



## Projeto de célula robotizada para a indústria automóvel

JOAQUIM ANTÓNIO PINTO PEREIRA

novembro de 2019

# PROJETO DE CÉLULA ROBOTIZADA PARA A INDÚSTRIA AUTOMÓVEL

Joaquim António Pinto Pereira

1130474

**2019**

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica





# PROJETO DE CÉLULA ROBOTIZADA PARA A INDÚSTRIA AUTOMÓVEL

Joaquim António Pinto Pereira

1130474

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho e coorientação do Doutor Francisco José Gomes da Silva, Professores Adjuntos do Departamento de Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

**2019**

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica





# JÚRI

## **Presidente**

Especialista Isabel Maria Garcia Sarmiento Pereira  
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

## **Orientador**

Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho  
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

## **Coorientador**

Doutor Francisco José Gomes da Silva  
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

## **Arguente**

Doutor José Luís Soares Esteves  
Professor Auxiliar, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à empresa acolhedora do projeto, a WRK, Lda, pela oportunidade de realização deste trabalho e pelo apoio concedido em todos os aspetos. Agradeço ainda aos colaboradores de todos os departamentos, em particular ao departamento de projeto.

Ao orientador Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho, pela disponibilidade apresentada, e por todo o apoio na elaboração da presente dissertação.

Aos colegas de curso, pela partilha de tempo de estudo e de ajuda mútua, agradecendo em especial ao Jorge Ribeiro.

Aos meus amigos e família, pelo apoio incondicional ao longo do meu percurso escolar, que sempre me motivaram.

Por último, à Diana, por tudo, em todos os momentos.



## **PALAVRAS CHAVE**

Automóvel; Componente; Plástico; Montagem; Projeto; Alimentação.

## **RESUMO**

O século XX foi uma fase de imensa evolução no que se refere à mobilidade, e o automóvel tornou-se um bem essencial à sociedade que conhecemos nos dias de hoje. O lugar que o automóvel conquistou levou a uma imensa evolução na indústria automóvel, fazendo desta um pilar na economia mundial. Com o crescimento aumenta a responsabilidade, e a indústria automóvel enfrenta nos dias de hoje o seu maior desafio, manter-se em constante evolução, absorvendo as necessidades do mercado no que se refere à enorme quantidade de peças e componentes que acompanham a produção do automóvel, e ao mesmo tempo acompanhar os requisitos de qualidade e prazo de entrega.

O crescimento da indústria levou a uma necessidade de produção em massa, que obriga os produtores a investir em novas técnicas e métodos de produção. Ao longo do tempo a automação e a robótica tornaram-se a melhor via para alcançar os objetivos pretendidos no mercado. Assim, a automação apresenta-se, tal como a indústria automóvel, numa evolução constante, surgindo constantemente com novas soluções.

As linhas de produção e montagem recorrem cada vez mais aos processos completamente automatizados. Com isto, este trabalho surge em resposta às necessidades de um fabricante de componentes para a indústria automóvel. Nas linhas de injeção de plásticos a produção é constante e realizada de forma rápida, e para aproveitar essa rapidez é desejável a realização de etapas de montagem de componentes imediatamente após saída das peças do molde de injeção.

O trabalho consiste no projeto de uma célula robotizada para inserção de componentes em duas peças automóvel, distintas, imediatamente após o processo de injeção. O objetivo é a conceção de um equipamento completamente automático, capaz de fazer a inserção de componentes com recurso a um robô de seis eixos. Para receber as peças, o equipamento deve estar pronto para o seu posicionamento em todos os eixos cartesianos e, para auxiliar o funcionamento do robô, o equipamento tem de apresentar um sistema de carregamento de componentes numa ferramenta.

Os resultados deste trabalho foram positivos, o equipamento foi concluído e entregue ao cliente, cumprindo os requisitos por ele impostos, no que se refere a construção, e, essencialmente, no que se refere a tempo de ciclo.



## KEYWORDS

Automobile; Component; Plastic; Assembly; Design; Feeding system.

## ABSTRACT

On the XX century there was a major evolution regarding mobility, and the automobile became an essential part of society as we know it today. The role that the automobile conquered led to an immense growth of the automobile industry, making it a cornerstone of the global economy. With growth comes an increase in responsibility, and the automobile industry faces today its biggest challenge, which is keeping a constant evolution, accounting for the market needs in what comes to the enormous quantity of parts and systems that go hand in hand with the production of the automobile, and at the same time keep up with the quality requirements and deadlines.

With the growth of this industry came the need to mass produce, which obligates the suppliers to invest in new technologies and production methods. Throughout the time, automation and robotics became the best way to achieve the goals required by the market. Therefore, likewise the automotive industry, the automation presents itself at a constant evolution, constantly presenting new solutions.

The production and assembly lines increasingly resort to completely automated processes. Therefore, this thesis was born and rooted on the needs of a component's supplier to the automotive industry. In which regards to the injection of plastic, the production is fluent and quick, and to take advantage of such speed it is desirable to execute the assembly steps right after the removal of the parts from the injection molds.

The thesis consists of the design of a robotized cell with the goal of inserting components in two different automobile parts, right after the injection process. The idea is to conceptualize and conceive a completely automated equipment, capable of executing this task using a six-axis robot. To nest the part, the equipment must be ready to ensure the positioning and locking of the part in all axes and, to lighten the robot's job, must also be capable of using a feeding system to load the robot's tool.

The results of this project were positive, the equipment was successfully concluded and delivered to the costumer, meeting the construction requirements, and, most importantly, the cycle time.



## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

### Lista de Abreviaturas

ABS	<i>Acrilonitrila Butadieno Estireno</i>
AC	<i>Alternate Current</i>
AFIA	Associação de Fabricantes para a Indústria Automóvel
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAM	<i>Computer-aided manufacturing</i>
CEG	Caderno de Encargos Geral
CLP	Controlador Lógico Programável
CNC	<i>Computer Numerical Control</i>
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
DC	<i>Direct Current</i>
DIN	<i>Deutsches Institut Fur Normung</i>
FEE	Ficha de Especificação do Equipamento
GCS	<i>Guide Cylinder Selector</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
JIT	<i>Just-in-time</i>
LMD	<i>Linear Motion Designer</i>
MEF	Metodo de Elementos Finitos
OICA	<i>Organisation Internationale des Constructeurs d' Automobiles</i>
PA	Poliamida
PAPP	Processo de Aprovação de Peças de Produção
PIB	Produto Interno Bruto
PVC	Policloreto de Vinila
RIM	<i>Reaction Injection Molding</i>
R-RIM	<i>Reinforced Reaction Injection Molding</i>
RTM	<i>Resin Transfer Molding</i>
SI	<i>Système International d'unités</i>
SMC	<i>Sheet Moulding Compound</i>
S-RIM	<i>Structural Reaction Injection Molding</i>

---

### Lista de Unidades

°	Grau
g/km	Emissões de CO <sub>2</sub>
h	Hora
kg	Quilograma
m	Metro
mm	Milímetro
MPa	Mega Pascal
N	Newton
s	Segundo

### Lista de Símbolos

€	Euro
∅	Diâmetro
%	Percentagem

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Produção de veículos a nível mundial [1].....	9
Figura 2 - Peso da indústria de componentes para automóveis na economia nacional [9].....	12
Figura 3 - Volume de negócios e exportações na indústria de componentes [9] .....	12
Figura 4 - Destino das vendas da indústria de componentes automóvel [9] .....	13
Figura 5 - Sistemas principais de um automóvel, (Adaptado de [10]).....	13
Figura 6 - Componentes do automóvel [11].....	14
Figura 7 - Materiais utilizados na produção de componentes para automóveis [13] .....	14
Figura 8 – Tipos de plástico utilizado em determinados componentes de automóveis [15] .....	16
Figura 9 - Distribuição de componentes de plástico no automóvel, (Adaptado de [17]).....	17
Figura 10 - Características de desempenho de sistemas de montagem [19] .....	18
Figura 11 - Tipos de automação em função da variedade e quantidade de produtos [21] .....	20
Figura 12 - Automação fixa [22] .....	21
Figura 13 - Automação programável [23].....	22
Figura 14 - Automação flexível [22].....	22
Figura 15 - Configuração geral de um robô industrial [25].....	23
Figura 16 - Relação quantidade/custo aplicando diferentes tipos de produção [26] .....	24
Figura 17 - Sistema de controlo circuito fechado [30] .....	26
Figura 18 - Sistema de controlo circuito aberto [30].....	26
Figura 19 - CLP CP1H da OMRON [32] .....	27
Figura 20 - Estrutura de um CLP [33].....	27
Figura 21 - Bancada de trabalho [38] .....	31
Figura 22 - Pequeno dispositivo de controlo dimensional [39] .....	32
Figura 23 - Equipamento de aparafusamento [39] .....	32
Figura 24 - Equipamento de fecho de bridas em tubos de ar condicionado [36] .....	33
Figura 25 - Módulo de teste elétrico [39].....	33
Figura 26 - Equipamento de deteção com visão artificial [39] .....	33
Figura 27 - Soldadura por pontos robotizada [41] .....	34

Figura 28 - Sistema de embalagem [42] .....	34
Figura 29 - Pintura de automóvel robotizada [43] .....	35
Figura 30 - Célula de injeção de plástico [45] .....	35
Figura 31 - Localização e logotipo da WRK, Lda [39] .....	39
Figura 32 - Organograma da WRK, Lda [39] .....	40
Figura 33 – A) <i>Clip</i> metálico e B) peça de plástico .....	41
Figura 34 - Posicionamento do <i>clip</i> na peça .....	41
Figura 35 - Célula projetada pela WRK, Lda .....	44
Figura 36 - Base projetada pela WRK, Lda .....	45
Figura 37 - Exemplo de ferramenta [39] .....	50
Figura 38 – Alimentador de dupla saída [46] .....	51
Figura 39 – Esquema de troca de ferramenta com movimento vertical .....	52
Figura 40 - Sistema motor-fuso [47] .....	53
Figura 41 - Esquema de troca de ferramenta com movimento horizontal .....	53
Figura 42 - Sistema de troca de ferramenta com movimento de rotação .....	54
Figura 43 - Orientação do <i>clip</i> .....	55
Figura 44 - Sistema de alimentação [48] .....	55
Figura 45 - Exemplo de Base com peça guiada em dois eixos cartesianos.....	56
Figura 46 – Sistema de calcamento com <i>clamps</i> pneumáticos [49] .....	57
Figura 47 - Calcamento com rotação.....	58
Figura 48 - Calcamento com movimento horizontal .....	59
Figura 49 – Vista isométrica do equipamento.....	64
Figura 50 - Vista frontal de equipamento.....	64
Figura 51 - A) vista lateral esquerda e B) vista lateral direita do equipamento .....	65
Figura 52 - Disposição geral do equipamento .....	66
Figura 53 - Desenho de montagem do equipamento.....	67
Figura 54 - Vista frontal da célula .....	68
Figura 55 - Vista posterior da célula .....	68

Figura 56 - A) vista lateral direita e B) vista lateral esquerda da célula .....	68
Figura 57 - Vista superior da célula .....	68
Figura 58 - Vista inferior da célula .....	68
Figura 59 - Disposição geral da célula .....	69
Figura 60 - Malha gerada para análise à estrutura da célula .....	78
Figura 61 - Tensões equivalentes de von Mises na estrutura da célula .....	78
Figura 62 – Deslocamentos resultantes na estrutura da célula .....	78
Figura 63 - Desenho de montagem da estrutura soldada da célula .....	80
Figura 64 - Desenho de montagem da célula .....	81
Figura 65 - Vista isométrica da ferramenta .....	82
Figura 66 - Vista de topo da ferramenta .....	82
Figura 67 - Vista lateral da ferramenta.....	82
Figura 68 - Disposição geral da ferramenta.....	83
Figura 69 - Desenho de montagem da ferramenta .....	87
Figura 70 - Vista isométrica do sistema de alimentação de <i>clips</i> .....	88
Figura 71 - Vista frontal do sistema de alimentação de <i>clips</i> .....	88
Figura 72 - Vista de topo do sistema de alimentação de <i>clips</i> .....	89
Figura 73 - Disposição geral do sistema de alimentação de <i>clips</i> .....	89
Figura 74 - Resultados do CGS para análise ao cilindro de carregamento de <i>clips</i> .....	97
Figura 75 - Malha gerada para análise da estrutura de carregamento de <i>clips</i> .....	98
Figura 76 - Tensões equivalentes de von Mises da estrutura de carregamento de <i>clips</i> .....	99
Figura 77 – Deslocamentos resultantes na estrutura de carregamento de <i>clips</i> .....	99
Figura 78 - Desenho de montagem do sistema de alimentação .....	100
Figura 79 - Vista isométrica do sistema de troca de ferramenta .....	101
Figura 80 - Vista frontal do sistema de troca de ferramenta .....	101
Figura 81 - Vista de topo do sistema de troca de ferramenta.....	102
Figura 82 - Disposição geral do sistema de troca de ferramenta .....	102
Figura 83 - Resultados do LMD para o dimensionamento do guiamento do sistema de troca de ferramenta .....	111

---

Figura 84 – Resultados do CGS para análise ao cilindro de movimento horizontal do sistema de troca de ferramenta .....	112
Figura 85 - Desenho de montagem do sistema de troca de ferramenta .....	114
Figura 86 - Vista isométrica da Base.....	115
Figura 87 - Vista de topo da Base .....	115
Figura 88 - Vista frontal da Base.....	116
Figura 89 - Vista lateral da Base .....	116
Figura 90 - Disposição geral da Base .....	117
Figura 91 - Malha gerada para análise do tampo (WRK-CLIC_0501).....	121
Figura 92 - Tensões equivalentes de von Mises do tampo.....	121
Figura 93 - Deslocamentos resultante no tampo .....	122
Figura 94 - Desenho de montagem da Base.....	123
Figura 95 - Vista isométrica da Base A.....	124
Figura 96 - Vista de topo da Base A .....	124
Figura 97 - Vista frontal da Base A.....	124
Figura 98 - Disposição geral da Base A .....	125
Figura 99 - Malha gerada para análise da Base A.....	134
Figura 100 - Tensões equivalentes de von Mises da Base A.....	134
Figura 101 – Deslocamentos resultantes na Base A.....	135
Figura 102 - Desenho de montagem da Base A.....	136
Figura 103 - Vista isométrica da Base B.....	137
Figura 104 - Vista de topo da Base B .....	137
Figura 105 - Vista frontal da Base B.....	137
Figura 106 - Disposição geral da Base B .....	138
Figura 107 - Malha gerada para análise da Base B .....	144
Figura 108 - Tensões equivalentes de von Mises da Base B.....	145
Figura 109 - Deslocamentos resultantes na Base B.....	145
Figura 110 - Desenho de montagem da Base B.....	146
Figura 111 - Vista isométrica do sistema de calcamento .....	147

---

Figura 112 - Vista de topo do sistema de calcamento.....	147
Figura 113 - Vista frontal do sistema de calcamento .....	147
Figura 114 - Disposição geral do sistema de calcamento.....	148
Figura 115 - Resultados do LMD para o dimensionamento do guiamento do sistema de calcamento ...	158
Figura 116 - Resultados do CGS da análise ao cilindro de movimento horizontal do sistema de calcamento .....	159
Figura 117 - Conjunto de aproximação de calcamento WRK-CLIC_0900B.....	160
Figura 118 - Conjunto de aproximação de calcamento WRK-CLIC_0900C.....	160
Figura 119 - Malha gerada para análise do conjunto WRK-CLIC_900B .....	162
Figura 120 - Tensões equivalentes de von Mises do conjunto WRK-CLIC_900B.....	162
Figura 121 - Deslocamento resultante no conjunto WRK-CLIC_900B.....	163
Figura 122 - Malha gerada para análise do conjunto WRK-CLIC_900C .....	164
Figura 123 - Tensões equivalentes de von Mises do conjunto WRK-CLIC_900C.....	164
Figura 124 – Deslocamento resultante no conjunto WRK-CLIC_900C .....	165
Figura 125 - Desenho de montagem do sistema de calcamento .....	166
Figura 126 - Sequência geral de funcionamento do equipamento .....	168
Figura 127 - Sequência de funcionamento do sistema de alimentação .....	169
Figura 128 - Sequência de funcionamento do sistema de troca de ferramenta .....	170
Figura 129 - Sequência de funcionamento do motor .....	171
Figura 130 - Sequência de funcionamento do sistema de calcamento .....	172
Figura 131 - Comando ligar/desligar .....	173
Figura 132 - Consola portátil anexa ao controlador YCR1000.....	174
Figura 133 - Painel I/F da consola do equipamento .....	176
Figura 134 - Botão "INTERLOCK" da consola .....	176
Figura 135 - Zona Onde surgem as mensagens de aviso.....	177
Figura 136 - Janela de alarme da consola.....	178
Figura 137 - Ecrã para alteração da velocidade do robô .....	180
Figura 138 - Sensor magnético anexo às portas do equipamento .....	182



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Metodologia de trabalho utilizada .....	4
Tabela 2 - Venda de veículos a nível mundial [1] .....	9
Tabela 3 - Forças competitivas de um negócio, (Adaptado de [5]) .....	10
Tabela 4 - Principais benefícios da Certificação ISO/TS 16949:2016 [6] .....	11
Tabela 5 - Emissões de CO <sub>2</sub> em função do material aplicado na estrutura do automóvel [14] .....	15
Tabela 6 - Benefícios apontados aos plásticos na indústria automóvel, (Adaptado de [16]).....	15
Tabela 7 - Processos na obtenção de componentes de plástico, (Adaptado de [16]).....	17
Tabela 8 - Fatores que impulsionam o processo de automatização na indústria, (Adaptado de [21]) .....	19
Tabela 9 - Fatores que impulsionam a aplicação de robôs, (Adaptado de [27]) .....	24
Tabela 10 - Tipos de robô industrial, (Adaptado de [28]).....	25
Tabela 11 - Tipos de sensor de aplicação comum .....	28
Tabela 12 - Classificação dos atuadores, (Adaptado de [21]).....	29
Tabela 13 - Vantagens e desvantagens dos atuadores elétricos, (Adaptado de [35]) .....	29
Tabela 14 - Vantagens e desvantagens dos atuadores hidráulicos, (Adaptado de [35]).....	30
Tabela 15 - Vantagens e desvantagens dos atuadores pneumáticos, (Adaptado de [35]) .....	30
Tabela 16 - Fases evolutivas do projeto .....	42
Tabela 17 - Requisitos impostos pelo cliente .....	43
Tabela 18 - Comparação entre células robotizadas anteriormente desenvolvidas e o projeto a desenvolver.....	45
Tabela 19 - Considerações relevantes para trabalho com peças de plástico.....	46
Tabela 20 - Considerações relevantes para montagem de componentes.....	47
Tabela 21 - Considerações relevantes para deteção de componentes.....	47
Tabela 22 - Divisão do equipamento em subconjuntos .....	49
Tabela 23 – Requisitos impostos ao sistema de calcamento .....	57
Tabela 24 - Vantagens e desvantagens do sistema de calcamento com <i>clamps</i> .....	58
Tabela 25 - Evolução do conceito de calcamento com movimento horizontal.....	60
Tabela 26 - Metodologia de dimensionamento utilizando o MEF .....	61

---

Tabela 27 - Metodologia de dimensionamento de sistemas de guiamento utilizando o LMD [51].....	62
Tabela 28 - Metodologia de dimensionamento de cilindros utilizando o GCS.....	63
Tabela 29 - Características principais da célula .....	70
Tabela 30 - Lista de componentes normalizados da célula .....	72
Tabela 31 - Lista de componentes não normalizados da célula .....	74
Tabela 32 - Forças aplicadas na estrutura soldada.....	76
Tabela 33 - Condições fronteira na análise da estrutura soldada .....	77
Tabela 34 - Parâmetros da malha utilizada na simulação da estrutura soldada .....	77
Tabela 35 – Características principais da ferramenta .....	84
Tabela 36 - Listagem de componentes normalizados da ferramenta .....	86
Tabela 37 - Listagem de componentes não normalizados da ferramenta .....	86
Tabela 38 - Características principais do sistema de alimentação .....	90
Tabela 39 - Listagem de componentes normalizados do sistema de alimentação .....	92
Tabela 40 - Listagem de componentes não normalizados do sistema de alimentação .....	93
Tabela 41 - Condições de trabalho do cilindro de carregamento de <i>clips</i> .....	96
Tabela 42 - Forças aplicadas na estrutura de carregamento de <i>clips</i> .....	97
Tabela 43 - Condições fronteira na análise da estrutura de carregamento de <i>clips</i> .....	98
Tabela 44 - Definição da malha utilizada na simulação da estrutura de carregamento de <i>clips</i> .....	98
Tabela 45 - Características principais do sistema de troca de ferramenta .....	103
Tabela 46 - Listagem de componentes normalizados do sistema de troca de ferramenta .....	105
Tabela 47 - Listagem de componentes não normalizados do sistema de troca de ferramenta .....	107
Tabela 48 – Dados de dimensionamento do guiamento do sistema de troca de ferramenta .....	110
Tabela 49 - Condições de trabalho do cilindro de movimento horizontal do sistema de troca de ferramenta .....	112
Tabela 50 - Características principais da Base .....	118
Tabela 51 - Listagem de componentes normalizados da Base .....	119
Tabela 52 - Listagem de componentes não normalizados da Base .....	119
Tabela 53 - Forças aplicadas no tampo .....	120
Tabela 54 - Condições fronteira na análise do tampo.....	120

Tabela 55 - Parâmetros da malha utilizada na simulação do tempo.....	121
Tabela 56 - Características principais da Base A.....	126
Tabela 57 - Listagem de componentes normalizados da Base A.....	128
Tabela 58 - Listagem de componentes não normalizados da Base A.....	128
Tabela 59 - Forças aplicadas na Base A .....	133
Tabela 60 - Condições fronteira na análise da Base A.....	133
Tabela 61 - Parâmetros da malha utilizada na simulação da Base A.....	134
Tabela 62 - Listagem de componentes normalizados da Base B.....	139
Tabela 63 - Listagem de componentes não normalizados da Base B.....	139
Tabela 64 - Forças aplicadas na Base B .....	143
Tabela 65 - Condições fronteira na análise da Base B.....	144
Tabela 66 - Parâmetros da malha utilizada na simulação da Base B.....	144
Tabela 67 - Características principais do sistema de calcamento .....	148
Tabela 68 - Listagem de componentes normalizados do sistema de calcamento .....	150
Tabela 69 - Listagem de componentes não normalizados do sistema de calcamento .....	152
Tabela 70 – Dados de dimensionamento do guiamento horizontal do sistema de calcamento .....	157
Tabela 71 - Condições de trabalho dos cilindros de movimento horizontal do sistema de calcamento .....	158
Tabela 72 - Forças aplicadas no conjunto WRK-CLIC_900B do sistema de calcamento.....	161
Tabela 73 - Condições fronteira na análise do conjunto WRK-CLIC_900B do sistema de calcamento ....	161
Tabela 74 - Definição da malha utilizada na simulação do conjunto WRK-CLIC_900B do sistema de calcamento .....	162
Tabela 75 - Forças aplicadas no conjunto WRK-CLIC_900C do sistema de calcamento.....	163
Tabela 76 - Condições fronteira na análise do conjunto WRK-CLIC_900C do sistema de calcamento ....	163
Tabela 77 - Definição da malha utilizada na simulação do conjunto WRK-CLIC_900C do sistema de calcamento .....	164
Tabela 78 - Arranque do equipamento em "Modo Automático".....	175
Tabela 79 - Paragem do "Modo Automático" do equipamento.....	175
Tabela 80 - Alarmes associados ao funcionamento do equipamento.....	177
Tabela 81 - Mensagens de aviso do equipamento .....	177

---

Tabela 82 - Falhas que provocam paragem do equipamento .....	179
Tabela 83 - Passos para desligar o equipamento .....	179
Tabela 84 - Avisos de segurança do equipamento .....	181
Tabela 85 – Sinalização de segurança do equipamento.....	182
Tabela 86 - Listagem de operações de manutenção .....	183
Tabela 87 - Listagem de peças de desgaste.....	184
Tabela 88 - Custos associados ao equipamento.....	185
Tabela 89 - Avaliação de cumprimento de objetivos iniciais.....	189

# ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO .....	3
1.1	Enquadramento .....	3
1.2	Objetivos .....	3
1.3	Metodologia.....	4
1.4	Estrutura da dissertação .....	5
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1	Indústria automóvel.....	9
2.2	Pilares da indústria automóvel .....	10
2.2.1	Competitividade .....	10
2.2.2	Qualidade .....	11
2.2.3	Prazo de entrega .....	11
2.3	Indústria de componentes para automóveis .....	12
2.4	Componentes para automóveis.....	13
2.4.1	Materiais na produção de componentes .....	14
2.4.2	Componentes de plástico.....	15
2.4.2.1	Plásticos comuns na indústria automóvel .....	16
2.4.2.2	Processamento de plásticos .....	16
2.4.2.3	Aplicações de plástico no automóvel .....	17
2.5	Assemblagem de componentes.....	18
2.6	Automação na indústria.....	19
2.6.1	Tipos de automação .....	20
2.7	Robótica na indústria .....	23
2.7.1	Tipos e características de robôs .....	24
2.8	Sistemas de controlo na automação.....	26
2.8.1	Controladores.....	26
2.8.2	Sensores .....	27

---

2.8.3	Atuadores .....	28
2.9	Equipamentos na indústria automóvel .....	31
3	DESENVOLVIMENTO .....	39
3.1	Caracterização da empresa acolhedora do projeto .....	39
3.1.1	Apresentação .....	39
3.1.2	Equipa.....	39
3.1.3	Oferta .....	40
3.1.4	Presença .....	40
3.2	Objetivo do trabalho/Caracterização do Problema .....	41
3.3	Fases evolutivas do projeto.....	41
3.4	Requisitos impostos pelo cliente .....	42
3.5	Recolha de informação e conhecimento .....	44
3.5.1	Projetos de exemplo.....	44
3.5.2	Trabalho com componentes de plástico .....	46
3.5.3	Assemblagem de componentes em peças de plástico .....	46
3.5.4	Deteção de componentes .....	47
3.6	Anteprojecto .....	49
3.6.1	Divisão do equipamento em subconjuntos .....	49
3.6.2	Tempestade de ideias.....	50
3.6.2.1	Ideias para a ferramenta.....	50
3.6.2.2	Ideias para troca de ferramenta .....	51
3.6.2.3	Ideias para o sistema de alimentação.....	54
3.6.2.4	Ideias para as Bases .....	56
3.6.2.5	Ideias para o sistema de calcamento.....	56
3.6.3	Dimensionamento .....	60
3.7	Projeto.....	64
3.7.1	Representação geral do equipamento .....	64
3.7.2	Disposição geral do equipamento .....	66

---

3.7.3	Montagem do equipamento .....	66
3.7.4	Evolução dos subconjuntos .....	68
3.7.4.1	Célula .....	68
3.7.4.1.1	Disposição geral da célula .....	69
3.7.4.1.2	Características principais da célula .....	70
3.7.4.1.3	Listagem de componentes da célula .....	72
3.7.4.1.4	Dimensionamento da célula .....	76
3.7.4.1.5	Montagem da célula .....	79
3.7.4.2	Ferramenta .....	82
3.7.4.2.1	Disposição geral da ferramenta .....	83
3.7.4.2.2	Características principais da ferramenta .....	83
3.7.4.2.3	Listagem de componentes da ferramenta .....	86
3.7.4.2.4	Montagem da ferramenta.....	86
3.7.4.3	Sistema de alimentação .....	88
3.7.4.3.1	Disposição geral do sistema de alimentação .....	89
3.7.4.3.2	Características principais do sistema de alimentação .....	90
3.7.4.3.3	Listagem de componentes do sistema de alimentação .....	92
3.7.4.3.4	Dimensionamento do sistema de alimentação.....	96
3.7.4.3.5	Montagem do sistema de alimentação.....	99
3.7.4.4	Sistema de troca de ferramenta .....	101
3.7.4.4.1	Disposição geral do sistema de troca de ferramenta.....	102
3.7.4.4.2	Características principais do sistema de troca de ferramenta .....	103
3.7.4.4.3	Listagem de componentes do sistema de troca de ferramenta .....	105
3.7.4.4.4	Dimensionamento do sistema de troca de ferramenta .....	110
3.7.4.4.5	Montagem do sistema de troca de ferramenta .....	113
3.7.4.5	Base.....	115
3.7.4.5.1	Disposição geral da Base .....	116
3.7.4.5.2	Características principais da Base .....	117
3.7.4.5.3	Listagem de componentes da Base.....	119
3.7.4.5.4	Dimensionamento da Base .....	119
3.7.4.5.5	Montagem da Base .....	122
3.7.4.6	Base A .....	124

---

3.7.4.6.1	Disposição geral da Base A.....	125
3.7.4.6.2	Características principais da Base A.....	126
3.7.4.6.3	Listagem de componentes da Base A.....	128
3.7.4.6.4	Dimensionamento da Base A.....	133
3.7.4.6.5	Montagem da Base A.....	135
3.7.4.7	Base B.....	137
3.7.4.7.1	Disposição geral da Base B.....	138
3.7.4.7.2	Características principais da Base B.....	139
3.7.4.7.3	Listagem de componentes da Base B.....	139
3.7.4.7.4	Dimensionamento da Base B.....	143
3.7.4.7.5	Montagem da Base B.....	145
3.7.4.8	Sistema de calcamento.....	147
3.7.4.8.1	Disposição geral do sistema de calcamento.....	148
3.7.4.8.2	Características principais do sistema de calcamento.....	148
3.7.4.8.3	Listagem de componentes do sistema de calcamento.....	150
3.7.4.8.4	Dimensionamento do sistema de calcamento.....	156
3.7.4.8.5	Montagem do sistema de calcamento.....	165
3.7.5	Materiais e processos de fabrico.....	167
3.7.6	Funcionamento do equipamento.....	167
3.7.6.1	Sequência geral de funcionamento.....	168
3.7.6.2	Funcionamento do sistema de alimentação.....	169
3.7.6.3	Funcionamento do sistema de troca de ferramenta.....	170
3.7.6.4	Funcionamento do sistema de calcamento.....	172
3.7.7	Sistema de comando.....	173
3.7.8	Segurança.....	181
3.7.8.1	Avisos de segurança.....	181
3.7.8.2	Paragem de emergência.....	182
3.7.8.3	Proteções associadas ao equipamento.....	182
3.7.8.4	Sinalização de segurança.....	182
3.7.9	Manual de manutenção.....	183
3.7.9.1	Manutenção preventiva.....	183
3.7.9.2	Peças de desgaste.....	184

---

3.7.10 Custos associados ao equipamento .....	185
4 CONCLUSÕES.....	189
5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	193
6 ANEXOS.....	199



# INTRODUÇÃO

- 1.1 Enquadramento
- 1.2 Objetivos
- 1.3 Metodologia
- 1.4 Estrutura da dissertação



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento

A imagem da evolução da mobilidade é, nos dias de hoje, o automóvel. A incessante procura pela comodidade que este bem proporciona faz da indústria automóvel um pilar da economia mundial. No entanto, a mesma procura leva a uma necessidade de evolução constante desta indústria, no sentido de aumentar a qualidade.

O custo e o prazo de entrega são fatores cruciais para qualquer empresa manter a competitividade e vingar no setor automóvel. A quantidade de componentes consumidos pela indústria automóvel obriga a uma otimização constante nos processos de fabrico, buscando alcançar novos projetos e vencer a concorrência, pelos meios e capacidade de produção superior.

A Engenharia assume um papel fundamental na melhoria de processos. Para absorver os aumentos de produção, os prazos apertados e o aumento de qualidade exigidos, a automação e a robótica mostram-se os principais aliados de qualquer produtor da indústria automóvel. Equipamentos automáticos são integrados nas linhas de produção com vista a minimizar os tempos de produção e, conseqüentemente, os custos de produção.

O presente trabalho surge exatamente nessa sequência, em busca da automatização de um processo de montagem de componentes em peças de plástico, visando a alocação dos operários responsáveis por essa função a outros projetos, e assim, minimizar custos, conseguindo ainda minimizar o aparecimento de peças não conformes.

## 1.2 Objetivos

A necessidade de automatização de operações na linha de produção de um fabricante de componentes para a indústria automóvel levou à realização do presente trabalho, cujo objetivo principal é a conceção de um equipamento capaz de efetuar a montagem de *clips* metálicos em duas peças, de plástico, de referência diferente, realizando-se esta operação de forma completamente automática.

Em resposta ao desafio apresentado e ao objetivo principal, foram traçados como objetivos:

- Desenvolver um equipamento capaz de trabalhar de forma autónoma, com recurso a um robô de seis eixos, com um tipo de componentes e duas referências de peça;
- Implementar um sistema de alimentação de componentes, sendo estes depositados de forma aleatória no equipamento;
- Criar uma ferramenta auxiliar para o robô, capaz de transportar os componentes necessários para um ciclo de trabalho;
- Desenvolver um sistema de carregamento e troca de ferramenta, com vista a rentabilizar o tempo de ciclo do equipamento;
- Criar sistemas de posicionamento das peças com vista à fixação das mesmas durante a montagem dos componentes;
- Aplicar um sistema de deteção de componentes.

Com a implementação do equipamento nas linhas de produção o cliente tem por objetivos:

- Realocar os operadores que fazem esta montagem em outras operações;
- Reduzir o tempo de ciclo da operação;
- Aumentar a capacidade de produção;
- Reduzir os custos de produção.

### 1.3 Metodologia

Com a finalidade de conseguir alcançar os objetivos antes mencionados, foi estabelecido um método assente nas etapas a seguir apresentadas, na Tabela 1.

Tabela 1 - Metodologia de trabalho utilizada

<b>1</b>	Análise aos sistemas previamente existentes para funções similares;
<b>2</b>	Divisão do equipamento em subconjuntos principais, permitindo posterior trabalho por partes;
<b>3</b>	Abordagem às diferentes alternativas para projeto dos diferentes subconjuntos principais;
<b>4</b>	Discussão de ideias com o cliente, avaliação das melhores soluções a aplicar no equipamento;
<b>5</b>	Elaboração do projeto dos diferentes subconjuntos, desenho 3D e 2D;
<b>6</b>	Validação do projeto com o cliente e posterior correção de alguns pontos relevantes para o cliente;
<b>7</b>	Acompanhamento da produção do equipamento (maquinagem, montagem, eletrificação, programação, afinação e ensaios gerais);
<b>8</b>	Validação final do equipamento pelo cliente;
<b>9</b>	Transferência e acompanhamento do arranque do equipamento na linha de produção;
<b>10</b>	Realização da dissertação.

## 1.4 Estrutura da dissertação

Quatro capítulos principais definem a estrutura da presente dissertação, sendo estes apresentados seguidamente.

Em primeira instância, no primeiro capítulo, é realizado um enquadramento geral do trabalho desenvolvido, apresentando ao leitor as motivações para o desenvolvimento deste, objetivos e qual foi a metodologia adotada para a sua realização.

O segundo capítulo apresenta uma resenha teórica sobre os temas diretamente relacionados com a presente dissertação, intitula-se assim de Revisão Bibliográfica.

Seguidamente, após a abordagem teórica, no terceiro capítulo, no Desenvolvimento é apresentada a evolução do trabalho, expondo o raciocínio lógico nele envolvido, as ideias, aproveitadas e descartadas, que levaram ao resultado final, apresentado também neste capítulo, recorrendo ao grau de pormenor necessário para o entendimento do projeto por parte do leitor.

Numa fase final, no quarto capítulo, são apresentadas as conclusões relativamente aos resultados do projeto elaborado e também algumas propostas de trabalhos futuros.



# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- 2.1 Indústria automóvel
- 2.2 Pilares da indústria automóvel
- 2.3 Indústria de componentes para automóveis
- 2.4 Componentes para automóveis
- 2.5 Assemblagem de componentes
- 2.6 Automação na indústria
- 2.7 Robótica na indústria
- 2.8 Sistemas de controlo na automação
- 2.9 Equipamentos na indústria automóvel



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Indústria automóvel

A mobilidade de pessoas e mercadorias é algo fundamental no quotidiano da sociedade atual, com isto, o automóvel assume uma elevada importância para a sociedade em geral. Na Tabela 2 encontram-se os valores de vendas de automóveis a nível mundial, valores esses que demonstram a referida importância do automóvel.

Tabela 2 - Venda de veículos a nível mundial [1]

Tipo de Veículo	Vendas em 2017	Vendas em 2018
Veículo de Passageiros	70 849 466	68 690 468
Veículo Comercial	25 954 924	26 365 470
TOTAL	96 804 390	95 055 938

Segundo os dados mais recentes da Organização Internacional de Construtores Automóveis (OICA), no que diz respeito a vendas de automóveis, as vendas referentes a 2017 compreendem um total de 96 804 390 unidades (veículos de passageiros juntamente com veículos comerciais), valor que comparativamente a 2016 (93 905 634 unidades) representa um aumento de cerca de 3% no total de vendas.

Para acompanhar os valores de vendas, a indústria automóvel cresceu ao longo do tempo, tendo este crescimento sido iniciado na segunda metade do século XIX, aquando do desenvolvimento dos motores, e, conseqüentemente, o aparecimento dos primeiros veículos motorizados. Nesta fase, a necessidade de produção em massa de tais veículos inovadores fez nascer as primeiras linhas de produção nos Estados Unidos da América, facilitando e diminuindo os custos de produção [2].

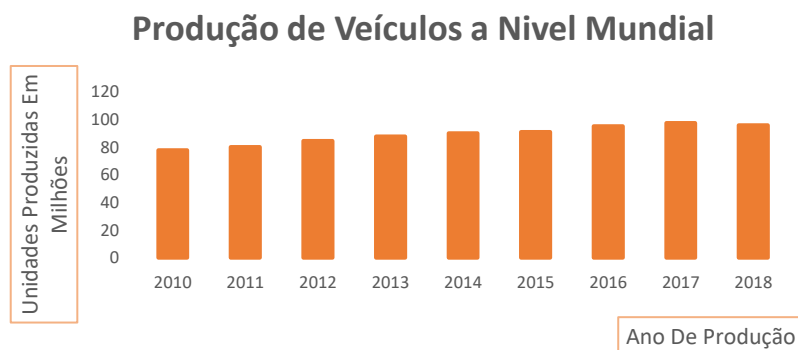


Figura 1 - Produção de veículos a nível mundial [1]

Ao longo dos últimos anos, o crescimento da indústria automóvel é notável, estando esse crescimento expresso no número de veículos produzidos, anualmente, a nível mundial, valores esses que são apresentados na Figura 1, desde 2010 a 2018.

## 2.2 Pilares da indústria automóvel

Nos anos 80 e 90, com os projetos Renault e Autoeuropa, nasceram as primeiras unidades de dimensão europeia, atraindo investimentos que permitiram aos fabricantes portugueses ganhar escala. Este crescimento deixa evidente o elevado grau de exigência desta indústria, que obriga as empresas a recorrer a processos tecnológicos sofisticados, a manter uma dinâmica de contínuo desenvolvimento e inovação de produtos/tecnologias/processos, e a seguir conceitos de qualidade total [3].

Neste sentido, os fabricantes, de veículos e de componentes, possuem a necessidade de estabelecer um compromisso entre a qualidade, a variedade e o custo que apresentam os seus produtos. Assim, afirma-se que a indústria automóvel possui três pilares principais: a competitividade, a qualidade e o prazo de entrega dos seus produtos.

### 2.2.1 Competitividade

A relação qualidade/preço, na indústria automóvel, é a grande exigência exercida pelos consumidores sobre os fabricantes, o que proporciona uma evolução constante. Com o processo de evolução, a indústria automóvel procura alcançar elevados patamares no que se refere à tecnologia e, por outro lado, conseguir garantir preços competitivos. Assim, o que torna um fornecedor mais ou menos competitivo é a capacidade de adotar estratégias de produção adequadas, que permitam manter equilibrado o rácio qualidade/preço [4].

Na Tabela 3 apresentam-se as principais forças competitivas de um negócio segundo Porter [5], que podem ser facilmente associadas à indústria automóvel.

Tabela 3 - Forças competitivas de um negócio, (Adaptado de [5])

<b>Novos concorrentes</b>	Novas empresas podem surgir no mercado e, para vingar no mercado, podem surgir com novas opções e custos mais reduzidos, diminuindo a cota dos demais concorrentes.
<b>Fornecedores</b>	Possuem grande influência na relação qualidades/preços finais, devido ao seu poder de negociação, podem ameaçar a diminuição de qualidade ou a atualização de preços.
<b>Compradores</b>	As exigências destes possuem importância máxima, pois pretendem sempre a obtenção de maior qualidade ao menor preço.
<b>Produtos substitutos</b>	Produtos semelhantes, criados por outras empresas, entram facilmente no mercado, colocando em risco a posição dos existentes.

### 2.2.2 Qualidade

“A totalidade de características de um produto que lhe conferem aptidão para satisfazer necessidades implícitas ou explícitas”, assim é definida qualidade segundo as normas *International Organization for Standardization* (ISO).

O parâmetro qualidade faz-se sentir cada vez mais na indústria automóvel, uma vez que o grau de exigência se apresenta cada vez maior. No sentido de satisfazer os níveis de qualidade exigidos, este parâmetro é uma prioridade nas empresas, levando a que praticamente todas as empresas se encontrem certificadas, garantindo assim elevada qualidade nos produtos produzidos e nos serviços fornecidos. Além das certificações, observa-se ainda um esforço e investimento na melhoria de produtos e processos, recorrendo a atividades internas de engenharia.

A certificação de uma empresa apresenta assim, atualmente, elevada relevância no mercado, transmitindo aos consumidores uma garantia de qualidade do produto ou serviço fornecido.

A norma ISO/TS 16949:2016 [6] apresenta-se como um referencial na indústria automóvel, e é tida como uma obrigatoriedade para inclusão de determinada empresa na lista de fornecedores regulares dos fabricantes de automóveis. A certificação de empresas com a norma ISO/TS 16949:2016 [6] remete a uma série de benefícios, sendo os principais apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Principais benefícios da Certificação ISO/TS 16949:2016 [6]

Satisfação de pré-requisitos para fornecimento de produtos/serviços
Vantagens competitivas para empresas que pretendem estabelecer relações longas com compradores ou fornecedores
Implementação sistemática, integrada e coerente de ferramentas e procedimentos orientados para as especificidades do setor automóvel

### 2.2.3 Prazo de entrega

A par da qualidade do produto ou do serviço, existem exigências, por parte do consumidor final, relativamente ao prazo de entrega, fazendo deste parâmetro um pilar importante na indústria automóvel.

Com a necessidade de reduzir o tempo de espera, por parte do consumidor, as empresas criaram técnicas e princípios de produção, como a filosofia *just-in-time* (JIT), garantindo assim que os produtos chegam ao consumidor no menor tempo possível, sem comprometer a qualidade dos mesmos. O princípio do JIT passa pela produção apenas do necessário, levando a indústria a orientar-se pelos pedidos dos consumidores. Por outro lado, é feito também o controlo dos fornecedores, garantindo que estes fornecem apenas as matérias-primas necessárias, levando assim a uma redução de tempos de entrega e custos [7].

Apesar dos esforços singulares por parte das empresas, o prazo de entrega é um parâmetro que não depende apenas da própria empresa. Para garantir a coordenação correta entre consumidores e fornecedores, foi implementado no setor automóvel o Processo de Aprovação de Peças de Produção (PAPP), sendo este um documento padrão que estabelece uma série de acordos entre fornecedores e clientes, representando uma prova de que o fornecedor apresenta capacidade de abastecer o cliente com o que este solicita dentro dos prazos estipulados [8].

### 2.3 Indústria de componentes para automóveis

O fabrico de moldes, o fabrico de componentes e o fabrico de viaturas apresentam-se como as três principais áreas de atividade da indústria automóvel em Portugal, fazendo desta uma indústria particularmente significativa, com um contributo forte no emprego e no Produto Interno Bruto (PIB) nacional.



Figura 2 - Peso da indústria de componentes para automóveis na economia nacional [9]

A partir dos dados publicados pela Associação de Fabricantes para a Indústria Automóvel (AFIA), em 2018, o setor de fabrico de componentes para automóveis é o mais significativo entre os três anteriormente mencionados. Através da análise da Figura 2 verifica-se que este setor é constituído por 235 empresas, que empregam 55 000 funcionários. Estes números geraram, em 2018, receitas de 11,3 mil milhões de euros, o que corresponde a cerca de 5% do PIB nacional.

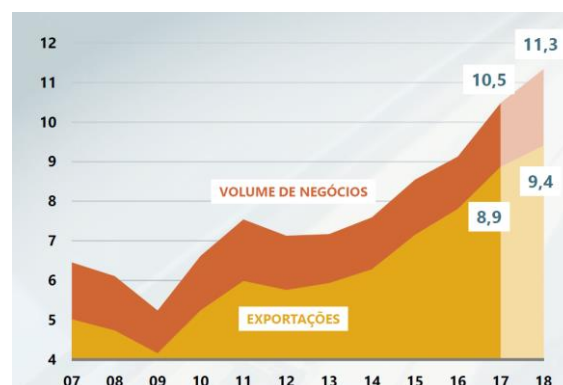


Figura 3 - Volume de negócios e exportações na indústria de componentes [9]

Os valores de 2018 indicam um crescimento da indústria face a 2017, onde o volume de negócios se ficou pelos 10,5 mil milhões de euros, como se observa na Figura 3. O gráfico apresentado indica ainda um crescimento constante de vendas nesta indústria desde o ano de 2012, que por sua vez é acompanhado pelo crescimento da exportação.

A indústria automóvel, em Portugal, possui uma história longa. De facto, as empresas do setor possuem uma tradição industrial com conceitos de gestão modernos e exigentes, transmitindo assim elevada credibilidade internacionalmente.



Figura 4 - Destino das vendas da indústria de componentes automóvel [9]

Segundo os dados apresentados na Figura 4, 92% das vendas realizadas têm como destino o mercado europeu. Dentro do mercado europeu, a Espanha é o país que mais importa a partir de Portugal, contribuindo com 21% das exportações portuguesas. Seguidamente surge a Alemanha e o Reino Unido, com 17% e 12%, respetivamente, das exportações, ficando assim, nestes três países, 50% das vendas portuguesas no mercado de componentes automóvel.

## 2.4 Componentes para automóveis

O chassis, o sistema de transmissão, o corpo (estrutura) e o interior representam os sistemas principais que constituem o automóvel. Com estes sistemas o automóvel ganha forma, movimento, estabilidade e conforto.

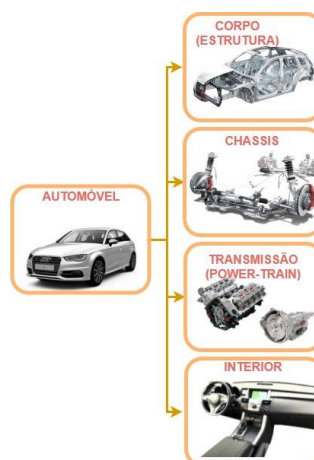


Figura 5 - Sistemas principais de um automóvel, (Adaptado de [10])

Os principais sistemas que constituem um automóvel, referidos anteriormente, e representados na Figura 5, apresentam na sua constituição outros sistemas mais pequenos, que por sua vez são formados por diversos componentes, como se pode observar na Figura 6. A quantidade de sistemas, subsistemas e componentes levam à aplicação de uma variedade de materiais, que por sua vez implicam uma variedade de processos de produção e obtenção. Com isto, o automóvel, estando em evolução ao longo de toda a sua história, revela-se um constante desafio para a indústria.



Figura 6 - Componentes do automóvel [11]

#### 2.4.1 Materiais na produção de componentes

A condição de operação é o principal critério para a seleção de material a utilizar na produção de determinado componente automóvel, seguindo-se, atualmente, do aspeto económico. No entanto, outros critérios são importantes. A proteção do meio ambiente e os requisitos de conforto e segurança exigidos pelo consumidor são exemplo de outros critérios a ter em consideração no momento da escolha dos materiais a utilizar [12].

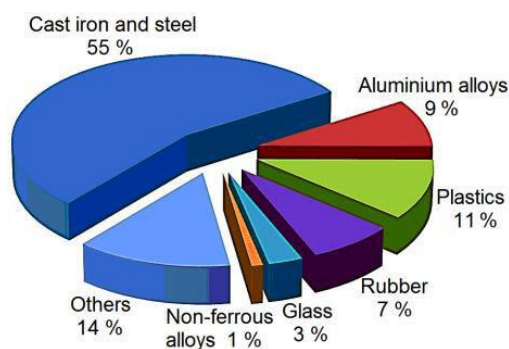


Figura 7 - Materiais utilizados na produção de componentes para automóveis [13]

Na Figura 7 observa-se a variedade de materiais utilizados na produção atual de um automóvel. Atualmente, 55% dos componentes são produzidos utilizando ferro fundido e aço. O plástico é também um material amplamente utilizado, sendo utilizado na produção de 11% dos componentes. O alumínio apresenta-se como o terceiro material mais utilizado, sendo aplicado em 9% dos componentes. Outros materiais,

como borracha, vidro, ligas não ferrosas, entre outros, são também utilizadas, sendo escolha para a produção de cerca de 25% dos componentes do automóvel [13].

A poluição ambiental é uma seria preocupação, ao longo dos últimos anos, em todo o mundo. Com o objetivo de reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>, a Europa e outros países implementaram leis e regulamentos que colocam esta questão como prioridade no momento de desenvolvimento e venda de veículos. Reduzir o peso dos veículos, através da aplicação de materiais leves, tem sido uma opção com grande potencial face a esta questão ambiental [14], como se observa na Tabela 5.

Tabela 5 - Emissões de CO<sub>2</sub> em função do material aplicado na estrutura do automóvel [14]

	Estrutura em aço	Estrutura em alumínio
<b>Peso bruto do veículo</b>	2500 kg	2075 kg
<b>Emissões de CO<sub>2</sub></b>	220 g/km	199 g/km

#### 2.4.2 Componentes de plástico

A introdução dos plásticos na indústria automóvel remete a 1950, altura em que a aplicação de termoplásticos se iniciou, sendo utilizado acrílonitrila butadieno estireno (ABS), poliamida, poliacetal, policarbonato, entre outras ligas, e misturas de polímeros. O desenvolvimento no que se refere a polímeros avançados de alto desempenho levou a características que permitiram que os plásticos ocupassem 10 a 15% da constituição de um automóvel [15].

Os plásticos, que inicialmente eram considerados materiais de substituição, possuem atualmente uma aplicação por mérito próprio. Segundo Maxwell [16], os benefícios associados à aplicação dos plásticos na indústria automóvel são os que se apresentam listados na Tabela 6.

Tabela 6 - Benefícios apontados aos plásticos na indústria automóvel, (Adaptado de [16])

<b>Economia</b>	Apesar do custo de aquisição não ser propriamente favorável, os plásticos possuem baixo custo de produção e conversão comparativamente ao alumínio.
<b>Redução de peso</b>	A aplicação de plásticos reduz o peso do carro, o que se reflete positivamente nos consumos do veículo.
<b>Potencial de estilo</b>	A aplicação de plásticos permite uma evolução no estilo de quase todos os aspetos do automóvel. Isto verifica-se por exemplo nos espelhos, nos para-choques e nos painéis exteriores.
<b>Design funcional</b>	Os plásticos geram liberdade de <i>design</i> , permitindo mudanças de forma que favorecem o aproveitamento do espaço disponível (por exemplo o tanque de combustível), e conferem ainda a possibilidade de consolidação de componentes.

<b>Novos efeitos</b>	Absorção de som, isolamento térmico e elétrico, e absorção de energia são exemplos de efeitos alcançados com a aplicação de plásticos. Grande parte dos novos efeitos surge da utilização de espumas, como poliuretano.
<b>Manutenção reduzida</b>	Plásticos com balanço favorável de rigidez e resiliência, com resistência à abrasão, temperatura, fadiga e corrosão química aumentam a fiabilidade dos automóveis, e diminuem a necessidade de manutenção.
<b>Resistência à corrosão</b>	No geral, os polímeros são resistentes a chuvas ácidas, maresia e sal da estrada, ao contrário dos metais, que apresentam danos perante tais condições. Assim diminuem os estrados por corrosão na indústria automóvel.

#### 2.4.2.1 Plásticos comuns na indústria automóvel

O automóvel, independentemente do modelo, apresenta aplicações de plástico no interior e no exterior, sendo utilizados diversos tipos de material nas mais de mil peças produzidas em plástico. Apesar de se utilizarem diversos tipos de plástico no mesmo modelo de automóvel, cerca de 66% do total de plástico utilizado é representado por três tipos principais: polipropileno (32%), poliuretano (17%) e Policloreto de vinila (PVC) (16%) [15].

Component	Main types of plastics	Weight in av. car (kg)
Bumpers	PS, ABS, PC/PBT	10,0
Seating	PUR, PP, PVC, ABS, PA	13,0
Dashboard	PP, ABS, SMA, PPE, PC	7,0
Fuel systems	HDPE, POM, PA, PP, PBT	6,0
Body (incl. panels)	PP, PPE, UP	6,0
Under-bonnet components	PA, PP, PBT	9,0
Interior trim	PP, ABS, PET, POM, PVC	20,0
Electrical components	PP, PE, PBT, PA, PVC	7,0
Exterior trim	ABS, PA, PBT, POM, ASA, PP	4,0
Lighting	PC, PBT, ABS, PMMA, UP	5,0
Upholstery	PVC, PUR, PP, PE	8,0
Liquid reservoirs	PP, PE, PA	1,0
<b>Total</b>		<b>105,0</b>

Figura 8 – Tipos de plástico utilizado em determinados componentes de automóveis [15]

A Figura 8 apresenta os tipos de plástico mais comuns na produção de determinados componentes na indústria automóvel. É possível observar ainda a influência destes componentes no peso do automóvel.

#### 2.4.2.2 Processamento de plásticos

O processamento de determinado componente de plástico pode ser feito recorrendo a diversos processos, no entanto, a escolha do processo deve ter em consideração determinadas restrições em termos de tamanho, forma, custo e aparência final pretendida.

Tabela 7 - Processos na obtenção de componentes de plástico, (Adaptado de [16])

Matéria-prima	Termoplásticos	Termoendurecíveis
Monómeros e resina líquida	Fundição	Reaction Injection Molding (RIM*); Reinforced Reaction Injection Molding (R-RIM*); Structural Reaction Injection Molding (S-RIM*); Resin Transfer Molding (RTM*); Enrolamento Filamentar; Pulverização de fibra
Pó e pasta	Revestimento por Imersão; Moldagem por lama*; Sinterização; Moldagem Rotacional*; Calandragem	Moldagem por compressão
Grânulos	Moldagem por Injeção*; Extrusão*; Moldagem por sopro*	Moldagem por Injeção*
Folha	Formação por vácuo*; Formação por pressão*; estampagem GTM*	Estampagem de Sheet Moulding Compound (SMC*); Formação de pré-impregnados

\* Particularmente relevante na indústria automóvel.

Na Tabela 7 listam-se os processos para obtenção de componentes de plástico considerando o tipo de plástico (termoplástico ou termoendurecível) e o estado de fornecimento da matéria-prima.

#### 2.4.2.3 Aplicações de plástico no automóvel

A variedade de plásticos e seus derivados aplicados na indústria automóvel conduz à aplicação de uma ampla gama de componentes produzidos neste tipo de material. Os componentes de plástico aplicados num automóvel podem ser categorizados em três seguimentos: exterior, interior e debaixo do capô [17].

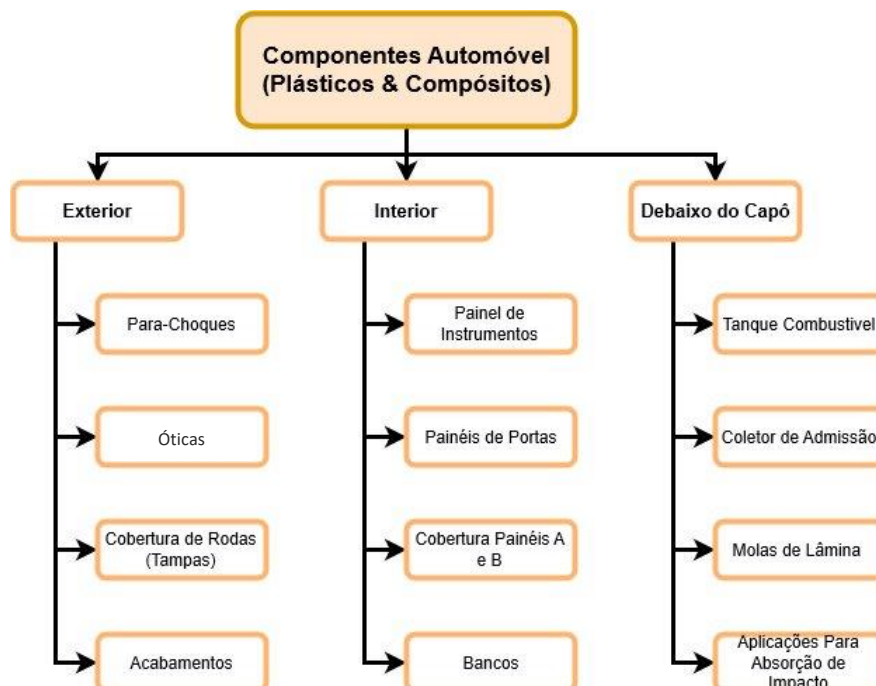


Figura 9 - Distribuição de componentes de plástico no automóvel, (Adaptado de [17])

Para-choques, painéis interiores (para portas e pilares) e tanques de combustível são exemplos de aplicação de plásticos na indústria de componentes para automóveis. Na Figura 9 encontram-se estes e outros exemplos de aplicação, distribuídos de acordo com a categorização mencionada anteriormente.

## 2.5 Assemblagem de componentes

O processo de produção de determinado produto passa, geralmente, pelo processo de montagem. Este aplica-se quando existe necessidade de juntar dois ou mais componentes. A evolução dos processos de montagem está diretamente ligada à necessidade de produção em massa. Assim, os pioneiros da produção em massa são também os pioneiros na aplicação de técnicas de montagem modernas, técnicas estas que introduziram melhorias significativas nos volumes de produção [18].

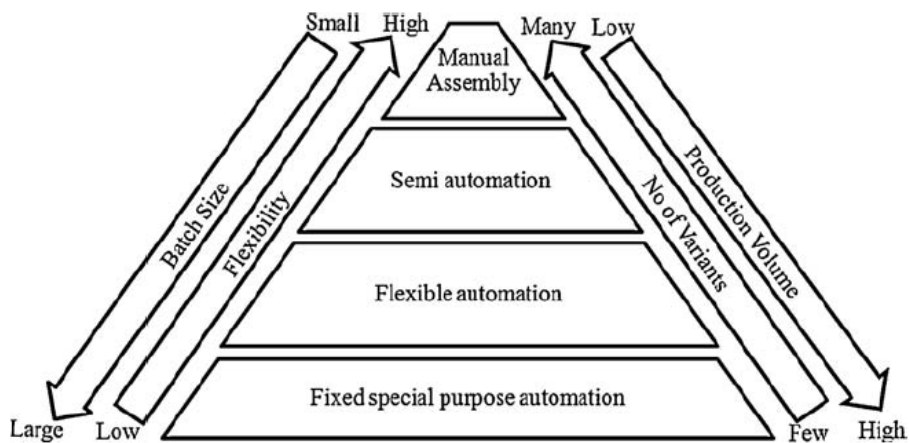


Figura 10 - Características de desempenho de sistemas de montagem [19]

De forma geral, na indústria, o processo de montagem pode ser abordado de quatro formas diferentes [19]:

- Montagem manual;
- Montagem semiautomática;
- Montagem flexível (automação flexível);
- Montagem fixa (automação fixa).

Os princípios de montagem mencionados e os níveis de desempenho dos sistemas de montagem estão representados na Figura 10. Na mesma figura é possível observar o desempenho dos diferentes tipos de montagem no que se refere ao volume de produção alcançado, número de variantes que podem ser absorvidas e ainda tamanho e flexibilidade dos lotes produzidos.

O método de montagem a aplicar na produção de determinado produto deve ter em consideração diversos fatores, que devem ser analisados antes do início de produção.

Os principais aspetos relevantes para a adaptação de determinado produto a um tipo de montagem são:

- *Design* do produto;
- Taxa de produção;
- Disponibilidade de mão-de-obra;
- Tempo de permanência do produto no mercado.

Os pontos referidos permitem avaliar a viabilidade de automação de um processo de montagem [18].

## 2.6 Automação na indústria

A utilização de equipamentos ou dispositivos especializados para executar ou controlar determinada tarefa ou processo, com o objetivo de eliminar ou reduzir a intervenção humana, representa a automação dessa mesma tarefa ou processo [20].

A automação está atualmente presente em diversas áreas da indústria, sendo a indústria automóvel o setor que mais tem impulsionado o desenvolvimento de sistemas de automatização, com o objetivo de aumentar a sua produtividade e flexibilidade. Estas são as principais exigências que surgem com a quantidade de componentes que constituem um veículo e a crescente variedade de modelos de veículos.

Segundo Groover [21], existe um conjunto de fatores que levam as empresas a apostar na automatização dos seus processos. Na Tabela 8 são listados esses mesmos fatores.

Tabela 8 - Fatores que impulsionam o processo de automatização na indústria, (Adaptado de [21])

<b>Aumento da produtividade</b>	Automatizar um processo impulsiona, geralmente, um aumento da taxa de produção, o que leva a um maior output de produtos por unidade de tempo, quando comparado com um processo com a mesma função, mas não automatizado.
<b>Redução dos custos de produção</b>	O investimento em automatização é justificado economicamente para substituir operações manuais. As máquinas introduzidas em diversos processos têm vindo a substituir a mão-de-obra, reduzindo consideravelmente o custo de produção.
<b>Aumento da qualidade do produto</b>	Além do aumento de produtividade e da redução de custos, a automatização aumenta a repetibilidade, a conformidade e a qualidade.
<b>Redução do prazo de entrega</b>	A redução dos prazos de entrega é uma vantagem da automatização, já que permite uma eliminação quase por completo do tempo desperdiçado desde o pedido do cliente até à expedição do produto. Este é um aspeto fulcral na competitividade entre fornecedores.

<b>Execução de tarefas que não podem ser executadas manualmente</b>	Determinadas operações não podem ser realizadas sem recorrer a máquinas. Exemplo disto são operações com elevado requisito de precisão ou trabalhos com componentes demasiado pequenos ou com geometria complexa cujo manuseamento é impossível manualmente.
<b>Evitar custos de não automatização</b>	Os benefícios provenientes da automatização provocam melhoria indireta em várias áreas de uma empresa. Por exemplo, quando a qualidade do produto aumenta, o nível de vendas tende a subir. Consequentemente, a empresa melhora a imagem que passa aos seus clientes.
<b>Redução ou eliminação de operações manuais</b>	A implementação de sistemas automatizados permite a eliminação de tarefas repetitivas, monótonas e cansativas, melhorando assim as condições de trabalho.

Aos fatores mencionados existe ainda um conjunto amplo de fatores adicionais que podem ser tomados em consideração. A automatização de operações pode ser vista como uma oportunidade para determinado operador. Este fator por vezes leva a uma ideia errada, já que substituir as funções de um operador por uma máquina não torna esse mesmo operador dispensável. Na realidade, a automação permite uma passagem do operador para uma função de monitorização e controlo de linha, deixando de realizar trabalhos monótonos, repetitivos e cansativos.

### 2.6.1 Tipos de automação

Existe na automação uma divisão em três categorias principais, a automação fixa, a flexível e a programável, divisão esta que tem como principal critério a relação entre a quantidade e a variedade de produtos.

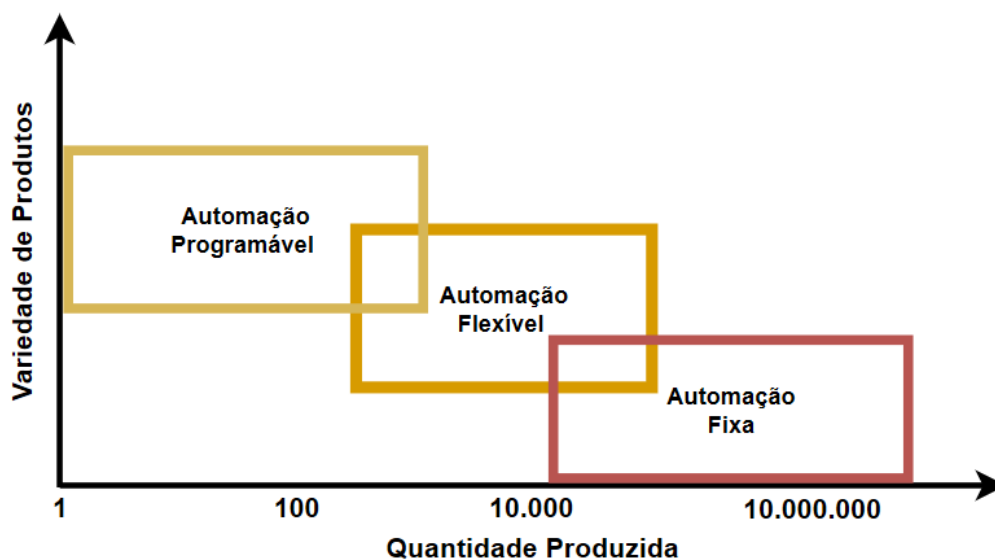


Figura 11 - Tipos de automação em função da variedade e quantidade de produtos [21]

Na Figura 11 ilustra-se a relação antes mencionada. A automação fixa enquadra-se com produções elevadas, onde a variedade é reduzida, por outro lado, quando a produção esta orientada para grande variedade e baixa quantidade, a automação programável apresenta-se mais adequada. Numa situação intermédia, com um equilíbrio entre a variedade e o número de peças produzidas, a automação flexível é a mais adequada.

- **Automação fixa**

A automação fixa destina-se a produções em massa de um tipo de produto, não apresentando grande flexibilidade na alteração desse produto. Neste tipo de sistema a sequência de operações de produção é linear e fixa, limitada à configuração do equipamento. As principais características da automação fixa passam pelas taxas de produção elevadas, a baixa flexibilidade no que se refere a variedade de produtos e elevado investimento inicial. Este tipo de automação encontra-se geralmente em linhas de manipulação ou em máquinas automáticas de montagem, como se observa na Figura 12.



Figura 12 - Automação fixa [22]

- **Automação programável**

Aplicações com automação programável permitem alterar a sequência de operações e, assim, operar com diferentes produtos. Neste tipo de sistema, a sequência de operações é controlada por um programa que pode ser alterado ou substituído de forma a adaptar o equipamento a novos produtos. Este tipo de programação implica elevados investimentos e apresenta volumes de produção inferiores aos obtidos com automação fixa. Por outro lado, existe flexibilidade para absorver alterações na configuração do produto, pelo que constitui como um sistema adequado para produção de lotes. Robôs industriais, como se observa na Figura 13, são um exemplo de aplicação comum.



Figura 13 - Automação programável [23]

- **Automação flexível**

A automação flexível completa a automação programável, pois permite a execução de vários tipos de alteração sem perdas de tempo substanciais, permitindo assim efetuar combinações de vários produtos simultaneamente. Este tipo de automação é possível quando existem diferenças pouco significativas nas partes a produzir resultando em alterações mínimas. É necessário um investimento inicial elevado e o volume de produção alcançado é mediano, mas este tipo de automação permite uma produção contínua de produtos diferentes e apresenta flexibilidade para trabalhar com variações no produto. Aplicações deste tipo de automação são os sistemas de produção flexível destinados à execução de algumas operações de maquinagem, como se observa na Figura 14.



Figura 14 - Automação flexível [22]

## 2.7 Robótica na indústria

A utilização de robôs é cada vez mais comum nas mais diversas aplicações. Existem várias formas de definir um robô, mas, segundo a norma ISO 8373, um robô é um manipulador, controlado em posição, reprogramável e multifuncional, que possui um ou vários graus de liberdade, sendo capaz de manipular objetos recorrendo a movimentos programados com a finalidade de desempenhar diversas funções [24].

A configuração geral dos robôs industriais inclui o manipulador (robô), um controlador e ainda uma interface com o utilizador (consola de programação), como se pode observar na Figura 15.

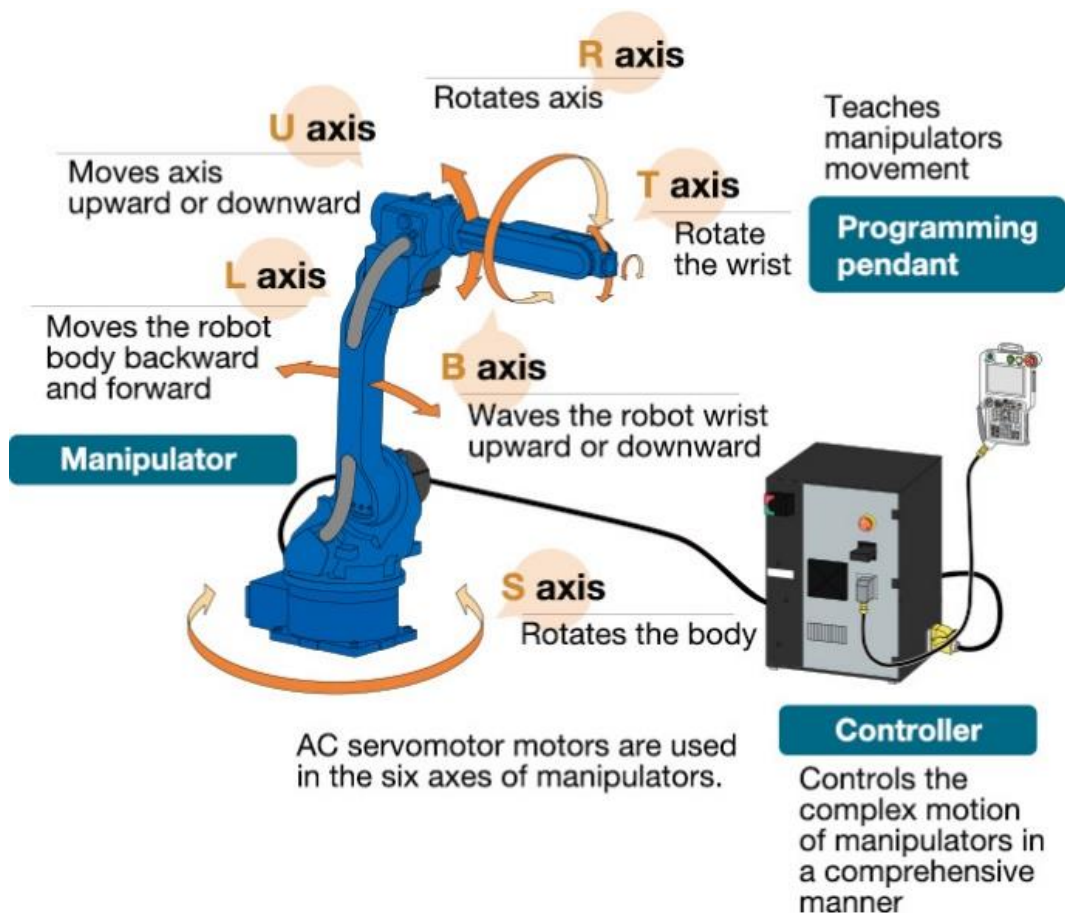


Figura 15 - Configuração geral de um robô industrial [25]

Atualmente, os robôs industriais possuem um papel fundamental nas linhas de produção da indústria automóvel. A aplicação de robôs nesta indústria tem sido uma forte aposta ao longo dos últimos anos, uma vez que a robotização permite a montagem de diferentes veículos na mesma linha de montagem, o que possibilita uma redução de custos de produção em pequenas e médias produções, quando comparada com a utilização de linhas de montagem com recurso a automação dedicada ou de mão-de-obra humana, como se observa na Figura 16 [26].

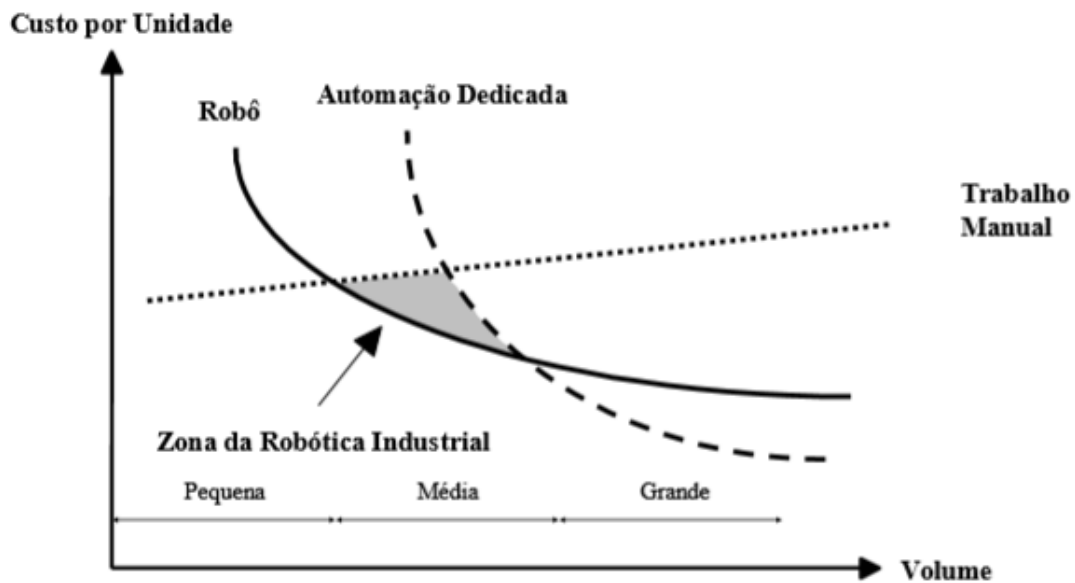


Figura 16 - Relação quantidade/custo aplicando diferentes tipos de produção [26]

Tal como na automação, existe uma série de fatores que influencia a aplicação de robôs na indústria. Os principais fatores apresentam-se na Tabela 9 [27].

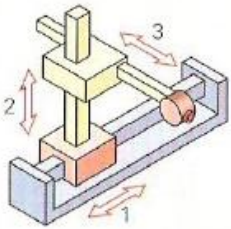
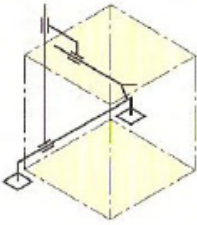
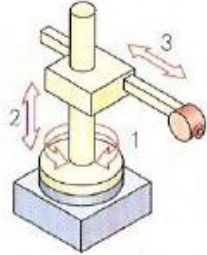
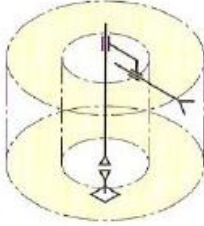
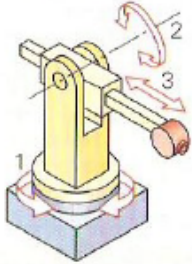
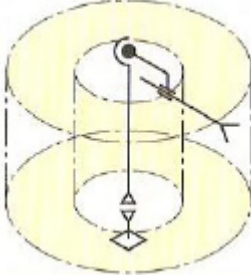
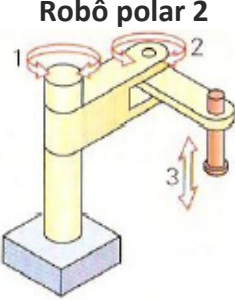
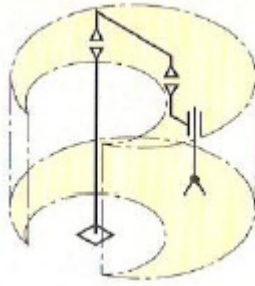
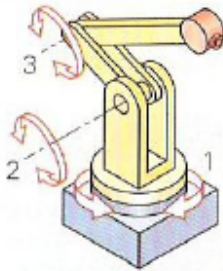
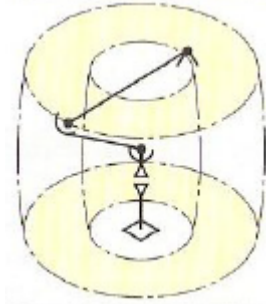
Tabela 9 - Fatores que impulsionam a aplicação de robôs, (Adaptado de [27])

<b>Trabalhos em ambientes perigosos</b>	Em processos de fundição, pintura e soldadura, por exemplo, o trabalho é muitas vezes perigoso e desconfortável, justificando-se o investimento em robôs.
<b>Ciclos de trabalho repetitivos</b>	Os robôs são consistentes e com elevada taxa de repetibilidade nos seus movimentos, o que os torna adequados para processos com ciclos repetitivos.
<b>Dificuldades de manipulação</b>	Determinados trabalhos exigem manuseamento de objetos pesados ou com geometrias complexas. A aplicação de um robô apresenta-se assim como uma alternativa à mão humana.
<b>Operações contínuas</b>	A utilização de robôs permite produzir de forma contínua sem paragens, podendo alcançar-se produções de 24 horas diárias.

### 2.7.1 Tipos e características de robôs

Existe no mercado uma variedade de robôs, que variam entre si determinadas características, desde a velocidade, a precisão, a dimensão e a geometria [28]. A seguir, na Tabela 10, é feita uma pequena abordagem aos tipos de robôs industriais, em função da sua estrutura, e são apresentadas algumas das suas características principais.

Tabela 10 - Tipos de robô industrial, (Adaptado de [28])

Estrutura mecânica	Área de trabalho	Observações
<p><b>Robô cartesiano</b></p> 		<p><b>Eixos Principais:</b> 3 eixos principais de traslação;</p> <p><b>Áreas de aplicação:</b> locais de trabalho amplos; suprimento de células de fabricação; sistemas de corte laser.</p>
<p><b>Robô cilíndrico</b></p> 		<p><b>Eixos Principais:</b> 1 eixo de rotação e 2 de traslação;</p> <p><b>Áreas de aplicação:</b> trabalho com componentes pesados; indústria de fundição e forja; transporte de paletes; funções de carga e descarga.</p>
<p><b>Robô polar 1</b></p> 		<p><b>Eixos Principais:</b> 2 eixos de rotação e 1 de traslação;</p> <p><b>Áreas de aplicação:</b> soldadura por ponto ou costura simples; cargas e descargas na indústria de fundição.</p>
<p><b>Robô polar 2</b></p> 		<p><b>Eixos Principais:</b> 2 eixos de rotação criando um articulado giratório horizontal e 1 de traslação;</p> <p><b>Áreas de aplicação:</b> funções de montagem vertical; soldadura por ponto ou costura simples; carga e descarga.</p>
<p><b>Robô articulado</b></p> 		<p><b>Eixos Principais:</b> 3 eixos de rotação, ou mais;</p> <p><b>Áreas de aplicação:</b> manuseamento de componentes em processos de 4 montagem; processos de soldadura complexos; trabalhos de pintura.</p>

## 2.8 Sistemas de controlo na automação

Nos dias de hoje, os equipamentos automáticos da indústria, desde a indústria química à automóvel, precisam de controlo eletrónico ou computacional para desempenharem a sua função de forma adequada. Assim, para a criação de sistemas complexos de produção não é suficiente o recurso a uma única área de engenharia. É assim imperativa a interação entre as áreas de mecânica, eletrónica e informática [29].

Num sistema automatizado, o elemento de controlo é responsável pela execução de um programa de instruções. Com o objetivo de realizar uma operação de fabrico, o sistema de controlo faz com que o processo cumpra a sua função [21]. Os sistemas de controlo num sistema automatizado podem ser de dois tipos: circuito fechado (Figura 17) ou circuito aberto (Figura 18).

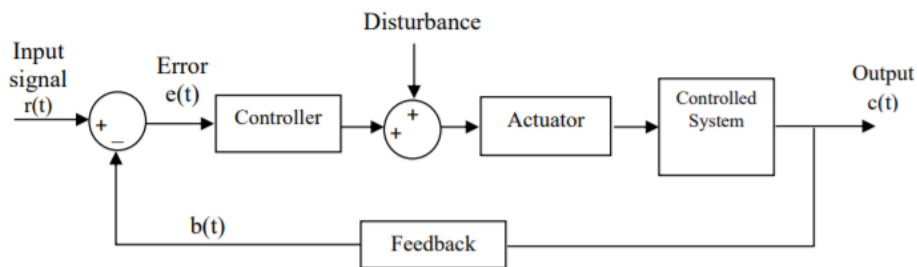


Figura 17 - Sistema de controlo circuito fechado [30]

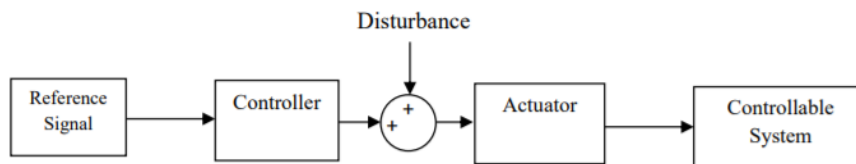


Figura 18 - Sistema de controlo circuito aberto [30]

Num equipamento automatizado, o processo é, geralmente, uma operação de fabrico, e a variável de saída (*output variable*) é alguma variável do processo (temperatura, força ou outra). O sensor é usado para fazer a ligação entre a variável de saída e o controlador. O controlador faz a ligação entre o sinal do sensor e a ação física, desempenhada pelo atuador ou conjunto de atuadores. Estes podem ser por exemplo motores elétricos ou cilindros pneumáticos.

### 2.8.1 Controladores

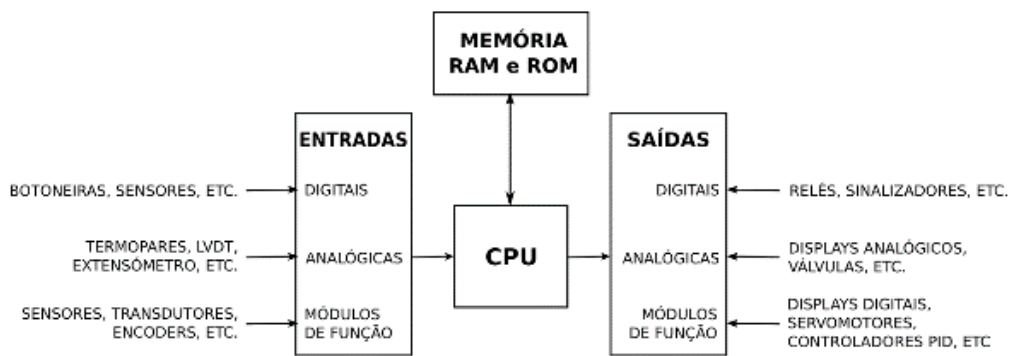
A implementação de sistemas de controlo é obtida recorrendo à aplicação de dispositivos como microcontroladores, Controladores Lógicos Programáveis (CLP's) e microprocessadores.

No geral, um sistema CLP possui uma fonte de alimentação, um dispositivo de programação, uma interface de comunicação, e uma secção de entradas e saídas [31],

sendo estas usadas para comunicação com os dispositivos periféricos do sistema, como por exemplo sensores (entradas) e atuadores (saídas).



Figura 19 - CLP CP1H da OMRON [32]



- Diagrama de blocos de um autômato

Figura 20 - Estrutura de um CLP [33]

Na Figura 19 apresenta-se uma representação de um CLP e, seguidamente, na Figura 20 é ilustrada a estrutura de funcionamento básica deste. No centro da estrutura encontra-se o CPU, e este possui uma memória RAM para armazenar a informação, temporária, vinda das entradas e saídas.

### 2.8.2 Sensores

Os sensores são parte integrante dos sistemas de controlo em processos automatizados. Estes dispositivos têm a capacidade de converter um fenómeno físico num sinal elétrico. Deste modo, os sensores são a interface entre o mundo físico e o mundo dos dispositivos elétricos. Por sua vez, os atuadores convertem os sinais elétricos em fenómenos físicos [34]. O sensor tem a capacidade de receber uma grandeza física (temperatura, por exemplo) e convertê-la num sinal elétrico, para que este dado possa ser lido por um componente eletrónico.

Existe no mercado uma vasta gama de sensores que são usados nos sistemas automáticos da indústria. Algumas desses sensores são apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11 - Tipos de sensor de aplicação comum

Tipo de Sensor	Descrição	Ilustração
<b>Sensor de proximidade</b>	<p>Dividem-se em duas categorias principais: indutivos e capacitivos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Indutivos: baseiam-se na variação da indutância; só são acionados por metais ferrosos;</li> <li>• Capacitivos: baseiam-se na variação da capacitância; são acionados por qualquer material.</li> </ul>	
<b>Sensor linear ótico</b>	<p>Baseia-se na aplicação de emissores e recetores de luz na parte móvel de uma régua graduada, que por sua vez permite a passagem ou reflexão de apenas alguns feixes de luz emitidos. Estes são detetados pelos recetores e indicam a posição da parte móvel em relação à fixa.</p>	
<b>Sensor magnético</b>	<p>Este tipo de sensor faz o acionamento eletrónico perante presença de um campo magnético externo, próximo ou dentro da zona sensível do sensor. Podem ser utilizados com sensibilidade aos dois polos do íman ou apenas um.</p>	
<b>Sensor rotativo ótico (encoder)</b>	<p>Possuem funcionamento semelhante ao dos sensores lineares óticos, mas a régua móvel é substituída por um disco.</p>	
<b>Encoder incremental</b>	<p>Fornece informações sobre o movimento e a direção de rotação de um motor. Geram um determinado número de impulsos, e cada impulso representa a medida da distância movida (angular ou linear).</p>	
<b>Encoder absoluto</b>	<p>Permitem informações mais rigorosas que os incrementais, uma vez que possuem a capacidade de determinar a posição física de um determinado elemento, sem a necessidade de fixar a posição inicial, isto porque o <i>encoder</i> transmite ao controlador um sinal diferente em cada posição.</p>	

### 2.8.3 Atuadores

Os sistemas de acionamento, designados por atuadores, são dispositivos com capacidade de converter um sinal, com origem num controlador, num parâmetro físico. Um atuador é considerado um transdutor, uma vez que realiza a transformação

de um sinal físico noutra sinal físico completamente diferente. Um exemplo prático é a transformação da corrente elétrica em velocidade de rotação num motor elétrico.

Na Tabela 12 apresenta-se a classificação dos atuadores que, segundo Groover [21], podem ser divididos em três categorias.

Tabela 12 - Classificação dos atuadores, (Adaptado de [21])

<b>Atuadores elétricos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>São os mais comuns entre as três categorias de atuadores;</li> <li>Apresentam grande variedade de dispositivos (motores AC, motores DC, entre outros).</li> </ul>
<b>Atuadores hidráulicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operam com fluido hidráulico;</li> <li>Possuem elevada capacidade de carga, o que leva a aplicações em funções que exigem grandes forças.</li> </ul>
<b>Atuadores pneumáticos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operam com ar comprimido;</li> <li>Capacidade de carga consideravelmente reduzida quando comparados aos atuadores hidráulicos, tornando-se menos eficazes em aplicações que exijam forças elevadas.</li> </ul>

O tipo de atuador aplicado, para desempenhar determinada operação, depende essencialmente dos requisitos dessa função, requisitos de força, segurança e precisão por exemplo.

- **Atuadores elétricos**

Das categorias de atuador anteriormente apresentadas (Tabela 12), os atuadores elétricos são os mais utilizados, em parte pelo facto de apresentarem grande variedade de dispositivos, como por exemplo motores *Alternate Current* (AC), motores *Direct Current* (DC), “*steppers*” e solenoides, o que lhes confere grande versatilidade no momento de aplicação. O funcionamento deste tipo de atuador consiste na aplicação de campos magnéticos em determinado núcleo ferroso, gerando movimento [35]. A sua aplicação deve levar em consideração os pontos apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Vantagens e desvantagens dos atuadores elétricos, (Adaptado de [35])

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Fácil mobilidade, através de baterias para fornecimento de energia;</li> <li>Instalação simples, sem componentes e acessórios complexos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Produção de torques reduzidos em comparação com o seu tamanho e peso.</li> </ul>

- **Atuadores hidráulicos**

Os atuadores hidráulicos funcionam com mudanças de pressão de determinado fluido hidráulico. Este tipo de atuadores possui capacidade de desempenhar funções lineares

e rotativas. O mecanismo linear, que pode ser de simples ou duplo efeito, consiste numa haste, ligada a um pistão envolto dentro de uma câmara. A haste é o elemento responsável pela transmissão de energia entre o pistão e o exterior. Para o mecanismo de ação rotativa, a unidade de potência é um conjunto de palhetas ligadas a um eixo. Nesta configuração o atuador entra em rotação pela pressão diferencial que atua dos dois lados das palhetas. Este tipo de atuador possui uma série de vantagens, que levam à sua utilização num grande número de aplicações. Por outro lado, possui também algumas desvantagens que devem ser conhecidas e consideradas, estando estas resumidas na Tabela 14 [35].

Tabela 14 - Vantagens e desvantagens dos atuadores hidráulicos, (Adaptado de [35])

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevada capacidade de carga;</li> <li>• Fluidos hidráulicos não compressíveis;</li> <li>• Resposta rápida;</li> <li>• Sistemas mecanicamente simples;</li> <li>• Baixo nível de ruído;</li> <li>• Confiáveis e seguros durante operação.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificuldade na contenção do fluido hidráulico dentro do sistema;</li> <li>• Fluido hidráulico inflamável e pressurizado;</li> <li>• Elevada sensibilidade a variações de temperatura.</li> </ul>

- **Atuadores pneumáticos**

Opção aos atuadores hidráulicos são os atuadores pneumáticos. Estes segundos são descendentes dos primeiros, apresentando por isso semelhanças na constituição e no princípio de funcionamento. A grande diferença entre ambos os tipos de atuadores é o facto de nos pneumáticos a transmissão de energia ser realizada através da utilização de um gás compressível, ao invés de um fluido hidráulico. Os atuadores pneumáticos apresentam pressões mais baixas no interior da câmara, comparativamente com os atuadores hidráulicos, o que leva a capacidades de carga bastante inferiores. Esta diferença é fundamental na escolha de um atuador, dentro destes dois tipos. Para além desta característica, existe ainda um leque de vantagens e desvantagens para os atuadores pneumáticos a considerar em função da aplicação pretendida, como se mostra na Tabela 15 [35].

Tabela 15 - Vantagens e desvantagens dos atuadores pneumáticos, (Adaptado de [35])

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pressão de trabalho reduzida, o que origina estruturas mais simples;</li> <li>• Gás utilizado é limpo e não inflamável;</li> <li>• Instalação, operação e manutenção simples e de baixo custo;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduzida capacidade de carga (comparativamente aos atuadores hidráulicos);</li> <li>• Sistemas não são auto lubrificantes, gerando forças de atrito;</li> <li>• Gás compressível, o que gera dificuldade no controlo de movimentos.</li> </ul>

## 2.9 Equipamentos na indústria automóvel

As necessidades da indústria automóvel, relacionadas com o prazo de produção, qualidade e custos, levam os produtores de automóveis e componentes à aplicação de equipamentos especiais, baseados em soluções técnicas e tecnológicas, nas suas linhas de produção [36]. Assim, surgem no mercado soluções personalizadas, adaptadas ao processo ou produto, que passam por pequenos e grandes equipamentos, com capacidade de desempenhar desde as mais simples às mais complexas funções.

Neste ponto serão abordados alguns equipamentos desenvolvidos para aplicação na indústria automóvel. Os equipamentos aqui apresentados serão agrupados em dois grandes grupos principais: equipamentos com colaboração humana e linhas de produção automáticas.

- **Equipamentos com colaboração humana**

Os equipamentos com colaboração humana podem ser manuais ou semiautomáticos. Nos sistemas manuais o operador desempenha uma operação de produção e posteriormente faz a passagem do produto para outra etapa de produção, individualmente ou em lotes. Os equipamentos semiautomáticos incluem ajuda do operador, na medida em que geralmente este faz a colocação e extração da peça do equipamento e ainda o acionamento do equipamento [37].

No que se refere a equipamentos manuais, estes são geralmente bancadas de trabalho, como se apresenta na Figura 21, onde o operador desempenha funções simples de montagem ou inspeção básica. Equipamentos de controlo ou pequena medição são outro tipo de equipamento manual usualmente utilizado na indústria, (Figura 22). Estes equipamentos são pequenos calibres mecânicos utilizados para controlo dimensional.



Figura 21 - Bancada de trabalho [38]

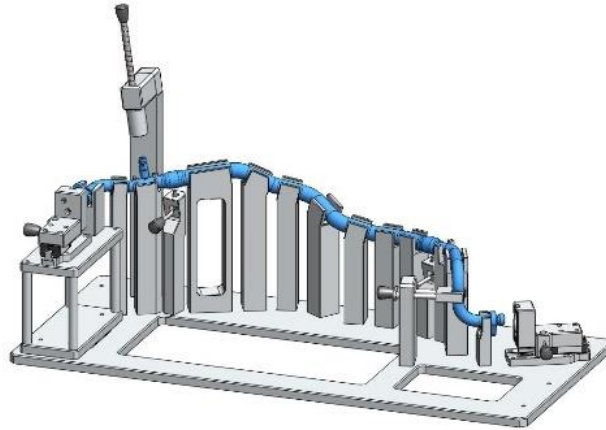


Figura 22 - Pequeno dispositivo de controlo dimensional [39]

Os equipamentos semiautomáticos são geralmente mais complexos que os manuais. Estes possuem controlo computacional associado ao seu mecanismo, desempenhando funções mais complexas ou em que é necessária uma garantia que o ser humano não pode dar. A sua utilização na indústria é comum principalmente em funções de montagem e teste. É possível encontrá-los em operações de aparafusamento (onde se pretende controlar os parâmetros principais), funções mecânicas que referem força (quinagem, corte, entre outros), sistemas de teste (elétrico e de estanquidade por exemplo), equipamentos de deteção (com recurso a detetores ou sistemas de visão artificial para verificar existência de falhas no processo), entre outros. É possível ver alguns desses equipamentos nas figuras seguintes, (Figura 23 a Figura 26).



Figura 23 - Equipamento de aparafusamento [39]

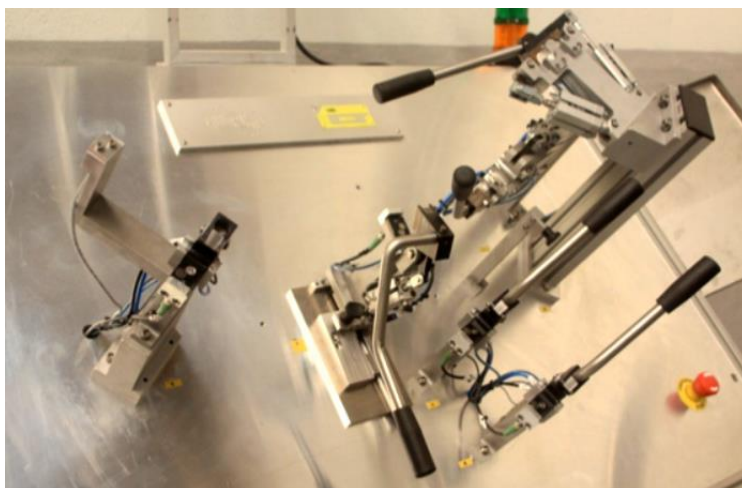


Figura 24 - Equipamento de fecho de bridas em tubos de ar condicionado [36]



Figura 25 - Módulo de teste elétrico [39]



Figura 26 - Equipamento de deteção com visão artificial [39]

- **Linhas de produção automáticas**

Os sistemas semiautomáticos são, na maioria dos casos, facilmente automatizados, e quando ligados entre si, por ordem lógica de operação dão origem a linhas de produção automáticas.

As linhas de produção possuem grande importância na indústria, e são geralmente utilizadas quando se pretende produzir grandes quantidades de produtos idênticos ou similares [40]. Nestes sistemas todas as etapas são realizadas de forma automática nos postos de operação, e as peças são movidas também de forma automática para a operação seguinte, não sendo assim necessária a intervenção humana.

Este tipo de sistema está comumente associado a operações de soldadura (Figura 27), embalagem na indústria automóvel (Figura 28) e prensagem, pintura (Figura 29).

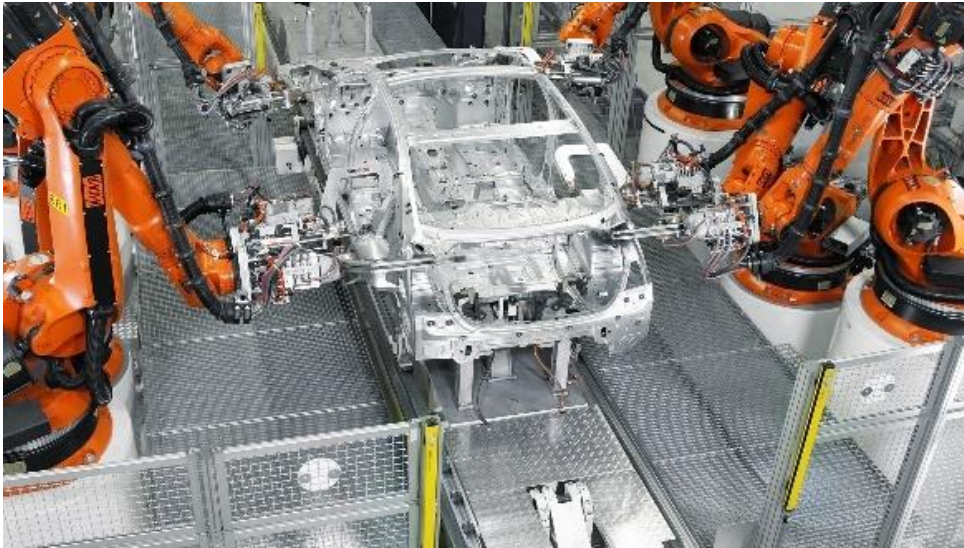


Figura 27 - Soldadura por pontos robotizada [41]



Figura 28 - Sistema de embalagem [42]



Figura 29 - Pintura de automóvel robotizada [43]

Na indústria de componentes de plástico para automóveis é também possível encontrar sistemas automáticos. Os sistemas de injeção estão atualmente a ser automatizados com recurso a robôs, onde estes podem fazer o carregamento de componentes até à máquina de injeção e posteriormente fazer o transporte para pontos de acabamento e montagem das peças injetadas [44].



Figura 30 - Célula de injeção de plástico [45]

A Figura 30 apresenta a disposição comum de uma célula de injeção de plástico. Neste sistema, um manipulador cartesiano está associado à máquina de injeção. Este faz a extração da peça da máquina após injeção e faz o seu transporte para uma zona de trabalho, podendo esta zona de trabalho ser um equipamento onde a peça sofrerá mais uma etapa do seu processamento, como é o caso do equipamento projetado e apresentado no capítulo seguinte da presente dissertação.



# DESENVOLVIMENTO

- 3.1 Caracterização da empresa acolhedora do projeto
- 3.2 Objetivo do trabalho/Caracterização do Problema
- 3.3 Fases evolutivas do projeto
- 3.4 Requisitos impostos pelo cliente
- 3.5 Recolha de informação e conhecimento
- 3.6 Anteprojeto
- 3.7 Projeto



## 3 DESENVOLVIMENTO

### 3.1 Caracterização da empresa acolhedora do projeto

Com a necessidade de ganhos na produtividade, exigência da qualidade e de condições de trabalho por parte da indústria, surgiram ao longo dos anos diversas empresas dedicadas à conceção e construção de máquinas para montagem e teste de componentes, em setores da indústria automóvel. Exemplo deste tipo de empresas é a WRK, Lda (Figura 31), empresa acolhedora do projeto apresentado no presente trabalho.

#### 3.1.1 Apresentação

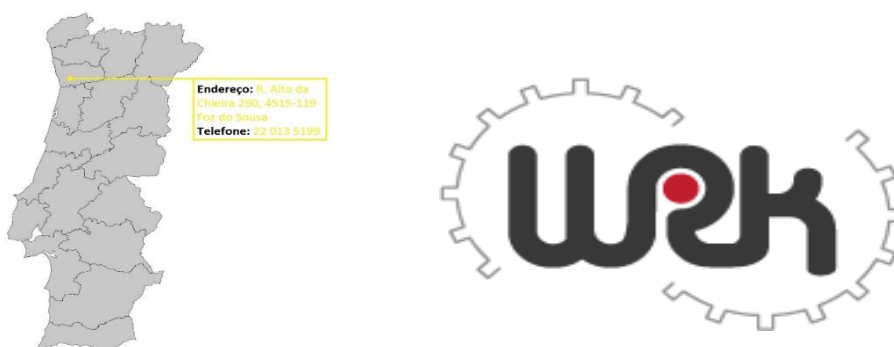


Figura 31 - Localização e logotipo da WRK, Lda [39]

A empresa iniciou a sua atividade a 1 de março de 2011 e, apesar de recente, apresenta-se no mercado como um forte parceiro na área de automação industrial, apresentando aos seus clientes soluções à sua medida com garantia de qualidade.

A política de qualidade da empresa passa por pontos como satisfação do cliente, envolvimento dos fornecedores, envolvimento e valorização dos colaboradores, prevenção de acidentes, atualização constante dos meios tecnológicos, proteção do ambiente, melhoria contínua, cumprimento da legislação e dos regulamentos, e por fim maximização da rentabilidade produtiva.

#### 3.1.2 Equipa

A WRK, Lda possui uma equipa multidisciplinar, dinâmica e inovadora pronta a dar resposta aos desafios apresentados por parte da indústria. A empresa conta atualmente com cerca de 40 colaboradores distribuídos pelos seus setores. Na Figura 32 apresenta-se o organograma da empresa.

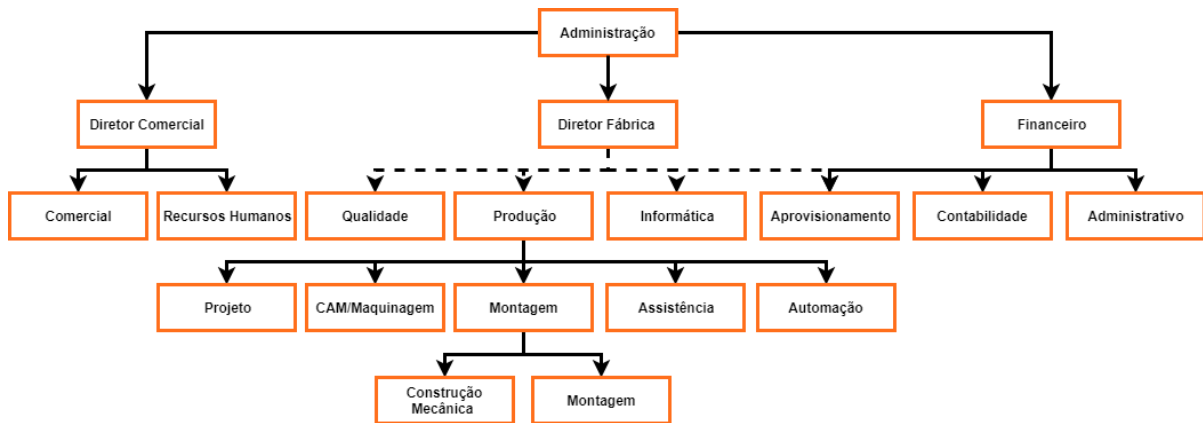


Figura 32 - Organograma da WRK, Lda [39]

### 3.1.3 Oferta

A WRK apresenta dentro de portas recurso capazes de oferecer serviços como:

- Maquinagem automática (CNC);
- Maquinagem convencional;
- Construções mecânicas;
- Mecatrónica;
- Automação industrial;
- Medição tridimensional.

Com recurso aos serviços acima mencionados a empresa possui capacidade para desenvolver inúmeras soluções, como por exemplo:

- Células robotizadas;
- Estruturas diversas;
- Linhas;
- Periféricos de montagem;
- Periféricos de deteção;
- Outros.

### 3.1.4 Presença

Apesar de possuir uma forte concentração de atividade em Portugal, a WRK, Lda pretende ao longo dos próximos anos, além de fortalecer a sua ligação com os seus atuais clientes, expandir e melhorar a sua performance ao nível da exportação.

Com esta ambição a empresa mostra estar ciente da conjuntura e situação económica do país, estando a tornar a sua estrutura mais sólida e forte no mercado.

Neste momento a empresa já possui um volume de exportação considerável e estável, sendo possível encontrar os seus parceiros e clientes em diversos países como: França, Polónia, República Checa, Marrocos ou China.

### 3.2 Objetivo do trabalho/Caracterização do Problema

O projeto apresentado na presente dissertação surge em resposta às necessidades de um cliente da WRK, Lda. O objetivo do cliente passa pela automatização do processo de inserção de componentes (*clips* metálicos) em peças de plástico (painéis interiores da bagageira de automóveis), sendo para tal solicitado à WRK, Lda o desenvolvimento de uma célula robotizada, equipada com duas Bases, para trabalhar com duas peças de plástico distintas.



Figura 33 – A) *Clip* metálico e B) peça de plástico

A Figura 33 apresenta o *clip* metálico que o equipamento deve inserir e uma peça de plástico semelhante às que serão trabalhadas. A inserção de clips é realizada em zonas específicas, denominada porta *clips*, e deve apresentar o aspeto apresentado na Figura 34, onde se pode observar um clip devidamente inserido num dos porta *clip* da peça.



Figura 34 - Posicionamento do *clip* na peça

### 3.3 Fases evolutivas do projeto

Definido o objetivo do trabalho é iniciado o processo de criação do equipamento. O processo de criação de equipamentos compreende uma série de fases, sendo as principais abordadas de seguida na Tabela 16.

Tabela 16 - Fases evolutivas do projeto

<b>Análise aos requisitos impostos pelo cliente</b>	O ponto de partida para a conceção do equipamento passa pela análise aos requisitos impostos pelo cliente. Para tal é feita uma análise à Ficha de Especificação do Equipamento (FEE) e ao Caderno de Encargos Geral (CEG).
<b>Recolha de informação e conhecimento</b>	Feito o reconhecimento do que o cliente pretende é iniciada uma recolha de informação e conhecimento associada às funções principais do equipamento.
<b>Anteprojecto</b>	Após recolha da informação e conhecimentos principais é iniciado o anteprojecto do equipamento. Nesta fase é feita uma análise às possíveis soluções a aplicar para diferentes funções, classificando neste momento as soluções como viáveis ou não viáveis.
<b>Projecto</b>	Quando concluído o anteprojecto e pré-definidas as Bases do equipamento, é iniciado o projecto do mesmo. Nesta fase é realizado o desenho do equipamento, os dimensionamentos necessários e preparado o material necessário para a conceção do equipamento.

As fases de projeto apresentadas são uma conciliação entre o método de trabalho da WRK, Lda e o método de organização do responsável de projeto.

É importante salientar que em todas as fases de projeto é fundamental a colaboração do responsável de projeto com o cliente, alguns fornecedores, e com a maioria dos departamentos de empresa (principalmente CAM/Maquinagem, montagem e automação). Esta colaboração permite uma evolução saudável do projeto e uma redução de entraves aquando da conceção do equipamento.

### 3.4 Requisitos impostos pelo cliente

Aquando da atribuição do projeto a um fornecedor, o cliente junta à encomenda o CEG e a FEE. Com estes dois documentos o cliente estabelece alguns requisitos e características do equipamento.

O CEG apresenta requisitos gerais associados a todo o tipo de equipamentos adquiridos pelo cliente, que independentemente do fornecedor devem ser respeitados. A par do CEG é fornecida uma FEE desenvolvida exclusivamente para o equipamento encomendado, na qual são apresentados requisitos mais específicos e definidas algumas características principais do equipamento.

Os requisitos do cliente passam por aspetos como dimensões, marcas de componentes de mercado, tipo de funcionamento associado ao equipamento, entre outros. Para o presente projeto os requisitos principais impostos pelo cliente são apresentados na Tabela 17, onde são agrupadas as características provenientes do CEG e da FEE.

Tabela 17 - Requisitos impostos pelo cliente

<b>Estrutura</b>	Estrutura principal em perfil estrutural de secção quadrada com 100 mm por 100 mm, com pintura em RAL 9010; Portas em perfil de alumínio com secção mínima de 45 mm por 45 mm; Célula e Base principal mecanicamente independentes, posicionamento da Base na célula com pinos de indexação mecânicos; Bases independentes para duas peças (Peça A e Peça B); Sistema de calcamento em todos os pontos de inserção de componentes.
<b>Dimensões</b>	Largura: 1430 mm; Comprimento 1830 mm.
<b>Robô + controlador</b>	Robô e controlador fornecidos pelo cliente. Robô: YASKAWA GP7, Controlador: YCR1000.
<b>Tempo de ciclo</b>	Inferior a 58 s.
<b>Carregamento de ferramentas</b>	Sistema de carregamento e troca de ferramenta que permita ao robô não perder tempo de ciclo a realizar o carregamento da ferramenta.
<b>Alimentação de peças</b>	Equipamento preparado para que as peças sejam deixadas a uma distância de 100 mm da Base por um manipulador cartesiano após injeção das mesmas.
<b>Alimentação de componentes</b>	Sistema de alimentadores capaz de absorver componentes depositados de forma aleatória; Sistema para alimentação de cuba através do exterior do equipamento; Cobertura em todo o sistema de alimentação.
<b>Autonomia</b>	Funcionamento contínuo de pelo menos 3 h sem alimentação de componentes.
<b>Componentes de mercado</b>	Pneumática: SMC; Sensores: KEYENCE, SICK ou CONTRINEX; Movimento linear: REXROTH (BOSCH); Sistema troca de ferramenta: SCHUNK.
<b>Marcação de peças</b>	Marca de passagem pelo equipamento (pico estático) e marca de peça OK (pico dinâmico).
<b>Injeção defeituosa</b>	Deteção de peças incompletas (dois pontos de deteção por peça).
<b>Tratamento de peças</b>	As peças sujeitas a desgaste devem apresentar o tratamento térmico adequado.
<b>Quadro elétrico</b>	Quadro elétrico com margem de segurança (pelo menos 25% de espaço livre).
<b>Transporte e fixação</b>	Seis rodas, com sistema de travão e nivelamento, dois ferrolhos de posicionamento e calhas para manipulação com empilhador.
<b>Ciclo de funcionamento geral</b>	Peça depositada no equipamento por manipulador cartesiano, calcamento da peça, ciclo de inserção, deteção da correta inserção dos componentes, libertação da peça, extração da mesma pelo manipulador e colocação de nova peça. Em simultâneo deve ser feito o carregamento da ferramenta, para que o robô proceda à troca da mesma enquanto a peça pronta é retirada e a nova peça a trabalhar é colocada.

### 3.5 Recolha de informação e conhecimento

Ao longo dos anos, a WRK, Lda adquiriu experiência na indústria automóvel, produzindo inúmeros equipamentos em resposta às mais diversas necessidades dos seus clientes. Assim, antes de iniciar o projeto do equipamento, foram abordados alguns pontos relevantes ao projeto atual com base na experiência da empresa, adquirida na criação de soluções anteriores.

#### 3.5.1 Projetos de exemplo

A WRK possui um amplo portefólio de equipamentos projetados em resposta aos mais diversos problemas. Deste modo, com o objetivo de alcançar as primeiras linhas de orientação para o projeto, foi feito um reconhecimento de projetos semelhantes ao que se pretende desenvolver.

As células robotizadas para a indústria automóvel são equipamentos já conhecidos pela WRK, Lda. A primeira característica destas é que são constituídas por dois subconjuntos principais, a célula e a Base.

- **Célula**

Apresenta-se na Figura 35 um exemplo de célula projetada pela WRK, Lda. A célula representa a estrutura inferior do equipamento, e sobre esta apoia posteriormente a Base. Esta estrutura é essencialmente a jaula de segurança do robô, na qual estão situados os subconjuntos associados ao ciclo de trabalho do mesmo (controlador e sistema de alimentação). A célula é produzida com perfil estrutural, garantindo a robustez de todo o equipamento, e encontra-se fechada com recurso a material transparente, possuindo portas de acesso ao seu interior. É ainda nesta parte do equipamento que se situa o quadro elétrico e os sistemas de auxílio ao transporte e fixação.

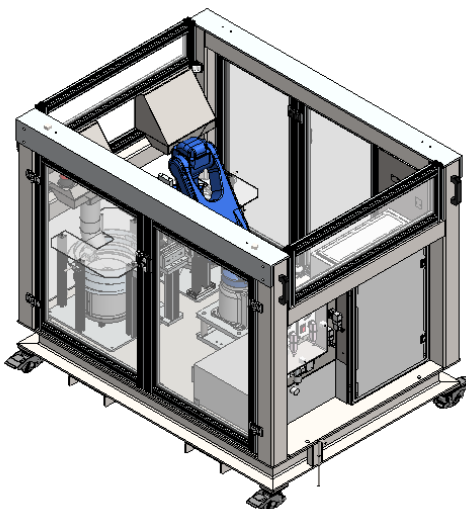


Figura 35 - Célula projetada pela WRK, Lda

- **Base**

Na Figura 36 encontra-se uma Base projetada pela WRK, Lda para uma célula robotizada. A Base representa a parte superior do equipamento. O equipamento pode apresentar sobre a Base principal Bases associadas a diferentes peças. Este conjunto é responsável por receber as peças a trabalhar e evitar o deslocamento das mesmas em qualquer um dos eixos cartesianos. Para desempenhar a sua função, a Base apresenta os ninhos necessários para o posicionamento da peça nos eixos  $xx'$  e  $yy'$ , e ainda um sistema de calcamento que posiciona a peça no eixo  $zz'$ . Além do posicionamento da peça, a Base tem de realizar a deteção dos componentes que são inseridos pelo robô e fazer a marcação das peças. Tal como a célula, este conjunto é fechado com material transparente.

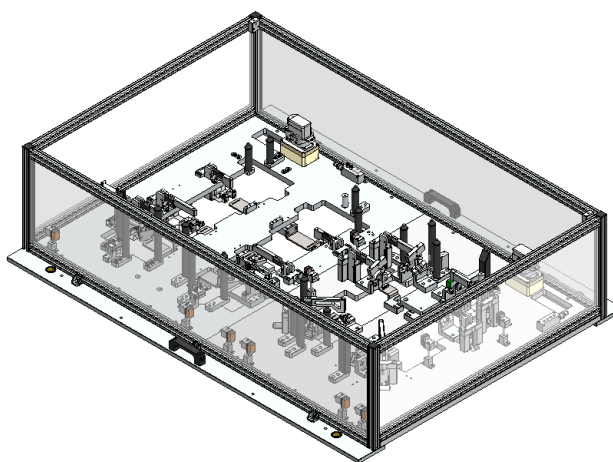


Figura 36 - Base projetada pela WRK, Lda

Dos projetos de células robotizadas anteriormente produzidas pela WRK, Lda surge uma série de características a aproveitar para o projeto a desenvolver e ainda um conjunto de diferenças relevantes, estando estes pontos detalhados na Tabela 18.

Tabela 18 - Comparação entre células robotizadas anteriormente desenvolvidas e o projeto a desenvolver

Semelhanças	Diferenças
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estrutura principal;</li> <li>• Sistema de alimentação;</li> <li>• Posicionamento de peças;</li> <li>• Deteção de componentes;</li> <li>• Peças de plástico;</li> <li>• Princípio de funcionamento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de carregamento e troca de ferramenta;</li> <li>• Dimensões principais ligeiramente superiores;</li> <li>• Modelo de robô e controlador atualizado;</li> <li>• Peças a trabalhar de grandes dimensões;</li> <li>• Elevado número de componentes a inserir.</li> </ul>

### 3.5.2 Trabalho com componentes de plástico

Maioritariamente os trabalhos desenvolvidos pela WRK, Lda têm como alvo clientes envolvidos na produção de componentes de plástico para a indústria automóvel. Assim, com a experiência adquirida nos projetos já desenvolvidos, defini uma série de considerações importantes relativas a este tipo de componente.

Para o projeto a desenvolver foram tomadas em conta algumas considerações principais, que se encontram detalhadas na Tabela 19.

Tabela 19 - Considerações relevantes para trabalho com peças de plástico

Problema	Considerações
Faces da peça	A peça possui face visível e a face técnica. A disposição da peça no equipamento deve favorecer o objetivo de trabalho na peça.
Contacto com a peça	Os componentes do equipamento que efetuem contacto com a zona visível da peça devem ser revestidos para não marcar ou danificar a peça.
Zonas de marcação	As marcações de passagem no equipamento e de peça OK devem ser realizadas em zonas nas quais não ocorra risco de danificar a zona visível da peça.
Composição química da peça	A composição química da peça influencia diretamente a sua rigidez, as suas dimensões e a resposta às operações que lhe serão aplicadas.
Temperatura da peça	Diferenças consideráveis em trabalhos com peça quente ou fria, em termos de deformação, dilatação e consistência.
Ficheiro CAD vs Realidade	Geralmente os equipamentos são desenvolvidos considerando o ficheiro CAD da peça. No entanto, a peça física pode apresentar variações e pequenas deformações.

### 3.5.3 Assemblagem de componentes em peças de plástico

Grande parte das peças produzidas pela indústria de componentes para automóveis compreende um componente principal ao qual são indexados outros componentes, sendo deste modo solicitada constantemente à WRK, Lda a criação de equipamentos de assemblagem de componentes.

A assemblagem de componentes em peças de plástico é a função principal da célula robotizada a projetar, pelo que se torna deste modo fundamental analisar a experiência da WRK, Lda neste campo. A seguir, na Tabela 20, são listadas algumas considerações, relativas a este processo, que foram definidas como relevantes para o projeto a desenvolver.

Tabela 20 - Considerações relevantes para montagem de componentes

Problema	Considerações
Posicionamento da peça no equipamento	Para uma montagem fiável a peça deve manter sempre a sua posição relativamente aos três eixos cartesianos, devendo por isto existir sistemas para posicionamento e fixação da mesma.
Força de montagem	Dependendo do componente a inserir na peça e da geometria da peça, a força de montagem pode variar, devendo realizar-se pequenos ensaios em caso de dúvida.
Geometria da zona de montagem na peça	A peça geralmente possui entradas na zona de montagem com vista a facilitar a operação. Em caso de ausência de entradas podem ser gerados danos na peça.
Ferramenta de inserção	Para dispositivos de montagem automática devem ser criadas ferramentas para a inserção dos componentes. As ferramentas devem adaptar-se à geometria e comportamento do componente. Os componentes podem ser inseridos já na sua forma final, e nesse caso a ferramenta apenas faz transporte, no entanto existem casos em que o componente tem de ser previamente deformado antes da inserção, devendo a ferramenta efetuar essa deformação.

#### 3.5.4 Detecção de componentes

Após um processo de montagem de componentes, seja ele manual ou automático, é fundamental a realização da deteção dos componentes na peça.

Tal como foi referido anteriormente, o equipamento a projetar deve realizar a deteção dos componentes inseridos no final do ciclo. A deteção pode ser realizada recorrendo a diferentes métodos e equipamentos. Para uma seleção correta do tipo de deteção a implementar num equipamento é necessário considerar diferentes pontos, estando os principais, conhecidos pela WRK, Lda, detalhados na Tabela 21.

Tabela 21 - Considerações relevantes para deteção de componentes

Problema	Considerações
Tipo de deteção	O tipo de deteção deve ter em consideração as características físicas do componente (tamanho, forma, cor, material).
Posição do componente	O componente não deve apresentar variações na sua posição para não colocar em causa a correta deteção.
Ponto de deteção	Detetar o componente é diferente de detetar montagem correta. Como tal, deve ser escolhido o ponto chave de deteção que garante uma montagem correta.

Distância de deteção	A distância do sensor ao componente deve considerar um balanço entre as características do detetor, características do componente e as características de montagem do componente.
Segurança do detetor	Os sensores devem estar protegidos de pancadas, poeiras, entre outros fatores que condicionem a deteção.
Sensores fotoelétricos	O feixe deste tipo de sensor apresenta geralmente uma área de deteção demasiado elevada, devendo isso ser considerado. Pelo facto de o seu princípio de funcionamento passar pelo fenómeno de reflexão, é necessário ter em atenção o tipo de superfície na qual será feita a reflexão (inclinação, brilho, cor).
Sensores indutivos	Os sensores indutivos exigem algum cuidado no material envolvente (suportes, paredes próximas), sendo que um dos principais problemas associados a estes é a deteção de componentes indesejados.
Sensores laser	Sensores laser exigem cuidado no direcionamento do feixe, pois deve ser evitada a projeção do feixe para zonas onde possam alcançar a visão humana.
Fibras óticas	As fibras óticas exigem alguma atenção relativamente à abertura do feixe, e aquando da sua instalação deve ser considerada a saída do cabo com vista a evitar dobras acentuadas que o podem danificar.

### 3.6 Anteprojeto

Neste ponto do relatório é feita uma análise às soluções encontradas e analisadas para alcançar os objetivos do trabalho, e são definidas as bases nas quais o projeto final irá assentar.

#### 3.6.1 Divisão do equipamento em subconjuntos

Com a informação recolhida dos requisitos do cliente e da experiência e método de trabalho da WRK, Lda, neste capítulo é feita uma divisão do equipamento em subconjuntos. Esta divisão é baseada essencialmente nas funções que o equipamento deve desempenhar, e permite uma interpretação mais fácil do projeto. Assim, na Tabela 22 encontra-se a divisão que foi adotada.

Tabela 22 - Divisão do equipamento em subconjuntos

Conjunto	Função
<b>Célula</b>	
Ferramenta(s)	A ferramenta é o sistema onde são colocados os <i>clips</i> , e que posteriormente é transportada pelo robô que faz a inserção nos locais corretos. Por requisito do cliente o equipamento possuirá duas ferramentas.
Troca de Ferramenta	Este sistema será implementado pela primeira vez neste tipo de equipamentos. Pretende-se com este tornar o equipamento mais independente e diminuir o tempo de ciclo eliminando o tempo de carregamento da ferramenta por parte do robô (funcionamento habitual neste tipo de equipamento).  Este sistema terá a função de receber a ferramenta vazia no final de cada ciclo de inserção e prepará-la para o ciclo seguinte. Desta forma, será a ponte entre o robô e o sistema de alimentação e carregamento.
Sistema de Alimentação	O sistema de alimentação será o conjunto responsável pela orientação dos <i>clips</i> metálicos e seguidamente por efetuar o carregamento destes na ferramenta.
<b>Base</b>	
Bases (A e B)	O equipamento terá duas Bases, uma para cada peça a trabalhar. Estas Bases serão constituídas por todos os componentes necessários para a orientação das peças em dois eixos cartesianos ( $xx'$ e $yy'$ ) e terão ainda anexados todos os componentes de deteção e marcação.
Sistema de Calcamento	O calcamento da peça corresponde a um sistema de atuadores pneumáticos que possuem a função de posicionar a peça no eixo $zz'$ .

### 3.6.2 Tempestade de ideias

O início do processo de definição de alguns subconjuntos do equipamento deu origem a uma série de hipóteses e soluções para responder às necessidades do mesmo. Nos pontos a seguir será apresentada uma análise às diferentes soluções encontradas para desenvolvimento de cada um dos principais subconjuntos constituintes do equipamento.

#### 3.6.2.1 Ideias para a ferramenta

Como mencionado anteriormente o sistema tem de possuir duas ferramentas, que serão carregadas com *clips* e que o robô utilizará para efetuar o ciclo de inserção.

O projeto das ferramentas passe pela criação de um conjunto com as posições de *clips* necessárias, dispostas de forma circular, formando uma espécie de estrela, onde existe um centro, e os respetivos dedos. Os dedos possuem na extremidade o corte para colocação e prisão do *clip*, e o centro corresponde à zona onde se unem todos os dedos, e proporciona a ligação ao robô.



Figura 37 - Exemplo de ferramenta [39]

A Figura 37 apresenta uma ferramenta com a estrutura habitualmente utilizada. Para as ferramentas a produzir será seguido este conceito com pequenas alterações com o intuito de melhorar o processo de maquinação das mesmas.

Para o projeto a desenvolver é preciso ainda considerar que será realizada troca de ferramenta no final de cada ciclo de trabalho, pelo que será necessário acrescentar às ferramentas um sistema de troca rápida de ferramenta, sendo este sistema definido pelo cliente na FEE.

### 3.6.2.2 Ideias para troca de ferramenta

Um dos requisitos do cliente passa pela integração de um sistema de troca de ferramenta. Este sistema será solidário ao sistema de carregamento de *clips* na ferramenta, e o objetivo deste passa por garantir que, enquanto uma ferramenta é utilizada pelo robô, a outra está a ser carregada com *clips*.

Este tipo de sistema nunca foi aplicado anteriormente pela WRK, Lda, pelo que se apresenta como um dos maiores desafios para o projeto a desenvolver. Assim, em parceria com o cliente e toda a equipa da WRK, Lda, foram abordadas algumas alternativas possíveis para a criação deste subconjunto, sendo estas apresentadas de seguida.

- **Sistema de alimentação com dupla saída**

O mercado de alimentadores apresenta-se atualmente bastante desenvolvido, existindo determinados sistemas em que existem duas saídas de componentes provenientes do mesmo alimentador, tal como se pode observar na Figura 38.



Figura 38 – Alimentador de dupla saída [46]

Um sistema com dupla saída de componentes levaria à criação de dois pontos de carregamento de *clips*, criando um suporte de ferramenta em cada um desses pontos o sistema estaria apto a ter sempre uma ferramenta em carregamento num dos suportes e segundo livre para deposição de ferramenta vazia e posterior carregamento.

Este sistema apresenta-se como uma solução simples no que se refere a projeto, no entanto, quando foi analisada a possibilidade com o fornecedor do sistema de alimentação, o mesmo mostrou-se reticente relativamente à cadência que seria capaz de conseguir com tal sistema considerando a geometria do *clip*. Para este entrave a solução passaria por aumentar a dimensão dos alimentadores, o que se mostrou impossível de aplicar no interior do equipamento. Desta forma, a ideia foi abandonada.

- **Dois sistemas de alimentação**

No seguimento da ideia do sistema de alimentação com dupla saída surgiu a hipótese de criar dois sistemas de alimentação. Esta hipótese segue o princípio do sistema de dupla saída, com criação de dois pontos de alimentação que permitem ter uma ferramenta a ser carregada durante o ciclo de inserção e uma segunda posição livre para depositar a ferramenta no final do ciclo para posterior carregamento.

A principal vantagem associada a este sistema é o facto de o posicionamento dos sistemas de alimentação ser flexível no interior da célula, contornando-se assim os problemas de espaço anteriormente referidos.

Analisando cuidadosamente a hipótese concluiu-se que esta apresenta desvantagens financeiras. Um sistema duplo de alimentação implica a aquisição de dois alimentadores circulares, e a duplicação do investimento inicialmente previsto, motivo que levou à necessidade de abordar novas hipóteses.

- **Movimento vertical entre dois pontos**

A necessidade de novas soluções para a conceção do sistema de troca de ferramenta levou a uma mudança de conceito. Enquanto até aqui a ideia assentou na existência de dois pontos de carregamento fixos, nesta fase surgiu a hipótese de criar um sistema com duas posições para ferramentas com capacidade de mover essas duas posições sobre um ponto de carregamento único.

Numa primeira hipótese abordou-se a possibilidade de movimentar os dois pontos de deposição de ferramenta na vertical.

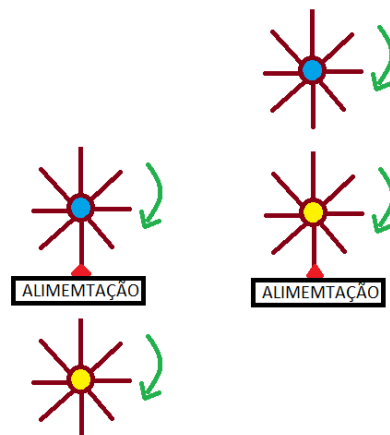


Figura 39 – Esquema de troca de ferramenta com movimento vertical

Na Figura 39 apresenta-se esquematicamente o funcionamento deste sistema. O ponto de alimentação estaria numa posição intermédia, e as ferramentas seriam movidas verticalmente até ao seu ponto mais baixo se encontrar sobre o ponto de alimentação. A realização do movimento vertical neste sistema passa pela aplicação de um sistema motor-fuso, como o apresentado na Figura 40.

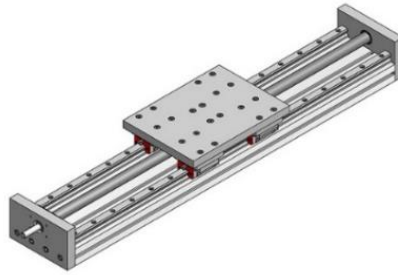


Figura 40 - Sistema motor-fuso [47]

Analisando a possibilidade de adaptar este sistema ao equipamento concluiu-se que este requer bastante espaço vertical, uma vez que a sua altura é, no mínimo, o diâmetro de três ferramentas (como se observa na Figura 39). Esta altura faz com que o sistema ocupe uma parte da célula desde o chão até à Base, gerando uma área da Base inutilizada, o que não é aceitável neste projeto. Assim, a hipótese foi abandonada nesta fase.

- **Movimento horizontal entre dois pontos**

Aproveitando a linha de raciocínio da hipótese anterior (movimento vertical) surgiu a hipótese de desenvolver um sistema com o mesmo princípio, mas com movimento horizontal das posições de deposição da ferramenta.

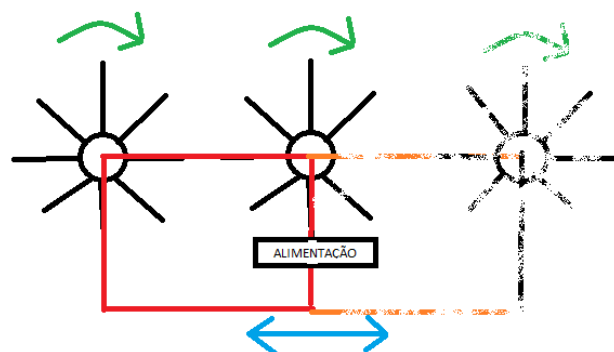


Figura 41 - Esquema de troca de ferramenta com movimento horizontal

Na Figura 41 encontra-se um esquema do funcionamento do sistema com movimento horizontal. No centro encontra-se o ponto de alimentação, e as ferramentas são movidas horizontalmente até o seu ponto mais baixo se alinhar com o ponto de alimentação, para que seja realizado o carregamento da ferramenta.

Em questões dimensionais, é possível o movimento do robô sobre o sistema, permitindo o seu acesso a toda a área da Base, o que elimina os entraves anteriormente encontrados com o sistema com movimento vertical.

Esta opção foi abordada com atenção e mostrou-se uma opção viável, tanto por parte da WRK, Lda, como por parte do cliente, sendo por isso a opção aplicada no equipamento.

- **Rotação entre dois pontos**

Numa fase em que a aceitação do sistema de troca de ferramenta com movimento horizontal ainda não era total por parte do cliente, foi abordada ainda uma outra hipótese para o sistema de troca de ferramenta, passando esta pela substituição do movimento horizontal por um movimento de rotação.

Esta solução segue o princípio de outras já referidas, um ponto fixo de alimentação e movimento da ferramenta, onde o movimento é de rotação. Este sistema, tal como o de movimento horizontal, foi visto com bons olhos por parte da empresa, pois a idealização do projeto mostra maior robustez, menores pontos de afinação e, além disso, uma poupança considerável de espaço no equipamento, ficando o robô com maior liberdade.

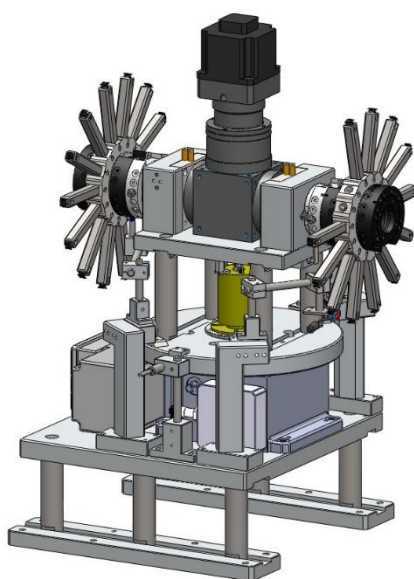


Figura 42 - Sistema de troca de ferramenta com movimento de rotação

Tal como foi dito anteriormente, o sistema a aplicar no equipamento passaria por um movimento horizontal. No entanto, considerando as vantagens observadas no sistema com movimento de rotação, este acabou por ser desenvolvido em pormenor e aplicado como solução num outro projeto, podendo observar-se na Figura 42 o sistema desenvolvido.

### 3.6.2.3 Ideias para o sistema de alimentação

Para a alimentação de *clips*, a WRK, Lda acordou com o cliente que seria utilizado um conjunto de alimentadores vibratórios. Os alimentadores vibratórios permitem um fornecimento contínuo de peças, que são depositadas no sistema de forma aleatória enquanto o sistema faz a sua orientação. As peças saem assim do sistema na orientação pretendida e adequada ao trabalho que se pretende realizar com os componentes.

Existe no mercado uma ampla oferta destes produtos, concebidos por fabricantes especializados. Deste modo a WRK, Lda optou pela aquisição do sistema ao invés da produção interna. Para a produção do sistema o fornecedor apenas solicita determinadas características, sendo estas:

- **Cadência:** 25 componentes por minuto;
- **Autonomia do sistema:** cerca de três a quatro horas;
- **Orientação dos componentes:** *clip* com abas para baixo (Figura 43).



Figura 43 - Orientação do *clip*

De acordo com os requisitos impostos ao fornecedor, este aconselhou a utilização de um sistema de alimentação completo, formado por uma unidade de armazenamento (que garante a autonomia de 3 a 4 horas de trabalho contínuo), um alimentador circular (que é responsável pela orientação dos componentes) e uma unidade pulmão (que apresenta uma calha com capacidade para determinado número de componentes orientados). Com este sistema, o fornecedor assegura o correto funcionamento do equipamento no que se refere à alimentação de *clips*. Na Figura 44 encontra-se a ilustração de um sistema similar ao que será aplicado no equipamento.

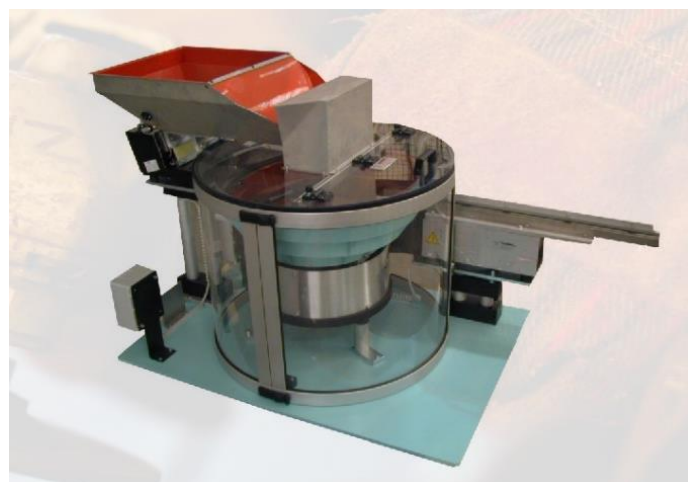


Figura 44 - Sistema de alimentação [48]

### 3.6.2.4 Ideias para as Bases

O equipamento deve apresentar na sua constituição uma Base principal à qual serão anexadas duas Bases independentes, uma para cada peça a trabalhar, sendo estas responsáveis pelo alojamento da peça e guiamento em dois eixos cartesianos principais,  $xx'$  e  $zz'$ , como se mostra na Figura 45.

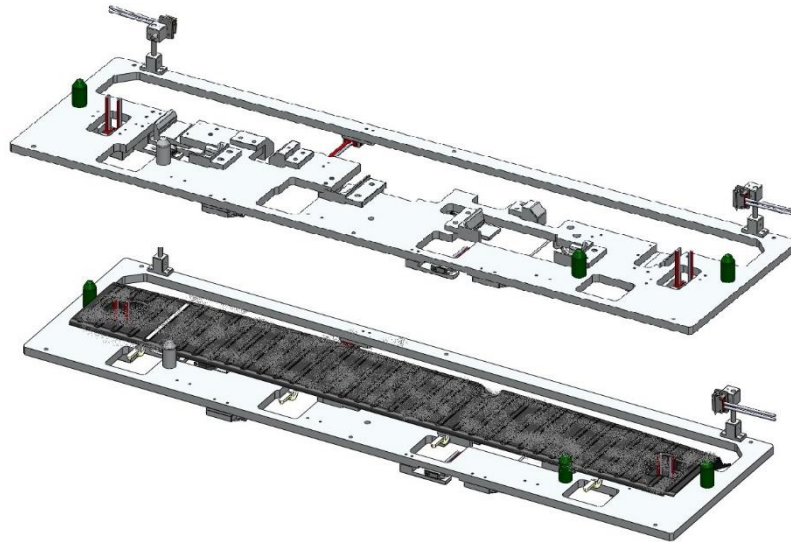


Figura 45 - Exemplo de Base com peça guiada em dois eixos cartesianos

No que se refere a estes conjuntos, a ideia passa por seguir os princípios anteriormente utilizados em outros projetos, sendo os principais:

- Um ninho por cada porta *clip* da peça;
- Ninhos com ângulo de entrada de peça acentuado;
- Afinação de posição dos ninhos em  $xx'$  e  $zz'$ ;
- Uma deteção por cada componente, solidária ao ninho;
- Deteções com afinação.

### 3.6.2.5 Ideias para o sistema de calcamento

Tal como foi dito anteriormente, o sistema de calcamento é um subconjunto do equipamento, que tem como principal função o posicionamento da peça no eixo  $zz'$ .

O sistema de calcamento é solidário à Base, e é geralmente constituído por um sistema de cilindros, que em posição de recuo permitem a entrada da peça na Base, e em posição de avanço garantem que a peça se encontra sempre à mesma cota em  $zz'$ , permitindo assim que o robô não cometa erros gerados por desvios de posição relativamente à programada para inserção do *clip*.

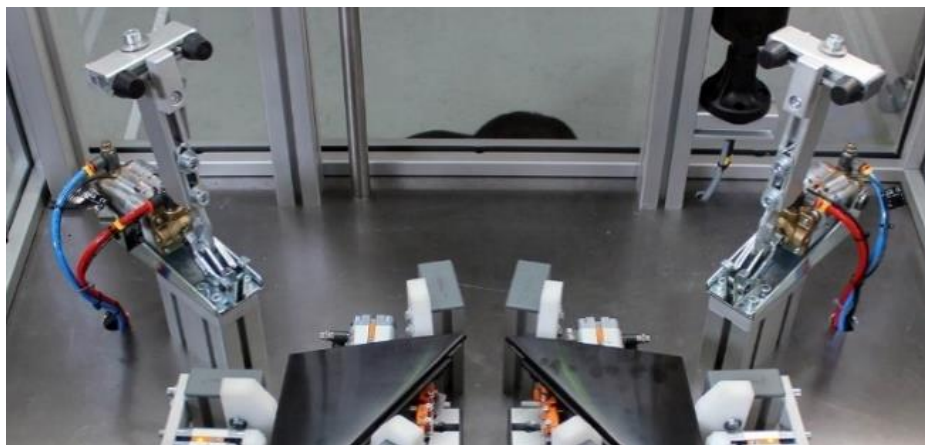
Os principais requisitos impostos ao sistema de calcamento, a considerar no projeto do mesmo, encontram-se na Tabela 23.

Tabela 23 – Requisitos impostos ao sistema de calcamento

Requisito	Considerações
Pontos de calcamento	Deve ser feito calcamento sobre todos os pontos de inserção de <i>clips</i> na peça.
Calçamento para duas peças	O equipamento exige a aplicação de calcamento para as duas peças a trabalhar.
Geometria das peças	As peças apresentam superfícies com geometrias complexas, uma diferença considerável entre a menor e a maior cota em $z$ e ainda curvatura considerável na maioria dos pontos de inserção.
Liberdade para deposição de peça	O sistema tem de permitir a entrada de peça na vertical e posterior saída, sendo que esta chega através de um manipulador cartesiano.
Marcas na peça	O sistema de calcamento terá contacto direto com a face visível da peça, pelo que não deve deixar marcas na mesma.

Para este subconjunto criaram-se diversas hipóteses capazes de dar resposta às necessidades do equipamento. As principais hipóteses abordadas são descritas a seguir, com uma breve análise aos seus pontos fortes e fracos.

- **Calçamento com *clamps* pneumáticos**

Figura 46 – Sistema de calcamento com *clamps* pneumáticos [49]

Os *clamps* pneumáticos são sistemas com uma haste ligada a um atuador que faz a rotação desta. Quando a haste se encontra recuada a peça está livre, e quando está avançada a peça fica bloqueada, como se observa na Figura 46. Estes são frequentemente utilizados para fixação de peças devido a uma série de vantagens a eles associados.

Tabela 24 - Vantagens e desvantagens do sistema de calcamento com *clamps*

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixo custo;</li> <li>• Suportes de fixação relativamente simples;</li> <li>• Abertura suficiente para deposição e extração da peça.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A haste não pode ser muito longa;</li> <li>• Necessidade de espaço em torno da peça para fixação dos suportes.</li> </ul>

A Tabela 24 apresenta algumas vantagens e desvantagens do sistema de calcamento com *clamps* relevantes para o projeto a desenvolver. Apesar da facilidade de aplicação deste tipo de sistema, o facto de apresentarem a limitação ao tamanho do braço é um entrave, uma vez que as peças possuem pontos de calcamento ao centro da peça, o que leva a braços consideravelmente longos. A par disto a necessidade de espaço para fixação dos *clamps* é também um problema, pois, uma vez que as peças são relativamente grandes o espaço livre em torno delas no equipamento é reduzido. Considerando as desvantagens apresentadas foi descartada a hipótese de utilização deste tipo de sistema.

- **Calcamento com rotação de 90° dos calcadores**

Considerando as principais limitações do sistema de *clamps* surgiu a necessidade de encontrar um sistema capaz de as ultrapassar. Com isto foi abordada a ideia de aplicar movimento ao sistema de calcamento, ou seja, eliminar a fixação do calcamento na Base, e criar um sistema independente capaz de suportar os calcadores e os movimentar aquando da deposição e da extração da peça.

Assim, surge a ideia de criar um sistema formado por duas placas de trabalho, uma para cada peça, nas quais se aplicam os calcadores de cada uma das peças. Estas placas seriam ligadas entre si formando um ângulo de 90° e a elas seria anexado um sistema capaz de gerar rotação das mesmas. Este conceito é descrito na Figura 47, onde se apresenta um esboço do sistema em questão.

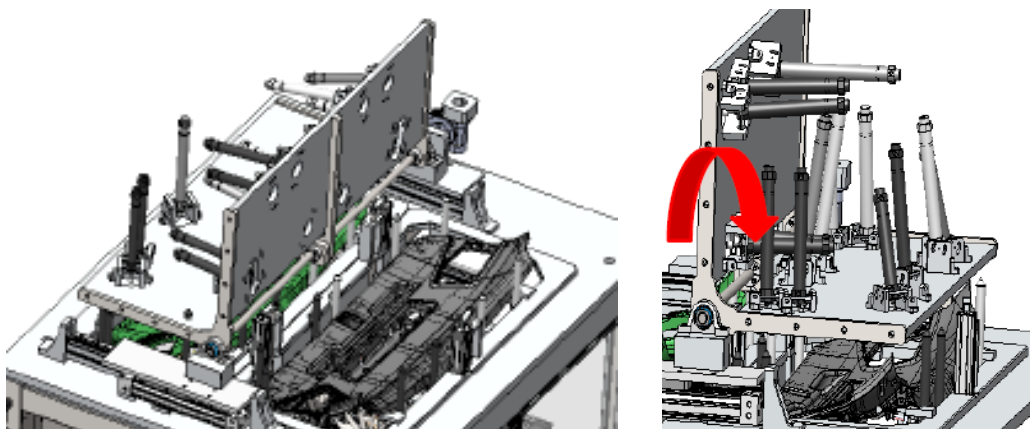


Figura 47 - Calcamento com rotação

Com este sistema foram eliminados os principais entraves associados ao sistema de *clamps*, relativos a espaço e comprimento da haste, pois o sistema seria aplicado sobre a Base e os suportes dos atuadores estariam fixos às placas do sistema e quando fosse realizada a rotação os calçadores ficariam exatamente sobre os pontos a calcar.

A ideia foi apresentada ao cliente, no entanto, este demonstrou-se reticente relativamente ao movimento de rotação. Sendo a opinião do cliente importante para o sucesso no projeto foi descartada a hipótese ainda na fase de esboço da mesma.

- **Calcamento com movimento horizontal dos calçadores;**

Em alternativa ao sistema de calcamento com rotação foi sugerido pelo cliente o desenvolvimento de um sistema com movimento linear, semelhante a outros já desenvolvidos pela WRK, Lda para outros equipamentos.

Este conceito passa pela fixação dos calçadores a uma placa que possui movimento horizontal. Este movimento permite numa posição a deposição e extração da peça da Base, movendo-se para uma segunda posição fica sobre a peça, posicionando os calçadores exatamente sobre os pontos a calcar.

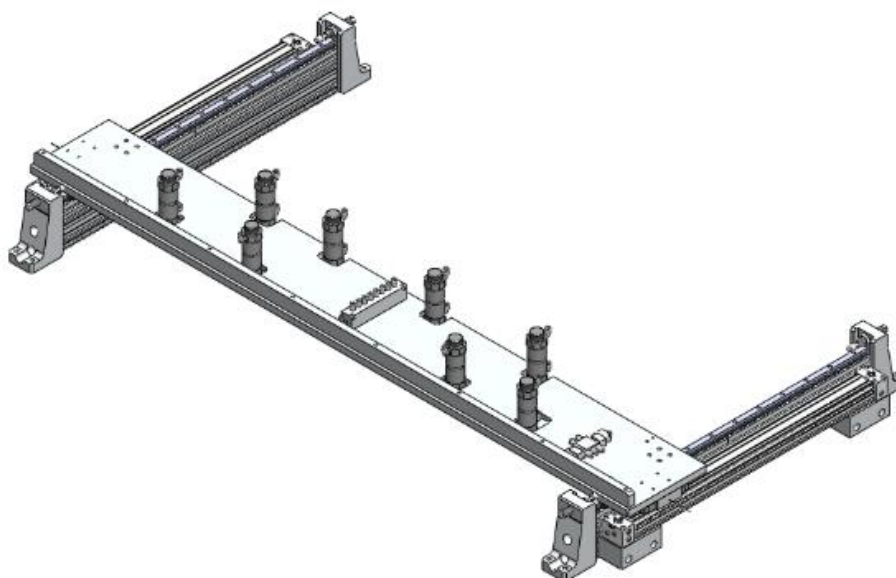


Figura 48 - Calcamento com movimento horizontal

Um sistema similar ao pretendido encontra-se representado na Figura 48. A análise à viabilidade deste sistema levou a uma serie de questões, que por sua vez levaram à evolução do conceito até que se tornasse possível a sua aplicação no equipamento em projeto.

Tabela 25 - Evolução do conceito de calcamento com movimento horizontal

Problema	Possível Solução
Sobreposição parcial de pontos de calcamento das duas peças. A sobreposição parcial dificulta a aplicação de dois calcadores.	Aplicar dois calcadores em pontos de sobreposição parcial com movimento de alternância entre eles em função da peça a calcar.
Variação da cota máxima e mínima das peças no eixo $zz'$ . A diferença entre a cota máxima e mínima das peças é acentuada, levando a que numa extremidade da placa de suporte dos calcadores os mesmo fiquem muito próximos da peça, e na outra demasiado afastados.	Divisão da placa principal em duas e aplicação de movimento vertical de diferente curso a estas, ajustando-as à variação de altura das peças.

Considerando os problemas encontrados no sistema e analisadas as possíveis soluções, apresentados na Tabela 25, o sistema acabou por se demonstrar uma hipótese viável, sendo assim esta a escolha para o sistema de calcamento do equipamento.

### 3.6.3 Dimensionamento

O projeto de equipamentos implica determinados dimensionamentos no seu decorrer, com o objetivo principal de garantir a estabilidade, durabilidade e segurança do equipamento. No que se refere a projeto de equipamentos especiais, como é o caso do apresentado na presente dissertação, os dimensionamentos são muitas das vezes desvalorizados, sendo as decisões e escolhas feitas com base em determinados princípios, como por exemplo:

- Requisitos e experiência do cliente em sistemas idênticos;
- Experiência do fabricante;
- Necessidades dimensionais associadas ao produto a trabalhar;
- Estética do equipamento;
- Espaço disponível;
- Disponibilidade de produtos no mercado;
- Processo de maquinagem;
- Falta de tempo para análise aprofundada.

Apesar de muitos dos dimensionamentos terem sido desvalorizadas no projeto da célula robotizada, de seguida será descrita a metodologia usada para alguns dimensionamentos realizados no desenvolvimento da dissertação.

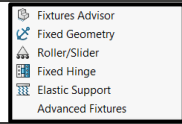
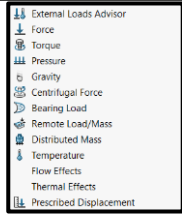
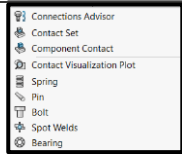
- **Método dos elementos finitos (MEF)**

Para análise de alguns componentes e conjuntos com funções importantes para o funcionamento do equipamento foi utilizado o MEF. O MEF é geralmente utilizado em

casos de estudo onde a distribuição de esforços é complexa. Este método permite a obtenção de soluções aproximadas, recorrendo à resolução de sistemas lineares [50].

A realização de estudos com este método foi efetuada com recurso à ferramenta CAD SolidWorks, seguindo a metodologia de trabalho apresentada na Tabela 26.

Tabela 26 - Metodologia de dimensionamento utilizando o MEF

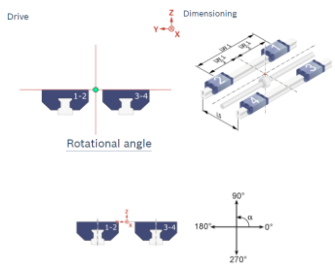
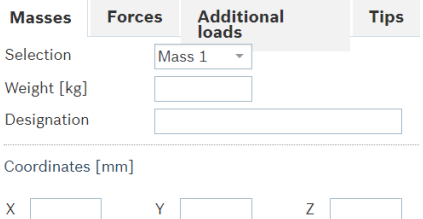
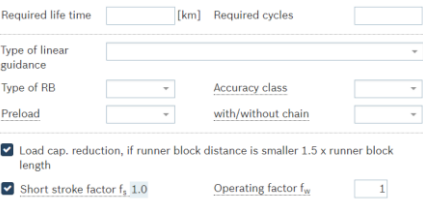
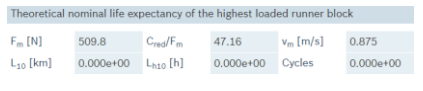
Etapa	Descrição
<b>Tipo de Estudo</b>	Definição do tipo de análise. O <i>software</i> permite a realização de análises de diferentes, como por exemplo análise estática, fadiga ou de queda. No entanto, nos dimensionamentos realizados apenas foram realizadas análises estáticas.
<b>Materiais</b>	Definição dos materiais dos componentes. O MEF recorre a determinadas propriedades dos materiais para a realização da análise pretendida.
<b>Condições fronteira</b>	Definição das condições fronteira: pontos de ligação ou fixação. 
<b>Esforços</b>	Atribuição de esforços externos a que o componente ou conjunto estão sujeitos. 
<b>Ligações</b>	Definição do tipo de ligação entre componentes. 
<b>Definição da malha</b>	<p>As malhas disponibilizadas pelo <i>software</i> para a realização da análise são:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Malha sólida: adequada para objetos volumosos, é composta por elementos sólidos 3D tetraédricos;</li> <li>• Malha de casca: adequada para chapas de metal com espessuras uniformes. Esta malha é gerada na superfície intermédia do componente;</li> <li>• Malha de viga: adequada para perfis estruturais. formada por elementos de linha definidos por dois pontos e uma secção transversal;</li> <li>• Malha mista: é utilizada quando o <i>software</i> deteta diferentes geometrias.</li> </ul> <p>Para definição dos parâmetros de malha (quando a malha é sólida, de casca ou mista) o <i>software</i> apresenta configuração pré-definidas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Standard mesh</i>: cria uma malha uniforme, com o mesmo número de nós e de elementos em todo o objeto;</li> <li>• <i>Curvature-based mesh</i>: cria mais elementos em áreas de maior curvatura automaticamente;</li> </ul>

• **Dimensionamento de sistemas de guiamento linear**

Ao longo do projeto foram aplicados em determinados conjuntos sistemas de guiamento linear, essencialmente guias e patins. Uma vez que os produtos utilizados são fornecidos pela BOSCH Rexroth, para o dimensionamento dos mesmos foi utilizado o *software* do fornecedor, o Linear Motion Designer (LMD).

O LMD é um programa de cálculo para sistemas de guiamento linear da BOSCH Rexroth. Este *software* permite um dimensionamento rápido aos sistemas de guiamento, recorrendo a informações gerais sobre o sistema. A metodologia para utilização do *software* apresenta-se na Tabela 27.

Tabela 27 - Metodologia de dimensionamento de sistemas de guiamento utilizando o LMD [51]

Etapa	Descrição																	
<p><b>Tipo de aplicação</b></p>	<p>Definir o tipo de aplicação presente no projeto em análise.</p> <p>O <i>software</i> apresenta diferentes configurações em função do número de guias e patins.</p> 																	
<p><b>Dimensões do sistema</b></p>	<p>Definir:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ponto de acionamento do sistema;</li> <li>• Dimensões do sistema (distancia entre guias, e entre patins);</li> <li>• Ângulos de inclinação do sistema.</li> </ul> 																	
<p><b>Cargas</b></p>	<p>O sistema é dimensionado em função das cargas a ele aplicadas e da sua posição relativamente ao centro do sistema.</p> 																	
<p><b>Características principais dos patins</b></p>	<p>Escolha das características principais do patim, como pré-carga e classe precisão por exemplo.</p> 																	
<p><b>Resultados</b></p>	<p>É gerado um conjunto de soluções válidas para aplicação no sistema, e para essas soluções é apresentado o valor teórico nominal de vida do patim com pior condição de carga.</p>  <table border="1" data-bbox="925 1870 1348 1960"> <thead> <tr> <th colspan="5">Theoretical nominal life expectancy of the highest loaded runner block</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>F_m</math> [N]</td> <td>509.8</td> <td><math>C_{red}/F_m</math></td> <td>47.16</td> <td><math>v_m</math> [m/s]</td> <td>0.875</td> </tr> <tr> <td><math>L_{10}</math> [km]</td> <td>0.000e+00</td> <td><math>L_{H10}</math> [h]</td> <td>0.000e+00</td> <td>Cycles</td> <td>0.000e+00</td> </tr> </tbody> </table>	Theoretical nominal life expectancy of the highest loaded runner block					$F_m$ [N]	509.8	$C_{red}/F_m$	47.16	$v_m$ [m/s]	0.875	$L_{10}$ [km]	0.000e+00	$L_{H10}$ [h]	0.000e+00	Cycles	0.000e+00
Theoretical nominal life expectancy of the highest loaded runner block																		
$F_m$ [N]	509.8	$C_{red}/F_m$	47.16	$v_m$ [m/s]	0.875													
$L_{10}$ [km]	0.000e+00	$L_{H10}$ [h]	0.000e+00	Cycles	0.000e+00													


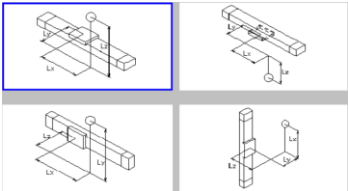
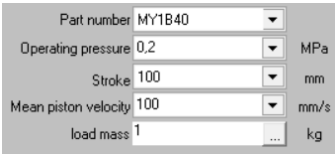

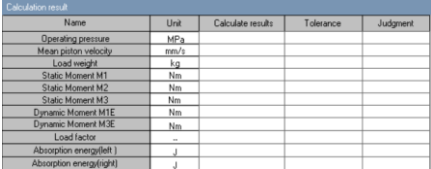
- **Dimensionamento de cilindros guiados**

A realização de diversas tarefas no funcionamento da célula, apresentada na presente dissertação, é acionada por cilindros pneumáticos guiados. Este tipo de cilindros requer especial atenção na sua seleção.

Para garantir que determinado cilindro é a escolha ideal para os requisitos da aplicação que se pretende realizar foi feito o seu dimensionamento. A seleção destes cilindros foi realizada recorrendo ao Guide Cylinder Selector (GCS), *software* desenvolvido pela SMC, fornecedor dos componentes pneumáticos aplicados no equipamento. O GCS permite uma análise a momentos e energia cinética associados à aplicação em que o cilindro se encontra, e conhecer os fatores de carga e a capacidade adequada a determinado cilindro para garantir um correto funcionamento e durabilidade do mesmo [52].

Os dimensionamentos realizados com o GCS seguem a metodologia apresentada na Tabela 28.

Tabela 28 - Metodologia de dimensionamento de cilindros utilizando o GCS

Etapa	Descrição																																																													
Série do cilindro pretendido	Seleção do tipo de cilindro que se pretende aplicar. O <i>software</i> apresenta na sua biblioteca diversas séries de cilindros disponibilizados pela SMC.																																																													
Orientação de montagem	Em função da série selecionada são apresentadas diferentes configurações de montagem do cilindro, devendo selecionar-se a que se enquadra com a aplicação pretendida.																																																													
Características do cilindro	Definição do cilindro pretendido (diâmetro do embolo) e atribuição de condições de funcionamento principais como curso, velocidade, pressão de trabalho e carga nele aplicada.																																																													
Posição da carga aplicada	Posição do centro de massa da carga relativamente ao cilindro.																																																													
Resultados	É feita uma apresentação de resultados para o cilindro analisado. Caso algum valor se encontre fora do toleranciamento do cilindro o <i>software</i> indica o erro e a respetiva melhoria a realizar.	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Name</th> <th>Unit</th> <th>Calculate results</th> <th>Tolerance</th> <th>Judgment</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Operating pressure</td> <td>MPa</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Mean piston velocity</td> <td>mm/s</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Load weight</td> <td>kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Static Moment M1</td> <td>Nm</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Static Moment M2</td> <td>Nm</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Static Moment M3</td> <td>Nm</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Dynamic Moment M1E</td> <td>Nm</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Dynamic Moment M3E</td> <td>Nm</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Load factor</td> <td>-</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Absorption energy(left)</td> <td>J</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Absorption energy(right)</td> <td>J</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Name	Unit	Calculate results	Tolerance	Judgment	Operating pressure	MPa				Mean piston velocity	mm/s				Load weight	kg				Static Moment M1	Nm				Static Moment M2	Nm				Static Moment M3	Nm				Dynamic Moment M1E	Nm				Dynamic Moment M3E	Nm				Load factor	-				Absorption energy(left)	J				Absorption energy(right)	J			
Name	Unit	Calculate results	Tolerance	Judgment																																																										
Operating pressure	MPa																																																													
Mean piston velocity	mm/s																																																													
Load weight	kg																																																													
Static Moment M1	Nm																																																													
Static Moment M2	Nm																																																													
Static Moment M3	Nm																																																													
Dynamic Moment M1E	Nm																																																													
Dynamic Moment M3E	Nm																																																													
Load factor	-																																																													
Absorption energy(left)	J																																																													
Absorption energy(right)	J																																																													

## 3.7 Projeto

### 3.7.1 Representação geral do equipamento

Neste ponto apresenta-se o resultado do projeto realizado. Nas figuras seguintes, Figura 49 a Figura 51, encontram-se algumas ilustrações do projeto final do equipamento.

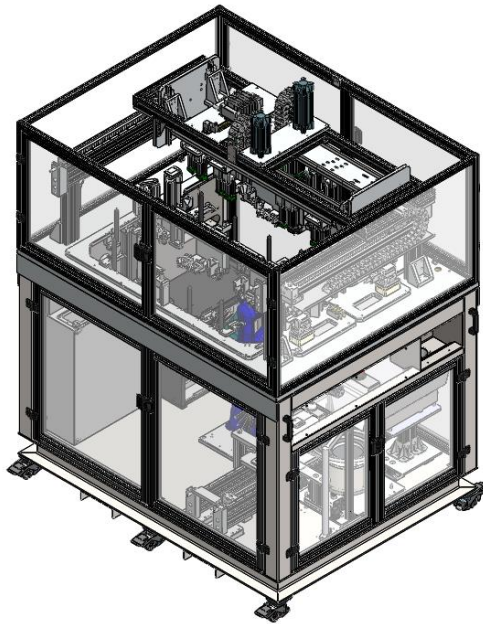


Figura 49 – Vista isométrica do equipamento

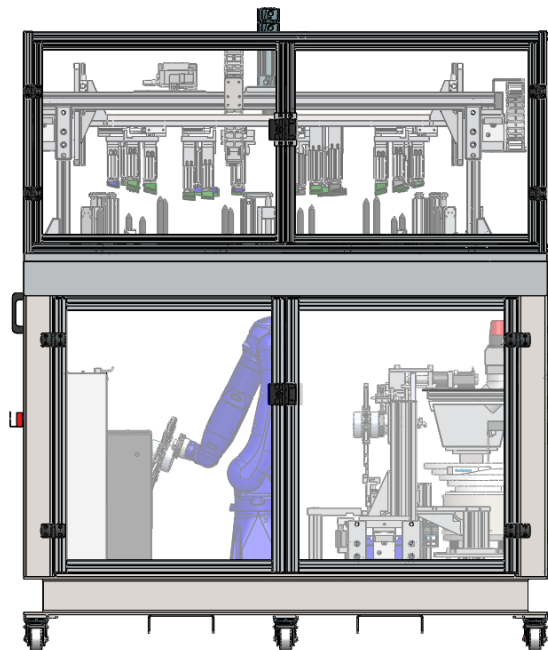


Figura 50 - Vista frontal de equipamento

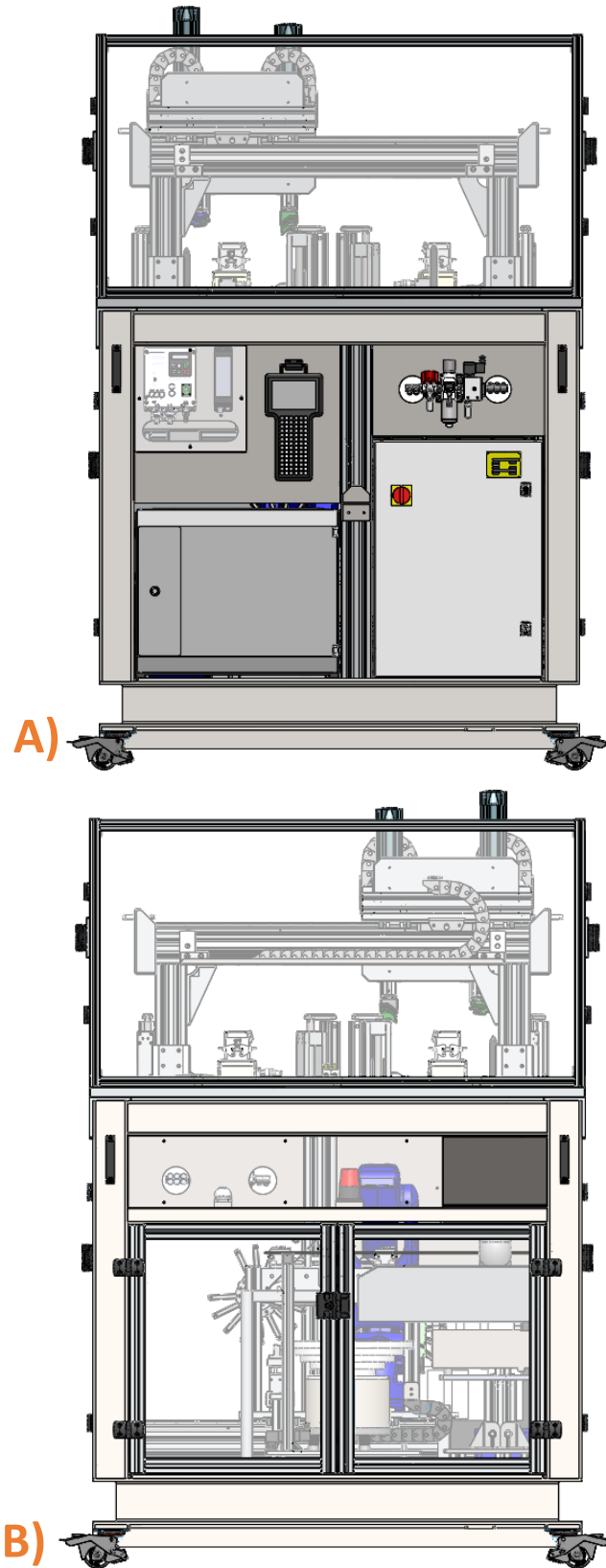


Figura 51 - A) vista lateral esquerda e B) vista lateral direita do equipamento

### 3.7.2 Disposição geral do equipamento

O equipamento projetado divide-se em dois conjuntos principais, nomeadamente célula e Base.

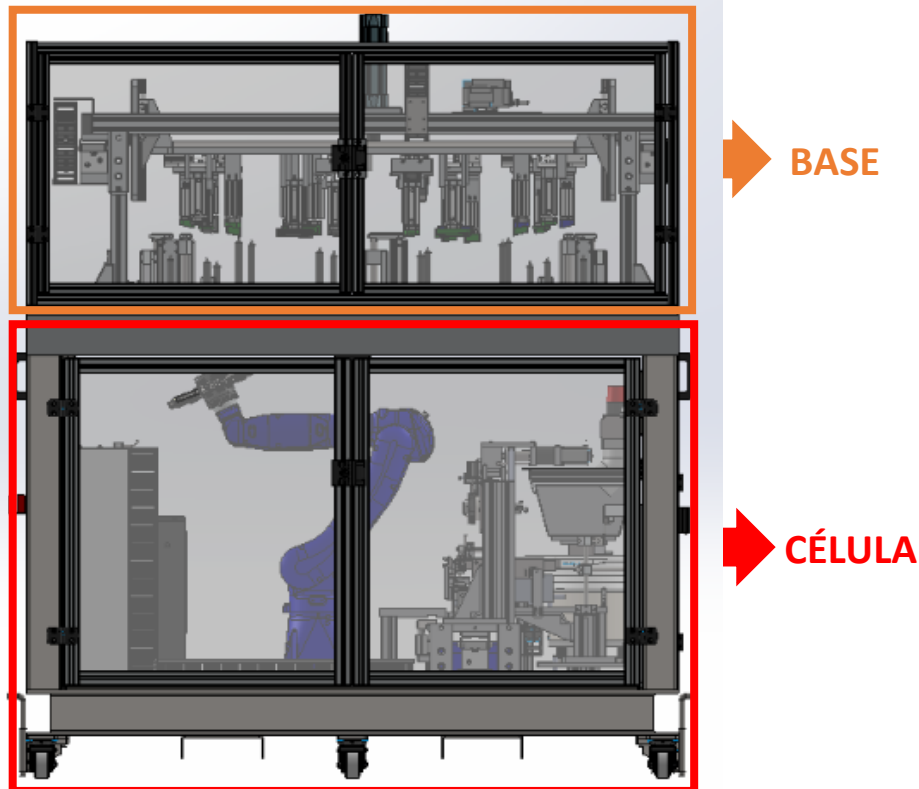


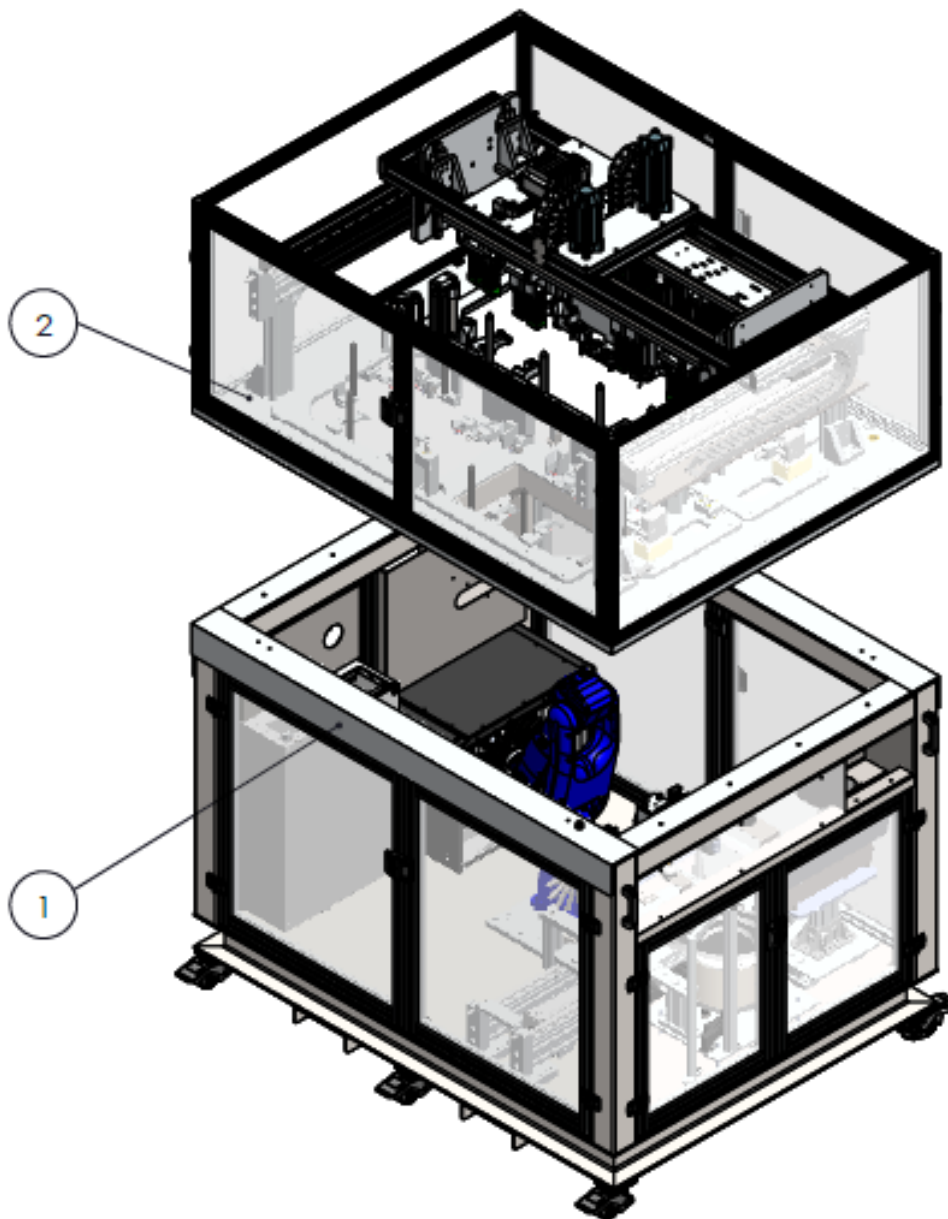
Figura 52 - Disposição geral do equipamento

A Figura 52 apresenta a disposição geral do equipamento, onde se pode observar que a parte superior representa a Base, onde são trabalhadas as peças, e a parte inferior a célula, onde são alimentados os componentes e o robô opera. Nos pontos seguintes são apresentados, de forma mais pormenorizada, estes dois conjuntos principais, e os subconjuntos neles alojados.

Tanto a Base como a célula são completamente fechadas, existindo apenas uma abertura na parte superior do equipamento, que permite a deposição extração e de peças. Este isolamento do equipamento relativamente ao espaço envolvente é possível pelo facto de o mesmo ser completamente automático, e garante ainda a segurança dos operadores na área envolvente do equipamento.

### 3.7.3 Montagem do equipamento

A montagem do equipamento consiste na assemblagem da Base na célula, ficando com dimensões máximas de aproximadamente 1830 mm × 1430 mm × 2160 mm. Encontra-se na Figura 53 o desenho de conjunto do equipamento.



ITEM NO.	PART NUMBER	E/QTY.
1	WRK-CLIC_0100	1
2	WRK-CLIC_0500	1

Figura 53 - Desenho de montagem do equipamento

### 3.7.4 Evolução dos subconjuntos

#### 3.7.4.1 Célula

Desde a Figura 54 à Figura 58 apresentam-se as diversas vistas da célula, que corresponde à parte inferior do equipamento, como mencionado anteriormente.

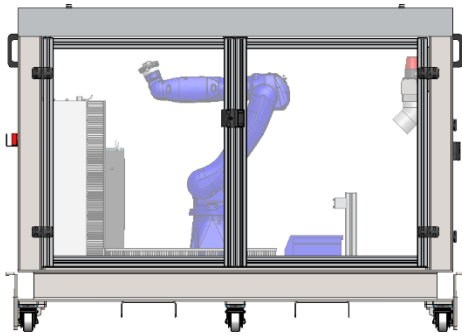


Figura 54 - Vista frontal da célula

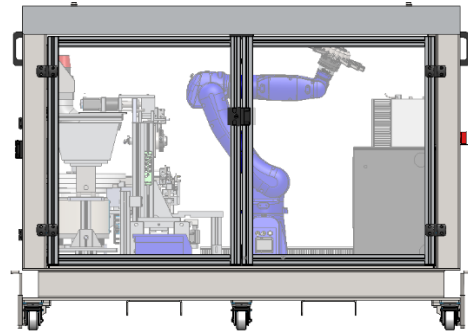


Figura 55 - Vista posterior da célula

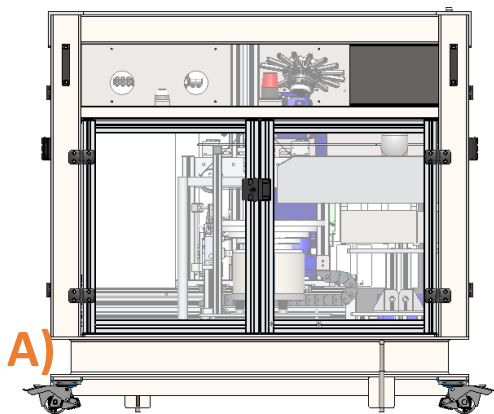


Figura 56 - A) vista lateral direita e B) vista lateral esquerda da célula

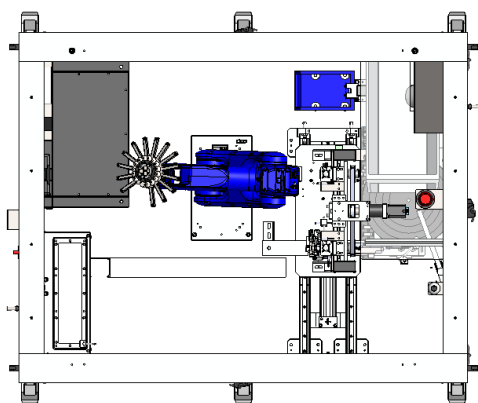


Figura 57 - Vista superior da célula

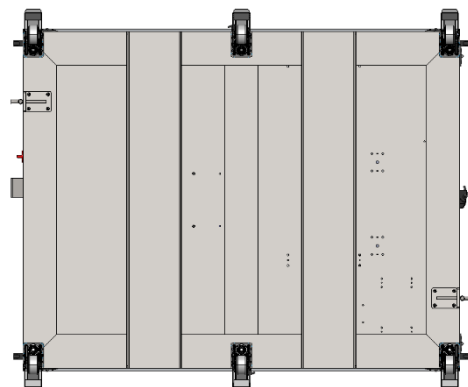


Figura 58 - Vista inferior da célula

### 3.7.4.1.1 Disposição geral da célula

A Figura 59 apresenta a disposição geral dos subconjuntos principais na célula. A disposição dos mesmos passou por uma avaliação cuidadosa do espaço, onde se tentou rentabilizar ao máximo as dimensões *standard* da célula e garantir o máximo de liberdade para o funcionamento do robô.

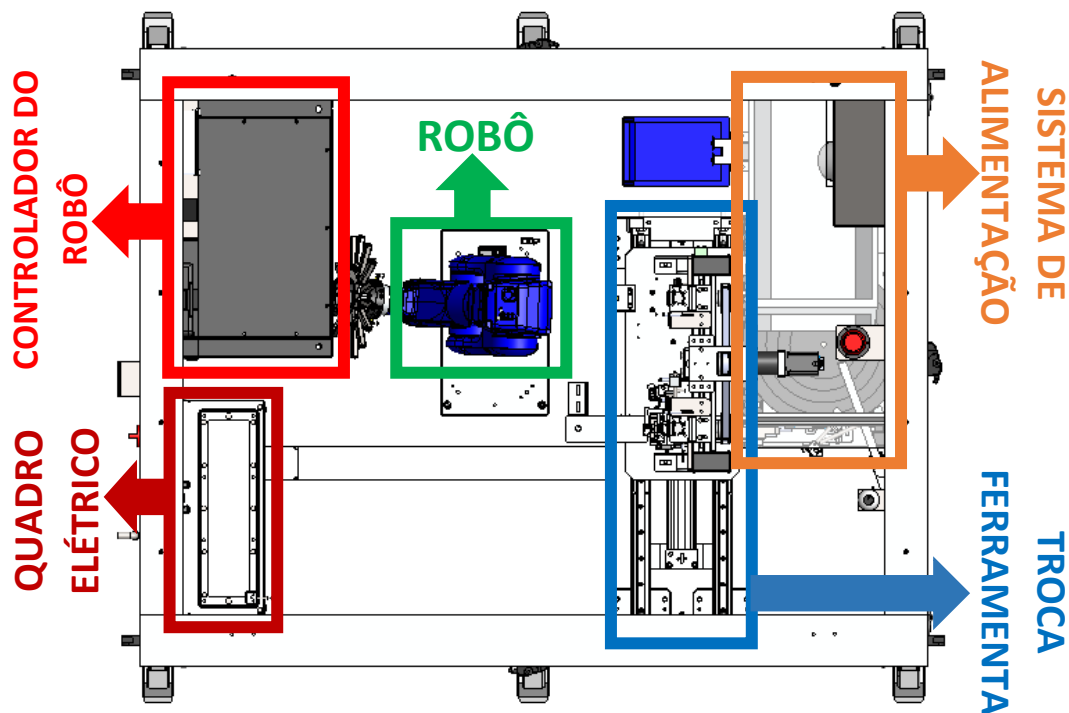


Figura 59 - Disposição geral da célula

Na zona central encontra-se o robô, à sua esquerda, o mais possível à lateral, encontra-se o quadro elétrico e o controlador do robô, à direita, junto à lateral, situa-se o sistema de alimentação de *clips*, e entre o robô e o sistema de alimentação de *clips* encontra-se o sistema de alimentação de ferramentas.

O projeto da célula foi feito por subconjuntos de forma independente. No entanto, foi sempre necessário ter em atenção a sua ligação a todos os outros, sendo assim necessário avaliar o impacto das dimensões de todos os subconjuntos na estrutura final.

O controlador, o robô e o sistema de alimentação apresentam dimensões fixas, e apenas é possível variar a sua posição na célula. Além destes três subconjuntos o quadro elétrico também apresentava pouca flexibilidade relativamente às dimensões. Com isto, e considerando que a sua posição não é muito relevante para o funcionamento do equipamento, estes subconjuntos foram distribuídos pelo espaço da célula, nas zonas mais laterais, considerando principalmente a diminuição de obstáculos na zona de ação do robô.

O sistema de alimentação de ferramentas é o subconjunto mais flexível da célula. Em termos de posição, este subconjunto tem como ponto de referência a saída do sistema de alimentação, tendo de ficar obrigatoriamente à sua frente. No que se refere a dimensões, estas tiveram de ser ajustadas aos movimentos e zona de ação do robô, de forma a permitir o funcionamento do robô.

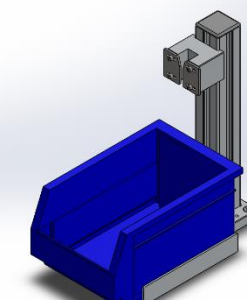
### 3.7.4.1.2 Características principais da célula

Na Tabela 29 são apresentadas as características principais da célula no que se refere ao seu projeto.

Tabela 29 - Características principais da célula

Característica	Ilustração	Justificação
<b>Dimensões</b>		O comprimento de 1830 mm e a largura de 1430 mm são as dimensões <i>standard</i> impostas pelo cliente para este equipamento.
<b>Estrutura principal em perfil estrutural soldado</b>		Por requisito do cliente, a estrutura principal deve ser robusta, com vista a aguentar toda a carga que será exercida pela Base quando colocada no topo da célula, e para que o equipamento seja capaz de absorver as oscilações que eventualmente são criadas pelos movimentos rápidos do robô durante o seu ciclo de trabalho.
<b>Fechos de fixação</b>		Após posicionamento do equipamento no seu local de trabalho, este deve possuir um sistema de bloqueio e posicionamento, existindo para isso dois fechos na parte inferior da célula.
<b>Rodas com sistema de nivelamento e travão</b>		A movimentação do equipamento e nivelamento final no chão de fábrica são realizados pelas seis rodas com travão e sistema de nivelamento. Este ponto é um dos requisitos do cliente, segundo a FEE.
<b>Acabamento em alumínio na parte superior</b>		Na parte superior da estrutura soldada, a célula possui um conjunto de peças em alumínio, que têm como função eliminar possíveis deformações existentes nos perfis estruturais ou provenientes do

		<p>processo de soldadura. Com este acabamento, é mais fácil posicionar a Base e garantir o seu nivelamento.</p>
<p><b>Posicionadores</b></p>		<p>O equipamento foi construído assumindo como pressuposto a possibilidade de futuramente anexar outra Base na célula. Com este pressuposto foi necessário acrescentar um sistema de posicionadores, que garantem o posicionamento correto de qualquer Base que possa vir a ser indexada no sistema. Os posicionadores são também um requisito do cliente, sendo por isso a sua posição definida pelo mesmo.</p>
<p><b>Portas em perfil de alumínio</b></p>		<p>A célula tem acesso ao seu interior por três lados através de portas. Por requisito do cliente, estas são compostas por perfil de alumínio de 45 x 45 mm.</p>
<p><b>Isolamento com policarbonato compacto cristal</b></p>		<p>O interior da célula deve estar visível durante o seu funcionamento. Para cumprir este requisito a célula é isolada (onde possível) com policarbonato compacto cristal.</p>
<p><b>Calhas para empilhador</b></p>		<p>Em determinadas ocasiões, o equipamento poderá ser sujeito a deslocações que exijam demasiado esforço, recorrendo-se para isso a um empilhador. Deste modo, o equipamento possui na sua parte inferior duas calhas para guiarem os garfos do empilhador, permitindo um manuseamento seguro do equipamento.</p>
<p><b>Fechaduras com chave</b></p>		<p>O acesso ao interior do equipamento deve ser restrito, essencialmente por questões de segurança, pelo que se aplicam em todas as portas fechaduras com chave, ficando à responsabilidade do cliente as permissões de acesso ao interior.</p>

<p><b>Zona de Limpeza de Ferramentas</b></p>		<p>Em determinadas situações, como arranque ou falha na inserção, o equipamento precisa de limpar a ferramenta ou parte dela, garantindo que esta está novamente pronta para carregamento. Deste modo, foi introduzido um ponto de limpeza, onde o robô pode retirar os <i>clips</i> da ferramenta e os mesmos ficam armazenados numa caixa.</p>
--	---	--

### 3.7.4.1.3 Listagem de componentes da célula

A célula tem alojados no seu interior diversos subconjuntos que serão abordados individualmente no desenrolar da presente dissertação. Deste modo, na Tabela 30 é apresentada a lista de componentes normalizados da célula que não são considerados nos subconjuntos nela alojados. As fichas técnicas destes componentes encontram-se no Anexo I.

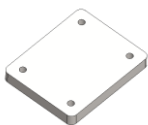
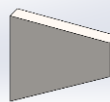
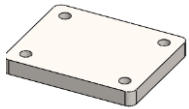

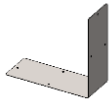
Tabela 30 - Lista de componentes normalizados da célula

Componente	Quantidade	Fabricante/ Fornecedor	Ilustração	Observação
Viga HEA 140	--	--		Adquirida com um comprimento de 6 m. Cortes realizados internamente.
Tubo 100 x 100	--	--		Adquirido com um comprimento de 6 m. Cortes realizados internamente.
Fechos	2	Maqmais		<b>Dimensões:</b> Ø16 mm, Comprimento 235 mm.
Rodas	6	Bosch		Ø80 mm, com travão e sistema de nivelamento. <b>Referência:</b> 3 842 555 610
Pegas	4	Boteco		<b>Referência:</b> B224117.TG8.501PP
Quadro Elétrico	1	Eldon		<b>Referência:</b> MAS0705026R5

Perfil Alumínio	--	Bosch		<b>Dimensão:</b> 90 × 45 mm e 45 × 45 mm
Dobradiças	12	Fath		<b>Referência:</b> 095K4545F10
Fechaduras	3	Bosh		<b>Referência:</b> 3 842 530 353
Robô + Controlador	1 + 1	MOTOMAN (Fornecido pelo cliente)		<b>Modelo:</b> YASKAWA GP7 + YCR1000
<i>Tool Changer</i>	1	Schunk		<b>Referência:</b> SWK-020-000-000
Sensor Magnético	3	Schemersal		<b>Referência:</b> BNS 260-11ZG-L-ST + BPS 260
Tubo PVC	1	CHAGAS		Curva 45° com Ø90 mm
Caixa Plástico	1	Maqmais		Caixa 236 × 160 × 130 mm <sup>3</sup>
Policarbonato Compacto Cristal	--	Dagol		Produto comprado com os cortes pretendidos
Sinalizador sonoro e luminoso	1	SONO-LAMP		<b>Referência:</b> 10.43.01C
Sinalizador sonoro e luminoso	1	Banner		<b>Referência:</b> K50LGRA1YPQ
Tampa de perfil 45 x 45	25	Bosch		<b>Referência:</b> 3 842 548 753
Unidade de tratamento de ar	1	SMC		<b>Referência:</b> AC30-RBW027

Além dos componentes normalizados a célula apresenta na sua constituição uma série de componentes não normalizados, sendo estes apresentados na Tabela 31. Os desenhos referentes às peças a seguir listados encontram-se no Anexo II.

Tabela 31 - Lista de componentes não normalizados da célula

Designação	Quantidade	Ilustração	Observações
WRK-CLIC_0101	1		Peça que preenche a parte inferior da célula e que suporta os subconjuntos no seu interior.
WRK-CLIC_0102	2		Chapas aplicadas no inferior da célula para facilitar o transporte do equipamento.
WRK-CLIC_0103	8		Peça de apoio para colocação das rodas e dos fechos na estrutura do equipamento.
WRK-CLIC_0104	2		Peças constituintes do suporte dos fechos.
WRK-CLIC_0105	2		
WRK-CLIC_0106	2		
WRK-CLIC_0107	2		Peças de apoio à aplicação da Base sobre a estrutura da célula, compensando deformações e defeitos da estrutura.
WRK-CLIC_0108	2		
WRK-CLIC_0109	1		Chapa de suporte dos controladores dos alimentadores e da consola de programação do robô.
WRK-CLIC_0110	1		Chapa de suporte da unidade de tratamento de ar.
WRK-CLIC_0111	1		Chapa de isolamento dos controladores dos alimentadores.
WRK-CLIC_0112	6		Batentes das portas de isolamento da estrutura.
WRK-CLIC_0113	1		Suporte de cabos de alimentação pneumática e elétrica do equipamento.

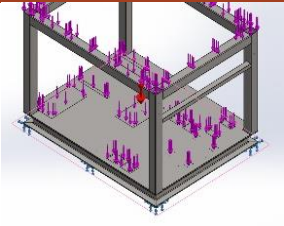
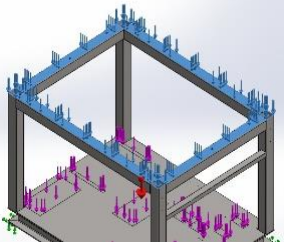
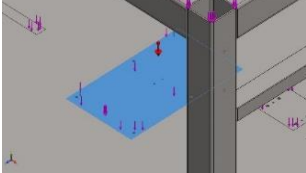
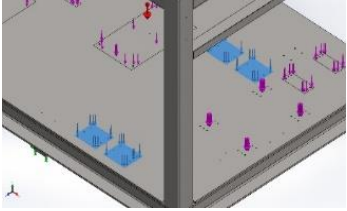
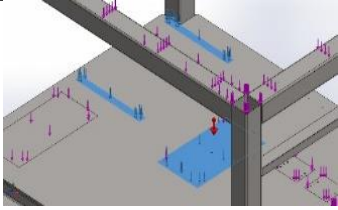
<b>WRK-CLIC_0114</b>	2		Posicionadores da Base na célula.
<b>WRK-CLIC_0115</b>	1		Placa de fixação do Robô à estrutura.
<b>WRK-CLIC_0116</b>	1		Peça de ligação do <i>Tool Changer</i> ao robô.
<b>WRK-CLIC_0117</b>	6		Suporte de detetores nas portas.
<b>WRK-CLIC_0118</b>	1		Constituintes do funil de alimentação de componentes.
<b>WRK-CLIC_0119</b>	2		
<b>WRK-CLIC_0120</b>	1		
<b>WRK-CLIC_0121</b>	1		Suporte da consola de programação.
<b>WRK-CLIC_0122</b>	2		Peças de suporte, fixação e auxílio do sistema de limpeza de ferramentas.
<b>WRK-CLIC_0123</b>	1		
<b>WRK-CLIC_0124</b>	1		
<b>WRK-CLIC_0125</b>	2		
<b>WRK-CLIC_0126</b>	1		
<b>WRK-CLIC_0127</b>	1		Suporte de sinalizador.
<b>WRK-CLIC_0128</b>	1		Peças de suporte da pistola de ar comprimido.
<b>WRK-CLIC_0129</b>	1		

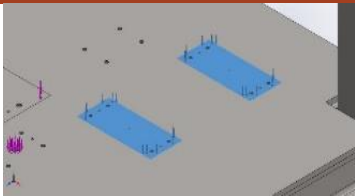
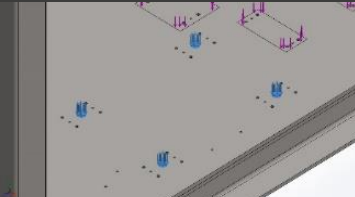
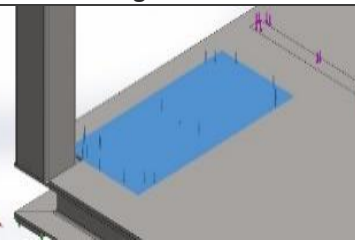
### 3.7.4.1.4 Dimensionamento da célula

Uma vez que a célula suporta todos os subconjuntos do equipamento, foi realizada uma análise de MEF à estrutura da mesma, com o objetivo de analisar a capacidade de esta suportar o peso da Base, que irá suportar na parte superior, e os subconjuntos principais que irá alojar.

Com o objetivo de simplificar a análise foi considerada apenas a estrutura soldada que dá forma e rigidez ao conjunto. Assim, foram descartados alguns componentes, os quais se considerou que não tinham grande impacto ao nível da integridade da estrutura. As forças aplicadas à estrutura que foram consideradas na análise realizada são apresentadas na Tabela 32.

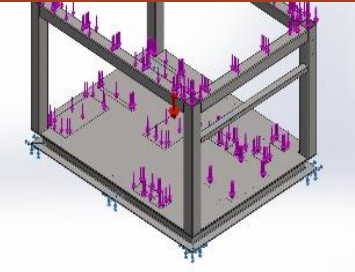
Tabela 32 - Forças aplicadas na estrutura soldada

Força aplicada	Representação
Gravidade	
Peso da totalidade da Base que a célula suportará	 <p data-bbox="970 1261 1190 1294"><b>Carga de 4000 N</b></p>
Peso do robô sobre a estrutura	 <p data-bbox="978 1480 1181 1514"><b>Carga de 400 N</b></p>
Peso do sistema de troca de ferramenta distribuído pelos seus quatro apoios	 <p data-bbox="978 1731 1181 1765"><b>Carga de 550 N</b></p>
Peso do controlador do robô ao canto da estrutura	 <p data-bbox="978 1977 1181 2011"><b>Carga de 700 N</b></p>

Peso da unidade de autonomia e todos os seus elementos de posicionamento e fixação	 <p><b>Carga de 350 N</b></p>
Peso do sistema de alimentação distribuídos pelos quatro pontos de apoio do mesmo na estrutura	 <p><b>Carga de 200 N</b></p>
Peso do quadro elétrico e seus constituintes	 <p><b>Carga de 500 N</b></p>

Para a análise foram ainda consideradas as condições fronteira que se encontram a seguir, na Tabela 33.

Tabela 33 - Condições fronteira na análise da estrutura soldada

Condições Fronteira	Representação
Apoio fixo em todos os pontos onde se situam as rodas com sistema de fixação e nivelamento da estrutura	

Após definição das forças aplicadas na estrutura e das condições fronteira associadas à mesma, definiram-se os parâmetros de malha a utilizar na análise à estrutura, sendo estes apresentados na Tabela 34. Na Figura 60 apresenta-se a representação da malha gerada pelo SolidWorks na estrutura da célula.

Tabela 34 - Parâmetros da malha utilizada na simulação da estrutura soldada

<b>Tipo de malha</b>	Malha Sólida
<b>Malha usada</b>	Malha Standard do SolidWorks
<b>Tamanho máximo de elementos</b>	10 mm
<b>Tamanho mínimo de elementos</b>	0,5 mm
<b>Número de elementos</b>	640 207
<b>Número de nós</b>	1 198 577

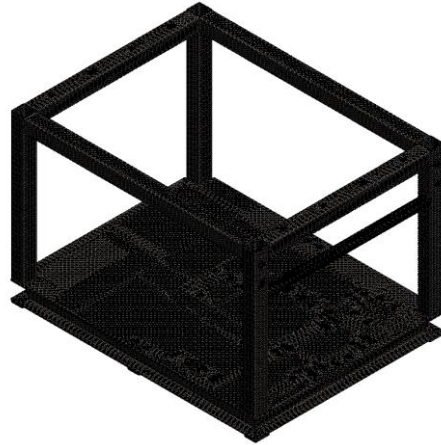


Figura 60 - Malha gerada para análise à estrutura da célula

Da análise realizada foram extraídos resultados em termos de tensões equivalentes de von Mises e de deslocamentos resultantes, os quais se encontram na Figura 61 e Figura 62, respetivamente.

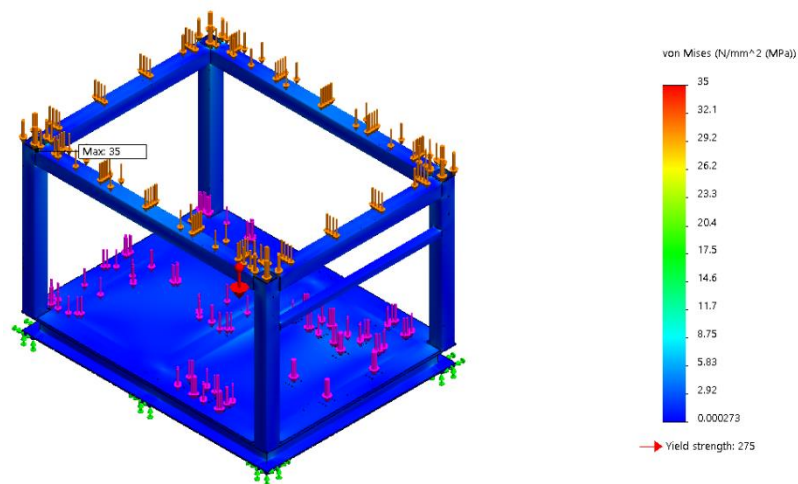


Figura 61 - Tensões equivalentes de von Mises na estrutura da célula

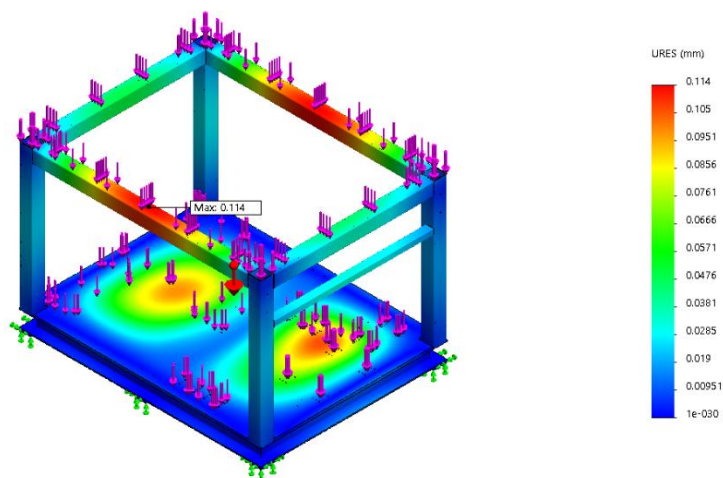


Figura 62 – Deslocamentos resultantes na estrutura da célula

Os resultados obtidos indicam uma tensão máxima de 35 MPa, e no que se refere a deslocamentos resultantes na estrutura, o valor máximo obtido é 0,114 mm. Estes resultados indicam que a estrutura é capaz de suportar os esforços a que está sujeita, uma vez que se encontra sobredimensionada.

A estrutura encontra-se sobredimensionada devido aos requisitos do cliente no que se refere à estrutura do equipamento, ao entender do mesmo a estrutura deve ser robusta com o objetivo de absorver todas as vibrações geradas pelo movimento do robô durante seu ciclo de trabalho. Além da necessidade de absorver os movimentos do robô, a estrutura deve ser capaz de suportar os mais diversos choques e impactos que podem surgir durante deslocamentos do equipamento, que serão constantes ao longo do tempo.

#### 3.7.4.1.5 Montagem da célula

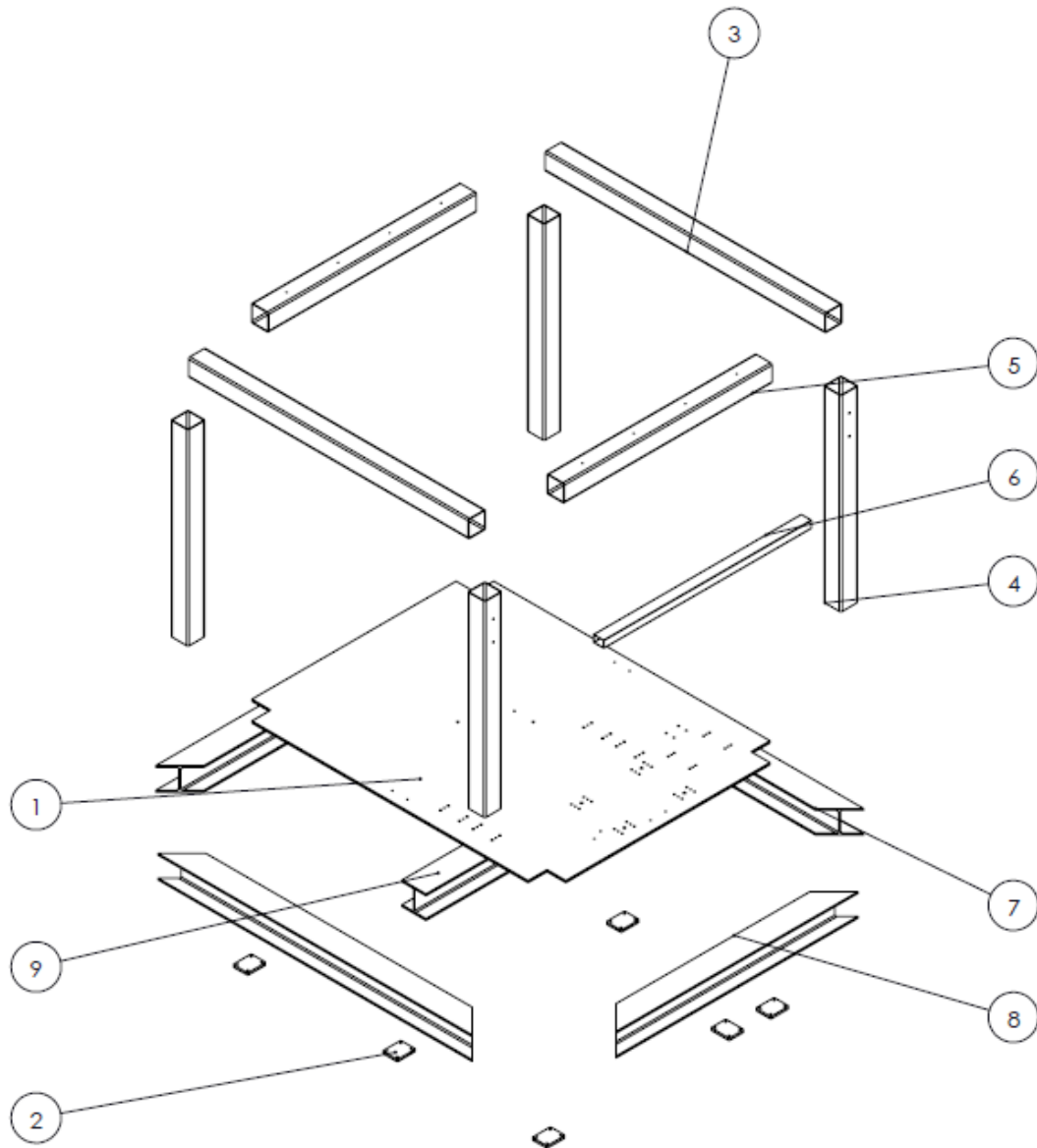
A montagem da célula passa numa fase inicial pela preparação da estrutura soldada. Esta etapa corresponde à soldadura dos componentes e posteriormente a pintura da estrutura.

Após preparação da estrutura soldada inicia-se a montagem dos componentes principais da mesma, como as rodas, o robô, o controlador do robô, o quadro elétrico, as chapas de suporte dos controladores e da unidade de tratamento de ar, e ainda as peças de apoio ao posicionamento da Base sobre a célula.

Após preparação da estrutura são anexados os subconjuntos principais, o sistema de alimentação e o sistema de troca de ferramenta, sendo estes aplicados após montagem previa.

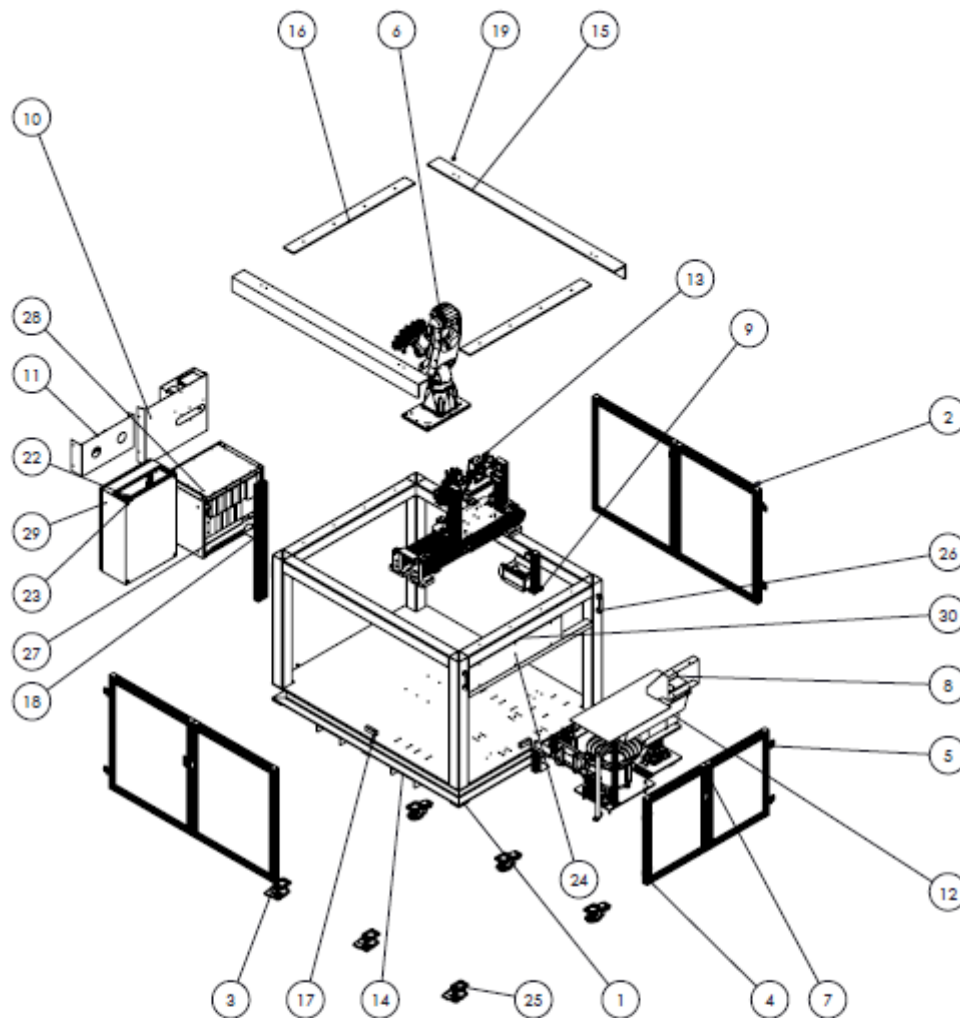
Para o isolamento da estrutura são aplicadas as portas, que na sua preparação contemplam a montagem dos perfis de alumínio constituintes e os policarbonatos.

De seguida, é apresentado o desenho de soldadura da estrutura da célula, na Figura 63, e na Figura 64 encontra-se o desenho para posterior montagem.



ITEM NO.	PART NUMBER	E_S/QTY.
1	WRK-CLIC_0101	1
2	WRK-CLIC_0103	8
3	WRK-CLIC_TUBO-100X100X4_003	2
4	WRK-CLIC_TUBO-100X100X4_001	4
5	WRK-CLIC_TUBO-100X100X4_002	2
6	WRK-CLIC_TUBO-60X40X3_001	1
7	WRK-CLIC_HEA140_002	2
8	WRK-CLIC_HEA140_001	2
9	WRK-CLIC_HEA140_003	1

Figura 63 - Desenho de montagem da estrutura soldada da célula



ITEM NO.	PART NUMBER	E/QTY.
1	WRK-CLUC_0100A	1
2	WRK-CLUC_0100C	2
3	WRK-CLUC_0100C	2
4	WRK-CLUC_0100D	1
5	WRK-CLUC_0100D	1
6	WRK-CLUC_0100E	1
7	WRK-CLUC_0100F	3
8	WRK-CLUC_0100G	1
9	WRK-CLUC_0100H	1
10	WRK-CLUC_0100J	1
11	WRK-CLUC_0100I	1
12	WRK-CLUC_0200	1
13	WRK-CLUC_0400	1
14	WRK-CLUC_0102	2
15	WRK-CLUC_0107	2

ITEM NO.	PART NUMBER	E/QTY.
16	WRK-CLUC_0108	2
17	WRK-CLUC_0112	6
18	WRK-CLUC_0113	1
19	WRK-CLUC_0114	2
20	WRK-CLUC_0126	1
21	WRK-CLUC_0127	1
22	WRK-CLUC_0128	1
23	WRK-CLUC_0129	1
24	WRK-CLUC_PC-4_001	1
25	leveling castor 3D 03022017	6
26	B224117.TG8.S01PP	4
27	WRK-CLUC_90X45_001	1
28	CONTROLADOR_YCR1000	1
29	Quadro Eléctrico	1

Figura 64 - Desenho de montagem da célula

### 3.7.4.2 Ferramenta

Durante o ciclo de funcionamento do equipamento o robô efetua a inserção de catorze *clips* na peça. Para que a inserção seja realizada de forma rápida, é desejável que o robô faça um único percurso, contínuo e simples. Para que tal aconteça, neste tipo de equipamentos, o robô é equipado com uma ferramenta. A ferramenta apresenta a função de transportar os *clips* necessários para um ciclo de trabalho no equipamento, neste caso catorze, e com ela o robô faz o ciclo de inserção sem desvios intermédios, percorrendo apenas o percurso definido para a inserção. Nas figuras seguintes, Figura 65 à Figura 67, apresenta-se a ferramenta projetada para o equipamento.

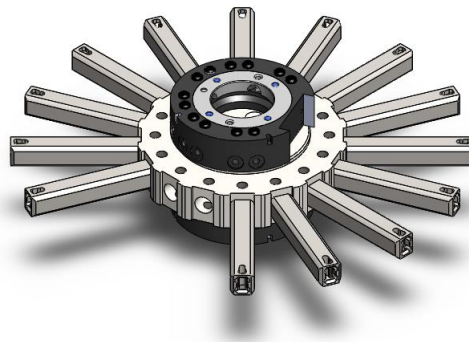


Figura 65 - Vista isométrica da ferramenta

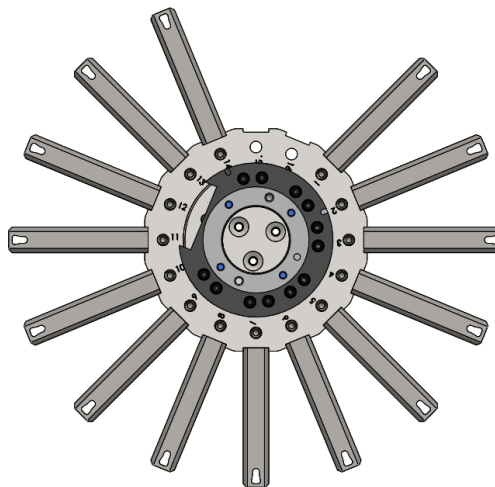


Figura 66 - Vista de topo da ferramenta



Figura 67 - Vista lateral da ferramenta

### 3.7.4.2.1 Disposição geral da ferramenta

A ferramenta é um subconjunto do equipamento de simples composição, sendo constituída essencialmente por três constituintes principais, a placa de centro, os dedos e o sistema de troca rápida. Os dedos fazem o alojamento dos *clips*, e estão ligados à placa central, que agrupa todos os dedos. Nos dois lados da placa de centro encontra-se o sistema de auxílio à troca rápida de ferramenta, que será utilizado para alternar a ferramenta a utilizar pelo robô, uma vez que o equipamento apresenta duas ferramentas e deve ser realizada uma troca no final de cada ciclo de inserção. Na Figura 68 está representada a disposição geral descrita.

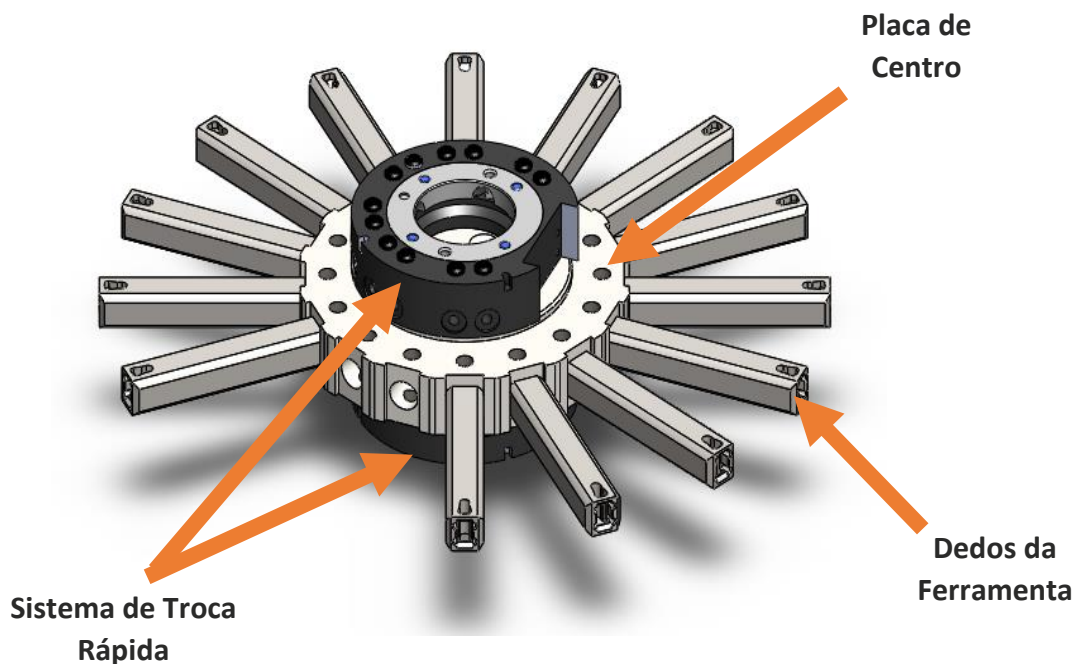


Figura 68 - Disposição geral da ferramenta

Possuindo o equipamento duas ferramentas, e apresentando ambas a mesma função, ambas apresentam a mesma disposição geral, e conseqüentemente, as mesmas características e aspeto.


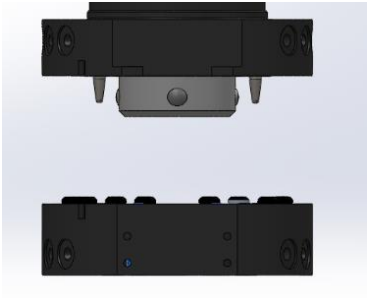
### 3.7.4.2.2 Características principais da ferramenta

A ferramenta apresenta uma composição simples, levando a que a mesma apresente poucas peças na sua constituição. No entanto, durante o projeto foi necessário considerar determinadas características que conferissem à mesma capacidade para desempenhar a sua função corretamente.

Na Tabela 35 são apresentadas as principais características associadas ao projeto da ferramenta.

Tabela 35 – Características principais da ferramenta

Característica	Ilustração	Justificação
<b>Orientação de clips</b>	 <p>A</p> <p>B</p>	<p>Os <i>clips</i> ficam alojados na peça como se apresenta nas figuras à esquerda (A e B). A ferramenta, tendo por finalidade a inserção dos <i>clips</i> na peça, deve ter os <i>clips</i> carregados de forma a permitir a montagem.</p> <p>Ficando os <i>clips</i> com as abas inseridas na peça, a orientação dos <i>clips</i> na ferramenta contempla que as abas do mesmo fiquem do lado exterior da ferramenta. A inserção é posteriormente realizada com um movimento horizontal de entrada na peça e um movimento vertical para baixo, separando o <i>clip</i> da ferramenta. Ao separar o <i>clip</i> da ferramenta, o mesmo expande e fica devidamente alojado nos porta <i>clips</i> da peça.</p>
<b>Alojamento de clips</b>		<p>Os dedos possuem cavidade de alojamento para o <i>clip</i>, contemplando esta cavidade dois princípios obrigatórios. O primeiro passa por o <i>clip</i> ficar comprimido na ferramenta, pois é assim que ele entra na peça. O segundo consiste em garantir que, durante os movimentos da ferramenta, desde o carregamento até à inserção, o <i>clip</i> não se liberta da mesma. Assim, a cavidade foi projetada considerando a geometria do <i>clip</i> comprimido e apresenta uma contra saída de forma a prender o <i>clip</i> o suficiente para o mesmo não se libertar. Foi ainda considerado que a força para carregamento e libertação do <i>clip</i> não seja demasiado elevada, com vista a não danificar o sistema de carregamento nem a peça.</p>

<p><b>Geometria exterior</b></p>		<p>A ferramenta apresenta um formato circular (estrela). Com esta forma, o robô com o movimento de rotação do seu último eixo transita facilmente de <i>clip</i> em <i>clip</i>, passando de uma inserção para a seguinte o mais rápido possível.</p> <p>Além de facilitar os movimentos do robô, o formato circular apresenta-se como a única opção viável para o carregamento da ferramenta, onde será realizado um movimento de rotação, como será mencionado posteriormente quando abordado o sistema de carregamento de <i>clips</i> na ferramenta.</p>
<p><b>Dimensão</b></p>		<p>As dimensões da ferramenta estão dependentes do espaço livre na zona de inserção de <i>clip</i> na peça. A ferramenta foi projetada considerando o comprimento e espaço entre dedos, de forma a evitar colisões da mesma com os ninhos associados à Base.</p>
<p><b>Troca rápida</b></p>		<p>O funcionamento do equipamento contempla a utilização de duas ferramentas, entre as quais o robô tem de alternar.</p> <p>A troca de ferramenta efetuada deve ser rápida e garantir estabilidade da mesma no sistema ao qual se encontra ligada (robô ou sistema de troca de ferramenta). Deste modo foi adotada a implementação de um sistema de troca rápida. O sistema é constituído por dois componentes, macho e fêmea, que se ligam entre eles por acionamento pneumático. Assim, a ferramenta possui, acoplado de ambos os lados, o componente fêmea do sistema de troca rápida, permitindo no momento da troca o robô estar ligado a um dos lados, enquanto o outro é encaixado no sistema de troca de ferramenta.</p>

### 3.7.4.2.3 Listagem de componentes da ferramenta

A ferramenta, sendo um conjunto relativamente pequeno e de baixa complexidade, apresenta na sua composição um número reduzido de peças.

Considerando que a ferramenta foi concebida para trabalhar em particular com o *clip* metálico que será inserido nas peças, a maioria dos seus componentes foram projetados e produzidos exclusivamente para este projeto.

Seguidamente, na Tabela 36 e Tabela 37, são listados os componentes normalizados e não normalizados que compõem a ferramenta.

Tabela 36 - Listagem de componentes normalizados da ferramenta

Componente	Quantidade	Fabricante/ Fornecedor	Ilustração	Observações
Schunk SWA-020	2	Schunk		Aplicado sem ligações elétricas, e sem sistema de vácuo <b>Referência:</b> SWA-020-000-000

Tabela 37 - Listagem de componentes não normalizados da ferramenta

Designação	Quantidade	Ilustração	Observações
WRK-CLIC_0301	1		Centro da ferramenta. Suporte dos dedos da ferramenta e dos acessórios de troca rápida.
WRK-CLIC_0302	2		Placa de ligação dos acessórios de troca rápida ao centro da ferramenta.
WRK-CLIC_0303	14		Dedos da ferramenta, onde é alojado o <i>clip</i> até ao momento de inserção.

As fichas técnicas referentes aos componentes normalizados encontram-se no Anexo I e os desenhos correspondentes aos componentes não normalizados da ferramenta são apresentados no ANEXO II.

### 3.7.4.2.4 Montagem da ferramenta

A montagem das ferramentas compreende a assemblagem de todos os dedos ao centro da ferramenta. A assemblagem dos dedos da ferramenta requer especial atenção, pois todos os dedos devem ficar devidamente montados, para que,

posteriormente, no carregamento das ferramentas, não surjam problemas provenientes de desvios causados por uma montagem descuidada.

Além da montagem dos dedos no centro é aplicado, em ambos os lados da ferramenta, um acessório de troca rápida, para posterior conexão ao robô e ao sistema de troca de ferramenta. Os acessórios são acoplados a uma placa de ligação, utilizando os acessórios de ligação fornecidos pelo fabricante. Posteriormente, ambas as placas são ligadas ao centro da ferramenta.

De seguida, na Figura 69, apresenta-se o esquema de montagem da ferramenta.

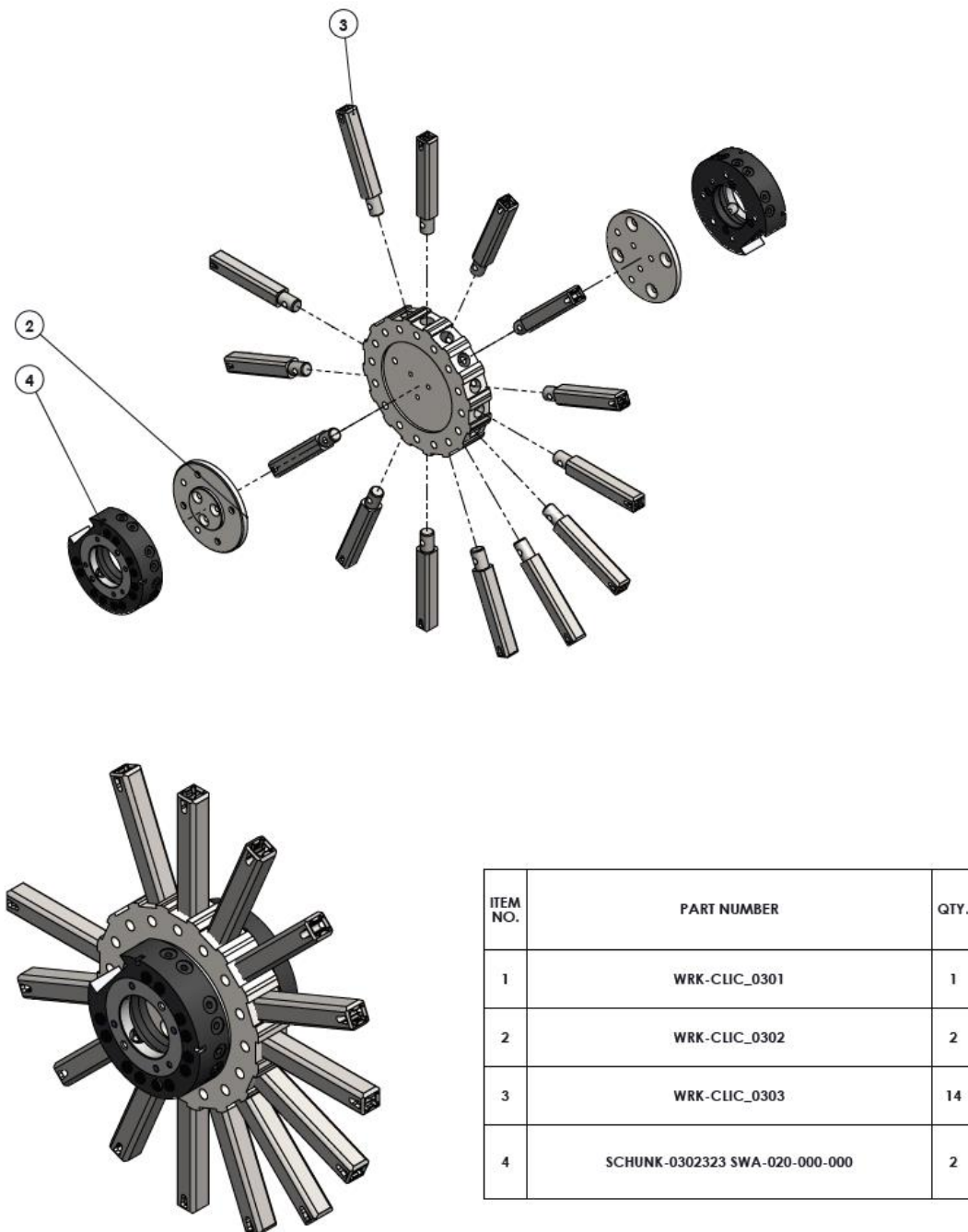


Figura 69 - Desenho de montagem da ferramenta

### 3.7.4.3 Sistema de alimentação

Os *clips* chegam à zona de trabalho empacotados de forma aleatória para posterior colocação na ferramenta. Em determinados equipamentos, ou operações, a montagem dos *clips* é feita por um operador, que faz a sua manipulação, aplicando-os da forma correta. No entanto, tal como foi referido anteriormente, pretende-se que o equipamento seja autónomo, sendo assim necessário que este receba os *clips* e proceda à sua orientação e separação para posterior utilização. Para cumprir com este objetivo, foi introduzido um sistema de alimentação de *clips* no equipamento, ficando este situado na célula. A seguir, nas figuras Figura 70, Figura 71 e Figura 72 são apresentadas algumas ilustrações do sistema.

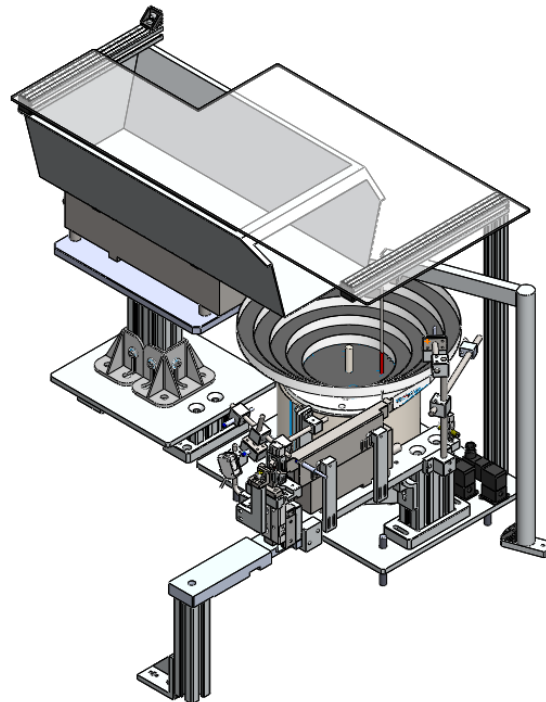


Figura 70 - Vista isométrica do sistema de alimentação de *clips*

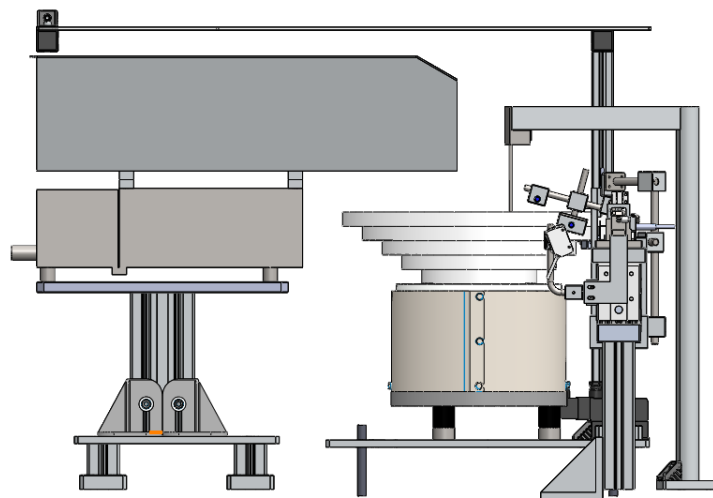


Figura 71 - Vista frontal do sistema de alimentação de *clips*

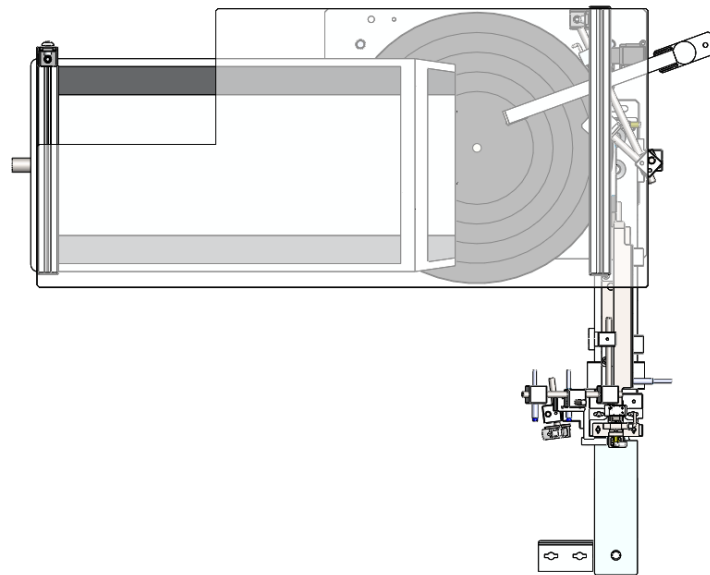


Figura 72 - Vista de topo do sistema de alimentação de *clips*

#### 3.7.4.3.1 Disposição geral do sistema de alimentação

O sistema de alimentação apresenta como subconjuntos principais a unidade de armazenamento, o alimentador circular e a unidade pulmão (alimentador linear que garante a vibração dos *clips* até ao ponto de carregamento, garantindo a cadência do sistema), sendo estes três os elementos de vibração que geram o movimento dos *clips* no sistema movendo-os até o carregador de *clips*, como se observa na Figura 73.

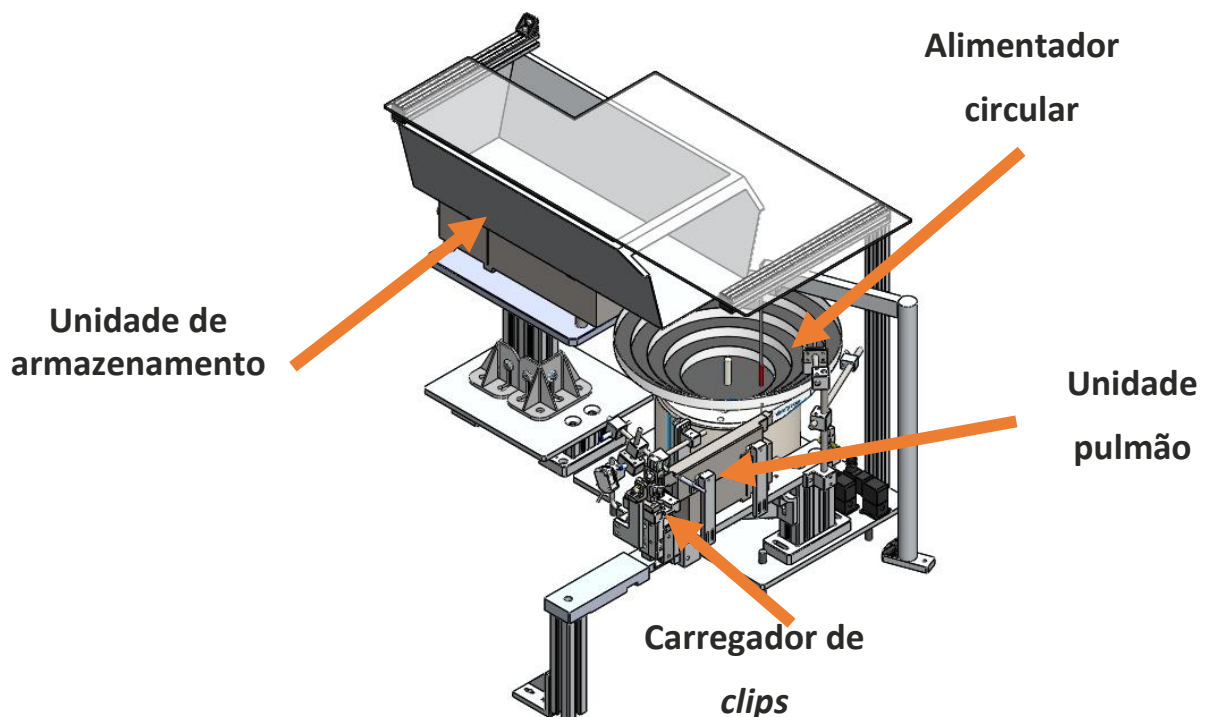


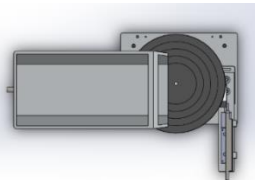
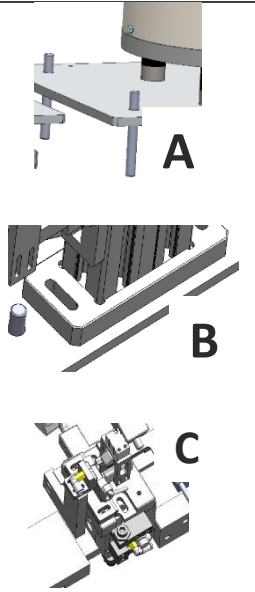
Figura 73 - Disposição geral do sistema de alimentação de *clips*

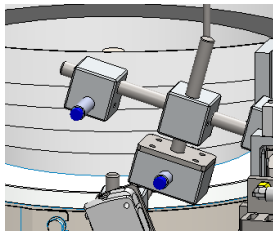
### 3.7.4.3.2 Características principais do sistema de alimentação

Com o objetivo de garantir uma alimentação constante de *clips*, de forma automática e sem falhas, o projeto do sistema de alimentação foi realizado considerando diversas características, desde o ponto de alimentação, até ao ponto de carregamento.

A Tabela 38 apresenta de forma sucinta as características principais associadas ao sistema de alimentação.

Tabela 38 - Características principais do sistema de alimentação

Característica	Ilustração	Justificação
Unidades de vibração		As escolhas referentes às unidades de vibração aplicadas seguiram o aconselhamento do seu fornecedor para o problema apresentado, ficando o sistema constituído por três unidades, apresentadas anteriormente na disposição geral.
Disposição das unidades de vibração		A disposição das unidades de vibração segue uma sequência lógica pré-definida pelo fornecedor.
Ajuste de posições		O alimentador circular é concebido pelo fornecedor sem elaboração de projeto, pois este varia consoante o comportamento do componente a alimentar. Assim, no projeto deste equipamento foi considerado um ficheiro 3D com as dimensões aproximadas. Para absorver possíveis variações de algumas cotas colocaram-se alguns pontos de ajuste de posição, na vertical (A) para o alimentador circular, e na horizontal (B) para posicionar a unidade pulmão (B). Na zona de carregamento foi necessário considerar as possíveis variações no comportamento dos <i>clips</i> e na geometria dos mesmos, pelo que foram atribuídos os pontos de afinação necessários (C).
Isolamento superior		Durante o ciclo de funcionamento do equipamento o robô desloca-se sobre os alimentadores, fazendo inserções sobre esses, podendo ocorrer queda de <i>clips</i> da ferramenta ou até mesmo ocorrer má inserção na peça, podendo isso levar à queda de <i>clips</i> dentro dos alimentadores. Por informação do fornecedor do sistema de alimentação, este tipo de situações deve ser evitado. Assim, foi colocado sobre o sistema de alimentação uma placa de policarbonato de proteção.

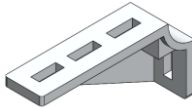
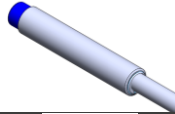

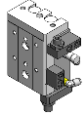
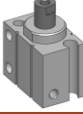
<p><b>Pontos de deteção de clips</b></p>		<p>Para indicar que o sistema não possui <i>clips</i> para alimentar foi colocada uma deteção de cuba vazia, em forma de pêndulo (A).</p> <p>O alimentador circular abastece a unidade pulmão, mas quando esta se encontra cheia, os <i>clips</i> têm tendência a acumular-se na pista do alimentador circular, perturbando a alimentação, pelo que existe uma deteção de calha cheia (B) que leva à eliminação dos <i>clips</i> da pista quando a unidade pulmão está completa.</p> <p>Por fim, o carregamento do <i>clip</i> na ferramenta é feito após deteção do mesmo no carregador (D).</p>
<p><b>Bloqueio de clips</b></p>		<p>A rotação da ferramenta e o movimento horizontal do sistema de alimentação devem ocorrer sem a existência de <i>clip</i> no ponto de carregamento. Para tal, foi criado um ponto de bloqueio de <i>clips</i> no final da calha da unidade pulmão.</p>
<p><b>Verificação de correto carregamento</b></p>		<p>Após carregamento do <i>clip</i> num dedo da ferramenta, deve ser garantido que o mesmo ficou de facto na ferramenta. Para tal, foram aplicados dois pontos de deteção, que verificam a presença do <i>clip</i> na ferramenta quando esta avança para o carregamento de outro dedo.</p>
<p><b>Sopros</b></p>		<p>Certos <i>clips</i> podem apresentar defeitos e gerar falhas no carregamento, quando isto acontece o <i>clip</i> com defeito pode ficar bloqueado no ponto de carregamento, gerando um ciclo de falhas. Para solucionar esta falha foi aplicado um sopro lateral que o expulsa o <i>clip</i> do carregador se necessário.</p> <p>A par do sopro lateral existe um frontal, que é responsável por afastar os <i>clips</i> da zona do carregador sempre que a ferramenta tem necessidade de rodar, evitando assim colisões.</p> <p>Quando é recebido o sinal de calha cheia, mencionado anteriormente, é necessário eliminar os <i>clips</i> que continuam a surgir na saída do alimentador circular. Para este efeito, foi colocado um sopro na saída deste, eliminando os <i>clips</i> quando a calha da unidade pulmão se encontra completa.</p>

### 3.7.4.3.3 Listagem de componentes do sistema de alimentação

O sistema de alimentação possui na sua composição uma série de componentes normalizados, desde os mecanismos de alimentação, a atuadores pneumáticos, sensores e ligações estruturais. Na Tabela 39 são listados os componentes de mercado do sistema de alimentação e carregamento de *clips*, encontrando-se as fichas técnicas no Anexo I.


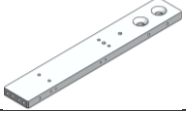
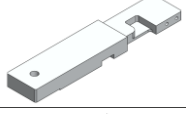
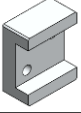
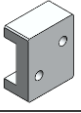
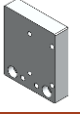
Tabela 39 - Listagem de componentes normalizados do sistema de alimentação

Componente	Quantidade	Fabricante/ Fornecedor	Ilustração	Observações
Unidade de autonomia	1	VibroSystems		Fornecida com a altura necessária para abastecer o alimentador circular. Fornecido com controlador MTS-442.
Alimentador circular	1			Cuba de diâmetro 350 mm. Fornecido com controlador MTS-442.
Unidade pulmão	1			Modelo CV1, e fornecido com o controlador VS21-S.
Deteção de cuba vazia	1			Sistema de deteção com sensor indutivo.
Policarbonato compacto cristal	---	Dagol		Produto comprado com os cortes pretendidos
Tampa de perfil 30 x 30	3	Bosch		Referência: 3 842 548 745
Perfil alumínio	---	Bosch		Dimensão: 90 x 45 mm, 45 x 45 mm e 30 x 30 mm
Canto 30 x 30	3	Bosch		Referência: 3 842 523 526
Canto 30 x 60	1	Bosch		Referência: 3 842 523 538

<b>Canto 45 x 180</b>	1	Bosch		<b>Referência:</b> 3 842 523 583
<b>Sensor indutivo</b>	4	Contrinex		<b>Referência:</b> DW-AD-513-M8
<b>Sensor laser</b>	1	KEYENCE		<b>Referência:</b> LR-ZB250AP
<b>Cilindro guiado</b>	1	SMC		<b>Referência:</b> MXS16-20A
<b>Cilindro miniatura</b>	1	SMC		<b>Referência:</b> CUJB10-4S

O sistema de alimentação é um sistema criado exclusivamente para o equipamento, tendo de se ajustar ao espaço e às características do mesmo. Como tal, maioria das peças foram produzidas especificamente para este projeto. Apresentam-se na Tabela 40 os componentes não normalizados presentes no sistema de alimentação do equipamento, estando os desenhos das mesmas no ANEXO II.

Tabela 40 - Listagem de componentes não normalizados do sistema de alimentação

<b>Designação</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Ilustração</b>	<b>Observações</b>
<b>WRK-CLIC_0204</b>	1		Base de fixação do perfil que suporta a placa onde está alojada a unidade pulmão.
<b>WRK-CLIC_0205</b>	1		Placa de suporte e fixação da unidade pulmão.
<b>WRK-CLIC_0207</b>	1		Placa suporte do cilindro guiado de carregamento de componentes.
<b>WRK-CLIC_0206</b>	1		Peças de ligação da placa de suporte do cilindro de carregamento de <i>clips</i> e da placa de suporte da unidade pulmão.
<b>WRK-CLIC_0208</b>	1		
<b>WRK-CLIC_0209</b>	1		Peça de ligação do cilindro de carregamento à estrutura.

<b>WRK-CLIC_0210</b>	1		Peças de ligação e suporte do batente mecânico de <i>clips</i> no ponto de carregamento.
<b>WRK-CLIC_0211</b>	1		
<b>WRK-CLIC_0212</b>	1		Peça de ligação do cilindro de carregamento à peça de carregamento.
<b>WRK-CLIC_0213</b>	1		Batente de <i>clips</i> na zona de carregamento.
<b>WRK-CLIC_0214</b>	1		Peça de carregamento de <i>clips</i> .
<b>WRK-CLIC_0215</b>	2		Suportes de calha na unidade pulmão.
<b>WRK-CLIC_0216</b>	1		Calha da unidade pulmão.
<b>WRK-CLIC_0217</b>	1		Suporte de sopro de limpeza do carregador.
<b>WRK-CLIC_0218</b>	1		Suporte do cilindro de bloqueio do penúltimo componente na calha da unidade pulmão.
<b>WRK-CLIC_0219</b>	1		
<b>WRK-CLIC_0220</b>	1		Batente de bloqueio.
<b>WRK-CLIC_0221</b>	1		Peça de auxílio ao guiamento do cilindro de bloqueio.
<b>WRK-CLIC_0222</b>	2		Suportes de chapa de guiamento superior de componentes na calha da unidade pulmão.
<b>WRK-CLIC_0223</b>	1		Chapa de guiamento superior de componentes na calha da unidade pulmão.
<b>WRK-CLIC_0224</b>	1		Peça de ligação.

<b>WRK-CLIC_0203</b>	1		Base do alimentador circular.
<b>WRK-CLIC_0202</b>	1		Base da unidade de autonomia.
<b>WRK-CLIC_0201</b>	2		Fixação dos perfis de posicionamento vertical da unidade de autonomia.
<b>WRK-CLIC_0238</b>	1		Fixação da deteção de cuba vazia.
<b>WRK-CLIC_0242</b>	1		Suporte do sopro de eliminação de <i>clips</i> na saída da calha do alimentador circular.
<b>WRK-CLIC_0234</b> <b>WRK-CLIC_0237</b> <b>WRK-CLIC_0232</b> <b>WRK-CLIC_0240</b> <b>WRK-CLIC_0228</b> <b>WRK-CLIC_0241</b> <b>WRK-CLIC_0226</b>	---		Veios de suportes de sensores.
<b>WRK-CLIC_0227</b>	2		Cubo de ligação de veios $\varnothing 10$ mm em suportes de sensores.
<b>WRK-CLIC_0233</b>	4		Cubo de ligação de veios $\varnothing 8$ mm em suportes de sensores.
<b>WRK-CLIC_0235</b>	3		Chapa de suportes de sensores.
<b>WRK-CLIC_0239</b>	1		Base de suporte de sensor.
<b>WRK-CLIC_0225</b>	1		
<b>WRK-CLIC_0231</b>	1		
<b>WRK-CLIC_0230</b>	1		Peça suporte de sensor.
<b>WRK-CLIC_0236</b>	1		

### 3.7.4.3.4 Dimensionamento do sistema de alimentação

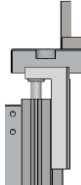
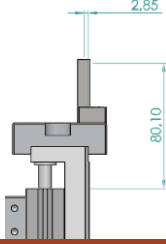
O carregamento de *clips* na ferramenta é realizado pelo sistema de alimentação. Esta função é uma das mais importantes e exigentes deste sistema, pelo que exige especial atenção, sendo para tal realizados os dimensionamentos considerados relevantes para garantir a estabilidade e o correto funcionamento do sistema.

- **Cilindro de carregamento**

O carregamento de *clips* na ferramenta é realizado pelo movimento de avanço do cilindro pneumático de carregamento. Este cilindro deve ser robusto, estável e apresentar capacidade de realizar o carregamento de *clips*.

Para esta função definiu-se que o ideal seria um cilindro autoguiado pois, apesar de o curso de trabalho ser pequeno, pretende-se precisão no movimento de carregamento. Para cumprir com este requisito, decidiu-se aplicar um cilindro da série MXS da SMC, um MXS16-20A. Para verificar se este cilindro possui capacidade de desempenhar a função requerida sem comprometer a sua estabilidade foi realizada uma análise, recorrendo ao GCS, considerando as condições de trabalho do mesmo, apresentadas na Tabela 41.

Tabela 41 - Condições de trabalho do cilindro de carregamento de *clips*

<b>Tipo de montagem</b>	Cilindro aplicado na vertical, elevando o <i>clip</i> até à ferramenta. 
<b>Pressão de trabalho</b>	A pressão de trabalho do sistema será de 5 bar ou inferior.
<b>Curso do cilindro</b>	O curso necessário para o carregamento do <i>clip</i> na ferramenta é de aproximadamente 15 mm. No entanto, não sendo este um curso <i>standard</i> desta série de cilindros, será aplicado um curso de 20 mm, posteriormente ajustado pelos batentes mecânicos.
<b>Carga aplicada</b>	A carga máxima que o cilindro terá de exercer corresponde à carga necessária para o carregamento do <i>clip</i> . Nos testes realizados ao carregamento de <i>clips</i> o valor médio da força de carregamento é aproximadamente 80 N, para a análise será utilizado um valor de 90 N.
<b>Tipo de amortecimento</b>	Batente de borracha.
<b>Posição de montagem da carga</b>	

Com os dados anteriormente apresentados realizou-se a análise ao cilindro selecionado, resultando nos valores apresentados na Figura 74. Analisando os resultados conclui-se que o cilindro cumpre os requisitos necessários à sua função, sem comprometer a sua integridade.

Name	Unit	Calculate results	Tolerance	Judgment
Operating pressure	MPa	0,500	0,15~0,7	Within range
Mean piston velocity	mm/s	50,000	50~500	Within range
Kinetic energy	J	0,02205	0~0,066	Within range
Load weight	kg			
Static pitch moment $M_p$	Nm	0,631	0~6,78	Within range
Static yaw moment $M_y$	Nm	2,734	0~6,78	Within range
Static roll moment $M_r$	Nm	0,000	0~6,78	Within range
Dynamic pitch moment $M_{ep}$	Nm	0,589	0~6,78	Within range
Dynamic yaw moment $M_{ey}$	Nm	2,552	0~6,78	Within range
Load factor grand total	--	0,959	0~1	Within range

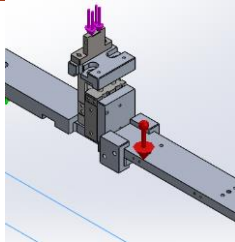
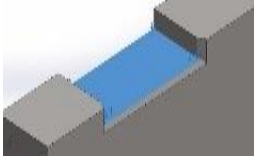
Figura 74 - Resultados do CGS para análise ao cilindro de carregamento de *clips*

- **Estrutura de suporte do carregamento**

O carregamento de *clips* na ferramenta é efetuado pelo cilindro de carregamento, que gera uma reação na estrutura de suporte do cilindro. Assim, foi elaborada uma análise MEF ao conjunto que suporta as forças exercidas pelo carregamento, avaliando assim a influência das mesmas no sistema de carregamento.

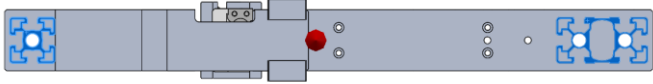
Para a análise à estrutura que suporta o carregamento foram consideradas as forças apresentadas na Tabela 42.

Tabela 42 - Forças aplicadas na estrutura de carregamento de *clips*

Força aplicada	Representação
Gravidade	
Força de carregamento de <i>clips</i>	 Carga de 200 N (força máxima do cilindro) aplicada na face de apoio do <i>clip</i> .

Na análise realizada foram ainda definidas as condições fronteira da estrutura em estudo, sendo estas apresentadas na Tabela 43.

Tabela 43 - Condições fronteira na análise da estrutura de carregamento de *clips*

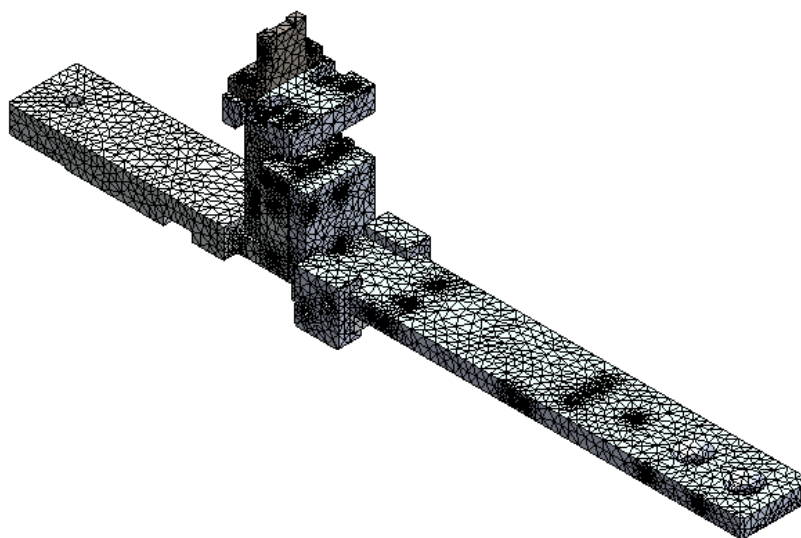
Condição Fronteira	Representação
Pontos de apoio da estrutura nos perfis de suporte em ambas as extremidades, com ligação fixa	

Após definição das forças aplicadas no sistema e as condições fronteira do mesmo, foi definida a malha a utilizar na análise, encontrando-se esta definida na Tabela 44.

Tabela 44 - Definição da malha utilizada na simulação da estrutura de carregamento de *clips*

<b>Tipo de malha</b>	Malha Mista
<b>Malha usada</b>	Malha com baseada na curvatura do SolidWorks
<b>Tamanho máximo de elementos</b>	8 mm
<b>Tamanho mínimo de elementos</b>	1,6 mm
<b>Número de elementos</b>	173438
<b>Número de nós</b>	267365

Na Figura 75 encontra-se uma representação esquemática da malha gerada pelo SolidWorks na estrutura de carregamento de *clips*.

Figura 75 - Malha gerada para análise da estrutura de carregamento de *clips*

Da análise realizada foram extraídos resultados em termos de tensões equivalentes de von Mises e de deslocamentos resultantes, os quais se encontram na Figura 76 e Figura 77, respetivamente.

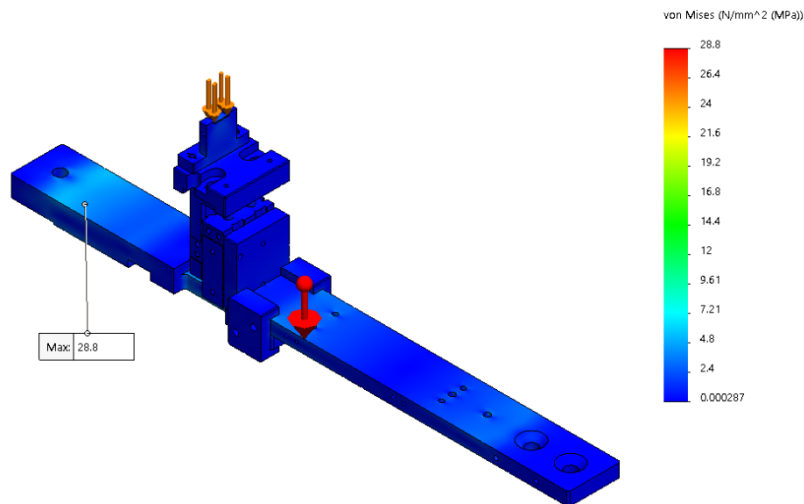


Figura 76 - Tensões equivalentes de von Mises da estrutura de carregamento de *clips*

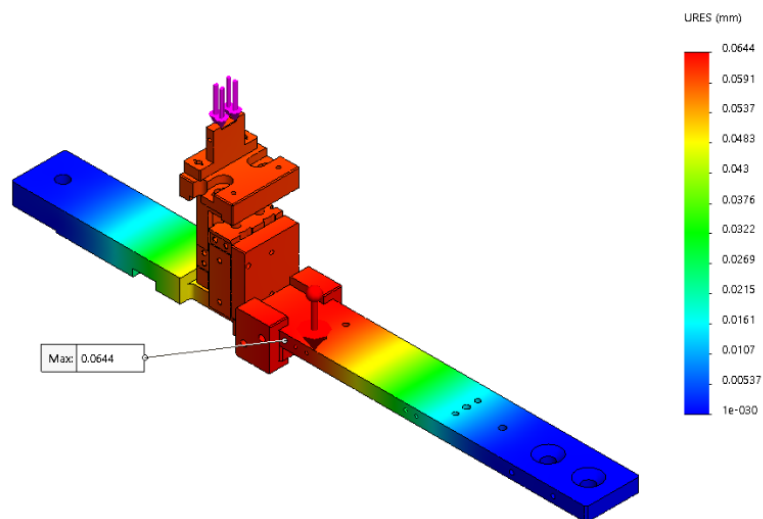


Figura 77 – Deslocamentos resultantes na estrutura de carregamento de *clips*

Os resultados obtidos indicam uma tensão máxima de 28,8 MPa e, no que se refere ao deslocamento resultante na estrutura, o valor máximo obtido é 0,064 mm, não se revelando assim problemas no dimensionamento da estrutura.

#### 3.7.4.3.5 Montagem do sistema de alimentação

O sistema de alimentação é constituído pelos alimentadores que, sendo adquiridos no mercado, têm apenas de ser ligados ao sistema. Para tal foram criadas duas Bases com capacidade para o efeito e preparadas com os sistemas de afinação necessários. A par destes componentes é montado o sistema de carregamento, que consiste na montagem da “ponte” de suporte do cilindro de carregamento e todos os componentes a ela anexos. Apresenta-se o desenho de montagem deste sistema na Figura 78.

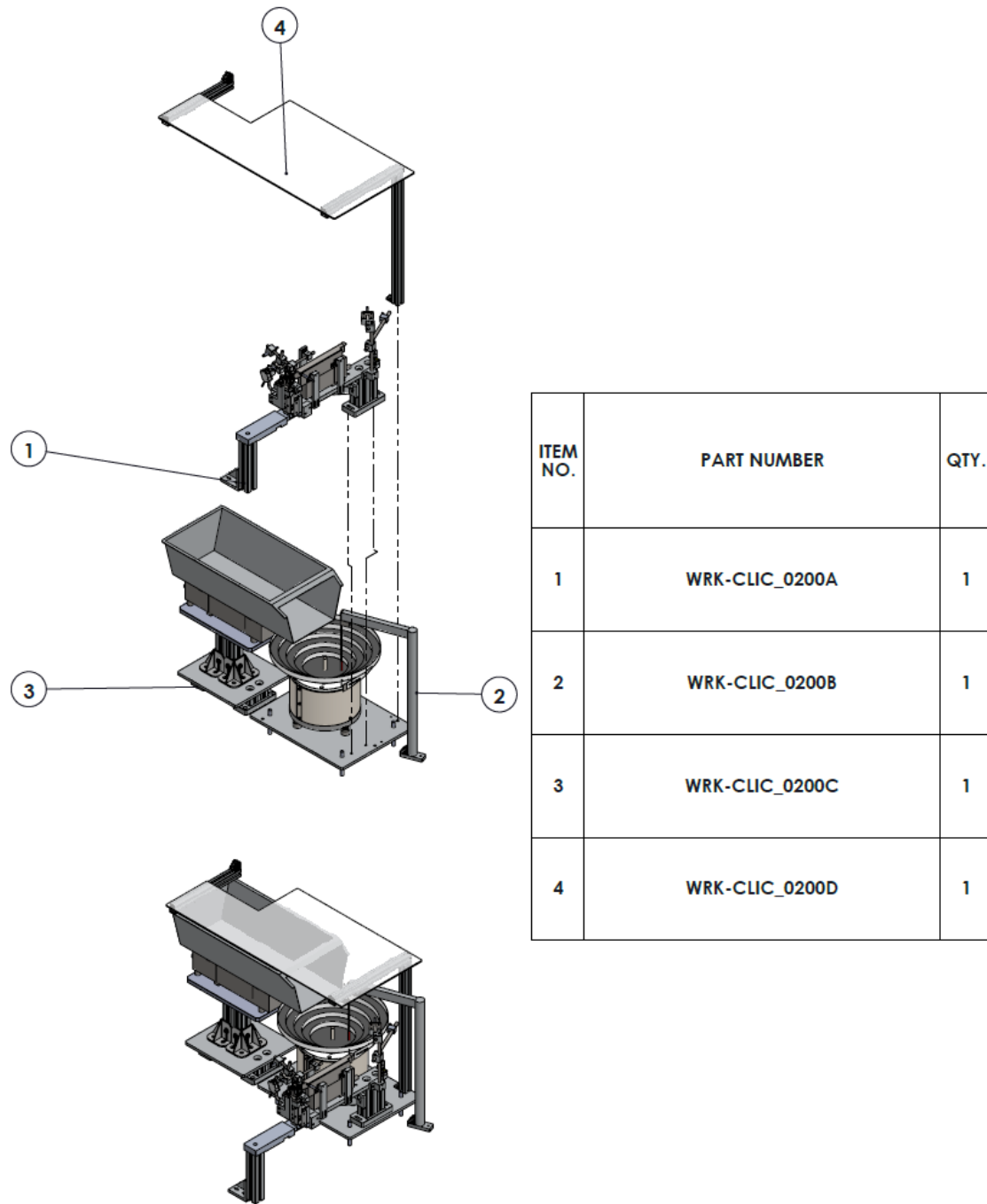


Figura 78 - Desenho de montagem do sistema de alimentação

#### 3.7.4.4 Sistema de troca de ferramenta

A alimentação de *clips* na ferramenta está diretamente associada a um sistema de troca de ferramenta. Este sistema foi concebido com duas posições de deposição de ferramenta, e é responsável pelos movimentos principais associados ao carregamento o movimento horizontal, responsável por posicionar a ferramenta vazia na zona de carregamento, e o movimento de rotação, responsável por alinhar verticalmente o dedo a carregar com o ponto de carregamento. O sistema referido está ilustrado na Figura 79, Figura 80 e Figura 81.

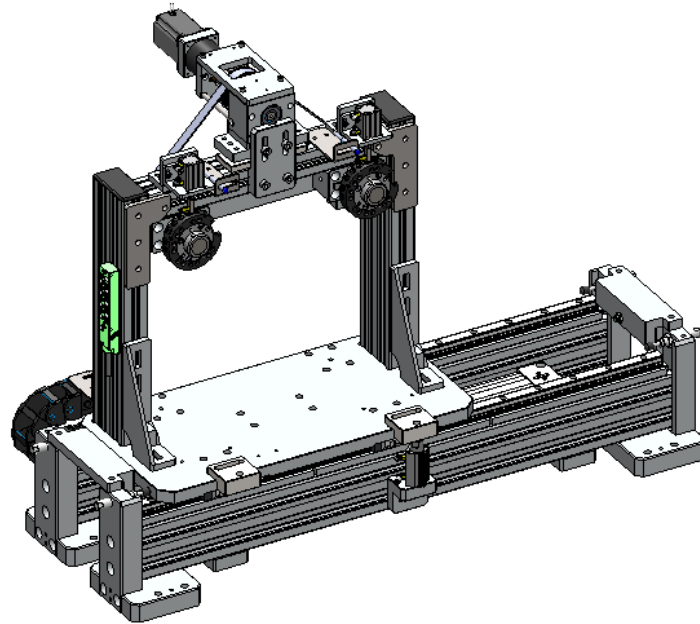


Figura 79 - Vista isométrica do sistema de troca de ferramenta

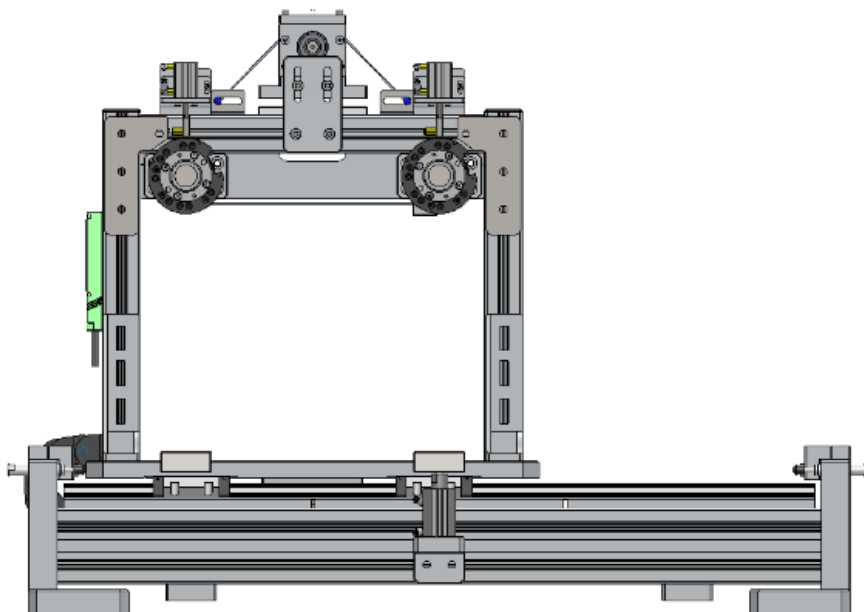


Figura 80 - Vista frontal do sistema de troca de ferramenta

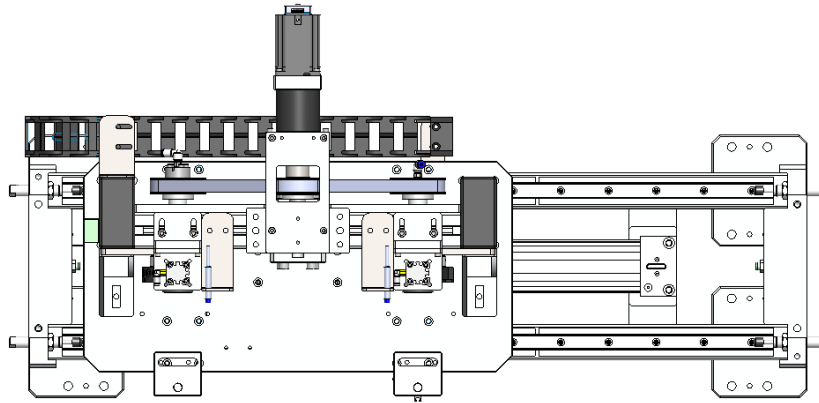


Figura 81 - Vista de topo do sistema de troca de ferramenta

#### 3.7.4.4.1 Disposição geral do sistema de troca de ferramenta

Na Figura 82 é representada a posição dos subconjuntos e sistemas do sistema de troca de ferramenta. Este sistema é constituído essencialmente por duas posições de suporte de ferramenta, um mecanismo de rotação das mesmas e um mecanismo para movimento horizontal. Além destes pontos o sistema possui ainda sistemas de desbloqueio de ferramenta, um conjunto de batentes e amortecedores e um sistema de bloqueio de posição.

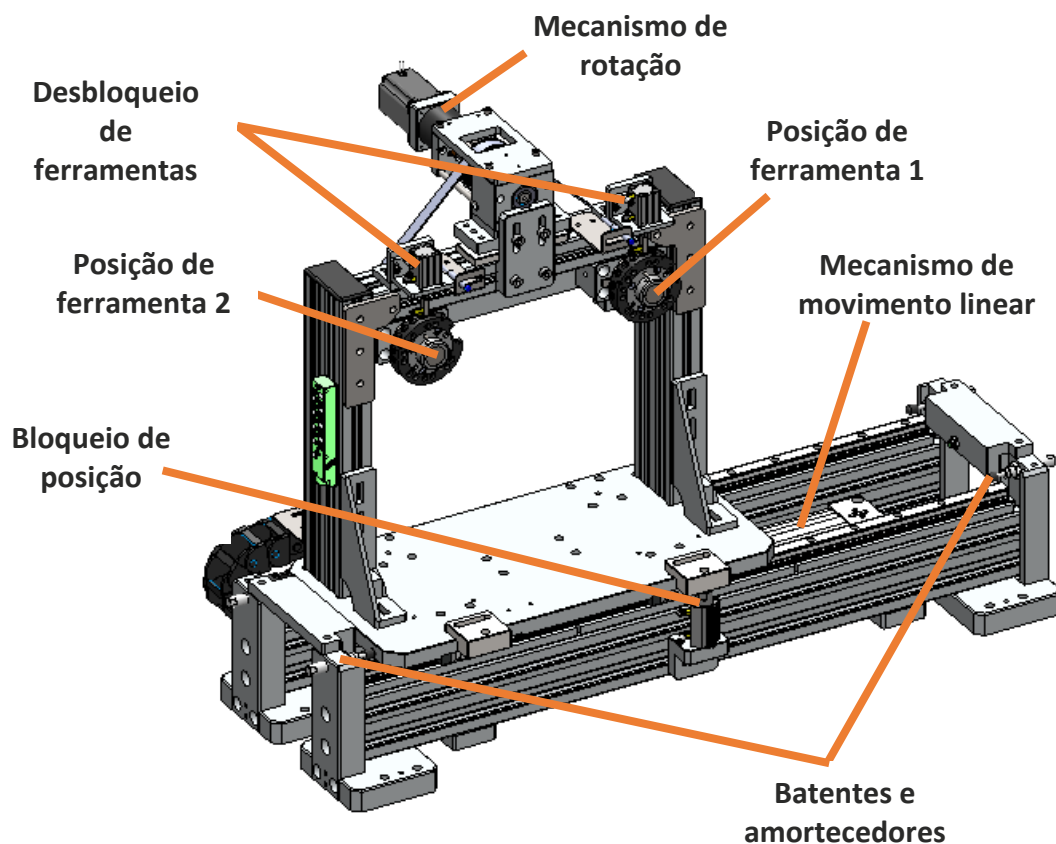


Figura 82 - Disposição geral do sistema de troca de ferramenta

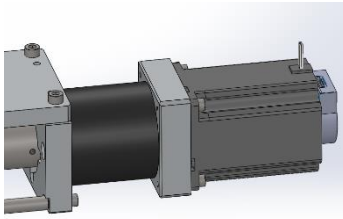
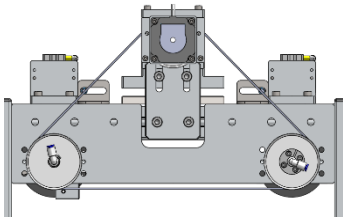
### 3.7.4.4.2 Características principais do sistema de troca de ferramenta

O sistema de troca de ferramenta foi projetado considerando o funcionamento pretendido para o equipamento. As principais características do mesmo são a presença de duas posições para deposição de ferramenta, um acionador de movimento de rotação as ferramentas e um sistema de movimento horizontal. Em função destas características o sistema evoluiu, contemplando uma série de características adicionais. Na Tabela 45 são descritas estas características e ainda outras que foram relevantes no projeto do sistema.

Tabela 45 - Características principais do sistema de troca de ferramenta

Característica	Ilustração	Justificação
<b>Posições de trabalho</b>		O sistema foi concebido com posição para duas ferramentas. Com esta característica o equipamento está pronto a carregar a ferramenta que está numa posição, e quando concluído o ciclo de inserção de <i>clips</i> do robô, este pode deixar a ferramenta vazia na posição livre e equipar-se com uma ferramenta já carregada. Seguidamente, o sistema de troca de ferramenta move-se e pode iniciar o carregamento da ferramenta deixada pelo robô.
<b>Troca rápida</b>		A fixação das ferramentas no sistema de troca de ferramenta é feita por auxílio de um sistema de troca rápida, tal como no robô. Assim, no sistema de troca de ferramenta, em ambas as posições existe um componente macho que indexa no componente fêmea presente na ferramenta, ficando esta bloqueada.
<b>Movimento horizontal</b>		O sistema de troca de ferramenta alterna constantemente a sua posição, posicionando sempre a ferramenta a carregar sobre o carregador. O acionamento do movimento horizontal é realizado por um cilindro pneumático.
<b>Guias e patins</b>		A par do cilindro associado ao movimento linear existe um guiamento de todo o conjunto realizado por guias e patins.

<p><b>Amortecedores e batentes mecânicos</b></p>		<p>A paragem do movimento horizontal do sistema é auxiliada por um par de amortecedores, que são responsáveis por tornar os movimentos mais suaves e não danificar o sistema. A par dos amortecedores foram anexados batentes mecânicos, que permitem a afinação das posições finais do sistema.</p>
<p><b>Bloqueio de posição</b></p>		<p>A pedido do cliente foi aplicado um sistema de "stopper". Quando o sistema se move e chega à posição é feito o avanço de um cilindro de bloqueio, garantindo-se assim que o sistema está na posição correta e que nunca sai dessa posição.</p>
<p><b>Bloqueio de ferramenta</b></p>		<p>O sistema de troca rápida é acionado por ar comprimido. Para correta fixação da ferramenta é necessária uma alimentação constante de ar para bloqueio do sistema de troca rápida. Para evitar tubos livres, que acabariam por se danificar rapidamente, o ar para bloqueio foi alimentado pelo interior do eixo de rotação das ferramentas.</p>
<p><b>Desbloqueio de ferramenta</b></p>		<p>Quando a ferramenta está carregada e o robô pronto para a troca, esta tem de ser libertada do sistema de troca de ferramenta. Para isto é desativada a alimentação de ar no bloqueio e é levado ar à posição de desbloqueio por cilindros auxiliares.</p>
<p><b>Presença de ferramenta</b></p>		<p>Para o correto funcionamento do equipamento, o robô tem de deixar a ferramenta vazia na posição certa. Assim, o sistema de troca de ferramenta possui detetores de presença de ferramenta em ambas as posições.</p>

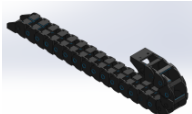
<p><b>Movimento de rotação</b></p>		<p>O carregamento dos <i>clips</i> na ferramenta implica a rotação da mesma para alterar e posicionar o dedo a carregar. Para esta função foi aplicado um motor, acoplado a um “<i>encoder</i>”, que garante e corrige posições. Devido ao esforço que o sistema exige ao motor foi aplicada uma caixa redutora.</p>
<p><b>Transmissão do movimento de rotação</b></p>		<p>Possuindo o sistema duas posições para ferramentas, o movimento de rotação deve estar associado a ambas as posições. Para o sistema projetado optou-se por utilizar o mesmo sistema de acionamento para ambas, através de um conjunto de polias e correia dentada.</p>

#### 3.7.4.4.3 Listagem de componentes do sistema de troca de ferramenta

Desde componentes estruturais, componentes de acionamento e componentes de deteção, o sistema de troca de ferramenta possui na sua composição a listagem de componentes normalizados presente na Tabela 46, encontrando-se as fichas técnicas correspondentes no Anexo I.

Tabela 46 - Listagem de componentes normalizados do sistema de troca de ferramenta

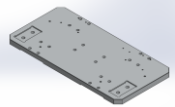
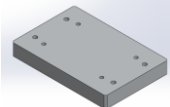
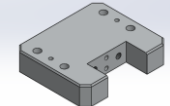
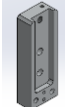
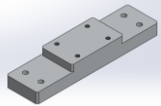
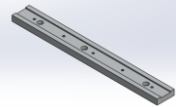
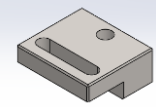
Componente	Quantidade	Fabricante/ Fornecedor	Ilustração	Observações
<p><b>Perfil de alumínio</b></p>	<p>---</p>	<p>Bosch</p>		<p><b>Dimensão:</b> 90 × 45 mm, 45 × 45 mm e 30 × 30 mm</p>
<p><b>Cilindro sem haste</b></p>	<p>1</p>	<p>SMC</p>		<p><b>Referência:</b> MY1B40G-310Z <b>Acessório de Ligação:</b> MY-J40</p>
<p><b>Batente mecânico</b></p>	<p>2</p>	<p>SMC</p>		<p><b>Referência:</b> MXS-A1627</p>
<p><b>Amortecedor</b></p>	<p>4</p>	<p>SMC</p>		<p><b>Referência:</b> RJ1412U</p>
<p><b>Cilindro pneumático</b></p>	<p>1</p>	<p>SMC</p>		<p><b>Referência:</b> RSDQA16-15D</p>

<b>Patim</b>	4	BOSCH		<b>Referência:</b> R1653 814 20
<b>Guia linear</b>	---	BOSCH		<b>Referência:</b> R1605 804 31
<b>Canto 45 x 180</b>	2	Bosch		<b>Referência:</b> 3 842 523 583
<b>Tampa de perfil 90 x 45</b>	2	Bosch		<b>Referência:</b> 3 842 548 757
<b>Esteira para cabos</b>	1	IGUS		<b>Referência:</b> 0_61m_Z16_3_040_0 __117_3_12P_A1_1
<b>Casquilho</b>	1	Lanema		Casquilho de Latão Tipo A de Dimensões 10-14-10
<b>Sensor indutivo</b>	2	Contrinex		<b>Referência:</b> DW-AD-513-M8
<b>Caixa redutora</b>	1	RTA		<b>Referência:</b> SG-P11-050-009-12-HH-712X
<b>Motor de passo</b>	1	NANOTEC		<b>Referência:</b> ST5909L3008-B
<b>Encoder</b>	1	NANOTEC		<b>Referência:</b> NOE2-05-K06 (6.35 MM)
<b>Polia dentada</b>	3	ROLISA		<b>Referência:</b> 27 T 5 42
<b>Correia dentada</b>	1	CHIORINO		CORREIA T5-940 LARGURA 16mm
<b>Rolamento de esferas</b>	4	INAFAG		<b>Referência:</b> 6004-2RSR
<b>Rolamento de esferas</b>	2	INAFAG		<b>Referência:</b> 6202-C-2HRS

<b>Sensor indutivo</b>	1	IFM		<b>Referência:</b> IY5033
<b>Schunk SWK-020</b>	2	Schunk		Aplicado sem ligações elétricas, e sem sistema de vácuo <b>Referência:</b> SWK-020-000-000
<b>Anel de aperto</b>	1	NORELEM		<b>Referência:</b> 23350-1218
<b>Cilindro pneumático</b>	2	SMC		<b>Referência:</b> CDQSB16-20DC

Além dos componentes de mercado, o sistema de troca de ferramenta possui na sua composição uma série de componentes produzidos especificamente para este projeto. A Tabela 47 apresenta os componentes produzidos para a concepção do sistema de troca de ferramenta, encontrando-se os desenhos de fabricação dos mesmos no Anexo II.

Tabela 47 - Listagem de componentes não normalizados do sistema de troca de ferramenta

<b>Designação</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Ilustração</b>	<b>Observações</b>
<b>WRK-CLIC_0401</b>	1		Base de fixação dos componentes principais do sistema de troca de ferramenta
<b>WRK-CLIC_0402</b>	1		Conexão do cilindro de movimento horizontal à Base do sistema
<b>WRK-CLIC_0403</b>	4		Bases de fixação do sistema à estrutura da célula
<b>WRK-CLIC_0404</b>	4		Suporte dos perfis de alumínio
<b>WRK-CLIC_0405</b>	2		Suportes do cilindro de movimento horizontal
<b>WRK-CLIC_0406</b>	6		Conexão das guias lineares ao perfil de alumínio
<b>WRK-CLIC_0407</b>	2		Posicionadores do sistema "stopper"

<b>WRK-CLIC_0408</b>	2		Suporte dos batentes mecânicos
<b>WRK-CLIC_0409</b>	1		Suporte do cilindro "stopper"
<b>WRK-CLIC_0410</b>	2		Reforços da ligação dos perfis de alumínio
<b>WRK-CLIC_0411</b>	1		Suportes da esteira
<b>WRK-CLIC_0412</b>	1		
<b>WRK-CLIC_0413</b>	2		Auxílio à afinação em altura do sistema de troca de ferramenta
<b>WRK-CLIC_0414</b>	1		Placa suporte dos blocos de rotação das ferramentas
<b>WRK-CLIC_0422</b>	1		Apoio ao sistema de afinação da tensão da correia
<b>WRK-CLIC_0432</b>	2		Suportes das deteções de presença de ferramenta
<b>WRK-CLIC_0423</b>	1		Fixações do suporte do motor, com afinação em altura
<b>WRK-CLIC_0424</b>	1		
<b>WRK-CLIC_0425</b>	1		
<b>WRK-CLIC_0426</b>	1		Bloco de suporte dos rolamentos que sustentam a rotação do motor
<b>WRK-CLIC_0427</b>	2		Veios de reforço do conjunto do motor

<b>WRK-CLIC_0428</b>	1		Peças de suporte e ligação do motor/reductor ao bloco de rolamentos
<b>WRK-CLIC_0429</b>	1		
<b>WRK-CLIC_0430</b>	1		Acoplamento de ligação do motor/reductor ao sistema de polias/correia
<b>WRK-CLIC_0431</b>	1		Espaçador de bloqueio de rolamentos
<b>WRK-CLIC_0416</b>	1		Veio de transmissão de rotação da polia para a ferramenta
<b>WRK-CLIC_0415</b>	2		Blocos de suporte de rolamentos que suportam a rotação das ferramentas
<b>WRK-CLIC_0418</b>	2		Espaçadores de bloqueio de rolamentos
<b>WRK-CLIC_0419</b>	2		Ligação do sistema de troca rápida ao veio
<b>WRK-CLIC_0420</b>	1		Marca de posição "home" do motor
<b>WRK-CLIC_0421</b>	1		Suporte do detetor de posição "home"
<b>WRK-CLIC_0417</b>	1		Veio de transmissão de rotação da polia para a ferramenta
<b>WRK-CLIC_0435</b>	2		Peças de suporte dos cilindros de avanço do sopro de desbloqueio de ferramentas
<b>WRK-CLIC_0434</b>	2		
<b>WRK-CLIC_0433</b>	2		
<b>WRK-CLIC_0436</b>	2		Ponteira de sopro de desbloqueio

#### 3.7.4.4.4 Dimensionamento do sistema de troca de ferramenta

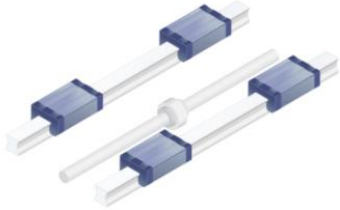
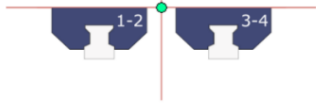
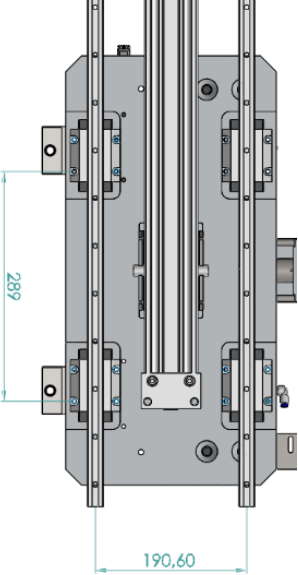
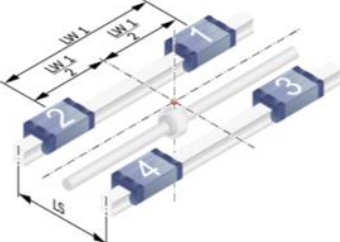
Parte do sistema de troca de ferramenta é constituído por pequenos subconjuntos, a maioria deles já conhecidos pela WRK, Lda. No entanto, este possui também pontos de funcionamento bastante específicos para esta aplicação que requerem especial atenção.

O sistema de troca de ferramenta é constituído por um sistema de guias e patins responsável por auxiliar o movimento horizontal realizado por um cilindro pneumático sem haste. O movimento horizontal é fundamental ao funcionamento do sistema pelo que será realizada uma análise ao sistema de guiamento e ao cilindro pneumático.

- **Guias e patins**

A análise ao sistema de guiamento foi realizada utilizando o LMD. Os dados utilizados no dimensionamento do sistema encontram-se a seguir listados na Tabela 48.

Tabela 48 – Dados de dimensionamento do guiamento do sistema de troca de ferramenta

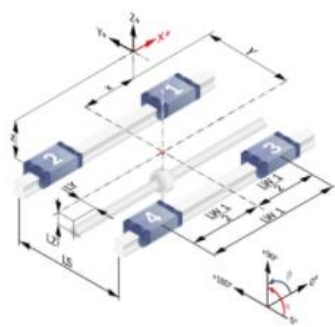
 <p>2 Guide rails 4 Runner blocks</p>		
 <p>Distance LA1 in Y-direction <input type="text" value="0"/> [mm] Distance LA2 in Z-direction <input type="text" value="0"/> [mm] Stiffness in X-direction <input type="text" value="1.0e+01"/> [N/um]</p>		<p><b><u>Tipo de aplicação:</u></b> Sistema constituído por duas guias e quatro patins, conforme figura ao lado.</p> <p><b><u>Acionamento de movimento:</u></b> Um cilindro sem haste aciona o sistema de guiamento todo em simultâneo, considerando-se assim um acionamento síncrono paralelo (distâncias LA1 e LA2 nulas).</p>
 <p>Runner block center to center distance LW1 <input type="text" value="289"/> [mm] Runner block center to center distance LW2 <input type="text" value=""/> [mm] Guide rail center to center distance LS <input type="text" value="190,6"/> [mm]</p>		<p><b><u>Dimensões do sistema:</u></b> A distância entre centro dos patins (LW1) é de 289 mm, e a distância entre guias (LS) é de 190,60 mm.</p>

Weight [kg]

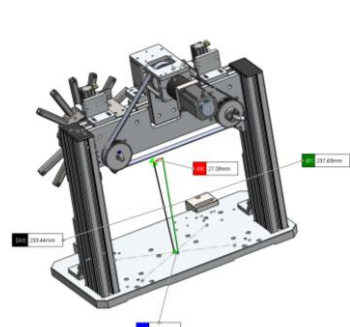
Designation

Coordinates [mm]

X  Y  Z



Dynamic equivalent external load without $\Delta z$ [N]	
FW 1	98.77
FW 2	71.20
FW 3	76.08
FW 4	48.52



**Cargas aplicadas:**

O sistema de guiamento do sistema de troca de ferramenta destina-se ao movimento de uma carga de aproximadamente 30 kg (valor obtido através da ferramenta "Mass Properties" do SolidWorks). As coordenadas do centro de massa da carga mencionada, considerando como referencial o centro do sistema de guiamento, são (27,09; 14,70; 257,6) mm.

Das características atribuídas ao sistema de guiamento, o *software* apresentou os resultados ilustrados na Figura 83.

Required life time  [km] Required cycles

Type of linear guidance

Type of RB  Accuracy class

Preload  with/without chain

Load cap. reduction, if runner block distance is smaller 1.5 x runner block length

Short stroke factor  $f_s$   Operating factor  $f_w$

Show selection

Size	Material number	C [N]	M <sub>t</sub> [Nm]	M <sub>L</sub> [Nm]	F <sub>V</sub> [N]
15	R1653 114 20	12800	120	120	200
20	R1653 814 20	29600	380	340	490
25	R1653 214 20	37300	530	530	610
30	R1653 714 20	46000	800	740	800
35	R1653 314 20	66700	1440	1290	1110
45	R1653 414 20	111000	3010	2730	1810
55	R1653 514 10	139000	4410	3960	2480
65	R1653 614 10	223000	8810	8160	3260

Dynamic equivalent load			
	without F <sub>V</sub> [N]	with F <sub>V</sub> [N]	
FW 1	98.77	543.30	
FW 2	71.20	528.22	
FW 3	76.08	530.89	
FW 4	48.52	515.93	

**Maximum load in phase 3 on runner block 1**

F <sub>max</sub> [N]	547	C/F <sub>max</sub>	54.10	C <sub>0</sub> /F <sub>max</sub>	76.39
----------------------	-----	--------------------	-------	----------------------------------	-------

**Theoretical nominal life expectancy of the highest loaded runner block**

F <sub>m</sub> [N]	543.3	C/F <sub>m</sub>	54.48	v <sub>m</sub> [m/s]	0.094
L <sub>10</sub> [km]	1.617e+07	L <sub>h10</sub> [h]	4.792e+07	Cycles	5.391e+10

**Deflection of the application force points** Show

Warning messages:

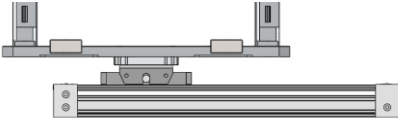
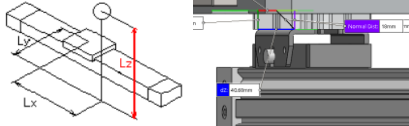
Figura 83 - Resultados do LMD para o dimensionamento do guiamento do sistema de troca de ferramenta

Nesta etapa de dimensionamento foi requerido o tempo de vida pretendido do sistema, definindo-se este para 3750000 ciclos (resultantes dos 10 anos de funcionamento requeridos pelo cliente), e foram ainda definidas algumas características do tipo de patim pretendido (definidas de acordo com as utilizações habituais da WRK, Lda). Em função destes dados, o *software* sugeriu uma série de hipóteses, como se observa na Figura 83, onde se encontra o patim de referência R1653 814 20, para uma guia de 20 mm. Para este modelo é apresentado o desempenho perante as condições impostas durante o dimensionamento e, como se observa na Figura 83, não existem problemas associados a esta escolha.

- **Cilindro de movimento horizontal**

O acionamento do movimento horizontal do sistema de troca de ferramenta passa pela aplicação de um cilindro pneumático. Para esta função foi decidido aplicar um cilindro da série M1YB da SMC. Para seleção correta do modelo foi realizada uma análise utilizando o *Guide Cylinder Selector*, na qual foram consideradas as condições de trabalho apresentadas na Tabela 49.

Tabela 49 - Condições de trabalho do cilindro de movimento horizontal do sistema de troca de ferramenta

<b>Tipo de montagem</b>	Cilindro aplicado na horizontal. 
<b>Modelo pretendido</b>	MY1B40
<b>Pressão de trabalho</b>	A pressão de trabalho do sistema será de 5 bar.
<b>Curso do cilindro</b>	O curso necessário para o sistema corresponde à distância entre os pontos de deposição de ferramenta, que é 300 mm.
<b>Carga aplicada</b>	Durante o funcionamento do equipamento, o cilindro desloca todo o sistema de troca de ferramenta, que possui aproximadamente 30 kg (massa obtida através da ferramenta "Mass Properties" do SolidWorks).
<b>Posição de montagem da carga</b>	Estando o cilindro associado a um sistema de guiamento constituído por guias e patins, os esforços exercidos pela carga do sistema são absorvidos por estes. Assim, a posição do centro de massa da carga, tendo como referencial o centro do cilindro, (0, 0, 18) mm. 

Name	Unit	Calculate results	Tolerance	Judgment
Operating pressure	MPa	0,500	0,100~0,800	Within range
Mean piston velocity	mm/s	100,000	100,000~714,286	Within range
Load weight	kg	30,000	0,00~53,000	Within range
Static Moment M1	Nm	0,000	0,00~40,000	Within range
Static Moment M2	Nm	0,000	0,00~4,800	Within range
Static Moment M3	Nm	0,000	0,00~12,000	Within range
Dynamic Moment M1E	Nm	2,470	0,00~40,000	Within range
Dynamic Moment M3E	Nm	0,000	0,00~12,000	Within range
Load factor	--	0,628	0,00~1,000	Within range
Absorption energy (left)	J	0,294	0,00~6,400	Within range
Absorption energy (right)	J	0,294	0,00~6,400	Within range

Figura 84 – Resultados do CGS para análise ao cilindro de movimento horizontal do sistema de troca de ferramenta

Através dos dados fornecidos ao *software* relativamente às condições de trabalho do cilindro em estudo, foram obtidos os resultados apresentados na Figura 84, de onde se pode concluir que o cilindro MY1B40 se encontra devidamente dimensionado para a função a desempenhar, já que todos os valores analisados no dimensionamento do mesmo se encontram dentro das tolerâncias pré-definidas pelo fornecedor para este modelo.

#### 3.7.4.4.5 Montagem do sistema de troca de ferramenta

A montagem do sistema de troca de ferramenta contempla a pré-montagem de dois conjuntos principais o primeiro corresponde à estrutura principal que serve de base ao sistema e onde se encontra o sistema de guiamento, e o segundo passa pela montagem da parte superior, parte que confere altura ao sistema e estrutura para alojamento dos subsistemas responsáveis pelo funcionamento do carregamento e troca de ferramenta.

A parte inferior passa pela montagem dos perfis estruturais de alumínio e seus suportes e fixações à estrutura da célula, e posterior montagem do sistema de guias e patins, sendo no final anexado o cilindro responsável pelo movimento horizontal.

A parte superior passa pela ligação dos perfis estruturais à base do sistema, e posteriormente pela montagem dos pontos de deposição de ferramenta. A esta parte do sistema estão ainda associados o sistema de acionamento de rotação das ferramentas e os mecanismos de bloqueio das mesmas.

Na Figura 85 é apresentado o esquema principal de montagem do sistema de troca de ferramenta, encontrando-se os desenhos dos restantes subconjuntos no Anexo II.

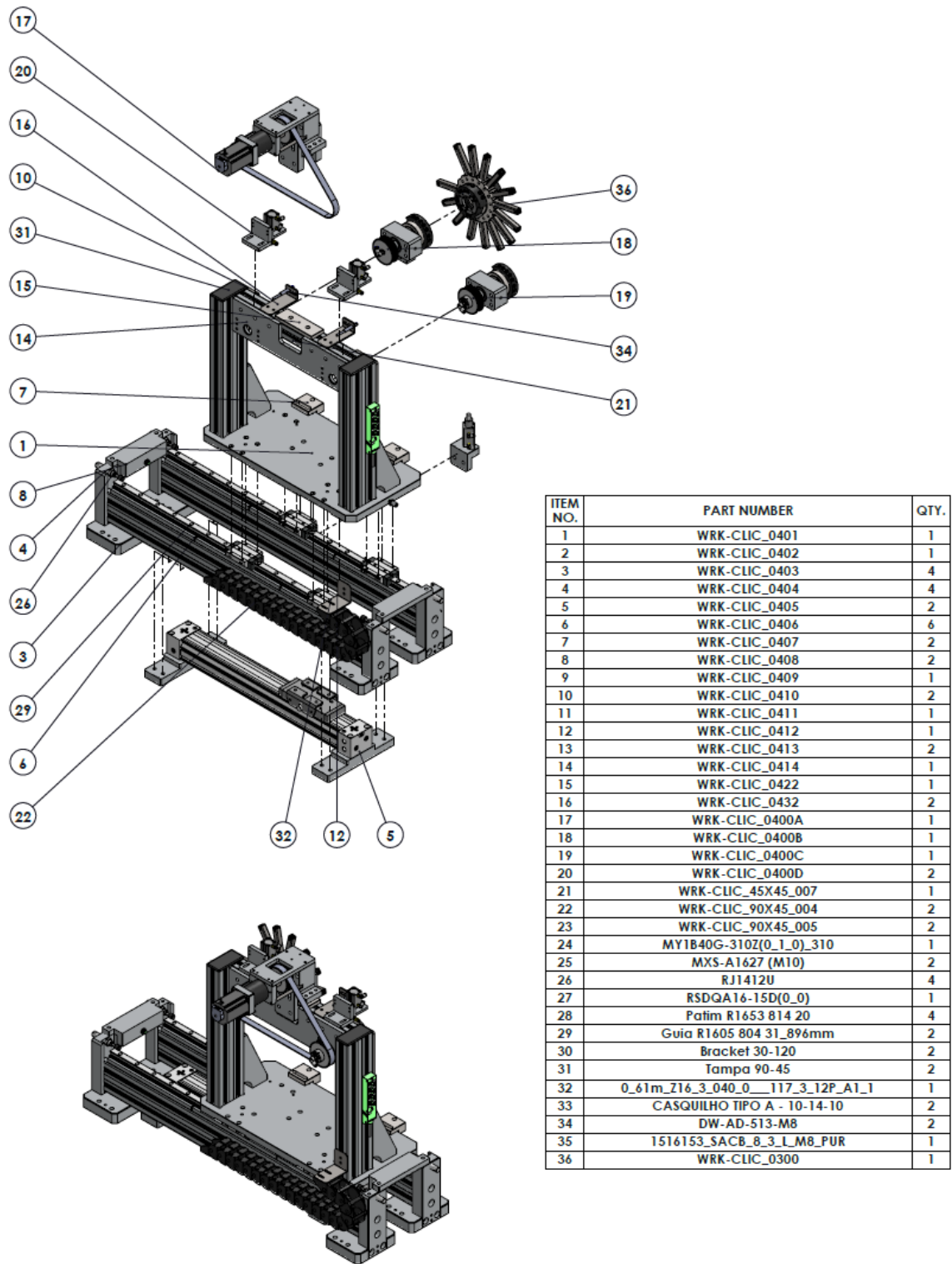


Figura 85 - Desenho de montagem do sistema de troca de ferramenta

### 3.7.4.5 Base

A parte superior do equipamento é designada de Base. Ao contrário da célula, que possui uma estrutura que pode ser adaptada a diferentes projetos, a Base representa a parte do equipamento dedicada exclusivamente às peças a que se destina.

A seguir, da Figura 86 à Figura 89, encontram-se algumas ilustrações da Base projetada para o equipamento em estudo na presente dissertação.

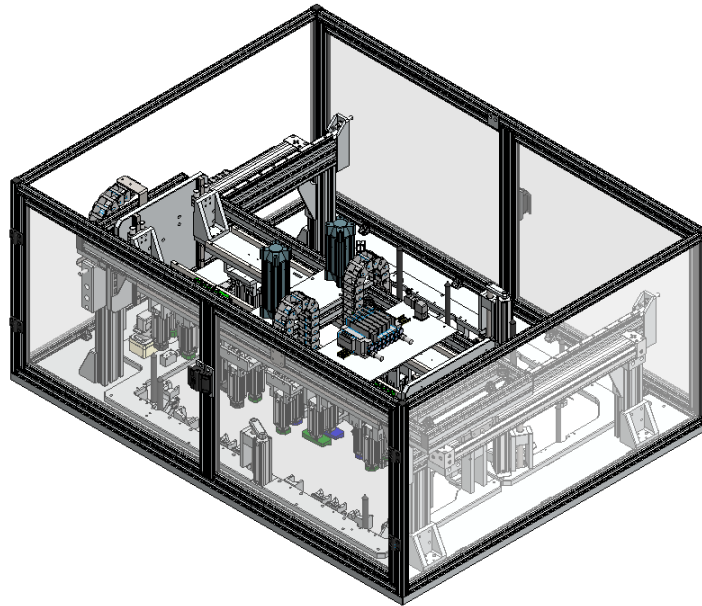


Figura 86 - Vista isométrica da Base

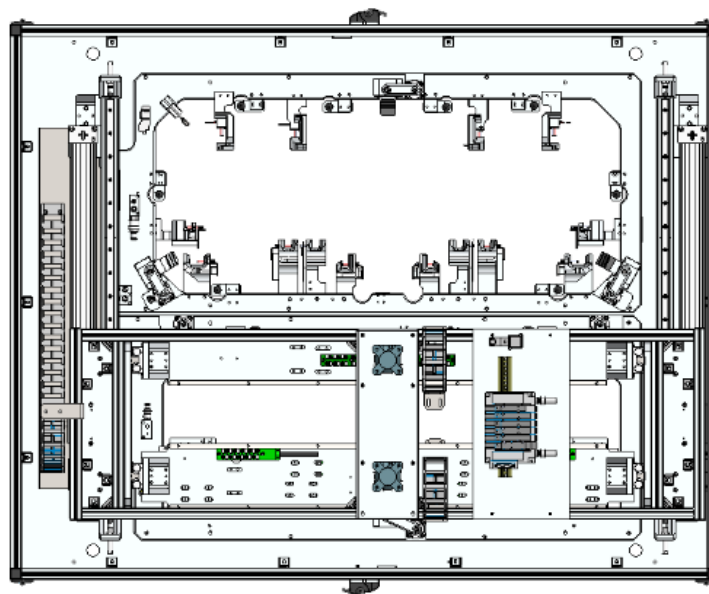


Figura 87 - Vista de topo da Base

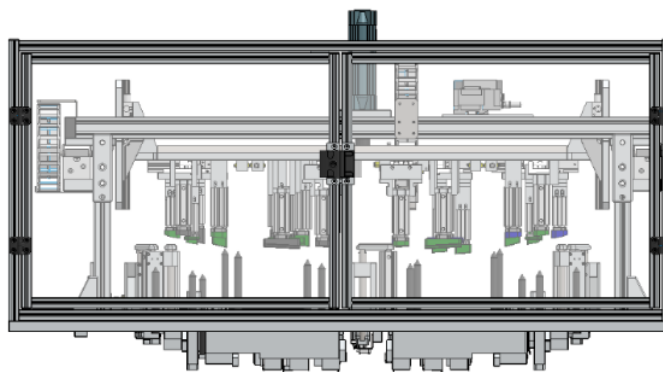


Figura 88 - Vista frontal da Base

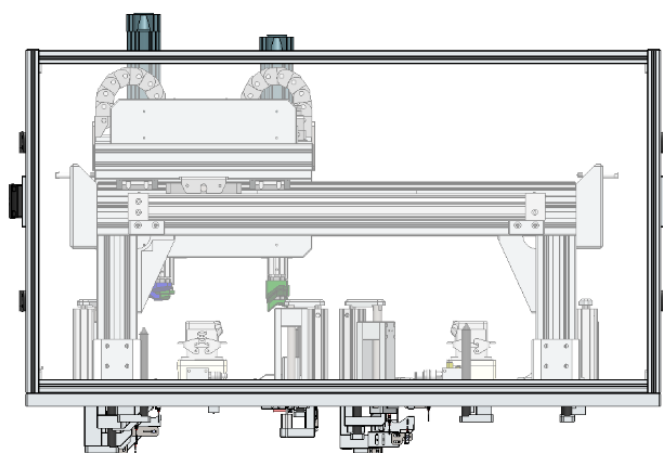


Figura 89 - Vista lateral da Base

#### 3.7.4.5.1 Disposição geral da Base

A Base apresenta na sua estrutura três subconjuntos principais, a Base A (destinada ao trabalho com a peça A), a Base B (destinada ao trabalho com a peça B) e o sistema de calcamento (que opera com ambas as versões de peça). Na Figura 90 é apresentada a disposição geral da Base do equipamento, onde se pode observar a posição dos três subconjuntos principais.

As duas Bases independentes encontram-se posicionadas sobre um tampo principal associado à estrutura, estando a disposição destas associada à geometria da peça e ao requisito do cliente sobre a sua orientação no equipamento.

O sistema de calcamento encontra-se geralmente solidário à Base de uma só peça. No entanto, devido à dimensão das peças a trabalhar, foi necessário criar um sistema de calcamento capaz de trabalhar com ambas as peças, estando este solidário à Base principal. Este encontra-se sobre as Bases, e durante o funcionamento do equipamento desloca-se sobre as mesmas ajustando automaticamente a sua posição de trabalho.

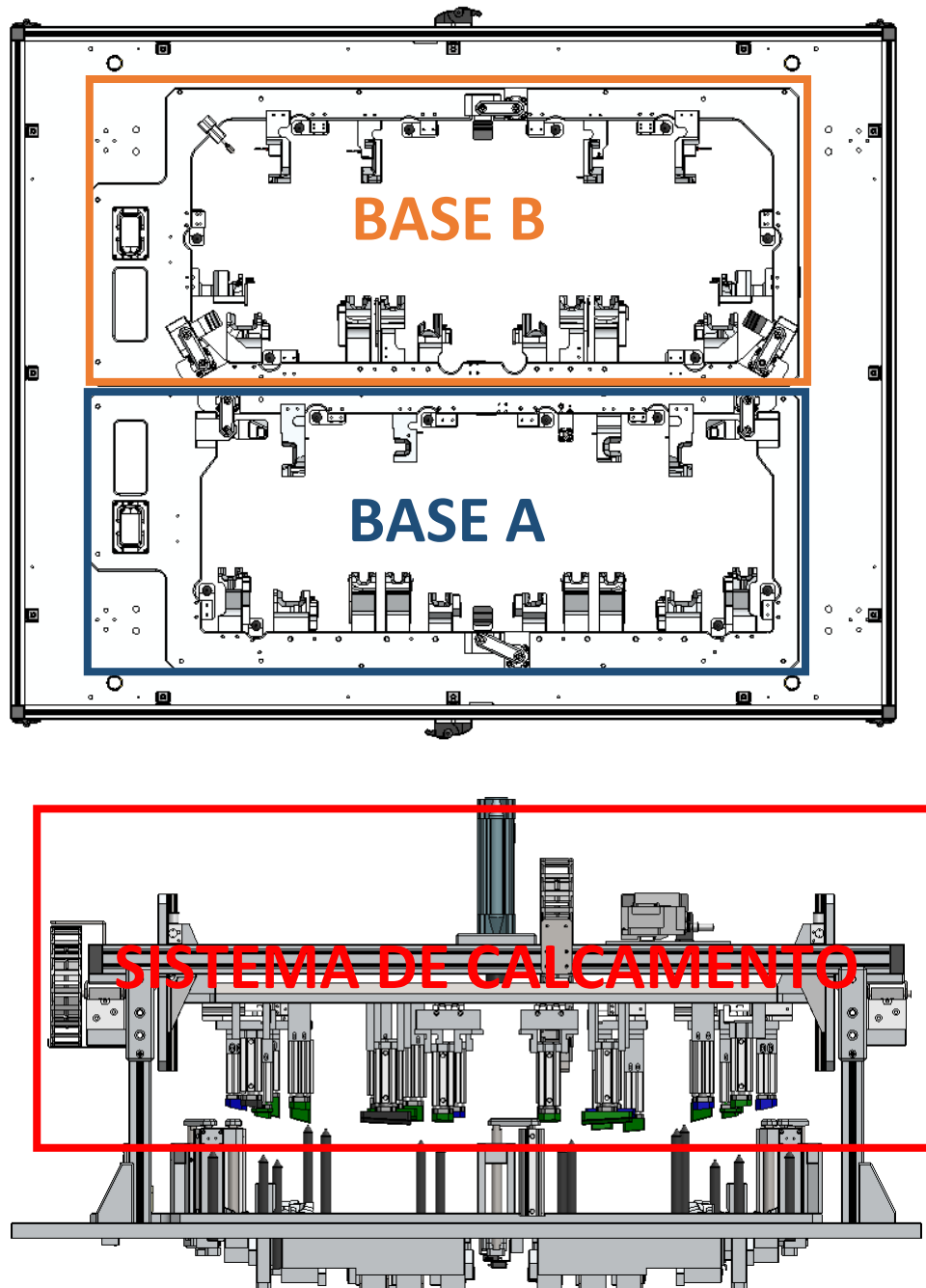


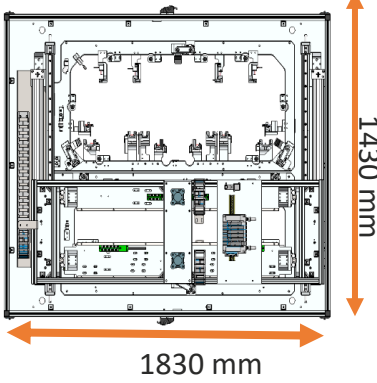
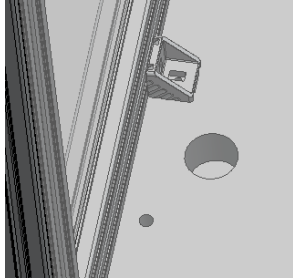

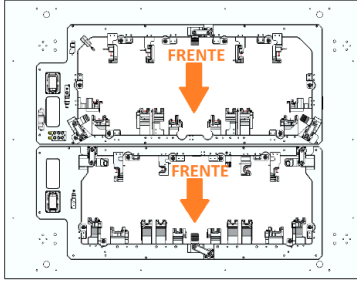
Figura 90 - Disposição geral da Base

#### 3.7.4.5.2 Características principais da Base

O projeto da Base incide essencialmente no projeto dos três subconjuntos anteriormente mencionados. No entanto, esta possui algumas características importantes para o alojamento destes e para o funcionamento do equipamento.

Características como dimensões, posicionamento e proteção da estrutura são algumas das características consideradas no projeto da Base. Na Tabela 50 são apresentadas estas e outras características relevantes a esta parte do equipamento.

Tabela 50 - Características principais da Base

Característica	Ilustração	Justificação
Dimensões		<p>A Base principal é anexada sobre a célula, devendo sobrepor toda a área da mesma. Deste modo, o comprimento da Base é 1830 mm e a largura 1430 mm.</p>
Posicionamento na célula		<p>Considerando a hipótese de alteração de Bases no equipamento, o cliente, refere, na FEE, que a Base deve ser indexada na célula por posicionadores, colocados em posições definidas por este.</p>
Isolamento de mecanismos		<p>Apesar de o equipamento operar sem a presença de operadores, este possui mecanismos complexos e automáticos. Por questões de segurança, todos esses componentes devem estar devidamente isolados. Assim, a Base do equipamento foi isolada com policarbonato.</p> <p>A pedido do cliente foram colocadas portas nesse isolamento, para facilitar operações de limpeza e manutenção.</p>
Orientação das Bases		<p>O equipamento opera com duas peças, produzidas em moldes diferentes, mas que são colocados na máquina de injeção com a mesma orientação, levando a que o robô de fábrica deposite as peças no equipamento com a mesma orientação. Assim, o cliente pediu que as Bases estivessem as duas com a frente da peça para o mesmo lado, evitando acrescentar movimentos para deposição de peças quando alterada a produção.</p>

### 3.7.4.5.3 Listagem de componentes da Base

Na Tabela 51 e Tabela 52 apresenta-se a listagem de componentes da Base. Nestas tabelas apresentam-se apenas os componentes principais associados à estrutura da mesma que não são contemplados em nenhum dos três subconjuntos principais a ela associados. No ANEXO I e Anexo II encontram-se as fichas técnicas dos componentes de mercado e os desenhos dos componentes não normalizados, respetivamente.

Tabela 51 - Listagem de componentes normalizados da Base


Componente	Quantidade	Fabricante/ Fabricante	Ilustração	Observações
<b>Sensor Indutivo</b>	2	Contrinex		<b>Referência:</b> DW-AD-624-M5
<b>Casquilho</b>	4	Lanema		<b>Referência:</b> Casquilho Tipo A 25 - 32 - 30

Tabela 52 - Listagem de componentes não normalizados da Base

Designação	Quantidade	Ilustração	Observações
<b>WRK-CLIC_0501</b>	1		Tampo principal da Base, onde serão fixados todos os conjuntos constituintes da Base.
<b>WRK-CLIC_0502</b>	2		Suportes dos sensores de identificação de presença das Bases (Base A e Base B).

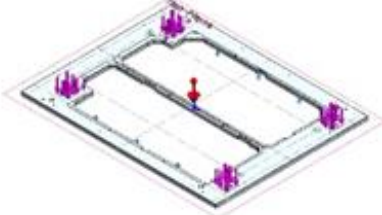
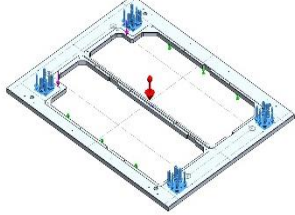
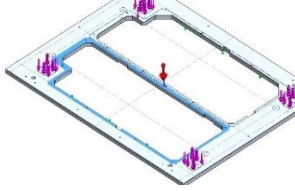
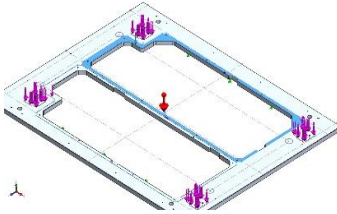
### 3.7.4.5.4 Dimensionamento da Base

A Base apresenta na sua constituição poucos componentes principais, não tendo assim muitos pontos críticos no que se refere ao dimensionamento da mesma. No entanto, é nesta que se encontra o tampo principal que suporta três subconjuntos principais do equipamento.

O tampo (WRK-CLIC\_0501) suporta a carga das duas Bases (Base A e Base B) e ainda o sistema de calcamento. Devido à geometria destes conjuntos, o tampo apresenta a sua estrutura debilitada pelos furos de acesso do robô às peças nas Bases durante o ciclo de inserção. Esta fragilidade levou a especial atenção neste componente, pelo que foi realizada uma análise de MEF ao mesmo, com o objetivo de avaliar a sua estabilidade.

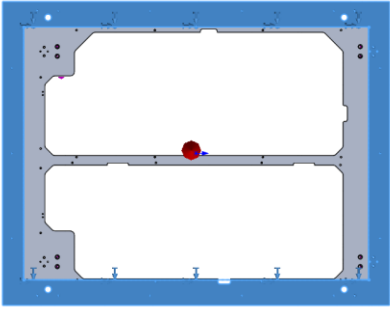
As forças aplicadas sobre o tampo principal da Base consideradas na análise encontram-se, na Tabela 53.

Tabela 53 - Forças aplicadas no tampo

Força aplicada	Representação
<b>Gravidade</b>	
<b>Carga exercida pelo sistema de calcamento</b>	 <p data-bbox="986 801 1166 831">Carga de 2000 N</p>
<b>Carga exercida pela Base A</b>	 <p data-bbox="994 1025 1161 1055">Carga de 500 N</p>
<b>Carga exercida pela Base B</b>	 <p data-bbox="994 1283 1161 1312">Carga de 500 N</p>

No que diz respeito às condições fronteira, na Tabela 54 apresentam-se as condições consideradas na análise.

Tabela 54 - Condições fronteira na análise do tampo

Condição Fronteira	Representação
<p data-bbox="236 1686 778 1765">Apoio em torno de todo o tampo (zona que faz apoio sobre a célula)</p>	

Após definição das forças aplicadas neste componente e das condições fronteira associadas à mesma, definiram-se os parâmetros de malha a utilizar na análise à estrutura, sendo estes apresentados na Tabela 55. A malha, por sua vez, está representada na Figura 91.

Tabela 55 - Parâmetros da malha utilizada na simulação do tempo

<b>Tipo de malha</b>	Malha sólida
<b>Malha usada</b>	Malha Standard do SolidWorks
<b>Tamanho máximo de elementos</b>	15 mm
<b>Tamanho mínimo de elementos</b>	0,75 mm
<b>Número de elementos</b>	112 489
<b>Número de nós</b>	185 606

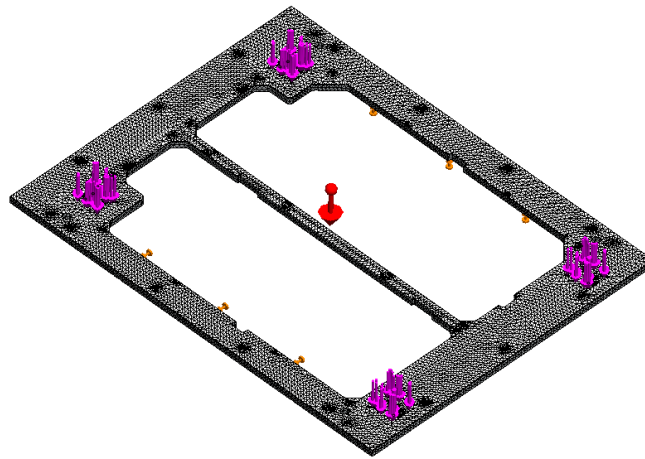


Figura 91 - Malha gerada para análise do tempo (WRK-CLIC\_0501)

Da análise realizada foram extraídos resultados em termos de tensões equivalentes de von Mises e de deslocamentos resultantes, os quais se encontram na Figura 92 e Figura 93, respetivamente.

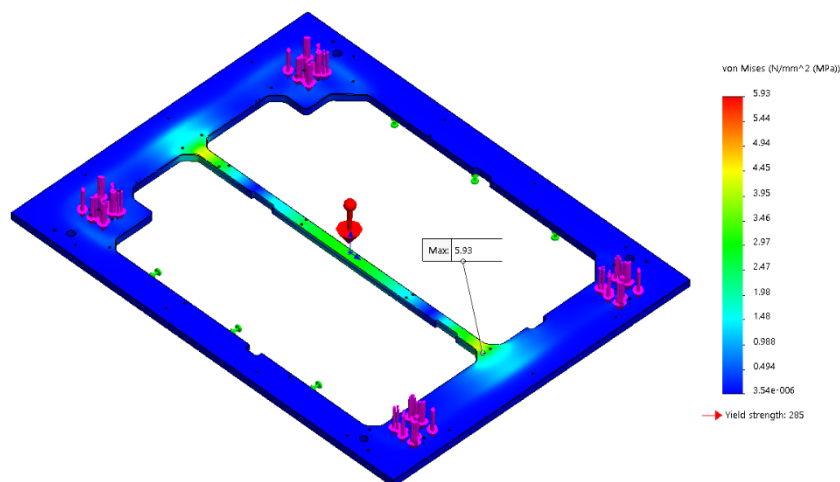


Figura 92 - Tensões equivalentes de von Mises do tempo

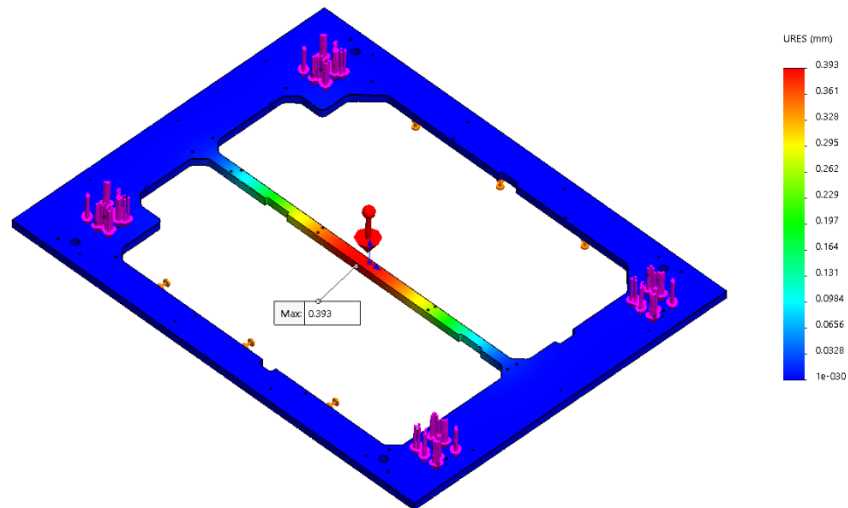


Figura 93 - Deslocamentos resultante no tampo

Os resultados obtidos indicam uma tensão máxima de 5,93 MPa e, no que se refere aos deslocamentos resultantes na estrutura, o valor máximo obtido é 0,393 mm. Estes resultados indicam que a estrutura é capaz de suportar os esforços a que está sujeita, uma vez que se encontra sobredimensionada.

#### 3.7.4.5.5 Montagem da Base

A montagem da Base assenta na assemblagem dos conjuntos principais sobre ela. A primeira etapa de montagem passa pela assemblagem do tampo principal sobre a célula. Posteriormente são indexados os conjuntos a ela associados, primeiramente as Bases, Base A e Base B, de seguida o sistema de calcamento.

Após montagem de todos os conjuntos é feita a montagem da estrutura de proteção, que isola por completo a Base, garantindo a segurança do equipamento.

O desenho de montagem associado a este conjunto encontra-se na Figura 94.

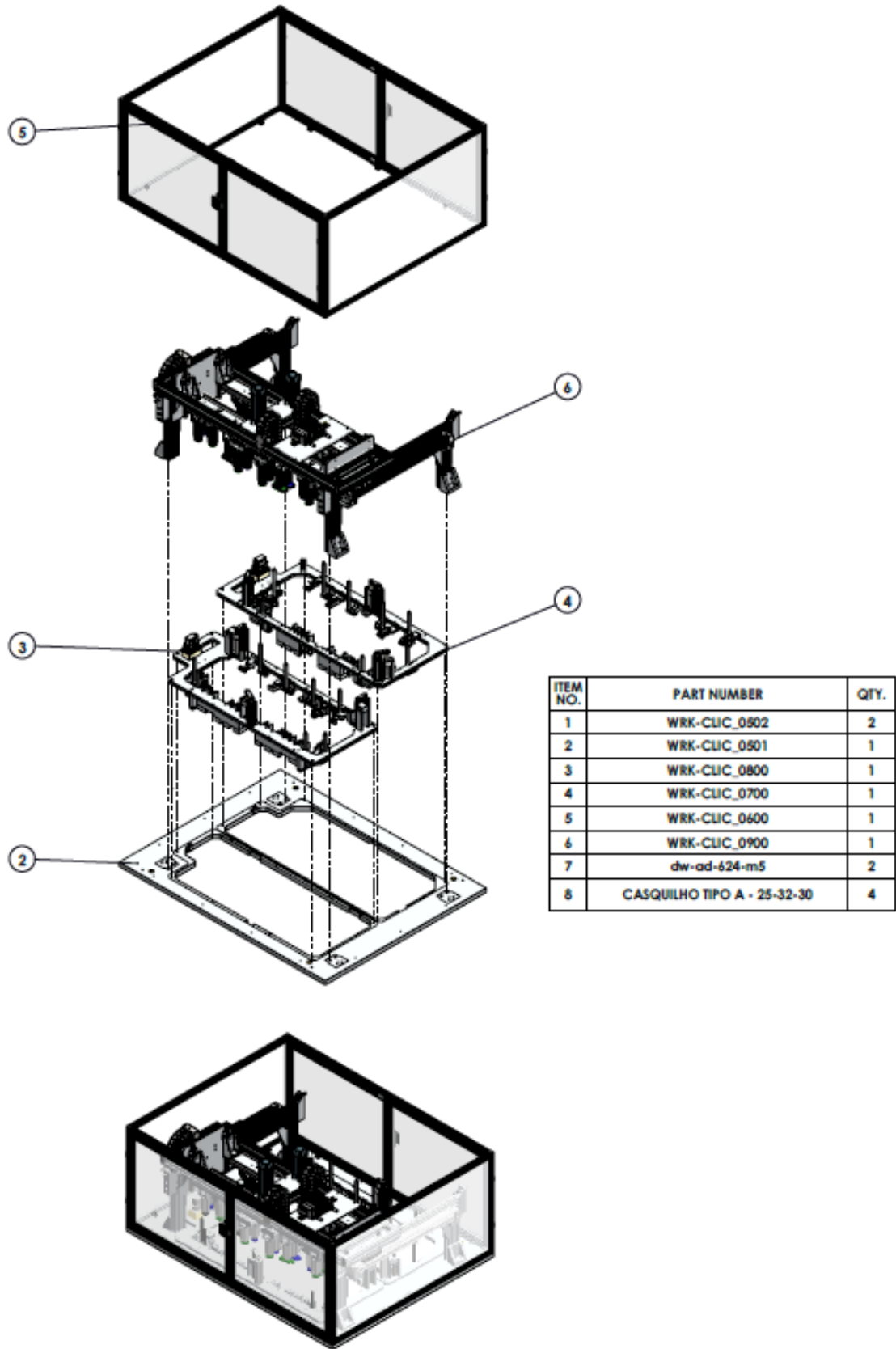


Figura 94 - Desenho de montagem da Base

### 3.7.4.6 Base A

A Base A é um dos subconjuntos da Base principal, e possui os constituintes necessários para operar a peça A, uma das peças em que o cliente pretende efetuar a inserção de componentes. Apresentam-se a seguir, da Figura 95 à Figura 97, algumas ilustrações do subconjunto em análise.

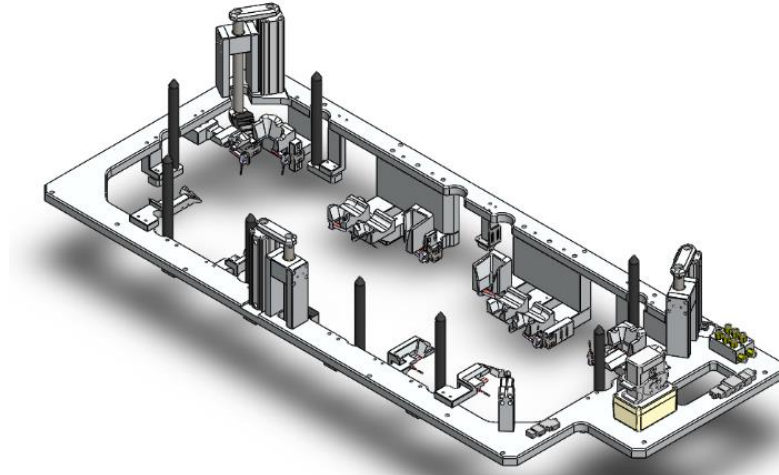


Figura 95 - Vista isométrica da Base A

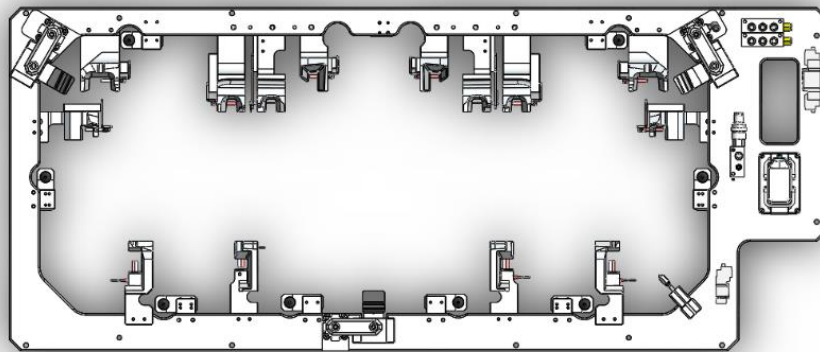


Figura 96 - Vista de topo da Base A

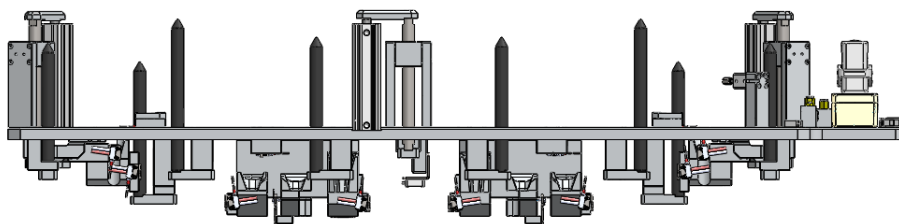


Figura 97 - Vista frontal da Base A

### 3.7.4.6.1 Disposição geral da Base A

Para operar a peça, a Base apresenta na sua constituição uma série de ninhos, que realizam o posicionamento da peça, e a estes estão anexados os sistemas de deteção de *clips*. Além dos componentes referidos, a Base apresenta pinos de auxílio ao guiamento da peça, desde o ponto onde é libertada até à posição final, nos ninhos.

Antes do início de ciclo é feita uma marcação na peça, estando a Base equipada com um pico de marcação de passagem. Concluído o ciclo, é ainda feita uma segunda marcação, existindo para tal um pico dinâmico.

Devido à forma como a peça é depositada e extraída do equipamento, a Base contempla ainda um sistema auxiliar de extração da peça.

A Figura 98 apresenta a disposição dos componentes e sistemas constituintes da Base A.

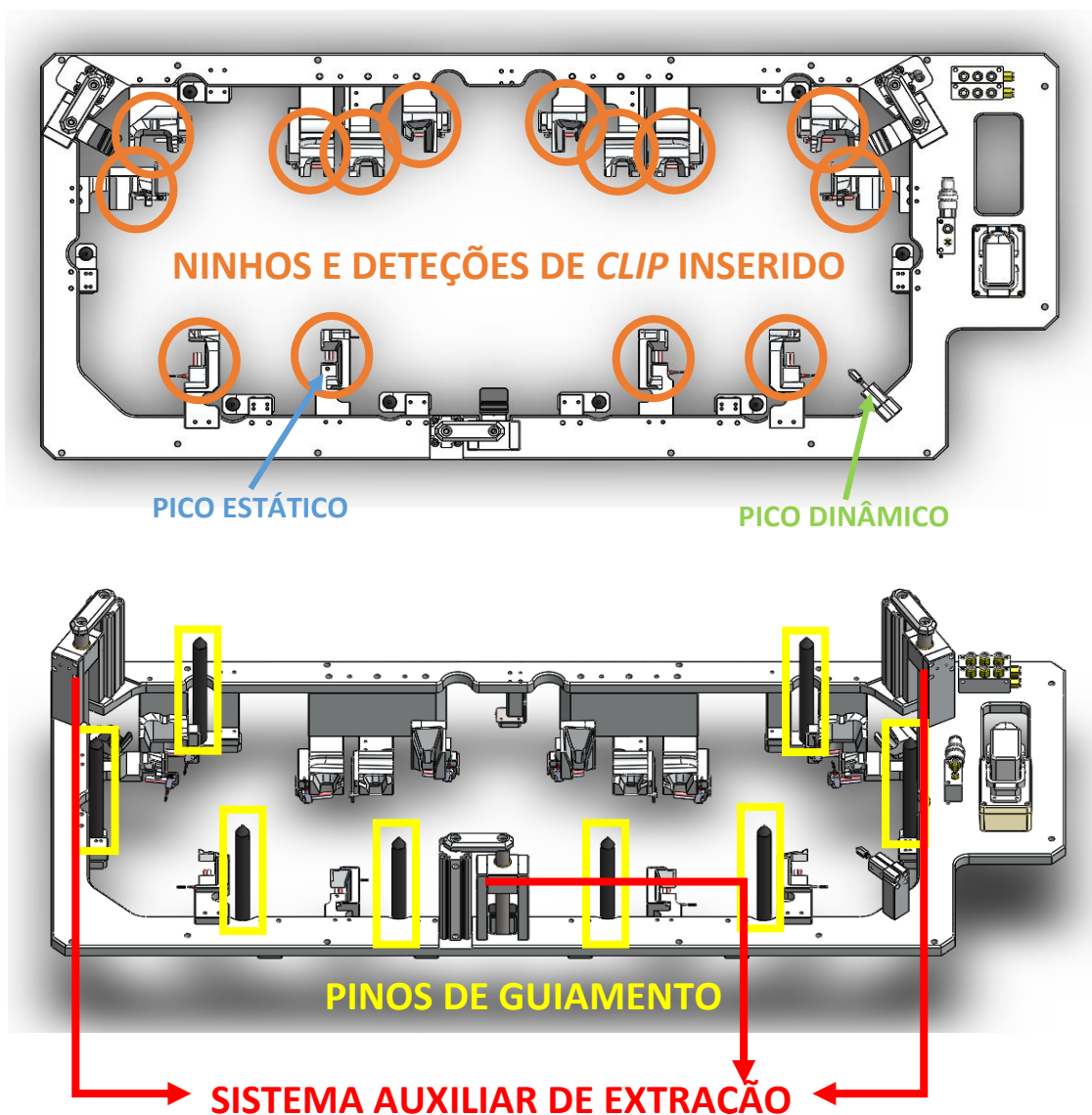


Figura 98 - Disposição geral da Base A

### 3.7.4.6.2 Características principais da Base A

A Base A foi projetada com o objetivo de operar a Peça A, estando por isso as suas principais características associadas à geometria da peça. No entanto, existe uma série de características associadas à Base, estando todas elas enumeradas na Tabela 56.

Tabela 56 - Características principais da Base A

Característica	Ilustração	Justificação
<b>Geometria dos ninhos</b>		<p>Pretende-se que a Base tenha capacidade de posicionar a peça em dois eixos, <math>xx'</math> e <math>yy'</math>. Deste modo, os ninhos foram projetados de forma a que a peça fique com os porta <i>clips</i> delimitados em três lados, ficando o outro lado livre para a inserção de <i>clips</i> se tornar possível.</p> <p>Numa outra fase, a peça tem de ser posicionada também no eixo <math>zz'</math>. Deste modo, a parte superior dos ninhos é uma espécie de molde da peça, para que esta, quando pressionada na vertical, fique perfeitamente posicionada.</p>
<b>Deteção de <i>clips</i></b>		<p>Um dos requisitos principais do equipamento passa por garantir a inserção dos <i>clips</i>, sendo isso realizado através da deteção dos <i>clips</i> na peça no final de ciclo. Para esta função a Base possui sensores solidários a todos os ninhos.</p> <p>Os sensores utilizados preferencialmente são sensores fotoelétricos de curto alcance, PB-MB30 da KEYENCE. No entanto, em determinadas zonas, devido à falta de espaço, foram aplicadas fibras óticas, FU-66TZ da KEYENCE.</p>
<b>Guiamento de peça</b>		<p>Segundo a FEE, o equipamento deve possuir capacidade de receber a peça, sendo esta libertada a uma distância de aproximadamente 100 mm dos ninhos. Para garantir que a peça chega corretamente aos ninhos, foram introduzidos na Base pinos de guiamento, que delimitam o percurso que a peça deve fazer. Estes pinos são produzidos em tecaform, uma vez que este material não danifica a peça.</p>

<p><b>Deteção de peça</b></p>		<p>Para iniciar o funcionamento do equipamento é necessária informação de presença de peça no mesmo. Assim, a Base possui uma deteção de presença de peça.</p>
<p><b>Marcação de passagem</b></p>		<p>Por requisito do cliente, o equipamento deve fazer uma marcação na peça, indicando a passagem da mesma pelo equipamento, existindo assim um “pico estático” alojado na Base, que deixa uma marca na peça logo após esta estar posicionada no equipamento.</p>
<p><b>Marcação de validação</b></p>		<p>Além da marcação de passagem, no final de ciclo do equipamento, o cliente requer uma seleção entre peças OK e NOK, pretendendo uma marcação nas peças OK, existindo assim um “pico dinâmico” na Base.</p>
<p><b>Extração de peça</b></p>		<p>Após conclusão do ciclo de inserção de <i>clips</i>, a peça é retirada do equipamento pelo robô de fábrica que está equipado com um sistema de “mão presa”. No decorrer do projeto o cliente apresentou uma “mão presa” que devido à geometria da Base não seria capaz de retirar a peça do equipamento. Perante esta situação foi introduzido um sistema auxiliar de extração, formado por três atuadores pneumáticos que elevam a peça 130 mm, ficando assim numa posição em que a “mão presa” já a consegue retirar.</p>
<p><b>Ligação pneumática</b></p>		<p>A Base deve ser de extração fácil e independente. Para isto, foi aplicado na Base um sistema de “engate rápido”. Assim, para extração da Base, a ligação de ar é facilmente desativada.</p>
<p><b>Ligações elétricas</b></p>		<p>Seguindo o princípio das ligações pneumáticas, é necessário também que as ligações elétricas sejam facilmente desconectadas. Com este fim, a Base possui uma “Ficha Harting”, de acordo com o CEG, à qual estão ligados todos os sinais elétricos.</p>

### 3.7.4.6.3 Listagem de componentes da Base A

A Tabela 57 apresenta a listagem de componentes normalizados que fazem parte da constituição da Base A, sendo estes essencialmente componentes de deteção e atuadores pneumáticos. A fichas técnicas correspondentes aos componentes mencionados encontram-se no Anexo I.

Tabela 57 - Listagem de componentes normalizados da Base A

Componente	Quantidade	Fabricante/ Fornecedor	Ilustração	Observações
<b>Sensor fotoelétrico</b>	12	KEYENCE		<b>Referência:</b> PR-MB30P3
<b>Sensor fotoelétrico</b>	3	KEYENCE		<b>Referência:</b> PZ-G42P
<b>Sensor fibra ótica</b>	2	KEYENCE		<b>Referência:</b> FU-66TZ
<b>Atuador pneumático</b>	3	SMC		<b>Referência:</b> CD55B32-130
<b>Atuador pneumático</b>	1	SMC		<b>Referência:</b> CDQSB12-10DM
<b>Casquilho</b>	6	Lanema		<b>Referência:</b> TIPO A - 20-24-16



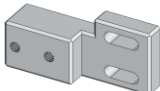

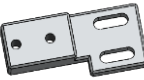
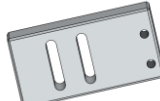
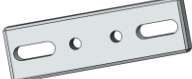

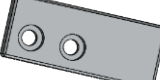
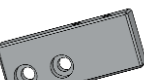

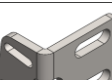
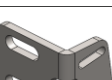


Além dos componentes normalizados, a Base A apresenta uma série de peças produzidas especialmente para este conjunto do equipamento. As peças não normalizadas são essencialmente os ninhos e suportes de detetores, que se encontram ligados a peças principais de estruturação. A listagem de componentes encontra-se na Tabela 58, e os respetivos desenhos no ANEXO II.

Tabela 58 - Listagem de componentes não normalizados da Base A

Designação	Quantidade	Ilustração	Observações
<b>WRK-CLIC_0701</b>	1		Tampo que suporta os componentes principais, dá forma à Base e confere rigidez à mesma.

WRK-CLIC_0702	1		<p>Conjunto de 14 ninhos, onde é alojada a peça a trabalhar. Em cada um dos ninhos é posicionado um porta <i>clips</i> da peça, e é feito assim o posicionamento da peça nos eixos <math>xx'</math> e <math>yy'</math>.</p>
WRK-CLIC_0703	1		
WRK-CLIC_0704	1		
WRK-CLIC_0705	1		
WRK-CLIC_0706	1		
WRK-CLIC_0707	1		
WRK-CLIC_0708	1		
WRK-CLIC_0709	1		
WRK-CLIC_0710	1		
WRK-CLIC_0711	1		
WRK-CLIC_0712	1		
WRK-CLIC_0713	1		
WRK-CLIC_0714	1		
WRK-CLIC_0715	1		

<b>WRK-CLIC_0716</b>	8		<p>Componentes responsáveis pelo guiamento da peça, desde a posição em que esta é libertada (aproximadamente 100 mm) até aos ninhos. As peças 717, 719, 720 e 721 fazem o guiamento da peça através do contacto com a mesma, as restantes peças servem de suporte e fixação destas.</p> 
<b>WRK-CLIC_0717</b>	2		
<b>WRK-CLIC_0718</b>	2		
<b>WRK-CLIC_0719</b>	2		
<b>WRK-CLIC_0720</b>	2		
<b>WRK-CLIC_0721</b>	2		
<b>WRK-CLIC_0722</b>	4		
<b>WRK-CLIC_0723</b>	2		
<b>WRK-CLIC_0724</b>	2		
<b>WRK-CLIC_0734</b>	1		
<b>WRK-CLIC_0742</b>	1		

WRK-CLIC_0725	1		Peças intermédias de ligação dos suportes de detetores aos ninhos. Os detetores foram posicionados com afinação em todos os eixos. Estas peças permitem a afinação dos detetores num dos eixos cartesianos.
WRK-CLIC_0726	1		
WRK-CLIC_0727	1		
WRK-CLIC_0728	1		
WRK-CLIC_0729	1		
WRK-CLIC_0730	1		
WRK-CLIC_0731	1		
WRK-CLIC_0732	1		
WRK-CLIC_0733	1		
WRK-CLIC_0735	1		
WRK-CLIC_0736	2		Chapas de fixação dos detetores de clips. Permitem a afinação dos detetores em dois eixos.
WRK-CLIC_0738	3		
WRK-CLIC_0739	3		
WRK-CLIC_0740	1		
WRK-CLIC_0741	1		

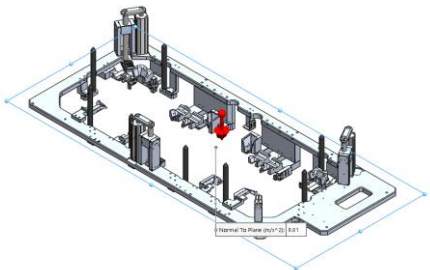
<b>WRK-CLIC_0743</b>	2		<p>Componentes constituintes do sistema de extração de peça da Base A.</p> 
<b>WRK-CLIC_0744</b>	2		
<b>WRK-CLIC_0745</b>	1		
<b>WRK-CLIC_0746</b>	1		
<b>WRK-CLIC_0747</b>	3		
<b>WRK-CLIC_0748</b>	6		
<b>WRK-CLIC_0749</b>	3		
<b>WRK-CLIC_0750</b>	1		
<b>WRK-CLIC_0751</b>	1		
<b>WRK-CLIC_0752</b>	1		
<b>WRK-CLIC_0753</b>	1		
<b>WRK-CLIC_0754</b>	1		Suporte do sensor de deteção de presença de peça na Base A.
<b>WRK-CLIC_0737</b>	1		
<b>WRK-CLIC_0755</b>	2		Suporte do cilindro de marcação dinâmica da peça após inserção dos componentes.
<b>WRK-CLIC_0756</b>	1		Peça de picagem dinâmica da peça.

#### 3.7.4.6.4 Dimensionamento da Base A

A Base A, durante o ciclo de funcionamento do equipamento suporta a peça A nos seus ninhos. A mesma é posicionada pelo sistema de calcamento, que apenas faz o encosto da peça na Base, sem exercer força, uma vez que a Base apresenta liberdade para deposição da peça. Assim, a Base A não se encontra sujeita a grandes esforços, sendo aqui apresentada uma análise de MEF para avaliar a influência da carga dos componentes da Base sobre a mesma.

As forças aplicadas sobre a Base A consideradas na análise encontram-se a seguir, na Tabela 59.

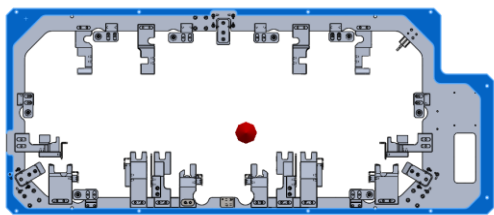
Tabela 59 - Forças aplicadas na Base A

Força aplicada	Representação
Gravidade	

No que se refere às forças aplicadas sobre a Base, foi descartado o efeito do sistema de calcamento sobre este conjunto. Uma vez que a Base apresenta folga nos seus ninhos a peça fica perfeitamente apoiada neles, levando a que o sistema de calcamento se posicione sobre a peça sem exercer carga nela, realizando apenas o seu bloqueio no eixo  $zz'$ .

No que diz respeito às condições fronteira, na Tabela 60 apresentam-se as condições consideradas na análise.

Tabela 60 - Condições fronteira na análise da Base A

Condição fronteira	Representação
Apoio da Base sobre o tampo principal da Base (contorno do tampo), considerado uma ligação fixa	

Após definição das forças aplicadas neste componente e das condições fronteira associadas à mesma, definiram-se os parâmetros de malha a utilizar na análise à estrutura, sendo estes apresentados na Tabela 61. Na Figura 99 apresenta-se a malha.

Tabela 61 - Parâmetros da malha utilizada na simulação da Base A

<b>Tipo de malha</b>	Malha mista
<b>Malha usada</b>	Malha com Baseada na curvatura do SolidWorks
<b>Tamanho máximo de elementos</b>	15 mm
<b>Tamanho mínimo de elementos</b>	3 mm

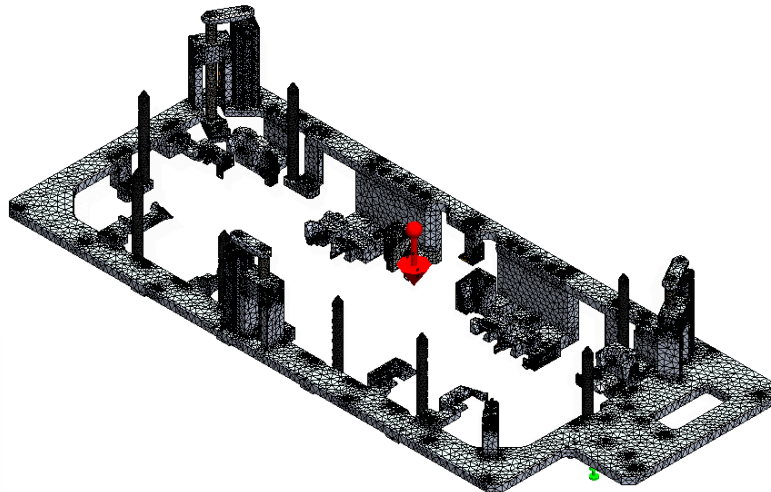


Figura 99 - Malha gerada para análise da Base A

Da análise realizada foram extraídos resultados em termos de tensão equivalente de von Mises e de deslocamentos resultantes, os quais se encontram na Figura 100 e Figura 101, respetivamente.

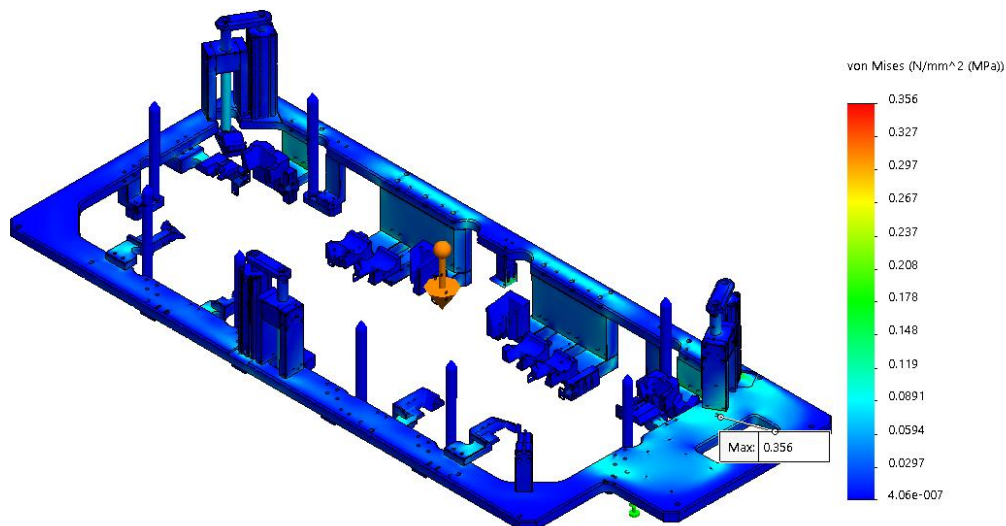


Figura 100 - Tensões equivalentes de von Mises da Base A

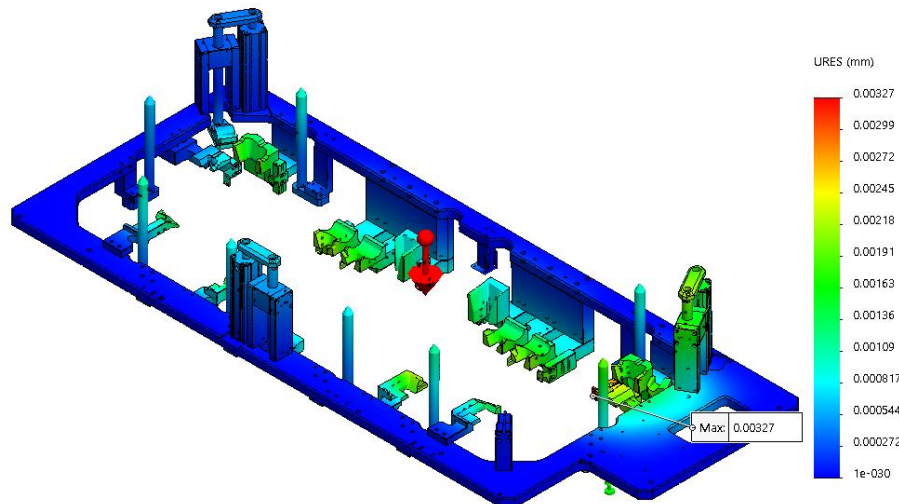


Figura 101 – Deslocamentos resultantes na Base A

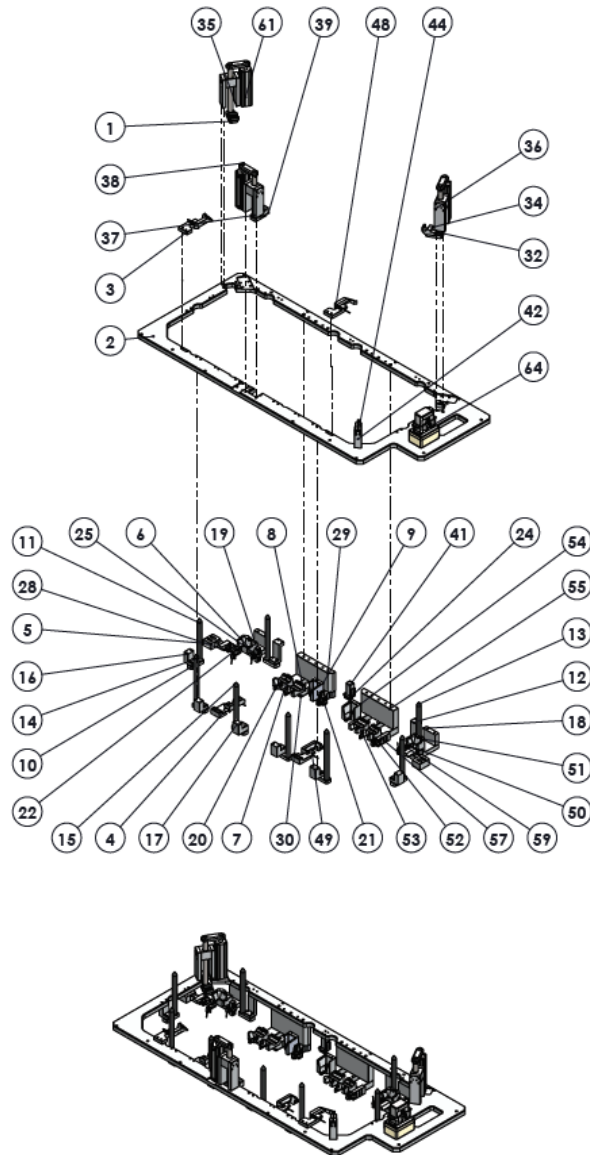
Os resultados obtidos indicam uma tensão máxima de 0,356 MPa e, no que se refere a deslocamentos na estrutura, o valor máximo obtido é 0,003 mm, encontrando-se assim a estrutura bastante estável e sobredimensionada.

#### 3.7.4.6.5 Montagem da Base A

A montagem da Base A passa pela ligação de todos os componentes ao tampo principal.

A maioria dos componentes possui ajuste de posição após montagem, como é o caso dos ninhos e dos sistemas de deteção, pelo que a sua montagem só termina quando realizados os primeiros ensaios com peças.

O desenho de auxílio à montagem deste conjunto é apresentado na Figura 102.



ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	WRK-CLIC_0747	3
2	WRK-CLIC_0701	1
3	WRK-CLIC_0702	1
4	WRK-CLIC_0703	1
5	WRK-CLIC_0704	1
6	WRK-CLIC_0705	1
7	WRK-CLIC_0706	1
8	WRK-CLIC_0707	1
9	WRK-CLIC_0708	1
10	WRK-CLIC_0716	8
11	WRK-CLIC_0717	2
12	WRK-CLIC_0718	2
13	WRK-CLIC_0719	2
14	WRK-CLIC_0720	2
15	WRK-CLIC_0721	2
16	WRK-CLIC_0722	4
17	WRK-CLIC_0723	2
18	WRK-CLIC_0724	2
19	WRK-CLIC_0725	1
20	WRK-CLIC_0726	1
21	WRK-CLIC_0727	1
22	WRK-CLIC_0728	1
23	WRK-CLIC_0736	2
24	WRK-CLIC_0737	1
25	WRK-CLIC_0738	3
26	WRK-CLIC_0739	3
27	WRK-CLIC_0740	1
28	WRK-CLIC_0741	1
29	WRK-CLIC_0734	1
30	WRK-CLIC_0735	1
31	WRK-CLIC_0743	2
32	WRK-CLIC_0744	2
33	WRK-CLIC_0745	1
34	WRK-CLIC_0746	1
35	WRK-CLIC_0748	6
36	WRK-CLIC_0749	3
37	WRK-CLIC_0750	1
38	WRK-CLIC_0751	1
39	WRK-CLIC_0752	1
40	WRK-CLIC_0753	1
41	WRK-CLIC_0754	1
42	WRK-CLIC_0755	1
43	WRK-CLIC_0756	1
44	CDQSB12-10DM	1
45	PR-MB30P3	12
46	PZ-G42P	1
47	FU-66TZ	2
48	WRK-CLIC_0709	1
49	WRK-CLIC_0710	1
50	WRK-CLIC_0711	1
51	WRK-CLIC_0712	1
52	WRK-CLIC_0713	1
53	WRK-CLIC_0714	1
54	WRK-CLIC_0715	1
55	WRK-CLIC_0742	1
56	WRK-CLIC_0729	1
57	WRK-CLIC_0730	1
58	WRK-CLIC_0731	1
59	WRK-CLIC_0732	1
60	WRK-CLIC_0733	1
61	CD55B32-130(0_1_0)	3
62	CASQUILHO TIPO A - 20-24-16	6
63	MGRP081106GE	1
64	Ficha Harting 17.172_75_77	1

Figura 102 - Desenho de montagem da Base A

### 3.7.4.7 Base B

A Base B apresenta a mesma função que a Base A, mudando-se apenas a peça a trabalhar. Sendo as peças a trabalhar em tudo semelhantes, ambas as Bases apresentam-se também semelhantes, como se pode observar nas ilustrações presentes da Figura 103 à Figura 105.

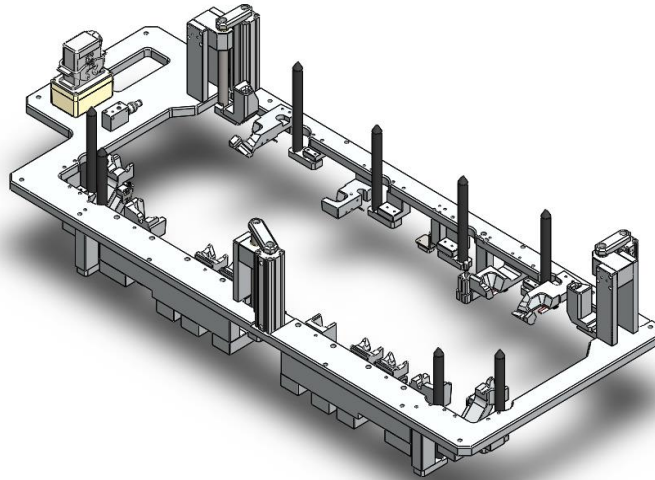


Figura 103 - Vista isométrica da Base B

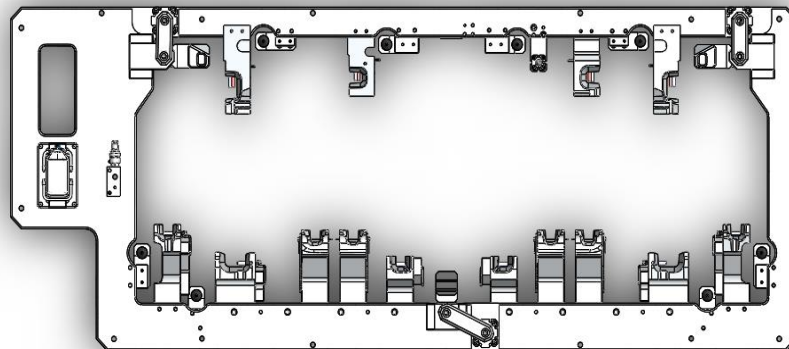


Figura 104 - Vista de topo da Base B

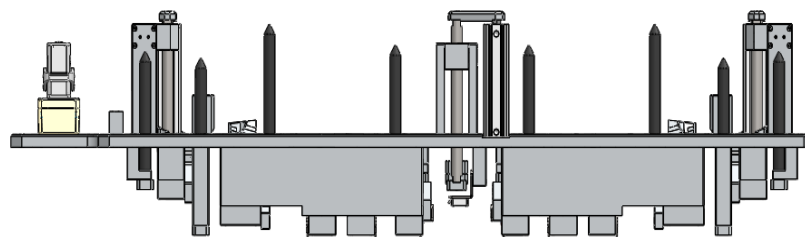


Figura 105 - Vista frontal da Base B

### 3.7.4.7.1 Disposição geral da Base B

A disposição geral da Base B é um tudo muito próxima da disposição da Base A, apresentada anteriormente no capítulo 3.7.4.6.1, existindo apenas variações na posição de determinados componentes e sistemas.

A disposição geral da Base B apresenta-se na Figura 106, onde os componentes principais são os ninhos, as deteções, o guiamento de peça, o sistema de extração e os pontos de picagem da peça.

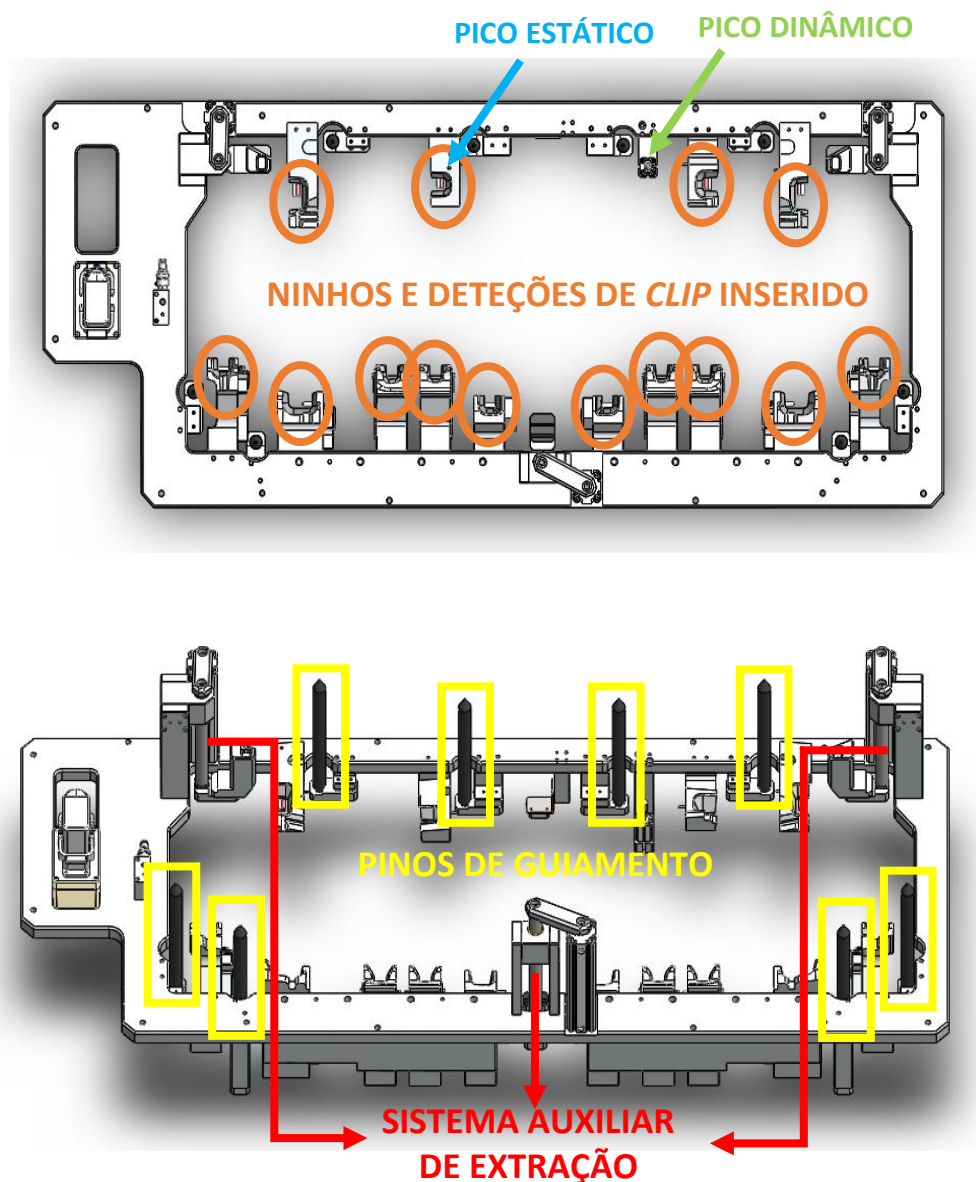


Figura 106 - Disposição geral da Base B

### 3.7.4.7.2 Características principais da Base B

A Base B foi integralmente projetada com os mesmos princípios aplicados no projeto da Base A, deste modo, as características principais deste subconjunto são as anteriormente apresentadas, no ponto 3.7.4.6.2.

### 3.7.4.7.3 Listagem de componentes da Base B

Componentes de deteção e atuadores pneumáticos são os componentes normalizados presentes na Base B, Tabela 62, tal como na Base A. No Anexo I encontram-se as fichas técnicas correspondentes aos componentes apresentados neste ponto.

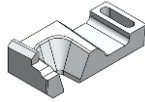
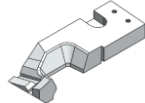
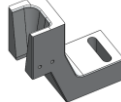
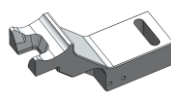
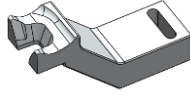
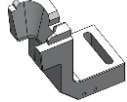
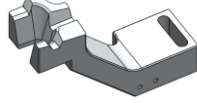

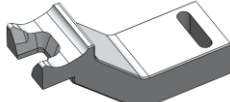
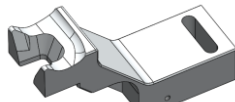
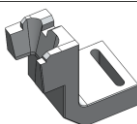
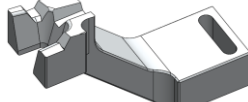
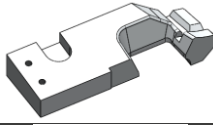
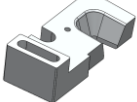
Tabela 62 - Listagem de componentes normalizados da Base B

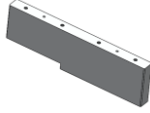
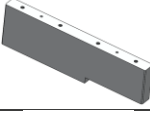

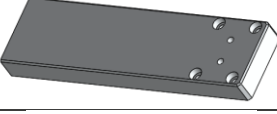
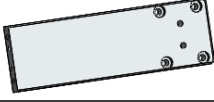
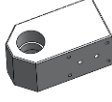

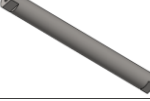

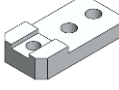
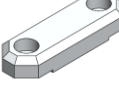




Componente	Quantidade	Fabricante/ Fornecedor	Ilustração	Observações
Sensor fotoelétrico	10	KEYENCE		Referência: PR-MB30P3
Sensor fotoelétrico	3	KEYENCE		Referência: PZ-G42P
Sensor fibra ótica	4	KEYENCE		Referência: FU-66TZ
Atuador pneumático	3	SMC		Referência: CD55B32-130
Atuador pneumático	1	SMC		Referência: CDQSB12-10DM
Casquilho	6	Lanema		Referência: TIPO A - 20-24-16

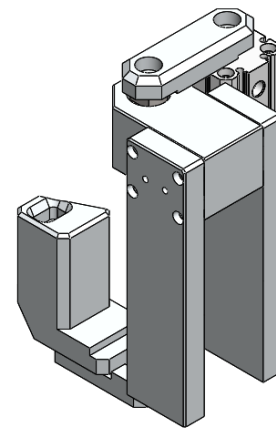
A par dos componentes normalizados, a Base B apresenta componentes não normalizados. Os componentes não normalizados desta Base são em tudo muito semelhantes aos da Base A devido às semelhanças na geometria das peças a trabalhar. Apresenta-se na Tabela 63 a listagem dos componentes mencionados, cujos desenhos são apresentados no Anexo II.




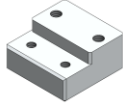
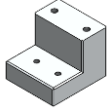


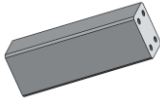



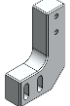

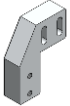
Tabela 63 - Listagem de componentes não normalizados da Base B






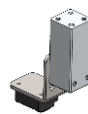

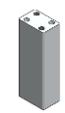
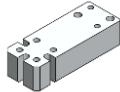

Designação	Quantidade	Ilustração	Observações
WRK-CLIC_0801	1		Tampo que suporta os componentes principais. Dá forma à Base e confere rigidez à mesma.

WRK-CLIC_0802	1		<p>Conjunto de 14 ninhos, onde é alojada a peça a trabalhar. Em cada um dos ninhos é posicionado um porta <i>clips</i> da peça, e é feito assim o posicionamento da peça nos eixos <math>xx'</math> e <math>yy'</math>.</p>
WRK-CLIC_0803	1		
WRK-CLIC_0804	1		
WRK-CLIC_0805	1		
WRK-CLIC_0806	1		
WRK-CLIC_0807	1		
WRK-CLIC_0808	1		
WRK-CLIC_0809	1		
WRK-CLIC_0810	1		
WRK-CLIC_0811	1		
WRK-CLIC_0812	1		
WRK-CLIC_0813	1		
WRK-CLIC_0814	1		
WRK-CLIC_0816	1		

WRK-CLIC_0815	1		Peças intermédias de ligação dos ninhos ao tampo. Estas peças permitem a absorção das diferenças de cota, no eixo $yy'$ , da peça a trabalhar.
WRK-CLIC_0817	1		
WRK-CLIC_0838	2		
WRK-CLIC_0818	4		Componentes constituintes do sistema de extração de peça da Base B.
WRK-CLIC_0819	2		
WRK-CLIC_0820	2		
WRK-CLIC_0821	1		
WRK-CLIC_0822	2		
WRK-CLIC_0823	1		
WRK-CLIC_0824	3		
WRK-CLIC_0825	2		
WRK-CLIC_0826	1		
WRK-CLIC_0827	1		
WRK-CLIC_0828	1		
WRK-CLIC_0829	1		



<b>WRK-CLIC_0830</b>	8		<p>Componentes responsáveis pelo guiamento da peça, desde a posição em que esta é libertada (aproximadamente 100 mm) até aos ninhos. As peças 831, 832 e 833 fazem o guiamento da peça através do contacto com a mesma, enquanto as restantes peças servem de suporte e fixação destas.</p> 
<b>WRK-CLIC_0831</b>	2		
<b>WRK-CLIC_0832</b>	4		
<b>WRK-CLIC_0833</b>	2		
<b>WRK-CLIC_0834</b>	2		
<b>WRK-CLIC_0835</b>	1		
<b>WRK-CLIC_0836</b>	1		
<b>WRK-CLIC_0837</b>	2		
<b>WRK-CLIC_0839</b>	2		
<b>WRK-CLIC_0840</b>	1		
<b>WRK-CLIC_0841</b>	1		
<b>WRK-CLIC_0842</b>	1		
<b>WRK-CLIC_0843</b>	1		
<b>WRK-CLIC_0844</b>	1		
<b>WRK-CLIC_0845</b>	1		

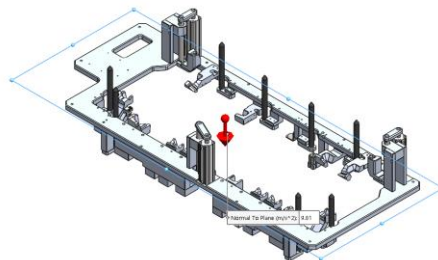
WRK-CLIC_0846	3		Chapas de fixação dos detetores de <i>clips</i> . Permitem a afinação dos detetores em dois eixos.
WRK-CLIC_0847	3		
WRK-CLIC_0848	4		
WRK-CLIC_0849	1		
WRK-CLIC_0850	1		
WRK-CLIC_0851	1		Peça de picagem estática da peça.
WRK-CLIC_0852	1		Suporte do cilindro de marcação dinâmica da peça após inserção dos componentes, e respetiva peça de picagem.
WRK-CLIC_0853	1		
WRK-CLIC_0854	1		

#### 3.7.4.7.4 Dimensionamento da Base B

A Base B apresenta-se sujeita aos mesmos esforços que a Base A, anteriormente apresentada. Assim, será realizada uma análise de MEF com o mesmo objetivo.

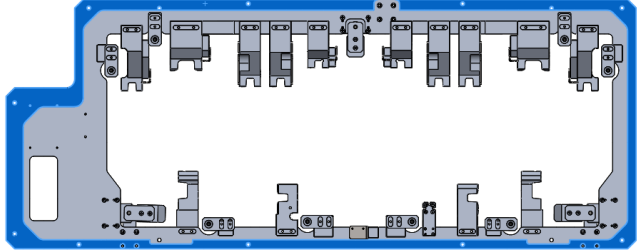
As forças aplicadas sobre a Base A consideradas na análise encontram-se a seguir, na Tabela 64.

Tabela 64 - Forças aplicadas na Base B

Força aplicada	Representação
Gravidade	

No que diz respeito às condições fronteira, na Tabela 65 apresentam-se as condições consideradas na análise.

Tabela 65 - Condições fronteira na análise da Base B

Condição fronteira	Representação
Apoio da Base sobre o tampo principal da Base (contorno do tampo), considerada ligação fixa	

Após definição das forças aplicadas neste componente e das condições fronteira associadas à mesma, definiram-se os parâmetros de malha a utilizar na análise à estrutura, sendo estes apresentados na Tabela 66. Na Figura 107 é apresentado aspeto da malha gerada para a análise.

Tabela 66 - Parâmetros da malha utilizada na simulação da Base B

<b>Tipo de malha</b>	Malha mista
<b>Malha usada</b>	Malha com baseada na curvatura do SolidWorks
<b>Tamanho máximo de elementos</b>	15 mm
<b>Tamanho mínimo de elementos</b>	3 mm

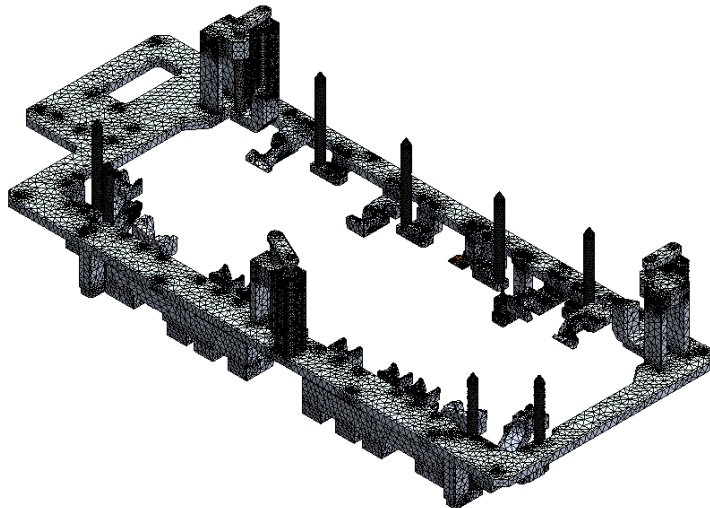


Figura 107 - Malha gerada para análise da Base B

Da análise realizada foram extraídos resultados em termos de tensão equivalente de von Mises e de deslocamentos resultantes, os quais se encontram na Figura 108 e Figura 109, respetivamente.

Os resultados obtidos indicam uma tensão máxima de 0,446 MPa, e no que se refere a deslocamentos na estrutura, o valor máximo obtido é 0,004 mm.

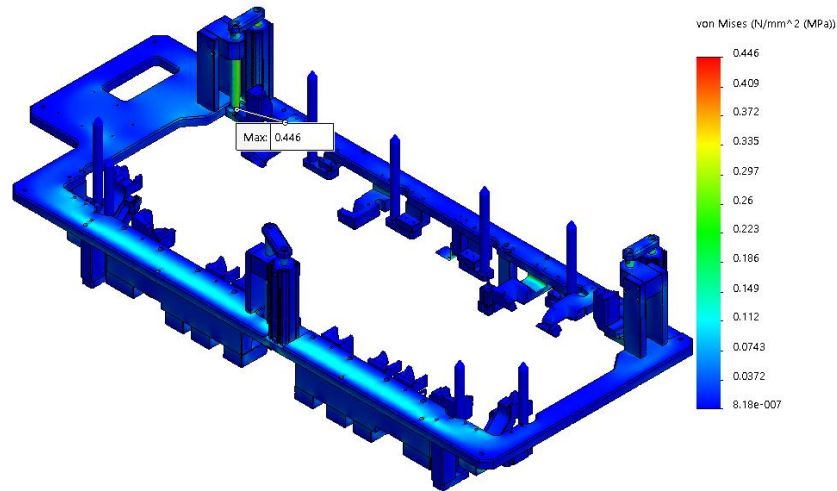


Figura 108 - Tensões equivalentes de von Mises da Base B

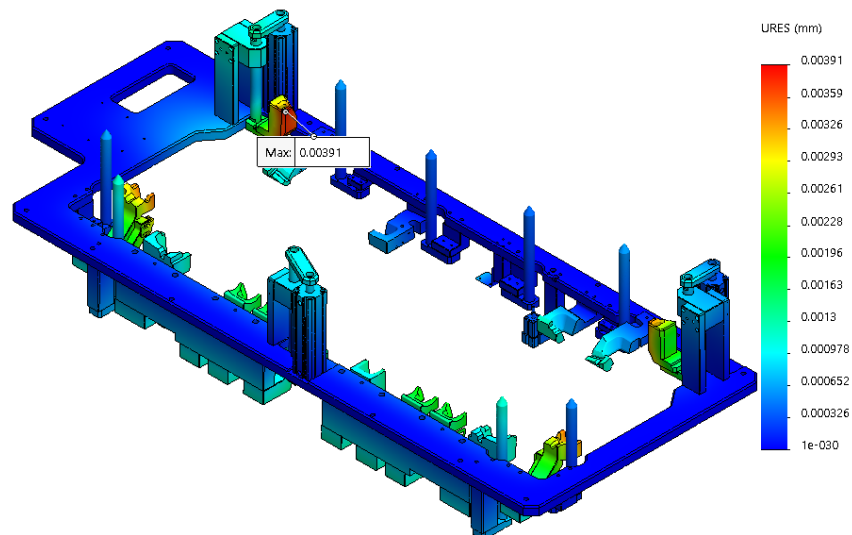
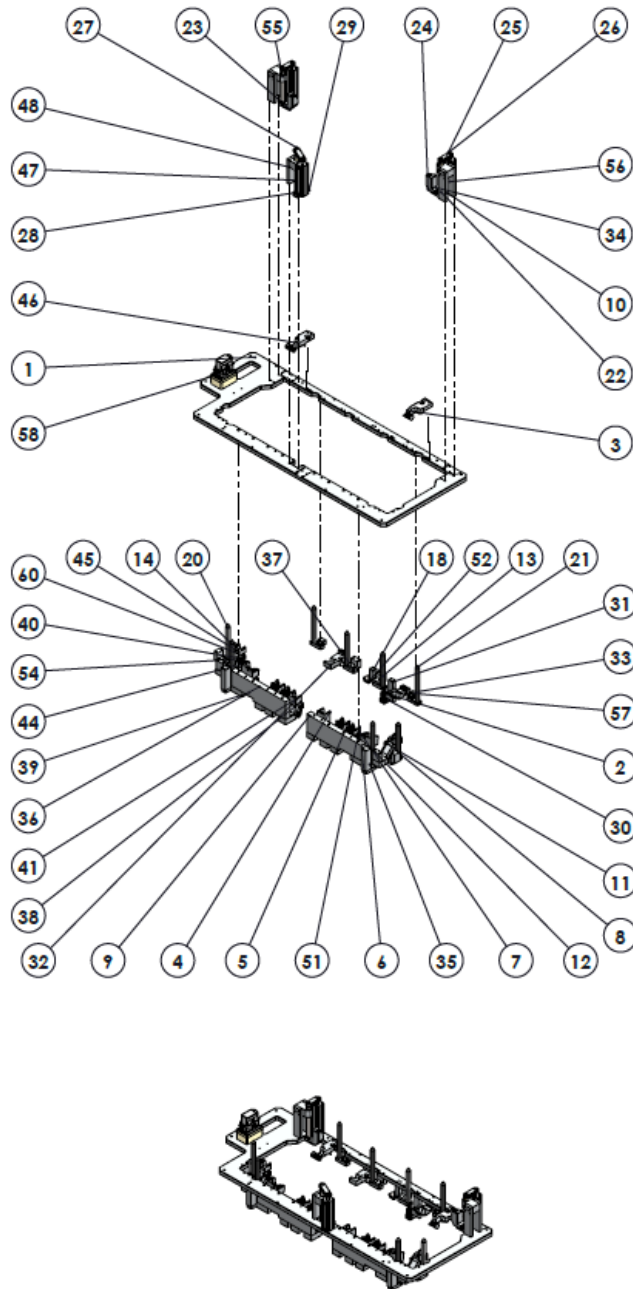


Figura 109 - Deslocamentos resultantes na Base B

#### 3.7.4.7.5 Montagem da Base B

A montagem da Base B segue os princípios da Base A. O desenho de montagem deste conjunto é apresentado na Figura 110.



ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	WRK-CLIC_0801	1
2	WRK-CLIC_0802	1
3	WRK-CLIC_0803	1
4	WRK-CLIC_0804	1
5	WRK-CLIC_0805	1
6	WRK-CLIC_0806	1
7	WRK-CLIC_0807	1
8	WRK-CLIC_0808	1
9	WRK-CLIC_0815	1
10	WRK-CLIC_0818	4
11	WRK-CLIC_0837	2
12	WRK-CLIC_0839	2
13	WRK-CLIC_0836	1
14	WRK-CLIC_0833	2
15	WRK-CLIC_0845	1
16	WRK-CLIC_0840	1
17	WRK-CLIC_0842	1
18	WRK-CLIC_0849	1
19	WRK-CLIC_0838	2
20	WRK-CLIC_0832	4
21	WRK-CLIC_0831	2
22	WRK-CLIC_0822	2
23	WRK-CLIC_0828	1
24	WRK-CLIC_0829	1
25	WRK-CLIC_0820	2
26	WRK-CLIC_0825	2
27	WRK-CLIC_0826	1
28	WRK-CLIC_0823	1
29	WRK-CLIC_0827	1
30	WRK-CLIC_0853	1
31	WRK-CLIC_0852	1
32	WRK-CLIC_0816	1
33	WRK-CLIC_0834	2
34	WRK-CLIC_0824	3
35	WRK-CLIC_0830	8
36	WRK-CLIC_0817	1
37	WRK-CLIC_0835	1
38	WRK-CLIC_0844	1
39	WRK-CLIC_0843	1
40	WRK-CLIC_0841	1
41	WRK-CLIC_0809	1
42	WRK-CLIC_0810	1
43	WRK-CLIC_0811	1
44	WRK-CLIC_0812	1
45	WRK-CLIC_0813	1
46	WRK-CLIC_0814	1
47	WRK-CLIC_0819	2
48	WRK-CLIC_0821	1
49	WRK-CLIC_0851	1
50	WRK-CLIC_0854	1
51	WRK-CLIC_0848	4
52	WRK-CLIC_0850	1
53	WRK-CLIC_0846	3
54	WRK-CLIC_0847	3
55	CASQUILHO TIPO A - 20-24-16	6
56	CD55B32-130(0_1_0)	3
57	CDGSB12-10DM	1
58	Ficha Harting 17.172_75_77	1
59	MGRP081106GE	1
60	PR-MB30P3	10
61	PZ-G42P	1
62	FU-66TZ	4

Figura 110 - Desenho de montagem da Base B

### 3.7.4.8 Sistema de calcamento

Garantir o correto posicionamento das peças no equipamento é responsabilidade da Base e posteriormente do sistema de calcamento. Quando a peça se encontra no equipamento, delimitada em dois eixos pelos ninhos, o sistema de calcamento é acionado e faz o posicionamento da peça num último eixo,  $zz'$ . Neste ponto é analisado o sistema de calcamento projetado para este equipamento, presente a seguir, da Figura 111 à Figura 113.

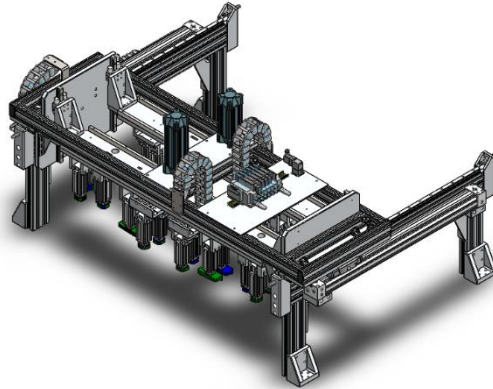


Figura 111 - Vista isométrica do sistema de calcamento

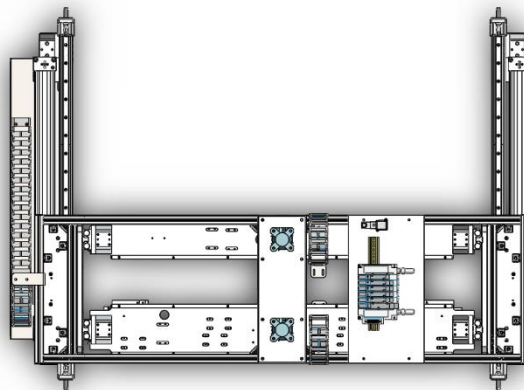


Figura 112 - Vista de topo do sistema de calcamento

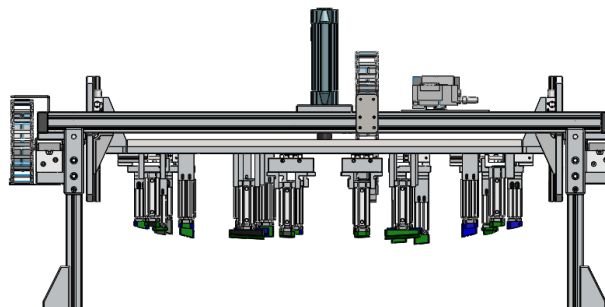


Figura 113 - Vista frontal do sistema de calcamento

### 3.7.4.8.1 Disposição geral do sistema de calcamento

O sistema de calcamento possui movimento linear horizontal, pelo que possui dois atuadores pneumáticos responsáveis por essa função. No que se refere ao calcamento, (movimento vertical), o sistema de calcamento possui dois atuadores pneumáticos responsáveis por fazer um avanço de aproximação que antecede o calcamento final, feito pelos atuadores de calcamento. A Figura 114 apresenta uma ilustração do sistema de calcamento com a identificação dos sistemas/componentes mencionados.

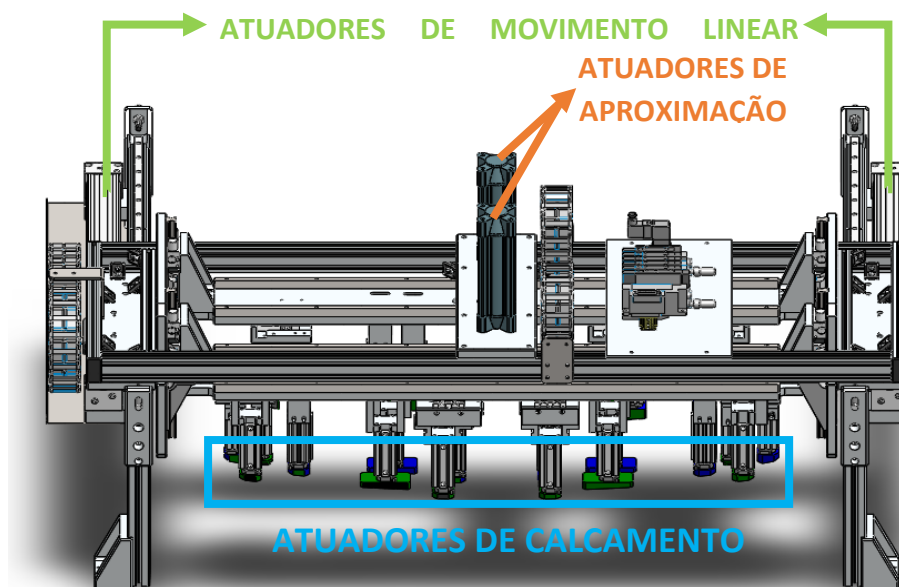


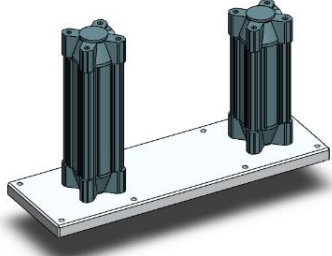
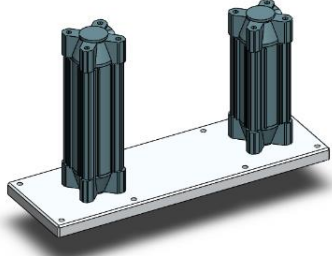
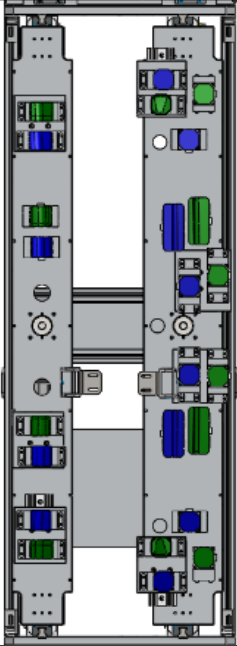
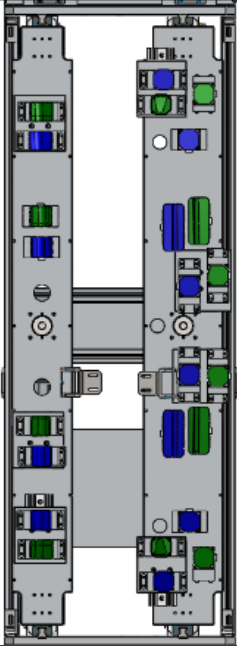
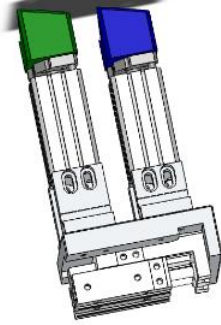
Figura 114 - Disposição geral do sistema de calcamento

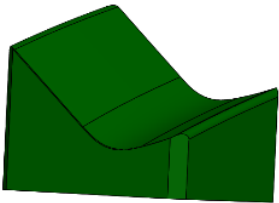
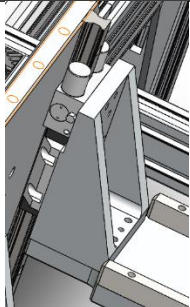
### 3.7.4.8.2 Características principais do sistema de calcamento

Tal como nos restantes subconjuntos do equipamento, o sistema de calcamento foi projetado com determinadas características associadas ao funcionamento do equipamento e aos requisitos do cliente. Na Tabela 67 apresenta-se uma abordagem às características principais do sistema de calcamento.

Tabela 67 - Características principais do sistema de calcamento

Característica	Ilustração	Justificação
<b>Movimento horizontal</b>		Depois de se optar por um sistema de calcamento com movimento linear horizontal, que permite a deposição e extração da peça da Base, aplicou-se para esse movimento um par de atuadores pneumáticos que, com o guiamento e estabilidade conferidos pelo conjunto de guias e patins, fazem o movimento pretendido.

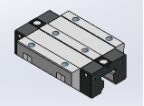
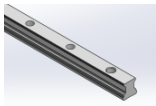


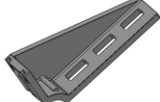
<p><b>Movimento de aproximação</b></p>		<p>Para que o sistema de calcamento se desloque livremente sobre as Bases, sem colisões, este tem de se mover a uma altura de aproximadamente 200 mm da Base. Para não aplicar atuadores com curso tão elevado, foi aplicado no sistema um pré-avanço. Em suma, os calcadores ficam anexados em duas placas, que são aproximadas da peça, e só após este avanço são acionados os calcadores. As duas placas surgem da diferença entre o ponto mais alto e o mais baixo das peças. Por esta distância ser um valor considerável, aplicam-se pré-avanços diferentes.</p>
<p><b>Diferentes alturas de aproximação</b></p>		<p>Para que o sistema de calcamento se desloque livremente sobre as Bases, sem colisões, este tem de se mover a uma altura de aproximadamente 200 mm da Base. Para não aplicar atuadores com curso tão elevado, foi aplicado no sistema um pré-avanço. Em suma, os calcadores ficam anexados em duas placas, que são aproximadas da peça, e só após este avanço são acionados os calcadores. As duas placas surgem da diferença entre o ponto mais alto e o mais baixo das peças. Por esta distância ser um valor considerável, aplicam-se pré-avanços diferentes.</p>
<p><b>Pontos de calcamento</b></p>		<p>Havendo duas peças a trabalhar, o equipamento foi projetado com calcadores independentes para ambas as peças. Assim, o sistema de calcamento apresenta 24 pontos de calcamento. Cada peça é preenchida com 14 <i>clips</i>, o que idealmente levaria a 28 pontos de calcamento, um por cada ponto de inserção. No entanto, devido à proximidade de alguns pontos de calcamento, aproveitando o tipo de calcamento adotado, alguns foram unidos.</p>
<p><b>Calcamento de peças independente</b></p>		<p>Havendo duas peças a trabalhar, o equipamento foi projetado com calcadores independentes para ambas as peças. Assim, o sistema de calcamento apresenta 24 pontos de calcamento. Cada peça é preenchida com 14 <i>clips</i>, o que idealmente levaria a 28 pontos de calcamento, um por cada ponto de inserção. No entanto, devido à proximidade de alguns pontos de calcamento, aproveitando o tipo de calcamento adotado, alguns foram unidos.</p>
<p><b>Pontos de calcamento coincidentes</b></p>		<p>Devido à geometria das peças, alguns pontos de calcamento ficam parcial ou integralmente coincidentes. Para garantir um correto calcamento da peça e evitar danificar a mesma, foi aplicado um sistema de seleção de calcamento. Nos pontos demasiado próximos aplicou-se um calcador por peça e foi-lhes atribuída uma distância, que é compensada por um movimento horizontal de mudança de calcador quando se muda a peça de trabalho.</p>

<b>Geometria dos calçadores</b>		Para garantir um apoio uniforme do calçador na peça e evitar marcas na mesma, os calçadores foram projetados com a geometria da peça, abraçando por completo a área de contacto.
<b>Conservação da integridade da peça</b>		Estando-se a realizar contacto com a parte visível da peça, os calçadores são revertidos em metaline com 1,5 mm de espessura, evitando que o material dos calçadores danifique a peça.
<b>Segurança do sistema</b>		O movimento vertical, realizado por atuadores pneumáticos, é completamente dependente da alimentação de ar ao equipamento. Assim, foram aplicados travões de segurança, garantindo que o sistema não entra em queda em caso de falha de ar.

### 3.7.4.8.3 Listagem de componentes do sistema de calcamento

Considerando os requisitos e as características deste subconjunto foram aplicados determinados componentes ao sistema, os componentes normalizados utilizados apresentam-se na Tabela 68, e as respetivas fichas técnicas no Anexo I.



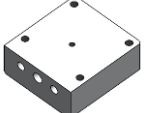

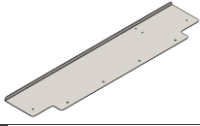


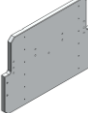
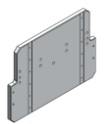



Tabela 68 - Listagem de componentes normalizados do sistema de calcamento

Componente	Quantidade	Fabricante/ Fornecedor	Ilustração	Observações
<b>Patim</b>	8	BOSCH		<b>Referência:</b> R1653 814 20
<b>Guia Linear</b>	---	BOSCH		<b>Referência:</b> R1605 804 31 Duas unidades com 1076 mm, e quatro unidades com 296 mm
<b>Travão pneumático</b>	4	ZIMMER		<b>Referência:</b> MKS2005AK
<b>Canto 45 x 180</b>	4	Bosch		<b>Referência:</b> 3 842 523 583
<b>Canto 30 x 120</b>	4	Bosch		<b>Referência:</b> 3 842 523 587





















<b>Canto 30 x 30</b>	20	Bosch		<b>Referência:</b> 3 842 523 525
<b>Tampa de perfil 60 x 30</b>	4	Bosch		<b>Referência:</b> 3 842 548 781
<b>Perfil de alumínio</b>	--	Bosch		<b>Dimensão:</b> 90 x 45 mm e 60 x 30 mm
<b>Esteira para cabos</b>	1	IGUS		<b>Referência:</b> 0_884m_Z16_4_100_ 0__117_4_12P_A1_1
<b>Esteira para cabos</b>	2	IGUS		<b>Referência:</b> 0_518m_Z16_4_060_ 0__117_4_12P_A1_8
<b>Amortecedor</b>	4	SMC		<b>Referência:</b> RJ1412U
<b>Cilindro sem haste</b>	2	SMC		<b>Referência:</b> MY1B40G- 600Z <b>Acessório de ligação:</b> MY-J40
<b>Atuador pneumático</b>	1	SMC		<b>Referência:</b> CP96SDB63- 100C
<b>Atuador pneumático</b>	1	SMC		<b>Referência:</b> CP96SDB63- 150C
<b>Junta flutuante</b>	2	SMC		<b>Referência:</b> JA50-16-150
<b>Atuador pneumático</b>	14	SMC		<b>Referência:</b> CDQMB32- 75
<b>Atuador pneumático</b>	10	SMC		<b>Referência:</b> CDQMB25- 50
<b>Atuador pneumático</b>	4	SMC		<b>Referência:</b> MXS16-20
<b>Atuador pneumático</b>	3	SMC		<b>Referência:</b> MXS16-40

Na Tabela 69 apresentam-se os componentes produzidos exclusivamente para conceção do sistema de calcamento. Os desenhos destes encontram-se no Anexo II.

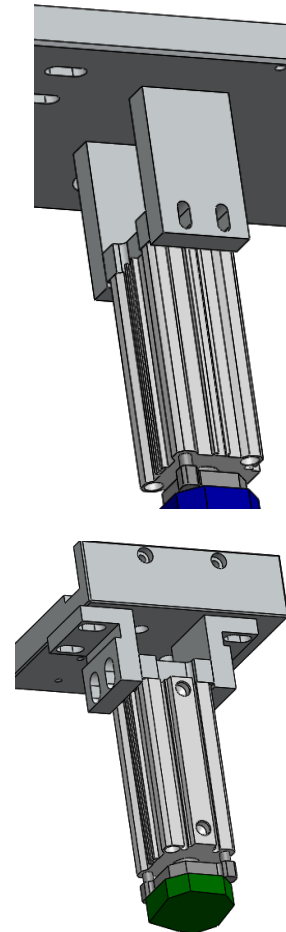
Tabela 69 - Listagem de componentes não normalizados do sistema de calcamento

Designação	Quantidade	Ilustração	Observações
WRK-CLIC_0901	4		Peças de fixação e reforço da estrutura de perfil 95 × 95 mm ao tampo da Base.
WRK-CLIC_0902	4		Suportes dos amortecedores que amortecem o movimento horizontal do sistema de calcamento.
WRK-CLIC_0903	4		Ligação dos cilindros sem haste à estrutura principal do calcamento.
WRK-CLIC_0904	6		Conexão das guias lineares ao perfil de alumínio
WRK-CLIC_0905	1		Chapa de apoio à esteira para cabos do movimento horizontal do sistema.
WRK-CLIC_0906	2		Placa de fixação dos patins associados ao movimento horizontal do sistema.
WRK-CLIC_0907	1		Suporte dos dois atuadores responsáveis pelo movimento de aproximação vertical do sistema.
WRK-CLIC_0908	1		Placas de suporte das guias lineares associadas ao movimento vertical de aproximação.
WRK-CLIC_0909	1		
WRK-CLIC_0910	2		Peças de suporte dos patins. Estas peças, juntamente com os patins, fazem a ligação das placas de suporte dos calcadores às placas associadas ao movimento vertical.
WRK-CLIC_0911	2		
WRK-CLIC_0912	1		Chapa para suporte de componentes pneumáticos.

WRK-CLIC_0919	1		<p>Conjunto de calçadores das peças A e B. As cores verde e azul correspondem à cor com que as peças foram revestidas (revestimento de METALINE). As peças verdes são responsáveis pelo calcamento da peça A, enquanto as azuis são responsáveis pelo calcamento da peça B.</p> <p>Estas peças estão ligadas aos atuadores pneumáticos que realizam o movimento de calcamento. Todas elas são ligadas com dois parafusos e dois pinos ao respetivo cilindro de calcamento.</p>
WRK-CLIC_0920	1		
WRK-CLIC_0921	1		
WRK-CLIC_0922	1		
WRK-CLIC_0923	1		
WRK-CLIC_0937	1		
WRK-CLIC_0938	1		
WRK-CLIC_0939	1		
WRK-CLIC_0942	1		
WRK-CLIC_0943	1		
WRK-CLIC_0944	1		
WRK-CLIC_0945	1		
WRK-CLIC_0946	1		
WRK-CLIC_0947	1		
WRK-CLIC_0948	1		
WRK-CLIC_0949	1		
WRK-CLIC_0950	1		
WRK-CLIC_0951	1		
WRK-CLIC_0952	1		
WRK-CLIC_0953	1		
WRK-CLIC_0954	1		
WRK-CLIC_0955	1		
WRK-CLIC_0965	1		
WRK-CLIC_0966	1		

WRK-CLIC_0924	2	
WRK-CLIC_0925	13	
WRK-CLIC_0926		
WRK-CLIC_0928	2	
WRK-CLIC_0929	2	
WRK-CLIC_0930	10	
WRK-CLIC_0931	2	
WRK-CLIC_0932	2	
WRK-CLIC_0933	2	
WRK-CLIC_0934	2	
WRK-CLIC_0956	4	
WRK-CLIC_0957	4	
WRK-CLIC_0958	4	
WRK-CLIC_0959	4	
WRK-CLIC_0960	4	
WRK-CLIC_0961	2	
WRK-CLIC_0962	4	
WRK-CLIC_0963	4	
WRK-CLIC_0970	1	
WRK-CLIC_0971	1	

Peças de ligação dos atuadores de calcamento à respetiva placa de suporte.



Estas peças de ligação apresentam pontos de afinação mecânica, para que seja possível afinar a posição dos calçadores às variações da peça a trabalhar.

WRK-CLIC_0913	1		
WRK-CLIC_0914	2		Suportes das esteiras para cabos.
WRK-CLIC_0915	2		
WRK-CLIC_0941	1		
WRK-CLIC_0916	1		Placas de suporte dos calcadores. 
WRK-CLIC_0913	1		
WRK-CLIC_0914	2		Peças de reforço às placas de suporte dos calcadores, reduzindo a flexão das mesmas.
WRK-CLIC_0935	1		Peças de ligação das juntas flutuantes (associadas aos atuadores de aproximação) às placas de suporte dos calcadores.  Placas de suporte dos calcadores nos pontos onde existia sobreposição de calcamento entre as duas peças. Estas peças fazem a ligação de um par de calcadores ao atuador pneumático responsável pelo movimento horizontal de alteração de calcamento. 
WRK-CLIC_0936	1		
WRK-CLIC_0940	1		
WRK-CLIC_0964	1		
WRK-CLIC_0967	1		
WRK-CLIC_0968	1		
WRK-CLIC_0969	1		

#### 3.7.4.8.4 Dimensionamento do sistema de calcamento

O sistema de calcamento apresenta dimensões consideravelmente grandes, desde a altura, que deve ser suficiente para o trabalho do mesmo sobre as Bases, até à largura e comprimento, pois os seus pontos de apoio encontram-se nas extremidades da Base principal.

Com o intuito de atribuir ao sistema a robustez necessária, a sua estrutura principal é constituída por perfis estruturais de alumínio, capazes de suportar as principais cargas e absorver os movimentos do mesmo. Além da estrutura principal, o sistema apresenta movimento horizontal e vertical, durante os quais não são aplicadas cargas consideráveis. No entanto, são movidos conjuntos com cargas próprias relativamente consideráveis.

Tendo em conta a importância do sistema de calcamento e a fiabilidade pretendida sobre o mesmo foi realizado o dimensionamento de alguns sistemas/componentes deste, nomeadamente o sistema de guiamento (guias e patins do movimento horizontal), os cilindros de acionamento do movimento horizontal, os cilindros de aproximação do sistema de calcamento e ainda as placas que suportam os calcadores.

- **Guias e patins**

Durante o ciclo de funcionamento do equipamento, o sistema de calcamento move-se horizontalmente duas vezes, uma para se posicionar sobre a peça, e posteriormente um recuo para permitir a sua extração, sendo este movimento acionado por dois cilindros pneumáticos e auxiliado por um sistema de guiamento constituído por duas guias e quatro patins.

O sistema de guiamento suporta toda a carga do sistema de calcamento, sendo por isso necessária especial atenção no seu dimensionamento. Para tal, este foi realizado através do LMD, garantindo assim uma escolha correta de guias e patins.

Os dados utilizados no dimensionamento do sistema de guiamento encontram-se na Tabela 70.



Das características atribuídas ao sistema de guiamento, o *software* apresentou os resultados ilustrados na Figura 115.

Required life time  [km] Required cycles

Type of linear guidance

Type of RB  Accuracy class

Preload  with/without chain

Load cap. reduction, if runner block distance is smaller 1.5 x runner block length

Short stroke factor  $f_s$   Operating factor  $f_w$

Show selection

Size	Material number	C [N]	M <sub>t</sub> [Nm]	M <sub>L</sub> [Nm]	F <sub>V</sub> [N]
15	R1653 114 20	12800	120	120	200
20	R1653 814 20	29600	380	340	490
25	R1653 214 20	37300	530	530	610
30	R1653 714 20	46000	800	740	800
35	R1653 314 20	66700	1440	1290	1110
45	R1653 414 20	111000	3010	2730	1810
55	R1653 514 10	139000	4410	3960	2480
65	R1653 614 10	223000	8810	8160	3260

**Dynamic equivalent load**

	without F <sub>V</sub> [N]	with F <sub>V</sub> [N]
FW 1	412.30	724.23
FW 2	235.72	620.20
FW 3	402.15	718.10
FW 4	225.57	614.39

**Maximum load in phase 3 on runner block 1**

F <sub>max</sub> [N]	727	C/F <sub>max</sub>	40.69	C <sub>0</sub> /F <sub>max</sub>	57.46
----------------------	-----	--------------------	-------	----------------------------------	-------

**Theoretical nominal life expectancy of the highest loaded runner block**

F <sub>m</sub> [N]	724.2	C/F <sub>m</sub>	40.87	v <sub>m</sub> [m/s]	0.150
L <sub>10</sub> [km]	6.827e+06	L <sub>n10</sub> [h]	1.264e+07	Cycles	1.138e+10

**Deflection of the application force points** Show

Warning messages:

Figura 115 - Resultados do LMD para o dimensionamento do guiamento do sistema de calcamento

Para a obtenção dos resultados finais definiu-se um tempo de vida útil de 7500000 ciclos (número calculado considerando 10 anos de funcionamento do equipamento), e relativamente às características do patim a escolha foi realizada considerando escolhas anteriormente feitas no sistema de troca de ferramenta, tentando uniformizar os componentes do sistema.

Com as características definidas, o *software* apresentou resultados positivos para o patim R1653 814 20. Com este patim, o tempo de vida útil do sistema encontra-se garantido.

- **Cilindros de movimento horizontal**

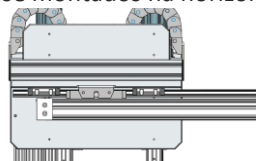
O movimento horizontal do sistema de calcamento é acionado por dois cilindros pneumáticos posicionados nas extremidades do sistema. Para a seleção dos cilindros foi utilizado o *Guide Cylinder Selector*, no qual se fez o dimensionamento de cilindros da série M1Y da SMC.

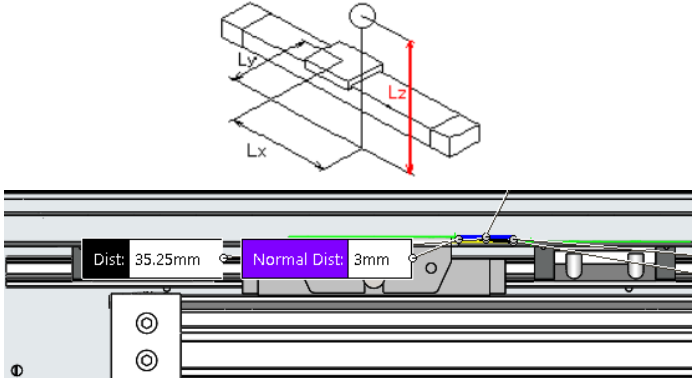
O dimensionamento foi realizado para um cilindro, e foram consideradas as condições de trabalho apresentadas na Tabela 71.

Tabela 71 - Condições de trabalho dos cilindros de movimento horizontal do sistema de calcamento

Tipo de montagem

Os cilindros encontram-se montados na horizontal.



<b>Modelo pretendido</b>	MY1B40G
<b>Pressão de trabalho</b>	A pressão de trabalho do sistema será de 5 bar.
<b>Curso do cilindro</b>	Ao movimento pretendido está associado um curso de 600 mm, sendo este o curso dos cilindros a aplicar.
<b>Carga aplicada</b>	Os cilindros deslocam a carga exercida pelo próprio sistema de calcamento. Sendo a carga total de 130 kg, para a simulação de um cilindro será considerada uma carga de 65 kg.
<b>Tipo de amortecimento</b>	Sistema equipado com amortecimento externo.
<b>Posição de montagem da carga</b>	<p>Estando o cilindro associado a um sistema de guiamento constituído por guias e patins, os esforços exercidos pela carga do sistema são absorvidos por estes. Assim, a posição do centro de massa da carga, tendo como referencial o centro do cilindro, (0, 0, 3) mm.</p> 

Na Figura 116 apresentam-se os resultados obtidos considerando um cilindro da gama M1Y, nomeadamente MY1B40G-600. Como se pode observar, um destes cilindros transporta uma carga de 65 kg sem que a sua estabilidade seja comprometida, pelo que dois destes cilindros serão capazes de realizar o movimento horizontal do sistema de calcamento.

Name	Unit	Calculate results	Tolerance	Judgment
Operating pressure	MPa	0,500	0,100~0,800	Within range
Mean piston velocity	mm/s	100,000	100,000~714,286	Within range
Load weight	kg	65,000	0,00~70,000	Within range
Static Moment M1	Nm	0,000	0,00~78,000	Within range
Static Moment M2	Nm	0,000	0,00~9,300	Within range
Static Moment M3	Nm	0,000	0,00~23,000	Within range
Dynamic Moment M1E	Nm	0,892	0,00~78,000	Within range
Dynamic Moment M3E	Nm	0,000	0,00~23,000	Within range
Load factor	--	0,940	0,00~1,000	Within range
Absorption energy (left)	J	0,637	0,00~9,600	Within range
Absorption energy (right)	J	0,637	0,00~9,600	Within range

Figura 116 - Resultados do CGS da análise ao cilindro de movimento horizontal do sistema de calcamento

- **Movimento de aproximação de calcamento**

Uma das etapas do funcionamento do sistema de calcamento é a aproximação dos calcadores à peça. Esta aproximação é dividida em dois conjuntos principais, onde cada conjunto é movido por um cilindro pneumático.

O movimento de aproximação suporta a carga associada a todos os calcadores alocados a cada um dos conjuntos principais de aproximação, sendo assim necessário o cilindro possuir capacidade para suportar essa carga durante o avanço e o recuo do sistema.

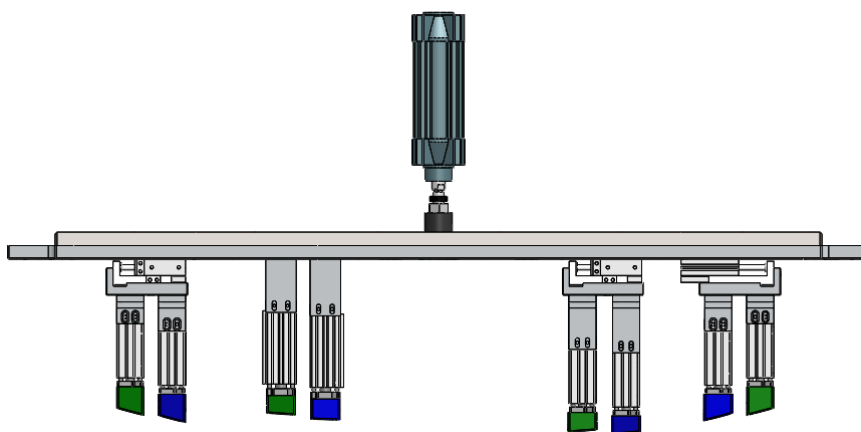


Figura 117 - Conjunto de aproximação de calcamento WRK-CLIC\_0900B

No conjunto WRK-CLIC\_900B, representado na Figura 117, o cilindro de aproximação tem de movimentar um conjunto que possui uma massa de aproximadamente 25 kg. Considerando os 25 kg, optou-se por escolher um cilindro com uma capacidade bastante superior ao requerido, isto com o objetivo de tornar o sistema mais robusto, capaz de garantir a fiabilidade do equipamento durante o seu tempo de funcionamento previsto de 10 anos. Assim, para o movimento vertical do conjunto WRK-CLIC\_900B foi selecionado um CP96SDB63-100C, encontrando-se as características deste no Anexo I.

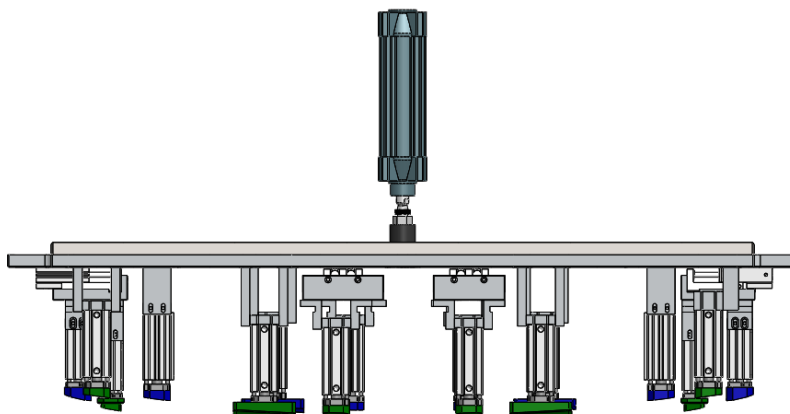


Figura 118 - Conjunto de aproximação de calcamento WRK-CLIC\_0900C

Realizada a seleção do cilindro para o conjunto WRK-CLIC\_900B optou-se por aplicar um cilindro da mesma série no conjunto WRK-CLIC\_900C (Figura 118). Para este conjunto, foi selecionado um cilindro CP96SDB63-150C (características presentes no Anexo I), apresentando esta capacidade para mover o conjunto, que apresenta uma massa de aproximadamente 35 kg.

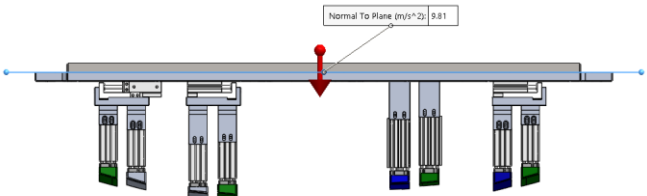
- **Placas de suporte de calçadores**

Como foi referido anteriormente, o sistema de calcamento contempla duas placas de suporte de calçadores, formando-se dois subconjuntos, WRK-CLIC\_900B e WRK-CLIC\_900C. Ambos os subconjuntos suportam cargas consideráveis, geradas pelo peso dos calçadores. Deste modo, foi realizada uma análise de MEF a cada subconjunto, avaliando a estabilidade dos mesmos.

- **WRK-CLIC\_900B**

Para análise ao conjunto WRK-CLIC\_900B foram consideradas as forças que atuam sobre todo o conjunto, estando estas representadas na Tabela 72.

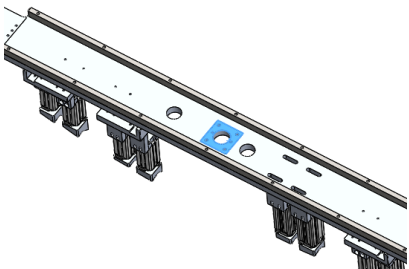
Tabela 72 - Forças aplicadas no conjunto WRK-CLIC\_900B do sistema de calcamento

Força aplicada	Representação
Gravidade	

No dimensionamento do conjunto WRK-CLIC\_900B não foi considerada a reação da força de calcamento, uma vez que esta força é nula. Estando a peça devidamente posicionada na Base, os cilindros de calcamento na posição de avanço estão colocados sobre a peça sem exercer pressão na mesma.

No que diz respeito às condições fronteira do sistema do conjunto WRK-CLIC\_900B foi considerado o ponto de ligação do conjunto ao cilindro de movimento vertical, Tabela 73, sendo este o único ponto fixo do conjunto.

Tabela 73 - Condições fronteira na análise do conjunto WRK-CLIC\_900B do sistema de calcamento

Condição fronteira	Representação
Ponto de ligação do cilindro de movimento vertical com o conjunto, considerado uma ligação fixa	

Após definição das forças aplicadas no sistema e as condições fronteira do mesmo foi definida a malha a utilizar na análise, encontrando-se esta definida na Tabela 74.

Tabela 74 - Definição da malha utilizada na simulação do conjunto WRK-CLIC\_900B do sistema de calcamento

<b>Tipo de malha</b>	Malha mista
<b>Malha usada</b>	Malha com baseada na curvatura do SolidWorks
<b>Tamanho máximo de elementos</b>	15 mm
<b>Tamanho mínimo de elementos</b>	3 mm
<b>Número de elementos</b>	596505
<b>Número de nós</b>	945853

A malha gerada pelo *software* de simulação para a realização da análise pretendida encontra-se representada na Figura 119.

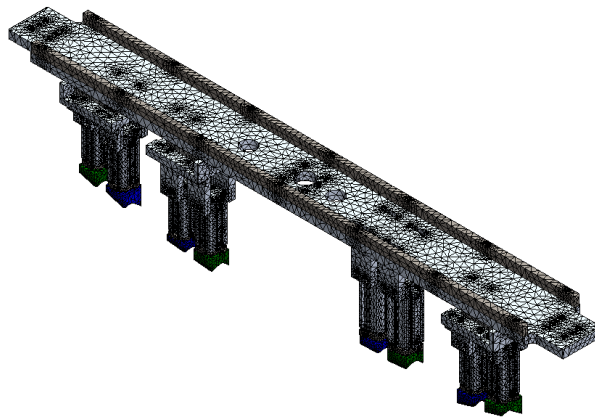


Figura 119 - Malha gerada para análise do conjunto WRK-CLIC\_900B

Da análise realizada foi obtido um valor máximo de 12,7 MPa para tensão equivalente de von Mises, podendo observar-se na Figura 120 esse mesmo valor e a sua localização no conjunto.

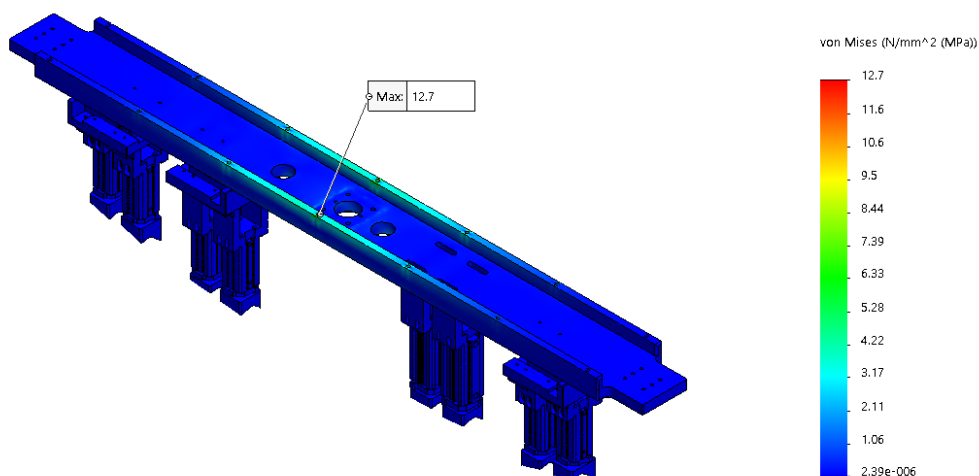


Figura 120 - Tensões equivalentes de von Mises do conjunto WRK-CLIC\_900B

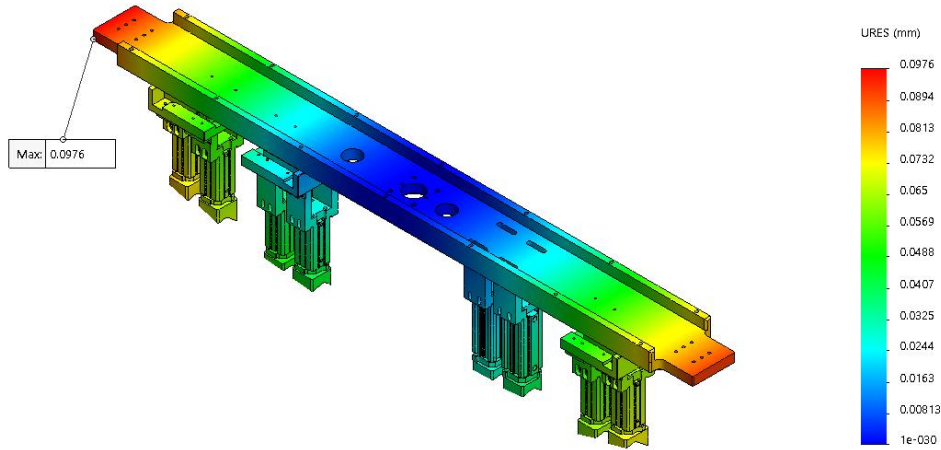


Figura 121 - Deslocamento resultante no conjunto WRK-CLIC\_900B

Na análise aos deslocamentos na estrutura foi obtido um deslocamento resultante máximo de 0,097 mm. A análise aos deslocamentos gerada pelo *software* de análise encontra-se representada na Figura 121.

○ **WRK-CLIC\_900C**

O princípio de análise associado ao conjunto WRK-CLIC\_900C segue a metodologia da análise ao conjunto WRK-CLIC\_900B. A primeira etapa passa pela definição das forças aplicadas no conjunto, estando estas definidas na Tabela 75.

Tabela 75 - Forças aplicadas no conjunto WRK-CLIC\_900C do sistema de calcamento

Força aplicada	Representação
Gravidade	

No que diz respeito às condições fronteira do sistema do conjunto WRK-CLIC\_900C foi considerado o ponto de ligação do conjunto ao cilindro de movimento vertical, Tabela 76, que tal como no conjunto WRK-CLIC\_900B é o único ponto fixo da estrutura.

Tabela 76 - Condições fronteira na análise do conjunto WRK-CLIC\_900C do sistema de calcamento

Condição fronteira	Representação
Ponto de ligação do cilindro de movimento vertical com o conjunto, considerado como ligação fixa	

Definidas as forças atuantes sobre o conjunto e as condições fronteira associadas ao mesmo, foi definida a malha para realização do estudo pretendido, tendo esta as características apresentadas na Tabela 77, e o aspeto apresentado na Figura 122.

Tabela 77 - Definição da malha utilizada na simulação do conjunto WRK-CLIC\_900C do sistema de calcamento

<b>Tipo de malha</b>	Malha mista
<b>Malha usada</b>	Malha com baseada na curvatura do SolidWorks
<b>Tamanho máximo de elementos</b>	15 mm
<b>Tamanho mínimo de elementos</b>	3 mm
<b>Número de elementos</b>	920003
<b>Número de nós</b>	1472621

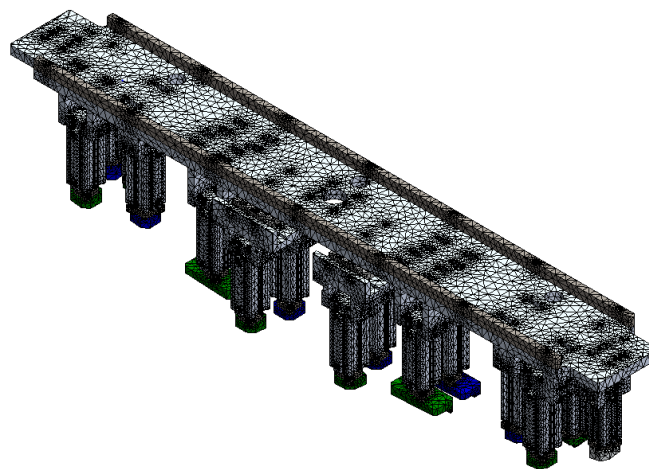


Figura 122 - Malha gerada para análise do conjunto WRK-CLIC\_900C

Da análise realizada foi obtido um valor máximo de 17,6 MPa para tensão equivalente de von Mises, podendo observar-se na Figura 123 esse mesmo valor e a sua localização no conjunto.

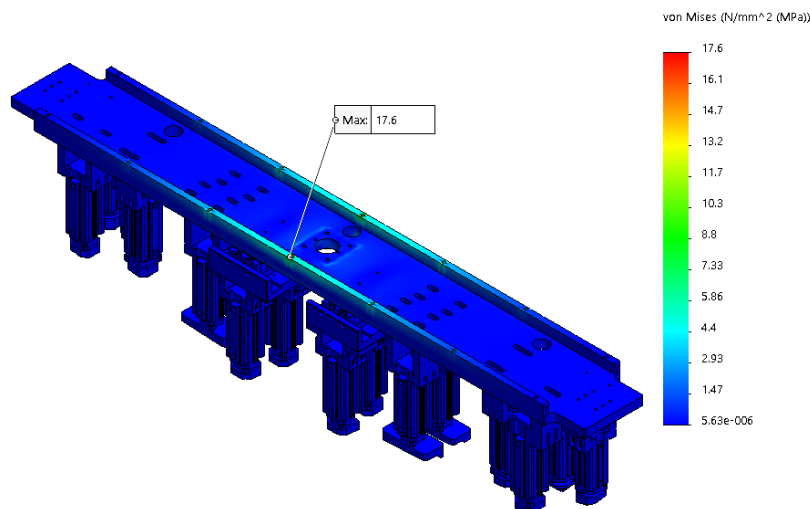


Figura 123 - Tensões equivalentes de von Mises do conjunto WRK-CLIC\_900C

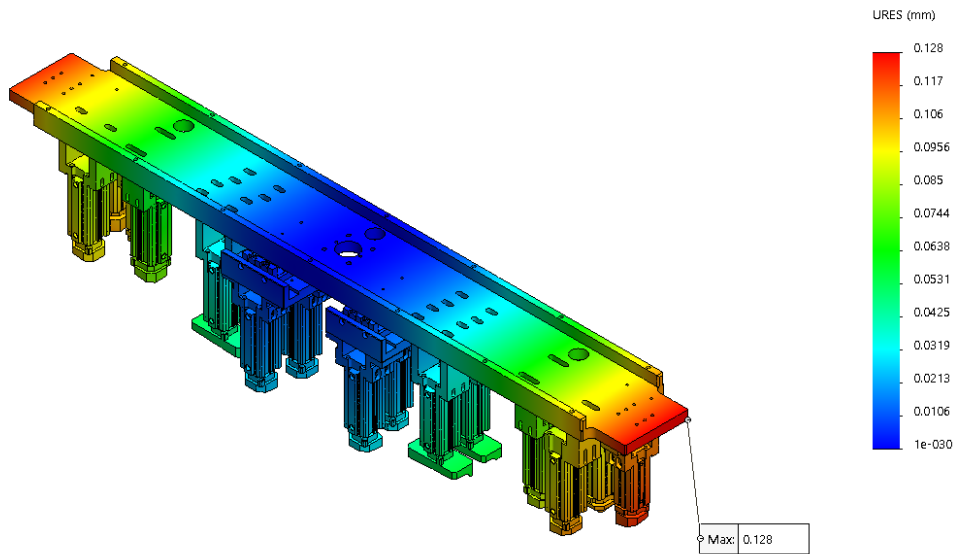


Figura 124 – Deslocamento resultante no conjunto WRK-CLIC\_900C

Na análise aos deslocamentos na estrutura foi obtido um deslocamento resultante máximo de 0,128 mm. A análise aos deslocamentos gerada pelo *software* de análise encontra-se representada na Figura 124.

#### 3.7.4.8.5 Montagem do sistema de calcamento

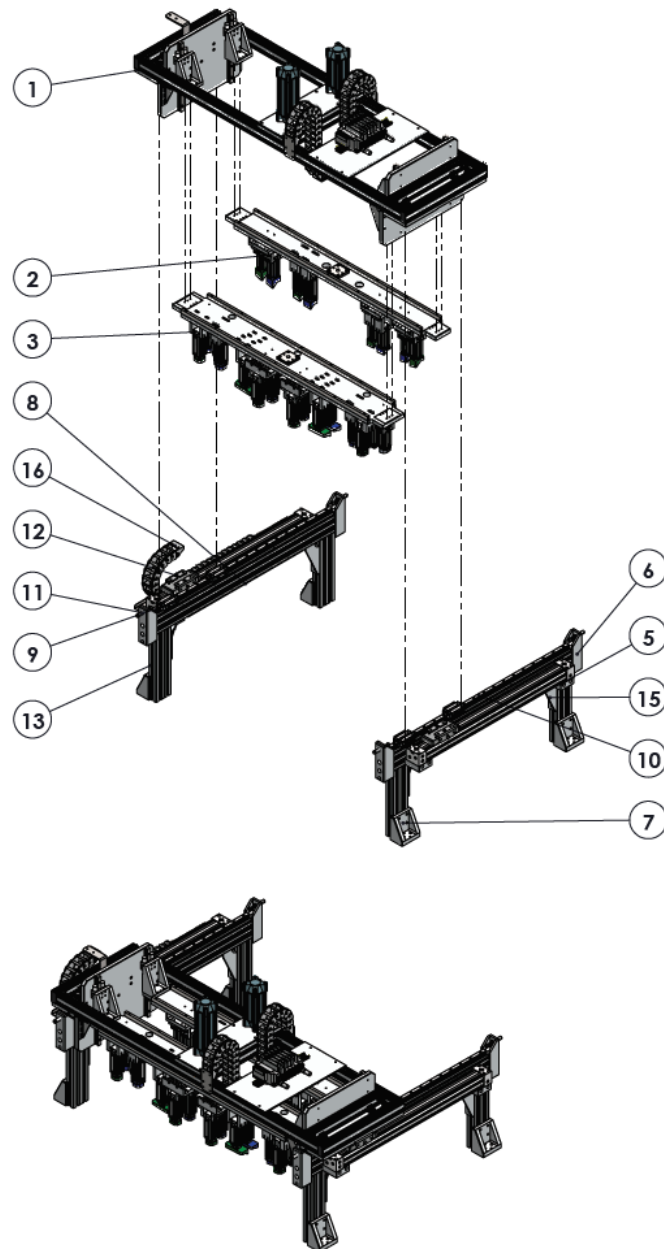
O sistema de calcamento contempla na sua montagem a estrutura principal, constituída por perfil estrutural de alumínio, que lhe confere as dimensões principais e faz a ligação à Base do equipamento.

Na estrutura principal são montados os sistemas responsáveis pelo movimento horizontal e vertical de aproximação.

Nas placas de suporte de calçadores são fixos todos os componentes de fixação dos mesmos, e posteriormente as placas são anexadas ao sistema, ligando-as aos cilindros de aproximação e sistema de guiamento vertical.

Tal como nas Bases, os calçadores requerem ajuste de posição em função da peça, pelo que a montagem é concluída apenas nos primeiros testes com peças.

Na Figura 125 é apresentado o desenho de montagem deste conjunto, encontrando-se no Anexo II os desenhos dos seus subconjuntos.



ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	WRK-CLIC_0900A	1
2	WRK-CLIC_0900B	1
3	WRK-CLIC_0900C	1
4	WRK-CLIC_0904	6
5	WRK-CLIC_0903	4
6	WRK-CLIC_0902	4
7	WRK-CLIC_0901	4
8	WRK-CLIC_0905	1
9	Patim R1653 814 20	4
10	Guia R1605 804 31_1076mm	2
11	RJ1412U	4
12	MY1B40G-600Z(0_1_0)	2
13	WRK-CLIC_90X45_006	4
14	WRK-CLIC_90X45_007	2
15	Bracket 30-120	4
16	0_884m_Z16_4_100_0_117_4_12P_A1_1	1

Figura 125 - Desenho de montagem do sistema de calcamento

### 3.7.5 Materiais e processos de fabrico

O projeto de equipamentos prevê a utilização de componentes normalizados sempre que possível, diminuindo-se com isso as operações de fabrico e conseqüentemente o tempo e custos de produção. Considerando este princípio, foram aplicados no equipamento, sempre que possível, componentes normalizados. No entanto, tratando-se de um equipamento especial, adaptado a peças e funções específicas, grande parte dos componentes foram fabricados exclusivamente para o mesmo. No Anexo III são listados os componentes produzidos especificamente para o equipamento e são detalhados os processos de fabrico utilizados para sua obtenção.

Além da seleção dos processos de fabrico, foi realizada uma escolha dos materiais a utilizar nas diferentes peças, passando essa escolha essencialmente pela função que o componente desempenha no equipamento, os esforços a que será sujeito e o processo de fabrico utilizado para a sua obtenção. A maioria dos componentes são em liga de alumínio, uma vez que este material é de fácil maquinagem e obtenção. No Anexo II são apresentados os desenhos de fabrico, onde se faz referência ao material de cada componente e o acabamento se aplicável.

### 3.7.6 Funcionamento do equipamento

O equipamento desenvolvido apresenta uma sequência de funcionamento complexa desde a chegada da peça até à sua saída.

A complexidade do funcionamento do equipamento deve-se essencialmente a dois fatores. O primeiro prende-se ao facto de o equipamento desempenhar diferentes operações em simultâneo, ou seja, diferentes subconjuntos a trabalhar em simultâneo, como por exemplo a realização do carregamento da ferramenta durante um ciclo de inserção do robô. O segundo fator está ligado ao facto de existirem inúmeras operações auxiliares ao funcionamento que ocorrem apenas em situações específicas.

Neste ponto é descrita a sequência de funcionamento geral do equipamento. A par desta, é descrito também o funcionamento de diferentes subconjuntos, e as operações auxiliares que ocorrem em diferentes casos.

### 3.7.6.1 Sequência geral de funcionamento

O equipamento apresenta a sequência de funcionamento geral, que se apresenta na Figura 126. A sequência apresentada não faz referência aos subsistemas associados ao equipamento, uma vez que esses são de certo modo independentes.

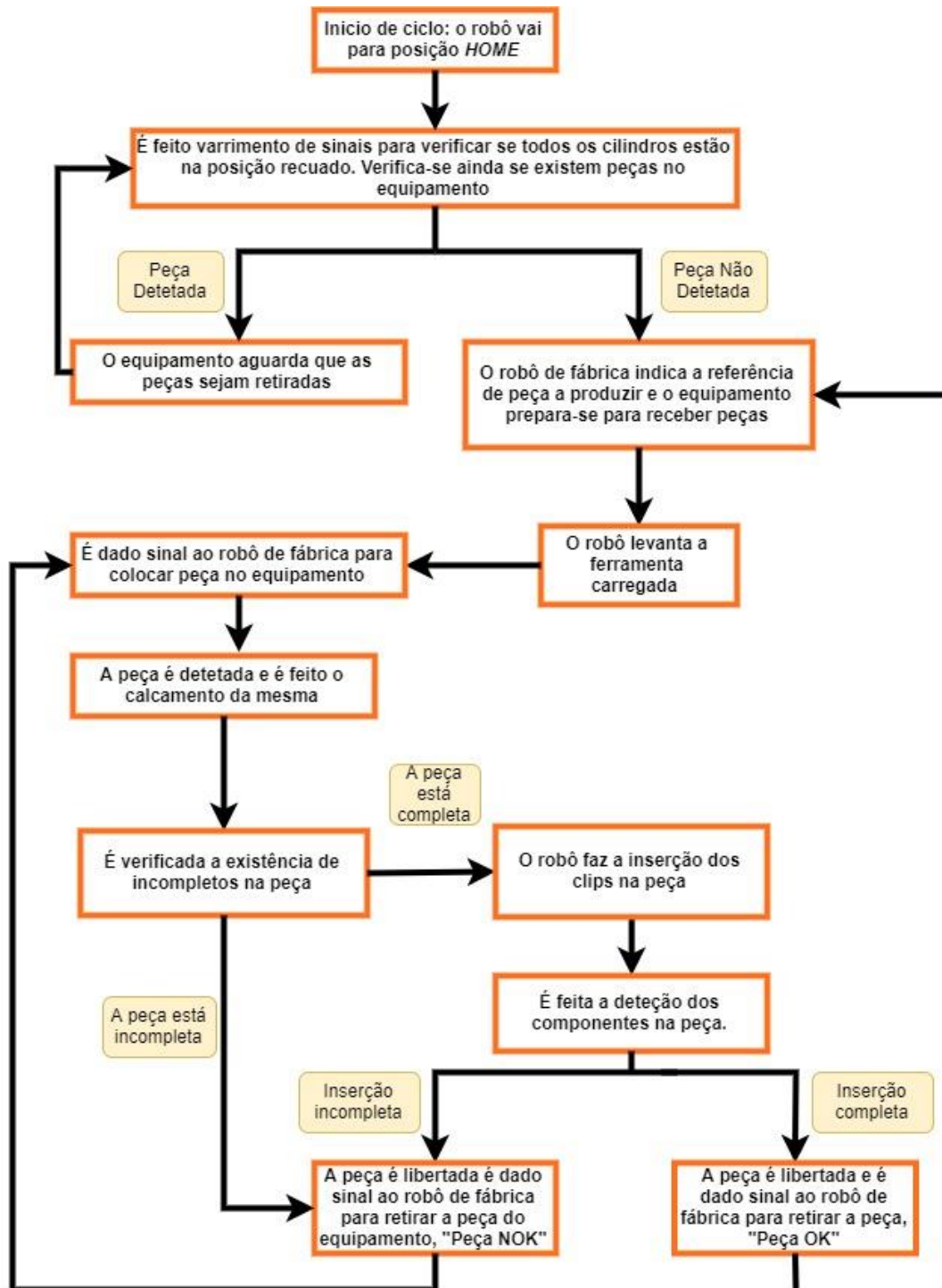


Figura 126 - Sequência geral de funcionamento do equipamento

3.7.6.2 Funcionamento do sistema de alimentação

O funcionamento do sistema de alimentação compreende todas as etapas desde a alimentação de componentes no equipamento até ao carregamento dos componentes na ferramenta. Na Figura 127 apresenta-se a sequência de operações desenvolvidas pelo sistema de alimentação e carregamento.

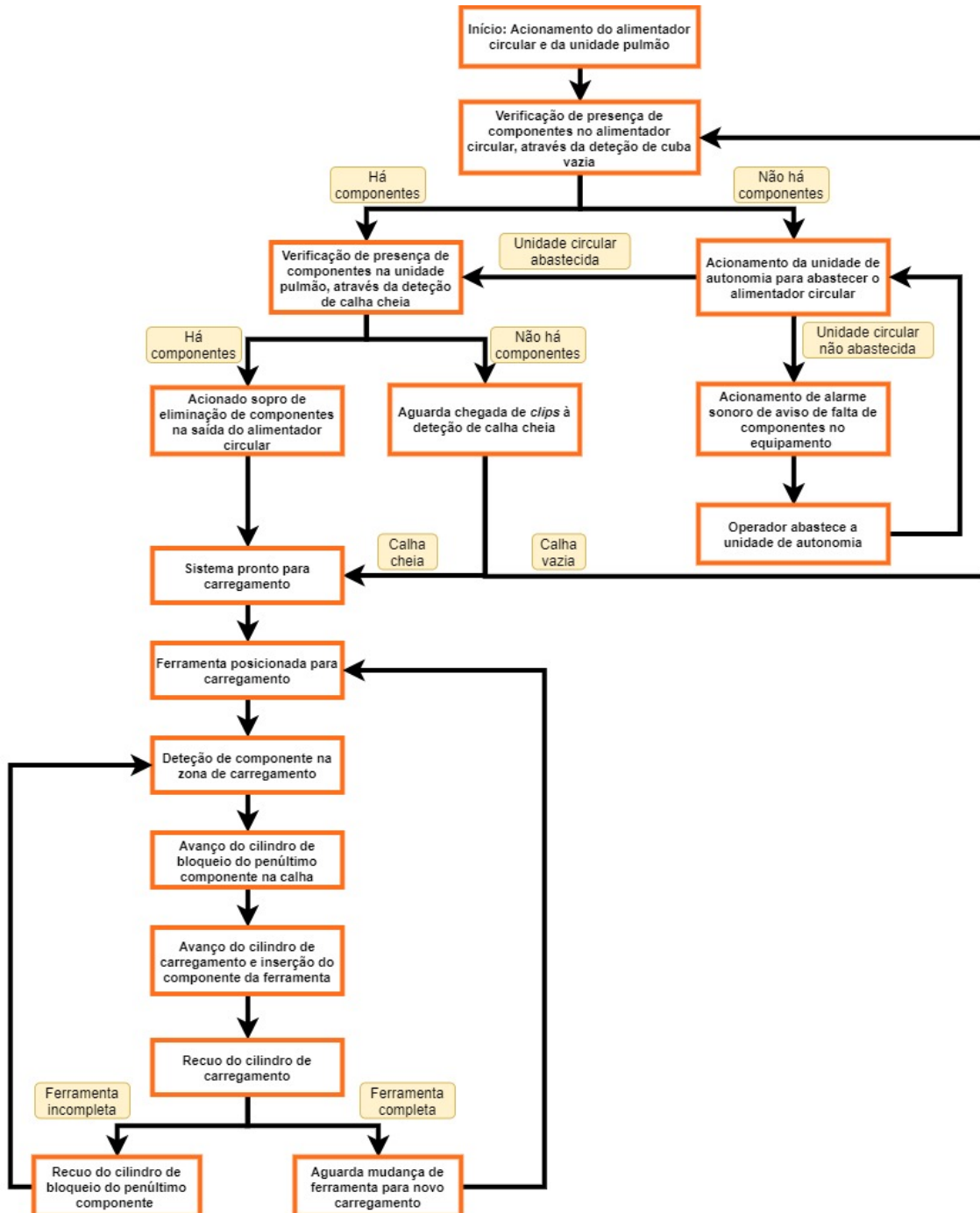


Figura 127 - Sequência de funcionamento do sistema de alimentação

### 3.7.6.3 Funcionamento do sistema de troca de ferramenta

O sistema de troca de ferramenta compreende no seu funcionamento os movimentos associados ao posicionamento da ferramenta com a zona de carregamento, as operações envolvidas com o bloqueio e desbloqueio das ferramentas, e ainda responsável pela rotação da ferramenta durante o carregamento da mesma.

Na Figura 128 apresenta-se a sequência de funcionamento associada ao sistema de troca de ferramenta.

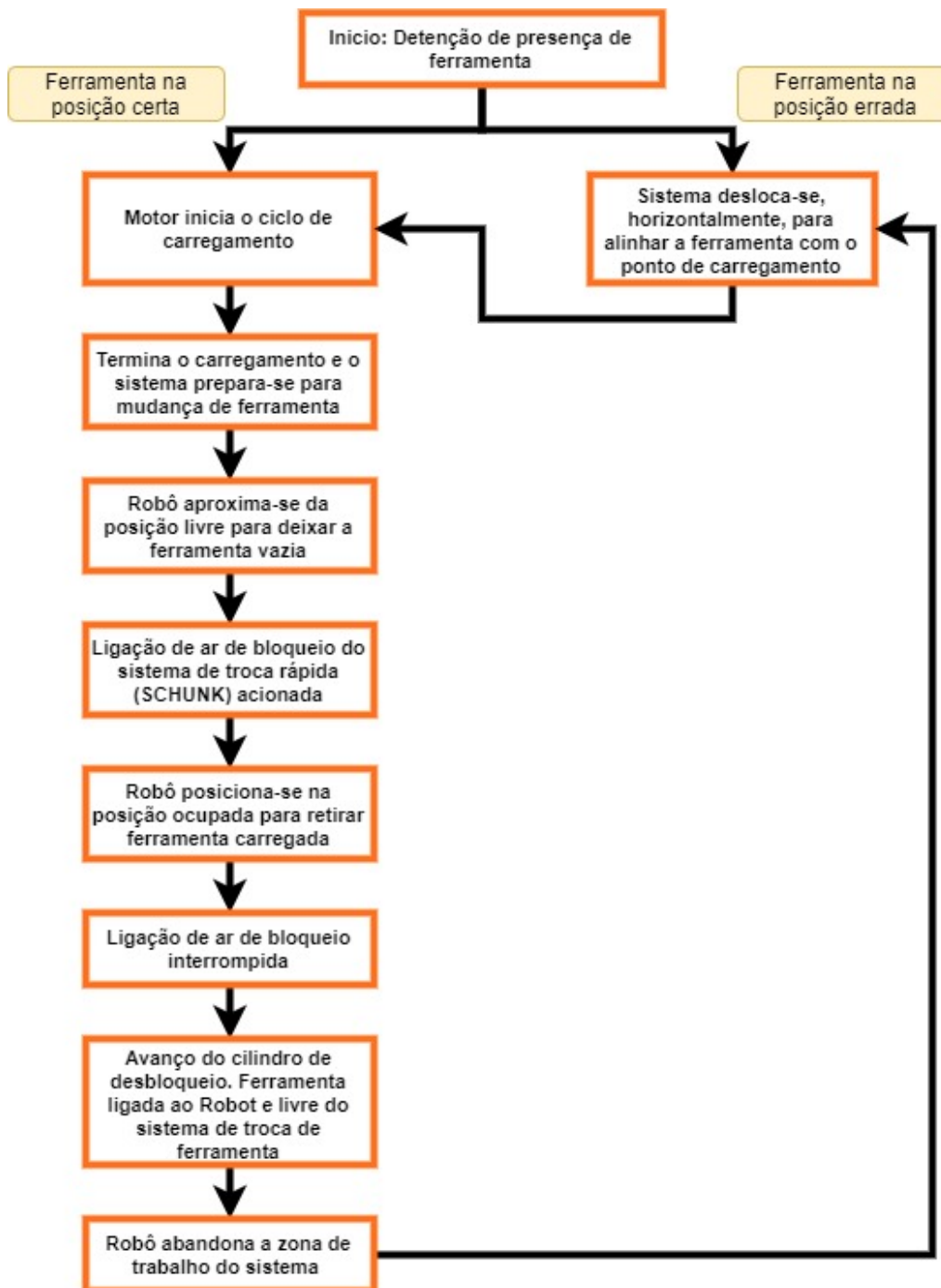


Figura 128 - Sequência de funcionamento do sistema de troca de ferramenta

Como mencionado anteriormente, o sistema de troca de ferramenta inclui no seu funcionamento o motor responsável pelo movimento de rotação da ferramenta durante o carregamento. O funcionamento do motor resume-se ao avanço e recuo para uma das posições pré-definidas de forma a garantir o correto funcionamento do sistema.

O motor faz a rotação de ambas as posições de ferramenta, sendo o funcionamento do mesmo igual, independentemente da ferramenta em carregamento.

A sequência de funcionamento do motor durante o carregamento de componentes na ferramenta é condicionada pelo sucesso ou insucesso no carregamento da mesma. Na Figura 129 apresenta-se a sequência de funcionamento do motor, sendo possível observar a influência do sucesso de carregamento da ferramenta no ciclo.

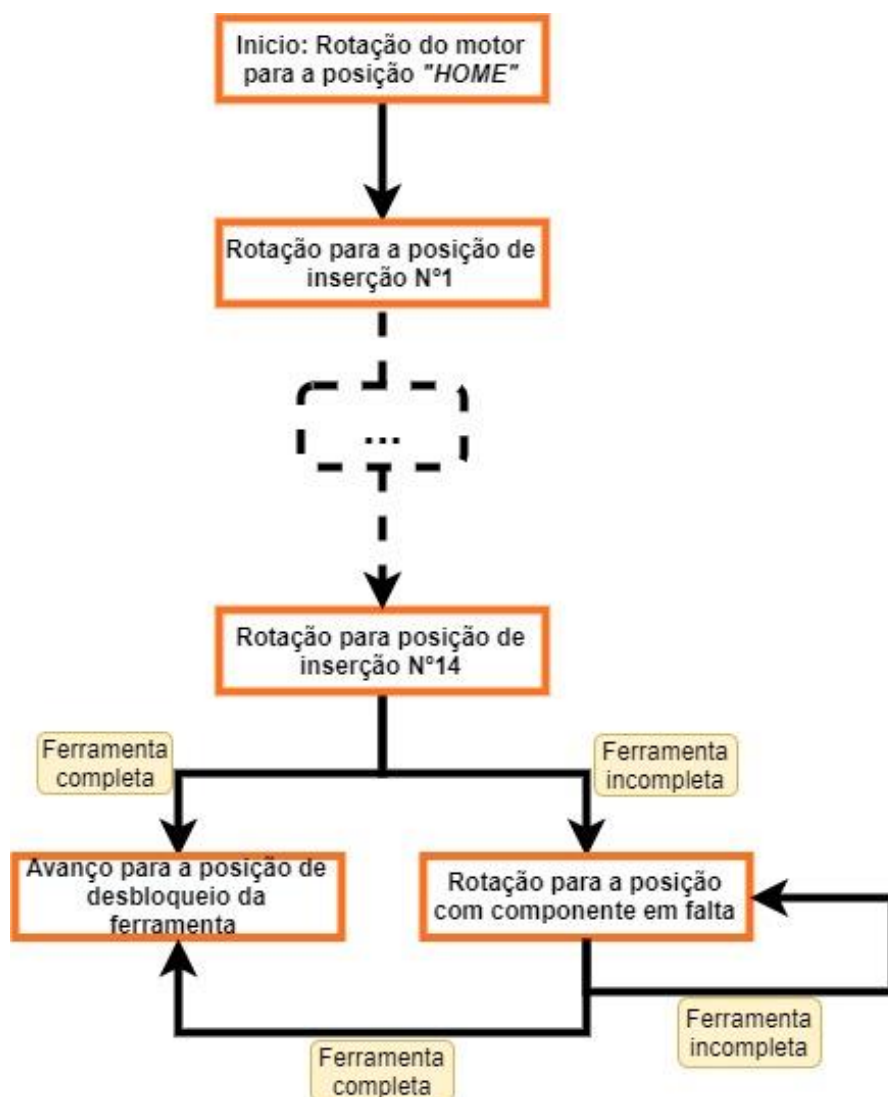


Figura 129 - Sequência de funcionamento do motor

### 3.7.6.4 Funcionamento do sistema de calcamento

O sistema de calcamento opera sempre que o equipamento recebe uma peça. Sempre que o equipamento recebe uma peça o sistema é acionado, podendo estar a operar em simultâneo o sistema de alimentação e o sistema de troca de ferramenta. Por outro lado, o ciclo de inserção, realizado pelo robô, só pode ser iniciado quando o sistema de calcamento realiza o bloqueio da peça. Na Figura 130 apresenta-se a sequência de funcionamento do sistema.

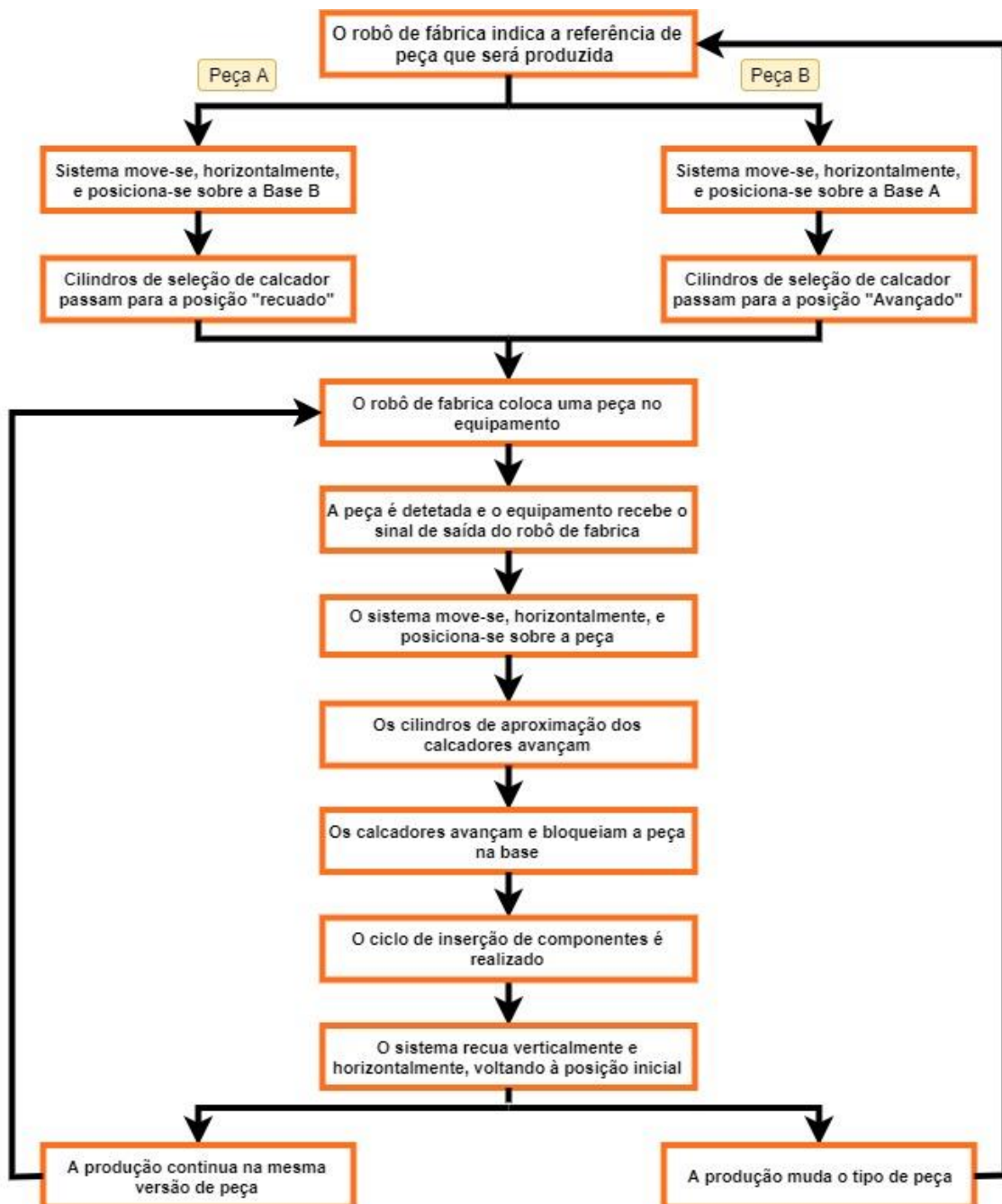


Figura 130 - Sequência de funcionamento do sistema de calcamento

### 3.7.7 Sistema de comando

O comando do equipamento é feito através da “consola portátil” anexa ao controlador do robô. O sistema foi preparado de forma a que o equipamento funcione sempre em “modo automático”, sendo o “modo programador” destinado apenas a técnicos especializados.

Neste capítulo será apresentado o sistema de comando do equipamento, sendo este apresentado seguindo o “Guia de utilizador” fornecido com o equipamento ao cliente.

- **Ligar o equipamento**

Para ligar o equipamento, este deve ter alimentação de tensão. A alimentação é controlada por um interruptor, localizado na porta do armário elétrico, onde a par deste existe um sinal luminoso que indica a presença de tensão, como se observa na Figura 131.

Para ligar o equipamento, o interruptor deve ser colocado na posição 1 (posição ON). Caso a luz indicadora de presença de tensão não seja ativada deve ser verificado o disjuntor principal e o diferencial no interior do armário elétrico.

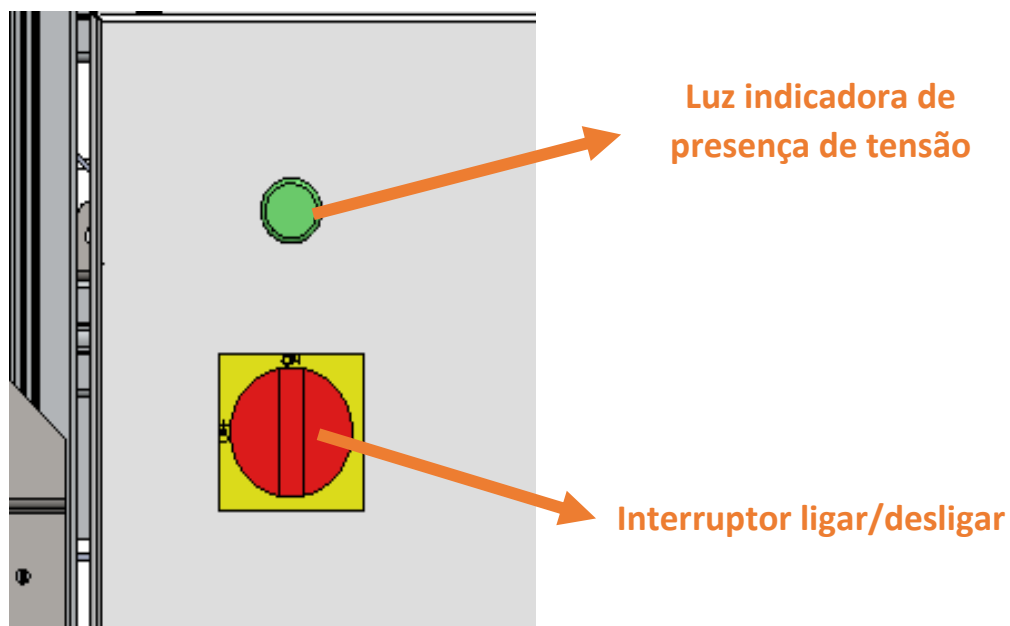


Figura 131 - Comando ligar/desligar

## • Consola portátil

Sendo o sistema controlado pela consola apresenta-se a seguir, na Figura 132, a constituição principal da consola, de modo a facilitar a interpretação das instruções que são apresentadas posteriormente.

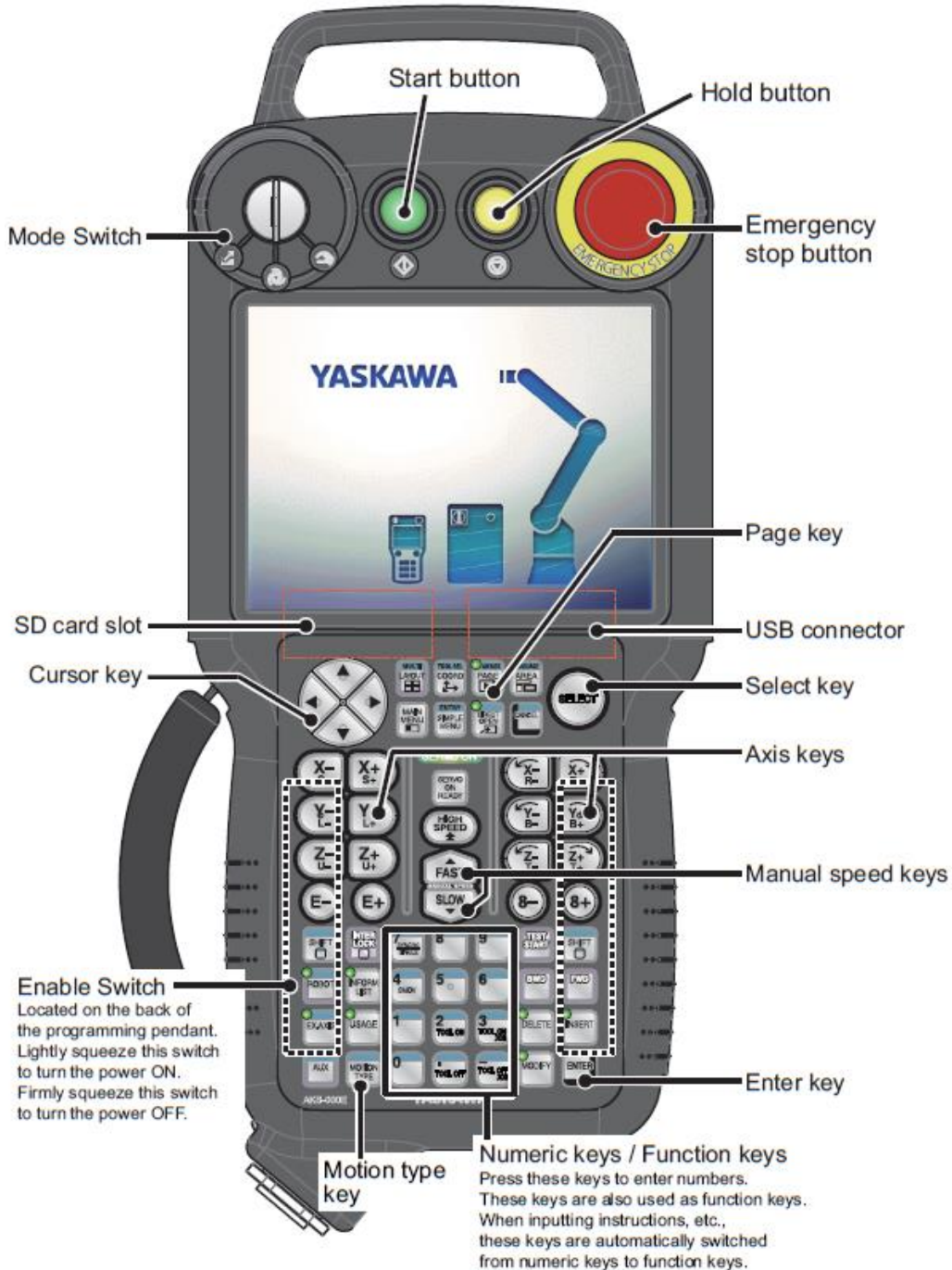


Figura 132 - Consola portátil anexa ao controlador YCR1000

### • Arranque do equipamento em “Modo Automático”

Na Tabela 78 são descritos os passos para iniciar o equipamento em “Modo Automático”.



Tabela 78 - Arranque do equipamento em "Modo Automático"

1. Garantir que o <b>botão de emergência se encontra desativado</b> .	
2. <b>Colocar a consola em modo “Play”</b> . Para tal, ajustar o “Mode Switch” para a segunda posição.	
3. <b>Selecionar a tarefa “00_Main” na consola</b> . Para fazer isso, selecionar o ícone “JOB” na área “Main Menu”, depois clicar em “SELECT JOB”. Procurar o arquivo “00_Main” navegando pela lista com as teclas do cursor e usar o botão “SELECT” para abrir o arquivo.	
4. <b>Ativar fonte de alimentação do servo</b> , pressionando o botão “SERVO ON READY”.	
5. Para iniciar o ciclo <b>pressionar o botão “START”</b> no topo da consola.	

### • Parar “Modo Automático”

O “Modo Automático” pode ser interrompido através da consola. Na Tabela 79 é descrito o procedimento para proceder à paragem e posteriormente procede a um novo arranque.

Tabela 79 - Paragem do "Modo Automático" do equipamento

Para interromper o ciclo de funcionamento do equipamento deve ser pressionado o botão “HOLD”.	
Ao pressionar o botão “HOLD”, o robô é parado e todos os seus movimentos são interrompidos. No entanto, o sistema de alimentação e carregamento de ferramentas não é interrompido, este só é interrompido quando pressionado o botão de emergência, ou quando são abertas as portas do equipamento.	
Para retomar o ciclo desde o ponto em que este foi interrompido deve ser pressionado o botão “START”.	
Caso seja necessário iniciar o ciclo desde o início deve ser pressionado novamente o botão “HOLD” e serem repetidos os passos anteriores para iniciar o modo automático.	

- **Painel I/F**

O Painel I/F é um painel da consola onde o operador do equipamento tem acesso a diferentes informações, como estado dos sinais SEPRO, detetores e contagem de peças OK e NOK. Neste painel o operador pode ainda fazer *RESET* aos contadores, no botão "*RESET COUNT*".

Para ter acesso a este ecrã basta seleccionar o "Painel I/F" na barra inferior do ecrã, como se mostra na Figura 133.

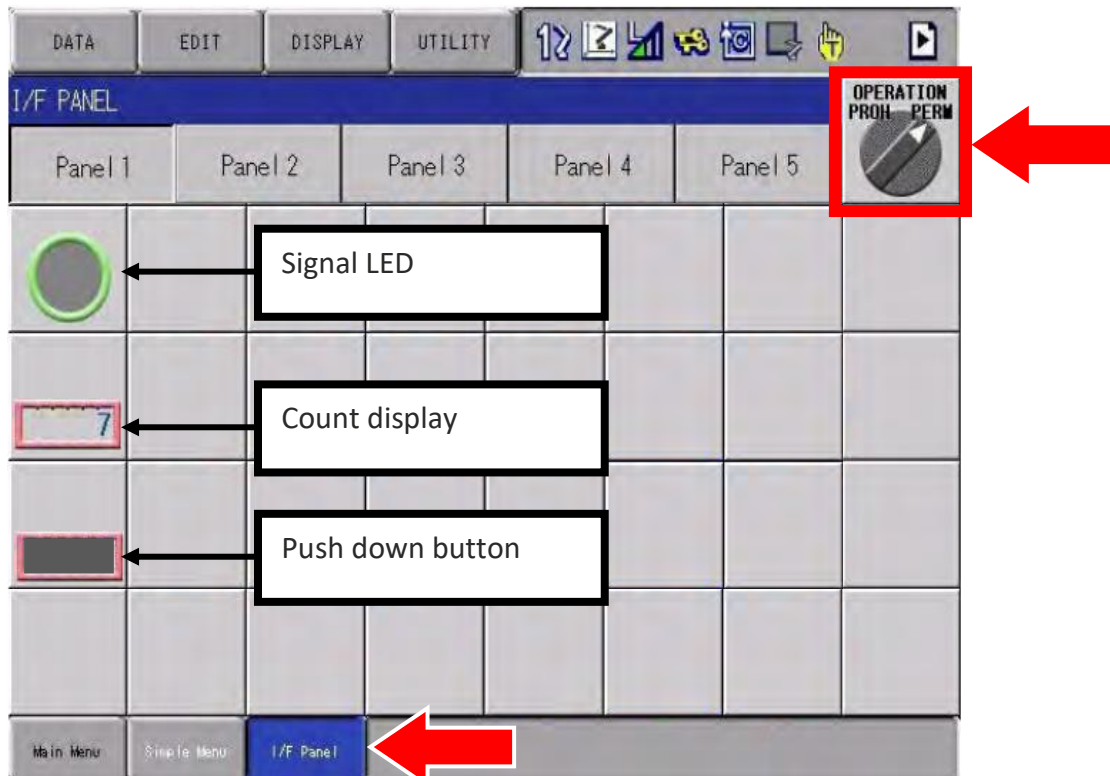


Figura 133 - Painel I/F da consola do equipamento

As células neste ecrã estão bloqueadas, para premir uma delas é necessário que o botão "*OPERATION*" se encontre na posição "*PERM*", tal como se observa na Figura 133. Para tal, o operador deve pressionar o botão "*INTERLOCK*" em simultâneo com o botão "*OPERATION*".





Figura 134 - Botão "*INTERLOCK*" da consola

Com o acesso libertado deve ser pressionado o botão "*INTERLOCK*" (Figura 134) e seguidamente a célula desejada, entretanto a operação pretendida será executada.

### • Alarmes sonoros e luminosos

O equipamento está equipado com dois alarmes. Estes são acionados em diferentes circunstâncias, que estão descritas na Tabela 80.

Tabela 80 - Alarmes associados ao funcionamento do equipamento

	<p>Este alarme está associado à <b>alimentação de clips</b>. Este é acionado quando:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>O sistema ficou sem clips</b>. Neste caso deve ser reabastecido o sistema;</li> <li>- <b>Os clips não chegam ao carregador</b>. Perante esta situação o operador deve verificar se existe alguma interrupção no percurso dos <i>clips</i>.</li> </ul>
	<p>Este alarme é utilizado para os restantes <b>avisos de falha</b> do equipamento:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Falhas na <b>inserção</b> (Peça NOK);</li> <li>- Encravamento de <b>clips no carregador</b>.</li> </ul>

### • Mensagens de aviso

Existe uma série de mensagens que podem surgir na consola durante o ciclo automático, aparecendo estas na secção inferior do ecrã, como se observa na Figura 135. Estas mensagens não param o funcionamento do sistema, no entanto, caso seja necessário realizar alguma intervenção no equipamento, deve ser pressionado o botão de emergência.

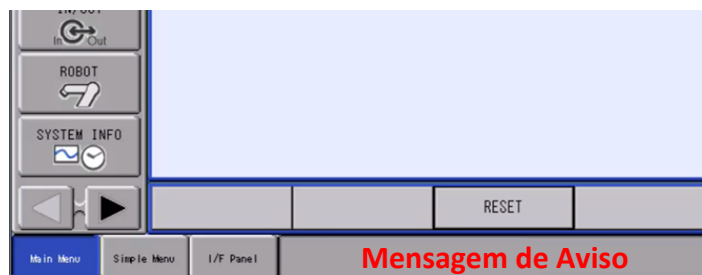


Figura 135 - Zona Onde surgem as mensagens de aviso

Na Tabela 81 são apresentadas as mensagens que podem surgir na consola e o que deve ser feito pelo operador.

Tabela 81 - Mensagens de aviso do equipamento

Mensagem de aviso	Resolução
<p><b>ERROR – Q3 DETECTOR CLIP 1</b> (or 2, 3, etc.)</p>	<p>Antes de iniciar o ciclo de inserção, o equipamento verifica se a peça já possui <i>clips</i>. Caso algum sensor detete a presença de <i>clips</i>, deve ser verificado se a peça de facto possui <i>clip</i> naquela posição. Caso se verifique que a peça não tem <i>clips</i> inseridos, é necessário parar o equipamento e afinar a posição do sensor.</p>

<b>NO TOOL DETECTED</b>	Em todos os ciclos, o equipamento deve detetar a presença de pelo menos uma ferramenta no sistema de troca. Caso isso não aconteça, é necessário verificar se o detetor está afinado ou se a ferramenta não avançou para uma posição errada.
<b>WAITING FOR SEPRO TYPE SIGNAL</b>	A produção a realizar (Peça A ou Peça B) é fornecida pelo SEPRO (robô de fábrica). Caso esse sinal não seja recebido, o ciclo não pode avançar.
<b>SEPRO HAS BOTH TYPE SIGNALS ON</b>	O SEPRO deve enviar apenas um sinal (Peça A ou Peça B). Caso esta mensagem seja apresentada, o SEPRO está a enviar ambos os sinais ao equipamento.
<b>VIBRATOR'S EMPTY. PUT MORE CLIPS</b>	Esta mensagem surge quando a deteção de "Cuba Vazia" é ativada, sendo assim necessário alimentar o equipamento com mais <i>clips</i> para prosseguir a produção.

- **Ecrãs de aviso em caso de paragem**

Durante a operação do equipamento podem ocorrer situações que levem à paragem automática do mesmo. Quando uma situação destas acontece é apresentada na consola uma janela de alarme, igual à apresentada na Figura 136, juntamente com uma mensagem que descreve o motivo da paragem.

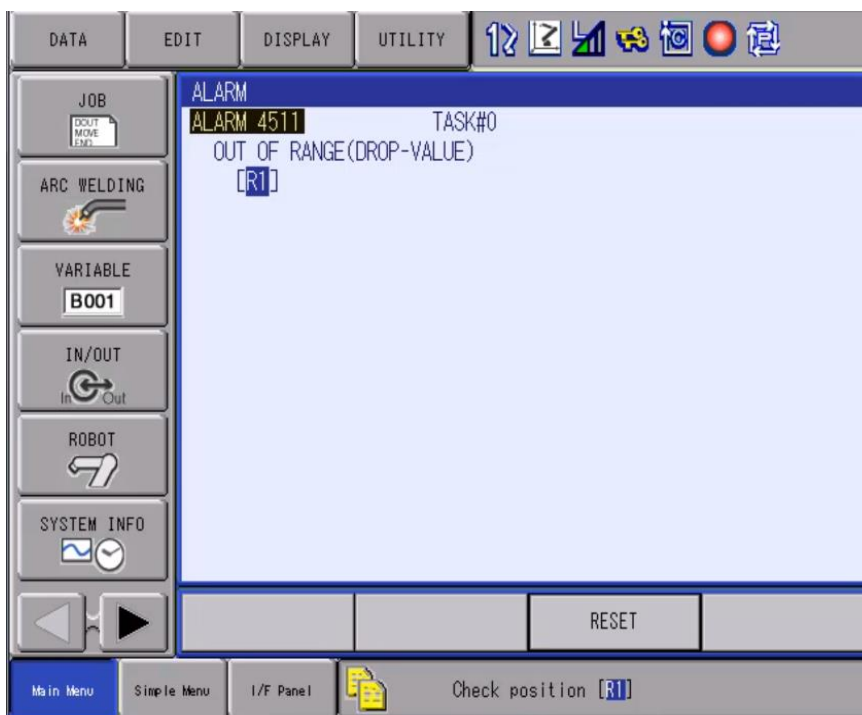


Figura 136 - Janela de alarme da consola

As falhas que levam a paragens repentinas e o aparecimento da janela apresentada na Figura 136, são apresentadas na Tabela 82.

Tabela 82 - Falhas que provocam paragem do equipamento



Falhas	Motivo
<b>Falha de ar</b>	Este alarme é ativado quando o equipamento apresenta falha de pressão de ar.
<b>Alarmes 4511, 4107, 0380 (OUT OF RANGE)</b>	Quando o robô entra numa posição desconhecida, ou se encontra numa coordenada que não está prevista para aquele momento, é ativado um destes alarmes.
<b>DETECÇÃO DE COLISÃO (Alarme 4315) ou SOBRECARGA</b>	Este alarme é ativado quando o robô colide com algum obstáculo, ou quando a força exercida no robô excede o limite pré-definido.

Quando é ativado algum dos alarmes anteriormente descritos, deve ser seguido um procedimento específico. A resolução destes alarmes deve ser realizada por pessoal qualificado para operar com este tipo de equipamento. Em caso de dúvida deve ser contactado o fornecedor para evitar danificar o equipamento.

- **Desligar o equipamento**

Sempre que se pretenda desligar o equipamento devem ser seguidos os passos apresentados na Tabela 83.

Tabela 83 - Passos para desligar o equipamento

Parar o ciclo pressionando o botão “HOLD” ou o botão de “EMERGENCIA”	
Rodar o “Mode Switch” para a primeira posição.	
Com este procedimento realizado, caso se pretenda armazenar o equipamento deve ainda ser desligado o “Interruptor ON/OFF” no armário elétrico e desligar a ligação de ar à rede.	

- **Procedimento em caso de emergência**

Se em algum momento ocorrer alguma situação que coloque em risco a segurança humana ou proporcione a possibilidade de danificar algum objeto, deve ser pressionado o botão de “EMERGÊNCIA” localizado na consola.

Quando pressionado o botão de “EMERGÊNCIA”, a alimentação de ar ao equipamento é imediatamente interrompida, e os movimentos do sistema bloqueados.

Para seguir o funcionamento do equipamento após paragem de emergência deve ser pressionado o botão “SERVO POWER” e seguidamente o botão “START”.

- **Velocidade de ciclo**

A velocidade de ciclo está diretamente relacionada com a velocidade dos movimentos do robô. Esta variável pode ser modificada, e os movimentos podem tornar-se mais rápidos ou mais lentos consoante o desejado e o que mais se adequa ao funcionamento do sistema.

Para alterar a velocidade dos movimentos do robô deve rodar-se o “MODE SWITCH” no topo da consola para a terceira posição e posteriormente seleccionar VARIABLE e INTEGER em Main Menu, como se observa na Figura 137.



INTEGER VARIABLE			
NO.	CONTENTS	NAME	
I000	0		
I001	0	Work Name	
I002	0		

Figura 137 - Ecrã para alteração da velocidade do robô

As variáveis apresentadas, de I002 a I006, representam as velocidades pré-definidas para diferentes operações, nomeadamente:

- I002 - Velocidade de inserção de *clips* (lento);
- I003 - Velocidade de saída da posição de inserção após a mesma ser realizada (médio);
- I004 - Velocidade mais rápida. Usada para movimentos intermediários entre posições de trabalho (rápido);
- I005 - Velocidade para limpeza de ferramenta (médio);
- I006 - Velocidade de troca de ferramentas (lento).




Apesar da possibilidade de alteração dos valores associados às diferentes variáveis, os mesmos não devem ser alterados sem o consentimento do fornecedor do equipamento.

### 3.7.8 Segurança

#### 3.7.8.1 Avisos de segurança

Para um manuseamento seguro do equipamento são traçadas diversas instruções de segurança. Estas são apresentadas a seguir, na Tabela 84.

Tabela 84 - Avisos de segurança do equipamento

	<p>Somente pessoas com qualificação técnica são autorizadas para instalação, operação e manutenção do equipamento. Devem ser seguidas todas as instruções de segurança contidas no manual do equipamento. A desconsideração deste aviso pode resultar em risco de vida e/ou graves danos materiais.</p>
	<p>É desaconselhada qualquer modificação no equipamento por motivos de segurança.</p>
	<p>O equipamento possui três pinos no cabo de alimentação, sendo de inteira responsabilidade do cliente possuir a tomada adequada com aterramento no pino central para evitar choque elétrico e possíveis danos do equipamento.</p>
	<p>O acesso ao quadro elétrico do equipamento está restrito somente a pessoas autorizadas.</p>
	<p>O equipamento só pode ser configurado e assistido por técnicos especializados, qualquer problema elétrico ou mecânico que possa surgir. Todas as alterações realizadas para a resolução do mesmo devem ser documentadas, para que as intervenções futuras sejam mais rápidas de resolver e não provoquem danos maiores.</p>
	<p>No arranque do equipamento deve verificar-se no quadro se a fase e o neutro estão corretamente posicionados. Caso contrário, trocar a ligação das fases na ficha de alimentação para não causar nenhum problema. A desconsideração deste aviso pode levar a choque elétrico nas intervenções no quadro.</p>
	<p>Perante operações de manutenção é aconselhável o uso de ferramentas adequadas para todo o tipo de peças existentes, para evitar ferimentos ou quaisquer danos no equipamento. Após terminada a manutenção, deverá certificar-se que toda a máquina se encontra limpa e sem objetos que possam provocar o seu mau funcionamento.</p>

### 3.7.8.2 Paragem de emergência

O equipamento possui um “Botão de Emergência” anexo à consola portátil, devendo este ser utilizado em caso de perigo para os operadores ou para o equipamento, não devendo ser utilizado para desligar o equipamento. O “Botão de Emergência” bloqueia os movimentos do equipamento que podem provocar situações de perigo de uma forma rápida e segura.

Este botão está ligado ao autómato e ao relé de segurança. Deste modo, a paragem não é prejudicada por falhas no autómato.

### 3.7.8.3 Proteções associadas ao equipamento

O equipamento opera de forma completamente automática, sem auxílio de operador, e possui um robô de seis eixos incorporado. Com isto, o equipamento encontra-se totalmente fechado, estando assim interdito o acesso de qualquer indivíduo a movimentos perigosos enquanto o equipamento opera.

Para acesso ao interior do equipamento, para operações de manutenção, este está equipado com portas em diversos pontos. Às portas estão associados sensores de segurança (Figura 138). Os sensores aplicados têm como finalidade a proteção do operador pois, sempre que alguma das portas é aberta, os movimentos automáticos do equipamento são imobilizados.





Figura 138 - Sensor magnético anexo às portas do equipamento

### 3.7.8.4 Sinalização de segurança

A sinalização de segurança é aplicada em determinados pontos do equipamento, e tem por objetivo alertar para perigos, obrigações ou proibições associadas a determinado ponto do equipamento.

Tabela 85 – Sinalização de segurança do equipamento

	<p>A sinalética de aviso de risco de choque elétrico, apresentada à esquerda, está associada a pontos do equipamento onde os riscos elétricos são elevados, estando assim presente esta sinalização no armário elétrico e no controlador do robô, sendo que estes dois se encontram com a abertura voltada para o exterior do equipamento.</p>
	<p>Ao robô está associada a sinalética de risco de colisão com o robô, sendo que podem ser desencadeados movimentos inesperados por parte deste.</p>

### 3.7.9 Manual de manutenção

O correto funcionamento e o tempo de vida do equipamento estão dependentes da qualidade e regularidade da manutenção realizada ao mesmo. A falta de manutenção pode levar a danos e avarias graves que geram operações de manutenção corretiva, sendo estas mais complexas, longas e dispendiosas.

#### 3.7.9.1 Manutenção preventiva

A sequência de operações realizadas com vista a garantir a integridade e longevidade do equipamento consideram-se no âmbito da manutenção preventiva. A manutenção preventiva obriga a intervenções periódicas, previamente definidas, ao equipamento.

O equipamento, apesar da estrutura complexa, não exige operações de manutenção de elevada complexidade. Deve apenas ser dada alguma atenção aos pontos apresentados na Tabela 86.

Tabela 86 - Listagem de operações de manutenção

Operação	Notas
Testar dispositivos de segurança	Verificar estado de funcionamento dos fechos de segurança nas portas.
Verificar existência de fugas na instalação pneumática	Verificar tubagens, conexões e cilindros.
Verificar ligações mecânicas	Verificar aperto de parafusos, essencialmente nas peças elaboradas com afinação em determinado eixo.
Controlar tensão da correia do sistema de troca de ferramenta	Verificar se a correia perdeu tensão. Evidências disso podem ser falhas na posição de carregamento de <i>clips</i> ou pequenos ruídos.
Lubrificação dos componentes responsáveis por deslizamentos	Verificar guias e patins em todo o equipamento.
Limpeza dos alimentadores de componentes	Os alimentadores devem ser ocasionalmente limpos, retirando componentes danificados e a sujidade libertada pelos componentes que comprometa o funcionamento do equipamento.
Testar deteções	Devem ser testadas todas as deteções no geral, desde deteções de componentes a deteções de posição de cilindros.
Existência de ruídos	Analisar aparecimento de ruídos, podendo estes, em caso de existência, permitir identificar e corrigir alguma falha.
Peças de desgaste	Existindo peças com maior taxa de desgaste prevista, deve ser dada especial atenção às mesmas.
Funcionamento do equipamento e dos subsistemas do mesmo	Realizar ciclos de teste, com vista a verificar o correto funcionamento dos mesmos.

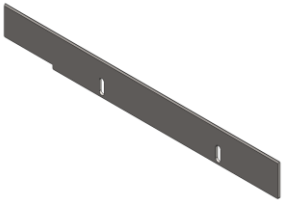
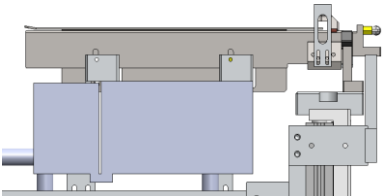
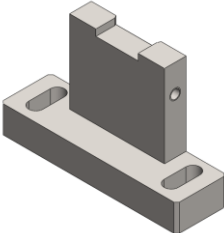
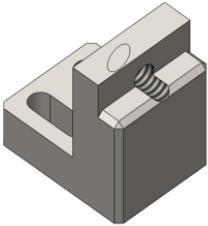
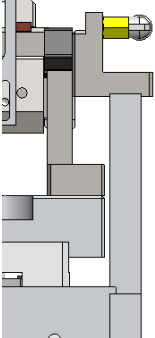
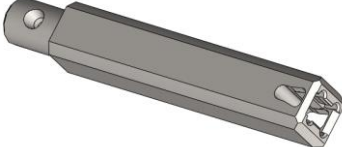
### 3.7.9.2 Peças de desgaste

Na indústria, os equipamentos estão sujeitos a ciclos de trabalho contínuos, que ao longo do tempo geram desgaste nos mesmos. Esse desgaste por norma é localizado e associado a determinados pontos do equipamento.

Por vezes as zonas ou os componentes de maior desgaste são previsíveis. No equipamento projetado, o desgaste do mesmo está essencialmente associado ao facto de os componentes com os quais este opera serem de metal. O *clip* metálico em contacto com determinados componentes da máquina gera desgaste ao longo do tempo, sendo as zonas mais afetadas as ferramentas e o sistema de alimentação e carregamento das mesmas.

Para facilitar a substituição de determinadas peças, em operações de manutenção, o cliente recebe uma listagem de peças que apresentam maior desgaste, sendo assim mais fácil o mesmo contactar o fornecedor e receber novas peças. As peças com maior taxa de desgaste são apresentadas na Tabela 87. Encontram-se ainda no Anexo II os desenhos correspondes às mesmas.

Tabela 87 - Listagem de peças de desgaste

Peça	Ilustração	Localização no Equipamento
WRK-CLIC_0216		 <b>Sistema de alimentação e carregamento</b>
WRK-CLIC_0214		
WRK-CLIC_0213		 <b>Ferramentas</b>
WRK-CLIC_0303		

### 3.7.10 Custos associados ao equipamento

Na Tabela 88 são apresentados os custos associados à conceção do equipamento. Na tabela os custos estão agrupados por categorias gerais, e os valores de custo associado são valores aproximados. Contudo, no Anexo IV encontra-se a descrição detalhada da generalidade dos gastos.

É de salientar que aos gastos apresentados acrescem os valores despendidos pela empresa para a conceção do projeto, e numa fase final os custos associados ao acompanhamento da implementação do equipamento na fábrica de destino, não sendo estes valores apresentados na presente análise de custos.

Tabela 88 - Custos associados ao equipamento

Descrição	Custo Associado
Material pneumático	10 000 €
Material elétrico	10 000 €
Matérias primas	10 000 €
Material estrutural	18 000 €
Serviços externos	6 500 €
<b>Custo Total do Equipamento</b>	<b>54 500 €</b>



# CONCLUSÕES



## 4 CONCLUSÕES

A automatização de processos após o investimento inicial representa uma grande redução de custos de produção, associada a um aumento de produtividade e qualidade de produtos. Os processos de montagem de pequenos componentes apresentam grande aptidão para ser automatizados, sendo do interesse dos fabricantes de componentes aplicações que o permitam, uma vez que se trata de processos, geralmente, repetitivos, com grande probabilidade de falha e demorados quando efetuados manualmente.

Este projeto permitiu ao cliente uma melhoria significativa no processo de produção. A forma como o projeto foi desenvolvido permitiu um aumento de produção considerável e uma grande redução da intervenção humana, visto o equipamento ser completamente automático.

Os objetivos e requisitos iniciais do cliente foram cumpridos na íntegra, como se pode observar na Tabela 89.

Tabela 89 - Avaliação de cumprimento de objetivos iniciais

Objetivo	Conclusão
Desenvolver um equipamento capaz de trabalhar de forma autónoma, com recurso a um robô de seis eixos, com um tipo de componentes e duas referências de peça.	O equipamento funciona de forma autónoma, com as duas peças e os componentes pretendidos, existindo intervenção humana apenas na deposição de componentes.
Implementar um sistema de alimentação de componentes, sendo estes depositados de forma aleatória no equipamento.	Foi implementado um sistema de alimentadores preparado para receção de componentes depositados de forma aleatória.
Criar uma ferramenta auxiliar para o robô, capaz de transportar os componentes necessários para um ciclo de trabalho.	A ferramenta foi desenvolvida considerando a geometria do componente, e mostrou-se adequada ao ciclo de trabalho do robô.
Desenvolver um sistema de carregamento e troca de ferramenta, com vista a rentabilizar o tempo de ciclo do equipamento.	Sistema de troca de ferramenta desenvolvido. O tempo de ciclo do sistema mostrou-se adequado ao funcionamento do equipamento.
Criar sistemas de posicionamento das peças com vista à fixação das mesmas durante a montagem dos componentes.	Foram desenvolvidas duas Bases independentes e um sistema de calcamento comum, capazes de orientar e posicionar completamente a peça a trabalhar.
Aplicar sistema de deteção de componentes.	Deteções de componentes anexas às Bases.

O desenvolvimento de um equipamento de grande complexidade mostrou-se uma mais valia em termos pessoais. Com este projeto, foi possível uma evolução em conhecimentos referentes a inúmeras etapas de projeto. O contacto com clientes e fornecedores, os conhecimentos de pneumática e os conceitos de automação foram as principais conquistas ao longo deste trabalho. Além destes pontos, o acompanhamento dos processos de maquinagem, montagem e programação revelaram-se uma mais valia, permitindo uma aprendizagem que será fundamental em trabalhos futuros.

Neste âmbito, como trabalhos futuros sugerem-se:

- Projeto dos componentes não normalizados com orientação ao seu processo de fabrico;
- Melhoria de design do sistema de troca de ferramenta, com possível redução de componentes;
- Conversão de alguns movimentos com acionamento pneumático para acionamento elétrico, aumentando a precisão dos mesmos;
- Melhoria da interface entre operador e máquina através da introdução de uma consola com informações durante o ciclo de funcionamento do equipamento.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES  
DE INFORMAÇÃO**



## 5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

1. OICA. 2018 PRODUCTION STATISTICS. 26/07/2019]; Available from: <http://www.oica.net/category/production-statistics/2018-statistics/>.
2. Aguiar, A. *Como surgiu o primeiro carro do mundo*. 2017 6/08/2019; Available from: <https://www.e-konomista.pt/artigo/primeiro-carro-do-mundo/>.
3. Peixoto, J. and P. dias, *Componentes para automóveis - Um motor para a economia*, in *Portugal Global*. 2014. p. 10 - 15.
4. Ferreira, A.M.D.T., *Integração e melhoria de processos na vulcanização de pneus*. 2018.
5. Porter, M.E., *The competitive advantage of nations*. 1993: Harvard Business School Management Programs Cambridge.
6. APCER. IATF 16949:2016. 6/08/2019]; Available from: <https://www.apcergroup.com/pt/certificacao/pesquisa-de-normas/136/iatf-16949-2016>.
7. Anđelković, A., *Implementation of Just-in-sequence concept in automotive industry: Comparison of Austrian and Serbian model*. *Industrija*, 2017. **45**(3): p. 83-99.
8. Magalhães, A.J.A.d., *Projeto de sistema de manipulação de arames*. 2017.
9. AFIA. *Indústria de Componentes para Automóveis - Estatísticas 2018*. 25/08/2019]; Available from: <https://afia.pt/estatisticas/>.
10. Torres, L.M., *Estruturas Automóveis - Mestrado em Engenharia Mecânica*. 2017.
11. motor1. *Skoda Fabia Combi teardown*. 2018 26/08/2019]; Available from: <https://www.motor1.com/photo/3022218/skoda-fabia-combi-teardown/>.
12. Orłowicz, A., et al., *Materials used in the automotive industry*. *Archives of Foundry Engineering*, 2015. **15**(2): p. 75-78.
13. Berladir, K., et al., *Modern materials for automotive industry*. *Journal of engineering sciences*, 2017. **4**: p. F8-F18.
14. Wenlong, S., C. Xiaokai, and W. Lu, *Analysis of energy saving and emission reduction of vehicles using light weight materials*. *Energy Procedia*, 2016. **88**: p. 889-893.
15. Szeteiová, K., *Automotive materials plastics in automotive markets today*. Institute of Production Technologies, Machine Technologies and Materials, Faculty of Material Science and Technology in Trnava, Slovak University of Technology Bratislava, 2010.
16. Maxwell, J., *Plastics in the automotive industry*. 1994: Elsevier.
17. Myer, K., *Applied plastics engineering handbook: processing and materials*. 2011: William Andrew.
18. Boothroyd, G., *Assembly automation and product design*. 2005: CRC Press.

19. Michalos, G., et al., *Automotive assembly technologies review: challenges and outlook for a flexible and adaptive approach*. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 2010. **2**(2): p. 81-91.
20. Gupta, A. and S.K. Arora, *Industrial automation and robotics*. 2009: Laxmi publications.
21. Groover, M.P., *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing*. 2007: Prentice Hall Press.
22. Automation, A.-. *HARD VS. SOFT ASSEMBLY AUTOMATION INCREASED FACTORY PRODUCTIVITY*. 2014 7/08/2019]; Available from: <http://www.agi-automation.com/2014/05/hard-vs-soft-assembly-automation-increased-factory-productivity/>.
23. TECHNOLOGY, E. *What is Industrial Automation, Their Types and Hierarchy of an Industrial Automation System*. 7/08/2019]; Available from: <https://www.electricaltechnology.org/2015/09/what-is-industrial-automation.html>.
24. Oliveira, L.C.P.L., *Maquinagem de superfícies complexas com recurso a sistema robótico*. 2013.
25. YASKAWA. *What is "Robot" ?*. 8/08/2019]; Available from: <https://www.yaskawa-global.com/product/robotics/about>.
26. Pires, J.N., *Os Desafios da Robótica Industrial*. Journal Robótica, 2003: p. 14-17.
27. Araújo, W.F.d.S., *Optimização de Processo Semiautomático de Fabrico de Componentes para Automóveis*. 2014.
28. FISCHER, U., et al., *Manual de tecnologia metal mecânica*. São Paulo: Bluecher, 2008.
29. Rizzoni, G., *Principles and applications of electrical engineering*. 2005: McGraw-Hill Science/Engineering/Math.
30. Sy Salim, S.N. and M. Zainon, *Control Systems Engineering*. 2010.
31. Lashin, M.M., *Different applications of programmable logic controller (PLC)*. International Journal of Computer Science, Engineering, 2014.
32. OMRON. *Controladores Lógicos Programáveis*. 30/08/2019]; Available from: <https://industrial.omron.pt/pt/products/cp1h>.
33. Industriais, T. *Autómatos Programáveis PLCs – Programação, inputs/outputs (capítulo 3)*. 2012 30/08/2019]; Available from: <https://tecnologiasindustriais.wordpress.com/category/automatos-programaveis/>.
34. Wilson, J.S., *Sensor technology handbook*. 2004: Elsevier.
35. Mavroidis, C., C. Pfeiffer, and M. Mosley, *5.1 conventional actuators, shape memory alloys, and electrorheological fluids*. Automation, miniature robotics, and sensors for nondestructive testing and evaluation, 2000. **4**: p. 189.
36. WRK. *WRK*. [cited 2019 12/10/2019]; Available from: <http://www.wrk.pt>.
37. INOVTEC. *Manual, Semi-Automated or Automated: What Type of Assembly System is Right for You?* 2014 [cited 2019 9/7/2019]; Available from: <https://www.invotec.com/news/manual-semi-automated-or-automated-what-type-of-assembly-system-is-right-for-you/>.
38. ITEM, *The item Work Bench System 3*. 2017.
39. WRK, L., *Documentação Interna*. 2011 - 2019.

40. Heshmat, M., M.A. El-Sharief, and M. El-Sebaie, *Simulation modeling of automatic production lines with intermediate buffers*. International Journal of Scientific & Engineering Research, 2013. 4(7): p. 2528-2535.
41. KUKA. *Solda ponto*. 9/09/2019]; Available from: <https://www.kuka.com/pt-br/produtos-serviços/tecnologias-de-processo/2016/07/solda-ponto>.
42. Industriais, M.S. *LINHAS SEMI AUTOMÁTICAS*. 9/09/2019]; Available from: <https://www.mmsolucoesindustriais.com/linhas-semi-automaacuteticas.html>.
43. Soares, V. *As 8 fases de uma linha de montagem de automóveis*. 2017.
44. Brumson, B. *What's New with Robotics in Injection Molding?* 2010.
45. SEPRO. *S5 Line : The ideal industrial robot*. 9/09/2019]; Available from: <http://www.sepro-group.com/products/s5-line/>.
46. TAD. *SISTEMAS DE ALIMENTAÇÃO E ALIMENTADORES VIBRATÓRIOS PARA O AUTOMÓVEL*. 31/08/2019]; Available from: <https://tad-pt.com/automovel/>.
47. TM2A. *Guias Lineares Motorizadas de 1 Eixo*. 31/08/2019]; Available from: <https://www.tm2a.pt/catalogo/guias-lineares-motorizadas-de-1-eixo/>.
48. BROVIND. *Alimentadores*. 31/08/2019]; Available from: <http://www.brovindvibratori.it/?lang=pt-br>.
49. Fluidotronica. *Periféricos & Sistemas*. 12/08/2019]; Available from: <http://www.fluidotronica.com/pt/serviços/perifericos-sistemas/>.
50. Campilho, R., *Método de Elementos Finitos: Ferramenta para Análise Estrutural*. 2012, Porto: Publindústria.
51. Rexroth, B. *Instruction: Linear Motion Designer*. 12/10/2019]; Available from: [https://www.boschrexroth.com/software-updates/LinearMotionDesigner/Download/Instruction\\_EN.pdf](https://www.boschrexroth.com/software-updates/LinearMotionDesigner/Download/Instruction_EN.pdf).
52. SMC. *Software de selecção de cilindro guiado*. [cited 2019 12/10/2019]; Available from: [https://www.smc.eu/portal\\_ssl/webpages/01\\_products/engineering\\_tools/guide\\_cylinder\\_selector/guide\\_cylinder\\_selector.jsp?lang=pt&ctry=PT](https://www.smc.eu/portal_ssl/webpages/01_products/engineering_tools/guide_cylinder_selector/guide_cylinder_selector.jsp?lang=pt&ctry=PT).



**ANEXOS**



## 6 ANEXOS

Os anexos referidos encontram-se disponibilizados em suporte digital, num DVD anexo à presente dissertação. Os anexos encontram-se dispostos segundo a seguinte divisão:

Anexo I - Fichas Técnicas de Componentes

Anexo II - Desenhos do Equipamento

Anexo III - Processos de Fabrico

Anexo IV - Análise Detalhada de Custos