixaria produtividade, esta opção foi descartada.

3.3.1. GARRA MECÂNICA

A opção mecânica torna-se uma opção mais desafiadora, uma vez que os dedos deverão ter a capacidade de apertar e rodar o componente, ou seja, admitirem dois graus de liberdade isto tudo mantendo a precisão exigida pelo processo.

3.3.1.1. ÁRVORE DE OBJETIVOS

A árvore de objetivos é composta pelas várias funcionalidades que será necessária desempenhar para satisfazer as necessidades que deram origem ao processo. Analisando todo o processo de transporte e montagem, existem várias variáveis a ter em conta.

- **repetibilidade:** variável que depende principalmente da capacidade do próprio robô e do gripper. Para além disso, é preciso garantir que o componente seja agarrado sempre da mesma maneira ao longo de um grande número de ciclos.
- **precisão:** na montagem é necessário assegurar-se que a inserção do componente SN02 com os seus 36 pinos de 0.5 mm de largura (Figura 38) na placa PCB ocorra sem perturbações.

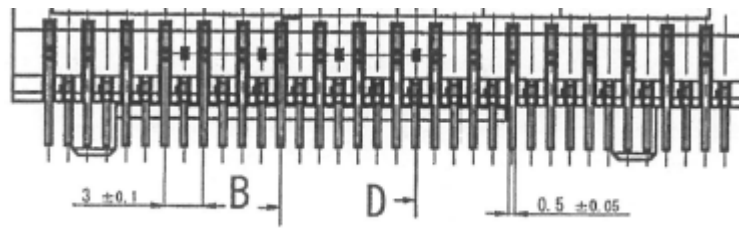


Figura 38 - Dimensões dos pinos.

- **Força de aperto:** é necessário garantir que o componente no momento de aperto não tenha qualquer folga, de modo a garantir a impossibilidade do mesmo se mover e também garantir que não haja deformação do próprio componente causada pelo excesso da força de aperto.
- **Gripper (2fg7):** uma vez que o objetivo deste estudo passa por reutilizar o gripper atualmente montado no robô, gripper paralelo com apenas 1 grau de liberdade produzido pela OnRobot (Figura 39), a projeção dos novos dedos será feita a partir da base onde estão montados os atuais dedos.



Figura 39 - Gripper 2FG7 da OnRobot [30].

Resumindo, o objetivo consiste em transformar os dedos delimitados pela área vermelha na Figura 39, por dedos que, para além de terem a movimentação paralela de abrir e fechar entre si, também deverão ter a capacidade de rodar 90° . Equivale a transformar um gripper com 1 grau de liberdade num gripper com 2 graus de liberdade, tudo isto através de um mecanismo inserido nos próprios dedos.

Assim sendo, foi estabelecido uma árvore de objetivos de modo a ter uma melhor perceção dos requisitos necessários. O estabelecimento correto dos objetivos que se pretendem, ou seja, a definição

dos requisitos funcionais do problema, deve ser efetuado de modo independente da solução para evidenciar os objetivos pretendidos. Um diagrama com as relações hierárquicas entre objetivos e sub-objetivos está representado na Figura 40.

De maneira a ajudar a organizar as relações e interligações entre objetivos e sub-objetivos, deve-se representar o diagrama baseado nos conjuntos, ordenados, de objetivos. Cada ligação representada indica que um objetivo de mais baixo nível é um meio para alcançar o objetivo de mais alto nível ao qual está ligado. Alguns dos sub-objetivos podem relacionar-se com mais do que um objetivo de alto nível, representando um meio para os alcançar.

Por forma a clarificar esses vários níveis, deve-se rescrever a lista de objetivos em conjuntos ordenados, ou seja, agrupar os objetivos em conjuntos, cada um relacionado com um objetivo de alto nível. Assim, a lista de objetivos terá, inevitavelmente, uma série de argumentos com diversos níveis de especificidade.

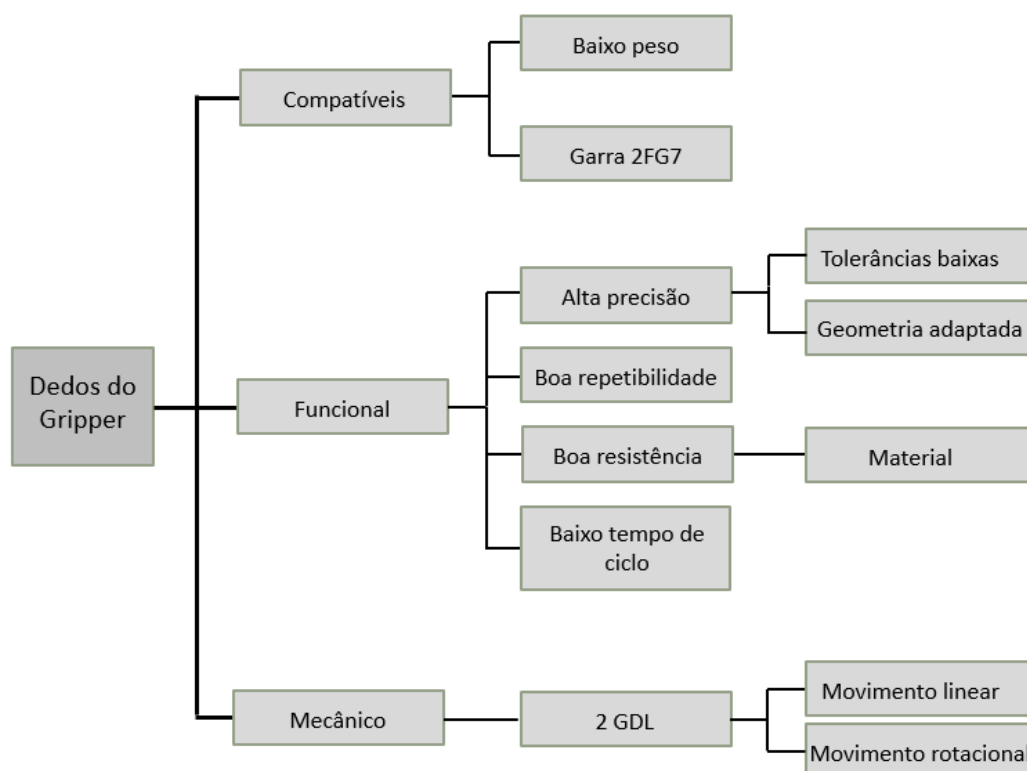


Figura 40 - Árvore de objetivos para os dedos mecânicos do gripper.

3.3.1.2. ESTRUTURA DE FUNÇÕES

Nesta fase, não há necessidade de estipular que solução irá satisfazer este tipo de função. A função torna-se assim uma formulação abstrata da tarefa, independentemente de qualquer solução particular. Se a tarefa global estiver completamente definida, isto é, se as entradas e saídas e as

propriedades necessárias são conhecidas é possível especificar a função global representada na Figura 41.

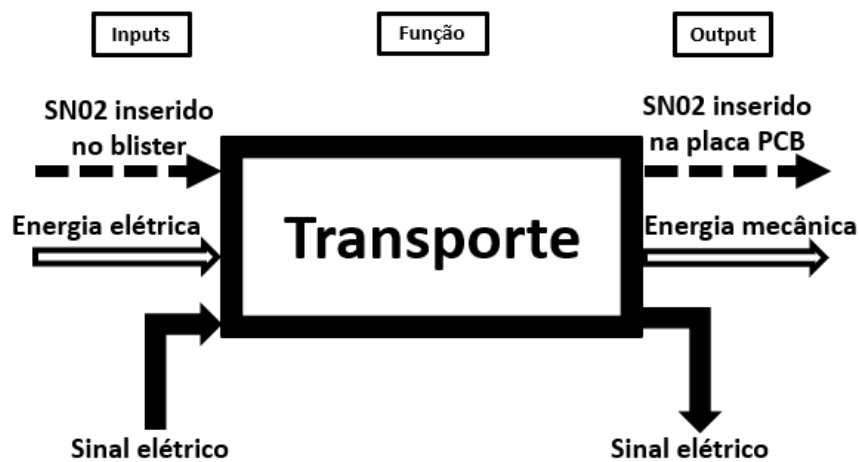


Figura 41 - Função global do sistema.

Em que os inputs são o componente SN02 inserido no blister, a energia elétrica transmitida ao próprio robô/garra e o sinal elétrico emitido pelo sistema. A função global pode ser representada pelo transporte do componente. Inserindo então esses inputs na função global, obtém-se uma conversão de energia elétrica em energia mecânica. A energia elétrica é transformada em energia mecânica através de um motor elétrico que é responsável pelo movimento dos dedos que se traduz na força de aperto. A conversão relacionada ao material corresponde numa mudança de estado do componente SN02. Na altura do input o componente encontra-se armazenado no seu blister, no output é esperado que o componente esteja devidamente montado na sua placa PCB. E por fim tem-se o sinal elétrico que é responsável por dar a ordem de início e fim do processo.

Uma função global pode ser dividida diretamente em subfunções correspondentes a subtarefas. A relação entre as subfunções e a função é muitas vezes governada por restrições, na medida em que algumas subfunções têm de ser executadas antes de outras. Por outro lado, geralmente é possível vincular subfunções de várias maneiras, resultando em várias variantes possíveis. A combinação de subfunções num conjunto resultando numa função global, produz uma estrutura de funções representada na Figura 42.

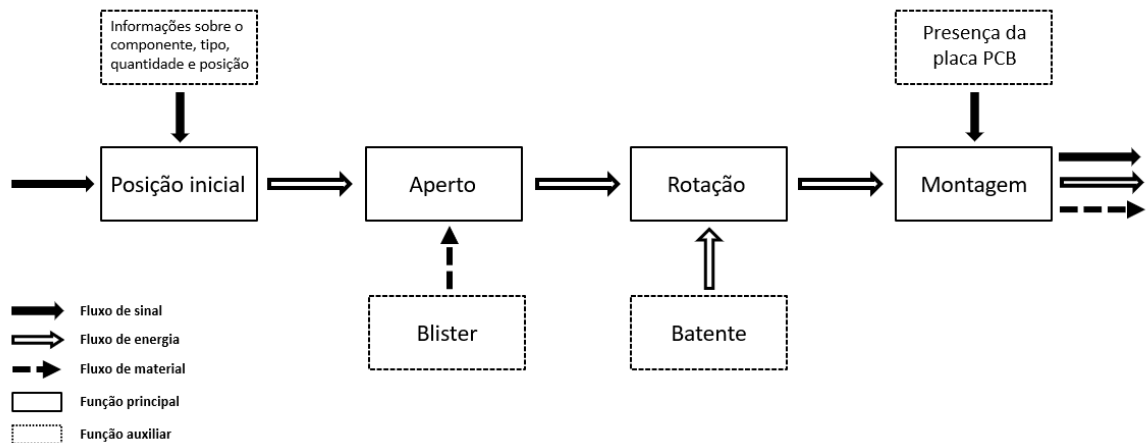


Figura 42 - Estrutura de funções.

É útil distinguir entre funções principais e auxiliares. Enquanto funções principais são aquelas subfunções que servem a função global diretamente, as funções auxiliares são aquelas que contribuem indiretamente para isso. Possuem um caráter complementar e são muitas vezes determinados pela natureza das soluções para as principais funções. Também é necessário examinar a relação entre as várias subfunções, e prestar especial atenção à sua sequência lógica e disposição.

3.3.2. GARRA PNEUMÁTICA

Considerando o sistema mecânico desenvolvido anteriormente, trata-se de um sistema inovador e único no mercado, como todos os sistemas inovadores há sempre variáveis que providenciam certas incertezas em relação à fiabilidade e viabilidade do sistema. Dessa forma, foi decidido desenvolver uma solução pneumática que proporcionaria mais certezas para os objetivos pretendidos. No entanto, desenvolver uma solução pneumática implica a necessidade de uma alimentação com um fluido sob pressão. Após discussão com a equipa do projeto, foi decidido usar o ar como fluido pois, é uma solução mais segura e fácil de trabalhar em comparação com outros fluidos.

Comparando com o estudo para a solução mecânica, existem fatores que permanecem iguais para a projeção das garras pneumáticas, nomeadamente o componente a manipular, assim como a alimentação do mesmo, mantendo, desta forma, várias características importantes, tais como a precisão e repetibilidade. Os principais objetivos também permanecem idênticos, que consiste nas 3 seguintes fases: o aperto do componente SN02, a rotação do mesmo e, por fim, a montagem na sua devida posição na placa de circuito impresso. Sendo assim, o primeiro passo passa pela escolha de um atuador pneumático adequado para o problema em estudo de modo a proceder ao desenvolvimento dos dedos associados ao atuador pneumático.

Para a seleção do atuador pneumático, é necessário definir que tipo de movimento é que se pretende que o atuador pneumático faça. O ideal seria um atuador pneumático que admitisse dois movimentos diferentes, o primeiro seria um movimento paralelo para garantir o aperto do componente e o segundo um movimento rotacional ao longo do eixo do componente de modo a garantir a posição correta do componente para depois proceder à sua inserção. Na prática essa solução é pouco viável tanto economicamente como funcionalmente. Assim sendo, foi preciso tomar uma decisão no que toca ao tipo de atuador que se pretende incorporar no gripper e após ter discutido com os restantes membros do projeto, optou-se pela escolha de um atuador pneumático linear. Tendo então definido o tipo de atuador pneumático, o segundo passo passa pela definição dos requerimentos do mesmo assim com o desenvolvimento dos seus dedos associados de modo a cumprir os objetivos estabelecidos. Para mais clareza dos requerimentos necessários procedeu-se então ao estabelecimento da árvore de objetivos da nova garra.

3.3.2.1. ÁRVORE DE OBJETIVOS

Após seleção do tipo de atuação pneumática é necessário como mencionado anteriormente determinar os requerimentos que o atuador deve ter, isto é, força de aperto, o seu curso, precisão e repetibilidade. A força de aperto está diretamente ligada ao peso e ao material da superfície de contacto do componente. O curso do atuador depende do espaço que é delimitado pelo componente e o seu alojamento de modo a não haver colisões entre os dedos e o blister assim como as limitações definidas pelos componentes na placa de circuito impresso na zona de montagem para evitar qualquer danificação de componentes adjacentes. A precisão é definida pela tolerância máxima existente entre os pinos e o seus orifícios de montagem. A repetibilidade garante o sucesso das operações para um grande número de ciclos. Tendo então definido os requerimentos necessários para o atuador pneumático, o segundo passo consiste em definir quais são objetivos que se pretende do conjunto atuador pneumático e toda a sua estrutura envolvente, para que haja uma harmonia entre todos os componentes envolvidos de modo a chegar ao objetivo pretendido de uma forma eficiente e otimizada. Para tal, as características funcionais têm um peso importante nesse processo. Como já foi referido anteriormente, as especificações do componente estão diretamente interligadas com a precisão necessária que, por sua vez, determinam a grandeza de tolerâncias que se pretende. O tempo de ciclo continua a ser um fator importante que deve ser o menor possível de modo a aumentar a produtividade. No que diz respeito aos dedos e toda a sua estrutura envolvente, estão responsáveis pelo aperto, mas também pela localização com rigor do componente, uma vez que este processo exige precisões elevadas, é necessário garantir que o

componente seja agarrado sempre da mesma maneira e que o plano de aperto do componente encontra-se paralelo ao componente.

As características operacionais estão diretamente ligadas com o operador, o objetivo consiste em simplificar a tarefa do mesmo quando houver a necessidade de intervenção. Uma manutenção simples torna-se uma mais-valia para o sistema reduzindo assim o tempo de intervenção e conseqüentemente o tempo de paragem da linha de produção. A montagem simples permite reduzir possíveis erros de montagem usando o menor número de componentes possível. Na Figura 43 observa-se então a árvore de objetivos para o desenvolvimento do *gripper* pneumático.

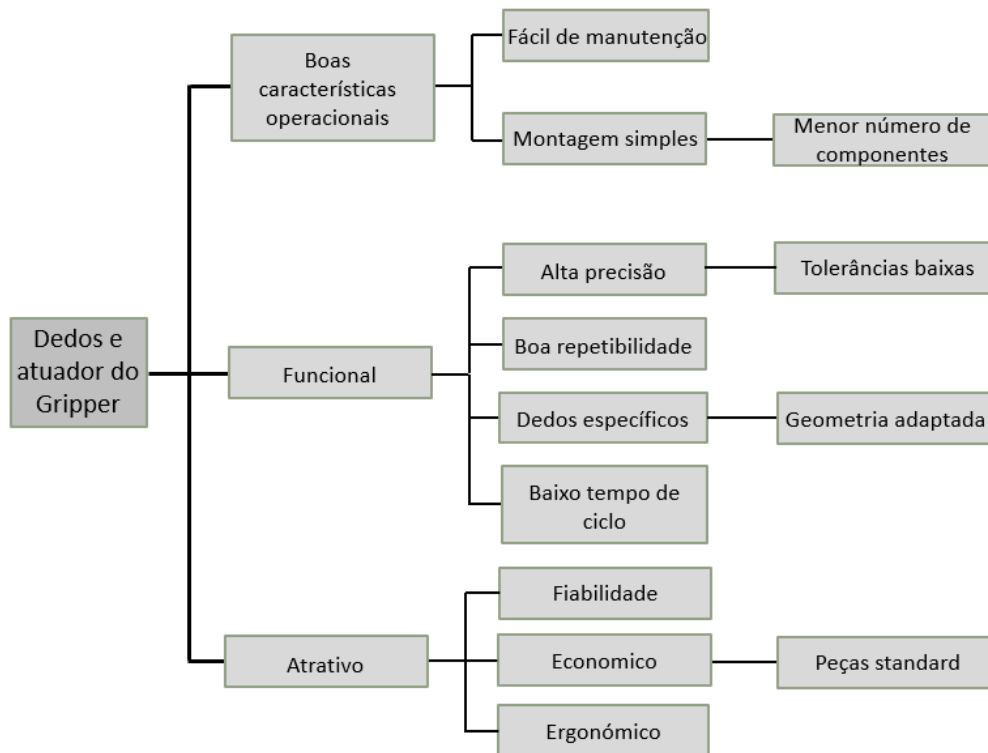


Figura 43 - Árvore de objetivos para o *gripper* pneumático.

3.3.2.2. ESTRUTURA DE FUNÇÕES

No que toca à função global do sistema pneumático, é constituída por 3 inputs uma função e 3 outputs (Figura 44). O primeiro input corresponde ao componente SN02 inserido no seu alojamento, trata-se do componente a manipular. O segundo input representa a energia pneumática que servira para alimentar a garra e proceder ao fecho e abertura dos dedos. E por fim, o sinal elétrico que tem como objetivo de controlar as electroválvulas assim como o próprio robô.

A função global é representada pelo transporte do componente SN02. Em que os outputs correspondem à montagem do componente na placa PCB, à energia pneumática responsável pela libertação do componente e o sinal elétrico, que é responsável por dar a ordem de fim do processo.

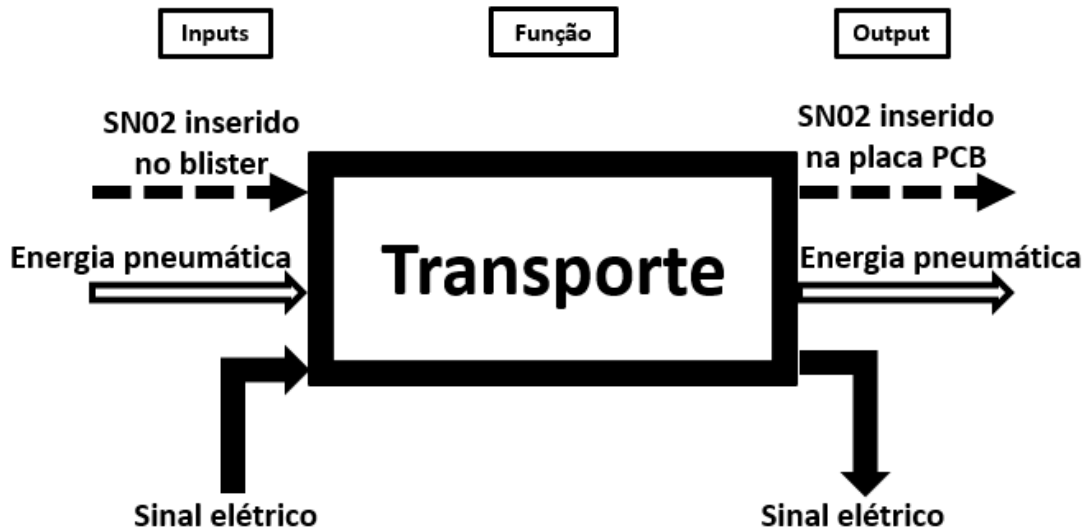


Figura 44 - Função global do sistema pneumático.

Dividindo então a função global em subfunções de modo a combinar todas as subfunções num conjunto resultando numa função global obtém-se então a estrutura de funções para a garra pneumática representada na Figura 45.

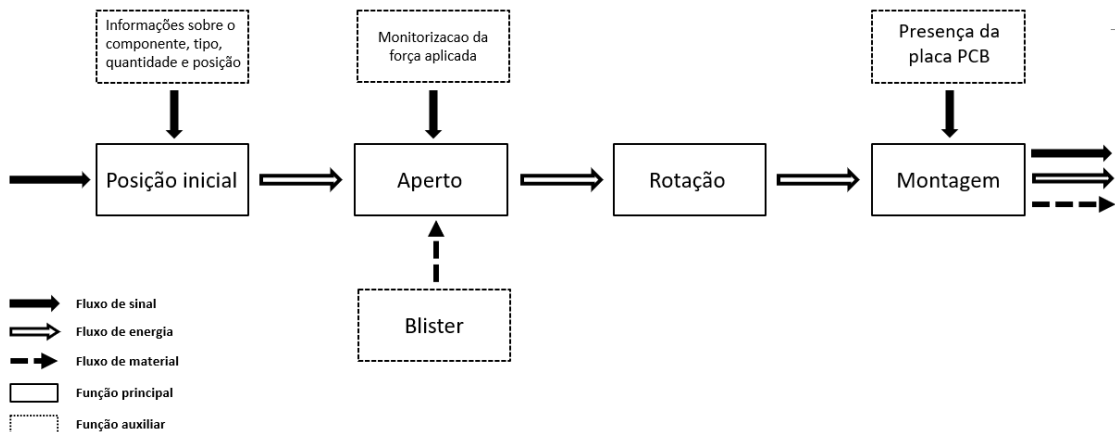


Figura 45 - Estrutura de funções para a garra pneumática.

A diferença entra a estrutura de funções da garra mecânica consiste no facto que o aperto neste caso é monitorizado pela força aplicada no robô e a rotação também é feita pelo próprio robô.

3.4. ACOPLADOR RÁPIDO

Os acopladores rápidos para robôs são dispositivos que permitem a troca rápida e eficiente de ferramentas ou de terminais num braço robótico. Estes dispositivos permitem que um único braço robótico execute múltiplas tarefas, alternando entre diferentes ferramentas, tais como garras, cabeças de perfuração.

Os acopladores rápidos são normalmente utilizados em operações de fabrico, montagem e embalagem, bem como em outras indústrias, tais como a agricultura e a construção. Podem aumentar significativamente a produtividade e flexibilidade de um sistema robótico, permitindo-lhe executar uma gama mais vasta de tarefas com o mínimo de tempo de paragem.

Há vários tipos de acopladores rápidos disponíveis, incluindo sistemas pneumáticos, hidráulicos e mecânicos, cada um com as suas próprias vantagens e desvantagens. Em geral, os acopladores rápidos de ferramentas são uma grande opção para melhorar a eficiência e versatilidade dos sistemas robóticos em que são utilizados.

Os principais requisitos dos acopladores que se pretende são:

- Compatibilidade mecânica com o robô colaborativo da Omron TM5-700;
- Ligações rápidas para entradas/saídas pneumáticas;
- Ligações rápidas para sinais elétricos que irão ser usados pelo PLC;
- Capacidade de carga do robô 7 kg;

Para garantir a compatibilidade do acoplador com o robô, é importante determinar as características do mesmo. A ligação do acoplador ao robô é feita através da fixação do acoplador à cabeça do robô, para tal foram retiradas as informações necessárias da ficha técnica do mesmo que estão representadas na Figura 46.

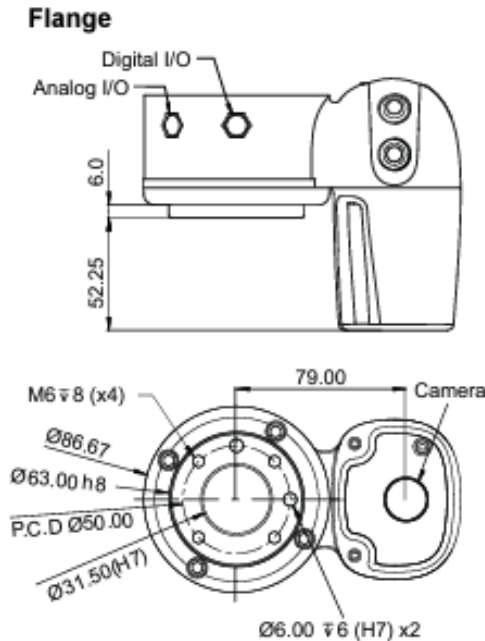


Figura 46 - Dimensões da cabeça do robô.[31]

Através da figura conclui-se que a flange de aperto apresenta uma dimensão de 50 mm e que o aperto se faz através de parafusos M6. A dimensão da flange segue a norma ISO 9409-1:2004 que define as principais dimensões, designação e marcação para uma placa circular como interface mecânica. Destina-se a assegurar a permutabilidade e a manter a orientação dos acopladores montados à mão.

De realçar que o acoplador não pode ultrapassar os 86 mm de dimensão máxima, de modo a não interferir com a câmara incorporada no robô. Tendo então todos os requisitos bem definidos, procedeu-se ao estudo do mercado dos acopladores compatíveis. Para tal, foram analisados 6 diferentes acopladores todos eles com características diferentes.

3.5. SISTEMA DE FIXAÇÃO

Durante o processo de montagem do componente na sua placa PCB, é crucial garantir uma boa fixação dos elementos intervenientes do processo, como o blister e o PCB, tudo isto assegurando que as precisões exigidas sejam cumpridas. Desta forma desenvolveu-se sistemas de fixação a placa PCB.

3.5.1. PCB

No que diz respeito ao sistema de fixação do PCB, o objetivo consiste em criar um sistema que permitisse alocar diferentes PCBs correspondentes aos componentes apresentados no capítulo 3.1. Para

tal, concebeu-se um sistema para alocar as seguintes placas de circuito eletrônico representado na Figura 47.

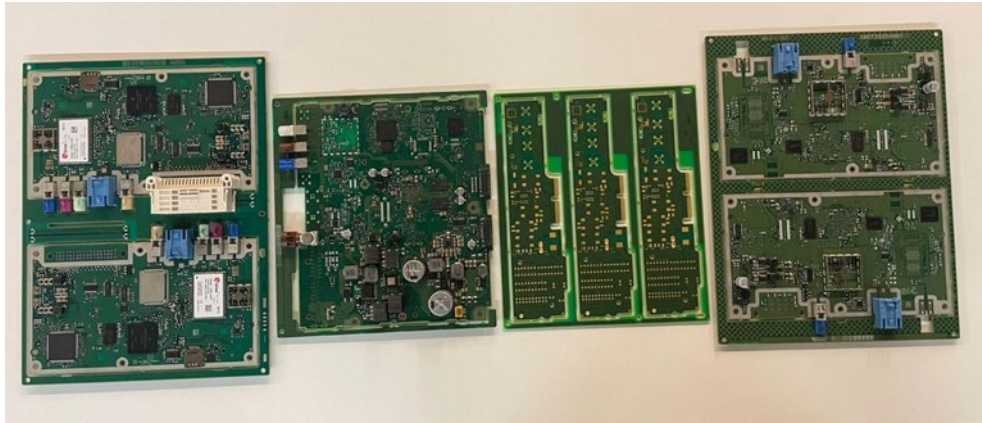


Figura 47 - PCBs considerados para a projeção do sistema de fixação.

A ideia consiste em criar um suporte que seja comum a todos e à medida que se vai trocando de PCB haver um componente específico para cada PCB que sirva de apoio e de fixação. Isto tudo mantendo um sistema simples de troca e assegurando precisão. A base projetada que será comum a todas as placas está representada na Figura 48.

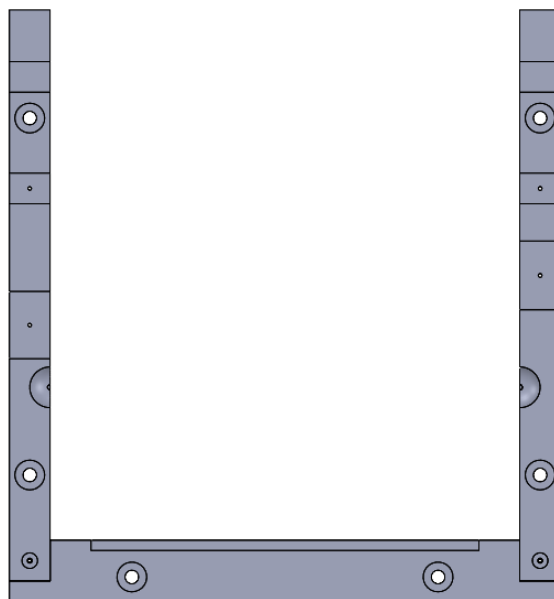


Figura 48 - Base comum a todas as PCBs.

Na Figura 48 observa-se que a base é constituída por três peças. A parte inferior que servirá de apoio para as placas de circuito impresso e de ligação para as peças laterais. O objetivo consiste em apoiar as extremidades das PCBs na ranhura da peça inferior. A ranhura esta dimensionada de tal forma a não interagir com componentes ou com o circuito das PCBs. Nessa peça inferior que serve de ligação, são aparafusadas através de um parafuso M2 as partes laterais do sistema.

Para garantir o encaixe das peças laterais na base e para que as áreas a vermelho e verde (Figura 49) estejam em contacto e sirvam de batente, especificou-se um chanfre na lateral de ambas as peças, assim como um raio na face interior que delimita a área vermelha e verde. Isto deve-se ao facto que quando a área vermelha da peça que serve de ligação for maquinada, não é possível garantir um ângulo de 90° pois a maquinação dessa área é feita através de uma fresa e a própria fresa têm sempre um raio associado embora seja mínimo pode causar problema no momento de encaixar as peças.

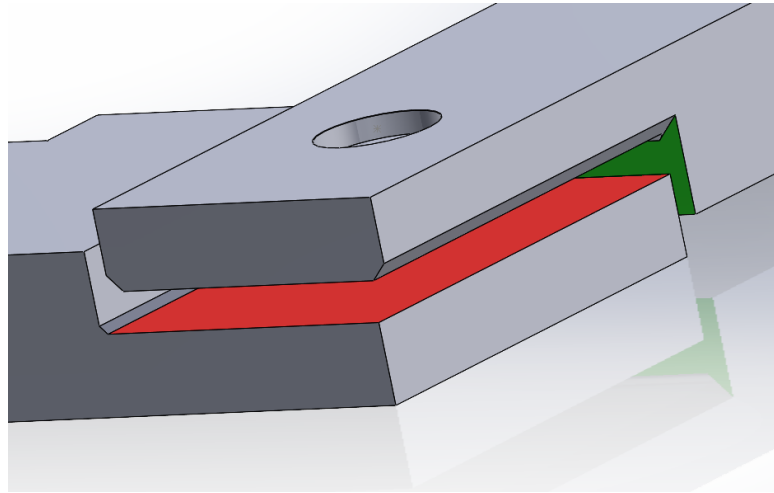


Figura 49 - Ilustração do encaixe.

Desta forma foi considerado um chanfro para evitar esse tipo de problemas, a única condição é que o chanfro tem que ser sempre maior que o raio da fresa como ilustrado na Figura 50. Em que a vermelho está representado a peça a encaixar e em preto o encaixe. Admitindo que a fresa que vai ser usada tem 3 mm de raio, o chanfro deverá ser sempre maior que 3 mm para que a peça encaixe sem bater no raio e apenas haver contacto entre as faces planas de cada peça.

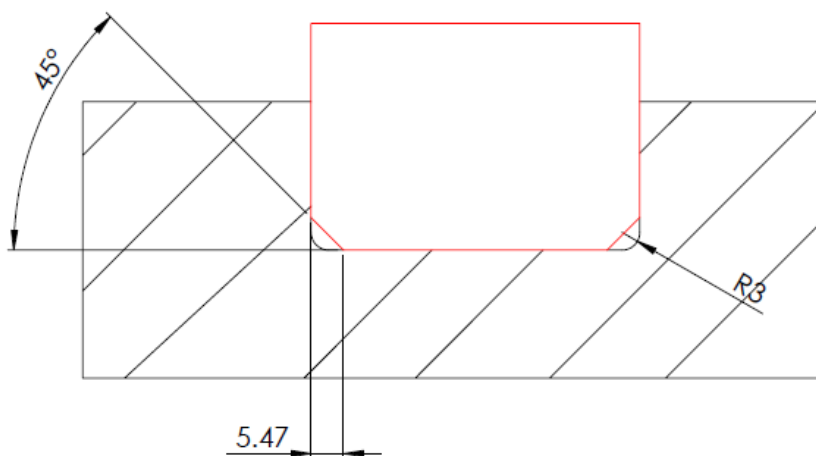


Figura 50 - Contacto entre as peças de encaixe.

Também observa-se 2 furos M6 em cada peça, furos que estão de acordo com a disposição das roscas presentes na mesa da célula de trabalho (Figura 36) e que servirão para aparafusar o suporte à mesa da célula de trabalho do robô. (Figura 51).

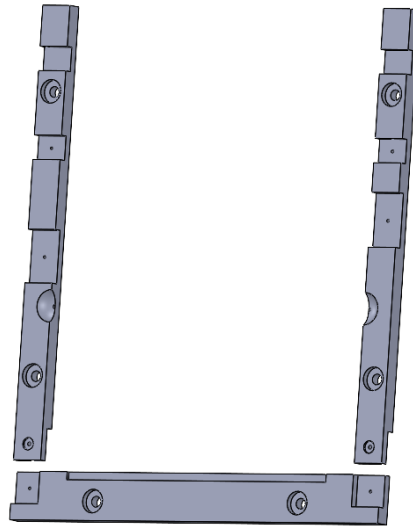


Figura 51 - Vista explodida da base do suporte.

Essas partes laterais têm o propósito de alocar as barras específicas a cada PCB nas cavidades que servirão de apoio. Também foi previsto uma abertura com uma forma de uma esfera, de modo a facilitar a remoção dos PCBs na altura em que for preciso trocar.

No que diz respeito ao PCB representado do lado esquerdo na Figura 47 há uma particularidade a ter em conta. A montagem do componente específico a esse PCB representado a vermelho só é possível quando é aplicada uma força nas suas extremidades (ver Figura 52). Isto implica que a barra central necessita também de servir de reforço para dar estabilidade no momento da montagem do componente.

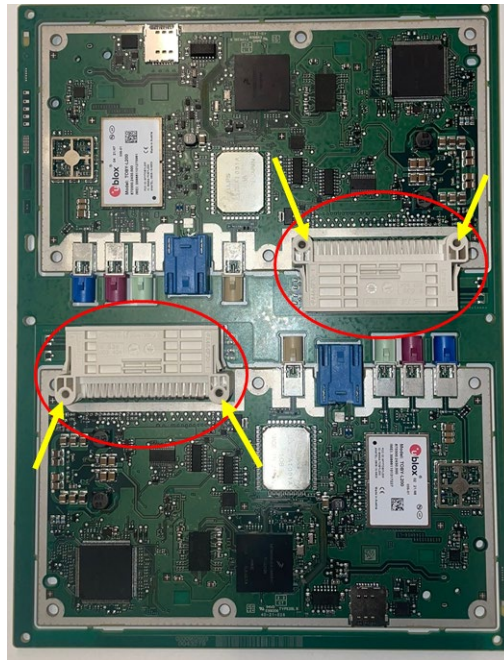


Figura 52 - Ilustração da montagem dos componentes.

Posto isso, foi então projetada a barra central para o PCB que está representada na Figura 53. Através da figura observa-se que a barra é constituída por duas línguas na parte central, assim como no início de cada extremidade que servirão de apoio para a montagem do componente no PCB. Do lado direito também é possível observar um pino, esse pino está alinhado com um furo localizado no PCB e tem o propósito de localizar a placa e proceder de uma forma correta ao encaixe do PCB no suporte. A barra também apresenta um desnível de 2 mm na superfície de contacto com o PCB de acordo com a profundidade da ranhura da base do suporte. A barra central é apertada à base do suporte por dois parafusos M2, nas suas extremidades.

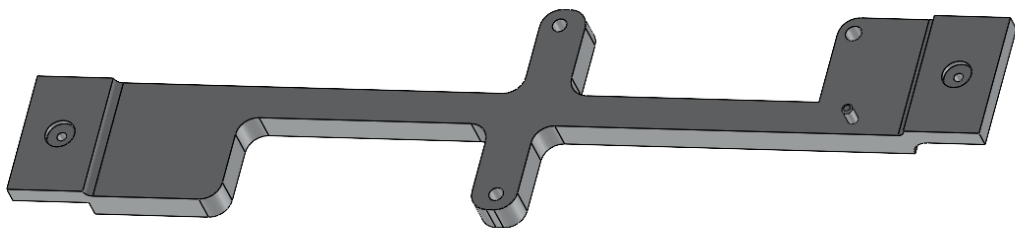


Figura 53 - Barra central para o PCB.

O conjunto suporte com a barra central e a placa PCB montada esta representado Figura 54. Foi modificada a opacidade do PCB para melhor visualização do sistema.

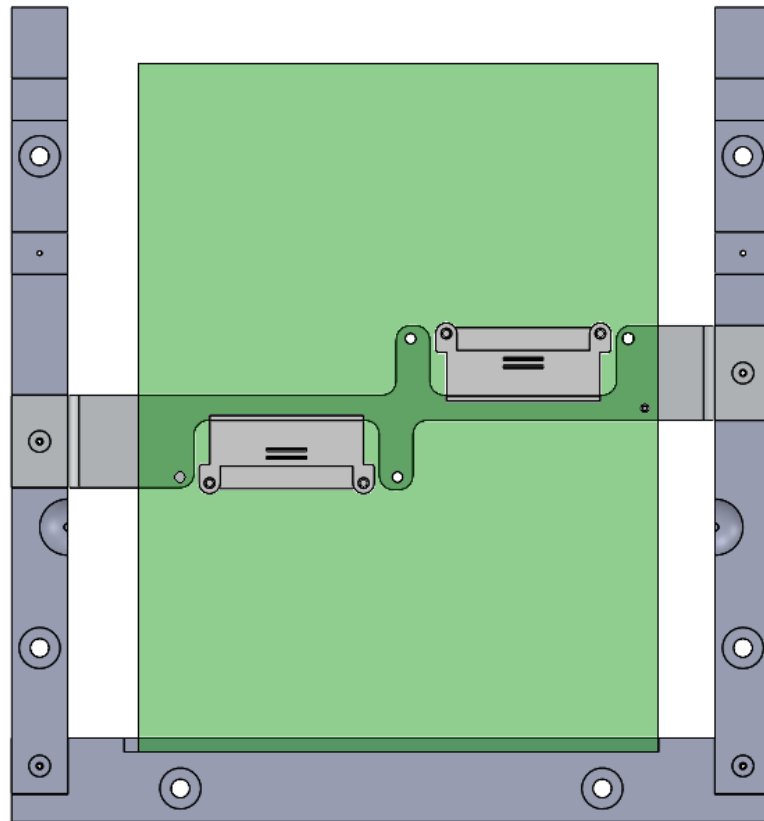


Figura 54 - PCB montado no suporte.

No que diz respeito aos PCBs 2 e 3 da Figura 47, analisando as dimensões do mesmo encontrou-se a possibilidade de criar uma barra central comum às duas placas uma vez que a altura das mesmas é aproximadamente a mesma. A barra central para as duas placas está representada na Figura 55.

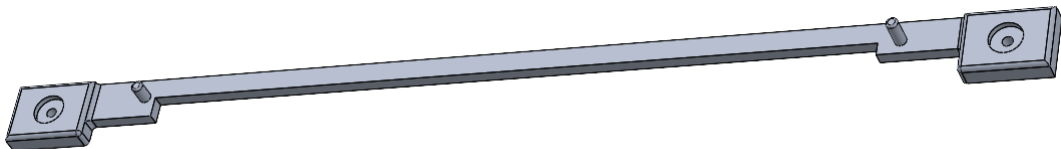


Figura 55 - Barra central para as restantes duas PCBs.

À semelhança com a barra central apresentada anteriormente, esta barra contém dois pinos um do lado esquerdo e outro do lado direito que tem o propósito de localizar as placas e de facilitar a montagem e é apertada ao suporte através de dois parafusos M2. O pino do lado direito corresponde a uma placa do componente SN02 e o pino do lado esquerdo corresponde à outra placa. Na Figura 56 observa-se o conjunto montado, note-se que a zona delimitada pela área vermelha corresponde à área em que é possível haver contacto com o suporte sem haver interferência com o circuito do PCB.

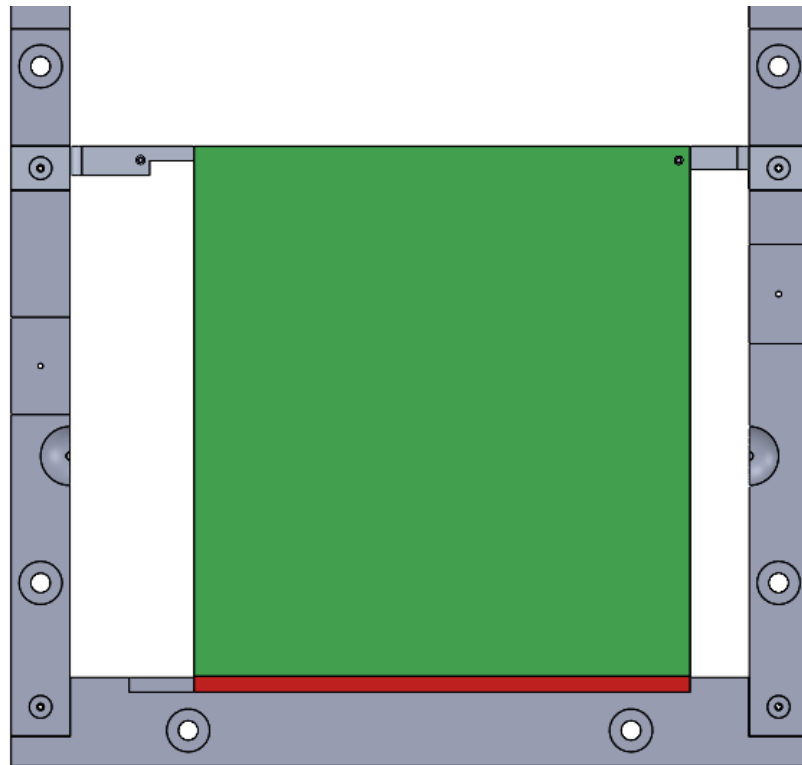


Figura 56 - PCB do componente SN02 montada no suporte.

No que concerne ao outro PCB, é muito semelhante ao PCB do componente SN02 a única diferença é que se encontra do lado esquerdo do suporte tal como representado na Figura 57.

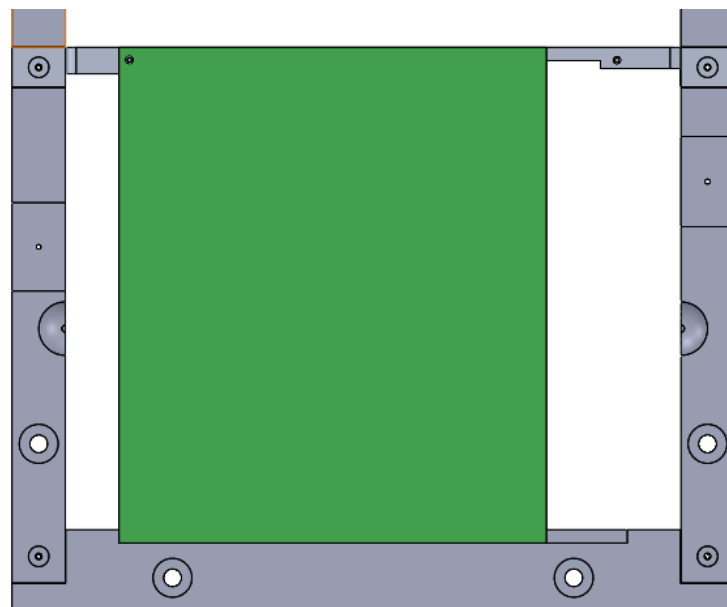


Figura 57 - PCB inserido no suporte.

Por fim, para o último PCB a barra central correspondente ao PCB está representada na Figura 58 já encaixada no suporte adotando o mesmo sistema que as peças anteriormente apresentada.

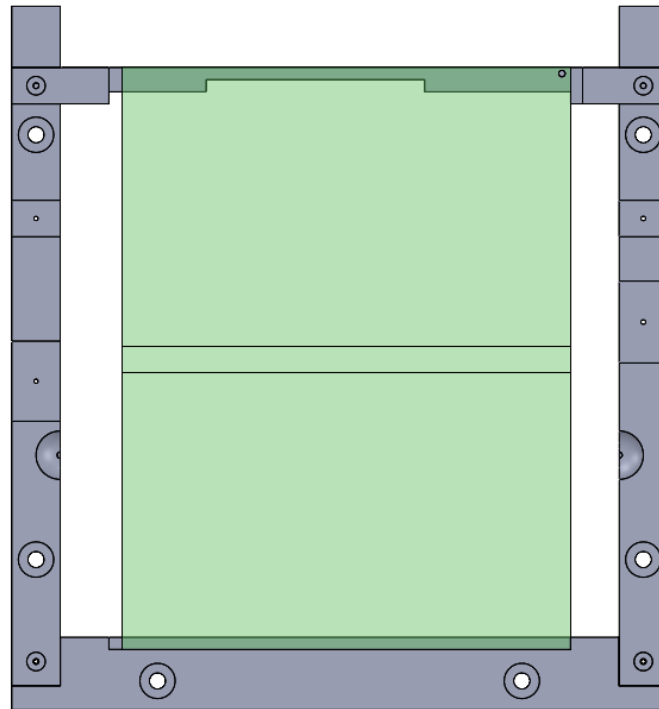


Figura 58 - PCB 2M07 montado no suporte.

Os desenhos técnicos correspondentes ao suporte PCB encontram-se no Anexo 3.

Após discussão com os restantes membros do projeto relativamente ao suporte do PCB, chegou-se à conclusão das seguintes alterações:

- Instauração de apoios amovíveis para elevar o suporte de pcb para permitir o uso de backlights, de modo a facilitar a implementação da visão da parte do robô;
- Introdução de cavilhas em cada peça;
- Troca de parafusos M2 para M4;
- Aumento da espessura de algumas superfícies;
- Remoção de quinas vivas.

Tendo em conta as alterações mencionadas, o novo modelo do suporte está representado na Figura 59 em que os furos em azul representam o alojamento de pinos/cavilhas e os furos em amarelo correspondem a uma zona roscada. De notar que também foi decidido de utilizar como material o alumínio devido às suas características de maquinabilidade.

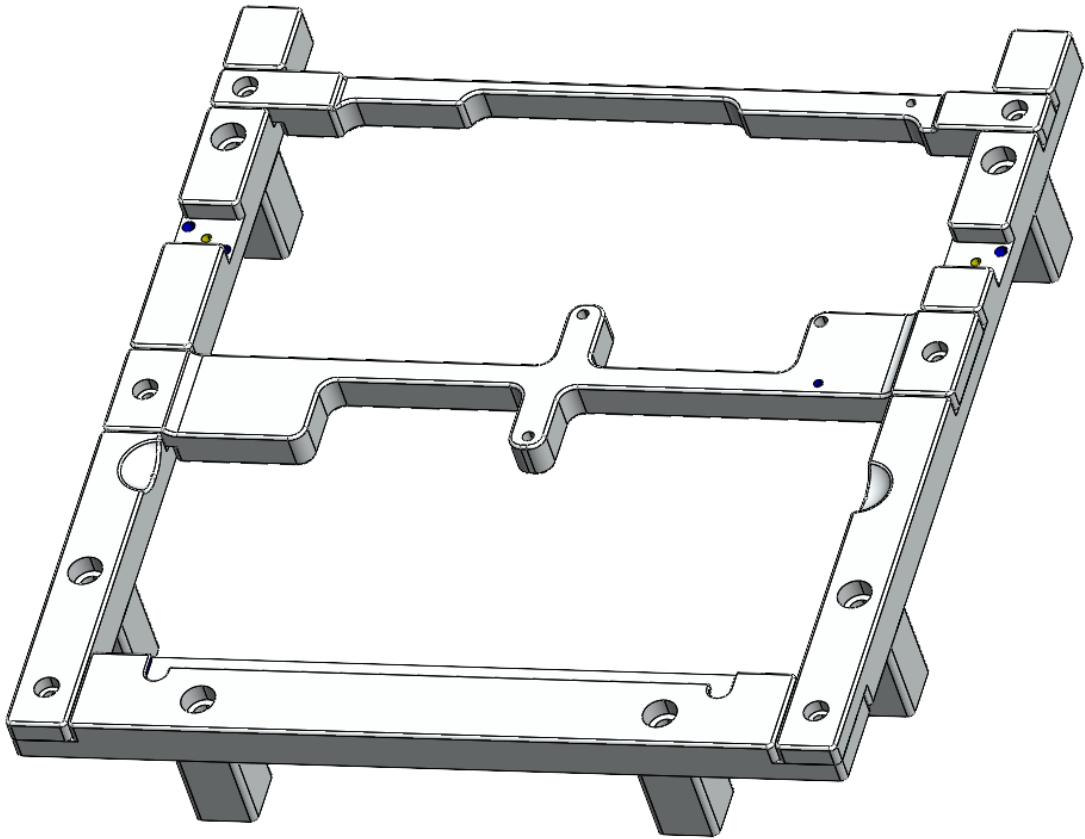


Figura 59 - Suporte PCB após alterações.

4. ESTUDO E PROJETO DA GARRA, ACOPLADOR E SUPORTE

Considerando as opções iniciais foram desenvolvidas duas soluções para a garra em que uma consiste numa solução mecânica enquanto a outra corresponde a uma solução pneumática. No que toca ao acoplador foi feito um estudo do mercado para avaliar a melhor solução possível.

4.1. ACOPLADOR RÁPIDO

O número de tarefas que um robô pode realizar está diretamente influenciado pelo número de ferramentas de que dispõe e é um ponto-chave para a sua versatilidade. Consequentemente, foram realizados estudos em mecanismos de troca de ferramentas. Há alguns fabricantes de acessórios robóticos que oferecem uma gama de diferentes tipos de troca de ferramentas, e podem ser geralmente agrupados em dois grupos, troca de ferramentas automáticas e manuais. Os sistemas de troca estão disponíveis em muitos tamanhos diferentes com diâmetros compreendidos entre 50 mm e 220 mm.

Para este estudo foram considerados apenas acopladores rápidos manuais, uma vez que só se pretende trocar de ferramenta ao fim de uma série de componentes e não a cada peça. Dentro dessa gama considerou-se acopladores rápidos de seis fabricantes diferentes.

4.1.1. 1ª OPÇÃO ACOPLADOR RÁPIDO DA ONROBOT

A primeira opção consiste no modelo disponibilizado pelo fabricante Onrobot. Acoplador composto por duas peças, uma fixa ligada diretamente à cabeça do robô (Figura 60) e outra ligada ao próprio gripper. (Figura 61).

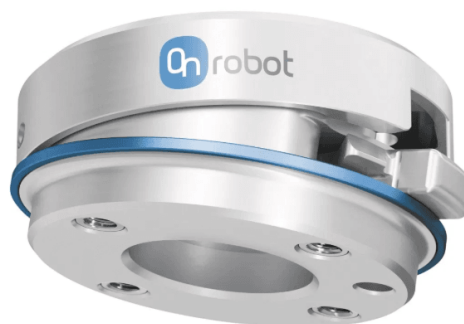


Figura 60 - Acoplador rápido da OnRobot [30].

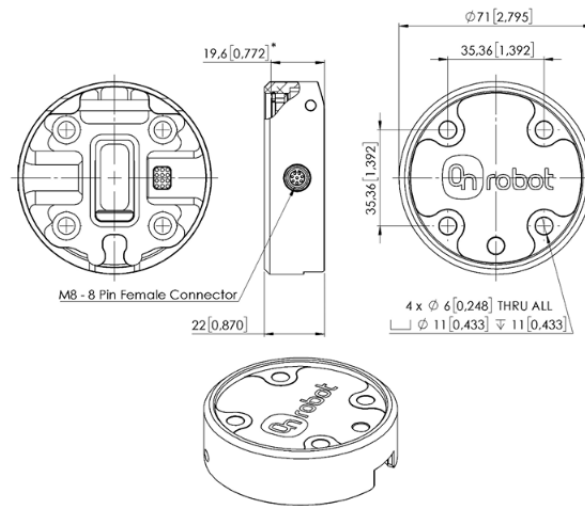


Figura 61 - Acoplador ligado ao robô [30].

O encaixe entre a parte superior ligada ao robô e a parte inferior ligada ao gripper só é possível quando o acoplador ligado ao gripper tiver na sua devida orientação. No que toca à desmontagem o acoplador possui um botão na sua lateral (Figura 62) que terá de ser acionado pelo operador para permitir a desmontagem do mesmo.

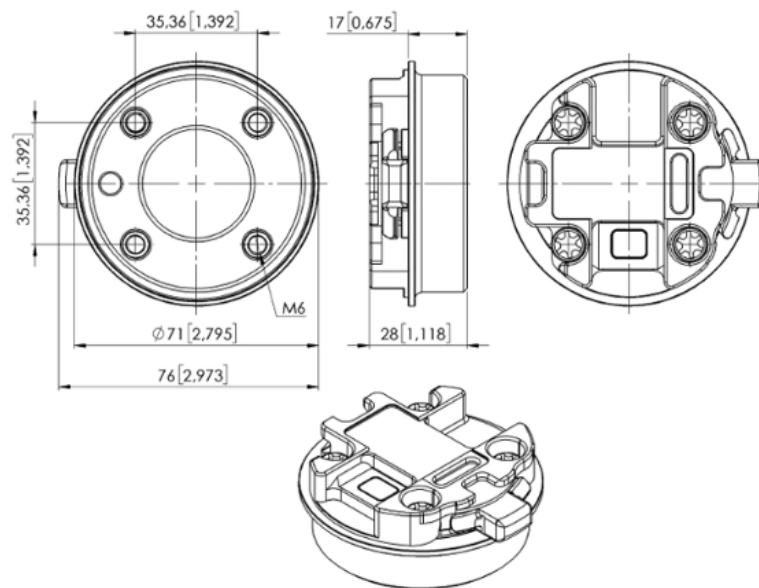


Figura 62 - Acoplador ligado ao gripper [30].

De seguida foi feita uma tabela (Tabela 3) onde estão representadas as principais características do acoplador para obter uma visão geral e mais tarde servir de comparação com as restantes opções.

Tabela 3 - Principais características acoplador rápido da ONROBOT.

Repetibilidade	±0.02 mm
Peso	233 g
Compatibilidade mecânica com o Robô TM5-700	Sim
Altura	36.6 mm
Tempo de montagem e desmontagem	< 3 s
Carga máxima recomendada	20 kg
Ligação pneumática	Não
Ligação elétrica	Sim
Mecanismo de prensão	Sistema de cliques
Preço	860 €

Esta opção proposta pelo construtor da OnRobot permite um tempo de ciclo de montagem/desmontagem bastante reduzido. Uma vez que a montagem se faz por um sistema de cliques torna este sistema muito simples e evita qualquer erro na fase de colocação. A desmontagem tal como referido anteriormente é feita pelo botão lateral. No que toca às desvantagens do acoplador, o facto do mesmo não permitir ligações pneumáticas torna esta opção pouco viável.

4.1.2. 2ª OPÇÃO ACOPLADOR RÁPIDO DA SCHUNK

A segunda opção consiste num modelo apresentado pelo fabricante alemão Schunk. Acoplador composto por duas peças, uma fixa ligada diretamente ao robô, outra ligada ao próprio gripper. (Figura 63).



Figura 63 - Acoplador rápido da marca Schunk [32].

implementada é preciso adicionar uma placa lateral que servira de encaixe para o módulo elétrico (Figura 65).

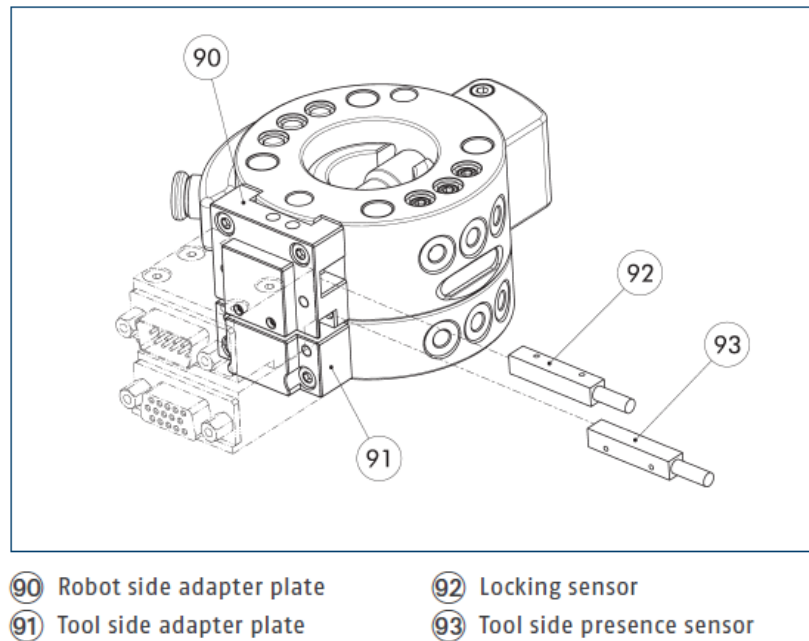


Figura 65 - Acessórios para o acoplador [32].

4.1.3. 3ª OPÇÃO ACOPLADOR RÁPIDO DA OX

A terceira opção consiste num modelo menos comum disponibilizado pela marca OX. Acoplador composto por duas peças, uma fixa ligada diretamente ao robô (Figura 66), outra ligada ao próprio gripper (Figura 67).

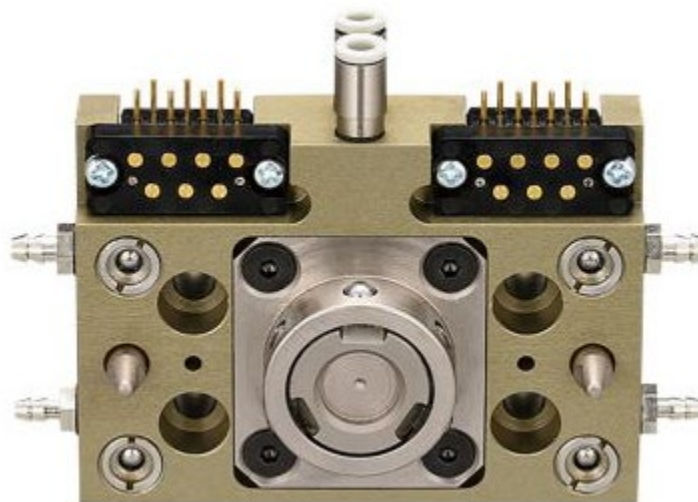


Figura 66 - Acoplador ligado à cabeça do robô [33].

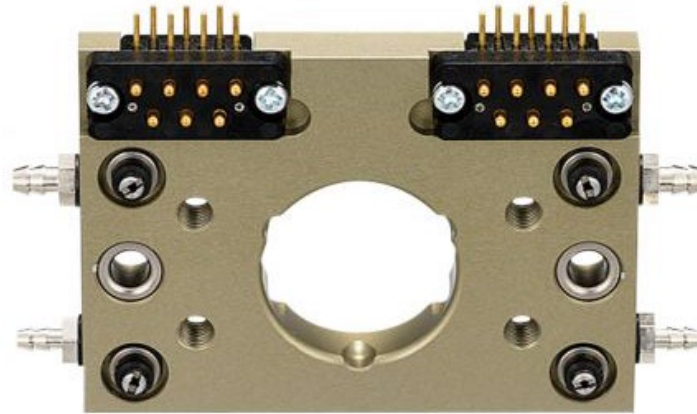


Figura 67 - Acoplador ligado à garra [33].

De realçar que a disposição dos furos de montagem no que toca ao acoplador ligado ao robô impõe que o mesmo seja montado na diagonal e só seria possível aparafusar em dois sítios. Em adição, os furos de montagem possuem um diâmetro de 6.6 mm, isto iria provocar uma ligação mais folgada uma vez que os furos da cabeça do robô possuem um diâmetro de 6 mm (Figura 68).

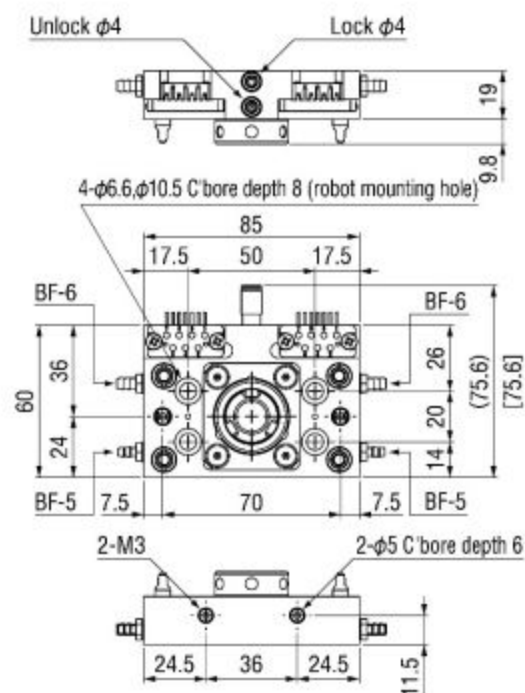


Figura 68 - Dimensões do acoplador ligado a cabeça do robô [33].

As especificações do modelo estão listadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Principais características acoplador rápido da OX.

Repetibilidade	-
Peso	550 g
Compatibilidade mecânica com o Robô TM5-700	(Sim)
Altura	33 mm
Ligação pneumática	Não
Ligação elétrica	Sim
Monitoramento de presença e bloqueio	Não
Carga máxima recomendada	3 kg
Mecanismo de prensão	Steel-Ball lock
Preço	540 €

Dado que as dimensões do próprio acoplador (Figura 68) principalmente o acoplador ligado à cabeça do robô não estão perfeitamente adequadas ao robô torna esta opção menos viável.

4.1.4. 4ª OPÇÃO ACOPLADOR RÁPIDO DA MILIBAR (MTCAE-UR3510-M6)

A quarta opção é proposta pela fabricante Milibar e consiste num acoplador composto por duas peças, uma fixa ligada diretamente ao robô, outra ligada ao próprio gripper (Figura 69).

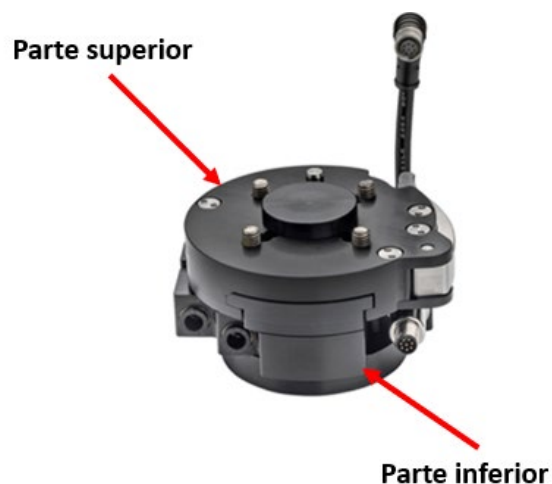


Figura 69 - Acoplador Milibar normalizado para gama UR [34].

Este acoplador está normalizado para a gama de robôs da marca Universal Robots, mas também se enquadra no caso em estudo. As dimensões estão representadas na Figura 70 e descritas na Tabela 6.

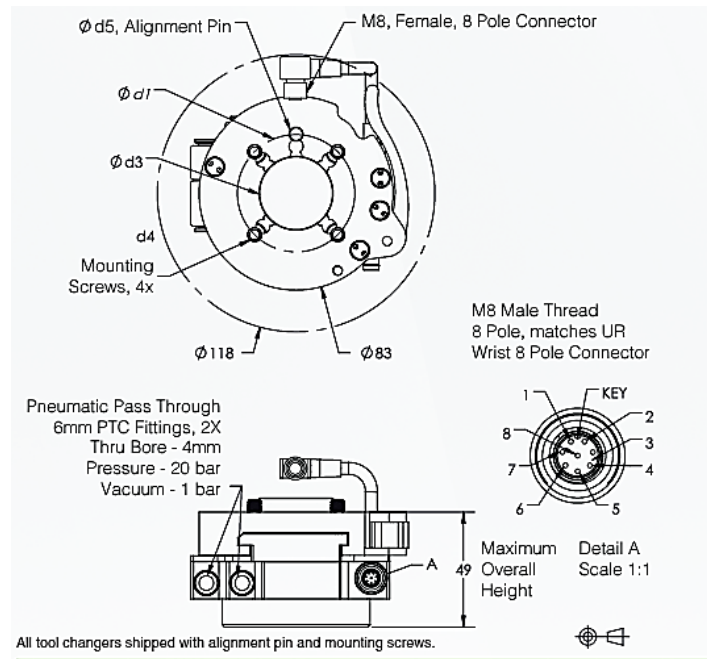


Figura 70 - Dimensões do acoplador [34].

Tabela 6 - Dimensões do acoplador rápido da Milibar.

Acoplador	Diâmetro de montagem (d1)	Disco de alinhamento (d3)	Diâmetro dos parafusos (d4)	Pino de alinhamento (d5)
MTCAE-UR3510	50 mm	31.5 mm	M6x1	6 mm

As principais características do acoplador estão ilustradas na Tabela 7.

Tabela 7 - Principais características acoplador rápido da Milibar.

Repetibilidade	0.05 mm
Peso	540 g
Compatibilidade mecânica com o Robô TM5-700	Sim
Altura	49 mm
Ligação pneumática	Sim
Ligação elétrica	Sim
Monitoramento de presença e bloqueio	Não
Carga máxima recomendada	50 kg
Mecanismo de prensão	Alavanca de travamento
Preço	1204.01 €

Para este modelo caso seja a opção pretendida haverá provavelmente a necessidade de remover a câmara atualmente montada no robô para evitar qualquer possível interferência.

4.1.5. 5ª OPÇÃO ACOPLADOR RÁPIDO DA ZIMMER (HWR2050L)

A quinta opção é proposta por outro construtor alemão intitulado Zimmer. Acoplador composto por duas peças, uma fixa ligada diretamente ao robô, outra ligada ao próprio gripper (Figura 71).



Figura 71 - Acoplador rápido da Zimmer [35].

As dimensões do mesmo estão representadas na Figura 72.

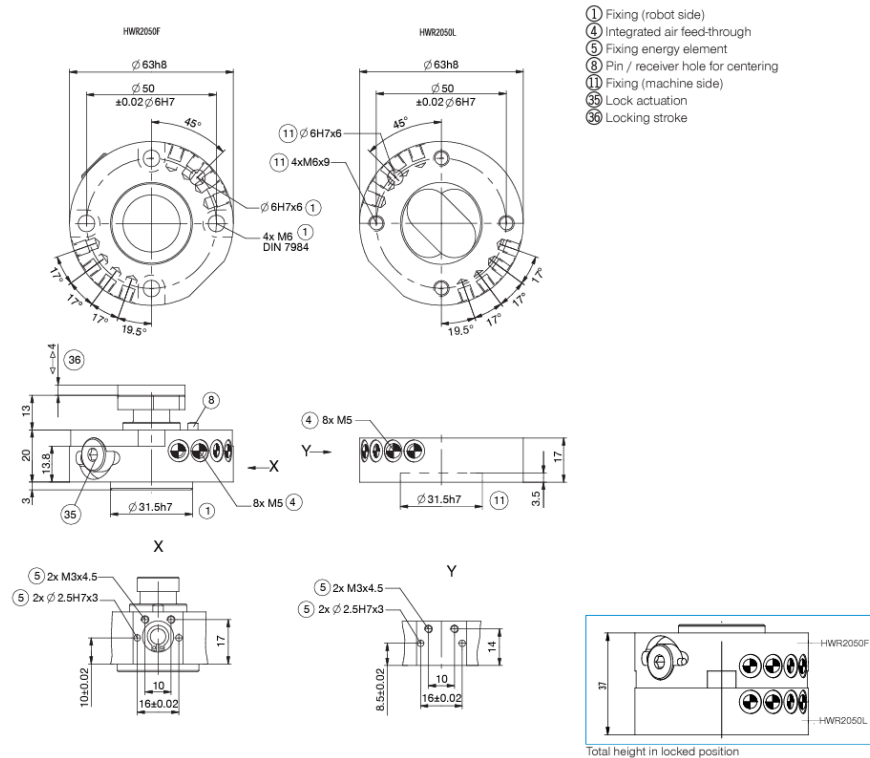


Figura 72. - Dimensões do acoplador [35].

Tabela 8 - Principais características acoplador rápido da Zimmer.

Repetibilidade	0.02 mm
Peso	345 g
Compatibilidade mecânica com o Robô TM5-700	Sim
Altura	37 mm
Ligação pneumática	Sim
Ligação elétrica	Sim (opcional)
Monitoramento de presença e bloqueio	Não
Carga máxima recomendada	20 kg
Mecanismo de prensão	Encaixe
Preço	-

Este acoplador tem a vantagem de ser leve e fácil de manusear. O tempo ciclo de montagem/desmontagem acaba também por ser reduzido. No que toca à ligação elétrica neste caso também é considerado como acessório, acessório que é disponibilizado pelo próprio fabricante. O mecanismo e funcionamento do acoplador pode ser observado na Figura 73.

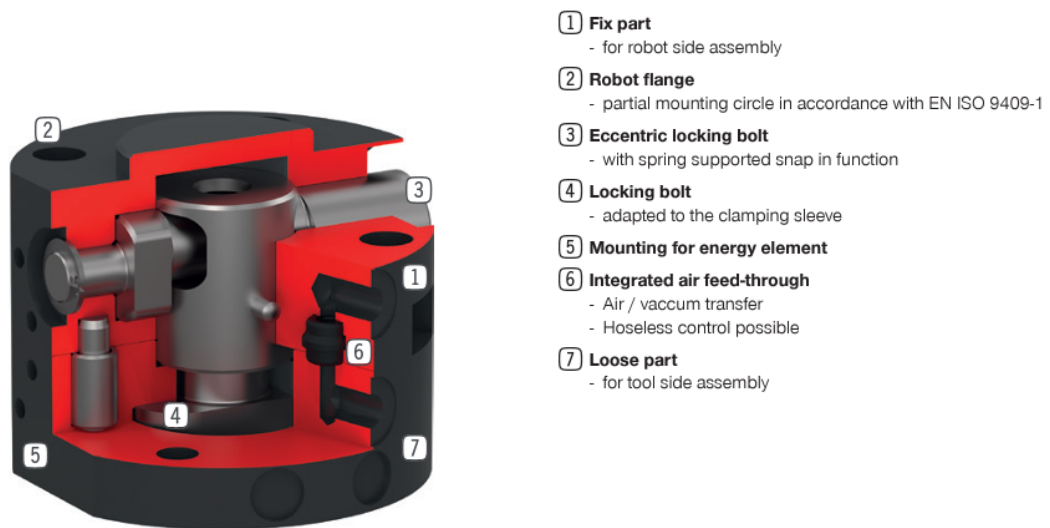


Figura 73 - Mecanismo do acoplador [35].

4.1.1.6. 6ª OPÇÃO ACOPLADOR RÁPIDO DA GIMATIC

Para a última opção foi considerado o modelo proposto pela Gimatic e consiste num acoplador composto por duas peças, uma fixa ligada diretamente ao robô, outra ligada ao próprio gripper. (Figura 74)



Figura 74 - Acoplador rápido QC75 da Gimatic [36].

A desmontagem e montagem deste acoplador é feita manualmente através de um punho. As dimensões do acoplador estão ilustradas na Figura 75 e Figura 76.

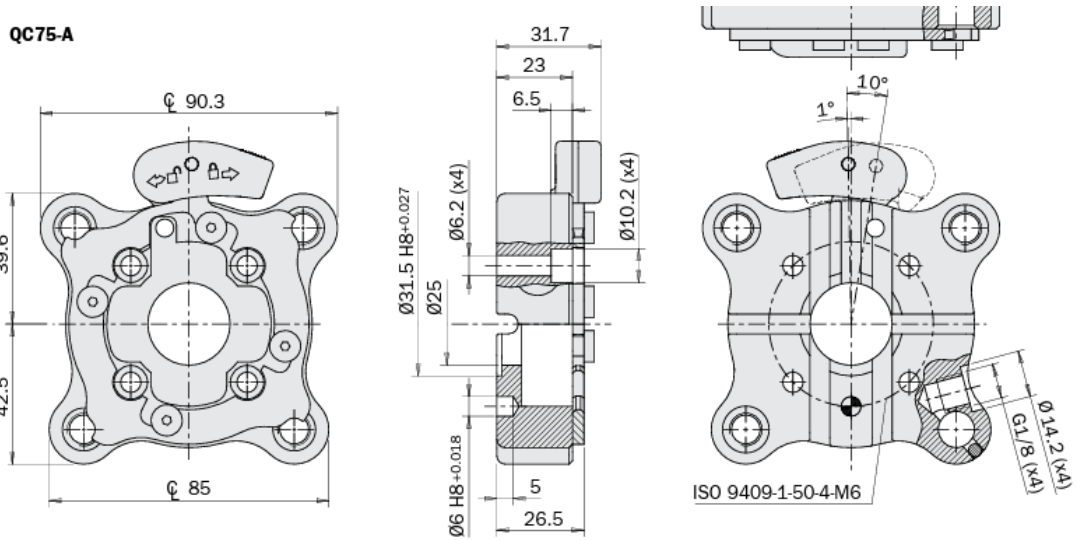


Figura 75 - Dimensões do acoplador ligado ao robô [36].

ε

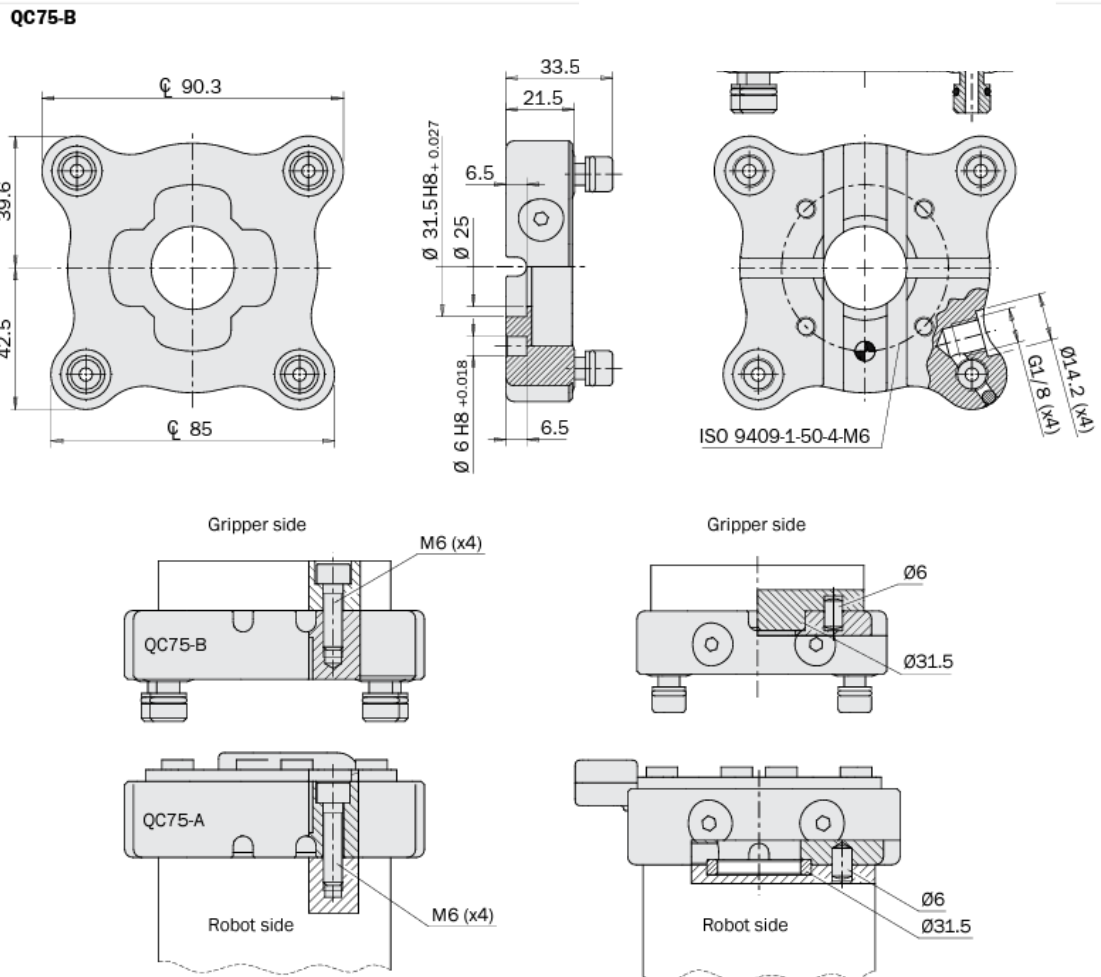


Figura 76 - Dimensões do acoplador lado do gripper [36].

Na Tabela 9 estão representadas as principais características do acoplador.

Tabela 9 - Principais características acoplador rápido da GIMATIC.

Repetibilidade	-
Peso	560 g
Compatibilidade mecânica com o Robô TM5-700	Sim
Altura	48 mm
Ligação pneumática	Sim
Ligação elétrica	Sim (opcional) (123.57€ + 38 g)
Monitoramento de presença e bloqueio	(Sim)
Carga máxima recomendada	20 kg
Mecanismo de prensão	Punho
Preço	656.99 €

O módulo elétrico pode ser adicionado através de um acessório **CRAQC + CRBQC** representados na Figura 77. Módulo que também contém um sensor de presença e bloqueio.

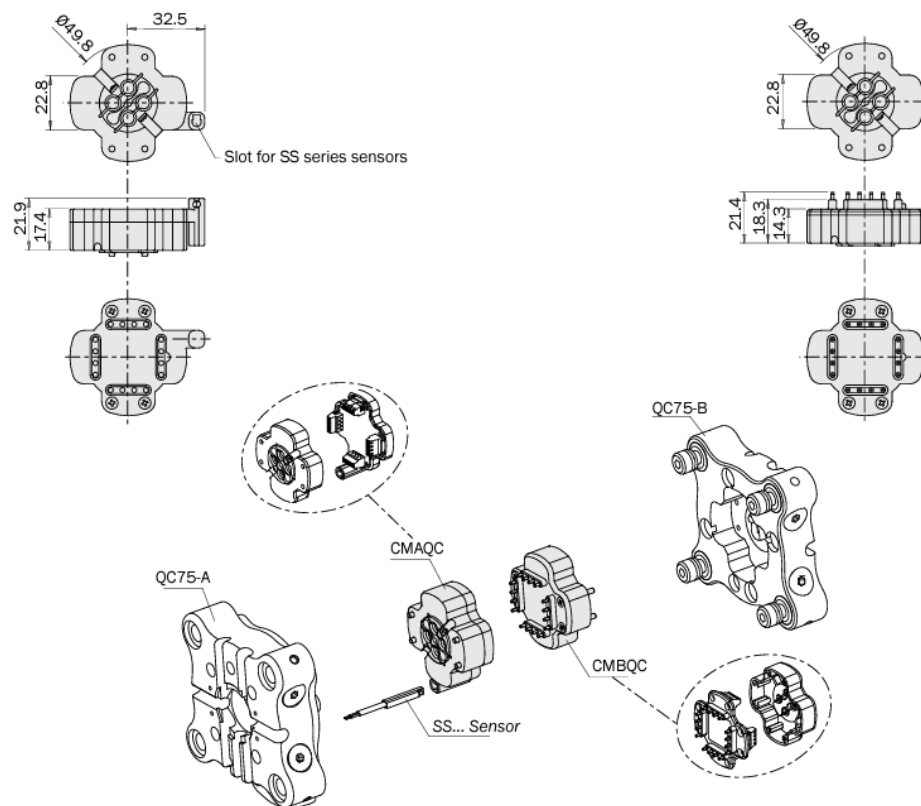


Figura 77 - Modulo elétrico para o acoplador [36].

4.1.7. COMPARAÇÃO DAS VÁRIAS OPÇÕES

De modo a ter melhor percepção das várias opções e definir com critério a opção mais indicada para este caso, foi feita uma tabela reunindo todas as principais informações dos diferentes acopladores.

Tabela 10 – Comparação dos vários modelos.

Acoplador	OnRobot	Schunk	OX	Milibar	Zimmer	Gimatic
Repetibilidade (mm)	0,02	0,02	-	0,05	0,02	-
Peso (g)	233	350	550	540	345	560
Compatibilidade mecânica com o Robô TM5-700	Sim	Sim	(Sim)	Sim	Sim	Sim
Altura (mm)	36.6	42.5	33	49	37	48
Ligação pneumática	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
Ligação elétrica	Sim	Sim (opcional)	Sim	Sim	Sim (opcional)	Sim (opcional) (123.57€ + 38 g)
Monitoramento de presença e bloqueio	Não	Sim (opcional)	Não	Não	Não	Sim
Carga máxima recomendada (kg)	20	11	3	50	20	20
Mecanismo de preensão	Sistema de cliques	Alavanca	Steel-Ball lock	Alavanca	Encaixe	Punho
Tempo de ciclo montagem/Desmontagem	<<<	<	<<	<<	<<	<<
Preço (€)	860	-	540	1204.01	-	656.99

Tendo então completado o estudo dos varios acopladores presentes no mercado, e após compilação da informação de modo a apresentar aos restantes membros da equipa do projeto, chegou-se à conclusão de optar pelo acoplador rápido proposto pelo fabricante *Gimatic*. Sendo o fator económico, o fator que mais pesou para distinguir os varios modelos, mas não só, a versatilidade no que toca as ligações pneumáticas assim como a sua ergonomia também influenciaram a decisão.

4.2. GARRA MECÂNICA

O desenvolvimento da garra mecânica foi realizado através do software *Solidworks* onde foi possível projetar os seus diferentes componentes. Inicialmente é apresentado o percurso até à ideia final, assim como o funcionamento que está por detrás da solução. Seguidamente está apresentado todo o dimensionamento relevante para o funcionamento do sistema.

4.2.1. SOLUÇÃO PRINCIPAL

Antes de partir para a modelação CAD tentou-se transmitir as ideias iniciais para um esboço. O foco consistia em usar uns pinos para poder centrar e localizar a peça assim como uns dedos que admitissem dois graus de liberdade. Na Figura 78 está representado o primeiro esboço da ideia implementada para a garra mecânica.

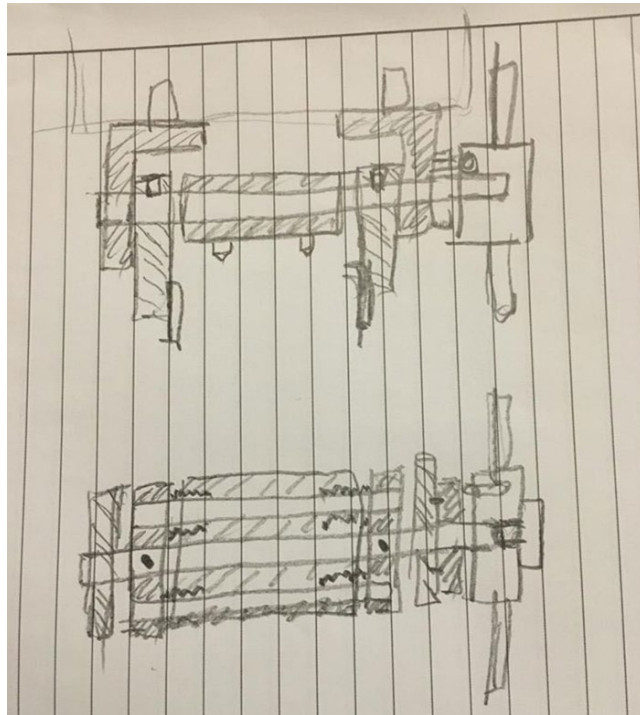


Figura 78 - Primeiro esboço efetuado.

De seguida desenvolveu-se esse desenho para um esboço mais refinado que resultou na Figura 79.

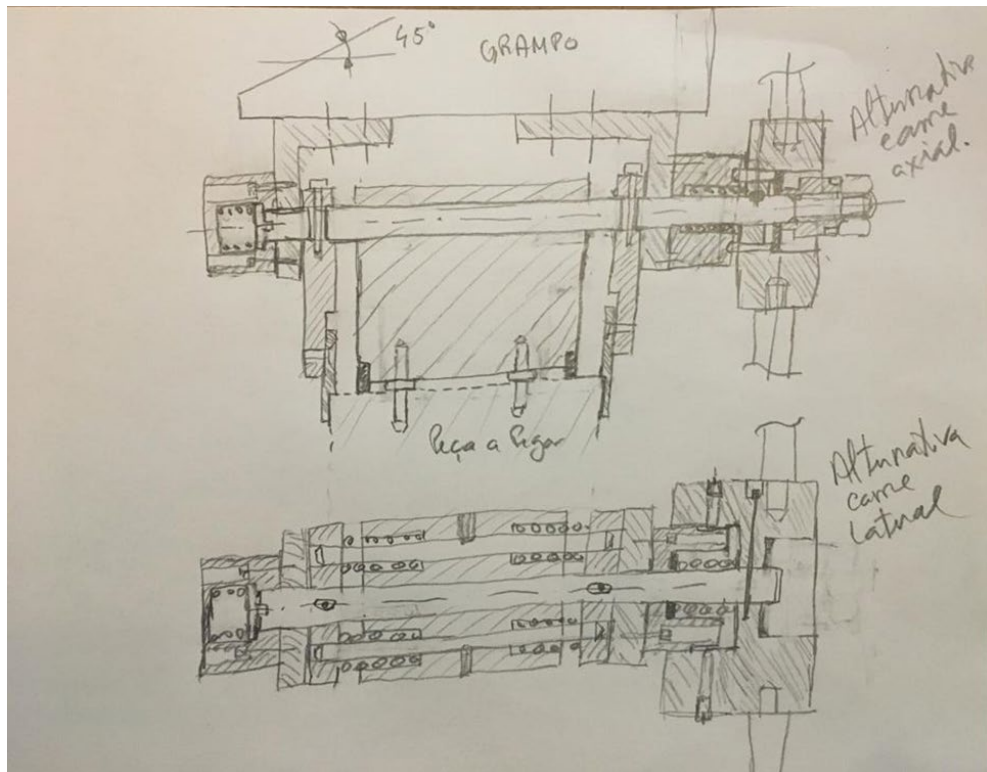


Figura 79 - Esboço mais detalhado.

Assim sendo após a ideia inicial ser discutida e definida começou-se por desenvolver o modelo CAD. Na Figura 80 observa-se os novos dedos projetados com o componente SN02 agarrado. O sistema permite duas posições diferentes para além da abertura e fecho dos dedos, 0° e 90°.

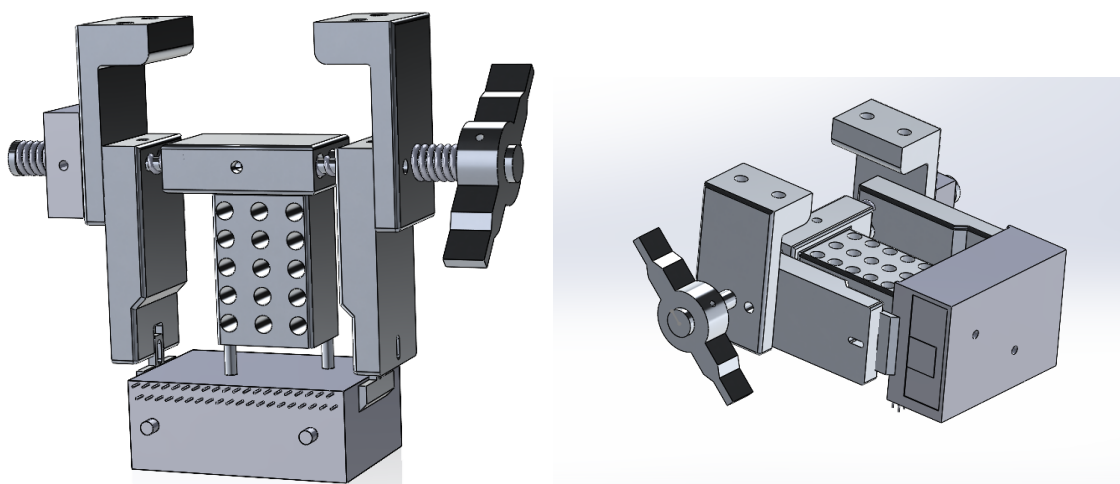


Figura 80 – Desenvolvimento dos novos dedos.

A Figura 81 mostra os dedos projetados montados no gripper 2FG7

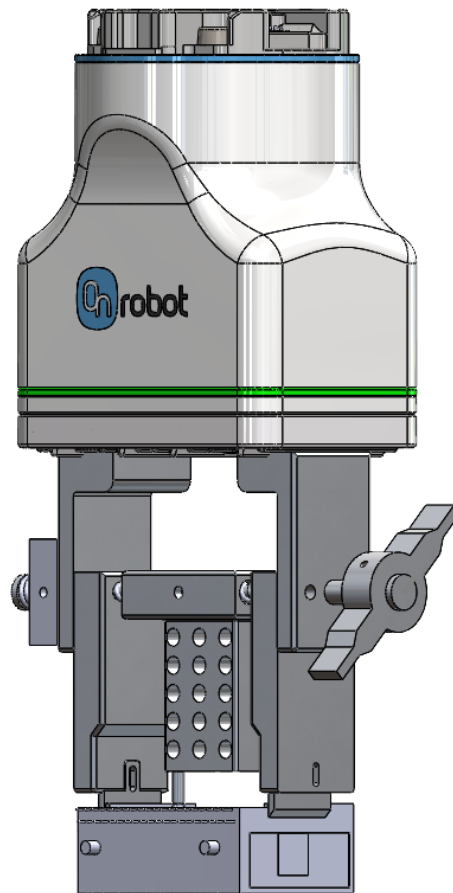


Figura 81 - Dedos montados no gripper 2FG7.

Dedos que são compostos por várias peças como ilustrado na Figura 82. Os desenhos técnicos correspondentes ao suporte PCB encontram-se no Anexo 2.

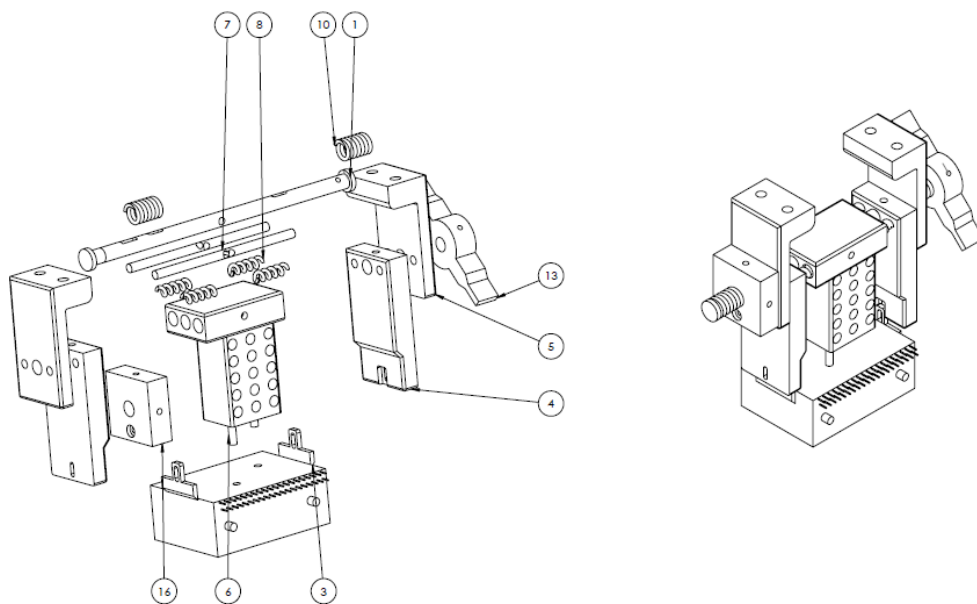


Figura 82 - Vista explodida dos dedos.

No que toca ao funcionamento, como explicado anteriormente o objetivo dos dedos passa por apertar a peça, rodar a mesma e proceder à inserção da peça na sua placa PCB. Isto tudo com alta precisão e durante um grande número de ciclos.

Os novos dedos são compostos por duas partes, a parte superior, representada pelo número 5, e a parte inferior representada pelo número 4 na Figura 82. Ambos os dedos estão ligados através do veio principal (nº1). Veio principal que é responsável pela ligação entre si de todos os componentes do sistema, bem como pela sua rotação. No entanto, para não danificar e permitir o bom funcionamento dos dedos, o veio não pode admitir qualquer tipo de movimento de translação, apenas rotação. Essa restrição é feita através das duas molas (nº10) que têm como função manter o sistema em equilíbrio e de restringir o movimento de translação do veio sem obstruir a rotação do mesmo.

O dedo superior que está diretamente ligado ao próprio gripper, é responsável pela abertura e o fecho dos dedos, não tendo a possibilidade de rodar.

O dedo inferior, por sua vez, acompanha o movimento do dedo superior (translação sobre o veio principal), mas também acompanha a rotação. Para que tal seja possível foi preciso pensar numa solução para a ligação do dedo ao veio que permitisse as duas coisas, translação sobre o veio e rotação acompanhando o movimento do veio. A solução adaptada foi uma ligação slot/pino como representado na Figura 83. A slot permite o movimento de translação sobre o veio e o pino permite o movimento de rotação em conjunto com o veio.

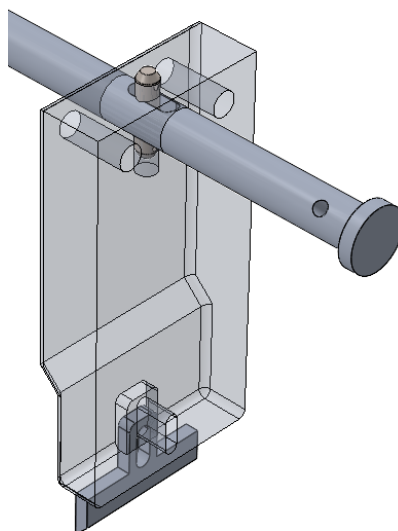


Figura 83 - Ligação slot/pino.

As unhas (nº3) permitem um maior controlo do atrito entre o componente SN02 e o dedo inferior e são ligadas ao dedo através de um parafuso M2 que se encontra numa slot para permitir ajustar a altura da unha.

A peça central dos dedos representada pelo número 6 (Figura 82), tem dois pinos na sua parte inferior que encaixam diretamente no componente SN02 nas zonas indicadas a vermelho na Figura 84. Isso permite garantir que a peça seja sempre agarrada da mesma maneira e que esteja sempre centrada em relação aos dedos. A variável de precisão é principalmente controlada por esta parte, a ligação ao resto do sistema é feita através do veio principal. Como esta parte também não pode permitir qualquer tipo de movimento de translação apenas rotação, foram adicionados dois veios secundários (nº7). Estes veios permitem uma maior estabilidade do sistema através das quatro molas (nº8) o sistema é mantido em equilíbrio e impedem o movimento de translação da peça central. A rotação é assegurada através de um pino que atravessa todo o sistema que liga a parte central e os veios secundários ao veio principal. Os vários furos visíveis são apenas para diminuir a massa do mesmo. O atuador representado pelo número 13 na Figura 82 está fixo ao veio a 45° e é responsável pela rotação do veio principal. O atuador deverá ser acionado por um batente externo para permitir a rotação do mesmo e consequentemente a rotação do veio principal. A posição de 45° facilita esse procedimento entre o batente e o atuador, uma vez que o mesmo deverá rodar 90° para atingir a posição pretendida.

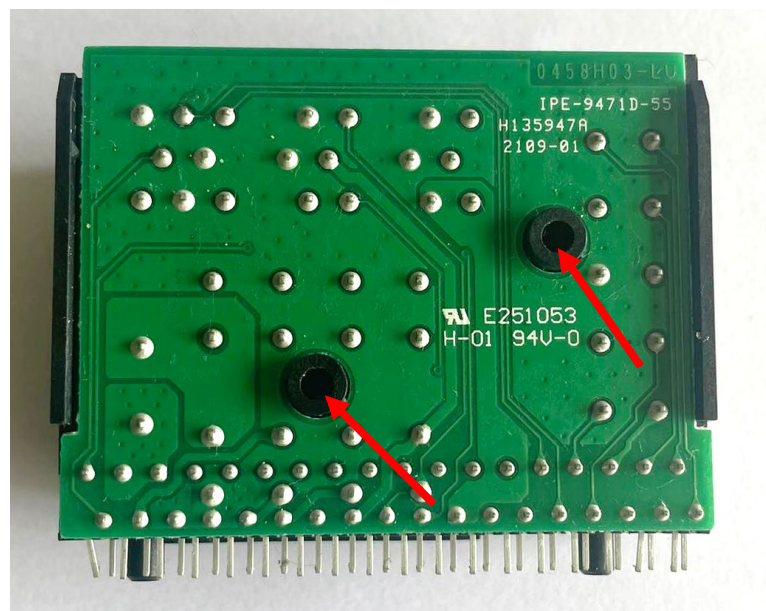


Figura 84 - Zona de inserção dos pinos da parte central dos dedos.



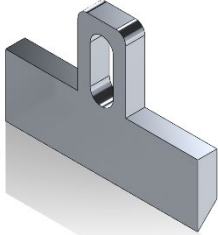
O sistema de bloqueio pino mola representado na Figura 85, consiste em dois pinos ligados a uma mola que encaixam numa slot pertencendo ao veio, permitindo assim o bloqueio do sistema nas duas posições 90° e 0°.

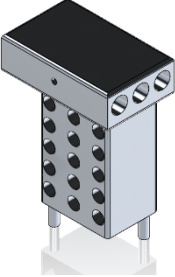
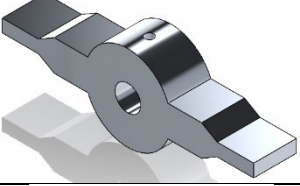
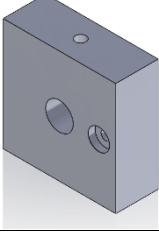





Figura 85 - Sistema de bloqueio.

Cada peça tem a sua função e importância. O material dos dedos está definido como um alumínio da liga 1060. Foi feita uma análise de cada peça no sentido de perceber qual a sua função representada na Tabela 11.

Tabela 11 - Lista de componentes do sistema mecânico.

Peça	Função	Ilustração
Dedo superior (2x)	Ligação entre o gripper e o restante dos dedos.	
Dedo inferior (2x)	Ligação entre o componente SN02 e o gripper.	
Unhas (2x)	Permitir um bom coeficiente de atrito entre dedo e componente, mas também permitir que a altura de aperto seja ajustável.	

<p>Parte central</p>	<p>Responsável pela precisão no momento de aperto e montagem do componente SN02.</p>	
<p>Atuador</p>	<p>Responsável pela rotação do mecanismo dos dedos.</p>	
<p>Sistema de bloqueio</p>	<p>Responsável pelo bloqueio das 2 possíveis posições dos dedos 0° e 90°.</p>	
<p>Veio principal</p>	<p>Ligação de todo o sistema e responsável pela rotação do sistema.</p>	
<p>Veio secundário (2x)</p>	<p>Dar resistência e estabilidade ao sistema.</p>	
<p>Mola do veio principal (2x)</p>	<p>Não permitir qualquer translação do veio principal mantendo o sistema em equilíbrio.</p>	
<p>Mola secundaria (4x)</p>	<p>Não permitir qualquer translação da parte central e manter o sistema em equilíbrio.</p>	
<p>Mola do sistema de bloqueio (2x)</p>	<p>Emitir a força necessário para manter o sistema nas suas 2 diferentes posições.</p>	

4.2.2. DIMENSIONAMENTO

Neste subcapítulo é abordado principalmente o dimensionamento das molas tendo em conta as suas características para o bom funcionamento do sistema desenvolvido.

Molas do veio principal

Para as molas do veio principal temos vários constrangimentos, nomeadamente:

- Diâmetro interno ≥ 6 mm
- Diâmetro externo ≤ 9 mm
- Comprimento não tensionado da mola > 15 mm
- Força máxima com carga estática > 20 N
- Comprimento mais pequeno com carga estática < 10 mm

Uma vez que os constrangimentos estão todos definidos foi feita uma pesquisa no mercado de modo a descobrir uma opção que se enquadra nestas características. Na Tabela 12 foi feito um resumo das principais características da mola e na Figura 86 encontra-se o índice das diferentes variáveis.

Tabela 12 - Características da mola D-160.

Dados	Mola de compressão D-160
Fabricante	Gutekunst Federn
Tipo de Material	EN 10270-1
Diâmetro do arame, d (mm)	1
Diâmetro interno, Dd (mm)	6.5
Diâmetro externo, De (mm)	9
Comprimento não tensionado da mola, L0(mm)	19
Força máxima com carga estática, Fn (N)	37.704
Comprimento mais pequeno com carga estática, Ln (mm)	8.58
Rigidez da mola, k (N/mm)	3.618

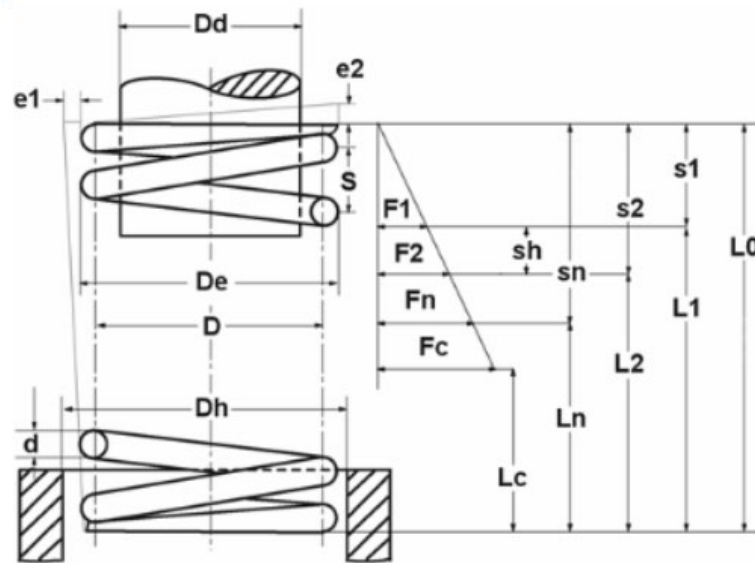


Figura 86 - Índice das dimensões das molas.

O cálculo teórico da força exercida sobre a mola é dado sob a forma da seguinte equação.

$$F_{\text{Mola}} = k \cdot \Delta l \quad (4.1)$$

Tendo em conta os seguintes dados:

Tabela 13 - Dados para mola do veio principal.

Gripper aberto (mm)	10
Gripper fechado (mm)	15
L0 da mola D-160 (mm)	19
K (N/mm)	3.618

As distâncias na Tabela 13 representam a distância máxima e mínima da mola. Introduzindo esses dados na equação obtém-se os seguintes valores representados na Tabela 14.

Tabela 14 - Valores da força provocada pela mola.

Estado	Deslocação da mola Δl (mm)	Força (N)
Gripper aberto (min)	9 (max)	32.562
Gripper fechado	4 (min)	14.472

Através da tabela é possível observar que a força máxima com carga estática está bem acima do valor pretendido, 20 N. Conclui-se que esta mola satisfaz todos os requisitos inicialmente citados. De realçar também que esta mola já vem com as extremidades em ponta retificadas, pelo próprio fabricante. Por fim, para confirmar que a mola é adequada ao sistema, foi feita uma simulação numérica no sentido de confirmar que o veio suportasse as cargas. O material escolhido para este caso foi uma liga de alumínio 1060 com as seguintes características ver Tabela 15. Para tal o veio foi cortado a meio e constrangido no local de corte (Figura 88) e foi aplicado uma força de 30 N na face interior da sua extremidades como representado na Figura 89.

Tabela 15 - Propriedades da liga de alumínio 1060.

Propriedade	Valor	Unidade
Modulo de elasticidade	6.9×10^{10}	$\frac{N}{m^2}$
Coefficiente de poisson	0.33	
Modulo de corte	2.7×10^{10}	$\frac{N}{m^2}$
Densidade	2700	$\frac{kg}{m^3}$
Resistência à tração	68935600	$\frac{N}{m^2}$
Tensão de cedência	27574200	$\frac{N}{m^2}$

Figura 87 - Características da liga de alumínio 1060.

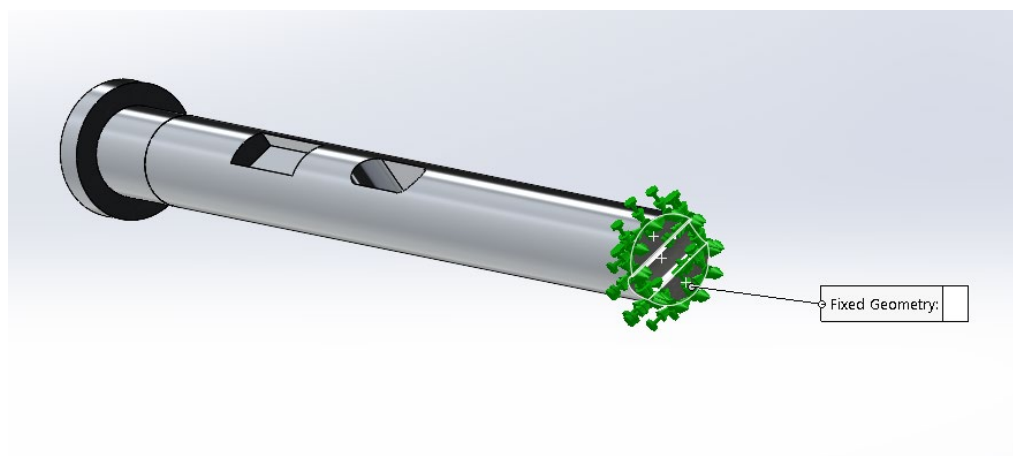


Figura 88 - Constrangimento do veio.

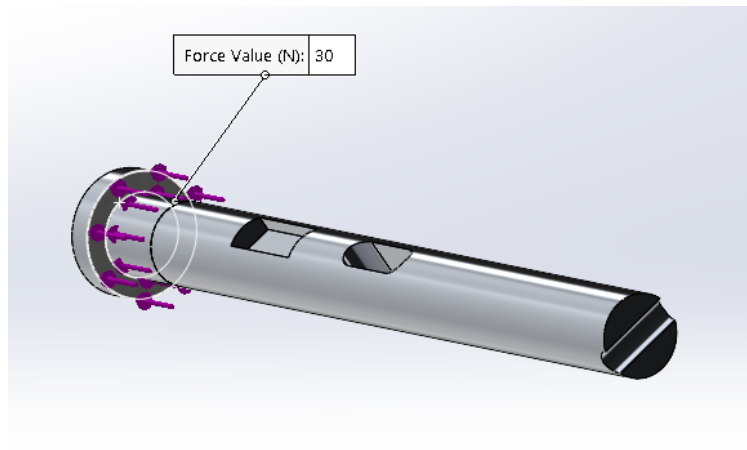


Figura 89 - Força exercida sobre o veio.

Relativamente à geração da malha, a mesma é constituída por elementos lineares sólidos tetraédricos (Figura 90) uma vez que são os únicos elementos disponíveis no programa *Soldiworks* para corpos sólidos.

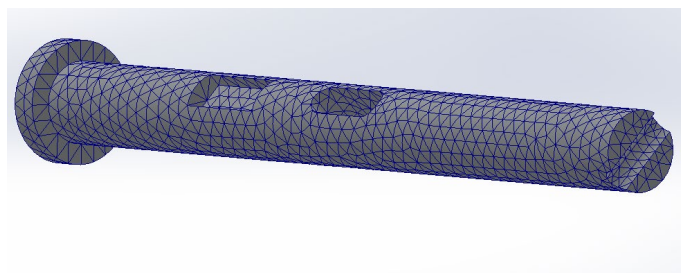


Figura 90 - Malha composta pelos elementos tetraédricos.

Como resultados da simulação obteve-se um deslocamento pouco significativo na ordem dos 10^{-3} mm como representado na Figura 91.

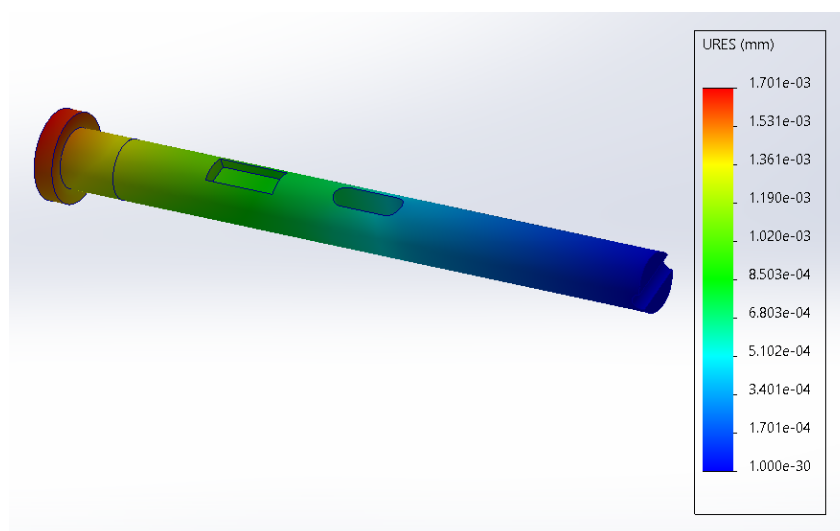


Figura 91 - Deformação do veio.

Mola veio secundário

Para as molas do veio secundário temos vários constrangimentos, nomeadamente:

- Diâmetro interno ≥ 3.6 mm
- Diâmetro externo ≤ 6 mm
- Comprimento não tensionado da mola > 19 mm
- Comprimento mais pequeno com carga estática < 14 mm

Na Tabela 16 foi feito um resumo das principais características da mola. Mola que também é produzido pelo fabricante alemão *Gutekunst Federn*.

Tabela 16 - Características da mola do veio secundário.

Dados	Mola de compressão D-136
Fabricante	Gutekunst Federn
Tipo de Material	EN 10270-1
Diâmetro do arame, d (mm)	0.8
Diâmetro interno, Dd (mm)	3.8
Diâmetro externo, De (mm)	5.8
Comprimento não tensionado da mola, L0(mm)	24.5
Força máxima com carga estática, Fn (N)	30.215
Comprimento mais pequeno com carga estática, Ln (mm)	13.19
Rigidez da mol, k (N/mm)	2.671

Tendo em conta os seguintes dados:

Tabela 17 - Dados para a mola do veio secundário.

Gripper aberto (mm)	19
Gripper fechado (mm)	14
L0 da mola D-136 (mm)	24.5
K (N/mm)	2.671

As distâncias na Tabela 17 representam a distância máxima e mínima da mola. Introduzindo esses dados na equação obtém-se os seguintes valores representados na Tabela 18.

Tabela 18 - Valores da força provocada pela mola.

Estado	Deslocação da mola Δl (mm)	Força (N)
Gripper aberto (min)	5.5 (min)	14.69
Gripper fechado	10.5 (máx)	28.046

Conclui-se que esta mola satisfaz todos os requisitos inicialmente citados. De realçar também que esta mola já vem com as extremidades em ponta retificadas, pelo próprio fabricante.

Sistema de bloqueio

Neste sistema temos outras forças envolvidas, nomeadamente forças de atrito. A força exercida pela mola deverá ser sempre superior à força de atrito nas duas posições 0° e 90° . Na Figura 92, é possível observar as forças que atuam sobre o pino e sobre a mola.

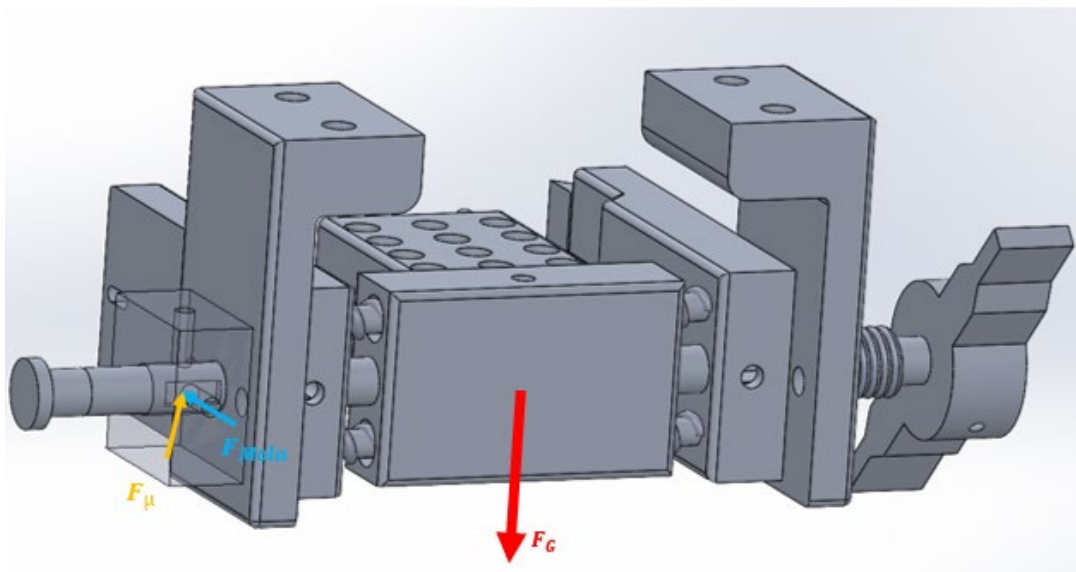


Figura 92 - Forças envolvidas.

Considerando F_μ igual a F_G temos:

$$F_\mu = F_{\text{Mola}} \cdot \mu \quad (4.2)$$

Para que o sistema se mantenha em equilíbrio F_{μ} tem que ser maior que F_G . Uma vez que a massa do sistema corresponde a 500 g, o valor nominal de F_G corresponde a 4.91 N e aplicando um fator de segurança de $n = 1.2$ temos que:

$$F_{\text{Mola}} = \frac{F_G \cdot n}{\mu} \quad (4.3)$$

$$F_{\text{Mola}} > 9.66\text{N}$$

Para as molas do sistema de bloqueio temos então os seguintes constrangimentos:

- Diâmetro externo ≤ 2.5 mm
- Força máxima com carga estática > 9.66
- Comprimento mais pequeno com carga estática < 8.5 mm

Na Tabela 19 foi feito um resumo das principais características da mola.

Tabela 19 - Características da mola do sistema de bloqueio.

Dados	Mola de compressão D-063H
Fabricante	Gutkunst Federn
Tipo de Material	EN 10270-1
Diâmetro do arame, d (mm)	0.4
Diâmetro interno, Dd (mm)	1.1
Diâmetro externo, De (mm)	2.2
Comprimento não tensionado da mola, L0(mm)	13
Força máxima com carga estática, Fn (N)	17.816
Comprimento mais pequeno com carga estática, Ln (mm)	8.02
Rigidez da mol, k (N/mm)	3.578

Para este caso a tarefa de encontrar uma mola adequada tornou-se mais complicada. Uma vez que temos um curso bastante pequeno e o tamanho da mola também tem de ser pequeno tudo isto exercendo a força necessária para manter o sistema nas suas posições.

Tendo em conta os seguintes dados:

Tabela 20 - Dados da mola do sistema de bloqueio.

Pino em posição de encaixe (mm)	10
Pino retraído (mm)	8.5
L0 da mola D-063H (mm)	24.5
K (N/mm)	3.578

As distâncias na Tabela 20 representam a distância máxima e mínima da mola. Introduzindo esses dados na equação obtém-se os seguintes valores representados na Tabela 21.

Tabela 21 - Valores da força provocada pela mola.

Estado	Deslocação da mola Δl (mm)	Força (N)
Pino retraído (min)	3	10.73
Pino encaixado (max)	4.5	16.10

Conclui-se que esta mola satisfaz todos os requisitos para o sistema de bloqueio.

Dimensionamento do veio

Para verificar a viabilidade do sistema, foi feito um estudo do veio principal dos dedos. É um dos componentes mais essenciais, mas ao mesmo tempo o mais crítico. Os esforços a que o veio está sujeito estão representados na Figura 93.

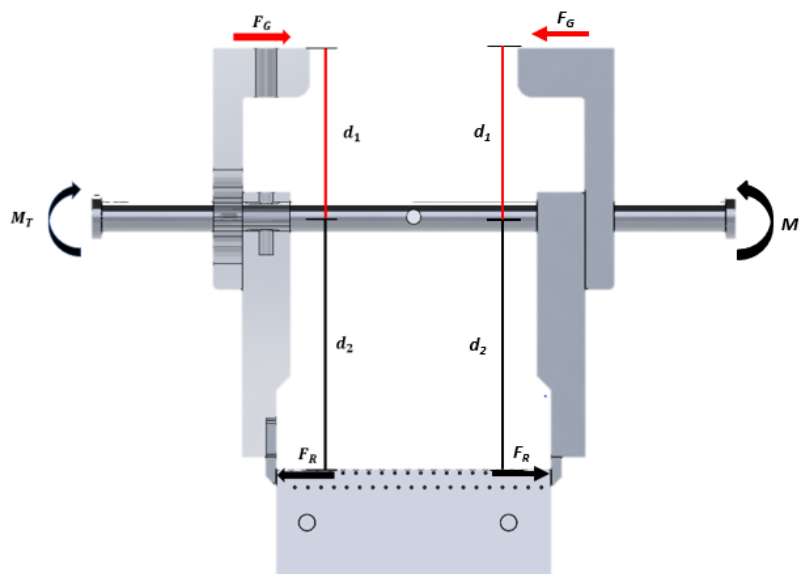


Figura 93 - Esforços a que o veio está sujeito.

A força que é atuada pelo próprio gripper provoca uma força de reação no contacto entre a unha e o componente SN02. Essas forças provocam um momento no veio, momento que se reflete numa deflexão no próprio veio como representado na Figura 94.

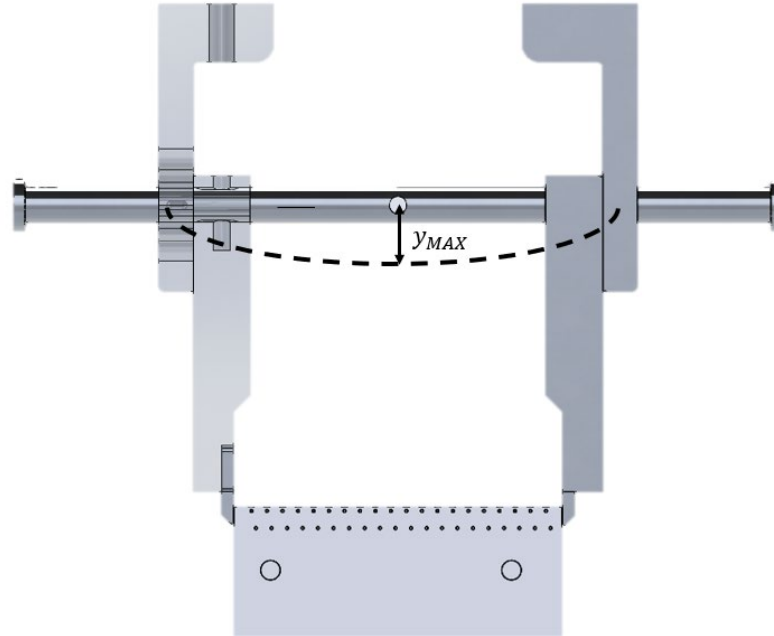


Figura 94 - Deflexão sofrida pelo veio.

Essa deflexão do veio é crítica uma vez que o veio serve de base de deslizamento para os dedos, uma deflexão elevada pode levar a um bloqueio dos dedos e ao mau funcionamento do sistema.

O momento M_T é para a força máxima (140 N) do gripper dado sob a seguinte forma (Figura 93):

$$M_T = F_G \cdot d_1 + F_R \cdot d_2 \quad (4.4)$$

$$M_T = 140 \text{ N} \cdot 0.0407 \text{ m} + 140 \text{ N} \cdot 0.05305 \text{ m}$$
$$M_T = 13.125 \text{ Nm}$$

Tendo então calculado o momento provocado pelas forças no veio, o seguinte passo consiste no cálculo da deformação máxima y representada na Figura 94. Para calcular a deflexão de uma viga sob flexão pura, é possível utilizar a fórmula derivada da teoria de vigas de Euler-Bernoulli. Esta fórmula fornece uma aproximação da deformação em qualquer ponto ao longo da viga devido a cargas de flexão. Para uma viga apoiada em ambas as extremidades sujeita a flexão pura, a deflexão (δ) em qualquer ponto (x) ao longo do comprimento da viga pode ser calculada utilizando a seguinte equação:

$$\delta = \frac{M_T \times x^2}{2 \times EI} \quad (4.5)$$

Desta forma, é necessário calcular o momento de inércia da secção do veio, que é dado por:

$$I = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi(6 \cdot 10^{-3})^4}{64} \quad (4.6)$$

$$I = 6,36 \cdot 10^{-11} \text{ m}^4$$

Introduzindo os valores na equação da deflexão obtém-se:

$$\delta = \frac{13.125 \times (84 \times 10^{-3})^2}{2 \times 70 \times 10^9 \times 6,36 \cdot 10^{-11}} \quad (4.7)$$

$$\delta = 0,002\text{m} = 2 \text{ mm}$$

Como se pode observar, o valor da deflexão máxima é bastante elevado e seria prejudicável para o bom funcionamento do sistema. Essa mesma deflexão poderia ser reduzida para um terço do valor da mesma utilizando outro material como o aço que tem sensivelmente um módulo de elasticidade 3 vezes maior que o do alumínio. A deflexão sofrida ao longo do veio está representada na Figura 95.

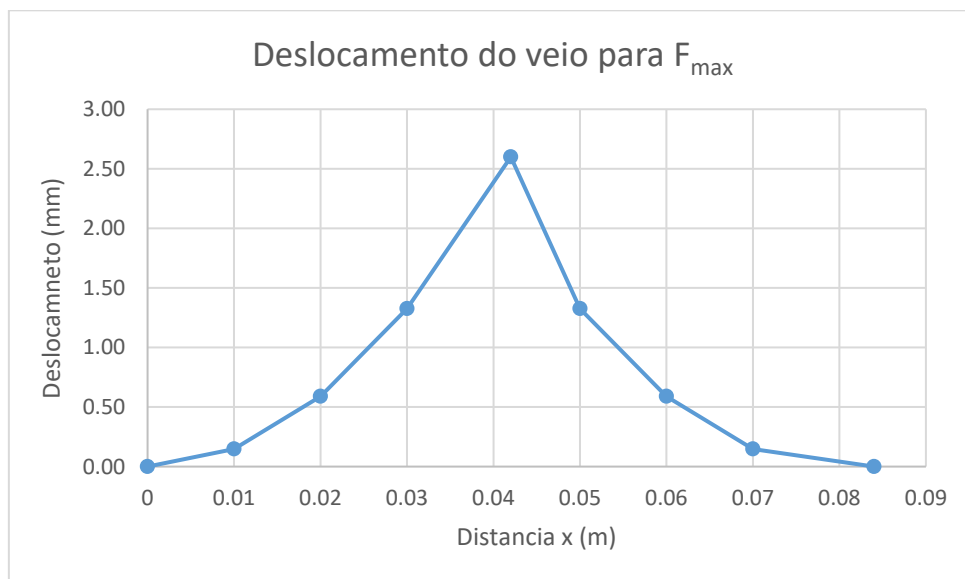


Figura 95- Gráfico ilustrando a deflexão ao longo do veio.

De realçar que os valores obtidos acima correspondem à força máxima do gripper, força que não deverá ser atingida para as funções necessários deste caso. Assim foram efetuados os mesmos cálculos para a força necessária que permite manipular o componente SN02. Neste caso trata-se da força mínima do gripper que equivale a 20 N, uma vez que a força mínima de aperto do componente SN02 encontra-se abaixo desse valor.

4.2.2.1. LAYOUT DA CÉLULA DE TRABALHO DE APOIO À GARRA

Neste capítulo é apresentado um possível layout da célula de trabalho representado na Figura 96 e Figura 97.

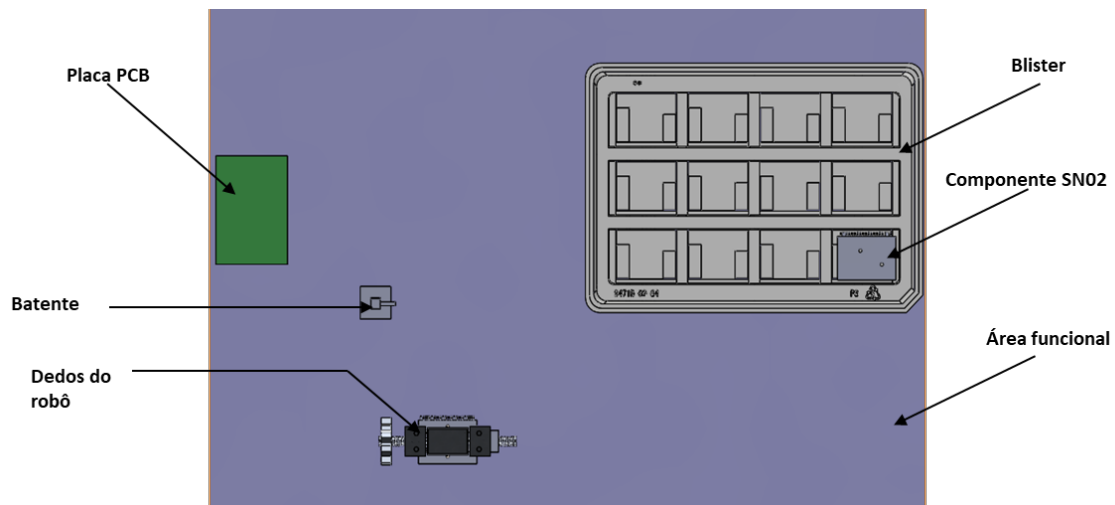


Figura 96 - Layout da célula de trabalho visto de cima.

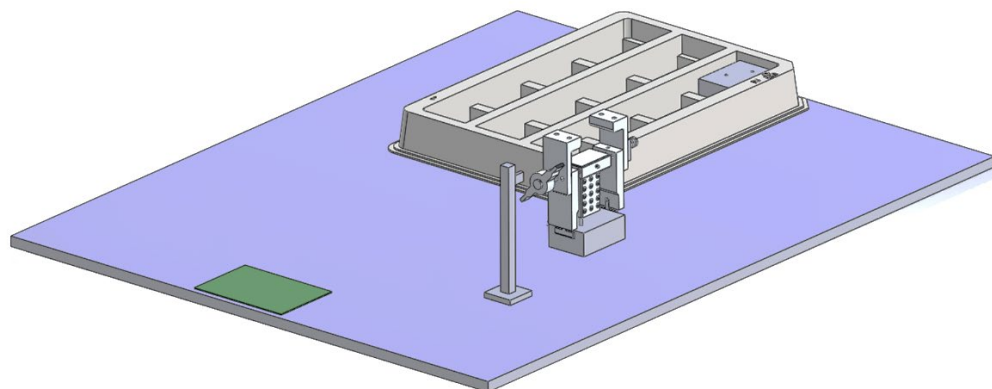


Figura 97 - Layout da célula de trabalho em perspectiva.

A célula de trabalho é composta por um *blister* que contem os componentes a manipular, a placa PCB correspondente ao componente, o batente e o próprio robô com os novos dedos. O batente como anteriormente mencionado serve para que o atuador (n°13 da Figura 82) seja acionado, essa ação é feita pela própria movimentação do robô. O robô aproxima o atuador ao batente e através de um movimento vertical ou horizontal dependendo da disposição do batente deverá passar pelo batente mantendo o contacto entre batente e atuador até o mesmo rodar 90°.

O objetivo neste caso é minimizar o tempo de ciclo. Para tal, a posição do batente torna-se bastante relevante. A melhor solução é posicionar o batente algures no meio do trajeto que o robô terá que fazer,

ou seja, entre o blister e a placa PCB. Desta forma, o robô não terá que sofrer nenhum desvio grande na sua trajetória e apenas perde tempo quando for para acionar o atuador.

Embora esta solução ter a vantagem de ser uma solução independente, ou seja, não necessitar instalações de um circuito pneumático nem ligações elétricas, a mesma apresenta algumas dificuldades.

- O Sistema mecânico em que a rotação dos dedos é feita através da interação com o batente pode representar algumas falhas e causar problemas para a repetibilidade;
- O sistema das molas pode causar problemas, uma vez que é crucial que as molas estejam perfeitamente alinhadas e centradas para que no retorno não haja nenhuma obstrução;
- Tendo em conta todas as possíveis falhas e dificuldades, é notável que a longevidade do sistema pode não estar garantida.

Desta forma, para eliminar o maior número de causas que podem levar ao mau funcionamento do sistema, decidiu-se partir para uma solução mais fiável nomeadamente uma solução pneumática. Embora haja a necessidade de instalar um circuito pneumático, a solução pneumática permite abordar a projeção do gripper com mais facilidade e menos complexidade dando assim mais garantias a nível da fiabilidade e longevidade.

4.3. GARRA PNEUMÁTICA

Tendo em conta a solução mecânica anteriormente desenvolvida, a ideia para a solução pneumática segue algumas linhas da solução mecânica. Nomeadamente a utilização de pinos para localizar e centrar a peça. Considerou-se que a utilização dos pinos era a melhor solução para esse tipo de objetivos. Uma vez que o espaço de trabalho é reduzido entre o componente e o seu alojamento a opção de abraçar a peça para garantir sempre o mesmo aperto torna-se difícil e pouco viável.

4.3.1. CILINDRO PNEUMÁTICO

Sendo assim tendo algumas ideias iniciais definidas a primeira etapa consiste em escolher o atuador pneumático adequado. Como referido anteriormente a função que se pretende do atuador pneumático consiste numa movimentação paralela de abrir e fechar, o chamado gripper paralelo. Atualmente existem inúmeros modelos propostos por diferentes marcas para a escolha de grippers paralelos. Para o estudo em causa decidiu-se optar pelo gripper paralelo da Airtac. Inicialmente optou-se pelos grippers da marca SMC, no entanto os grippers da Airtac apresentem praticamente as mesmas características e dimensões a um preço mais atrativo.

Havendo escolhido o fabricante, a segunda etapa consiste em escolher quais dos diferentes modelos apresentados pelo fabricante se adequa melhor ao caso em estudo. Um dos principais critérios de seleção é o curso que o cilindro pneumático admite e a sua precisão. Uma vez que o espaço de trabalho é limitado e após estudo das folgas entre o componente e o seu alojamento foi considerado optar por um cilindro pneumático que tivesse um curso de 4 mm, 2 mm de por cada dedo. No caso da Airtac tendo em conta esses critérios, o fabricante apresenta 3 possíveis modelos para rolamentos de esferas apresentados na Figura 98. Modelos que se distinguem pela sua atuação. A serie HFZ corresponde a um cilindro de dupla ação e as restantes series HFTZ e HFSZ correspondem a um cilindro de simples ação com retorno por mola como ilustrado na Figura 98.

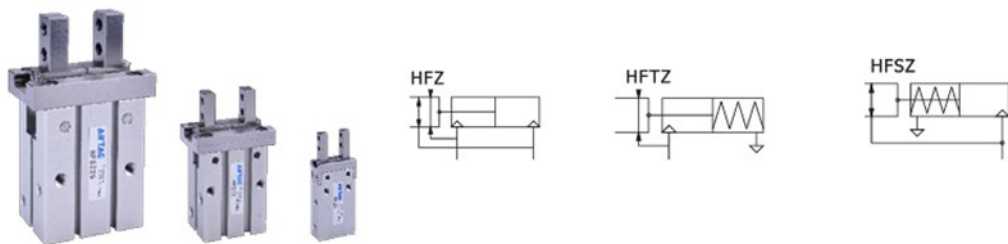


Figura 98 - Modelos de grippers paralelos apresentados pela Airtac.

Para o caso em estudo considerou-se o modelo da serie HFZ, pois permite um maior controlo da abertura e do fecho dos dedos. Na Figura 99 estão representadas as especificações do cilindro pneumático. De destacar a repetibilidade do mesmo que para o caso em estudo convém ser menor ou igual à do robô uma vez que a inserção exige uma alta precisão.

Bore size (mm)		6	10	16	20	25	32	40
Acting type		Double acting			Single acting			
Fluid		Air(to be filtered by 40µm filter element)						
Operating pressure	Double acting	Φ6, Φ10	28~100psi(0.2~0.7MPa)					
		Others	22~100psi(0.15~0.7MPa)					
	Single acting	Φ6, Φ10	50~100psi(0.35~0.7MPa)					
		Others	36~100psi(0.25~0.7MPa)					
Temperature		-20~70℃						
Lubrication		Not required						
Repeatability mm		±0.01					±0.02	
Max. frequency		180(c.p.m)					60(c.p.m)	
Sensor switches		DMSH(S), CMSH			CMSG, DMSG(S),DMSH(S),CMSH			
Port size		M3×0.5			M5×0.8			

Figura 99 - Especificações do cilindro pneumático.

4.3.2. SOLUÇÃO PRINCIPAL

Assim sendo, havendo escolhido o modelo de gripper pneumático assim como o ponto de partida no sistema que se pretende adotar, procedeu-se à modelação do novo gripper pneumático e o seu sistema envolvente. Na Figura 61 observa-se então a projeção do CAD desenvolvido.

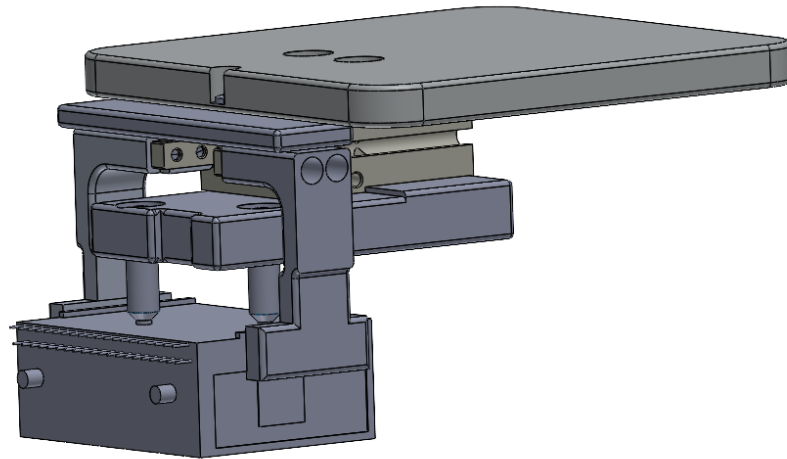


Figura 100 - Desenvolvimento do gripper pneumático.

De modo a evidenciar todos os componentes envolventes representou-se o gripper numa vista explodida ilustrado na Figura 101.

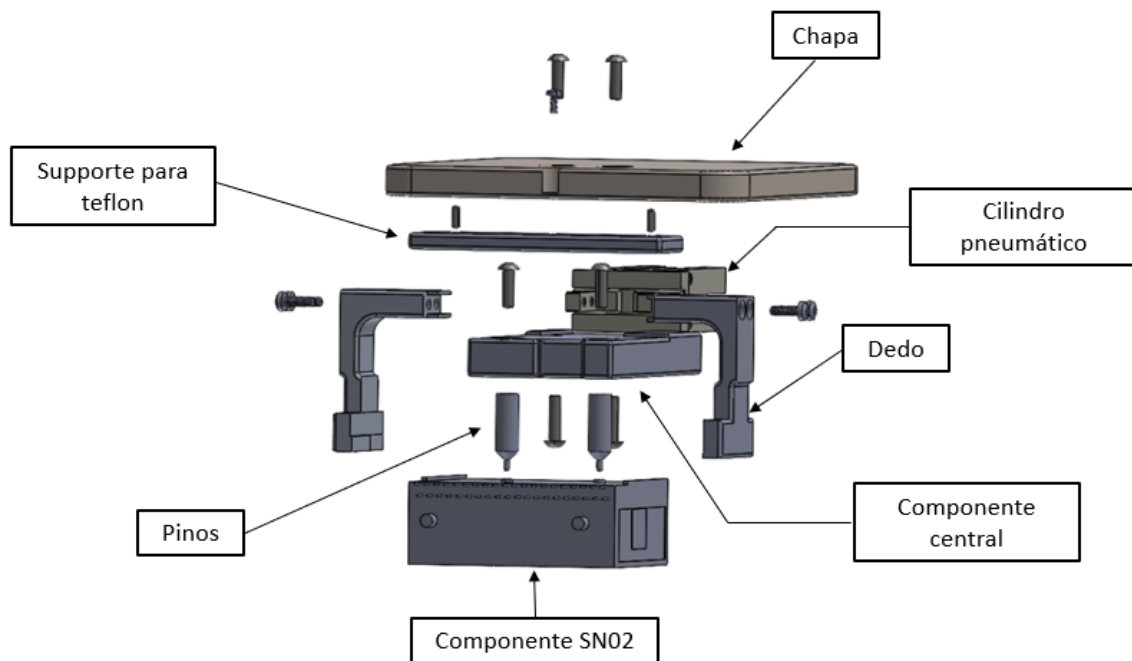


Figura 101 - Vista explodida.

Todo o sistema está ligado diretamente ou indiretamente ao componente central. Tornando este componente crítico e essencial para o bom funcionamento do sistema. O componente central é responsável pelo alojamento dos pinos que por sua vez são responsáveis pela localização e centramento do componente SN02. O componente central por sua vez está apertado na face inferior do cilindro pneumático em que o cilindro pneumático é apertado através da sua face superior à chapa. A chapa

serve de conector entre o sistema e a cabeça do robô. Os dois dedos estão diretamente aparafusados aos dedos do cilindro pneumático.

De modo a garantir uma melhor fixação na zona de aperto dos dedos aos dedos do cilindro pneumático, prolongou-se a parte superior e inferior dos dedos de modo a abraçar os dedos do cilindro pneumático e assim minimizar a sua inclinação.

Por fim, a pequena chapa que é responsável por alojar uma camada de teflon no seu interior é ligada à chapa através de um parafuso e dois pinos. A chapa permite reforçar os dedos quando estes estão a exercer força sobre o componente. A fim de não prejudicar os dedos optou-se pelo teflon que tem boas propriedades antiaderentes e facilita assim o deslizamento.

4.3.3. DIMENSIONAMENTO

Após seleção do modelo que se pretende para o atuador pneumático, torna-se necessário escolher o seu tamanho que está diretamente relacionado com a capacidade de carga. Sendo assim começou-se pelo cálculo da força de aperto que o cilindro deveria exercer. A distribuição das forças exercidas durante o contacto entre dedo e componente estão representadas na Figura 102.

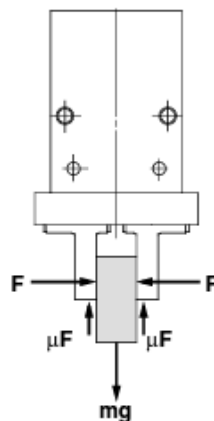


Figura 102 - Distribuição das forças no momento de aperto.[38]

Sendo que os valores correspondentes ao atrito, massa do componente SN02 e coeficiente de segurança estão representados na Tabela 22.

Tabela 22 - Valores para o cálculo da força de aperto.

Coeficiente de atrito estático (μ)	0.2
Massa do componente SN02 (m)	39 g
Coeficiente de segurança recomendado pelo fabricante (n)	0.4

A equação da força de aperto (F) é dada por [38]:

$$F = \frac{m \cdot g}{2 \cdot \mu} \cdot n \quad (4.8)$$

Em que o g corresponde à massa gravitacional, inserindo todos os dados na equação obtém-se:

$$F = \frac{0.039 \cdot 9.82}{2 \cdot 0.2} \cdot 4$$

$$F = 3.83 \text{ N}$$

A força que devera ser exercida pelos dedos corresponde a 3.83 N. A pressão necessária para satisfazer as condições de aperto está representada na Figura 103. Este gráfico corresponde ao modelo HFZ10.

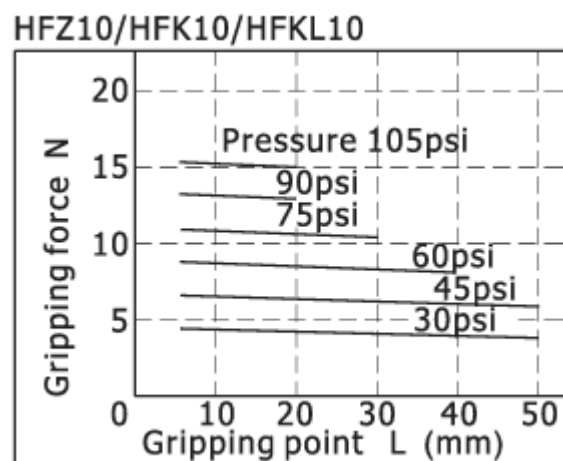


Figura 103 - Gráfico que relaciona a força de aperto com a pressão e offset do ponto de contacto.[38]

Através do gráfico é possível concluir que a força de aperto está dentro das capacidades de carga do cilindro pneumático. De notar que o gráfico também proporciona outro dado que corresponde ao offset do ponto de contacto entre dedos e componente e o próprio gripper (Figura 104).

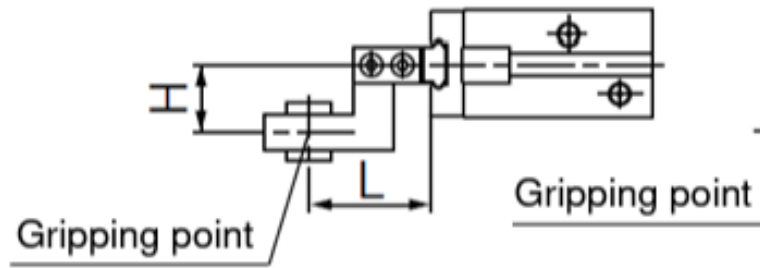


Figura 104 - Offset entre o gripping point e os dedos do cilindro pneumático.[38]

Para o caso em estudo não existe nenhum offset em “L” na horizontal, mas sim em “H” na vertical como ilustrado na Figura 105.

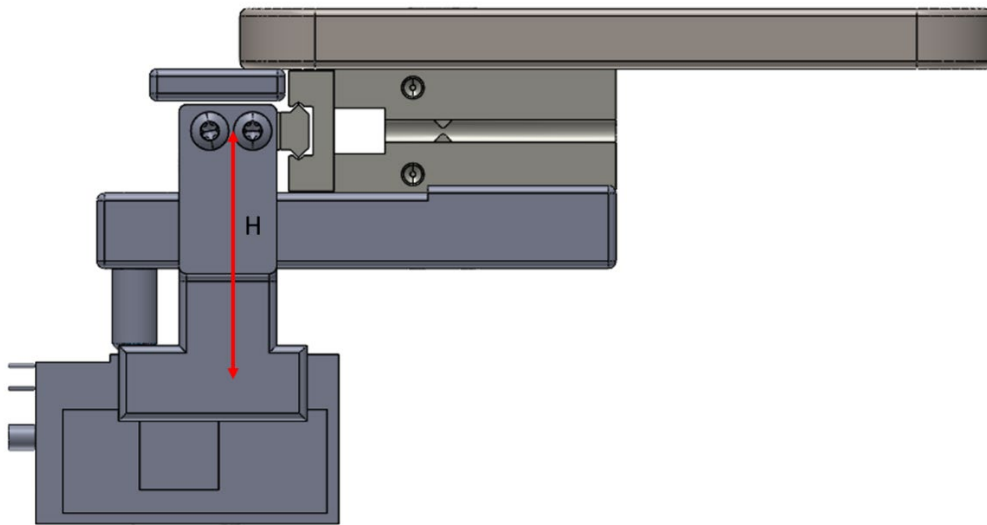


Figura 105 - Offset de pega.

Em que a altura “H” corresponde a 32 mm. Tendo estas informações a próxima etapa passa por perceber se estes parâmetros estão dentro do intervalo de ação do modelo do gripper. Para tal é dado pelo fornecedor um gráfico com esses dois parâmetros onde também é possível retirar a pressão mínima de funcionamento para estes parâmetros (Figura 106).

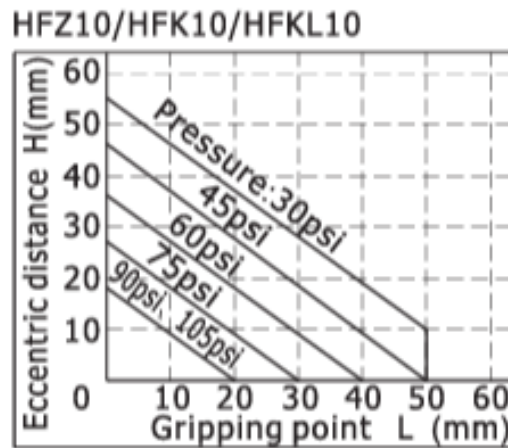


Figura 106 - Gráfico dado pelo fornecedor que correlaciona a altura "H" com o comprimento "L".[38]

Como se pode constatar o gripper projetado satisfaz as condições impostas pelo fornecedor.

4.3.3.1. VARIAÇÃO DA ALTURA

Os dedos projetados representados na Figura 107 apresentam ranhuras que estão dimensionadas de tal forma para o componente não escorregar e encaixar nas faces laterais do mesmo (Figura 105), para conseguir garantir o encaixe dessas ranhuras foi necessário efetuar um estudo sobre a variação da altura que o componente pode apresentar.

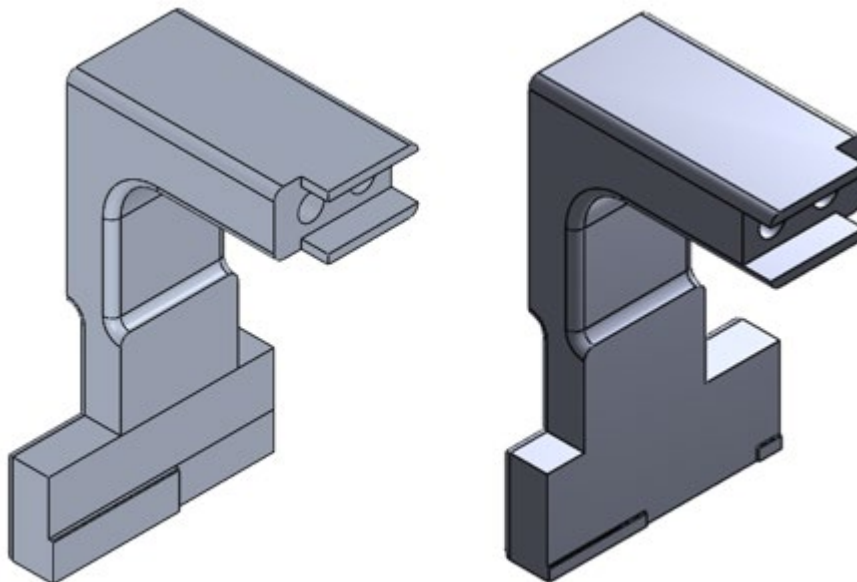


Figura 107 - Dedos projetados.

A altura em que o componente se situa esta diretamente relacionado com os pinos e com o diâmetro dos furos como representado na Figura 108. Isto é caso o diâmetro dos furos sofrer uma

alteração o contacto entre o cone e o furo também sofre um desvio. Essa variação representada a vermelho na Figura 108 torna-se crítica em relação as ranhuras dos dedos que estão em contacto com as ranhuras do componente assinaladas pelas circunferências pretas na Figura 108. Assim sendo procedeu-se ao cálculo dessa variação.

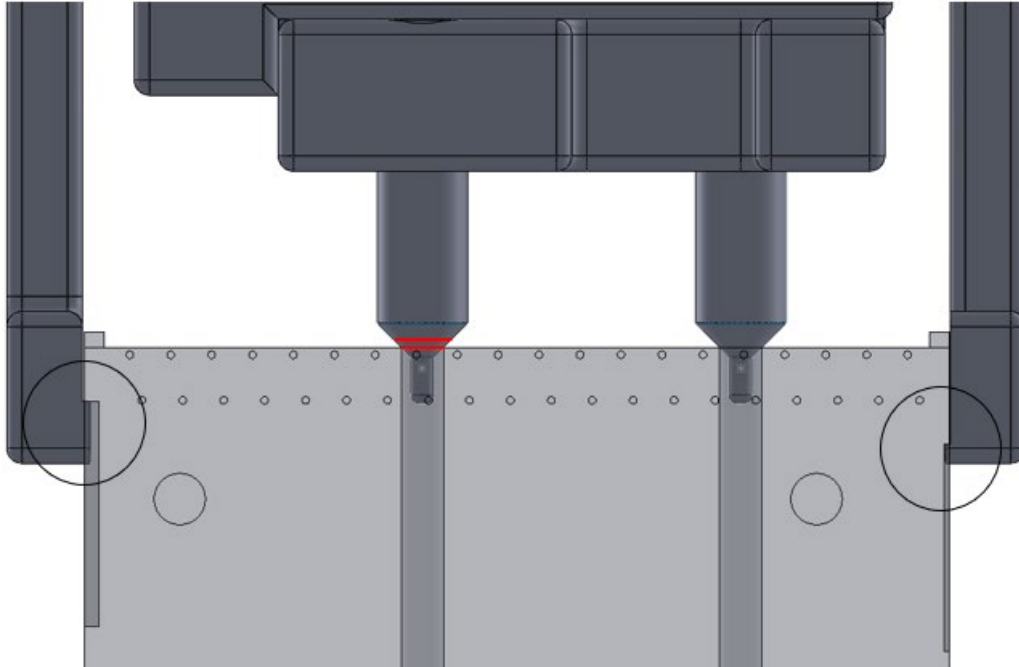


Figura 108 - Possível variação da altura do componente.

Através do desenho técnico do componente SN02 representado na Figura 109, observa-se que os furos onde são inseridos os pinos de contacto tem uma variação do diâmetro de 0.1 mm.

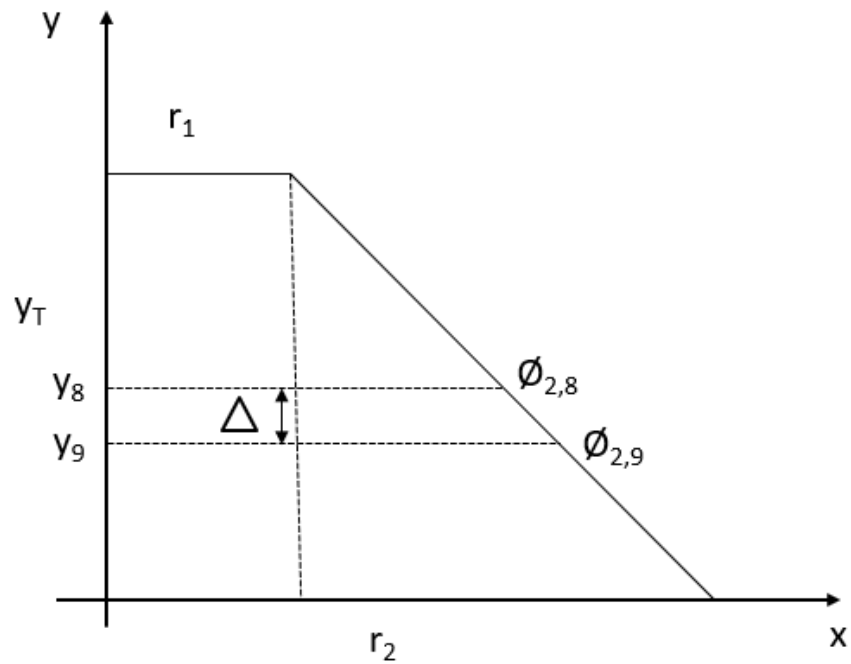


Figura 110 - Semelhança de triângulos.

Para ϕ 2,8mm:

$$\tan(45) = \frac{y_T - y_8}{r_{2,8} - r_1} \quad (4.9)$$

$$y_8 = -\tan(45) \times (r_{2,8} - r_1) + y_T \quad (4.10)$$

$$y_8 = 1.6 \text{ mm}$$

Para ϕ 2,9mm:

$$\tan(45) = \frac{y_T - y_8}{r_{2,9} - r_1} \quad (4.11)$$

$$y_8 = -\tan(45) \times (r_{2,9} - r_1) + y_T \quad (4.12)$$

$$y_8 = 1.55 \text{ mm}$$

Tendo em conta os dois possíveis diâmetros temos uma variação (Δ) de 0.05mm. Variação essa que também vai corresponder ao toleranciamento das ranhuras dos dedos. Uma vez que não há informação exata em relação à altura das ranhuras do componente SN02 e as mesmas foram medidas manualmente através de um paquímetro, foi dado uma folga de 0.05 mm à cota das mesmas em relação às cotas obtidas através do paquímetro, para garantir que os dedos encaixam sempre.

Na Figura 111 observa-se o desenho técnico dos pinos em que se definiu uma cota nominal (16.6) desde a base do pino até ao diâmetro do cone correspondente a 2.8 mm e em que o toleranciamento corresponde à variação da altura. O uso do toleranciamento apenas no valor positivo deve-se ao facto de querer compensar a variação caso o diâmetro do furo venha com 2.9 mm, pois caso o diâmetro venha com a cota nominal 2.9 mm a peça fica mais perto em relação à base do pino de 0.05 mm. Através do toleranciamento positivo o objetivo consiste em minimizar as possíveis variações.

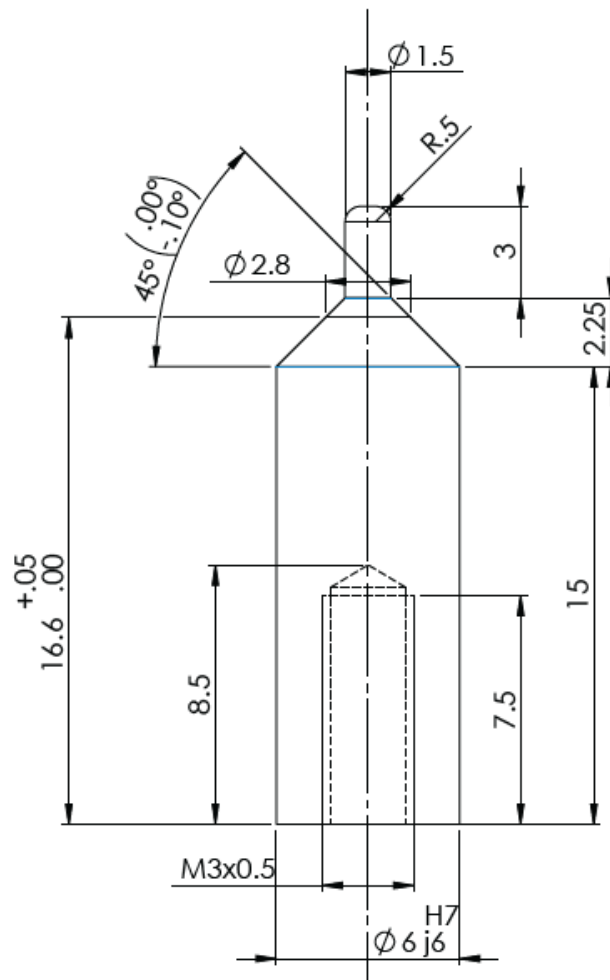


Figura 111 - Desenho técnico do pino.

4.3.3.2. ESTUDO DE TOLERANCIAMENTO

Tendo então definido quais as possíveis variações de altura do componente em relação aos pinos, assim como o comprimento dos mesmos resta definir o comprimento dos dedos projetados. Para tal foi feito um estudo de toleranciamento. Para definir o comprimento dos dedos até às ranhuras que estarão em contacto com as caixas nas duas faces laterias do componente (Figura 112), é necessário estudar as tolerâncias de todo o sistema de modo a poder garantir que o encaixe das ranhuras nas caixas seja sempre garantido.

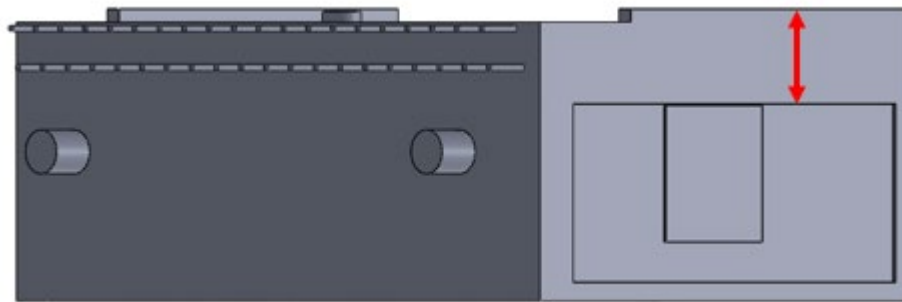


Figura 112 - Vista em perspectiva do componente.

Na Figura 113 observa-se todas as cotas toleranciadas desde o eixo dos dedos do gripper até ao furo do componente. O comprimento dos dedos devera então incluir todas as cotas desde o eixo de aperto dos dedos até à face do componente mais a distância representada a vermelho na Figura 112.

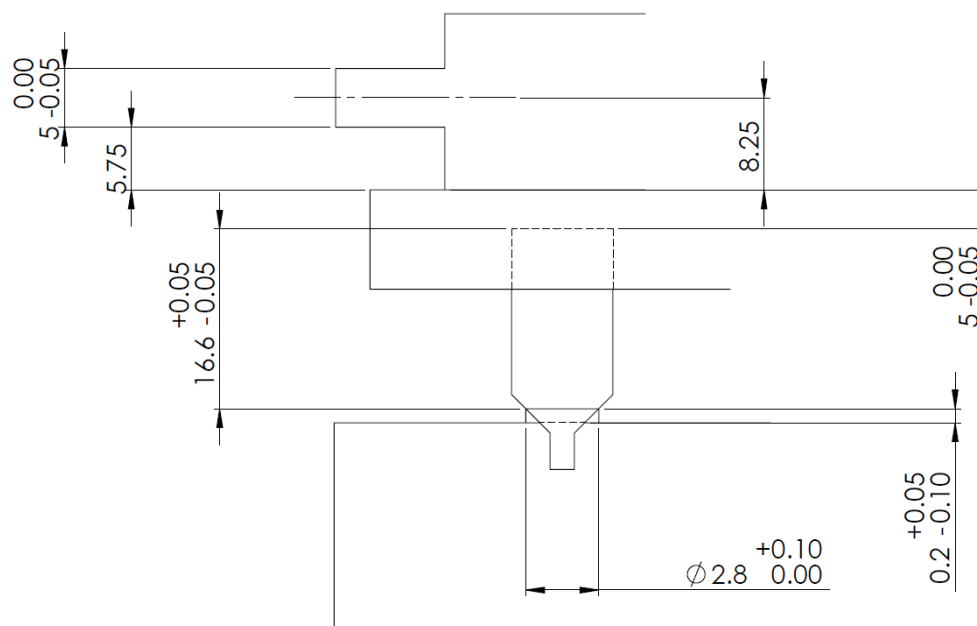


Figura 113 - Esboço com todas as cotas relevantes.

Sendo assim o comprimento nominal dos dedos até à ranhura é dado pela seguinte equação:

$$\text{Distância nominal} = 8.25 + 5 + 16.6 - 0.2 + (\text{Comprimento da caixa}) \quad (4.13)$$

Por comprimento da caixa entende-se a distância da face superior das paredes laterais do componente até à caixa representado a vermelho na Figura 112. No que toca ao comprimento da distância vermelha foram feitas 5 medições para cada lado do componente em 6 componentes diferentes para depois retirar a media do comprimento obtido para os dois lados do componente.

Incluindo os toleranciamentos associados a cada cota nominal temos então as seguintes duas equações:

$$\text{Comprimento máximo direita} = 8.25 + 5 + 16.65 - 0.1 + 4.55 = 34.35 \text{ mm}$$

$$\text{Comprimento máximo esquerda} = 8.25 + 5 + 16.65 - 0.1 + 7.3 = 37.1 \text{ mm}$$

Os resultados obtidos nas duas equações irão então ditar o comprimento dos dedos representado na Figura 114.

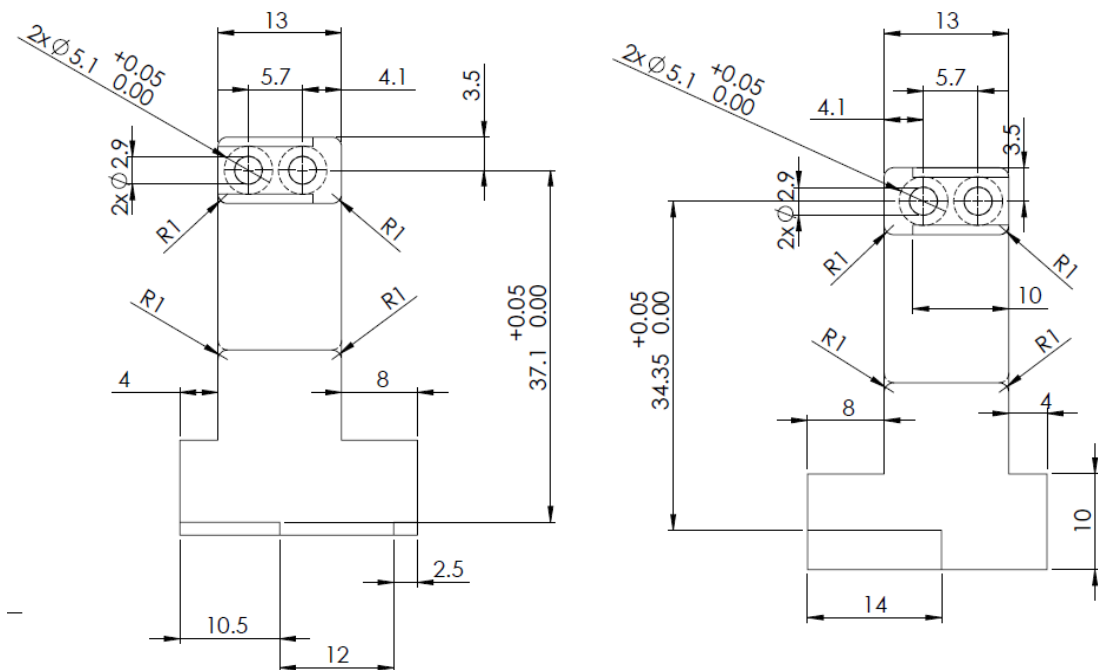


Figura 114 - Desenho técnico dos dedos.

Nota que na Figura 113 o comprimento do pino tem uma tolerância simétrica de 0.05 e não só apenas no eixo positivo como referido anteriormente. Isto deve-se ao facto que neste esboço foi tomado em conta todas as possíveis possibilidades para obter a maior precisão possível. A tolerância simétrica deve-se ao facto de se ter assumido a possibilidade de o furo vir com um diâmetro de 2.9 mm e o

comprimento do pino corresponder a 16.6 mm. Neste caso o componente ficaria de 0.05 mm mais perto da base do pino sendo a nova cota correspondente a esse caso de 16.55 mm.

No que toca à inserção do componente no seu alojamento do PCB também se procedeu a um estudo de toleranciamente para calcular a variação que os pinos de inserção podem admitir em relação ao furo de inserção. Na Figura 115 estão representados um esquema com todas as cotas relevantes para a inserção do componente em que se pode identificar dois tipos de pinos diferentes, os pinos de diâmetro 0.5 representam os terminais do componente que são responsáveis pela ligação componente/PCB o pino de diâmetro 3.4 representa um pino auxiliar para facilitar a inserção do componente. Esse pino tem um chanfre de 0.5 mm a 30° (Figura 109) para compensar as possíveis variações que o próprio componente pode admitir. Assim sendo procedeu-se ao cálculo da posição do pino de inserção em relação ao furo onde é feita a localização do componente através dos pinos.

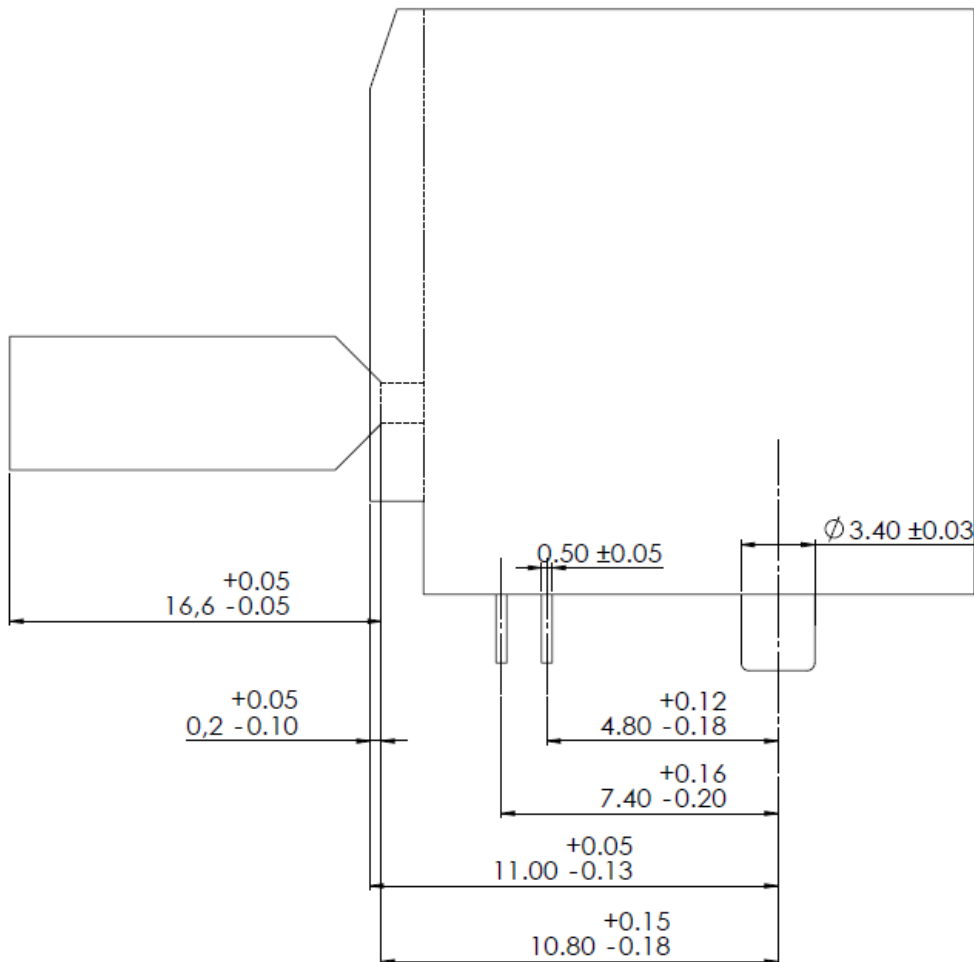


Figura 115 - Esboço incluindo as cotas relevantes para a inserção do componente.

A posição máxima e mínima do pino de inserção em relação ao furo do componente é dada pelas seguintes duas equações:

$$\text{Max: } 11.05 - 0.1 = 10.95$$

$$\text{Min: } 10.87 - 0.25 = 10.62$$

Subtraindo o valor mínimo ao valor máximo obtém-se então a variação que o pino de inserção pode admitir em relação ao furo.

$$\text{Max} - \text{min} = 0.33 \quad (4.14)$$

Como se pode constatar este valor é inferior ao chanfre do pino de inserção e desta forma a variação não é crítica.

4.3.3.3. ESTUDO DA CÉLULA DE TRABALHO

Tendo então dimensionado o atuador pneumático e o seu sistema envolvente o próximo passo consiste em simular o gripper em condições reais, isto é, verificar se não há possíveis interferências com outros componentes ou objetos na altura da inserção do componente.

Para correr a simulação foi necessário modelar a PCB pertencendo ao componente com todos os componentes adjacentes à zona de inserção assim como o próprio robô. Na Figura 116 está o robô em cinzento com o acoplador rápido estudado no capítulo 5 assim como o gripper pneumático projetado na fase de inserção do componente.

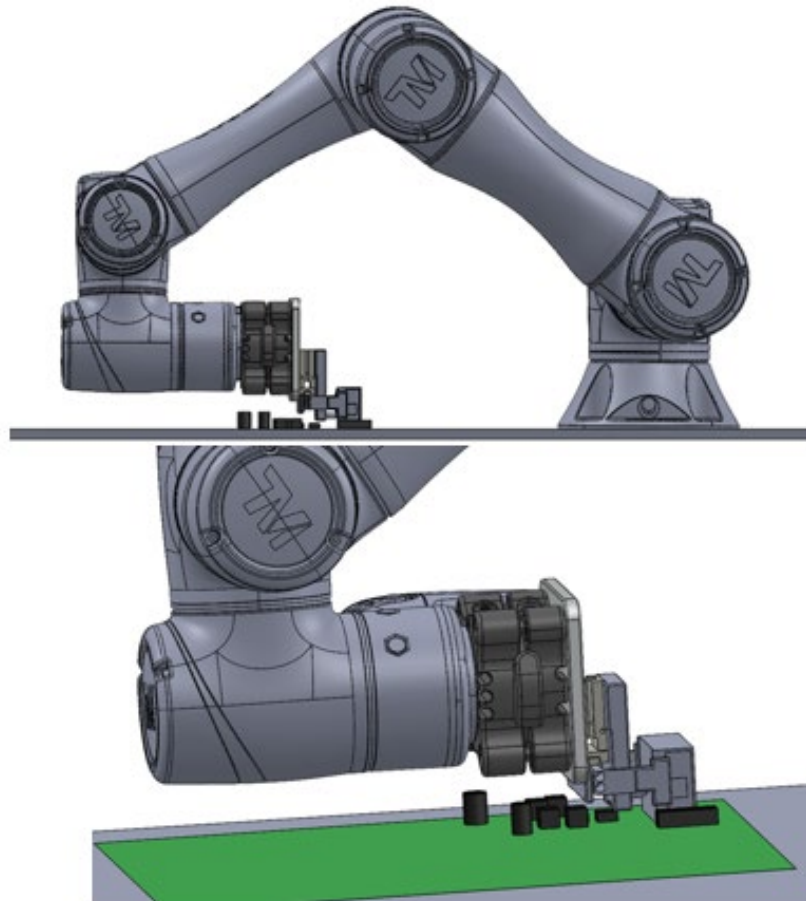


Figura 116 - Simulação CAD do processo de inserção.

Como se pode observar, no momento da inserção do componente existem componentes adjacentes que estão bastantes próximos do gripper. A Figura 117 permite uma melhor perceção dos componentes críticos no momento da inserção.

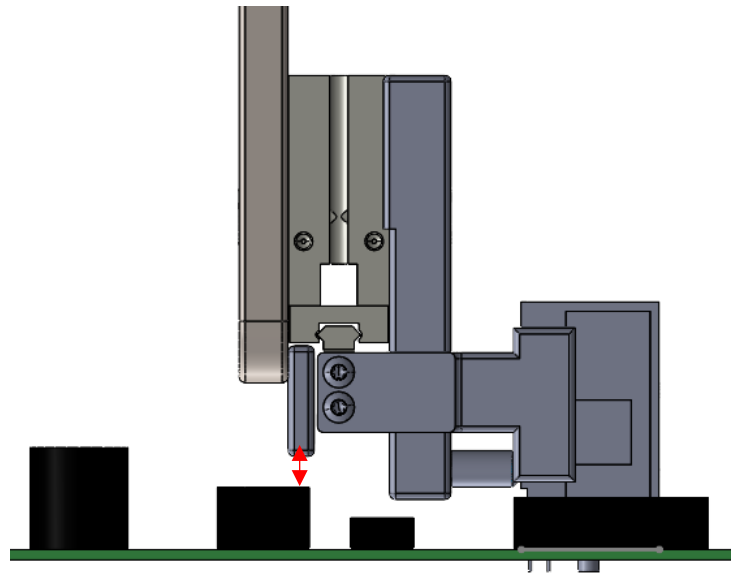


Figura 117 - Folga no momento da inserção.

De modo a aumentar a folga entre a peça central e o componente distancia representada a vermelho na Figura 117 criou-se um rasgo no lado direito da peça central ilustrado na Figura 76.

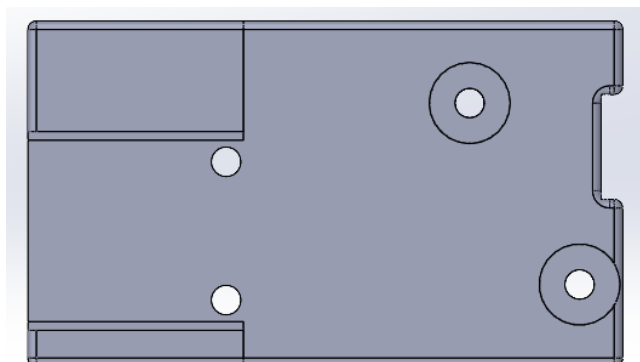


Figura 118 - Vista de frente do componente central.

Para análise dos desenhos técnicos do sistema projetado consultar Anexo 4.

4.3.4. PROJETO DA GARRA PNEUMÁTICA

Após o estudo, seleção, modelação e dimensionamento de todo o sistema da garra pneumática, procedeu-se à maquinação da mesma. O sistema projetado apresentado na Figura 119, como esperado, ficaram bem dimensionados e cumprem o propósito que lhes foi dado, centrar a peça compensando a folga que o componente pode vir a ter no seu alojamento e garantir um aperto igual em todas as peças adjacentes.

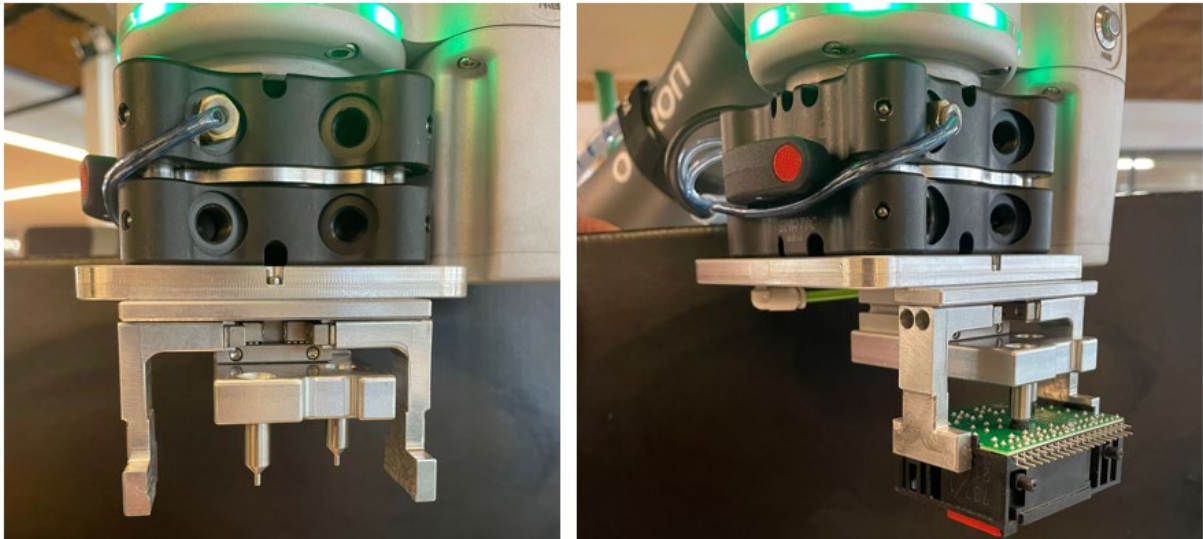


Figura 119 - Dedos da garra pneumática ligados ao acoplador rápido.

No que toca ao estudo do ambiente, como esperado as possíveis colisões foram bem antecipadas dando alguma folga de segurança para evitar possíveis danos com os componentes já presentes na placa PCB como ilustrado na Figura 120.

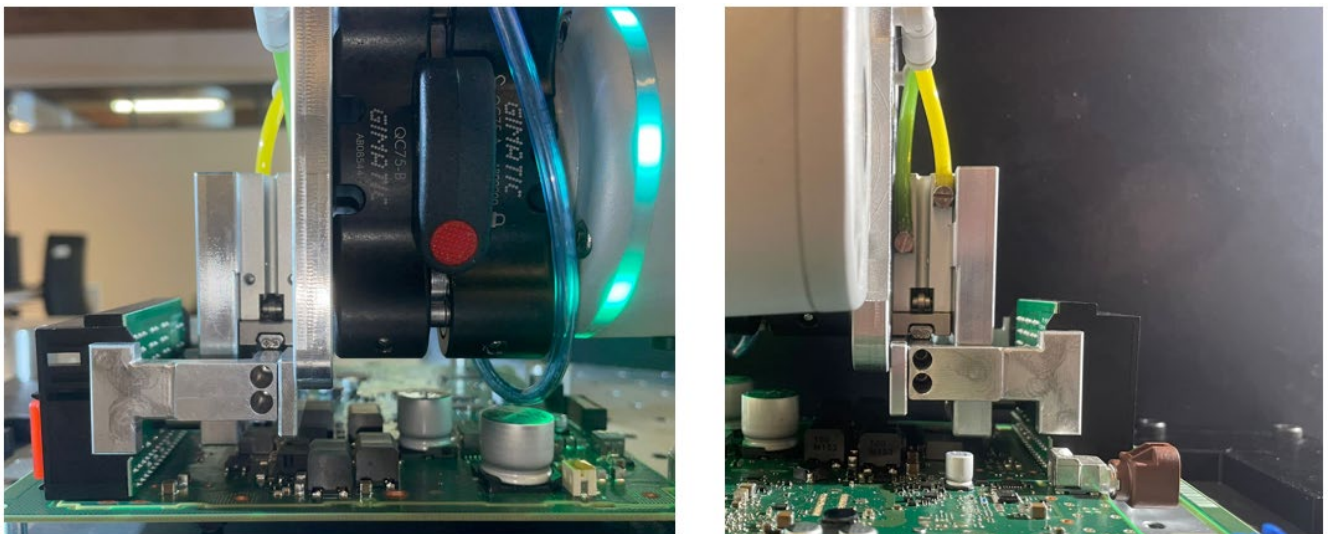


Figura 120 - Momento de inserção do componente.

4.4. PROJETO DO SUPORTE PARA PCB

Após estudo e modelação do suporte do PCB já com as alterações discutidas no capítulo 3 procedeu-se à maquinação do mesmo. O suporte projetado representado na Figura 121, inclui as 3 barras centrais que servem de apoio às diferentes placas PCB como inicialmente imaginado. A elevação do suporte através dos pés permitiu inserir um backlight representado na Figura 121 para dar maior contraste dos orifícios da placa PCB.

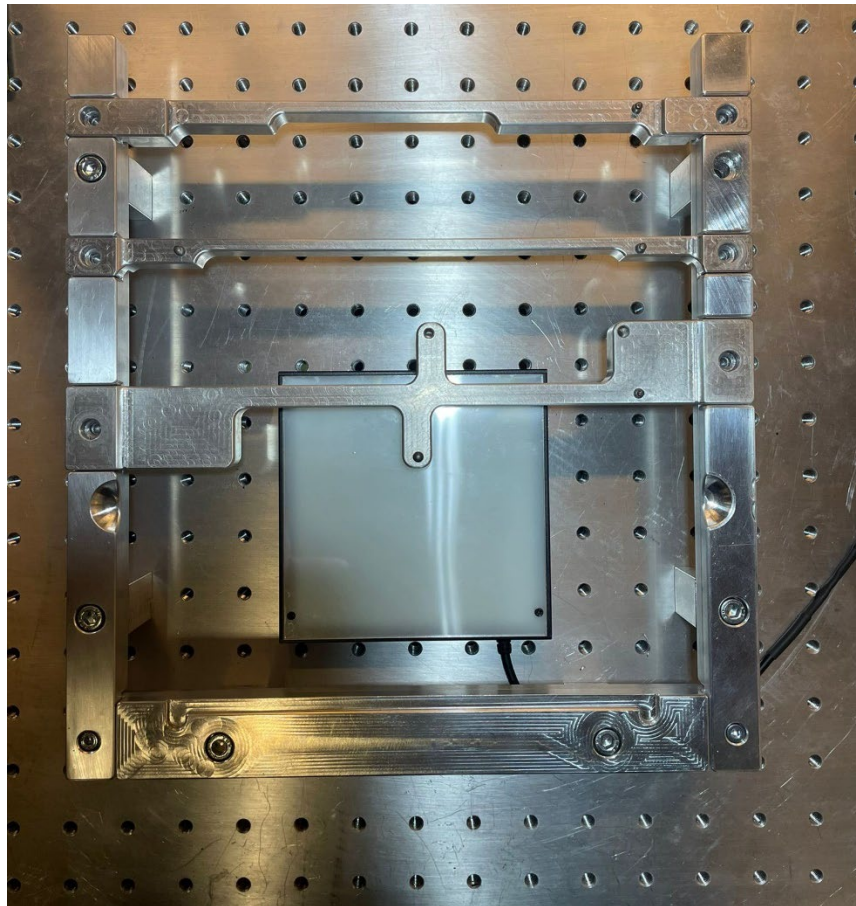


Figura 121 - Suporte PCB projetado.

No que toca à funcionalidade do mesmo, o encaixe das várias placas de circuito impresso mostrou-se muito eficaz, permitindo um encaixe muito rápido e simples garantindo sempre o mesmo posicionamento das PCB's. (Figura 122)

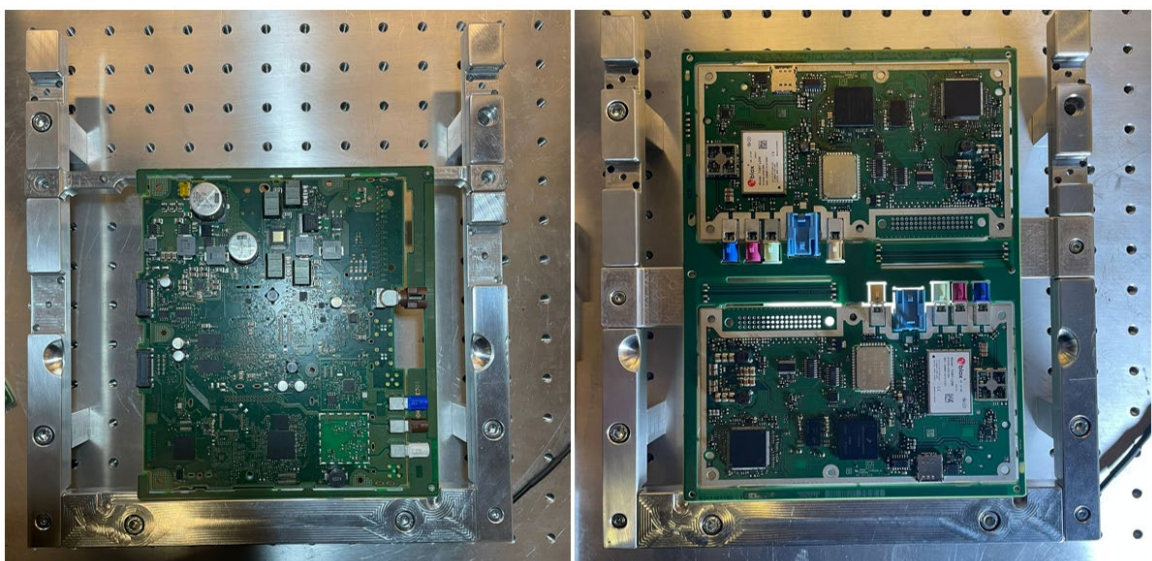


Figura 122 - PCB's montadas no suporte.

5. CONCLUSÕES

Neste capítulo são abordadas as conclusões do trabalho efetuado da presente dissertação, que visa o projeto e construção de um sistema de manipulação para componentes eletrônicos.

5.1. CONCLUSÕES DO PROJETO

A primeira parte desta dissertação consistiu na introdução do problema, e contextualização do tema que permitiram situar o trabalho a ser realizado revelando a sua importância e o seu enquadramento. O foco da dissertação passou assim pelo projeto e construção de uma garra robótica, partindo de um sistema já pré-definido, nomeadamente o robô colaborativo, componente eletrónico a manipular, fornecimento desse mesmo componente através do seu *blister* assim como a sua respetiva placa de circuito impresso. Todos estes elementos que fazem parte do sistema contribuíram para o desenvolvimento da solução final e são críticos à conceção da garra.

Para além disso, houve a necessidade de compreender quais são as unidades de grandeza das precisões e tolerâncias exigidas para a inserção do componente de modo a compreender as necessidades que a solução proposta deveria cumprir para a realização da tarefa.

Posto isto, realizou-se um caso de estudo que serviu para evidenciar toda a informação essencial para o projeto e expor a mesma de uma forma clara e organizada, permitindo associar aos vários elementos da célula de trabalho todas as informações relevantes. Assim, o primeiro passo passou pelo estudo do componente a manipular, que envolve o componente, mas também o seu alojamento. Entender quais são as limitações, assim como as limitações impostas pelo alojamento é essencial para a definição do processo de montagem.

O estudo permitiu numa primeira fase de contextualizar as limitações, seguidamente estabeleceu-se os principais objetivos assim como as principais funções que se pretende das garras. No caso da garra mecânica uma vez que a ideia consistia em projetar uns dedos que se adaptariam a um *gripper* (2FG7) previamente instalado no robô a linha de pensamento difere um pouco da garra pneumática tornando a solução mais desafiante, pois para além de ter de cumprir a função comum aos dois que consiste na inserção e manipulação do componente também foi preciso adaptar a mesma ao *gripper* paralelo previamente instalado. A primeira fase passou por reaproveitar o movimento paralelo do *gripper* aos dedos, ou seja, o movimento da abertura e do fecho. Para tal, foi preciso adaptar os dedos projetados ao sistema de prensão do *gripper*, a segunda fase constitui em adicionar um grau de liberdade aos dedos para permitir um movimento rotacional tudo isto respeitando a precisão necessário para a inserção

do componente. A adição de um grau de liberdade levou à necessidade da criação de um sistema único e inovador no mercado. A adição de molas no sistema foram os elementos que permitiram a junção das funções pretendidas pelos dedos mecânicos. No decorrer desta fase, definiu-se também um possível layout da célula de trabalho para a solução proposta assim como análises estruturais do sistema desenvolvido.

No entanto uma vez que o projeto dos novos dedos trata-se de um sistema inovador, surgiu a necessidade de projetar um sistema que garantisse mais fiabilidade. Para tal foi decidido optar por um sistema pneumático. Assim como para os dedos mecânicos estabeleceu-se uma lista com vários requisitos que o *gripper* pneumático deve cumprir antes de partir para a fase de desenvolvimento da geometria. A discretização do problema é essencial para a fase inicial do desenvolvimento.

Posto isso, desenvolveu-se então o modelo CAD através do software *SolidWorks*. Ao contrário da solução desenvolvida para os dedos anteriores, a solução pneumática inclui não só os dedos, mas também todo o sistema a sua volta. Desde a escolha de um atuador pneumático, assim como a estrutura que interliga os dedos ao atuador até a flange que permite fazer a ligação entre o *gripper* e o robô. No modelo desenvolvido para a solução pneumática é possível observar algumas ideias retiradas da linha de pensamento para os dedos mecânicos. Nomeadamente a questão de localização e centramento da peça através de pinos. Para completar o desenvolvimento do *gripper* pneumático foi feito um estudo de toleranciamento que se revelou ser crítico para o bom funcionamento do sistema. Uma vez que a precisão exigida pela inserção do componente é alta tornou-se essencial perceber quais são as unidades de grandeza assim como o intervalo das cotas dimensionais que são admissíveis para que o sistema funcione. O espaço limitado à volta do componente levou ao estudo do ambiente, ou seja, a uma simulação de inserção do componente na sua respetiva placa para evitar qualquer danificação dos componentes adjacentes.

Depois da fase de desenvolvimento, elaborou-se os desenhos técnicos para a sua produção. Onde os testes na vida real mostraram-se muito positivos e cumpriram o propósito que lhes foi dado, centrar a peça compensando a folga do componente no seu alojamento e garantir um aperto igual em todas as restantes peças e por fim inserir a peça na sua PCB.

Chegando à fase de definir um acoplador rápido para equipar o robô colaborativo o estudo do mercado permitiu ganhar conhecimento sobre as soluções existentes no mercado e a partir de aí observando os requisitos definidos para o acoplador optou-se pela opção que mais se enquadrava nos requisitos e que economicamente revelou-se a ser mais atrativa.

A medida que o projeto foi avançando, foi-se percebendo que era crucial fixar devidamente os elementos que tem uma participação direta ou indireta na inserção do componente, como o próprio alojamento do componente assim como a sua PCB. Uma vez que este projeto englobe varios componentes com várias PCB's optou-se pelo desenvolvimento de um suporte para PCB que tivesse a capacidade de alojar as várias PCB's em estudo. Apos o projeto e produção do suporte, o suporte mostrou-se bastante eficaz na fixação das placas.

ANEXO 1 – TECNOLOGIAS DE MONTAGEM DE COMPONENTES THT EM PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSOS

De realçar que, embora a tecnologia THT não ser claramente a mais eficiente em termos de volumes de produção e espaço necessário comparada a mais recente tecnologia SMT, a tecnologia THT e os seus processos continuam a ser uma tecnologia crítica na indústria eletrónica. Uma das razões que torna esta tecnologia única é o formato disponível para alguns componentes, particularmente grandes dispositivos como transformadores, filtros, e componentes de alta potência, todos os quais requerem apoio mecânico adicional que é oferecido pelas interconexões através de furos. Uma segunda razão para a utilização da tecnologia é a parte económica. Pode simplesmente ser mais rentável utilizar componentes de furo passante, juntamente com a montagem manual (ou seja, não automatizado) para produzir uma montagem eletrónica. É claro que esta tecnologia não é limitada à montagem manual. Há vários graus de automatização que podem ser utilizados para montar uma placa de circuito impresso com componentes THT.

PROCESSO DE SOLDADURA MANUAL

O processo de soldadura manual consiste nas seguintes etapas:

1. Aplicação do fluxo na junta pelo operador;
2. A ponta do ferro de soldar deve estar em contacto com o pino do componente e não deve entrar em contacto com o circuito condutor, se possível como representado na Figura 123
3. O fio de solda é posicionado do lado oposto à ponta do ferro de solda em contacto com o pino. Uma vez efetuada a fusão, a solda pode molhar e espalhar-se sobre as superfícies, bem como fluir através do orifício. No caso de fio fluxado, a etapa de aplicação do fluxo é omitida. Um processo devidamente definido, isto é, que tenha um ferro de soldar com a potência adequada, bem como temperatura e geometria, deve completar a junta em aproximadamente 3 a 7 segundos.
4. Uma vez concluído o processo de soldadura, a placa de circuito precisa de ser limpa para remover os resíduos de fluxo.

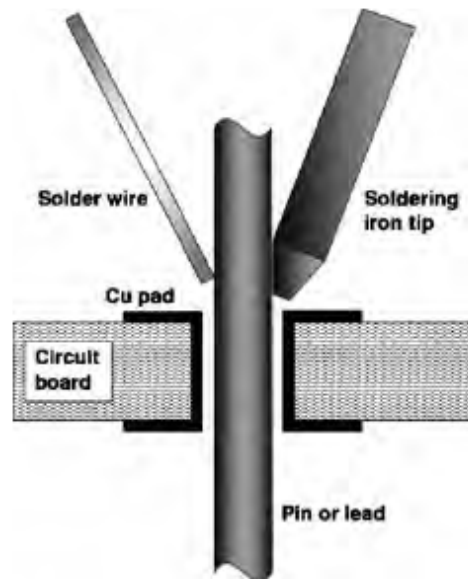


Figura 123 - Processo de soldadura manual [19].

O processo de soldadura manual pode ser realizado num processo de montagem em linha para volumes maiores. Neste caso, cada um dos vários operadores apenas trabalha com alguns dos vários componentes da placa. No caso de células de trabalho pequenas, o operador pode soldar todos os componentes. Em alternativa, a célula de trabalho pode ser utilizada para adicionar componentes com geometrias particulares como etapa final de montagem numa placa de circuito quase completa.

SOLDADURA AUTOMATIZADA E SOLDADURA POR ONDA

O processo mais frequentemente utilizado para a tecnologia THT e mista é a soldadura por ondas. O processo de soldadura por ondas é ilustrado esquematicamente na Figura 124. A placa de circuito "recheada" é fixada a um transportador que transporta a placa através do pulverizador de fluxo, depois passa para a fase de pré-aquecimento, e por último para a onda de solda derretida.

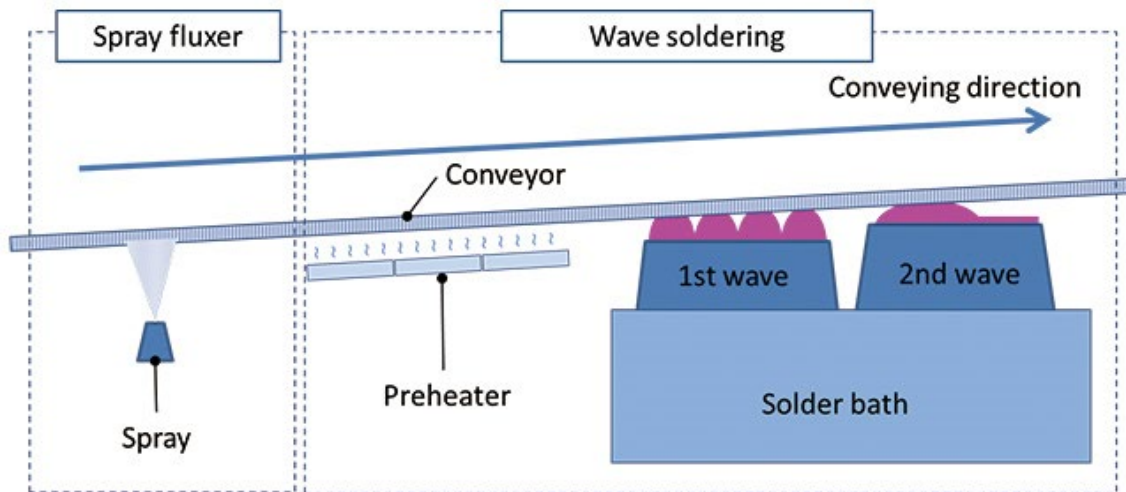


Figura 124 - Processo de soldadura por onda [39].

Um dos passos mais críticos no processo de soldadura por onda é a aplicação do fluxo. O fluxo manual ganhou relevância em relação aos equipamentos automatizados para melhorar o rendimento. A vantagem é um melhor controlo da quantidade de fluxo na placa de circuito à medida que entra na onda, porque o fluxo controla tanto as geometrias de entrada como de saída da junta fundida que por sua vez são decisivas para minimizar defeitos. O fluxo pode ser aplicado por técnicas de pulverização ou pela passagem da placa de circuito através de uma espuma de fluxo.

Outro parâmetro crítico é a velocidade do transportador assim como o ângulo a que é transportado PCB. A geometria da onda de solda também se torna crítica, na Figura 124 é possível observar as duas geometrias geralmente utilizadas. A primeira onda é turbulenta de modo a contrariar a tensão superficial da solda fundida, forçando assim a solda fundida em geometrias confinadas. A segunda onda é lisa ou laminar e está localizada no ponto de saída porque a sua geometria reduz a tendência para a formação de defeitos. Como referido este processo tem a particularidade de ser aplicado para os dois tipos de componentes (THD e SMD) desde que ambos cumprem os requisitos.

SOLDADURA PIP (PIN-IN-PASTE)

Volumes de produção muito elevados são obtidos com processos de montagem em superfície (SMT). Para obter produções semelhantes para tecnologia THT, foi recentemente introduzido um novo processo chamada "PIP" como alternativa à soldadura por ondas [40]. A solda é fornecida à junta sob a forma de pasta, utilizando serigrafia, ou dispensada a partir de uma agulha. O componente é então inserido no furo.

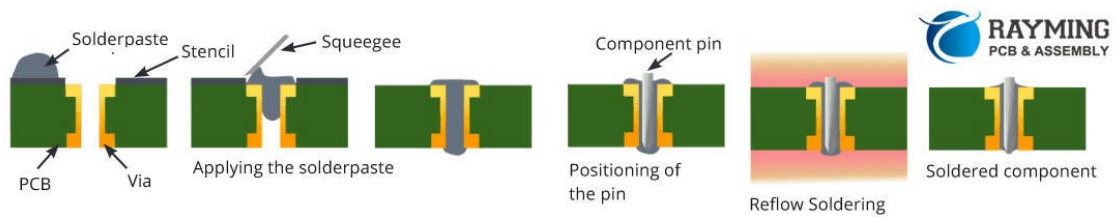


Figura 125 – Processo PiP [41]

O obstáculo principal com a soldadura por PIP é fornecer uma quantidade de pasta de solda suficiente não só para desenvolver um filete nesse lado da junta, mas também para preencher o buraco e criar um filete no lado inferior das placas de circuito de duas faces e multicamadas. Uma segunda preocupação é a sensibilidade à temperatura dos componentes THD. Recorde-se que na soldadura por ondas, ou mesmo manual, o aumento da temperatura está confinado em grande parte aos cabos e à placa de circuito. No entanto, na soldadura em PIP, os componentes devem resistir às temperaturas de soldadura no interior do forno de refluxo, posto isso nem todos os componentes THD cumprem este requisito.

PROCESSO DE MONTAGEM DE COMPONENTES SMT EM PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSOS

A tecnologia de montagem à superfície refere-se a conjuntos que têm componentes soldados a almofadas nas superfícies da placa de circuitos. Os componentes podem estar situados apenas num lado (PCB de face única) ou ambos os lados (PCB dupla face) da placa de circuito impresso. As vantagens da tecnologia SMT consiste na capacidade em incluir componentes mais pequenos e por consequência ter uma maior densidade de componentes montados na placa. Os componentes SMT são geralmente de tamanho muito pequeno e vêm em vários formatos, o que torna a montagem manual de componentes SMT muito difícil e um processo demorado. Pelo que a montagem é feita principalmente por robôs automáticos de recolha e colocação. Além disso, ao contrário dos componentes THD, a SMT utiliza componentes eletrônicos sem fios ou sem pinos, e os componentes, incluindo as suas juntas de solda, estão do mesmo lado do próprio componente, sendo assim apenas necessário trabalhar com uma face da placa para proceder à montagem dos componentes. A sequência típica do processo de montagem da tecnologia de montagem de superfície é, impressão da pasta de solda, recolha e colocação de componentes, e refluxo da solda. O processo torna-se complicado quando se combinam componentes THD e SMD na mesma placa que corresponde à tecnologia mista anteriormente mencionada.

Para uma descrição geral do processo de montagem de componentes de montagem à superfície em placas de circuito impresso foi considerado o modelo proposto por [14] representado na Figura 126.

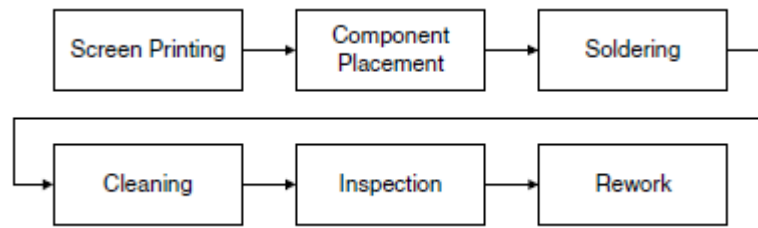


Figura 126 - Sequência do processo de montagem de componentes eletrônicos em PCB's [14].

A primeira etapa na montagem consiste na aplicação de uma pasta de soldadura sobre o substrato, onde a pasta de solda deve ser depositada para ligações elétricas. Atualmente, o método mais comum para a pasta de solda é a impressão por serigrafia (Figura 127), para componentes SMD que é ideal para grandes volumes de produção. Após a pasta ser depositada, o PCB é separado e transferido para a fase seguinte.

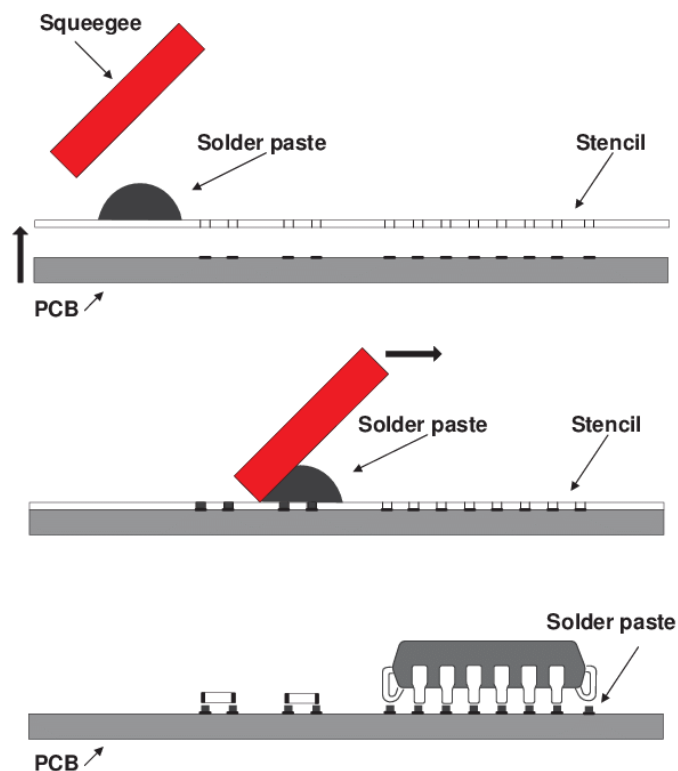


Figura 127 - Processo de impressão por serigrafia da pasta de solda [42].

A escolha da pasta de solda apropriada para uma aplicação específica, envolve a seleção da composição da pasta de solda.

Após a aplicação da pasta de solda no substrato, os componentes SMD's são colocadas nas posições pré-definidas sobre o PCB. Este processo pode ser executado manualmente ou automaticamente. Com o desenvolvimento de máquinas flexíveis que tem a capacidade de trabalhar com uma vasta gama de componentes, a maior parte do processo de montagem é atualmente realizado

utilizando linhas SMT totalmente automatizadas. O rendimento de uma tal linha de montagem é determinado principalmente pela colocação de máquinas “pick and place” que podem constituir cerca de 50% do investimento total de capital necessário para uma linha de montagem de médio volume.

De seguida, após a conclusão das operações de colocação, os PCB preenchidos passam por um forno de refluxo onde é efetuada a soldadura para interligar com segurança os componentes à placa.

Dependendo da aplicação, diferentes equipamentos de soldadura são utilizados, equipamentos que trabalham com infravermelhos, tecnologias de vapor quente ou laser. O chamado ciclo de soldadura é definido para o perfil de temperatura em diferentes zonas no forno, o pré-aquecimento, a soldadura e as fases de arrefecimento (Figura 128).

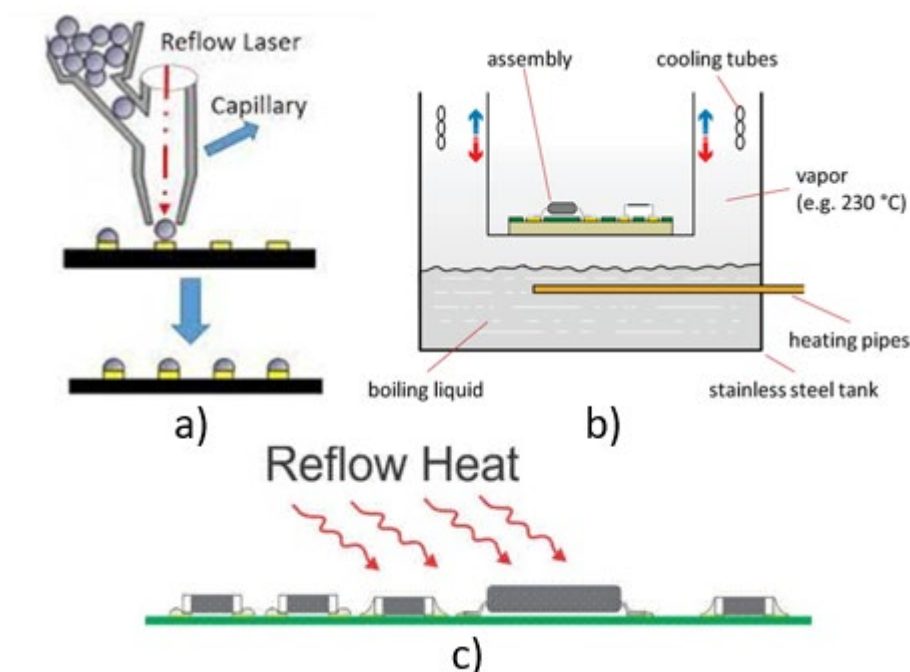


Figura 128 - Equipamentos de soldadura comumente utilizado.[43]

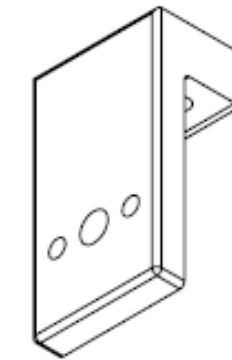
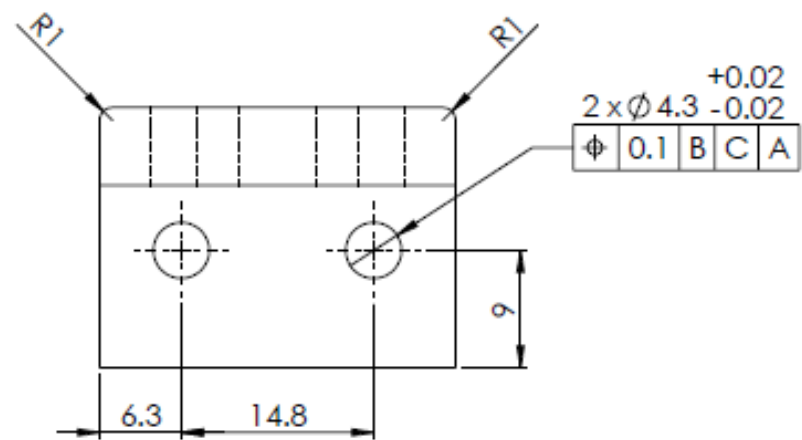
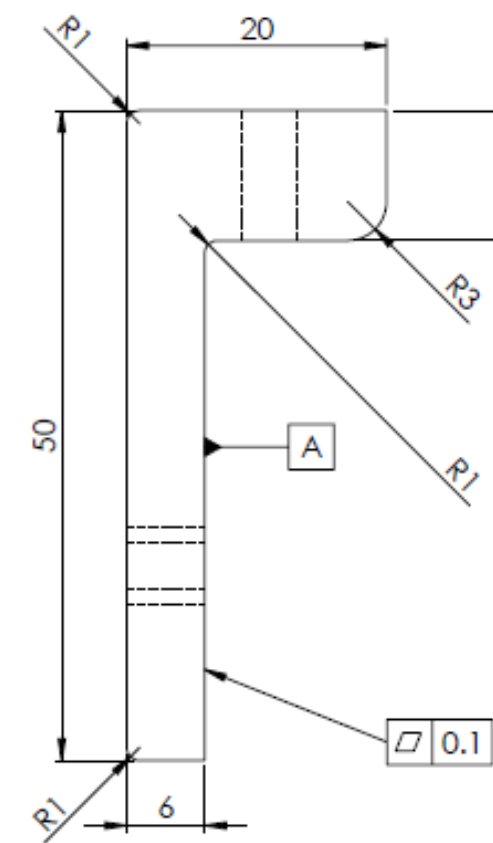
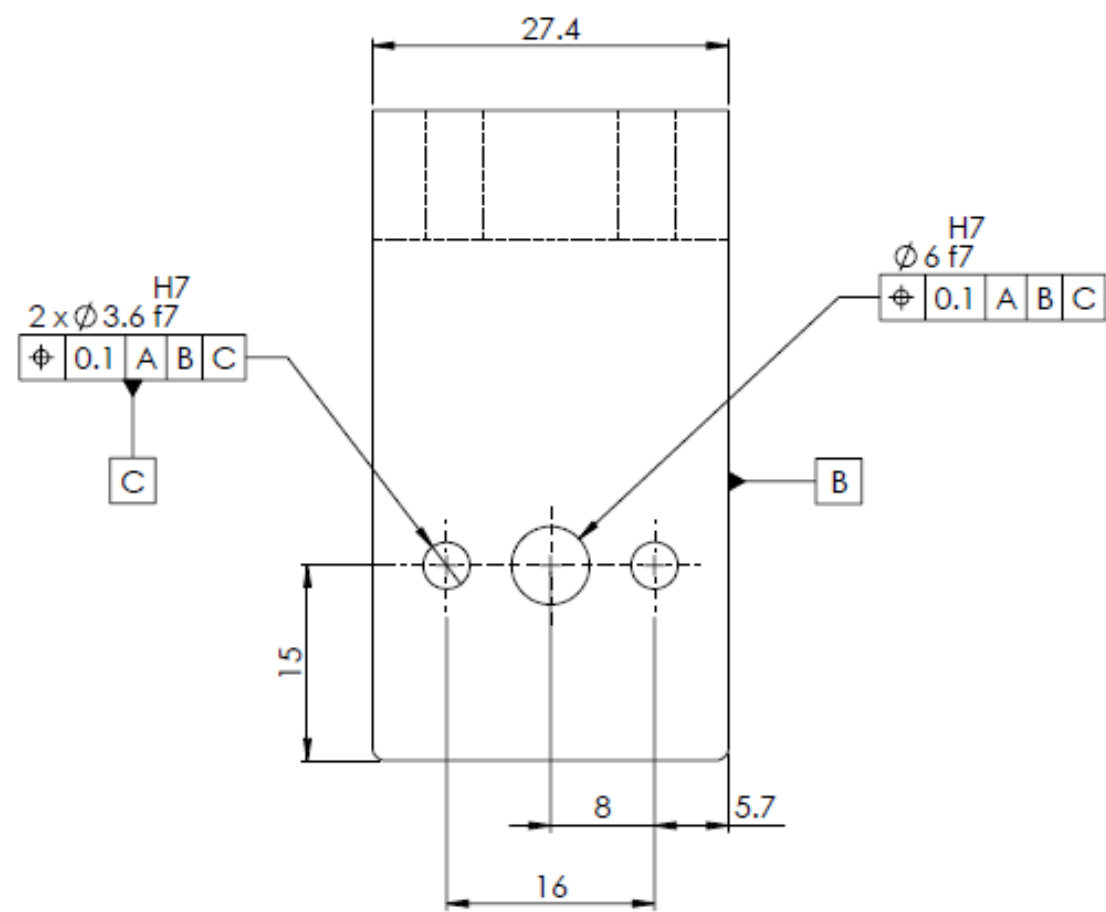
A quarta etapa consiste numa limpeza dos excessos provocados pela soldadura.

No que toca à quinta etapa, consiste na testagem e inspeção do equipamento. Os tamanhos mais pequenos e as tolerâncias mais apertadas associadas às aplicações de montagem de superfície de alta densidade requerem uma maior inspeção e controlo do processo. Os defeitos encontrados na soldadura SMT são causadas por problemas de soldabilidade, má impressão da pasta de soldadura, má colocação, e perfis de processo de soldadura inadequados. Os pontos de soldadura são geralmente controlados através de uma inspeção visual. Essa inspeção é automatizada através de máquinas com câmaras óticas. Em alternativa, pode ser utilizado equipamento de inspeção por laser e raios X, se for necessário um controlo tridimensional ou se forem detetados pontos inalcançáveis. Para além da inspeção visual,

também podem ser efetuados testes elétricos para assegurar a funcionalidade do circuito elétrico. O processo mais comum para a testagem do circuito elétrico de uma placa de circuito impresso montada é, o ensaio em circuito, que utiliza uma matriz de agulhas que entrem em contacto com os nós do PCB. Os sinais emitidos para estimular uma resposta são comparados com a resposta esperada.

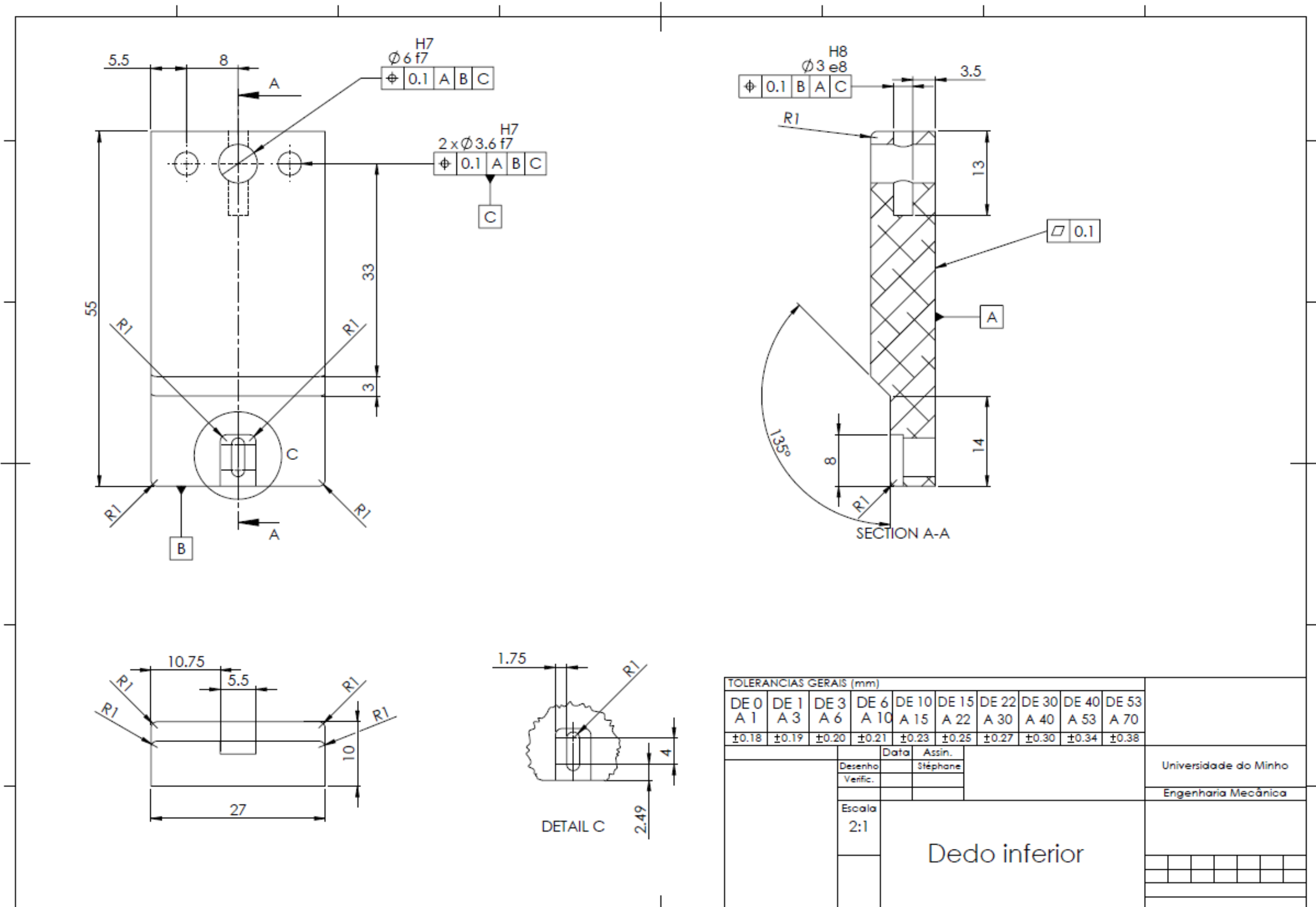
Por fim, a última etapa diz respeito aos PCB's que apresentam defeitos ou algum tipo de erro. Quando a conformidade com os requisitos não é cumprida pelo PCB na fase de testes é necessário retrabalhar o mesmo. Os erros obtidos são geralmente componentes defeituosos ou desalinhados ou uma má disposição do circuito condutor. A disposição incorreta do circuito condutor é um problema que surge no processo de concepção do PCB e deve ser ajustado com um novo desenho de circuito. Se os defeitos forem causados por componentes ou pontos de soldadura, estes podem ser corrigidos numa estação de retrabalho. Habitualmente, os equipamentos de retrabalho a ar quente são utilizados para substituir componentes defeituosos ou realinhar os que funcionam.

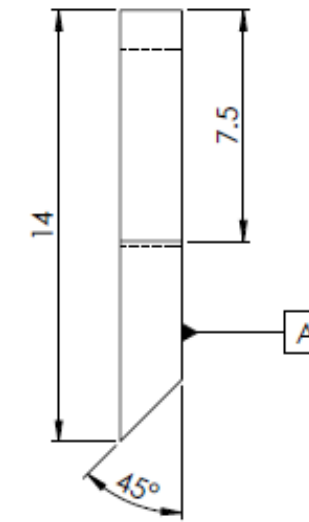
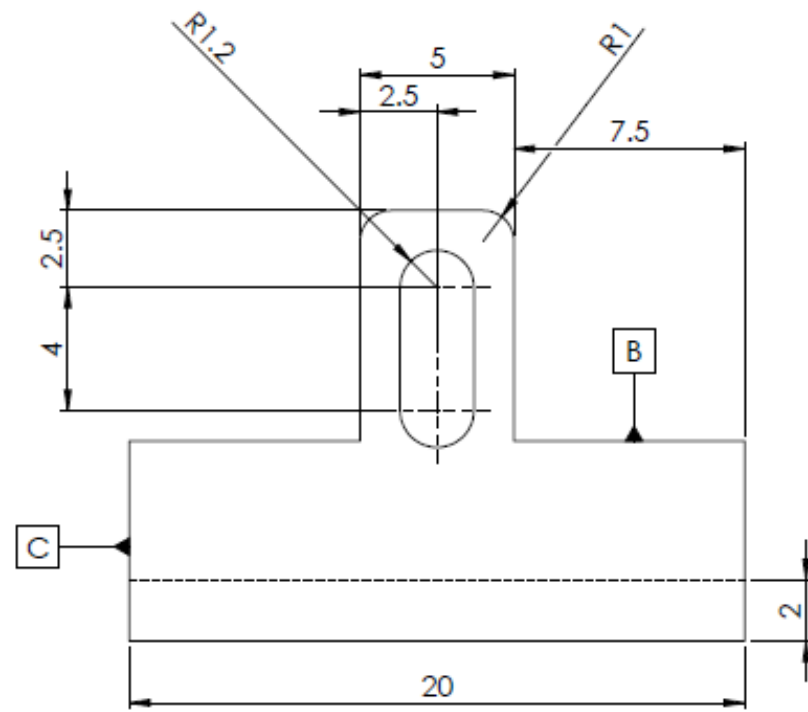
ANEXO 2 – DESENHOS TÉCNICOS DOS DEDOS DESENVOLVIDOS



TOLERANCIAS GERAIS (mm)									
DE 0	DE 1	DE 3	DE 6	DE 10	DE 15	DE 22	DE 30	DE 40	DE 53
A 1	A 3	A 6	A 10	A 15	A 22	A 30	A 40	A 53	A 70
±0.18	±0.19	±0.20	±0.21	±0.23	±0.25	±0.27	±0.30	±0.34	±0.38

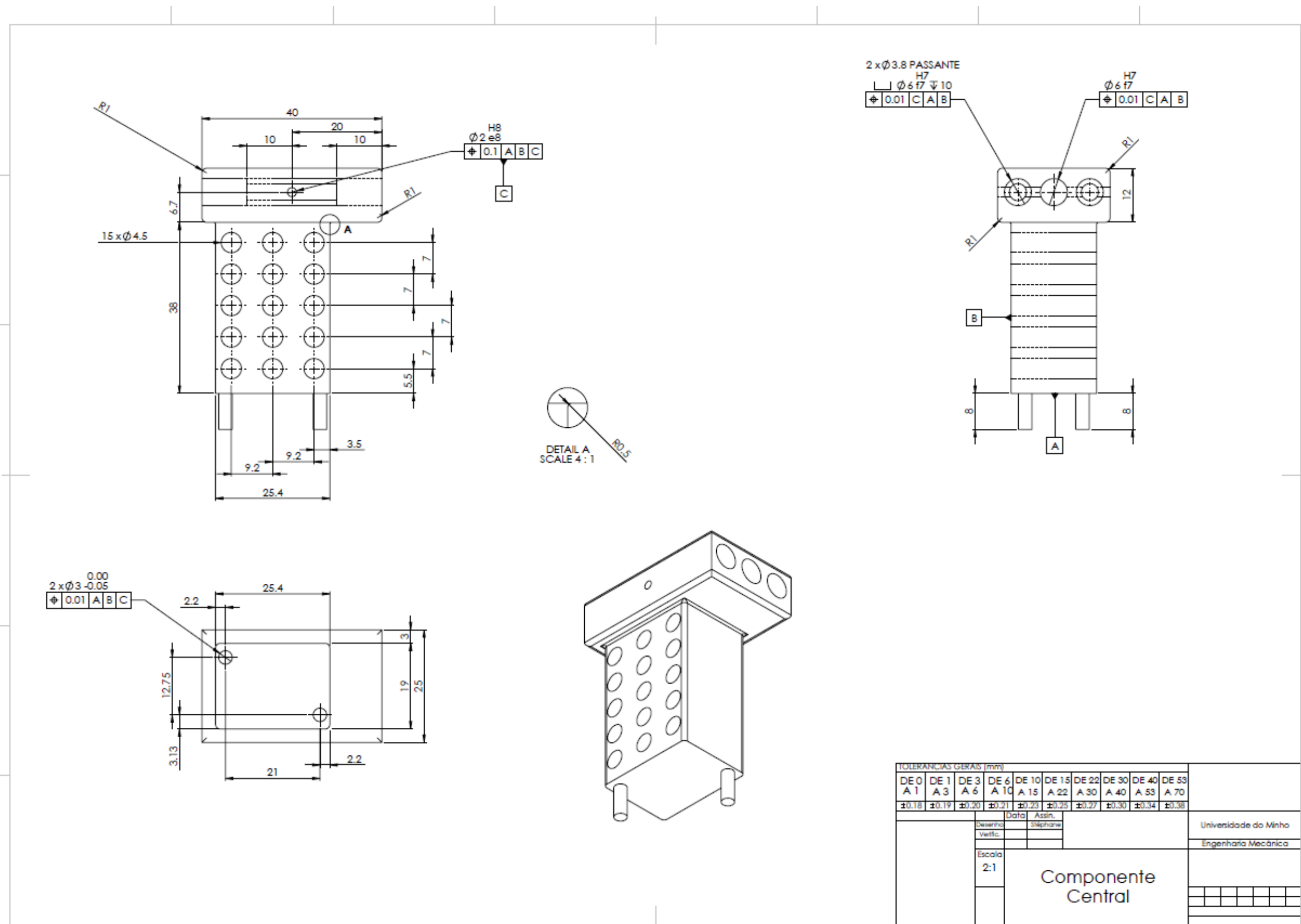
Desenho	Data	Assin.	Universidade do Minho
Verific.		Stéphane	
Escala	2:1		Engenharia Mecânica
Dedo superior			

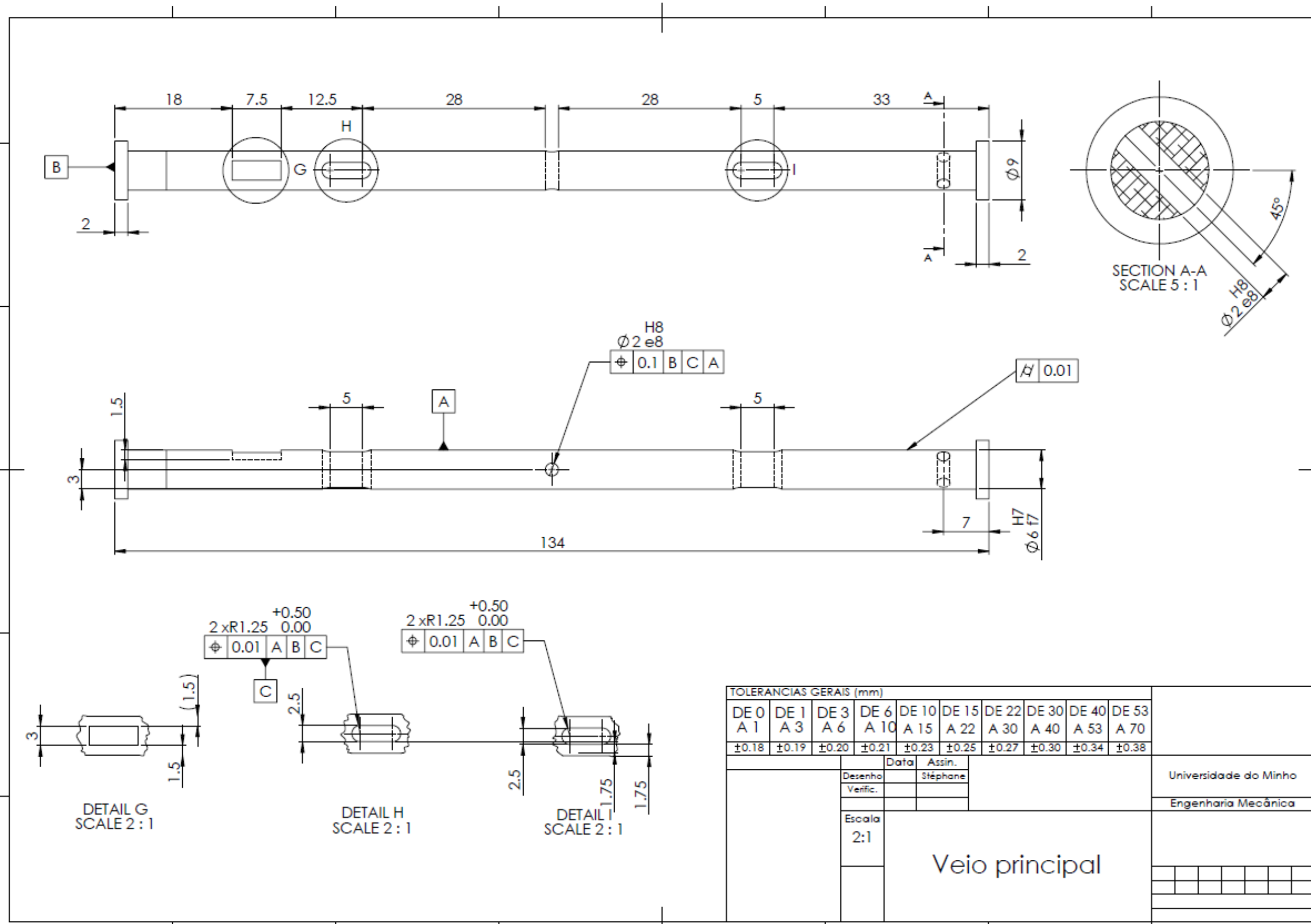


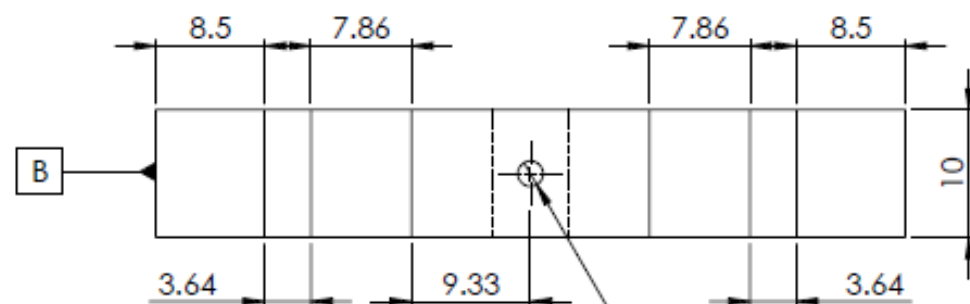
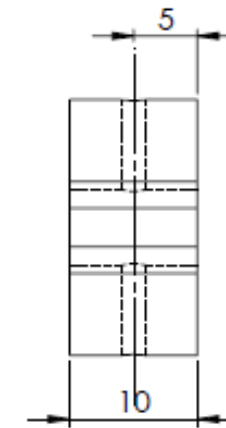
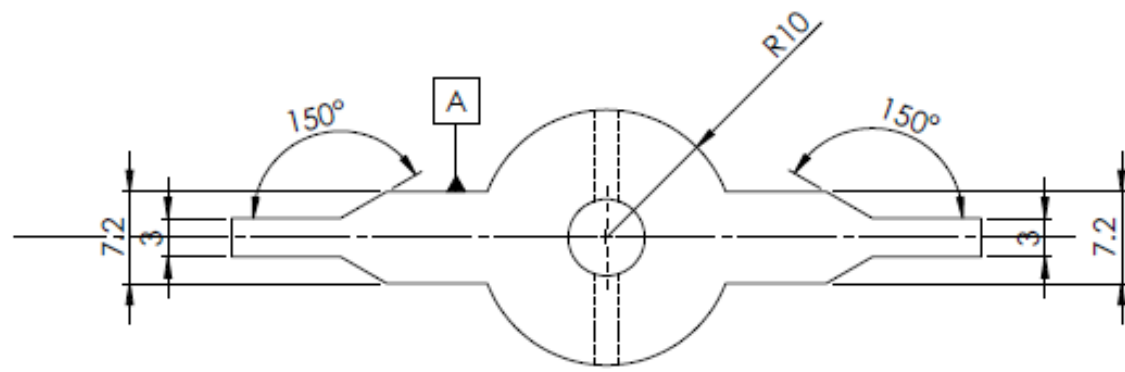


TOLERANCIAS GERAIS (mm)									
DE 0	DE 1	DE 3	DE 6	DE 10	DE 15	DE 22	DE 30	DE 40	DE 53
A 1	A 3	A 6	A 10	A 15	A 22	A 30	A 40	A 53	A 70
±0.18	±0.19	±0.20	±0.21	±0.23	±0.25	±0.27	±0.30	±0.34	±0.38

Desenho	Data	Assin.	Universidade do Minho
	Verific.	Stéphane	
Escala	5:1		Engenharia Mecânica
Unha do dedo			

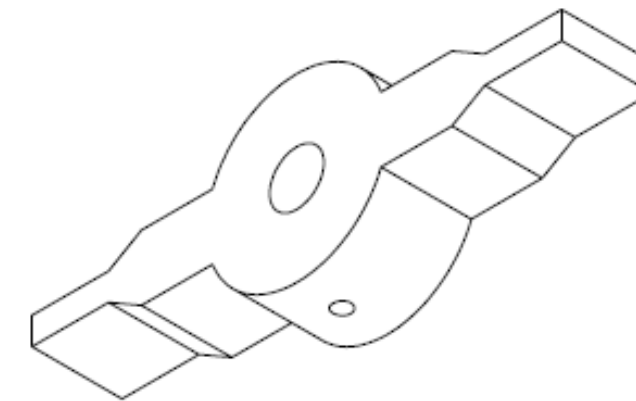






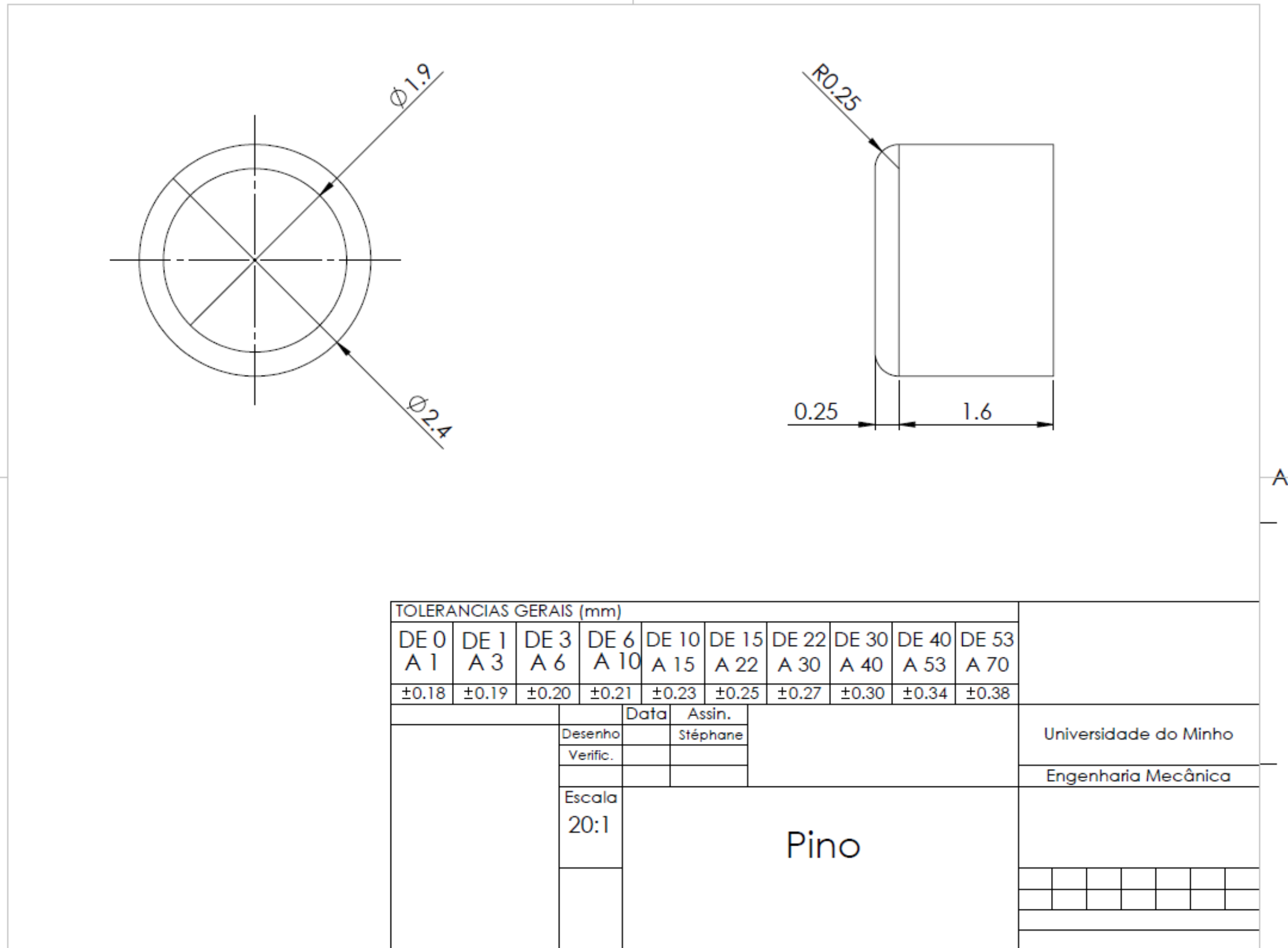
H8
 $\varnothing 2 e8$
 $\varnothing 0.1$ A B C

C

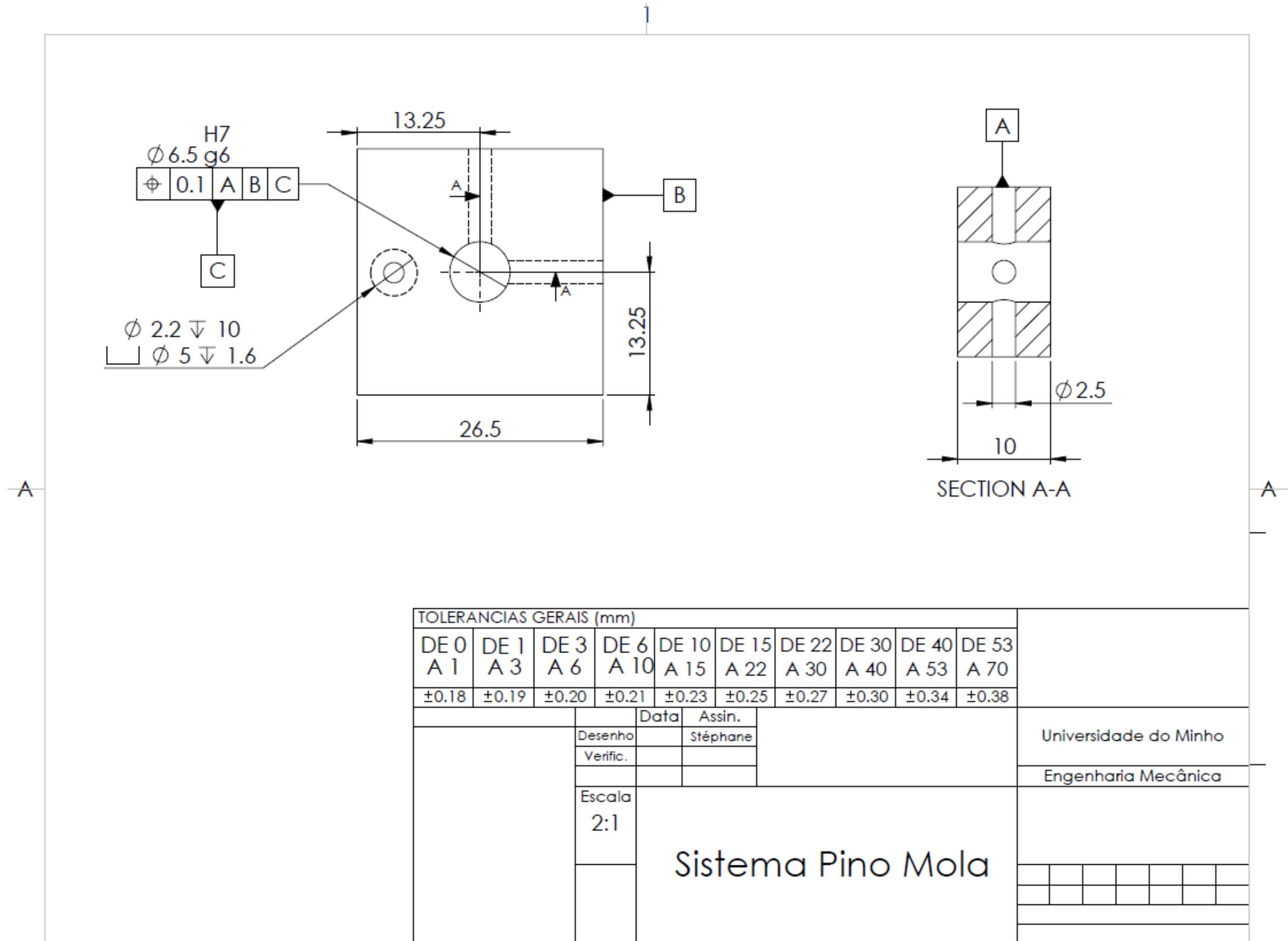


TOLERANCIAS GERAIS (mm)									
DE 0	DE 1	DE 3	DE 6	DE 10	DE 15	DE 22	DE 30	DE 40	DE 53
A 1	A 3	A 6	A 10	A 15	A 22	A 30	A 40	A 53	A 70
±0.18	±0.19	±0.20	±0.21	±0.23	±0.25	±0.27	±0.30	±0.34	±0.38

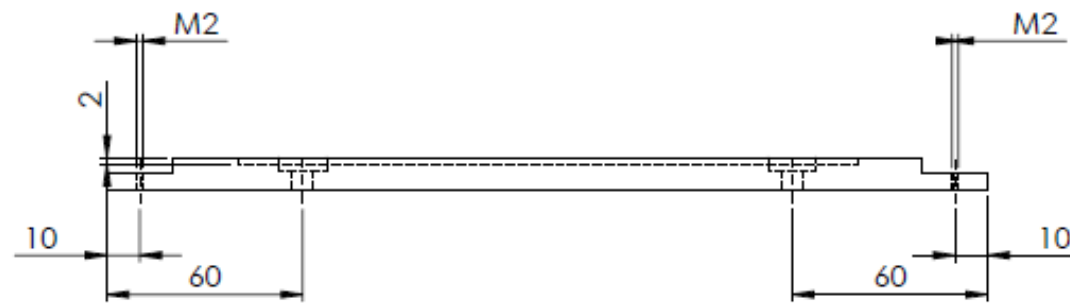
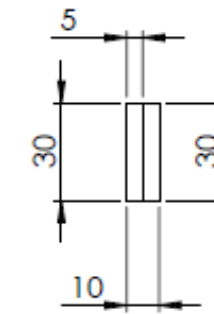
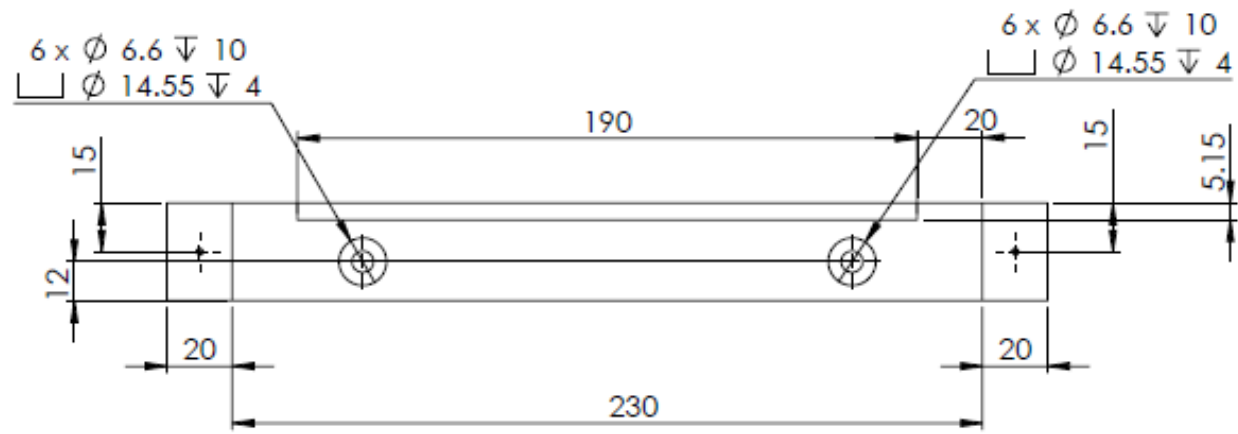
	Desenho	Data	Assin.	Universidade do Minho
	Verific.		Stéphane	
	Escala	Atuador		Engenharia Mecânica
	2:1			



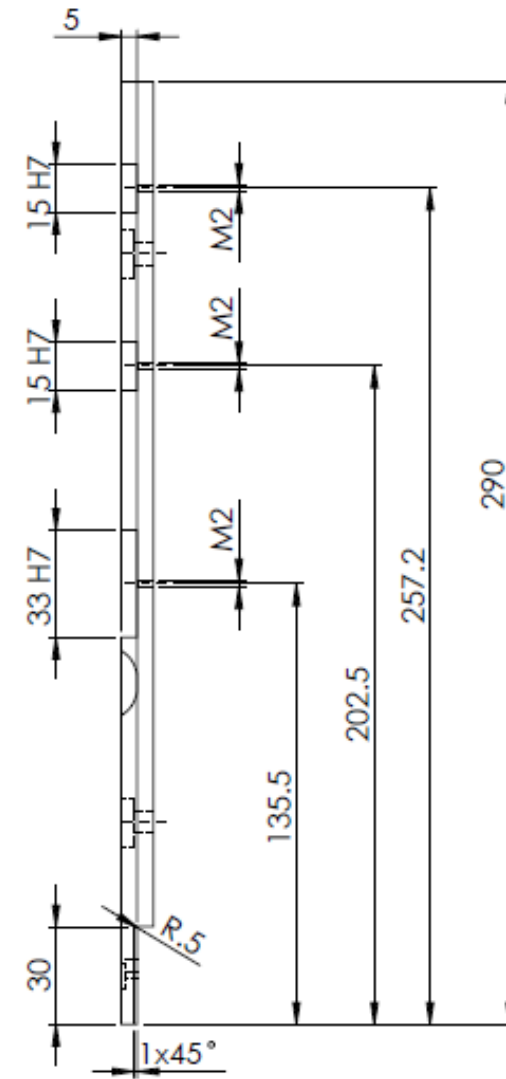
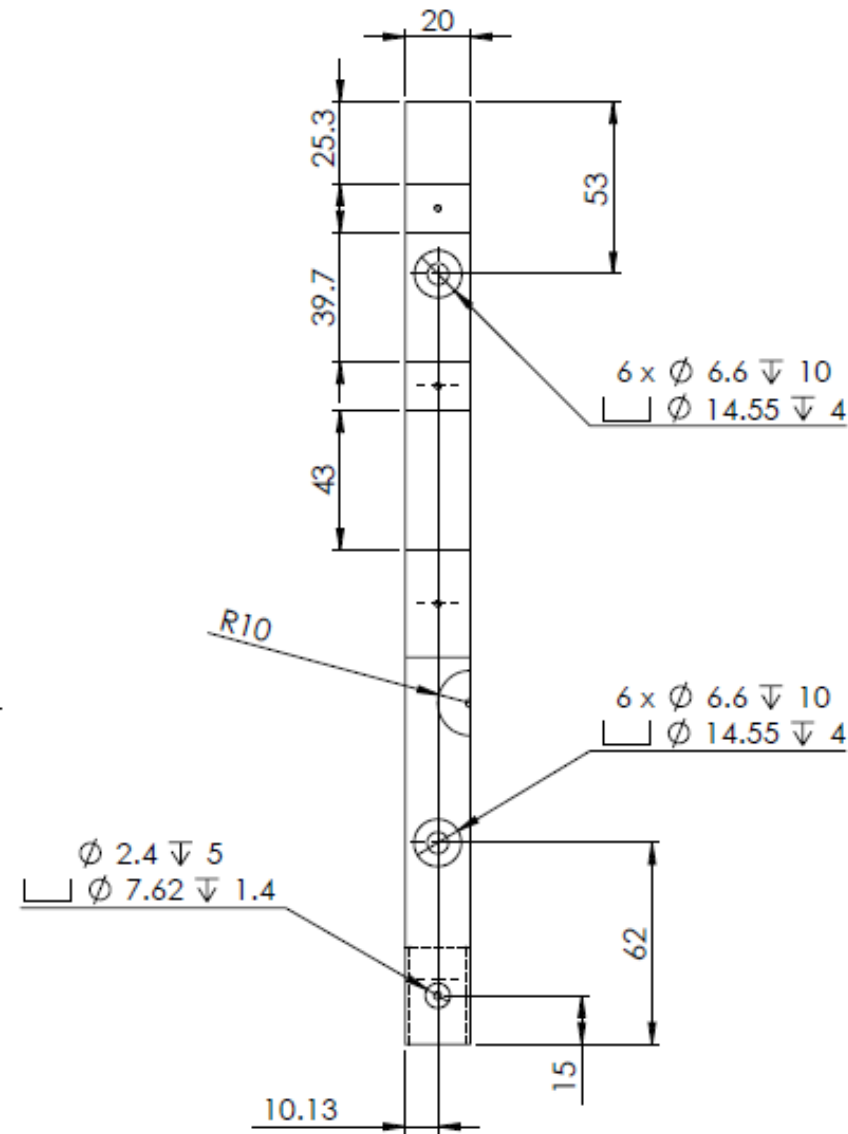
TOLERANCIAS GERAIS (mm)										
DE 0	DE 1	DE 3	DE 6	DE 10	DE 15	DE 22	DE 30	DE 40	DE 53	
A 1	A 3	A 6	A 10	A 15	A 22	A 30	A 40	A 53	A 70	
±0.18	±0.19	±0.20	±0.21	±0.23	±0.25	±0.27	±0.30	±0.34	±0.38	
			Data	Assin.						
		Desenho		Stéphane						
		Verific.								
		Escala	Pino							Universidade do Minho
		20:1								Engenharia Mecânica



ANEXO 3 – DESENHOS TÉCNICOS DO SUPORTE DO PCB



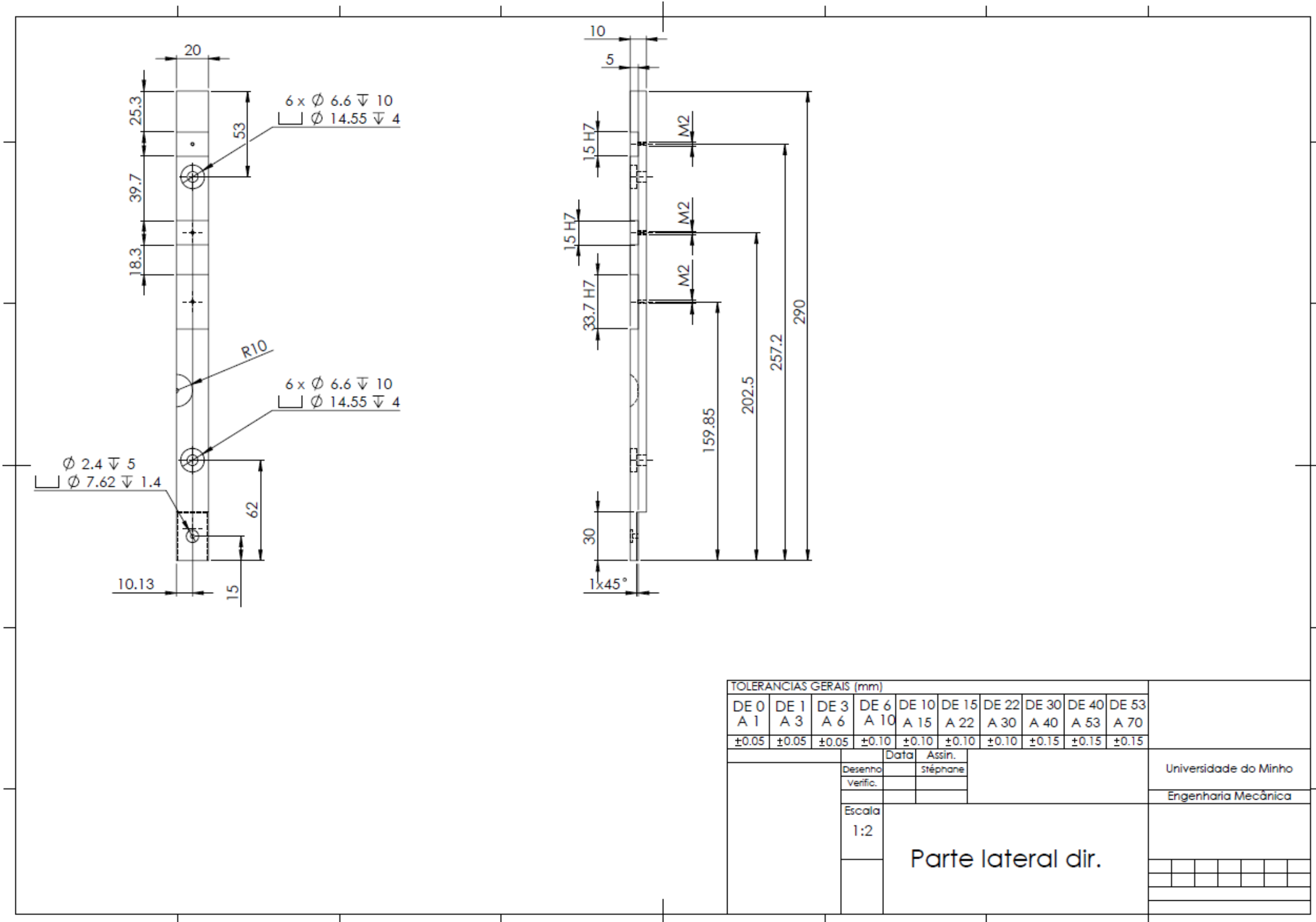
TOLERANCIAS GERAIS (mm)									
DE 0	DE 1	DE 3	DE 6	DE 10	DE 15	DE 22	DE 30	DE 40	DE 53
A 1	A 3	A 6	A 10	A 15	A 22	A 30	A 40	A 53	A 70
±0.05	±0.05	±0.05	±0.10	±0.10	±0.10	±0.10	±0.15	±0.15	±0.15
		Data		Assin.					
		Desenho		Stéphane		Universidade do Minho			
		Verific.				Engenharia Mecânica			
		Escala		Base do suporte					
		1:2							



TOLERANCIAS GERAIS (mm)									
DE 0	DE 1	DE 3	DE 6	DE 10	DE 15	DE 22	DE 30	DE 40	DE 53
A 1	A 3	A 6	A 10	A 15	A 22	A 30	A 40	A 53	A 70
±0.05	±0.05	±0.05	±0.10	±0.10	±0.10	±0.10	±0.15	±0.15	±0.15

	Data	Assin.	
	Desenho	Stéphane	Universidade do Minho
	Verific.		
	Engenharia Mecânica		
	Escala		
	1:2		

Parte lateral esq.



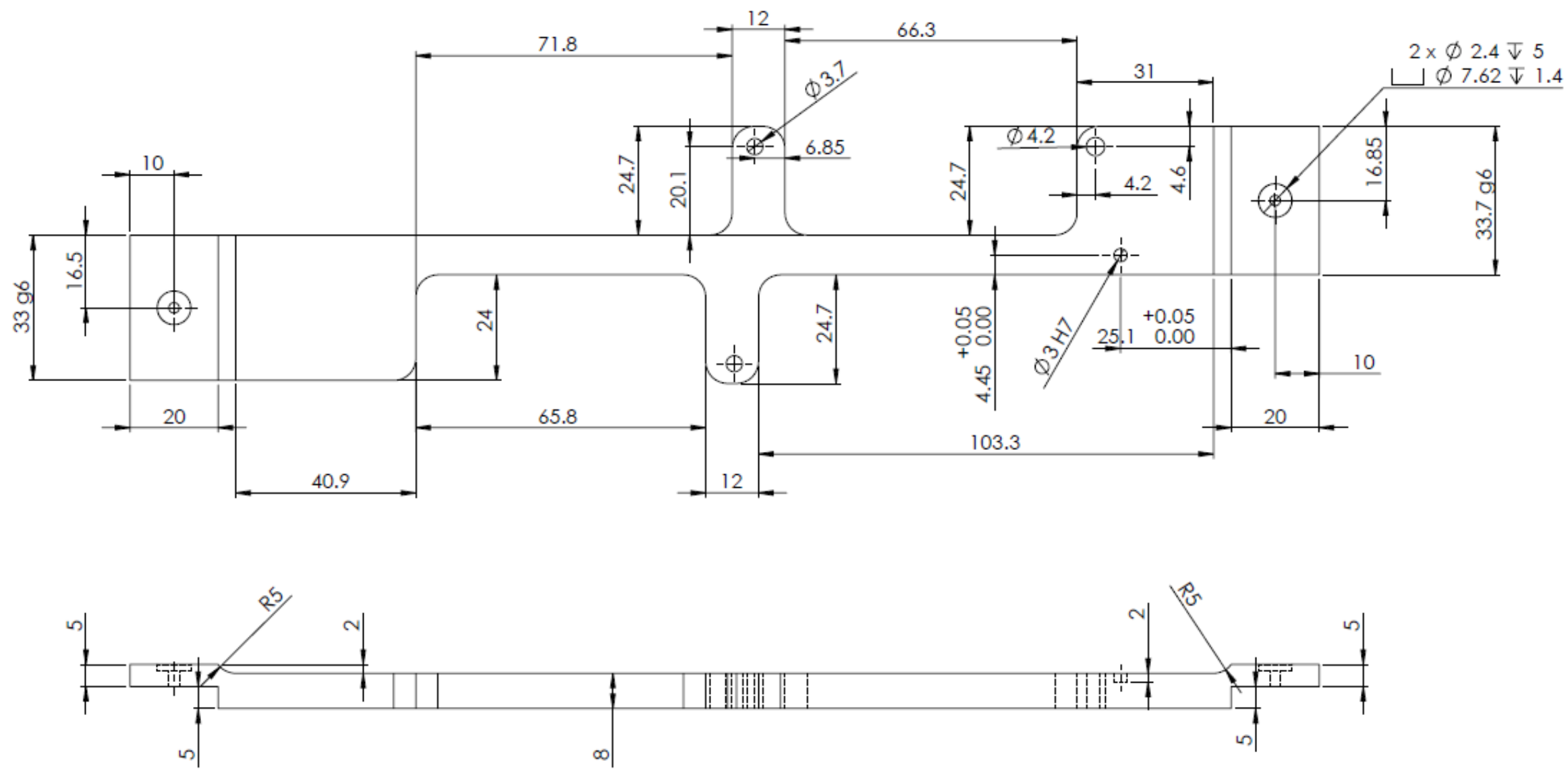
TOLERANCIAS GERAIS (mm)									
DE 0	DE 1	DE 3	DE 6	DE 10	DE 15	DE 22	DE 30	DE 40	DE 53
A 1	A 3	A 6	A 10	A 15	A 22	A 30	A 40	A 53	A 70
±0.05	±0.05	±0.05	±0.10	±0.10	±0.10	±0.10	±0.15	±0.15	±0.15

Data	Assin.
	Stéphane
Desenho	
Verific.	

Universidade do Minho
Engenharia Mecânica

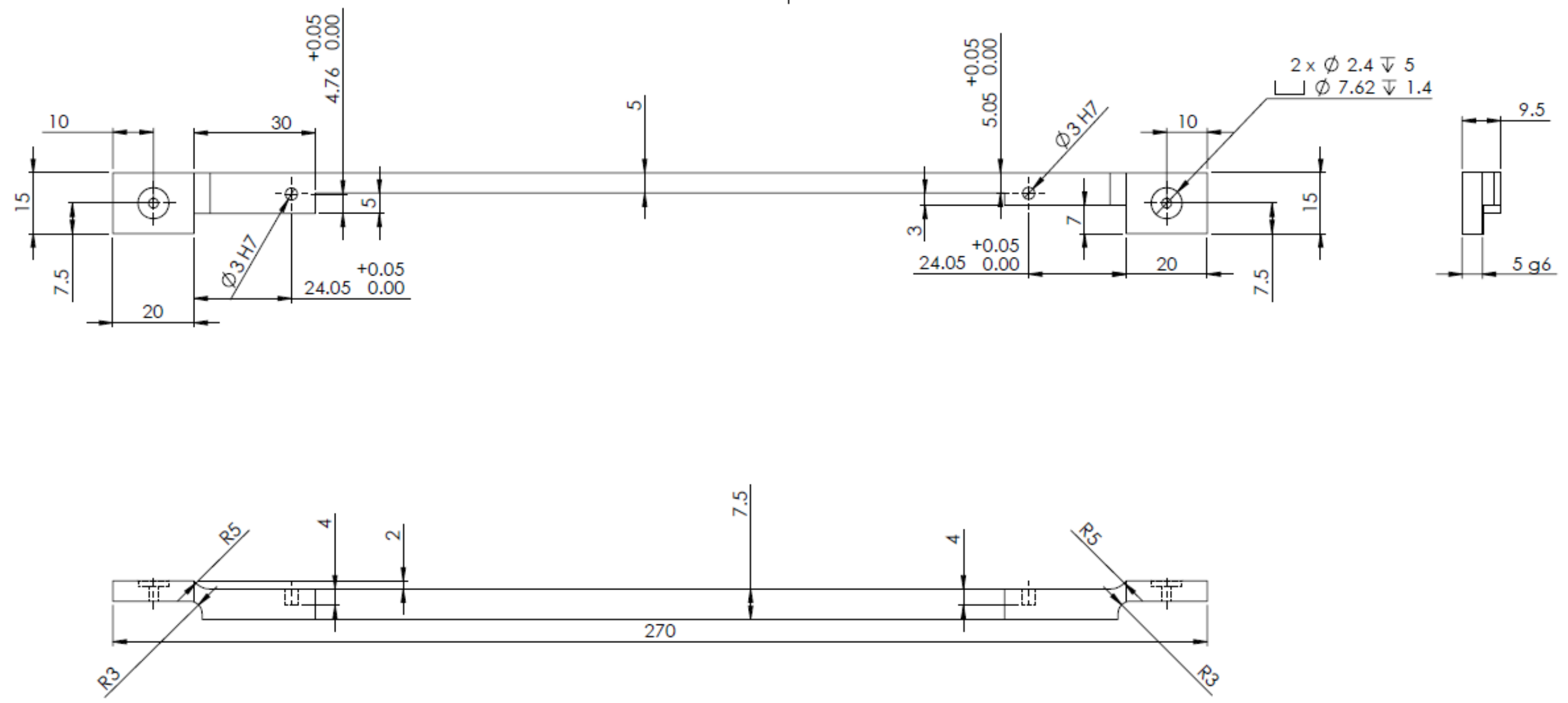
Escala
1:2

Parte lateral dir.

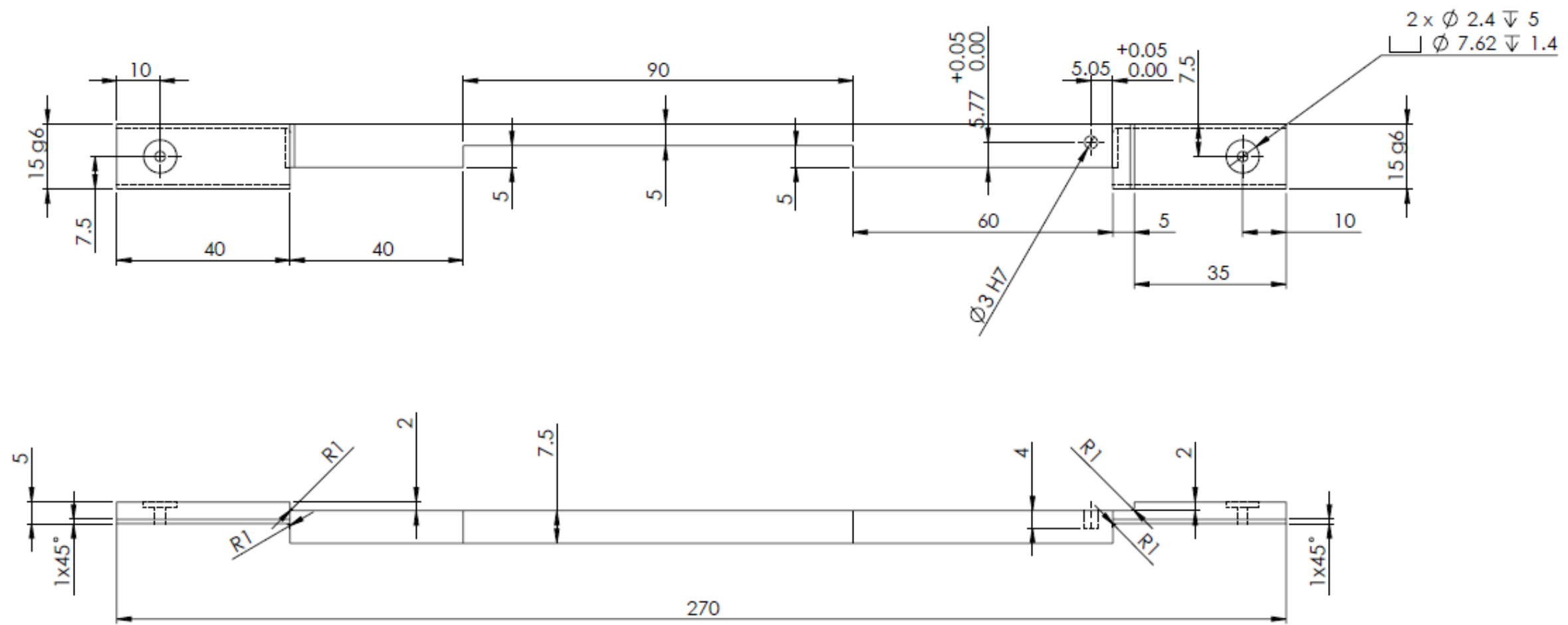


TOLERANCIAS GERAIS (mm)									
DE 0	DE 1	DE 3	DE 6	DE 10	DE 15	DE 22	DE 30	DE 40	DE 53
A 1	A 3	A 6	A 10	A 15	A 22	A 30	A 40	A 53	A 70
±0.05	±0.05	±0.05	±0.10	±0.10	±0.10	±0.10	±0.15	±0.15	±0.15
					Data	Assin.			
					Desenho	Stéphane			
					Verific.				
					Escala	1:1			
					Barra central 2M07				

Universidade do Minho
Engenharia Mecânica

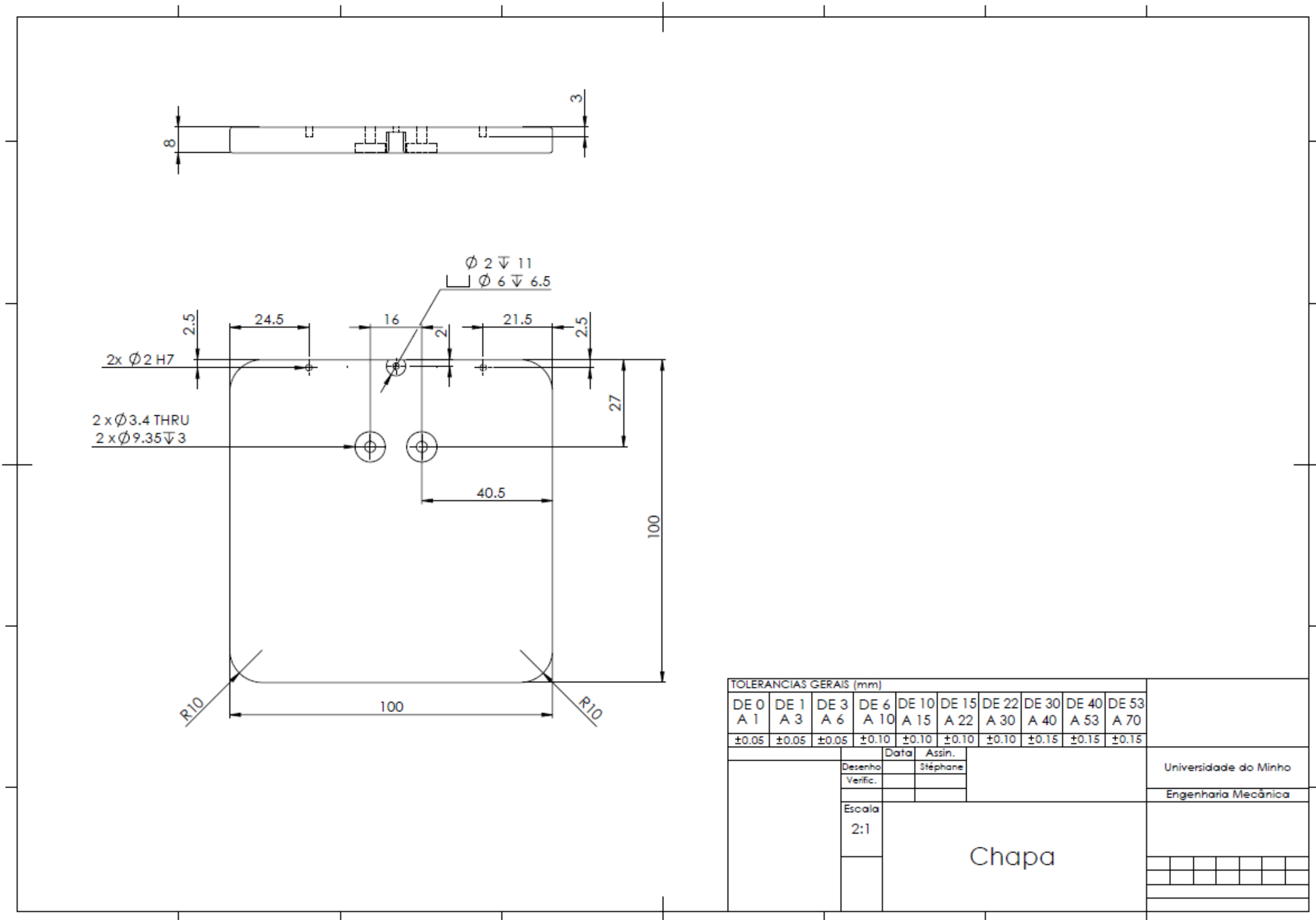


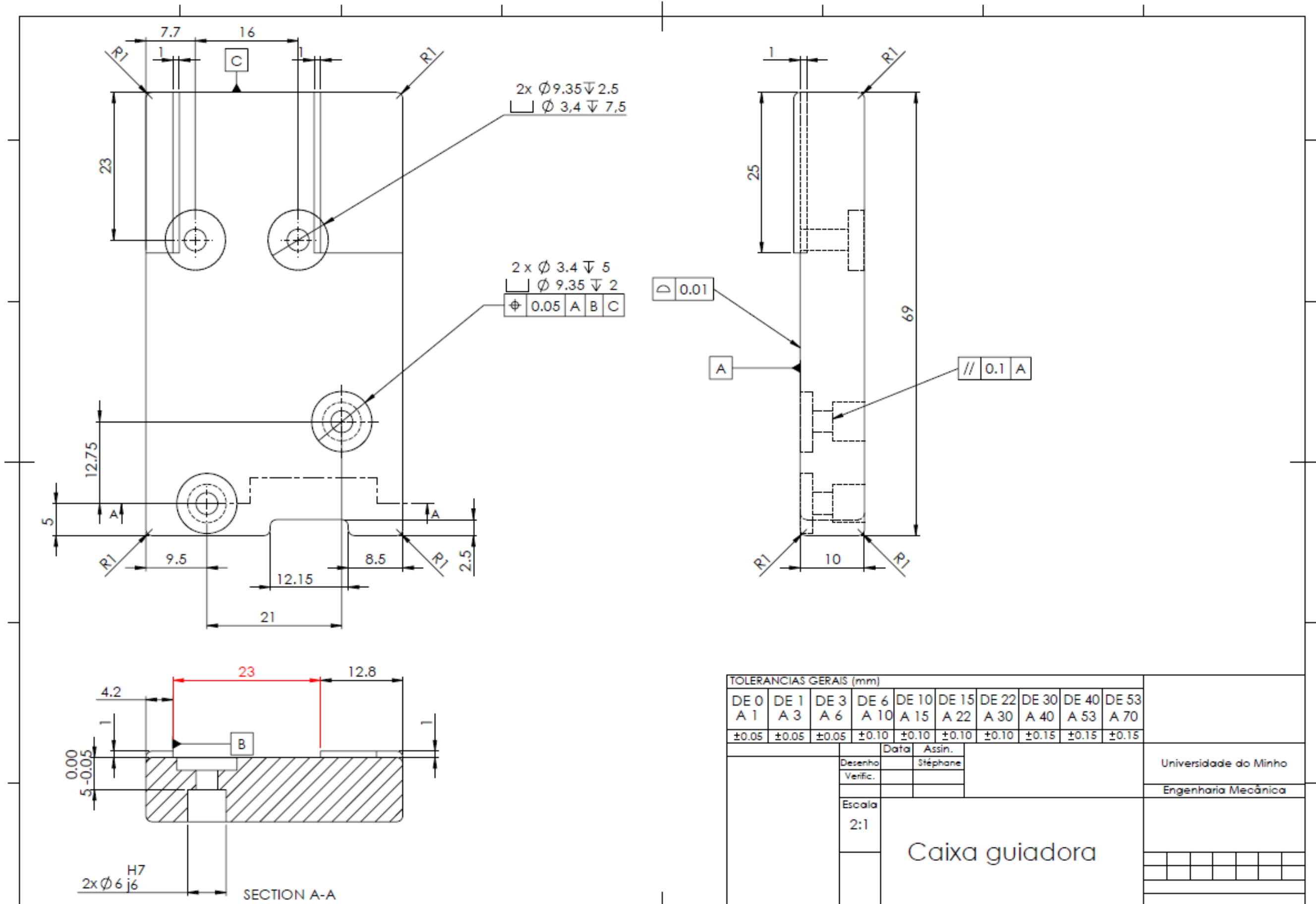
TOLERANCIAS GERAIS (mm)									
DE 0	DE 1	DE 3	DE 6	DE 10	DE 15	DE 22	DE 30	DE 40	DE 53
A 1	A 3	A 6	A 10	A 15	A 22	A 30	A 40	A 53	A 70
±0.05	±0.05	±0.05	±0.10	±0.10	±0.10	±0.10	±0.15	±0.15	±0.15
				Data		Assin.			
				Desenho		Stéphane		Universidade do Minho	
				Verific.				Engenharia Mecânica	
				Escala		1:1		Barra central PCB	
								SNO2 e 2M12	

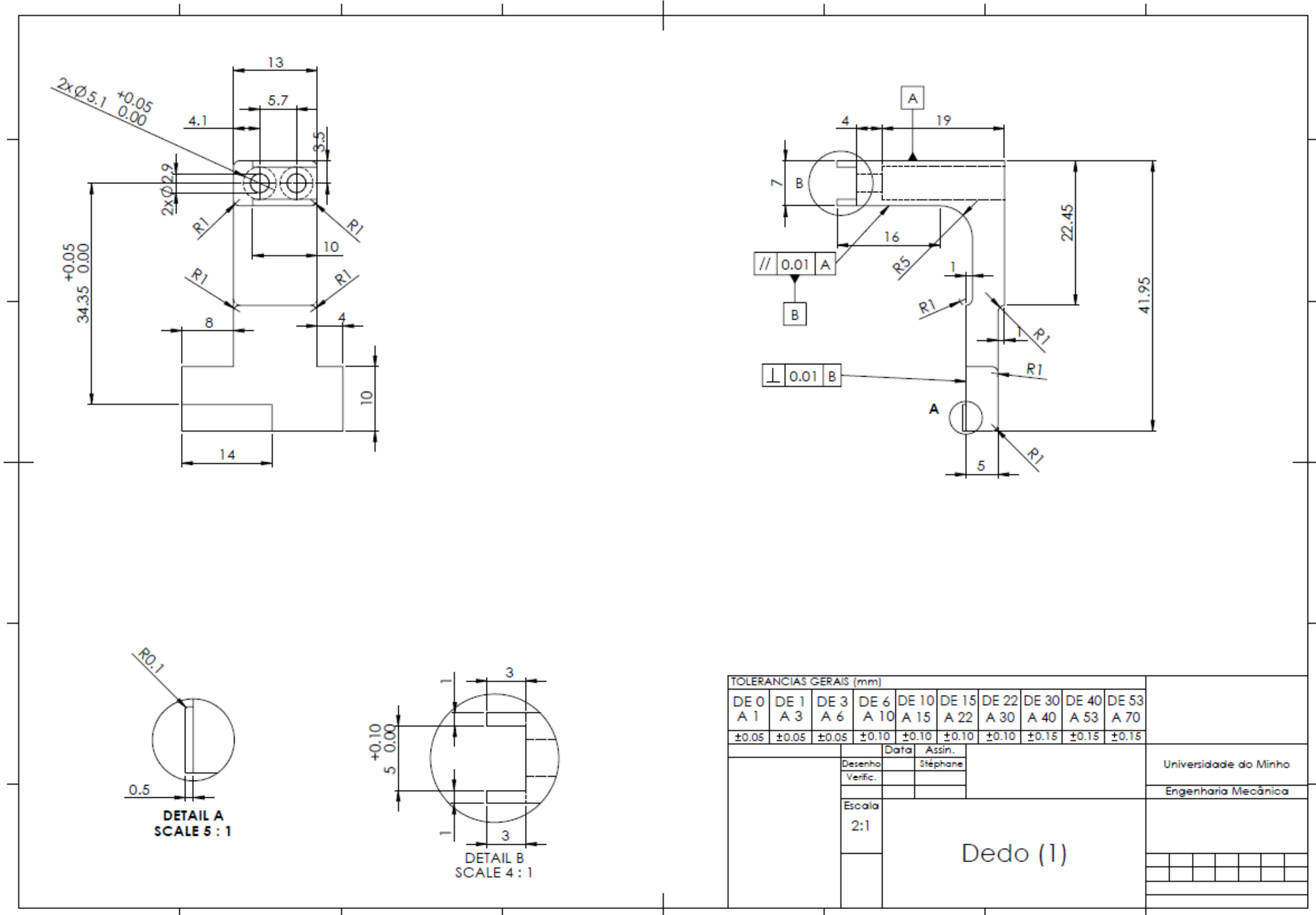


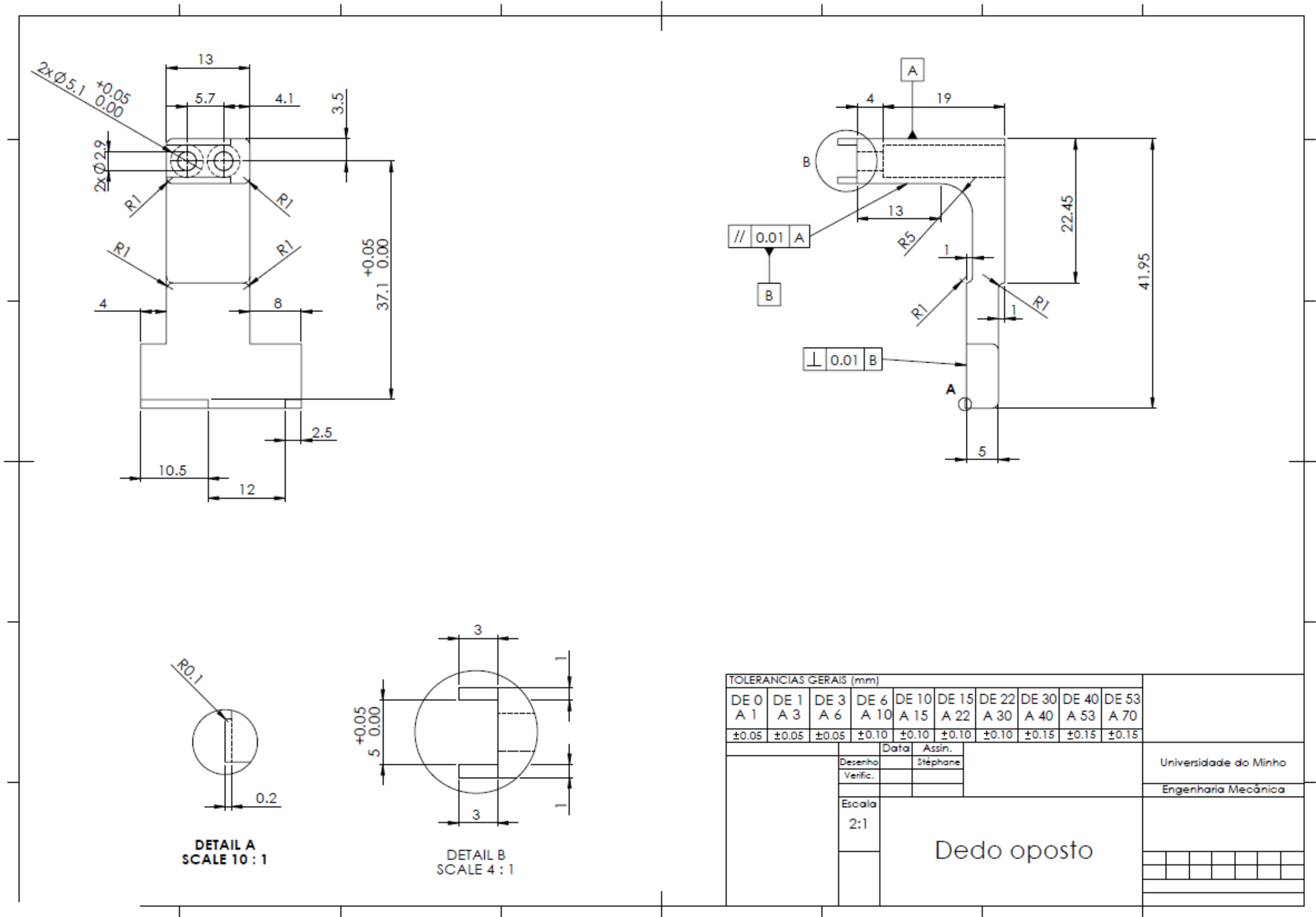
TOLERANCIAS GERAIS (mm)									
DE 0	DE 1	DE 3	DE 6	DE 10	DE 15	DE 22	DE 30	DE 40	DE 53
A 1	A 3	A 6	A 10	A 15	A 22	A 30	A 40	A 53	A 70
±0.05	±0.05	±0.05	±0.10	±0.10	±0.10	±0.10	±0.15	±0.15	±0.15
		Data		Assin.					
		Desenho		Stéphane		Universidade do Minho			
		Verific.				Engenharia Mecânica			
		Escala		1:1		Barra central 2M07			

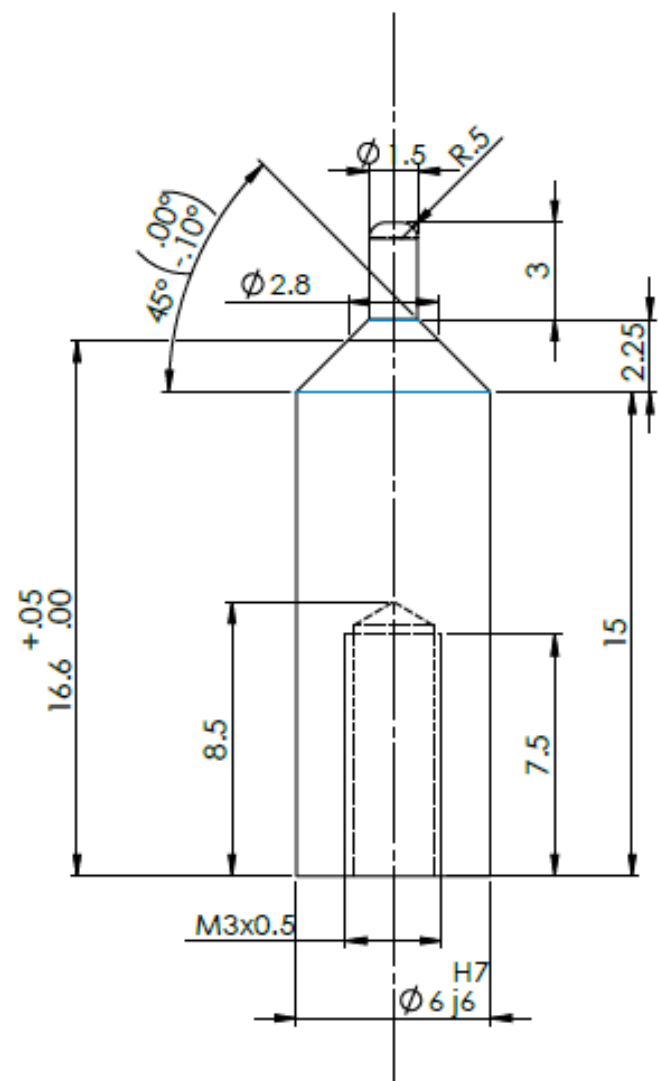
ANEXO 4 – DESENHOS TÉCNICOS DO GRIPPER PNEUMÁTICO



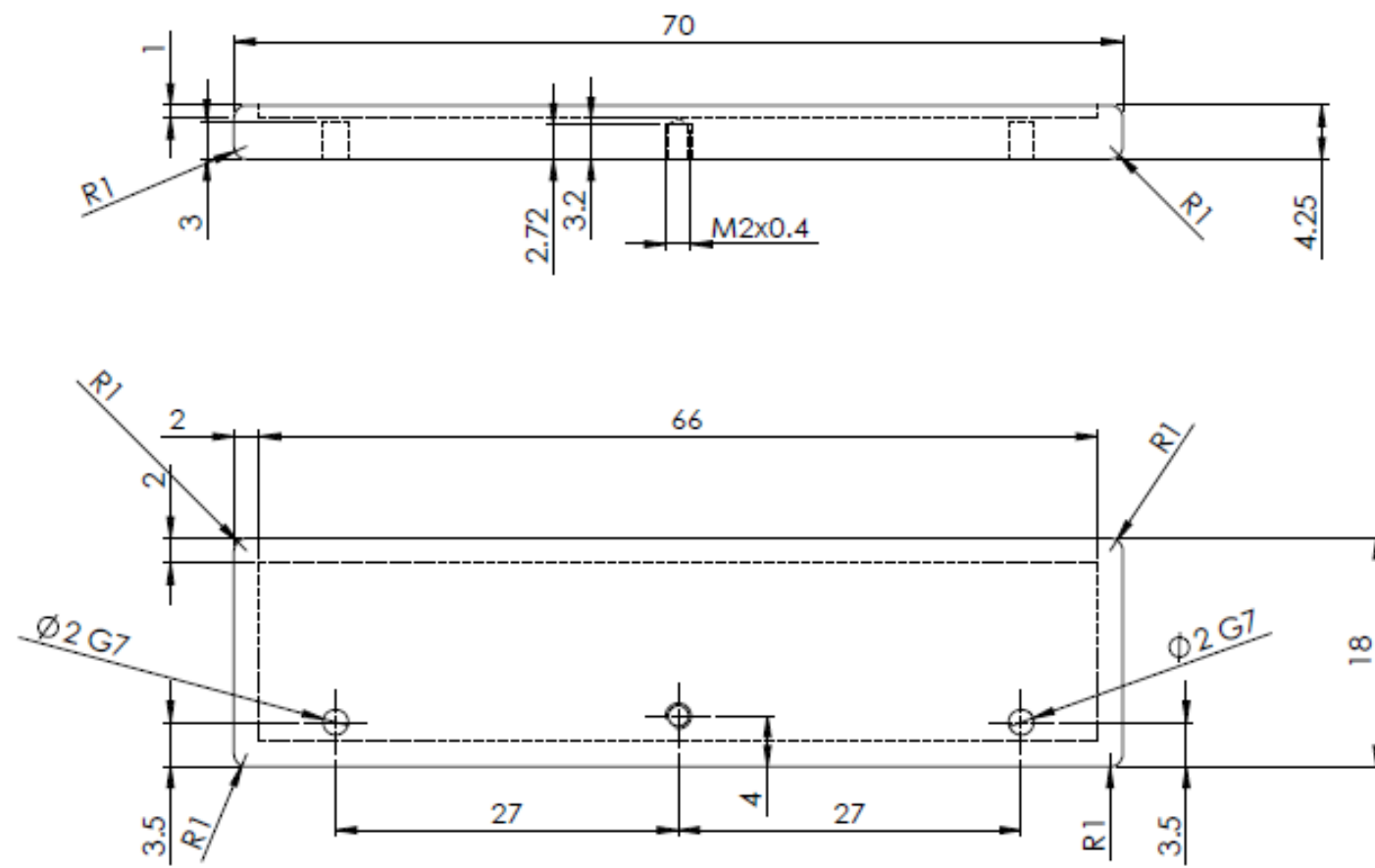






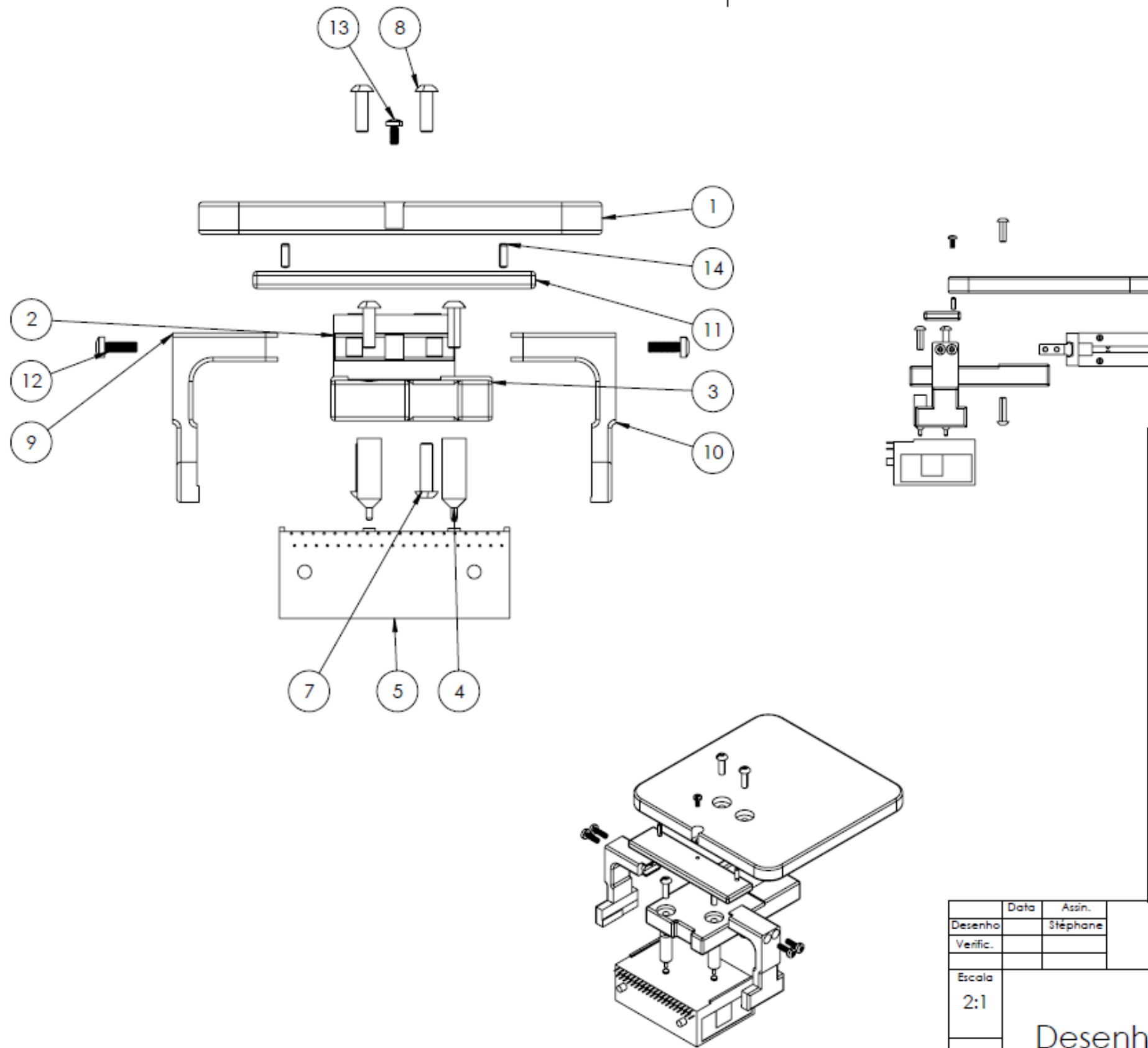


TOLERANCIAS GERAIS (mm)									
DE 0	DE 1	DE 3	DE 6	DE 10	DE 15	DE 22	DE 30	DE 40	DE 53
A 1	A 3	A 6	A 10	A 15	A 22	A 30	A 40	A 53	A 70
±0.05	±0.05	±0.05	±0.10	±0.10	±0.10	±0.10	±0.15	±0.15	±0.15
		Data		Assin.					
		Desenho		Stéphane		Universidade do Minho			
		Verific.				Engenharia Mecânica			
		Escala		Pino de contacto					
		5:1							



TOLERANCIAS GERAIS (mm)									
DE 0	DE 1	DE 3	DE 6	DE 10	DE 15	DE 22	DE 30	DE 40	DE 53
A 1	A 3	A 6	A 10	A 15	A 22	A 30	A 40	A 53	A 70
±0.05	±0.05	±0.05	±0.10	±0.10	±0.10	±0.10	±0.15	±0.15	±0.15

	Data	Assin.	
Desenho		Stéphane	Universidade do Minho
Verific.			
Escola	2:1		Suporte Teflon



ITEM N°	COMPONENTES	QTD
1	CHAPA	1
2	HFZ10_ASSEMBLY	1
3	CAIXA	1
4	PINO45°	2
5	COMPONENTE_SN02	1
6	NOVA PCB COMPONENTES	1
7	M03X12	2
8	M03X10	4
9	DEDO	1
10	DEDO_OPOSTO	1
11	NOVOSUPPTEF	1
12	M2,5X0,45	4
13	M2X4.STEP	1
14	CAVILHA02X6	2

	Data	Assin.		Universidade do Minho
Desenho		Stéphane		
Verific.				Engenharia Mecânica
Escala	2:1			
Desenho conjunto				

BIBLIOGRAFIA

- [1] Desoutter, “Industrial Revolution - From Industry 1.0 to Industry 4.0.” <https://www.desouttertools.com/industry-4-0/news/503/industrial-revolution-from-industry-1-0-to-industry-4-0>
- [2] J. Norberto Pires, *Robótica industrial indústria 4.0*. 218AD.
- [3] “CX1 PRIME.” <https://www.campetella.com/pt/rob%C3%B4s-cartesianos/cx1-prime-series/>
- [4] “KR 360.” <https://www.kuka.com/pt-pt/produtos-servi%C3%A7os/sistemas-de-rob%C3%B4s-industriais/kr-360-fortec>
- [5] “SCARA Robot SR-3iA.” <https://www.fanuc.eu/pt/pt/rob%C3%B4s/p%C3%A1gina-filtro-rob%C3%B4s/scara-series/scara-sr-3ia>
- [6] “M-2iA/3S.” <https://www.fanuc.eu/pt/pt/rob%C3%B4s/p%C3%A1gina-filtro-rob%C3%B4s/delta-robots/s%C3%A9rie-m2/m-2ia-3s>
- [7] “Omron Robôs colaborativos.” <https://industrial.omron.pt/pt/products/collaborative-robots#models>
- [8] “MERCADO DE ROBÓTICA - CRESCIMENTO, TENDÊNCIAS, IMPACTO,” 2020. [Online]. Available: <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/robotics-market>
- [9] Martin, “An adjustable gripper as a reconfigurable robot with a parallel structure.”
- [10] H. S. Gareth J. Monkman, *Robot Grippers*.
- [11] M. S. Azim, A. Lobov, and A. Pastukhov, “Methodology for implementing universal gripping solution for robot application,” *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, vol. 68, no. 4, pp. 413–420, 2019, doi: 10.3176/proc.2019.4.11.
- [12] “TOOL CHANGERS SERIES HWR2000.” <https://www.zimmer-group.com/en/technologies-components/components/handling-technology/vacuum-components/handling-components/tool-changer/manual/series-hwr2000/products/hwr2031f>
- [13] “LTC-0005A Tool Changer.” <https://www.ltautotools.com/products/ltc-0005a-tool-changer.html>
- [14] I. Yilmaz, “Development and Evaluation of Setup Strategies in Printed Circuit Board Assembly,” Berlin.
- [15] Cision, “Printed Circuit Board (PCB) Market Size is Projected to Reach USD 86170 Million by 2026 | Valuates Reports,” 2020. <https://www.prnewswire.com/in/news-releases/printed->

- circuit-board-pcb-market-size-is-projected-to-reach-usd-86170-million-by-2026-valuates-reports-802902982.html
- [16] PCB BLOG, “Analysis of the development of global PCB industry.” <https://www.rocket-pcb.com/the-global-pcb-industry-market-status-and-development-prospects-in-2020>
- [17] L. Liu, “Global PCB Market: Growth, Trends, and Forecasts,” 2021. <https://www.eetimes.eu/the-pcb-market-growth-trends-and-forecasts/>
- [18] Y. Crama, O. E. Flippo, J. van de Klundert, and F. C. R. Spieksma, “EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH The assembly of printed circuit boards" A case with multiple machines and multiple board types,” 1997.
- [19] Coombs and Clyde F, “Printed Circuits Handbook,” 2008.
- [20] M. T. P, “Fundamentals of Printed Circuit Board (PCB).”
- [21] PCBMay, “PCB DR4: O guia para FR-4 em suas placas de circuito impresso.” <https://www.pcbmay.com/pt/pcb-fr4/>
- [22] Ventura Electronics, “Design de PCB multicamadas.” <https://www.venture-mfg.com/pt/design-de-pcb-multicamadas/>
- [23] MOKO, “PCB flexível.” <https://www.mokotechnology.com/pt/flex-rigid-pcb/>
- [24] “Engineering Design A Systematic Approach.”
- [25] T. And and R. Methods, “THE DEVELOPMENT OF THE GUIDELINE VDI 2221-THE CHANGE OF DIRECTION,” 2006.
- [26] L. F. Silva, “5. Estabelecimento da Estrutura de Funções do Produto Teoria do Projeto Mecânico.”
- [27] Amauri Olivio, “Elementos de máquinas.”
- [28] F. P. (Ferdinand P. Beer, Johnston Russel, DeWolf John, and Mazurek David, *Mechanics of materials*. McGraw-Hill, 2011.
- [29] “Tolerance tables.” [Online]. Available: chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.boschrexroth.com/ics/cat/content/assets/Online/do/LT_LBS_Tolerance_Table_EN_20160712_143524.pdf
- [30] TECHNICON, “OnRobot - 2FG7.” <https://technicon.dk/dk/vare/onrobot-2fg7-griber/>
- [31] “TM5 Ordering Information Items Included with a TM5 Robot System.”
- [32] SCHUNK, “EOA-UR3510-SHA-050-E08-000”, [Online]. Available: <https://schunk.com/de/de/automatisierungstechnik/wechselsysteme/shs/ea-ur3510-sha-050-e08-000/p/000000000001334789>

- [33] eins, “Tool Changer ”, [Online]. Available: <https://www.eins1.eu/140266-tool-changer-robot-side-ox-ssb.html>
- [34] “Fast, easy tool changes Ideal for High-Mix/ Low-Volume Production Environments.”
- [35] “TOOL CHANGERS SERIES HWR2000.” [Online]. Available: www.zimmer-group.com
- [36] “QC75-Catalog”.
- [37] F. Beer and E. Johnston, *Mechanics of Materials*.
- [38] “MHZ Series Parallel Type Air Gripper.”
- [39] OMRON, “Importance of Wave Height Control in Wave Soldering.” <https://www.omron.com/global/en/technology/omrontechnics/vol51/019.html>
- [40] R. B. Lima, V. F. Cardoso, and A. N. da Silva, “Analysis of Pin in Paste Soldering on Printed Circuits Boards Assembly Using Lead Free Solder Paste,” *ECS Trans*, vol. 39, no. 1, pp. 417–422, Sep. 2011, doi: 10.1149/1.3615221.
- [41] RAYMING, “Pin in Paste (PiP) Technology in (PCB) Printed Circuit Boards Assembly:”, [Online]. Available: <https://www.raypcb.com/pin-in-paste-pip-technology-in-pcb-printed-circuit-boards-assembly/>
- [42] A. Lotfi and M. Howarth, “Industrial application of fuzzy systems: Adaptive fuzzy control of solder paste stencil printing,” *Inf Sci (N Y)*, vol. 107, no. 1–4, pp. 273–285, 1998, doi: 10.1016/s0020-0255(97)10053-6.
- [43] W. Sun *et al.*, “Effective 90° interconnections using laser solder jetting technologies for optical coherence tomography applications,” in *Proceedings of the 2012 IEEE 14th Electronics Packaging Technology Conference, EPTC 2012*, 2012, pp. 715–718. doi: 10.1109/EPTC.2012.6507175.