



Projeto e dimensionamento de uma máquina de soldadura com alimentação de fio automático

DIOGO OLIVEIRA TAVARES

novembro de 2021

PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE UMA MÁQUINA DE SOLDADURA COM ALIMENTAÇÃO DE FIO AUTOMÁTICO

Diogo Oliveira Tavares

1190155

2020/2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica



PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE UMA MÁQUINA DE SOLDADURA COM ALIMENTAÇÃO DE FIO AUTOMÁTICO

Diogo Oliveira Tavares

1190155

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 Mestre Pedro Miguel Machado dos Santos.

2020/2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica



JÚRI

Presidente

Doutor Francisco José Gomes da Silva
Professor Coordenador com Agregação, ISEP

Orientador

Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho
Professor Adjunto, ISEP

Coorientador

Mestre Pedro Miguel Machado dos Santos
Engenheiro Projetista, MENDOS

Arguente

Doutor António Manuel Ferreira Mendes Lopes,
Professor Associado com Agregação, FEUP

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, professor Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho por toda a disponibilidade, motivação, estratégias e conhecimentos passados que foram fundamentais para a realização da dissertação.

Obrigado à Motofil por me proporcionar excelentes condições de trabalho e a toda a equipa do gabinete técnico que criaram um ótimo ambiente de trabalho. Agradeço o desafio proposto para a presente dissertação.

Gostaria de agradecer aos meus pais Manuel Tavares e Isabel Tavares por me proporcionarem condições para conseguir concluir este objetivo. Obrigado por me apoiarem nos momentos menos bons e por comemorarem comigo nos momentos bons da vida.

De seguida agradeço ao meu grande amigo André Marques por todo o incentivo e bons conselhos.

Por fim, mas não menos importante, gostaria de agradecer aos meus amigos mais próximos do mestrado e da licenciatura, Ana Sofia Meira, Miguel Rocha, Ricardo Neves e Daniel Santos que me ajudaram a concretizar esta etapa na minha vida.

Obrigado a todos!

PALAVRAS CHAVE

Projeto mecânico; Estruturas mecânicas; Método de elementos finitos; Soldadura; Robótica; Pneumática.

RESUMO

A soldadura é um dos métodos mais utilizados na ligação de componentes de forma rígida e com grande resistência. Como o processo de soldadura é bastante usado, existe a necessidade de o explorar e otimizar, de forma a garantir a qualidade e eficiência das ligações soldadas. Para o efeito, é necessário o projeto de máquinas inovadoras que utilizem o processo de soldadura com uma elevada precisão e eficiência. A revisão bibliográfica desta dissertação descreve de forma detalhada os principais métodos para conseguir dimensionar um projeto de soldadura automatizado em ambiente industrial. Para desenvolver um projeto mecânico é essencial conhecer os materiais mais utilizados assim como as ligações aplicadas nestes projetos, respeitando sempre as normas vigentes, que devem ser seguidas no projeto mecânico.

O presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema de alimentação de fio para colunas de soldadura de arco submerso ou MIG-MAG. As colunas de soldadura descritas na dissertação são exclusivamente para soldadura de virolas de torres eólicas. Devido à dimensão destes componentes, existe a necessidade de projetar um equipamento de grandes dimensões. Deste modo, são dimensionados os constituintes da estrutura assim como a estrutura através do Método de Elementos Finitos por meio de um *software* comercial. É também desenvolvido um sistema de alimentação de fio de soldadura pneumático. Pretende-se com este projeto apresentar melhorias em termos económicos e desempenho relativamente aos sistemas atuais. Este será dimensionado para o tamanho desejado e requisitos a cumprir para as diferentes máquinas e complexidades de alimentação. Finalmente, o equipamento deve ser fabricado e o seu funcionamento validado.

Com a realização desta dissertação, foi projetado com sucesso o equipamento descrito, cumprindo também com todos os requisitos propostos para o mesmo. Desta forma, é apresentado o projeto completo do equipamento de soldadura, seguindo-se a fase de testes e validação para que este possa iniciar a operação na empresa parceira desta dissertação.

KEYWORDS

Mechanical design; Mechanical structures; Finite Element Method; Welding; Robotics; Pneumatics.

ABSTRACT

Welding is one of the most used methods to join components with significant stiffness and strength. As the welding process is widely used, there is a need to explore and optimize it, in order to guarantee the quality and efficiency of the welded joints. For this purpose, it is necessary to design innovative machines that use the welding process with high precision and efficiency. The literature review of this dissertation describes in detail the main methods to be able to design an automated welding project in an industrial environment. To develop a mechanical project, it is essential to know the most used materials as well as the joints applied in these projects, always respecting the current standards, which must be followed in the mechanical design.

This work aims to develop a wire feed system for submerged arc welding or MIG-MAG columns. The welding columns described in the dissertation are exclusively for the welding of wind tower ferrules. Due to the size of these components, there is a need to design a large equipment. Thus, the constituents of the structure as well as the structure are designed using the Finite Element Method through a commercial software. A pneumatic welding wire feeding system is also developed. The aim of this project is to present cost and performance improvements in compared to current systems. This will be designed to the desired size and requirements to be met for different machines and feeding complexities. Finally, the equipment must be manufactured, and its operation validated.

With the completion of this dissertation, the equipment described was successfully designed, also complying with all the requirements proposed for it. In this way, the complete project of the welding equipment is presented, to be followed by the testing and validation phase so that it can start operating in the partner company of this dissertation.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

CE	Comissão europeia
CEN	Comissão Europeia de Normalização
CAD	<i>Computer aided design</i>
PLC	Controlador lógico programável
CA	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
LED	Díodo emissor de luz (light-emitting diode)
GMAW	<i>Gás metal arc welding</i>
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
ISO	<i>International organization for standardization</i>
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
MAG	<i>Metal active gas</i>
MIG	<i>Metal inert gas</i>
MEF	Método de elementos finitos
PEEK	<i>Polyether ether ketone</i>
REAE	Regulamento de Aço para Edifícios
REBAP	Regulamento de estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado
RSA	Regulamento de Segurança e Ações
SCARA	<i>Selective compliance assembly arm</i>
SI	Sistema internacional
SAW	Submerged arc welding
TIG	<i>Tungsten inert gas</i>

 Lista de Unidades

kW	Kilowatt
psi	Libra-força por polegada ao quadrado (IBF/in ²)
MPa	Megapascal
m/min	Metros por minuto
m/s	Metros por segundo
mm	Milímetro
ms	Milissegundo
N	Newton
N.m	Newton metro
kg	Quilograma
km	Quilómetro
rpm	Rotações por minuto

 Lista de Símbolos

g	Aceleração gravítica
α	Ângulo
M_a	Binário
P	Carga de trabalho
C_0	Classificação de carga estática
μ	Coefficiente de atrito
h	Comprimento
m_c	Contrapeso
d	Densidade
\varnothing	Diâmetro
L	Distância
€	Euro
f_{SM}	Fator de segurança estática para movimento
f_{SL}	Fator de segurança estático para carga simples

F_a	Força de rutura
F_{max}	Força tangencial máxima
T	Frequência de alimentação de lubrificante
m	Massa
M	Momento aplicado
M_0	Momento estático permitido
M_y	Momento máximo
%	Porcentagem
P	Perímetro
η	Rendimento total
n_R	Rotação de saída do motorreductor
v	Velocidade
L_h	Vida útil

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Perfis extrudidos de alumínio [2].....	7
Figura 2 – Parafusos sextavados interior e exterior [5].....	10
Figura 3 – Acionamento pneumático [8].....	11
Figura 4 – Elevador hidráulico – acionamento hidráulico [9].....	12
Figura 5 – Motor Movifit CA com variador acoplado [11].....	13
Figura 6 – Soldadura através de eletrodo revestido [16].....	16
Figura 7 – Método MIG – MAG [18].....	17
Figura 8 – Soldadura por fio fluxado [19].....	18
Figura 9 – Soldadura do tipo TIG [20].....	19
Figura 10 – Soldadura do tipo plasma [21].....	19
Figura 11 – Soldadura do tipo arco submerso [22].....	20
Figura 12 – Soldadura por pontos a) soldadura por pontos b) soldadura continua através de roletes c) soldadura por bossas [14, 23].....	21
Figura 13 – Soldadura oxiacetilénica [24].....	21
Figura 14 – Soldadura laser [25].....	22
Figura 15 – Soldadura por feixe de eletrões [26].....	22
Figura 16 – Princípio de um transformador em soldadura [27].....	23
Figura 17 – Máquina de soldadura com alavanca [28].....	23
Figura 18 – <i>Inverter</i> [29].....	24
Figura 19 – Robô articulado e respetiva área de trabalho [32].....	25
Figura 20 – Robô cartesiano e respetiva área de trabalho [33].....	25
Figura 21 – Robô cilíndrico e respetiva área de trabalho [34].....	26
Figura 22 – Robô polar e respetiva área de trabalho [35].....	27
Figura 23 – Robô SCARA e respetiva área de trabalho [36].....	28
Figura 24 – Robô delta [38].....	29
Figura 25 – Zona de utilização de robôs [39].....	30
Figura 26 – Evolução das interfaces nos diversos tipos de robôs [39].....	30
Figura 27 – Caminho da estrutura real até ao modelo computacional [44].....	34

Figura 28 – Contínuo aumento do refinamento da malha [45].....	35
Figura 29 – Refinamento da malha a) malha grosseira b) malha refinada [46]	35
Figura 30 – Exemplo de análise pelo MEF [47].....	36
Figura 31 – Análise do MEF em <i>crash test</i> na indústria automóvel [48]	37
Figura 32 – Análise de previsão de rotura de aneurisma abdominal [49].....	37
Figura 33 – Propriedades de um material [51].....	38
Figura 34 – Triangulação de Delaunay [54]	40
Figura 35 – Instalações da Motofil	46
Figura 36 – Produtos: a) soldadura b) manipulação c) corte laser	46
Figura 37 – Projetos: a) avião Legacy 450-500 b) avião KC-390 c) torre eólica	46
Figura 38 – Fio de soldadura danificado.....	47
Figura 39 – Coluna de soldadura de base para o projeto.....	48
Figura 40 – Estrado da coluna de soldadura	49
Figura 41 – Guia linear para cargas elevadas [58]	49
Figura 42 – Componentes principais para o deslocamento vertical	50
Figura 43 – Sistema de segurança	50
Figura 44 – Braço de soldadura	51
Figura 45 – Slides	51
Figura 46 - Tocha de soldadura	52
Figura 47 – Transmissão de imagem	52
Figura 48 – Apalpador em funcionamento [59]	53
Figura 49 – Soldadura longitudinal.....	53
Figura 50 – Soldadura circunferencial	54
Figura 51 – Soldadura longitudinal ou circunferencial internamente	54
Figura 52 – Pórtico de soldadura.....	55
Figura 53 – Bobine de soldadura com pequenas dimensões	56
Figura 54 – Posicionamento da bobine	56
Figura 55 – 3 <i>Big packs</i>	57
Figura 56 – Esquema de transporte do fio de soldadura	57
Figura 57 – Funcionamento do sistema de alimentação de fio [60]	58
Figura 58 – Falhas na alimentação do fio de soldadura [61]	59

Figura 59 – Alimentação do fio de soldadura ideal [61].....	59
Figura 60 – Gráfico velocidade tempo do motor mestre e do motor escravo [61].....	59
Figura 61 – Sensor ótico dos ratos dos computadores [63]	61
Figura 62 – Comparação do fio sem arrasto e o fio com arrasto [64]	61
Figura 63 – Configuração dos rolos de fio de soldadura	62
Figura 64 – Alinhamento das marcas inseridas nos rolos [65]	62
Figura 65 – Conduta de polímero [68].....	63
Figura 66 – Conduta extra flexível [68].....	64
Figura 67 – Conduta extremamente flexível [68].....	64
Figura 68 – Conduta extremamente flexível para alumínio [68].....	64
Figura 69 – Arame elíptico e arame linear [68]	65
Figura 70 - Vista em corte dos módulos com rolamentos [66]	67
Figura 71 – Esteira porta cabos [66]	67
Figura 72 – Reações e diagrama de momentos: a) posição 1; b) posição 2; c) posição 3	70
Figura 73 - Aço S235 [69].....	71
Figura 74 – Fixação da estrutura	72
Figura 75 – Aplicação de força na estrutura.....	73
Figura 76 – Aplicação do <i>mesh control</i>	74
Figura 77 – Ponto de convergência escolhido	75
Figura 78 – Nº de elementos e nº de nós.....	75
Figura 79 – Variação da tensão de von Mises com o nº de elementos	76
Figura 80 – Tensão de von Mises: a) posição 1	76
Figura 81 – Tensão de von Mises: b) posição 2	77
Figura 82 – Tensão de von Mises: c) posição 3	77
Figura 83 – Deslocamento vertical: a) posição 1	78
Figura 84 – Deslocamento vertical: b) posição 2.....	78
Figura 85 – Deslocamento vertical: c) posição 3	78
Figura 86 – Fator de segurança: a) posição 1	79
Figura 87 – Fator de segurança: b) posição 2	79
Figura 88 – Fator de segurança: c) posição 3	80
Figura 89 – Deslocamento vertical com componentes fragilizados	80

Figura 90 – Alteração do <i>design</i>	81
Figura 91 – Centro de massa da estrutura	81
Figura 92 – Tabela de motorreductores NORD [71].....	83
Figura 93 – Tabela de motorreductores NORD [72].....	84
Figura 94 – Elevação do braço através de corrente de rolos duplos.....	85
Figura 95 – Catálogo de correntes Rolisa [73].....	87
Figura 96 – Catálogo de rodas de coroa da Rolisa [73]	87
Figura 97 – Transmissão por cremalheira e roda dentada	88
Figura 98 – Tabela de cremalheiras Rolisa [73].....	88
Figura 99 – Tabela de rodas dentadas cilíndricas Rolisa [73]	89
Figura 100 – Guia linear e patim de rolos.....	89
Figura 101 – Seleção do tipo de esforço [74]	91
Figura 102 – Catálogo de guias lineares da HIWIN [74]	91
Figura 103 – Colocação da guia linear (adaptado de [74])	92
Figura 104 – Conjunto geral da coluna de soldadura	93
Figura 105 – Vista explodida da coluna de soldadura	94
Figura 106 – Transmissão de potência do carro da estrutura (corrente).....	95
Figura 107 – Transmissão de potência para a elevação do braço (corrente).....	95
Figura 108 – Transmissão de potência para o deslocamento do braço (roda - cremalheira)	95
Figura 109 – Lubrificação de guias lineares.....	96
Figura 110 – Lubrificação de rolamentos	96
Figura 111 – Sistema de segurança da coluna de soldadura, travão de segurança e saliências	97
Figura 112 – Outros pormenores	97
Figura 113 – Carris da coluna de soldadura	98
Figura 114 – Base do carro da coluna de soldadura.....	98
Figura 115 – Roda da coluna de soldadura	98
Figura 116 – Coluna da máquina de soldadura	99
Figura 117 – Bacalhau da coluna de soldadura	99
Figura 118 – Braço da coluna de soldadura	100
Figura 119 – Primeiro protótipo do sistema de alimentação de fio de soldadura a) vista de trás, b) vista de frente	100

Figura 120 – Melhoria do componente	101
Figura 121 – Protótipo final do sistema de alimentação de fio de soldadura	101
Figura 122 – Vista em corte do sistema de alimentação de fio de soldadura	102
Figura 123 – Vista explodida do sistema de alimentação de fio de soldadura	102
Figura 124 – Sistema de alimentação de fio pronto para funcionamento	103
Figura 125 – Trajeto do fio de soldadura [76]	104
Figura 126 – Motor pneumático e curvas de características.....	105
Figura 127 – Sensor de fim de curso	107
Figura 128 - <i>Grafcet</i> da automação da coluna de soldadura.....	108
Figura 129 – Circuito pneumático: a) sentido anti-horário, b) não realiza qualquer movimento, c) sentido horário	111
Figura 130 – Carris.....	111
Figura 131 – Carro	112
Figura 132 – Coluna	112
Figura 133 – Braço	113
Figura 134 – Cablagem, ligações elétricas, ar comprimido e aparelho de soldadura	113
Figura 135 – Lubrificação das guias lineares [77]	114
Figura 136 – Substituição de óleo no motorreductor [78].....	115
Figura 137 – Lubrificação de rolamentos	116

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades dos aços (adaptado de [3])	8
Tabela 2 – Valores nominais da tensão de cedência f_{yb} e da tensão de rotura à tração, f_{ub} , para parafusos (adaptado de [6])	10
Tabela 3 – Comparação dos métodos de acionamento (adaptado de [7, 10])	13
Tabela 4 – Eurocódigos (C115) (adaptado de [13])	15
Tabela 5 – Tipos de soldadura (adaptado de [14])	16
Tabela 6 – Estado da arte de métodos de soldadura	31
Tabela 7 – Estado da arte na utilização do MEF para projeto mecânico	41
Tabela 8 – Vantagens e desvantagens das duas estruturas idealizadas	55
Tabela 9 – Tabela resumo dos modelos de condutas (adaptado de [68])	66
Tabela 10 – Critérios de seleção para os processos de soldadura (1-Ideal, 2-Pouco aconselhável, 3-Não aconselhável)	68
Tabela 11 – Tabela de seleção (importância)	69
Tabela 12 – Propriedades mecânicas do aço S235 (adaptado de [70])	71
Tabela 13 – Simplificação para simulação	72
Tabela 14 – Condições iniciais para cálculo	82
Tabela 15 – Fator de funcionamento (adaptado de [73])	86
Tabela 16 – Coeficiente de segurança (adaptado de [73])	86
Tabela 17 – Fator de segurança estático (adaptado de [74])	90
Tabela 18 – Componentes e processo de fabrico da estrutura da máquina de soldadura	105
Tabela 19 – Posições da coluna de soldadura	108
Tabela 20 – Análise de custos	116

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	3
1.1	Contextualização	3
1.2	Objetivos	3
1.3	Organização da dissertação	4
1.4	Empresa de acolhimento	4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1	Projeto de máquinas industriais	7
2.1.1	Materiais utilizados	7
2.1.2	Métodos de união em estruturas.....	9
2.1.2.1	Ligações por parafusos	9
2.1.3	Métodos de acionamento	10
2.1.4	Normas aplicáveis.....	14
2.2	Soldadura de componentes	15
2.2.1	Métodos de soldadura	15
2.2.2	Equipamentos convencionais.....	23
2.2.3	Equipamentos robotizados.....	24
2.2.3.1	Estrutura articulada	24
2.2.3.2	Estrutura cartesiana.....	25
2.2.3.3	Estrutura cilíndrica.....	26
2.2.3.4	Estrutura polar	27
2.2.3.5	Estrutura <i>selective compliance assembly arm</i> (SCARA)	28
2.2.3.6	Estrutura Delta.....	28
2.2.4	Robô de soldadura	29
2.2.5	Utilização de robôs para a soldadura	31
2.2.6	Estado da arte	31

2.3	Método de elementos finitos.....	33
2.3.1	História do MEF	33
2.3.2	Princípio de funcionamento	33
2.3.3	Comparação da aproximação do MEF com a solução exata	35
2.3.4	Aplicações do MEF.....	36
2.3.5	<i>Software</i> disponível e respectivas potencialidades	37
2.3.5.1	Seleção do tipo de estudo	37
2.3.5.2	Material aplicado	38
2.3.5.3	Condições fronteira	39
2.3.5.4	Esforços aplicados.....	39
2.3.5.5	Tipos de ligação	40
2.3.5.6	Malha de elementos finitos	40
2.3.6	Estado de arte da utilização em projetos mecânicos	41
3	DESENVOLVIMENTO	45
3.1	Introdução ao trabalho prático desenvolvido.....	45
3.1.1	Caracterização da empresa	45
3.1.2	Caracterização do problema	46
3.2	Objetivos do trabalho.....	47
3.3	Requisitos do equipamento	48
3.4	Anteprojeto	48
3.4.1	Soluções existentes na empresa e análise crítica.....	49
3.4.2	Estrutura da máquina	53
3.4.2.1	Primeira solução	53
3.4.2.2	Segunda solução	54
3.4.3	Sistema de alimentação de fio de soldadura	56
3.4.3.1	Primeira solução	58
3.4.3.2	Segunda solução	61
3.4.3.3	Soluções complementares às soluções anteriores	63
3.4.3.3.1	Conduitas	63

3.4.3.3.2	Esteira porta cabos.....	67
3.4.4	Soluções a implementar	68
3.5	Projeto.....	69
3.5.1	Análise MEF da estrutura da máquina	69
3.5.1.1	Sistema simplificado	69
3.5.1.2	Análise MEF por <i>software</i>	70
3.5.1.2.1	Simplificação de componentes	71
3.5.1.2.2	Condições fronteira.....	72
3.5.1.2.3	Esforços.....	73
3.5.1.2.4	Ligações.....	73
3.5.1.2.5	Malha	73
3.5.1.3	Verificação da posição mais crítica por análise MEF	76
3.5.2	Dimensionamento do sistema de movimentação.....	82
3.5.2.1	Motorreductor.....	82
3.5.3	Transmissão de potência.....	85
3.5.4	Guias lineares	89
3.5.4.1	Aplicação das guias lineares	92
3.5.5	Desenhos de conjunto e pormenor.....	92
3.5.6	Estrutura da máquina.....	97
3.5.7	Sistema de alimentação de fio de soldadura	100
3.5.7.1	Dimensionamento do motor pneumático	103
3.6	Componentes, material e processos de fabrico.....	105
3.7	Sistema de comando	107
3.8	Instruções de montagem	111
3.9	Manutenção do equipamento	113
3.9.1	Lubrificação das guias lineares	113
3.9.2	Substituição de óleo dos motorredutores.....	114
3.9.3	Lubrificação dos rolamentos	115
3.10	Análise de custos.....	116

4	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	121
4.1	Conclusões	121
4.2	Propostas de trabalhos futuros.....	122
5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	125
6	ANEXOS.....	131
6.1	Motorreductor Nord 0,55 kW.....	131
6.2	Motorreductor Nord 0,25 kW.....	132
6.3	Correntes de rolos.....	133
6.4	Roda de coroa	134
6.5	Cremalheira	135
6.6	Roda dentada	136
6.7	Guia linear	137
6.8	Desenho de conjunto	138
6.9	Carril	139
6.10	Base do carro.....	140
6.11	Roda	141
6.12	Coluna	142
6.13	Bacalhau	143
6.14	Braço	144
6.15	Sistema de alimentação de fio de soldadura	145
6.16	Acessórios pneumáticos.....	146

INTRODUÇÃO

- 1.1 Contextualização
- 1.2 Objetivos
- 1.3 Organização da dissertação
- 1.4 Empresa de acolhimento

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A soldadura tem um papel fundamental na indústria, pois é das ligações mais utilizadas para unir materiais de forma permanente. Existem três processos de soldadura utilizados, sendo estes de fusão, brasagem e de pressão. Com a evolução da tecnologia, o projeto de uma máquina de soldadura com alimentação de fio automático é uma solução bastante procurada a nível mundial, especialmente na indústria das energias renováveis. Na soldadura das torres eólicas é recorrente a utilização do processo de soldadura a arco submerso ou *submerged arc welding* (SAW), pois este traz várias vantagens. Este processo apresenta elevado rendimento, pois é depositada uma grande quantidade de material de adição. Por outro lado, aliado a uma máquina de soldadura automática é possível aumentar ainda mais a capacidade produtiva deste processo. Como as virolas das torres eólicas são fabricadas de chapa de grande espessura, este processo é o ideal, porque permite elevadas taxas de deposição de material, profundidade do cordão e rapidez na execução das soldaduras.

O Método de Elementos Finitos (MEF) é dirigido à simulação e dimensionamento dos projetos antes de estes serem concretizados realmente. Recorrendo a um *software* e com a aplicação do MEF é possível prever o comportamento mecânico das estruturas e assim proceder à otimização das mesmas no sentido de apresentar soluções eficientes para fins específicos. No entanto, para a obtenção de resultados precisos, deve-se definir uma malha bastante refinada, para que os resultados desta simulação sejam o mais próximo da realidade. Assim é possível dimensionar qualquer projeto de forma mais rápida e com erros menores.

1.2 Objetivos

Esta dissertação tem como objetivo projetar e dimensionar uma máquina de soldadura com alimentação de fio automático, com especial detalhe para a proposta de uma solução para o sistema de alimentação de fio. Para satisfazer o objetivo principal da dissertação é necessário inicialmente efetuar um estudo dos seguintes aspetos:

- Estudar os materiais e suas propriedades os processos de ligação, os principais sistemas de acionamento e as normas aplicadas;
- Na soldadura, identificar os aspetos mais importantes como a qualidade e o rendimento;

- No método de elementos finitos, explicar o conceito e o princípio de funcionamento comparar os resultados computacionais com os resultados reais.

Através da evolução da tecnologia, o dimensionamento é realizado com base em *software*, num estudo de MEF. Os principais objetivos do caso prático desta dissertação consistem no dimensionamento e o estudo de uma coluna de soldadura de arco submerso e no desenvolvimento de um sistema de arrasto de fio de soldadura. Para concretizar estes objetivos foi necessário investigar soluções possíveis a serem implementadas. Definidas as soluções com melhor desempenho para cada um dos subsistemas, segue-se para o projeto do equipamento, em que é necessário dimensionar a estrutura metálica e os diversos subsistemas. No sistema de alimentação de fio pretende-se projetar um protótipo que seja versátil, económico e que realiza a função sem falhas. Por fim pretende-se realizar uma abordagem à automação da estrutura e descrever os procedimentos de manutenção do equipamento.

1.3 Organização da dissertação

A presente dissertação está dividida em seis capítulos:

- O primeiro capítulo diz respeito à introdução. Inicialmente, é apresentada a contextualização referente ao tema desta dissertação, seguidamente é demonstrado os objetivos, a organização e por fim a empresa de acolhimento;
- O segundo capítulo aborda a revisão bibliográfica, em que se detalham conceitos utilizados para o projeto de máquina industriais, os vários métodos de soldadura e os equipamentos utilizados e, por fim, é descrito o MEF, o seu princípio de funcionamento, e potencialidades/aplicações;
- O terceiro capítulo é referente ao projeto, onde é descrita a empresa de acolhimento, o projeto em estudo e as principais falhas a combater. São apresentados os objetivos do projeto, assim como o projeto levado a cabo e a escolha das melhores soluções, o dimensionamento e o projeto do protótipo;
- No quarto capítulo são apresentadas as conclusões acerca do projeto desenvolvido e a concretização dos objetivos iniciais. De seguida são apresentadas propostas para trabalhos futuros nesta área de projeto;
- No quinto capítulo são apresentadas todas as referências bibliográficas utilizadas ao longo da dissertação;
- No sexto e último capítulo são apresentados os anexos de todos os desenhos técnicos realizados ao longo da dissertação, assim como os excertos relevantes dos catálogos usados.

1.4 Empresa de acolhimento

A Motofil é uma empresa sediada em Ílhavo, na zona Industrial das Ervasas, com 40 anos de existência e dedicada a soluções de robótica, automação, corte térmico e soldadura.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- 2.1 Projeto de máquinas industriais
- 2.2 Soldadura de componentes
- 2.3 Método de elementos finitos

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Projeto de máquinas industriais

Uma estrutura deve ser sempre projetada e construída para uma determinada funcionalidade e com os requisitos necessários, tornando-a econômica e fiável durante o seu período de vida. A maior dificuldade num projeto é criar algo que seja funcional e seguro para o utilizador e, ao mesmo tempo, com um baixo custo de produção e alto rendimento. Para atingir estes objetivos é necessário definir o tipo de estrutura e a sua funcionalidade, os materiais a utilizar, as ligações, os acionamentos, entre outros.

2.1.1 Materiais utilizados

Para o fabrico de equipamentos, os materiais de construção mais utilizados são os alumínio e os aços de construção. De seguida, são enumerados mais em pormenor alguns tipos de materiais e apresentadas as suas características.

- **Liga alumínio:**

As ligas de alumínio são disponibilizadas no mercado nas mais variadas formas, como em chapa ou rolo, barra ou tubo redondo, quadrado ou retangular e ainda em perfis do tipo U, L e T. Este tipo de material é o mais vulgarmente encontrado nos equipamentos industriais. Uma vez que este tipo de material é um metal macio, este é vulgarmente utilizado em peças que precisem de ser maquinadas ou para garantir a forma estrutural na construção de equipamentos. Atualmente, os equipamentos são construídos com base em perfis extrudidos de alumínio idênticos aos representados na Figura 1 [1].



Figura 1 – Perfis extrudidos de alumínio [2]

- **Aços de construção:**

Os aços são ligas que apresentam elevada resistência mecânica, tenacidade e preço reduzido. Estes encontram-se particularmente em equipamentos fabris na forma de chapas ou perfis de tubos quadrados e retangulares, bem como em L ou cantoneiras. Tal como as ligas de alumínio, os aços são obtidos por extrusão ou laminação e podem ter diversas formas. Os aços dividem-se em dois grupos: aços para construção, incluindo os aços de carbono, os ligados e os inoxidáveis; e os aços para ferramentas, que permitem trabalhos a frio, a quente e os aços rápidos. Na Tabela 1 é apresentado um quadro resumo que classifica os aços em dois grupos, como anteriormente referido [3].

Tabela 1 – Propriedades dos aços (adaptado de [3])

	Aços de Construção	Aços de ferramenta
Aços de carbono	Boa resistência à tração. Normalmente utilizados no fabrico de peças de máquinas de pequena secção submetidas a esforços pouco elevados, tais como veios, parafusos, cavilhas, peças de mecânica geral e elementos de construção resistentes ao desgaste.	Aços para trabalho a frio Utilizados em ferramentas que vão trabalhar a temperaturas baixas ou à temperatura ambiente. Caracterizam-se pela sua elevada tenacidade, o que permite utilizar os aços em ferramentas sujeitas a esforços elevados de choque e compressão a frio.
Aços ligados	Utilizados no fabrico de peças de médias e grandes dimensões sujeitas a esforços elevados. Indicados para peças com exigências elevadas de resistência e tenacidade, bem como para peças de secção média submetidas a grandes esforços de flexão alternada e de torção.	Aços para trabalho a quente Utilizados em ferramentas que vão trabalhar os metais a altas temperaturas. Caracterizam-se pela sua insensibilidade aos choques térmicos, boa condutibilidade térmica, boa resistência a quente, grande resistência ao desgaste a quente e elevada resistência ao revenido.

<p>Aços inoxidáveis</p>	<p>São caracterizados pela sua elevada resistência à corrosão. Utilizados como aços para ferramentas no fabrico de moldes para a indústria das matérias sintéticas corrosivas, ferramentas de cirurgia, facas de mesa, ferramentas para trabalhar o vidro, ferramentas cortantes diversas, entre outras.</p>	<p>Aços rápidos</p> <p>Utilizados em ferramentas de trabalho a frio e a quente a grandes velocidades de corte devido à sua elevada dureza tanto a frio como a quente e elevada resistência ao desgaste. Têm também uma grande resistência ao revenido.</p>
--------------------------------	--	---

2.1.2 Métodos de união em estruturas

O processo de ligação dos metais nem sempre foi abordado com muita atenção, uma vez que não existiam regras nem testes para verificar os seus efeitos. Após o aparecimento das normas do Eurocódigo, o estudo das ligações no cálculo de estruturas metálicas começou a assumir um papel importante.

Os principais métodos de ligação de materiais são a soldadura e a mecânica (cavilhas, rebites ou parafusos). O processo de ligação de peças metálicas por meio da soldadura é o mais vulgarmente utilizado, uma vez que apresenta um ótimo rácio benefício-custo. Este método permite a ligação de peças com características diversas e produz nos materiais soldados uma resistência superior à que estes tinham individualmente.

Existem diversos processos de soldadura, sendo a sua escolha dependente das características do material. No Subcapítulo 2.2 é detalhada mais em pormenor a diferença entre os vários processos de soldadura.

As ligações mecânicas são simples de aplicar, contudo estas ligações fragilizam o material na realização dos furos e com o aumento do número de ligações, pode não ficar fiável em termos económicos pelo elevado número de parafusos [4].

2.1.2.1 Ligações por parafusos

O método de ligações por parafuso é bastante utilizado na indústria, uma vez que é simples, não requer mão de obra qualificada e, através do desaperto dos parafusos, é possível fazer a desmontagem do equipamento sem danificar material. Os parafusos utilizados nos equipamentos são os sextavados interior (DIN 933) e exterior (DIN 912) (Figura 2). Os primeiros são os parafusos mais escolhidos pelos operadores que fazem a montagem dos equipamentos, pois as chaves de ferramenta do tipo *Unbrako* são as mais fáceis de utilizar. De facto, estas podem ser usadas na vertical e na horizontal. É possível utilizar estes parafusos em locais de mais difícil acesso pelo facto da chave *Unbrako* ter algum alcance.



Figura 2 – Parafusos sextavados interior e exterior [5]

Dada a variedade de aplicações que os parafusos podem ter, estes são divididos em grupos que indicam, por exemplo, a tensão de cedência máxima aceitável, de acordo com a finalidade e esforços de trabalho a que vão ser sujeitos, bem como em comprimento e diâmetro [4]. Na Tabela 2 é possível visualizar os valores nominais dos parafusos divididos em classes, perante o seu valor máximo de tensão cedência e de rotura à tração [6].

Tabela 2 – Valores nominais da tensão de cedência f_{yb} e da tensão de rotura à tração, f_{ub} , para parafusos (adaptado de [6])

Classe do parafuso	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
$f_{yb}(N/mm^2)$	240	320	300	400	480	640	900
$f_{ub}(N/mm^2)$	400	400	500	500	600	800	1000

2.1.3 Métodos de acionamento

Na indústria existem diversos tipos de acionamentos possíveis de serem aplicados nos equipamentos. Os métodos de acionamento mais vulgares são o hidráulico, elétrico, pneumático e mecânico. A escolha do tipo de acionamento a aplicar no equipamento depende da energia disponibilizada no local, na função a executar, preço, entre outros fatores. De seguida, são apresentados com algum detalhe os vários tipos de acionamentos disponíveis, bem como as suas vantagens e desvantagens.

- **Acionamento pneumático**

O método de acionamento pneumático utiliza o ar comprimido como transmissor de potência, através de atuadores lineares (cilindros pneumáticos com e sem haste) ou através de atuadores rotativos, como é o caso dos cilindros e motores pneumáticos. A pneumática utiliza o ar como fonte de energia que se encontra em quantidades ilimitadas, o ar comprimido é fácil de transportar e armazenar, este torna-se o método de acionamento mais utilizado na indústria. Estes sistemas têm ainda como vantagem a sua fácil implantação e manutenção, bem como a segurança que garantem. Em caso de acidente ou incêndio, uma vez que os equipamentos utilizam pressões moderadas, os acidentes causados serão

ligeiros e controlados. Este fator permite ainda reduzir o número de acidentes em ambiente industrial para o ser humano. Este método possui algumas desvantagens, pois para obter uma boa eficácia de funcionamento, o ar tem de ser húmido e não pode ter impurezas. Sendo o ar um fluido compressível, não possibilita paragens intermédias e velocidades uniformes, bem como velocidades muito baixas. Dependendo das funções pretendidas, este método de acionamento pode não ser favorável, como por exemplo para sistemas que requerem força. O esquema exemplificado na Figura 3 é apresentado o método do acionamento pneumático, desde a geração de ar comprimido, passando pela distribuição da fábrica e a chegada ao atuador final. O controlo e acionamento dos atuadores finais é realizado por válvulas. Estas podem ser direcionais, de pressão, fluxo ou de bloqueio. As válvulas direcionais, como o próprio nome indica, permitem direcionar o ar dependendo do número de vias e do número de posições de funcionamento. As válvulas de bloqueio proíbem a passagem de ar num sentido e permitem a circulação no sentido oposto. As válvulas de pressão permitem fazer a regulação desejada de pressão de ar [7].



Figura 3 – Acionamento pneumático [8]

- **Acionamento hidráulico**

O acionamento hidráulico utiliza a movimentação de fluidos sob pressão para permitir fazer movimentos e transmitir forças. Este tipo é vulgarmente utilizado na indústria automóvel para elevadores, prensas, entre outros equipamentos. O funcionamento dos sistemas hidráulicos é bastante simples e de fácil instalação. No entanto, estes sistemas possuem um investimento inicial elevado. Este tipo de sistemas são auto-lubrificadas e permitem pequenos ajustes de velocidades com precisão. Uma vez que este acionamento possui fluidos inflamáveis no interior das tubagens, existe um enorme perigo de incêndio e de acidentes, derrames ou perdas por atritos externos e internos. O sistema hidráulico resume-se a uma bomba hidráulica que aspira o fluido de um reservatório e direciona-o para as tubagens fazendo chegar até aos atuadores finais. A energia mecânica é assim transformada em energia hidráulica que, por sua vez, é transmitida/transportada e, finalmente, transformada em energia mecânica.

Na Figura 4 é apresentado um elevador hidráulico para automóveis. O funcionamento deste tem o princípio de Pascal que enuncia: “A variação sofrida

por um ponto de um líquido em equilíbrio é transmitida integralmente a todos os pontos do líquido e às paredes do recipiente onde está contido.” Assim sendo, é exercida uma força/pressão menor sobre a coluna estreita mas com grande deslocamento e, na outra extremidade, a força é amplificada devido ao aumento da área de contacto porventura o deslocamento diminui pelo facto do volume de líquido deslocado do cilindro do lado direito da figura para o do lado esquerdo ser o mesmo [7].

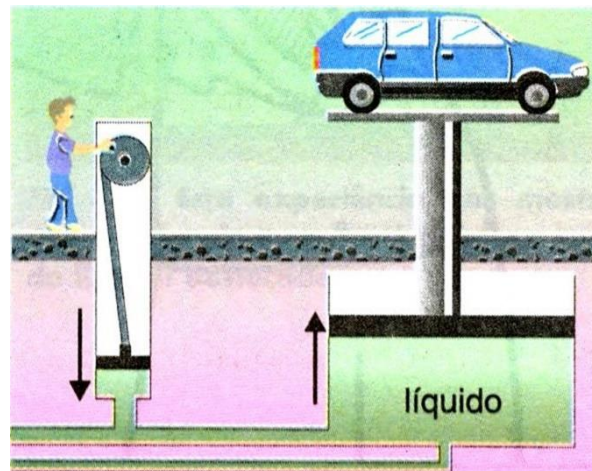


Figura 4 – Elevador hidráulico – acionamento hidráulico [9]

- **Acionamento eletromecânico**

O acionamento eletromecânico utiliza maioritariamente os motores elétricos, que transformam a energia elétrica em energia mecânica. Estes são muito aplicados na indústria por serem baratos, fáceis de configurar e transportar. Os motores elétricos fornecem uma força e velocidade inferior comparativamente ao método de acionamento hidráulico. No entanto, estes sistemas possuem uma maior precisão e repetibilidade. Dentro dos motores elétricos, existem os de corrente contínua (CC) e os de corrente alternada (CA), sendo os últimos divididos em corrente monofásica e corrente trifásica. Numa primeira fase, os motores mais utilizados na indústria eram de corrente contínua. No entanto, estes apresentavam elevados preços, dado que necessitavam sempre um conversor de corrente alternada para corrente contínua. Mais tarde, após o surgimento de variadores de velocidade, o paradigma alterou-se, pois tornou-se mais fácil o controlo de motores de corrente alternada e estes apresentavam um preço inferior. Na Figura 5 é apresentado um motor Movifit de corrente alternada com o variador acoplado, vulgarmente encontrado nas indústrias [10].



Figura 5 – Motor Movifit CA com variador acoplado [11]

Como é possível visualizar na Tabela 3, o método de acionamento pneumático apresenta menor complexidade comparativamente com os restantes, trazendo vantagens no investimento, dado que apresenta um custo inferior e maior facilidade de manutenção.

Tabela 3 – Comparação dos métodos de acionamento (adaptado de [7, 10])

Características	Pneumático	Hidráulico	Elétrico
Complexidade	Simples	Média	Média/Alta
Tamanho/força	Tamanho reduzido para a força gerada	Tamanho muito reduzido para a força gerada	Tamanho médio para a força gerada
Controlo	Válvulas simples	Válvulas simples	Controlo eletrónico
Precisão de posicionamento	Boa	Boa	Muito boa
Velocidade	Rápido	Lento	Rápido
Custo de compra	Baixo	Alto	Alto
Custo de operação	Médio	Alto	Baixo
Custo de manutenção	Baixo	Alto	Baixo
Requisitos	Compressor, eletricidade e tubulação	Bomba, eletricidade e tubulação	Eletricidade
Eficiência	Baixa	Baixa	Alta
Confiabilidade	Excelente	Boa	Boa
Manutenção	Reduzida	Média	Média

Relativamente ao tamanho/força e ao tipo de controlo, os sistemas pneumáticos e hidráulico geram mais força e apenas necessitam de uma simples válvula ou

reguladores, quando comparados ao acionamento elétrico, que necessita de cabos de comunicação. Relativamente à precisão de posicionamento, uma vez que o controlo do acionamento elétrico é realizado eletronicamente, é possível definir variadas posições, dependendo da programação realizada. No que diz respeito à manutenção, esta é muito pequena no sistema pneumático pois os elementos constituintes são baratos quando comparados com a reparação ou substituição de um atuador elétrico.

2.1.4 Normas aplicáveis

De forma a uniformizar o projeto estrutural e dimensionamento de edifícios e de outras obras de engenharia civil, a Comissão das Comunidades Europeias lançou na década de setenta um documento com um conjunto de regras. De forma a tornar estas regras como normas europeias, este documento passou a ser da responsabilidade da Comissão Europeia de Normalização (CEN). Ao longo dos tempos, este sofreu algumas alterações, sendo a última norma publicada no ano de 2007, totalizando as 58 Normas Europeias que constituem os Eurocódigos. Resumidamente, os Eurocódigos são um conjunto de normas europeias da responsabilidade do Comité Europeu de Normalização, que tem o objetivo de reunir num documento os critérios e normas de cálculo e dimensionamento de estruturas [12].

Os Eurocódigos constituem documentos de referência a utilizar para a [6]:

- Comprovação de conformidade de projetos de obras de construção com as exigências essenciais da diretiva dos produtos de construção, em particular com as exigências essenciais (resistência mecânica e estabilidade) e segurança ao fogo;
- Determinação das características dos produtos de construção que se referem àquelas exigências e que façam parte da informação que acompanha a marcação Comissão Europeia (CE);
- Elaboração de cadernos de encargos para a execução de obras de construção e prestação de serviços de engenharia.

Em Portugal, a tradução dos Eurocódigos é coordenada pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), que criou uma técnica de normalização que agrupa dez grupos de trabalho, um por Eurocódigo (CT115).

Na Tabela 4 são apresentadas as normas europeias que estão resumidas em dez grupos e o número de partes em que se subdivide cada norma. Como é possível verificar, dos dez Eurocódigos, quatro deles são mais generalistas: o Eurocódigo 0, 1, 7 e 8. O Eurocódigo 0, relativo às bases para o projeto de estruturas, em conjunto com o Eurocódigo 1, tem correspondência em Portugal com o Regulamento de Segurança e Ações (RSA). Os Eurocódigos de 2 a 6 e 9 são relativos aos projetos de estruturas realizadas com diferentes tipos de materiais. O Eurocódigo 2 é relativo ao Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado (REBAP). O Eurocódigo 3 incide sobre as matérias cobertas pelo Regulamento de Estruturas de Aço para Edifícios (REAE). O

Eurocódigo 8, uma vez que não está individualizado, é abordado por vários regulamentos em vigor (RSA, REBAP e REAE). Os restantes Eurocódigos, não têm atualmente regulamentação portuguesa [13].

Tabela 4 – Eurocódigos (C115) (adaptado de [13])

Norma Europeia	Eurocódigo	Nº de Partes
EN 1990	Eurocódigo relativo às bases para o projeto de estruturas	1
EN 1991	Eurocódigo 1 relativo às ações em estruturas	10
EN 1992	Eurocódigo 2 relativo ao projeto de estruturas de betão	4
EN 1993	Eurocódigo 3 relativo ao projeto de estruturas de aço	20
EN 1994	Eurocódigo 4 relativo ao projeto de estruturas mistas aço-betão	3
EN 1995	Eurocódigo 5 relativo ao projeto de estruturas de madeira	3
EN 1996	Eurocódigo 6 relativo ao projeto de estruturas de alvenaria	4
EN 1997	Eurocódigo 7 relativo ao projeto geotécnico	2
EN 1998	Eurocódigo 8 relativo ao projeto de estruturas para resistência aos sismos	6
EN 1999	Eurocódigo 9 relativo ao projeto de estruturas de alumínio	5

2.2 Soldadura de componentes

A soldadura é um processo de ligação rígida entre dois materiais pois envolve uma união dos mesmos. A soldagem dos materiais possibilita várias vantagens, tais como [14]:

- Ser uma ligação com uma boa relação custo – benefício;
- Possibilidade de ligar dois materiais com várias espessuras;
- É extremamente versátil, podendo ser plicado em vários materiais.

Pelo facto de ter imensas vantagens, a soldadura é utilizada em várias áreas, especialmente na construção civil e indústrias metalomecânica, naval e ferroviária.

2.2.1 Métodos de soldadura

Existem vários métodos de soldadura que estão resumidos na Tabela 5. Para o caso em estudo vai ser analisado mais em pormenor o método de fusão.

Tabela 5 – Tipos de soldadura (adaptado de [14])

Líquido/Líquido – Fusão	Sólido\Líquido – Brasagem	Sólido – Pressão
Eléctrodo Revestido	Brasagem fraca	Explosão
<i>Metal Inert Gas</i> e <i>Metal Active Gas</i> (MIG-MAG)	Brasagem forte	Difusão
Fios fluxados		Fricção
<i>Tungsten Inert Gas</i> (TIG)		Ultrassons
Plasma		Pressão a frio
Arco submerso		Rolamento
Resistência		Indentação
Oxiacetilénica		Pressão com chama
Eletroescória		Forjagem
Eletrogás		Estampagem
Laser		

Eléctrodo revestido

A soldadura por eléctrodo revestido é o mais utilizado, mas não quer dizer que seja o melhor para produtividade. Este processo utiliza um eléctrodo revestido em forma de vareta constituído pelo material de revestimento e o material de adição, este eléctrodo será aquecido levando a fusão dos dois materiais.

Este procedimento é baseado na diferença de potencial entre um eléctrodo e o material base, adquirindo um arco eléctrico, tornando assim possível a fusão do material base com o de adição. Na Figura 6 está representado o método de soldadura por eléctrodo revestido [15].



Figura 6 – Soldadura através de eléctrodo revestido [16]

Mig-Mag

Este método de soldadura, conhecido por *gás metal arc welding* (GMAW) e também por ser semiautomático, é bastante produtivo especialmente se for automatizado por robôs. Este método é bastante usado na indústria automóvel, nomeadamente nas ligações dos chassis.

A soldadura MIG-MAG utiliza o arco elétrico para permitir a fusão do material base com o material de adição. Neste método, o material de adição apresenta-se sob a forma de fio que é extraído pela tocha com uma velocidade constante, permitindo assim, uma elevada produtividade. Neste processo existe um gás de proteção projetado pela tocha para que o oxigénio não envolva a fusão dos dois materiais [14, 17].

A Soldadura MIG-MAG tem como vantagens [17]:

- Elevada velocidade na soldadura;
- Facilidade na operação;
- Ausência de escoria;
- Excelentes características mecânicas;
- Elevada produtividade;
- Baixo custo.

No entanto existem algumas limitações [17]:

- Devido ao cordão não apresentar escória tem uma velocidade maior de arrefecimento o que pode originar fissuras em aços temperados;
- A soldadura tem de criar uma barreira protetora ao ar envolvente;
- Difícil em zonas de difícil acesso, por causa da geometria da tocha.

Na Figura 7 é apresentada a tocha de soldadura do método de soldadura MIG-MAG. Por dentro do tubo da tocha passam os três cabos (corrente, arame e gás), que permitem a fusão do material base com o de adição.

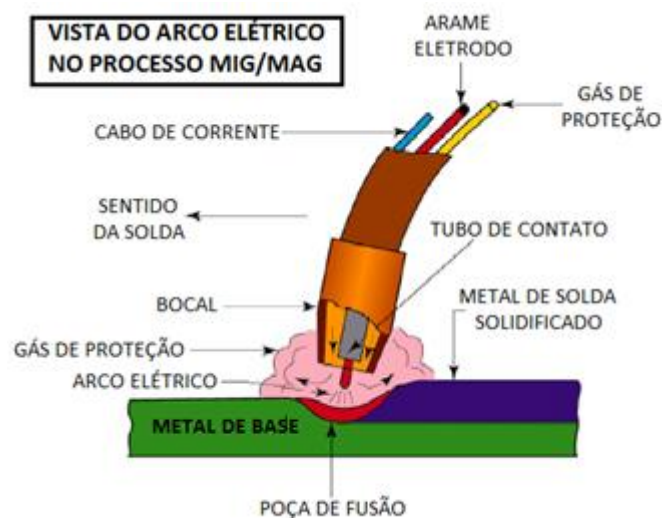


Figura 7 – Método MIG – MAG [18]

Fio fluxado

Este processo de soldadura é a combinação de dois processos, o MIG – MAG e o arco submerso. Este método utiliza o princípio de funcionamento do MIG – MAG, embora com a utilização de arames tubulares e gás dióxido de carbono (CO₂).

No início só era possível fazer soldaduras na horizontal e ao baixo, pois ainda não se comercializavam diâmetros de fio finos. Mais tarde, surgiram diâmetros mais reduzidos e assim foi possível fazer soldaduras na vertical ou ao teto.

Neste processo de soldadura, como o fio é tubular, existe um fluxo no interior do arame que pode conter minerais, ferro-ligas, materiais que fornecem gases de proteção e outros que causam escória. Para uma proteção adicional do tubo, podem ser utilizados arames de dois tipos [14]:

- **Autoprotetidos** – onde a fusão e queima dos elementos constituintes do fluxo asseguram a proteção total do arco elétrico e do banho de fusão perante a contaminação causada pelo ar exterior;
- **Fluxados** – utiliza o mesmo sistema de proteção dos fios autoprotetidos, no entanto, como este pode não ser suficiente, é usada uma proteção gasosa exterior (Figura 8).



Figura 8 – Soldadura por fio fluxado [19]

TIG

A soldadura TIG é baseada no arco elétrico e utiliza um gás inerte e um eletrodo de tungsténio que não é consumível, pois apenas serve para conduzir a corrente elétrica. Este tipo de soldadura é de alta qualidade e o cordão de soldadura tem um aspeto característico.

Diferença do TIG dos métodos anteriores [15]:

- O eletrodo portador de corrente não é o material consumível e sim o material para fazer a condução da corrente elétrica até à formação do arco;
- A soldadura de peças de espessura fina pode ser feita sem material de adição;

- O material de adição é usado de forma manual através de uma vareta inserida no arco e assim fundida;
- Neste processo só é utilizado gás inerte.

Na Figura 9 é apresentado o processo de soldadura do tipo TIG.



Figura 9 – Soldadura do tipo TIG [20]

Plasma

A soldadura por plasma (Figura 10) é um processo idêntico ao arco elétrico que promove o aquecimento e fusão do material base e do material de adição. Neste método existem dois gases, um de proteção, e outro que pode ser inerte ou uma mistura gasosa com gás inerte, que atua ao mesmo tempo do gás de proteção. Este processo é semelhante ao TIG, pois o elétrodo não é consumível. Neste tipo de soldadura, o arco aquece o gás (plasma) fornecido até a uma temperatura capaz de o ionizar e torná-lo condutor elétrico. Este processo pode ser utilizado em quase todos os materiais, mas com a vantagem de uma menor zona termicamente afetada comparando com o processo TIG. Os cordões de soldadura são relativamente finos. A desvantagem deste processo é que é complexo, o custo dos equipamentos é bastante elevado e os operadores necessitam de uma formação específica [15].



Figura 10 – Soldadura do tipo plasma [21]

Arco submerso

A soldadura por arco submerso é um processo de fusão dos materiais promovido pelo aquecimento do arco elétrico. Este processo é especialmente dirigido para soldaduras lineares de peças muito espessas. Este é um procedimento automático em que o material de adição é fornecido em forma de fio, e este serve como portador de energia elétrica, condição necessária para a existência de arco elétrico (Figura 11). O que distingue este processo dos demais é o banho de fusão como o próprio arco elétrico, estes são misturados por um fluxo de granulado fusível apresentando características idênticas ao processo de soldadura com eletrodo revestido.

A soldadura é caracterizada por permitir uma elevada taxa de deposição e formando uma junta de elevada qualidade. Como o arco está protegido, este pode utilizar correntes bastante altas sem que existam explosões nem salpicos de material em fusão, conseguindo assim uma elevada penetração [14].



Figura 11 – Soldadura do tipo arco submerso [22]

Resistência ou soldadura por pontos

Este tipo de soldadura é aplicado apenas na zona onde se pretende a ligação. Este processo acontece devido à passagem da corrente elétrica entre as duas superfícies através da diferença de potencial. Dada a resistência à sua passagem, será gerado calor de forma que se possa soldar. O método de soldadura pode ser por pontos (Figura 12 a), contínua através de roletes (Figura 12 b) e por bossas (Figura 12 c).

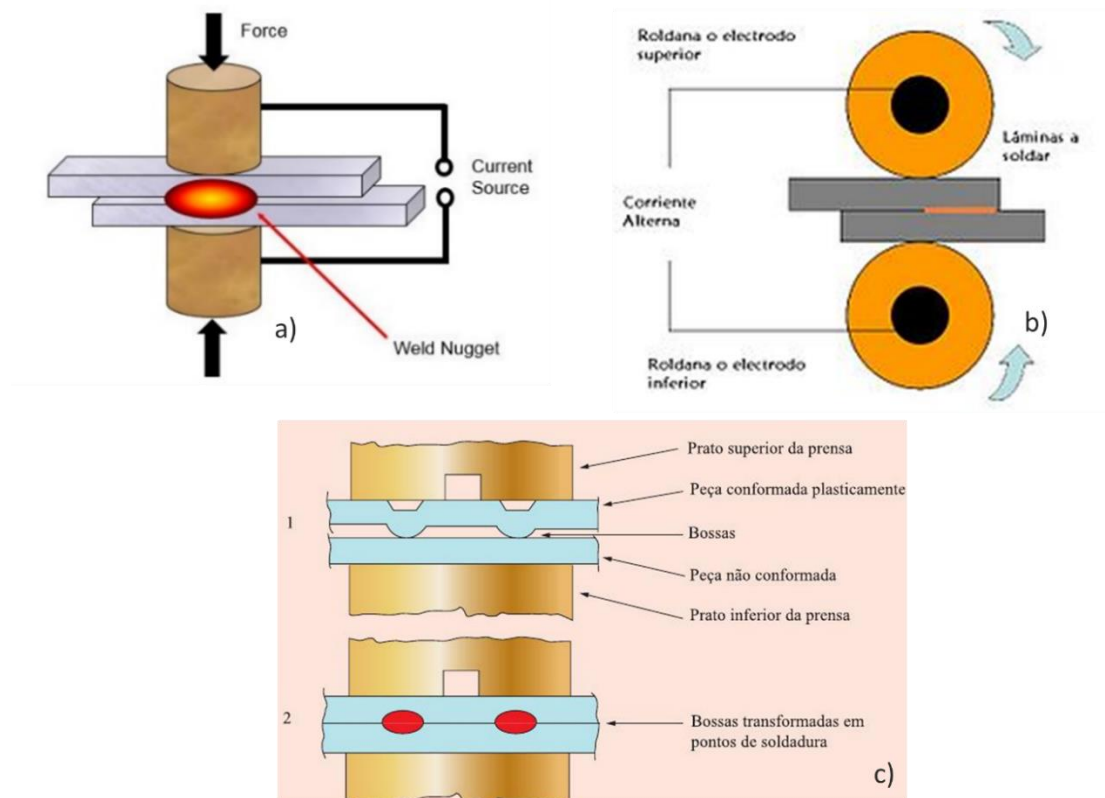


Figura 12 – Soldadura por pontos a) soldadura por pontos b) soldadura contínua através de roletes c) soldadura por bossas [14, 23]

Oxiacetilénica

Este método utiliza uma chama produzida pela combustão de um gás combustível que cria calor para que ocorra a fusão, tanto do material base como do material de adição. Normalmente este material é adquirido sob a forma de vareta. Este processo é bastante eficiente para reparações de chapas finas ou de tubos de diâmetros pequenos. Na Figura 13 é apresentado o processo de soldadura oxiacetilénica numa chapa [14].



Figura 13 – Soldadura oxiacetilénica [24]

Laser

A soldadura laser é idêntica aos processos de arco e a gás no que à ligação dos materiais de base diz respeito, pois também acontece através de um processo de fusão. Dado que é uma soldadura que exige um maior investimento financeiro, a sua utilização acontece em aplicações muito específicas, nomeadamente na área automóvel e não em áreas mais comuns. O processo de soldadura a laser consiste na aplicação de um feixe de luz coerente e concentrado (Figura 14) [14].

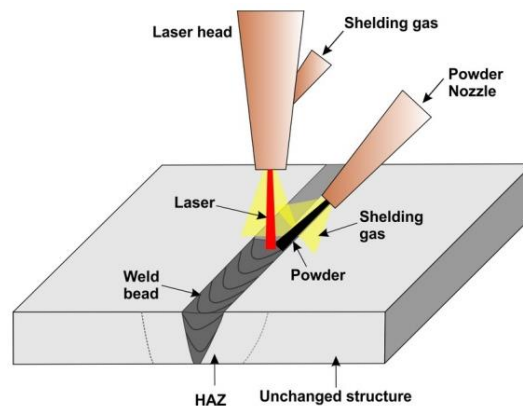


Figura 14 – Soldadura laser [25]

Feixe de elétrões

A soldadura por feixe de elétrões foi inicialmente adotada pela indústria nuclear e mais tarde pela aeronáutica, pois este processo apresenta grande qualidade e produtividade, especificações que a indústria aeronáutica precisava. Neste tipo de soldadura, o equipamento e o material a ser soldado têm de estar dentro de um sistema de vácuo que limita o travamento dos componentes a soldar. Como também é necessária uma elevada manutenção nos sistemas de vácuo, os custos desta soldadura são bastantes elevados. Com o passar dos anos, outras áreas da indústria, como as do ramo automóvel e até de produtos em geral, usufruem deste tipo de soldadura. Este processo permite fazer soldaduras com pouca ou elevada penetração num único passo, sem a criação de zonas termicamente afetadas. Na Figura 15 é apresentado o método de soldadura por feixe de elétrões [14].



Figura 15 – Soldadura por feixe de elétrões [26]

2.2.2 Equipamentos convencionais

Um equipamento de soldadura transforma a corrente alternada de alta tensão numa corrente alternada de baixa tensão. O elemento fundamental deste processo são os transformadores, que têm três componentes principais (representados na Figura 16):

- Bobine primária;
- Bobine secundária;
- Núcleo.

Como se pode observar na Figura 16, através do princípio da conservação de potência, ao diminuir a tensão a intensidade da corrente aumenta em proporção.

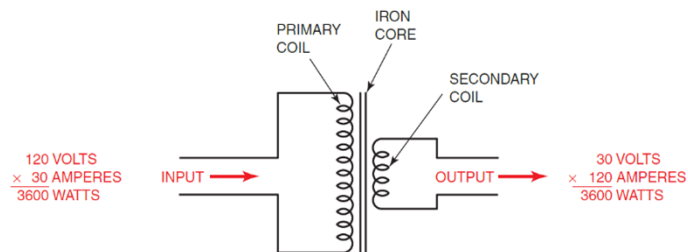


Figura 16 – Princípio de um transformador em soldadura [27]

Existem equipamentos de soldadura padrão que têm um volante ou alavanca (Figura 17) que permite um ajuste manual das bobinas. Ao rodar o volante para um lado, ele aproxima as bobinas, e assim permite uma maior corrente induzida. Caso rode o volante para o outro lado, este afasta as bobinas, fazendo reduzir a corrente. Uma vez que o ajuste é manual, este não é muito preciso. Por este motivo, são necessárias pessoas com experiência nesta área.



Figura 17 – Máquina de soldadura com alavanca [28]

Os *inverter* (Figura 18) são equipamentos de menores dimensões e são mais portáteis do que os anteriores, pois têm um menor peso e o seu tamanho é bastante reduzido. Este equipamento é constituído por placas eletrónicas que fazem com que não seja preciso um transformador maior para exercer a mesma potência. Estas placas convertem corrente alternada (AC) em corrente contínua (DC)[27].



Figura 18 – Inverter [29]

O equipamento *inverter* permite soldar com vários métodos de soldadura, o que antes desta invenção não era possível.

2.2.3 Equipamentos robotizados

Os robôs industriais têm origem nos anos cinquenta, mas só passados vinte anos é que começaram a fazer parte das indústrias. A indústria pioneira e que aposta bastante nestes equipamentos é a indústria automóvel, pois utiliza os robôs para a pintura e para a soldadura. Os robôs têm como principais vantagens [30]:

- Têm uma grande capacidade de executar tarefas diferentes e uma elevada flexibilidade de se adaptar a novas funções, já que apenas é necessário alterar o seu código;
- São indicados para trabalhos repetitivos pois conseguem fazer a mesma tarefa inúmeras vezes com o mesmo grau de precisão;
- Executam trabalhos em ambientes perigosos para a saúde do ser humano, ou que exigem grande esforço físico;
- Aumentam a produção pois, têm uma elevada precisão e uma velocidade grande na execução das tarefas.

Por ventura existem algumas desvantagens nos robôs [30]:

- Elevado custo dos equipamentos;
- Mão de obra especializada;
- Redução de funcionários a executar as operações.

2.2.3.1 Estrutura articulada

Os robôs articulados são os mais aplicados na indústria. O braço está ligado à base através de uma junta possibilitando a sua rotação. Quanto maior for o número de juntas ou eixos, maior o número de graus de liberdade do robô (Figura 19). Os robôs de seis eixos são os mais utilizados na indústria, e oferecem maior flexibilidade comparado aos que possuem menos eixos [31].

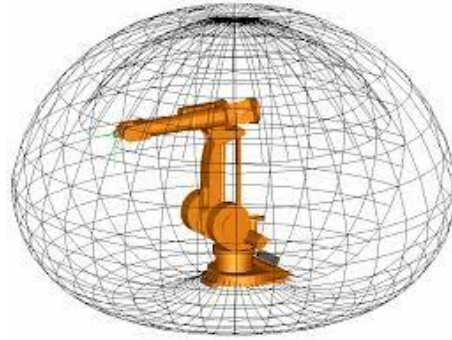


Figura 19 – Robô articulado e respetiva área de trabalho [32]

Algumas vantagens dos robôs articulados [31]:

- Alta velocidade;
- Mais flexíveis a desempenhar funções onde a área de trabalho é reduzida;
- Fáceis de movimentar nos vários eixos (x,y,z).

Algumas desvantagens destes robôs [31]:

- Programação complicada em relação aos outros tipos de robôs;
- Requerem controlador dedicado.

As aplicações na indústria [31]:

- Embalamento;
- Soldadura;
- Paletização;
- Manipulação;
- Montagem de automóveis;
- Pintura;
- Manuseamento de materiais.

2.2.3.2 Estrutura cartesiana

Os robôs cartesianos têm uma configuração retangular. Este tipo de robôs industriais movimenta-se linearmente e desloca-se nos três eixos (x,y e z), como exemplificado na Figura 20. Estes robôs são usados em diversas aplicações industriais [31].



Figura 20 – Robô cartesiano e respetiva área de trabalho [33]

Os robôs cartesianos têm como vantagens [31]:

- Grande precisão no posicionamento;
- Operações simples;
- Facilidade na programação;
- Manuseamento de cargas pesadas;
- Custo menor.

Porem têm com desvantagens [31]:

- Movimento limitado;
- Montagem complexa;
- Requer uma grande área de trabalho.

Principais aplicações industriais dos robôs cartesianos [31]:

- Carregamento e descarregamento;
- Operações de escolha;
- Operações de montagem.

2.2.3.3 Estrutura cilíndrica

Os robôs cilíndricos têm no mínimo uma junta rotativa situada na base e pelo menos uma junta linear. Com a junta rotativa o robô consegue ter um movimento rotativo ao longo do eixo. A junta linear, como o próprio nome indica, serve para adquirir um movimento linear. Como representado na Figura 21, estes robôs utilizam uma área de trabalho cilíndrica e conseguem oferecer um movimento linear vertical e horizontal e uma rotação em torno do eixo vertical. Este tipo de robô é utilizado em aplicações simples na indústria [30].

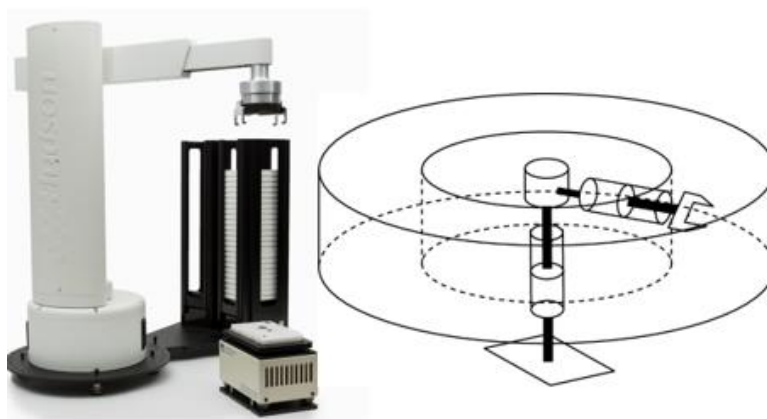


Figura 21 – Robô cilíndrico e respetiva área de trabalho [34]

Os robôs cilíndricos têm como vantagens [30]:

- Operações simples;
- Área de trabalho reduzida;
- Transporte de materiais/componentes pesados.

Mas têm como desvantagens [30]:

- Baixa precisão no movimento rotativo;
- Não é comum na indústria.

As principais aplicações na indústria dos robôs cilíndricos [30]:

- Fundição;
- Soldadura;
- Transporte de painéis;
- Carregamento e descarregamentos.

2.2.3.4 Estrutura polar

Os robôs polares possuem uma junta rotativa entre o braço e a base, o que lhes confere uma combinação de um movimento linear com um movimento rotativo. Estes robôs são conhecidos como robôs esféricos por causa da área de trabalho (Figura 22). Devido a esta configuração é possível que o robô alcance grandes volumes de trabalho [30].

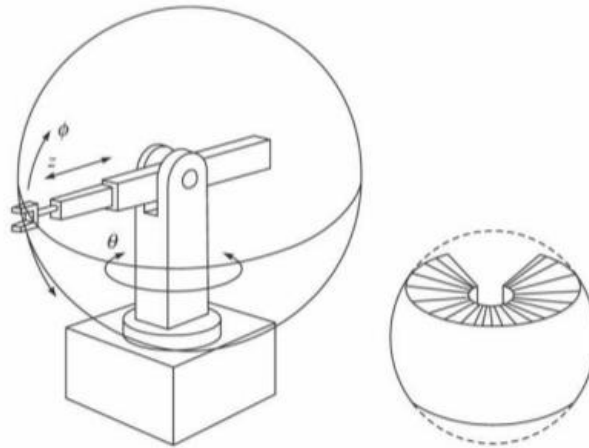


Figura 22 – Robô polar e respetiva área de trabalho [35]

As principais vantagens dos robôs polares [30]:

- Consegue chegar a todos os objetos dentro da área de trabalho;
- Grande volume de trabalho;
- Ocupa um espaço reduzido.

Contudo estes robôs apresenta algumas limitações [30]:

- Curto alcance vertical;
- Baixa precisão no movimento rotativo;
- Pouco usado na indústria.

As principais funções dos robôs polares na indústria [30]:

- Fundição;
- Molde por injeção;

- Empilhamento e desempilhamento;
- Soldadura.

2.2.3.5 Estrutura *selective compliance assembly arm* (SCARA)

Os robôs SCARA são muito usados em aplicações de montagem, pois estes robôs são muito rápidos e precisos. A área de trabalho destes robôs tem uma forma de anel, como se pode observar na Figura 23. Os eixos que permitem a rotação têm o sentido vertical e apenas o eixo que se encontra no final do braço tem um movimento linear.



Figura 23 – Robô SCARA e respetiva área de trabalho [36]

Principais vantagens do robô SCARA [31]:

- Alta velocidade;
- Boa repetibilidade;
- Facilidade na programação.

Porém tem como limitação [31]:

- Limitado a superfícies planas.

Algumas aplicações industriais [31]:

- Embalamento;
- Paletização;
- Montagem de circuitos;
- Aplicação de cola.

2.2.3.6 Estrutura Delta

O robô delta é um robô paralelo (Figura 24) possuem várias ligações paralelas e todas as ligações estão conectadas a uma base comum. Como cada junta tem um controlo individual é possível controlar o posicionamento a velocidades elevadas.

Pelo facto de a distribuição ser feita entre elos paralelos e estes estarem todos ligados à base, o peso do robô e a inercia é reduzida possibilitando a execução das tarefas em grande velocidade [37].



Figura 24 – Robô delta [38]

Os robôs paralelos têm como vantagens [37]:

- Velocidade elevada;
- Boa precisão.

Porem tem como limitação [37]:

- Programação complicada.

Estes robôs são aplicados sobretudo [37]:

- Na indústria farmacêutica;
- Na indústria eletrónica;
- Na indústria a alimentar;
- Em simuladores de voo.

2.2.4 Robô de soldadura

O que torna a robótica interessante é que, por detrás de um robô, existe uma ciência de dispositivos contruídos com precisão e flexíveis do ponto de vista da programação.

Os sistemas industriais para a soldadura nos robôs são das aplicações mais populares, como é exemplo a indústria automóvel, onde existe um enorme número de robôs que fazem a soldadura dos chassis dos carros. As pequenas empresas sentem a necessidade de recorrer aos robôs por necessitarem de um processo de soldadura robusto e automatizado desta forma conseguem corresponder rapidamente às necessidades do cliente.

A elevada procura dos robôs na área da soldadura fez com que os robôs evoluíssem bastante. No entanto, está longe de ficar ideal de maneira geral. O processo de soldadura por robôs é um sistema complexo e difícil de parametrizar e de controlar.

Como é possível visualizar na Figura 25, à medida que a automação e a robótica são mais eficientes, o custo de operação por unidade é mais reduzido [39].

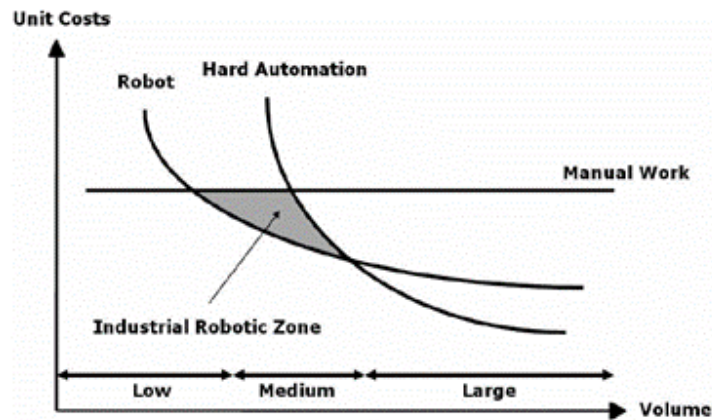


Figura 25 – Zona de utilização de robôs [39]

Usar robôs para a soldadura não é uma tarefa simples, sendo por isso alvo de estudo ao longo dos anos. A grande variedade e complexidade das aplicações com uso de robôs na soldadura não facilita a sua programação. Com a utilização dos robôs é possível soldar mais produtos com maior qualidade, uma vez que não é utilizada a mão de obra humana, reduzindo a probabilidade de ocorrência de erros. Com isto, o preço unitário do produto também é menor. No entanto, na produção de peças complexas, observam-se alguns constrangimentos na utilização de robôs de soldadura, nomeadamente erros de programação e, por vezes, situações imprevistas. Como se observa na Figura 26, em que a robótica industrial ainda tem uma interface muito limitada em relação à robótica na área espacial e da medicina [39].

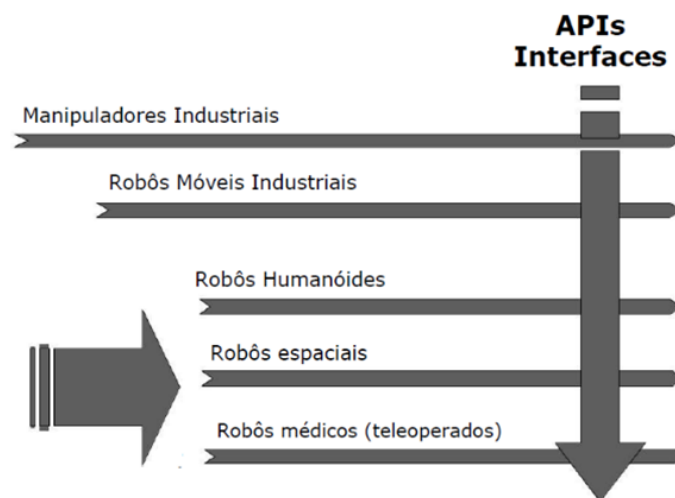


Figura 26 – Evolução das interfaces nos diversos tipos de robôs [39]

2.2.5 Utilização de robôs para a soldadura

Os robôs incluem muitos recursos que os tornam aplicáveis na soldadura:

- Sistema de controlo programável, com ambientes e linguagens de programação poderosas;
- É possível definir posições e orientações, definir sistemas de referências, trajetórias, entre outras ações, e reproduzir estes ciclos com grande precisão e frequência;
- Estão adaptados para comunicarem com autómatos externos, o que permite que os robôs coordenem ações com outros equipamentos e sensores existentes.

Como a maioria das técnicas de soldadura requerem movimentos, os braços robóticos são uma combinação perfeita para os processos de soldadura. As dificuldades encontram-se na área de automatização e na manipulação dos robôs. Para a maioria das aplicações de soldadura, existe vantagem na aplicação dos robôs pelo facto de o processo de soldadura ser perigoso e exigente; o que torna os robôs vantajosos [39].

2.2.6 Estado da arte

Na Tabela 6 apresenta-se a informação relativa ao estado da arte sobre soldadura.

Tabela 6 – Estado da arte de métodos de soldadura

Referência Bibliográfica	Resumo
(Kumar, 2020) [40]	O presente trabalho refere o processo de soldadura por arco submerso utilizada na indústria naval e estrutural. A vantagem do processo SAW é o cordão de soldadura ser de elevada qualidade, pois o arco de soldadura está submerso no fluxo, consegue uma elevada taxa de deposição conseguindo uma boa penetração sem a ocorrência de defeitos. Este artigo estuda o efeito dos diferentes parâmetros de soldadura, como a corrente de soldadura, a tensão, a velocidade de deslocamento na zona de penetração e a taxa de diluição. Pela análise do estudo a taxa de diluição e a área de penetração aumentaram com o aumento da corrente e da tensão da soldadura, mas com o aumento da velocidade esta diminui. Conclui-se que a máxima penetração é obtida na tensão máxima e na velocidade de deslocamento mínima.

(Shareef e Martin, 2020) [41]

Este artigo retrata uma investigação de um problema industrial causado por uma célula robótica na soldadura. O problema em causa é o excesso de salpicos de solda. A causa dos salpicos foi atribuída a parâmetros na soldadura que deveriam estar incorretos, ou superfícies contaminadas e até mesmo o arame de soldadura. Com a alteração dos parâmetros como velocidade de alimentação, tensão e o deslocamento da tocha verificou-se uma modificação nos salpicos, o que serviu de estimulação para um novo estudo. Neste estudo foram aplicados vários testes com impacto significativo na formação de salpicos na soldadura. No final foi registada a existência de vários fatores estudados para combater a existência da formação de salpicos. Os fatores ponderados incluem o peso do fio, o cordão de soldadura depositado, o tamanho dos salpicos e a qualidade do cordão de soldadura.

(Kumar e Begum, 2020) [42]

Este artigo retrata um processo de soldadura híbrida. Este processo combina a soldadura a arco elétrico e soldadura laser, provocando uma soldadura mais robusta. Com a soldadura híbrida é possível fazer um cordão de soldadura com uma grande penetração e em alta velocidade. Este processo é ideal em indústria automóvel, *pipelines*, entre outras onde a produção e a alta qualidade é muito requisitada. O foco deste trabalho é sobretudo o estudo dos parâmetros como a potência do feixe laser, potência do arco, velocidade da soldadura e as dimensões do cordão. Foi feita uma análise térmica num software computacional e foi concluído que existia uma boa concordância a experiência real com a computacional. Através de algumas equações matemática desenvolvidas no estudo conseguiu-se prever as soluções dadas pelas dimensões do cordão com a variação dos parâmetros da soldadura híbrida.

2.3 Método de elementos finitos

2.3.1 História do MEF

A resolução de equações diferenciais utilizando os métodos aproximados, através de funções de interpolação, foi introduzida por Rayleigh em 1870, por Ritz em 1909 e por Galerkin em 1915. Posteriormente, em 1943, que Courant desenvolveu o seu trabalho e deu início à utilização de funções descontínuas em subdomínios triangulares.

No final da década de 40, os engenheiros aeronáuticos precisavam de fazer uma análise mais sofisticada das fuselagens de aviões devido à invenção do motor a jato. Os aviões eram sujeitos a esforços e acelerações cada vez maiores. Essa necessidade fez com que se aplicasse os métodos matriciais de análise de esforços, comumente conhecidos como *Método das Flexibilidades*, em que as forças são incógnitas e os deslocamentos conhecidos. Já o MEF, na sua forma mais comum, corresponde ao Método dos Deslocamentos. Neste método, as incógnitas são os deslocamentos enquanto as forças são conhecidas. Foi apenas em 1960 que o termo *Elemento Finito* foi utilizado e, nas próximas duas décadas, a sua aplicação foi sendo alargada para vários casos de estudo.

Nos primeiros anos do MEF, este era corrido em computadores *mainframe*, cuja tecnologia era a mais recente na altura, mas algo lenta em termos de tempo de execução. Isto deve-se ao facto de o MEF ser uma técnica bastante exigente e complexa em termos de cálculo.

O MEF expandiu-se rapidamente nas décadas seguintes, principalmente devido à melhoria substancial da capacidade dos computadores. Atualmente, é possível fazer uma análise por MEF, dos mais variados casos, em computadores pessoais [43].

2.3.2 Princípio de funcionamento

Primeiramente é necessário identificar o problema para obter a solução. Por isso antes de analisar uma estrutura, deve-se questionar sobre o problema. Quais são os fenómenos físicos mais relevantes que influenciam a estrutura? O problema é de natureza estática ou dinâmica? A cinemática ou as propriedades do material são lineares ou não lineares? Quais os principais esforços solicitados? Qual a precisão pretendida?

As respostas a estas questões são essenciais para a seleção do modelo estrutural e do método computacional adequado. O modelo estrutural deve incluir todos os dados necessários para a representação e análise[44]. Um modelo estrutural deve incluir três aspetos fundamentais[44]:

- A descrição geométrica da estrutura por componentes geométricos (pontos, linhas, superfícies, volumes);
- A expressão matemática das leis da física que atuam no comportamento da estrutura (equações de equilíbrio e condições fronteira);
- As propriedades dos materiais e as cargas que atuam na estrutura.

Cada estrutura pode ser analisada de diferentes formas dependendo da precisão que é pretendida. Na análise MEF de uma estrutura, os parâmetros introduzidos dizem respeito às propriedades mecânicas dos materiais, as condições fronteira e as cargas aplicadas, bem como as características escolhidas, como por exemplo, o tipo de elemento, o tamanho da malha, entre outros. O resultado desta análise é o que se chama de análise computacional de uma estrutura, como se mostra na Figura 27 [44].

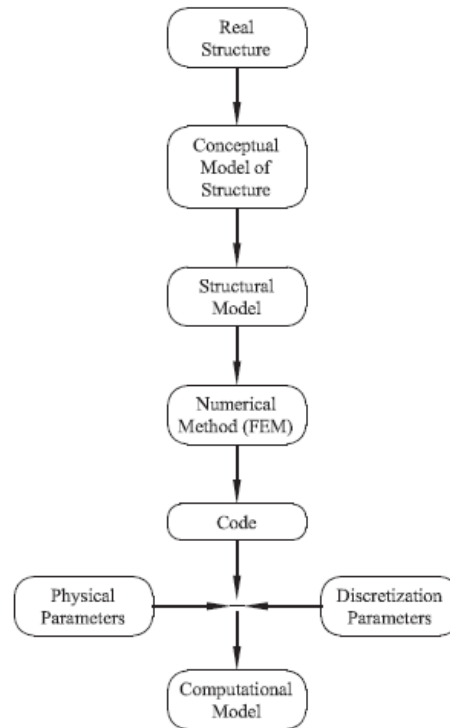


Figura 27 – Caminho da estrutura real até ao modelo computacional [44]

O grande princípio do MEF consiste na divisão do domínio em elementos, cujos valores das variáveis de campo obtidos nos nós são utilizados para aproximação das variáveis nos pontos não nodais, através de funções de interpolação. Então, o seu objetivo inicial baseia-se na resolução do sistema global de equações para determinar as variáveis de campo nos nós dos elementos. De seguida, são utilizadas as funções de interpolação com a finalidade de estimar as variáveis de campo nos restantes pontos do domínio. Esta informação é posteriormente utilizada para fazer o dimensionamento dos componentes, otimização da geometria em causa ou estudo de alternativas viáveis. Quanto à solução do MEF, quanto maior for o refinamento da malha, maior é a aproximação da solução exata. Contudo, o tempo de resolução computacional aumenta igualmente, ou até de forma exponencial. Na Figura 28 é possível observar um maior refinamento da malha, o que também faz aumentar a precisão do resultado da solução final [43].

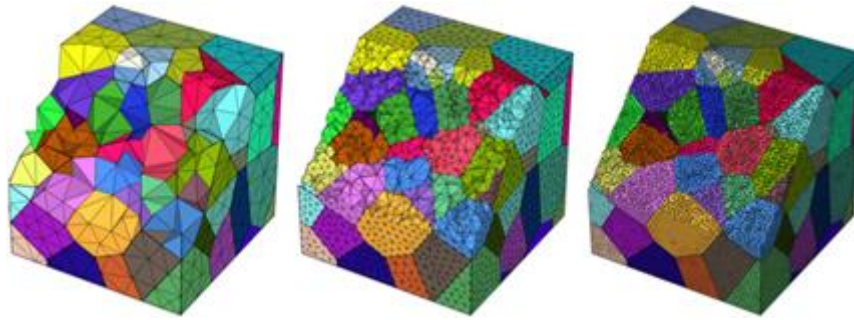


Figura 28 – Contínuo aumento do refinamento da malha [45]

2.3.3 Comparação da aproximação do MEF com a solução exata

A criação da malha de elementos finitos é um dos passos cruciais para uma análise do MEF. É comum a geometria dos elementos ter arestas planas e, caso o domínio apresente fronteiras curvas, é impossível incluir (todo o domínio) na malha de elementos finitos. É possível observar este cenário na Figura 29, em que no caso (a) é utilizada uma malha deveras grosseira, e no caso (b) se apresenta uma malha mais refinada. É importante referir que os elementos triangulares têm uma aproximação maior no domínio real [43].

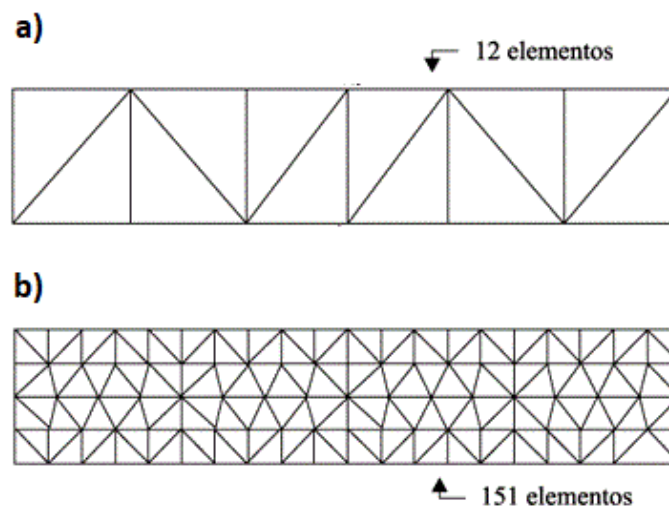


Figura 29 – Refinamento da malha a) malha grosseira b) malha refinada [46]

Quando as funções de interpolação satisfazem um maior número de condições, há uma maior convergência do resultado para a solução exata do problema. Quanto à solução obtida, esta deve ser sempre verificada de acordo com [43]:

- Convergência numérica;
- Resultado obtido razoável;
- Consistência com as leis físicas;
- Descontinuidade considerável das variáveis derivadas nas fronteiras entre elementos.

2.3.4 Aplicações do MEF

O campo de aplicações do MEF é bastante abrangente, e existem sempre novas formulações de elementos construídas para a resolução de problemas a emergir. De seguida, destacam-se algumas aplicações mais comuns [43]:

- Análise sísmica de barragens, cidades e arranha-céus;
- Análise ambiental, como distribuição de poluição;
- Análise de acidentes de viação, ferroviários, entre outros;
- Análise de tensões e térmicas de reservatórios, observável na Figura 30;
- Análise de operações cirúrgicas como cirurgia plástica ou reconstrução facial.

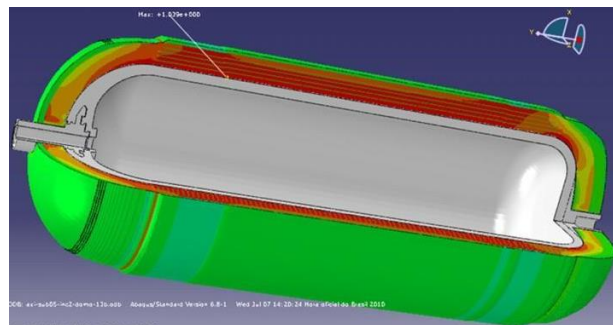


Figura 30 – Exemplo de análise pelo MEF [47]

Uma das grandes vantagens do MEF é o facto de permitir uma redução enorme no tempo do projeto, além de uma elevada capacidade de previsão e, por conseguinte, uma qualidade superior dos produtos. Por exemplo, as análises lineares na indústria automóvel podem servir para [43]:

- Análise de vibrações;
- Otimização da rigidez do chassis;
- Otimização da aerodinâmica;
- Análise acústica para redução do ruído;
- Previsão de temperaturas e tensões do motor.

A utilização de análises lineares é comum em *crash tests*, como se pode observar na Figura 31, ou também em projetos de estruturas deformáveis, através da modelação dos veículos e ocupantes. Quando o objeto de estudo é um avião, é crucial que o estado de tensões nos componentes não leve à rotura catastrófica ou por fadiga. Previamente à utilização do MEF, a análise mencionada consistia num processo evolutivo, uma vez que a realização de testes para todas as solicitações não era exequível.

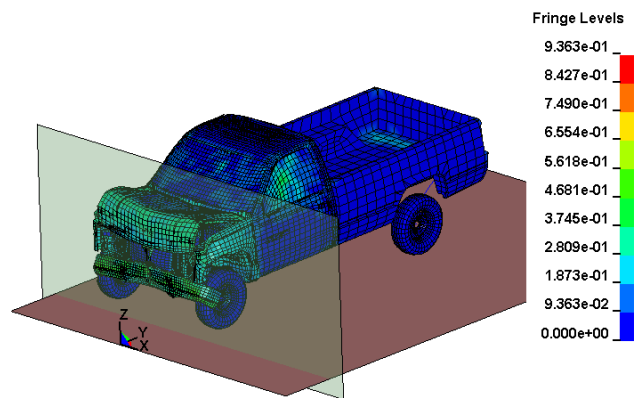


Figura 31 – Análise do MEF em *crash test* na indústria automóvel [48]

Como mencionado anteriormente, uma área bastante importante para aplicação do MEF é na medicina. É possível usar métodos óticos para modelação do corpo humano, cujo modelo, altamente individualizado, é posteriormente utilizado para prever a resposta do paciente em questão. Na Figura 32, é possível observar um modelo de previsão de rotura de um aneurisma abdominal. De seguida, são dados alguns exemplos de aplicações [43]:

- Otimização da geometria de próteses;
- Modelação de órgãos humanos;
- Intervenções cirúrgicas.

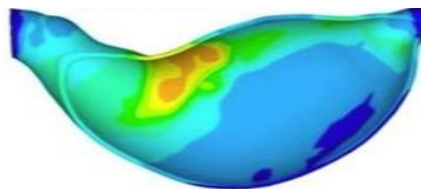


Figura 32 – Análise de previsão de rotura de aneurisma abdominal [49]

2.3.5 *Software* disponível e respetivas potencialidades

Existem vários tipos de *software* de modelação/cálculo que utilizam o MEF. Estas ferramentas têm uma grande eficiência nos projetos, conseguindo realizar cálculo muito rápido dessa forma a análise do projeto é bastante rápida. Desta forma existe uma redução de custos/tempo do fabrico do projeto como a deteção de possíveis erros [50].

2.3.5.1 Seleção do tipo de estudo

Recorrendo a um *software* de modelação com análise MEF é possível fazer uma simulação/estudo. Posteriormente, encontra-se uma aba com todos os tipos de estudos que se pode fazer.

Exemplos de análises típicas a realizar por software de MEF são as seguintes:

- Análise estática – é uma análise do comportamento dos elementos da estrutura sob ação de forças, pressões constantes. Este estudo permite obter deformações, tensões, deslocamentos e fatores de segurança de toda a estrutura em análise, tendo em conta o material utilizado;
- Estudo de encurvadura – é uma análise para componentes finos e serve para averiguar o seu comportamento quando estão sujeitos aos esforços de compressão, e a sua resistência à flexão segundo um eixo;
- Análise modal – é uma análise que permite obter o modo de vibração e a vibração natural de apenas um componente ou numa estrutura completa;
- Análise térmica – tem como objetivo o estudo da transferência de calor por um componente, ou entre todos os componentes da estrutura;
- Teste de queda – esta análise, como o nome indica, é um estudo de tensão de peças quando são solicitadas a um mecanismo de embate comum com um obstáculo que pode ser rígido;
- Estudo de otimização – o próprio software dá uma sugestão de otimizar o design dos componentes em estudo. Caso se prossiga com esta otimização, o software dá uma análise do antes e do depois das alterações;
- Análise de fadiga – determina a fadiga do material de determinado componente colocado pelo utilizador. Este estudo permite ter uma expectativa da vida útil, sabendo os esforços de um determinado material na realidade;
- Análise não linear – é uma análise de resistência sob cargas próximas da rotura ou em grandes deformações não lineares.
- Estudo dinâmico – os componentes são colocados a cargas variáveis ao longo do tempo. Assim é possível simular a estrutura em estudo, o mais realista possível.

2.3.5.2 Material aplicado

É adicionado o material a todos os elementos da estrutura estudada para que o estudo fique o mais próximo da realidade, pois cada material tem as suas propriedades, como se verifica na Figura 33.

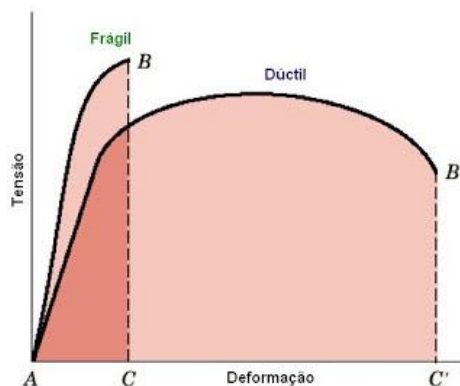


Figura 33 – Propriedades de um material [51]

2.3.5.3 Condições fronteira

As condições fronteira são constrangimentos aos graus de liberdade num determinado nó. Estes podem ser seis: três translações e três rotações. Ao colocar condições fronteira, é possível restringir um ou mais graus de liberdade ou até mesmo aplicar um encastramento, o que anula todos os graus possíveis. As condições fronteira podem ser aplicadas em faces, arestas ou vértices de um dado componente.

As principais condições fronteira são explicadas mais detalhadamente [43]:

- Fixo – este elemento restringe todos os movimentos de translação no ponto, face ou aresta aplicada;
- Deslizante – aplicado em faces planas ou cilíndricas em que apenas restringe a direção pelo utilizador definido, contendo as outras duas com movimento;
- Dobradiça fixa – restrição colocada numa aresta circular de uma determinada peça em que esta permite que a peça se mova em volta dessa aresta;
- Suporte elástico – é uma base elástica entre as faces selecionadas da estrutura.

2.3.5.4 Esforços aplicados

Os esforços externos mais comuns numa análise estrutural são de seguida descritos [43]:

- Força/momento – é uma aplicação de uma força ou um momento numa face, aresta ou ponto. A sua direção pode ser definida pelo utilizador consoante a análise;
- Pressão distribuída – é um esforço distribuído uniformemente ou, em alguns casos, pode ser variável em faces dos constituintes da estrutura. A direção desta pressão também é definida pelo utilizador dependendo do estudo;
- Aceleração gravítica – este esforço transmite uma aceleração linear em determinadas direções, aplicado à estrutura em análise. É utilizado para obter os pesos dos componentes numa análise estática ou em simulações dinâmicas;
- Força de esmagamento – estas forças ocorrem em superfícies cilíndricas que estão em contacto. Como este contacto tem o mesmo raio, é criado uma pressão não variável na interface;
- Carga/massa remota – esta opção serve unicamente para simplificar o modelo, pois em componentes muito complexos onde se conhece o peso e pontos de apoio, estes podem ser substituídos pela carga ou massa remota, facilitando a análise MEF;
- Massa distribuída – é uma aplicação de uma massa específica na estrutura ou nas faces aplicadas, simulando o efeito do componente.

2.3.5.5 Tipos de ligação

A ligação entre os vários componentes de um projeto mecânico é muito importante. Existe a necessidade de fazer ligações em componentes que estejam em contacto no início do estudo ou que vão estar em contacto. Existe um leque grande de tipos de ligações a que se pode recorrer [43]:

- Ligação soldada – permite “soldar” todas as faces em contacto fazendo com que a malha seja contínua, mesmo em materiais com propriedades diferentes;
- Sem penetração – esta ligação é feita em componentes que tenham algum contacto entre eles, fazendo um movimento entre superfícies, ou o seu contacto seja de tal forma pequeno, que exista uma pressão muito elevada;
- Mola – esta ligação é utilizada quando se pretende simular molas reais, e assim não existe necessidade de modelar a mola com as suas propriedades;
- Pino – esta ligação permite que seja colocado um pino fictício no local onde deveria estar o pino real;
- Barra rígida – permite ligar duas rótulas rigidamente entre dois pontos.

2.3.5.6 Malha de elementos finitos

Na criação da malha, o utilizador tem duas opções relativamente à densidade da malha:

- Colocar uma malha grosseira onde o tamanho do elemento aumenta;
- Colocar uma malha mais fina. o que diminui o tamanho dos elementos.

Sabe-se que, quanto maior for o número de elementos finitos, maior é a precisão do cálculo. No entanto, isto resulta de um maior tempo para o programa encontrar a solução. Por isso, é recomendado o equilíbrio entre o número de elementos e a precisão necessária [52]. De seguida é possível mudar os parâmetros da malha, escolhendo uma malha de dimensão constante ou uma baseada na curvatura. A malha de dimensão constante está de acordo com a triangulação de Delaunay (Figura 34), é uma malha muito utilizada quando os seus pontos estão bem definidos [53].

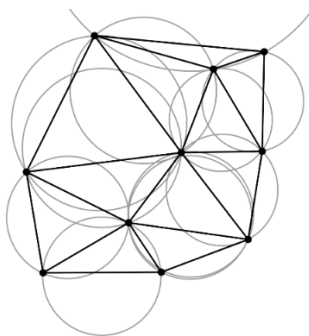


Figura 34 – Triangulação de Delaunay [54]

A malha baseada na curvatura permite o uso de elementos finitos de ordem superior em zonas onde existe uma maior curvatura, conseguindo assim uma malha com uma precisão maior. Seguidamente ainda é possível alterar o tamanho global da malha e a

sua tolerância. Com isto, o utilizador consegue ajustar a malha da melhor forma para que não surjam problemas na criação. Na malha baseada na curvatura é possível definir o tamanho máximo e mínimo dos elementos, assim como o número mínimo de elementos à volta de um círculo e ainda a taxa de crescimento dos elementos [52].

2.3.6 Estado de arte da utilização em projetos mecânicos

Na Tabela 7 é possível constatar que existem alguns artigos científicos na área do MEF ligado ao projeto mecânico de diversas áreas.

Tabela 7 – Estado da arte na utilização do MEF para projeto mecânico

Referência Bibliográfica	Resumo
(Kushwah et al., 2020) [55]	Este artigo retrata alguns problemas na suspensão dos automóveis. Com o objetivo de otimizar o desempenho da mola helicoidal, foram utilizados diferentes parâmetros de mola para torná-la mais eficiente que as molas anteriormente usadas. As molas foram redesenhadas e com a ajuda da análise MEF as molas puderam ser otimizadas. Com a comparação dos resultados teóricos com os do <i>software</i> foi possível chegar a um resultado ideal atendendo o objetivo pretendido.
(Hsieh et al., 2021) [56]	Este estudo tem como objetivo solucionar o desalinhamento na montagem dos componentes de uma escavadora. Foi projetado um mecanismo de guia cônico para melhorar o mecanismo original. Para chegar a uma solução ideal foi analisado por elementos finitos a tensão de von Mises, deformações entre outras análises. Concluindo com a otimização, a eficácia teve um aumento de 34,28% em relação ao mecanismo original.
(Hsieh et al., 2020) [57]	Este artigo tem com base no projeto e numa simulação em elementos finitos de uma prótese da articulação do quadril em duas ligas de titânio. O fator mais importante na seleção do material é a compatibilidade com o corpo do ser humano, pois alguns implantes metálicos criam alguns problemas nos pacientes nomeadamente a toxicidade por causa da corrosão do metal. Neste artigo foi projetado um modelo 3D no <i>software</i> Solidworks de acordo com a norma ISO7206. De seguida foi feito simulações em elementos finitos numa análise estática da prótese da articulação do quadril carregada com cargas de diferentes valores de forma a verificar se cumpre com os requisitos do projeto. Os metais biocompatíveis só são realmente compatíveis com o ser humano caso o seu comportamento estático também o for.

DESENVOLVIMENTO

- 3.1 Introdução ao trabalho prático desenvolvido
- 3.2 Objetivos do trabalho
- 3.3 Requisitos do equipamento
- 3.4 Anteprojeto
- 3.5 Projeto
- 3.6 Componentes, material e processos de fabrico
- 3.7 Sistema de comando
- 3.8 Instruções de montagem
- 3.9 Manutenção do equipamento
- 3.10 Análise de custos

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Introdução ao trabalho prático desenvolvido

O presente trabalho prático foi proposto pela empresa Motofil, no seguimento de uma necessidade de desenvolver um produto novo. Com o dever de colmatar as falhas na alimentação de fio de soldadura nas novas máquinas robotizadas de soldadura a arco submerso, é desenvolvido um estudo de forma a procurar soluções para o problema em questão. Com a necessidade de máquinas cada vez com maiores dimensões, será desenvolvido um novo estudo estático por elementos finitos, tendo o propósito de redimensionar a estrutura.

3.1.1 Caracterização da empresa

A Motofil, cuja instalações estão representadas na Figura 35, é uma empresa sediada em Ílhavo, na zona Industrial das Ervasas, com 40 anos de existência e, neste momento, conta com uma equipa de 250 colaboradores.

Inicialmente a Motofil dedicou-se à fabricação de motores elétricos, fio esmaltado e equipamentos de soldadura. No entanto, uma vez que o mercado se tornou mais competitivo, a empresa investiu em novas áreas, o que permite oferecer atualmente um maior conjunto de soluções de robótica, manipulação, automação, corte térmico e soldadura.

Com o aumento do volume de trabalho em diversos pontos do mundo, e com o objetivo de obter uma maior proximidade e tempo de resposta com o cliente, a Motofil criou várias fábricas noutros países como Espanha, Brasil e México. Com a exportação de equipamentos industriais e a elevada qualidade e fiabilidade dos equipamentos, a Motofil conseguiu tornar-se numa marca de confiança para uma variedade de setores, tais como: energias renováveis, aeronáutica, metalomecânica, automóvel, maquinaria móvel e agrícola, como se pode observar na Figura 36 e Figura 37.

Esta empresa está equipada com todos os equipamentos necessários para desenvolver soluções de projetos mecânicos.



Figura 35 – Instalações da Motofil

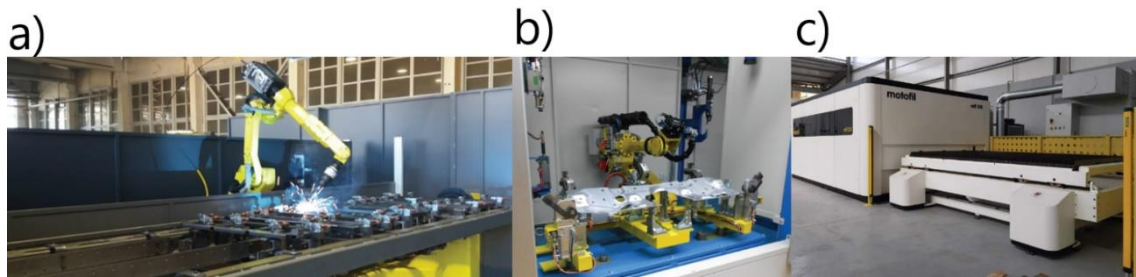


Figura 36 – Produtos: a) soldadura b) manipulação c) corte laser

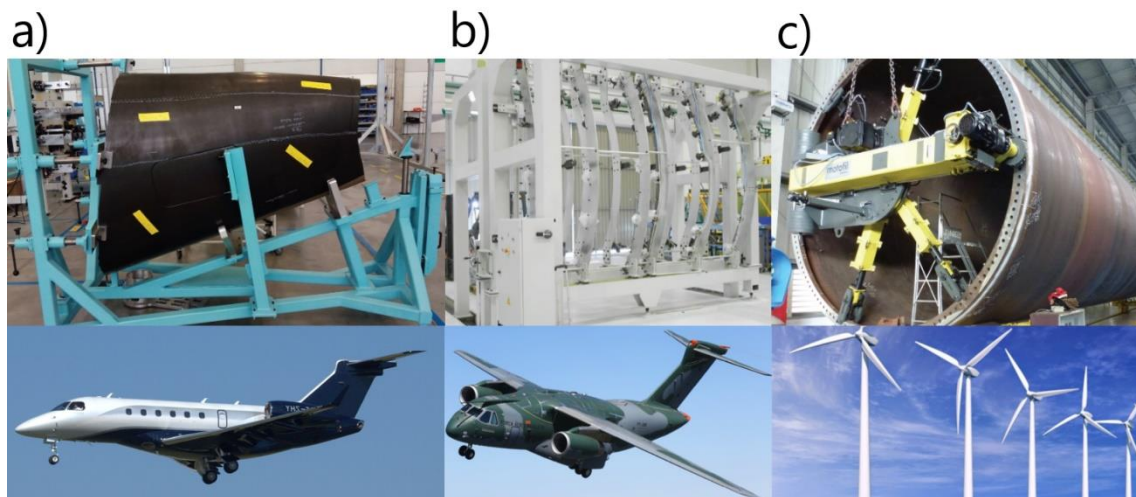


Figura 37 – Projetos: a) avião Legacy 450-500 b) avião KC-390 c) torre eólica

3.1.2 Caracterização do problema

O projeto proposto está relacionado com o aumento das dimensões das máquinas robotizadas de arco submerso, para o aumento do rendimento na soldadura, as bobinas de fio de soldadura foram substituídas por outras de maiores dimensões. Antigamente, as bobinas de fio de soldadura eram alojadas perto da tocha de soldadura, sendo substituídas por *big packs* (rolos gigantes de fio de soldadura), que podem pesar entre centenas de quilogramas até toneladas.

Os *big packs* estão localizados na parte inferior da estrutura o que traz várias vantagens:

- Podem ser colocados na estrutura da máquina por empilhadores. Anteriormente, era necessário que o operador colocasse a bobine no suporte, localizado junto à tocha, o que trazia alguns riscos para a saúde do ser humano;
- São colocados a uma distância considerável da tocha, o que se revela benéfico para a diminuição do risco de incêndio, produzido por salpicos da soldadura;
- Como trazem uma maior quantidade de fio de soldadura, é possível realizar a operação de soldadura por um maior período de tempo.

Nesta mudança houve um problema, dado que a alimentação do fio de soldadura é realizada ao longo de um percurso bastante superior. Para se conseguir enviar o fio desde o *big pack* até à tocha, são necessários novos equipamentos, principalmente motores pneumáticos ou elétricos, e condutas próprias para o transporte de fio.

Como a distância a percorrer pelo fio é muito elevada, a alimentação apresenta falhas como o corte do fio ou fio riscado (Figura 38), pelo facto de os rolos do motor necessitarem de realizar e fazer uma elevada pressão no fio, danificando o mesmo. As condutas utilizadas na alimentação do fio têm um baixo coeficiente de atrito, mas como existem curvas e contracurvas durante todo o percurso, o fio de soldadura acaba por exercer uma elevada fricção nos raios de curvatura, prejudicando o transporte do fio.



Figura 38 – Fio de soldadura danificado

3.2 Objetivos do trabalho

Esta dissertação tem como objetivo desenvolver um sistema para a alimentação de fio de soldadura para colunas robotizadas de soldadura por arco submerso.

Este projeto proposto pela Motofil, tem como objetivo eliminar ou diminuir as falhas que existem na alimentação de fio. Trata-se de um projeto que se pretende que seja possível, mas que ao mesmo tempo poderá trazer complicações, pelo facto de ser realizado com componentes novos, o que poderá acarretar novos problemas.

Caso este trabalho prático resulte numa solução com clara vantagem face à atual, pretende-se implementar a solução em todas as máquinas deste género e ainda, se possível, adaptá-la para colunas robotizadas para a soldadura MIG-MAG, já que o fio

para este processo é de diâmetro inferior ao do arco submerso, o que possibilita que os produtos desenvolvidos pela empresa tenham ainda maior qualidade.

3.3 Requisitos do equipamento

Os principais requisitos para a estrutura robotizada de soldadura são:

- Transportar o fio de soldadura desde os *big packs* até à tocha;
- Geometria de cordão ideal – qualidade na soldadura;
- Diminuir os defeitos no fio de soldadura.

Para condições prévias de desenvolvimento do projeto, torna-se imprescindível o projeto mecânico da estrutura robotizada com todos os componentes utilizados. Esta estrutura será toda automatizada pelo departamento responsável do projeto elétrico, de modo que, quando a máquina for adquirida pelo cliente, a interação do homem com a máquina seja feita de forma simples e intuitiva. Desta forma, o cliente deve conseguir configurar a máquina de maneira rápida e eficiente.

3.4 Anteprojeto

O presente projeto consiste no melhoramento da alimentação de fio de soldadura a grandes distâncias em máquina de soldadura de arco submerso de maiores dimensões, comparadas às existentes. Contudo, o aspeto visual da máquina será semelhante às atuais construídas pela empresa, das quais se apresenta um exemplo na Figura 39.



Figura 39 – Coluna de soldadura de base para o projeto

3.4.1 Soluções existentes na empresa e análise crítica

Neste capítulo é descrita a solução existente na empresa, começando por pormenorizar a máquina, desde a parte inferior até à parte superior e, por fim, acabar na tocha de soldadura. Toda a coluna robotizada tem um deslocamento segundo um eixo, que é exercido por uma estrutura com rodas, deslocando-a por cima de carris. A estrutura é composta por estrados, já orientados para a colocação de *big packs*, quadro elétrico, aspirador, aquecedor de fluxo e máquinas de soldar, como se observa na Figura 40.



Figura 40 – Estrado da coluna de soldadura

Na parte superior da estrutura é apertada a coluna, que contém uma roda de coroa intermédia, de forma a que a máquina desempenhe a função de rotação no eixo vertical. Para travar a coluna, são usados travões de aperto mecânico para que o operador trave a máquina na posição desejada. O fabrico da estrutura da coluna é bastante simples, na medida em que consiste numa chapa espessa quinada em forma de “U”. De seguida, uma chapa bastante espessa é soldada à chapa quinada, formando um tubo de grandes dimensões. O deslocamento do braço da máquina com a coluna, é feito através de guias lineares (Figura 41) para que seja suave, preciso e sem folgas.



Figura 41 – Guia linear para cargas elevadas [58]

Na zona superior da coluna é soldado um prato para a colocação de um motorreductor com uma corrente de transmissão. Esta corrente acopla no bacalhau, fazendo com que o braço se desloque no eixo vertical, tal como é apresentado na Figura 42 . É colocado um peso dentro da coluna ligado à corrente de transmissão, de modo a existir um contrapeso e, assim, diminuir o esforço no motor elétrico durante a elevação do braço.

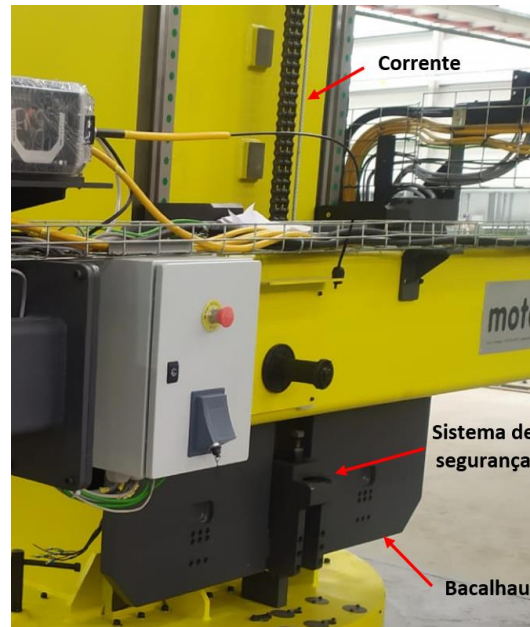


Figura 42 – Componentes principais para o deslocamento vertical

Na ligação da corrente ao bacalhau existe um sistema de segurança (Figura 43) que aciona quando a corrente parte, bloqueando o bacalhau nas saliências existentes na coluna, para que o braço não desça e provoque algum acidente.

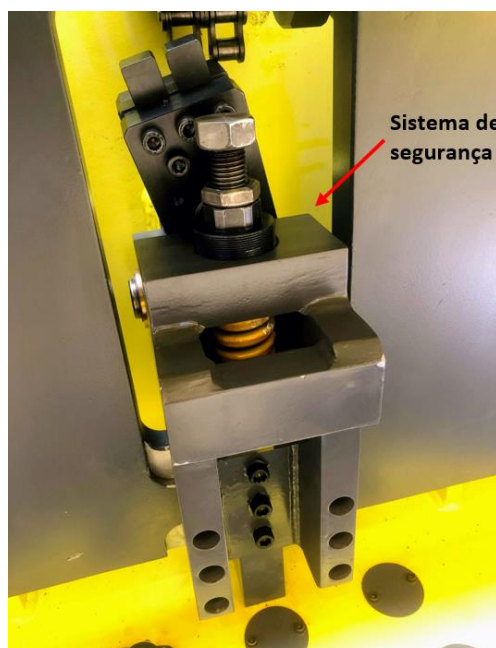


Figura 43 – Sistema de segurança

O braço da estrutura (Figura 44) pode ou não ser telescópico:

- Braço telescópico - é colocado um motor com pinhão para transmitir a potência elétrica, através da rotação para uma cremalheira fixada ao braço, de modo a que este braço se desloque, aumentando ou diminuindo o comprimento útil;
- Braço não telescópico - apenas o braço se desloca, através de um pinhão e uma cremalheira posicionada na posição de contacto entre o braço e a coluna.



Figura 44 – Braço de soldadura

Na extremidade do braço chamada de cabeçote são colocados dois *slides*, um na horizontal e outro na vertical (Figura 45). Desta forma, quando for colocada a tocha de soldadura, esta pode-se deslocar nos dois eixos, para o melhor posicionamento de soldadura possível.

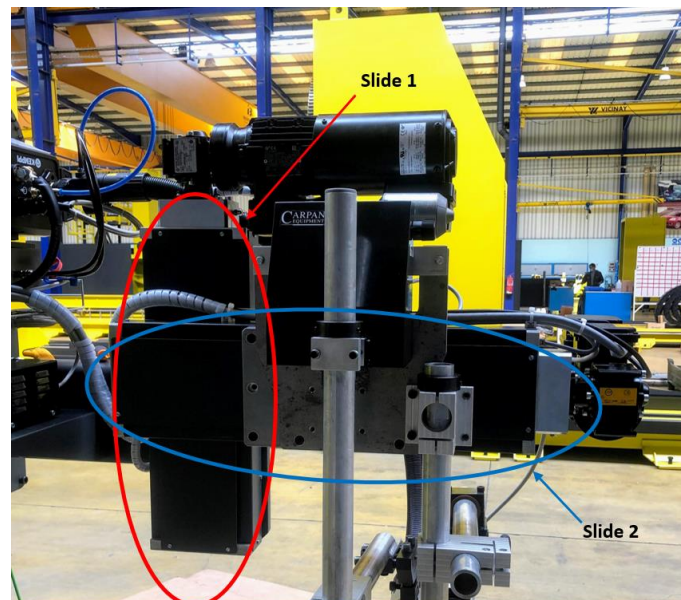


Figura 45 – Slides

Já na tocha de soldadura (Figura 46) é colocado um laser ou uma câmera com a função de transmitir a imagem da junta em tempo real, de modo a possibilitar a observação do

cordão de soldadura por parte do operador, como é possível observar na Figura 47. Também é fundamental a colocação de um sensor denominado de apalpador, que permite medir a altura e a direção da junta por onde deverá existir o cordão de soldadura. Com o auxílio dos *slides* e do sensor apalpador, é possível executar a soldadura, mesmo que na junta existam variações, tanto na horizontal como na vertical (Figura 48).

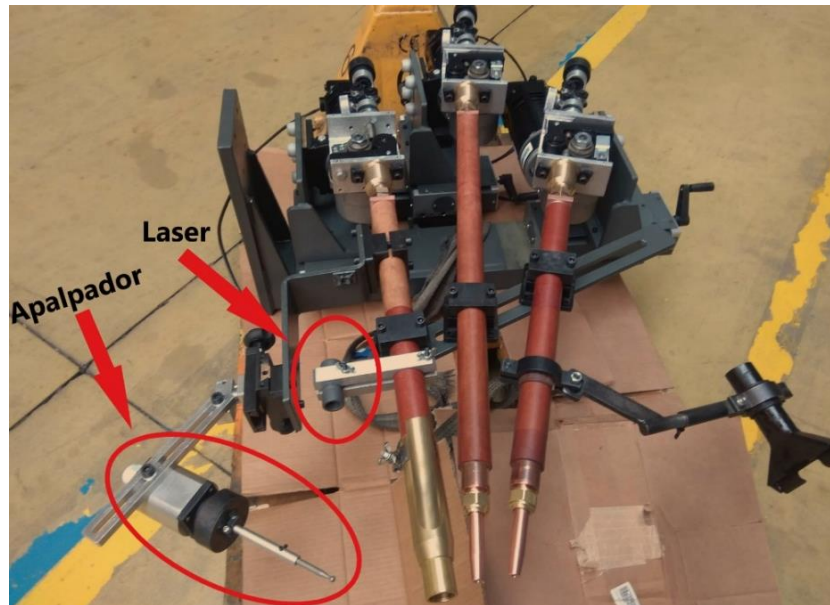


Figura 46 - Tocha de soldadura



Figura 47 – Transmissão de imagem



Figura 48 – Apalpador em funcionamento [59]

3.4.2 Estrutura da máquina

Até este capítulo é caracterizada a máquina de soldadura existente. A partir deste capítulo é retratado o anteprojeto de possíveis soluções a implementar.

3.4.2.1 Primeira solução

A primeira solução idealizada consiste numa máquina com a estrutura apresentada na Figura 49. Esta solução é bastante versátil, pois consiste num robô de três eixos lineares e um eixo rotativo. Neste caso em particular, esta máquina é adequada para soldar torres eólicas devido às suas grandes dimensões. Pelo facto de toda a estrutura poder se movimentar ao longo do carril, esta máquina pode fazer soldaduras longitudinais em todo o comprimento das virolas das torres eólicas.

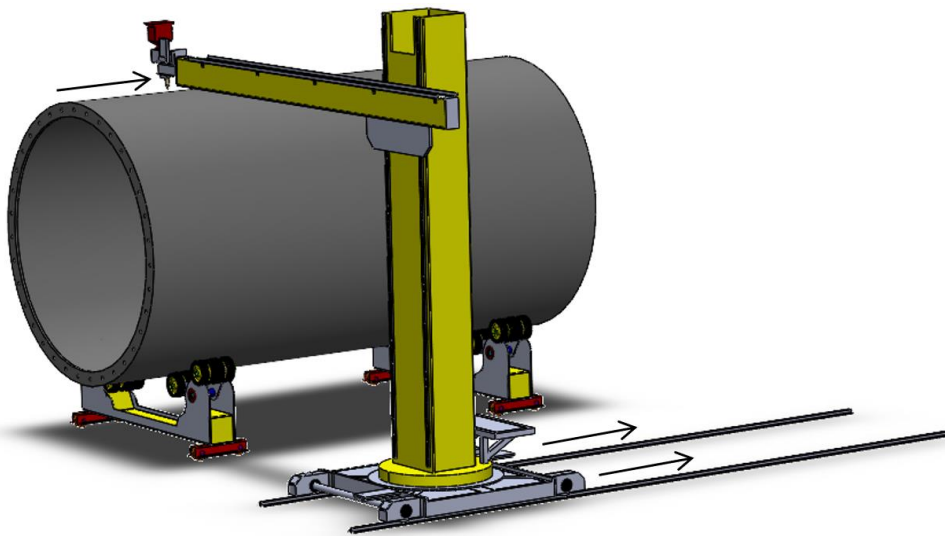


Figura 49 – Soldadura longitudinal

No caso de a virola estar orientada noutra direção também é possível realizar a soldadura, especialmente no caso da junção de duas virolas, uma vez que ambas estão em cima dos viradores de rolos oscilantes. Estes viradores são capazes de girar as virolas com uma velocidade constante. Neste caso, a máquina pode apresentar a posição retratada na Figura 50 e soldar a virola externamente, em todo o seu perímetro.

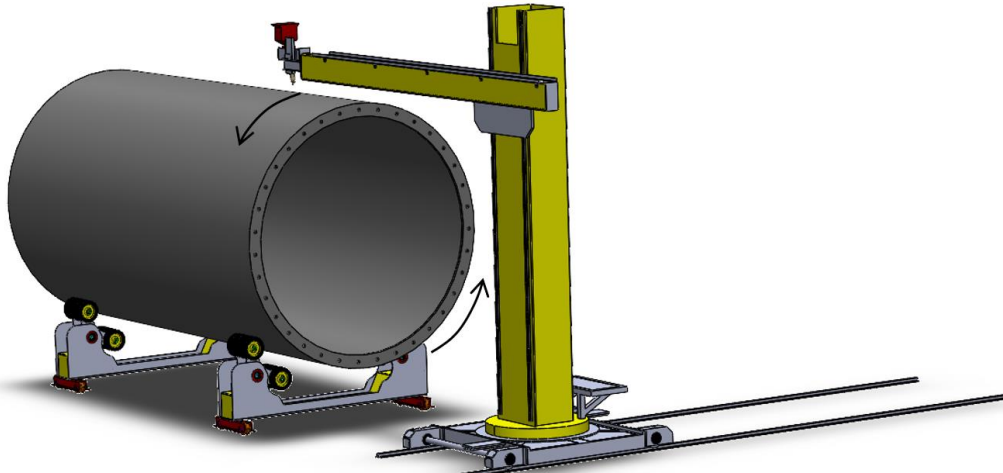


Figura 50 – Soldadura circunferencial

Caso se trate de uma soldadura interna, o braço da máquina desce até à posição necessária e desloca-se para dentro da virola, de modo a realizar a soldadura internamente com bastante precisão. Estas soldaduras poderão ser longitudinais ou circunferenciais, tal como é demonstrado na Figura 51.

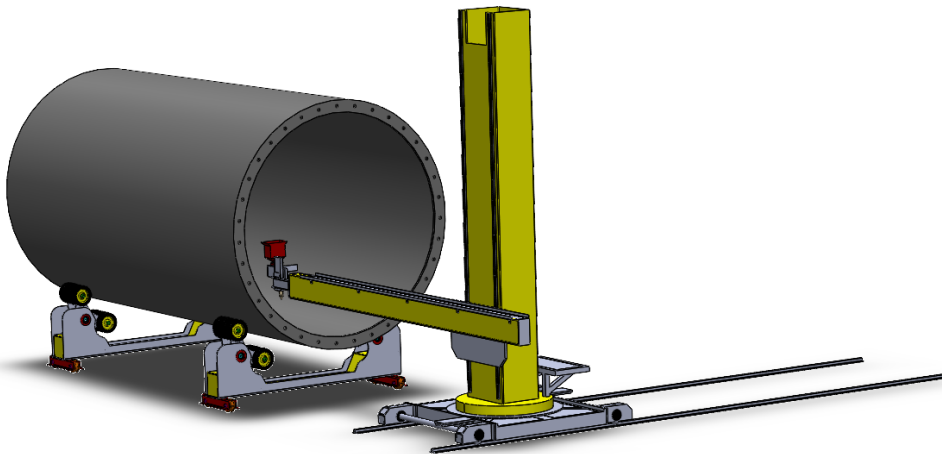


Figura 51 – Soldadura longitudinal ou circunferencial internamente

3.4.2.2 Segunda solução

Nesta solução é apresentada uma estrutura do tipo pórtico, como apresenta a Figura 52. Esta estrutura é deveras versátil, pois o funcionamento é idêntico a uma árvore de uma fresadora CNC, assim, a estrutura pode chegar a todos os pontos, dentro da área de trabalho. Através das grandes dimensões da estrutura, é possível executar soldaduras

longitudinais e circulares nas virolas das torres eólicas. Para a soldadura das virolas, a estrutura desloca-se sobre os carris paralelamente à virola, sendo a soldadura realizada nos restantes dois eixos. Esta é uma estrutura bastante estável dimensionalmente, sendo possível executar a função com bastante rigor. Toda a soldadura executada por esta máquina é apenas uma soldadura externa, não conseguindo executar soldaduras dentro da virola. Esta estrutura pode ter outras aplicações, como por exemplo a soldadura de chapas ou peças com dimensões elevadas.

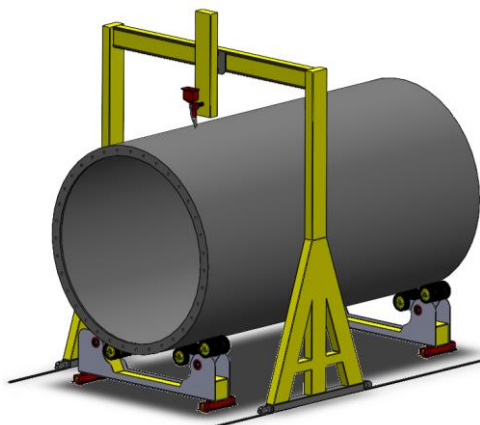


Figura 52 – Pórtico de soldadura

Na Tabela 8 é possível analisar as vantagens e desvantagens de cada uma das estruturas. Deste modo, a solução preferível recai para a primeira solução, visto que a precisão e a vibração são desvantagens face à segunda solução. Com uma estrutura bastante rígida é possível minimizar estas desvantagens, tornando-se assim na melhor opção.

Tabela 8 – Vantagens e desvantagens das duas estruturas idealizadas

Vantagens/Desvantagens	Primeira solução	Segunda solução
1 eixo rotacional	✓	X
3 eixos	✓	✓
Adaptativa à aplicação	✓	X
Alta precisão	X	✓
Área limitada	X	✓
Estabilidade dimensional	X	✓
Rigor	✓	✓
Soldadura no exterior da virola	✓	✓
Soldadura no interior da virola	✓	X
Versatilidade	✓	X
Vibração	✓	X

3.4.3 Sistema de alimentação de fio de soldadura

A alimentação pode ser feita de diferentes formas. No caso de equipamentos com bobines pequenas de fio com peso até 25 kg, estas são normalmente colocadas junto à tocha de soldadura (Figura 53).



Figura 53 – Bobine de soldadura com pequenas dimensões

No caso de estas terem uma maior quantidade de fio, com peso até 100 kg, serão posicionadas na extremidade do braço oposta à da tocha de soldadura, como representado na Figura 54.



Figura 54 – Posicionamento da bobine

Nos dois casos mencionados anteriormente, é apenas necessário um motor elétrico localizado junto à tocha de soldadura, pois a distância das bobines é relativamente curta e o deslocamento do fio de soldadura é linear. Podem ser colocadas várias bobines de fio de soldadura, consoante o número de tochas de soldadura aplicadas. Quanto maior for o número de tochas, e consequentemente de bobines, mais eficiente é a soldadura, pois existe a possibilidade de todas as tochas soldarem ao mesmo tempo.

Quando é necessário um elevado rendimento de soldadura, em que as máquinas possam soldar várias horas, são aplicadas *big packs* (Figura 55). Estes *big packs* são

aplicados na base da estrutura e, como consequência, o fio de soldadura necessita de percorrer uma distância elevada.



Figura 55 – 3 Big packs

O transporte de fio de soldadura é feito normalmente através de dois motores pneumáticos ou elétricos colocados junto aos *big packs*, que têm como função empurrar o fio de soldadura, desde o local dos *big packs* até à tocha de soldadura. Na tocha de soldadura existe um terceiro motor, elétrico, que puxa o fio com a velocidade desejada como se verifica na Figura 56.

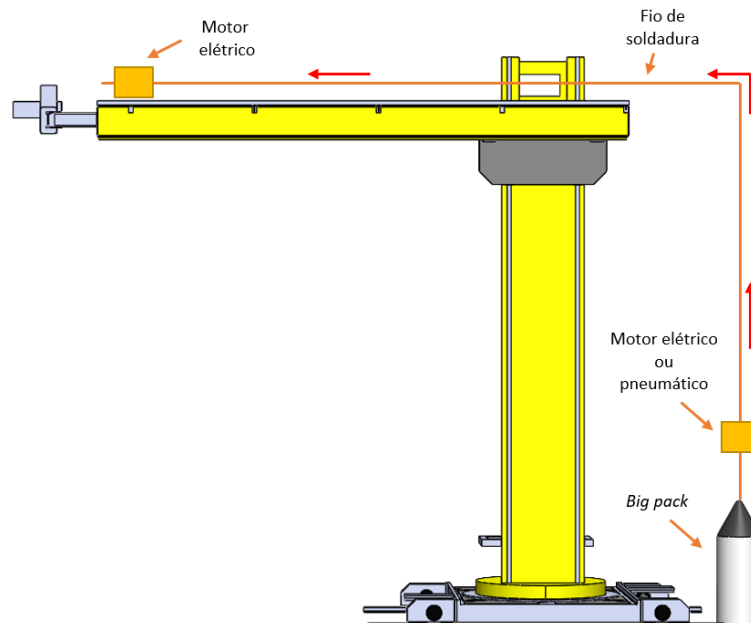


Figura 56 – Esquema de transporte do fio de soldadura

Os motores colocados na parte inferior junto aos *big packs* são denominados por motores escravos, enquanto o motor que se localiza junto à tocha de soldadura tem como designação motor mestre. Este método de alimentação de fio de soldadura, atualmente usado, ainda apresenta algumas falhas, caracterizadas no capítulo 3.1.2.

De modo a otimizar o projeto existente foi realizado um estudo intensivo de métodos mais eficientes para conseguir a alimentação do fio. Primeiramente, discutiram-se ideias relativas à otimização da alimentação do fio de soldadura, sendo que a melhor opção seria fazer uma pesquisa de métodos que, possivelmente, já existem noutros países, pelo facto de serem mais desenvolvidos. Depois de um período de pesquisa em diversas patentes de vários países foram retiradas algumas soluções. Estas soluções foram apresentadas à empresa, e esta emitiu um parecer, com uma opinião sobre as soluções, tentando melhorar os resultados e criar meios alternativos.

3.4.3.1 Primeira solução

Para solucionar as falhas existentes no fio é necessário melhorar o desempenho da alimentação de fio de soldadura. Através da Figura 57 é possível entender o princípio de funcionamento de um sistema de alimentação de fio de soldadura. Para o efeito, não é só necessário que a velocidade do fio seja precisa, mas também que a aceleração, desaceleração e a paragem de alimentação do fio de soldadura também o sejam.

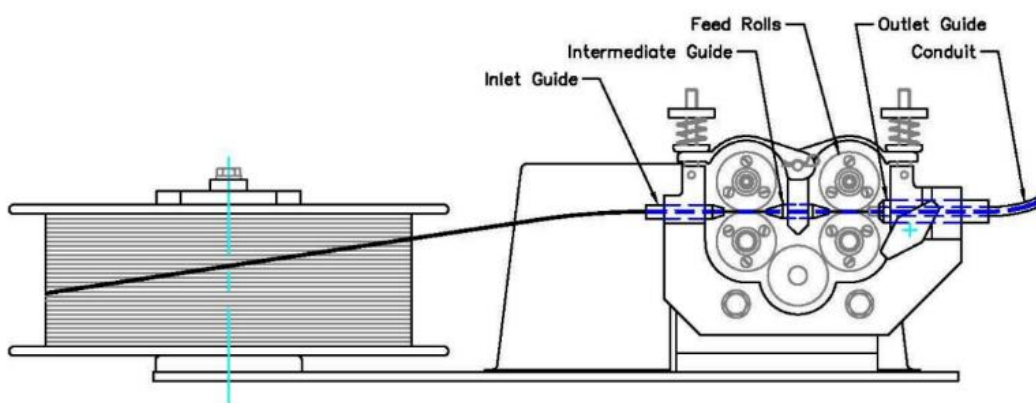


Figura 57 – Funcionamento do sistema de alimentação de fio [60]

Tradicionalmente, nas empresas utilizam-se um motor com um binário constante inserido junto aos *big packs*, sendo este designado como motor escravo (motor que empurra o fio de soldadura). Junto à tocha de soldadura existe um segundo motor que tem a denominação de motor mestre (motor que puxa o fio de soldadura), sendo este configurado com uma velocidade constante. Esta configuração leva com que o fio de soldadura fique danificado, ocorrendo deformações da superfície, arranhões no fio de soldadura e um possível dobragem como mostra na Figura 58 [61].

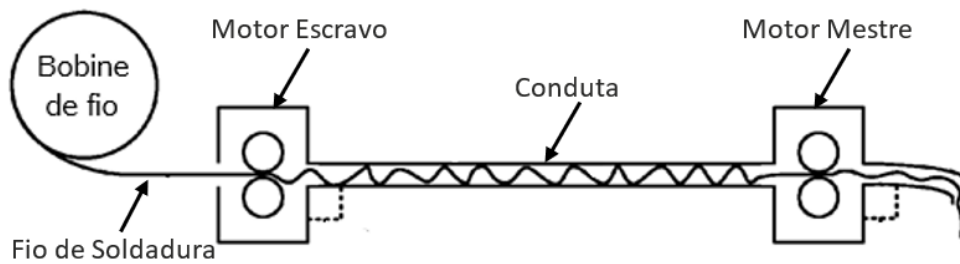


Figura 58 – Falhas na alimentação do fio de soldadura [61]

Para que esta falha não ocorra este processo deve ser configurado de maneira diferente. O motor escravo deverá ser um motor de impulso para que empurre o fio com a velocidade constante desejada ao invés de um binário constante, como era configurado inicialmente. Por outro lado, o motor mestre deverá ter uma velocidade inicial ligeiramente superior à velocidade desejada durante um pequeno período de tempo (trinta milissegundos) e, ao fim deste tempo, o motor mestre deverá reduzir para a velocidade pretendida até que seja concluída a operação de soldadura. Quando a operação de soldadura terminar, o motor mestre ainda deve continuar a puxar o fio por um período de trinta milissegundos, para que este fio fique sempre esticado, como se observa na Figura 59 [61].

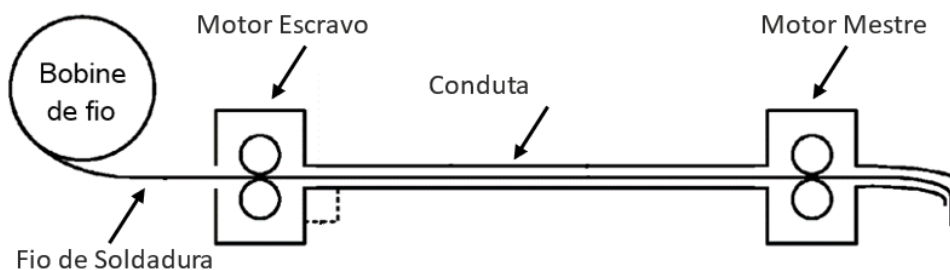


Figura 59 – Alimentação do fio de soldadura ideal [61]

Através da Figura 60 é possível observar a velocidade real dos diferentes motores. Pela linha descontinua (- - -) é representado o motor escravo, enquanto pela outra linha (- · · -) se observa a velocidade do motor mestre.

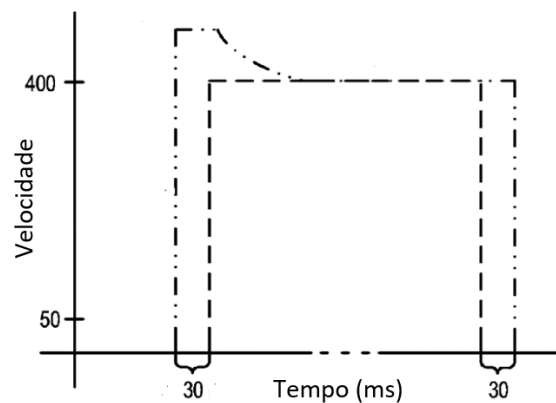


Figura 60 – Gráfico velocidade tempo do motor mestre e do motor escravo [61]

O motor colocado junto à bobine de fio deverá ter uma embraiagem deslizante, para evitar o aquecimento causado por um binário excessivo, ou velocidade superior à necessária quando ocorre alguma falha no deslocamento do fio e este anda a uma velocidade inferior. Caso haja o sobreaquecimento do motor, a embraiagem deslizante atua e os rolos do motor não patinam, evitando arranhões e protegendo o fio de soldadura.

Para que se inicie o processo de alimentação de fio é necessário saber quando a máquina está a soldar. A melhor forma para detetar a presença de soldadura é pela tensão existente no fio de soldadura. Idealmente o motor deverá ter o rolo de transmissão feito em *polyether ether ketone* (PEEK). Este é um material termoplástico que pode substituir os materiais de aço e cerâmicos em algumas aplicações, contendo como principal característica uma alta resistência ao desgaste, enquanto o outro rolo é fabricado em aço ou outro material que permita a condutividade elétrica. Desta forma, o acionamento dos motores é feito através da diferença de potencial elétrico entre o fio de soldadura e a terra. Esta diferença de potencial indica que a máquina está a soldar e, quando para de soldar, deixa de existir a diferença de potencial. No caso de só existir tensão no fio de soldadura e não existir diferença de potencial, o sistema de controlo assume a não existência de soldadura e, como tal remove a alimentação dos motores.

Em alternativa, pode ser utilizado um sensor ótico perto da tocha de soldadura, para que este detete a existência de soldadura [62]. Para monitorizar a velocidade do fio de soldadura que percorre a conduta é aplicado um tacómetro ou um sensor ótico. A melhor opção é o sensor dos ratos dos computadores (Figura 61) pois é mais económica e tem uma maior eficácia. Este sensor é constituído por um LED e sensores óticos. Os sensores óticos dos ratos dos computadores permitem medir a velocidade do fio com uma elevada taxa de amostragem (cerca de 1500 amostras por segundo), o que permite uma elevada variação de velocidade (cerca de 0,5 metros por segundo) o que torna este sensor bem mais eficiente do que os sensores de velocidade que existem atualmente. Além disso, este sensor consegue detetar o movimento em dois eixos (X e Y) o que pode ser programado para que o eixo que coincide com a direção do fio de soldadura efetua a medição da velocidade do fio. O eixo perpendicular ao fio de soldadura tem como função detetar se existe rotação do fio, podendo originar um problema de uma cordão de soldadura inaceitável, no caso da existência de uma rotação elevada [63].

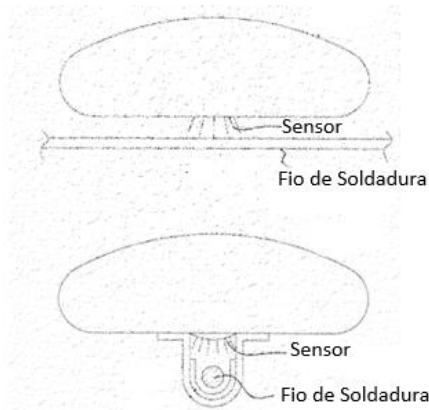


Figura 61 – Sensor óptico dos ratos dos computadores [63]

Com a presença do sensor óptico é possível calibrar a velocidade do fio de soldadura, visto que o fio percorre um longo trajeto com várias curvas, o que causa um arrasto no fio. Este arrasto faz com que a velocidade real do fio seja diferente da velocidade fornecida como se observa na Figura 62. Com a presença do sensor é possível medir a velocidade real do fio de soldadura e compará-la com a velocidade desejada e por fim fazer a calibração, de modo a que o fio de soldadura atinja a velocidade desejada [64].

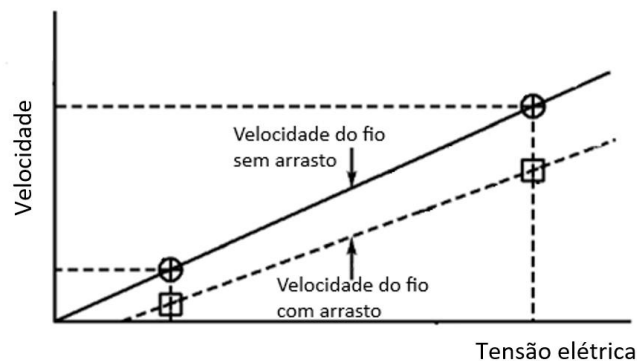


Figura 62 – Comparação do fio sem arrasto e o fio com arrasto [64]

3.4.3.2 Segunda solução

A segunda solução idealizada consiste em utilizar um motor pneumático como escravo. Os dois motores, escravo e mestre, funcionam de forma independente pois o motor pneumático está constantemente com binário aplicado devido à pressão do ar. Na alimentação do fio de soldadura com um motor pneumático não deverá existir *delay* entre o motor mestre e escravo, pois este está constantemente à tração.

No motor serão colocados dois rolos com um rasgo em forma de “V”, caso o material do fio de soldadura seja em alumínio, e em “U” no caso do fio seja em aço, pois o rasgo em “U” tem uma maior superfície de contacto o que gera uma maior pressão no fio de soldadura como se repara na Figura 63. Esta configuração deve-se ao facto de o fio de soldadura em aço ter menor manabilidade comparado com o fio em alumínio. Menor

maneabilidade faz com que o fio tenha uma maior dificuldade em percorrer as curvas que existem ao longo do trajeto.

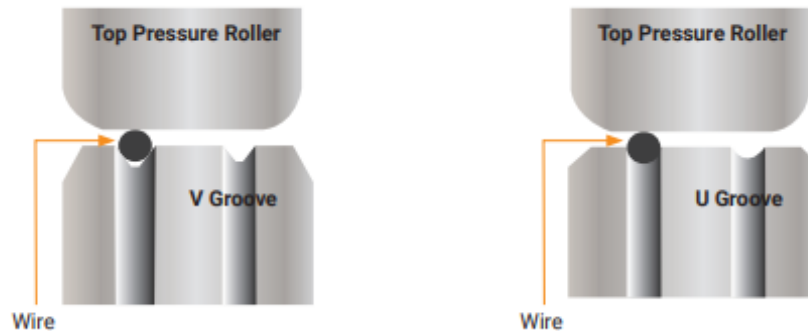


Figura 63 – Configuração dos rolos de fio de soldadura

Seguidamente à junção dos rolos, com estes já apertados no motor pneumático, deve-se realizar um passo importante que por vezes é ignorado. No motor existem duas marcas, como se observa na Figura 64, que têm de ser alinhadas para que o motor pneumático tenha um elevado desempenho, conforme indicado pelo fabricante [65].

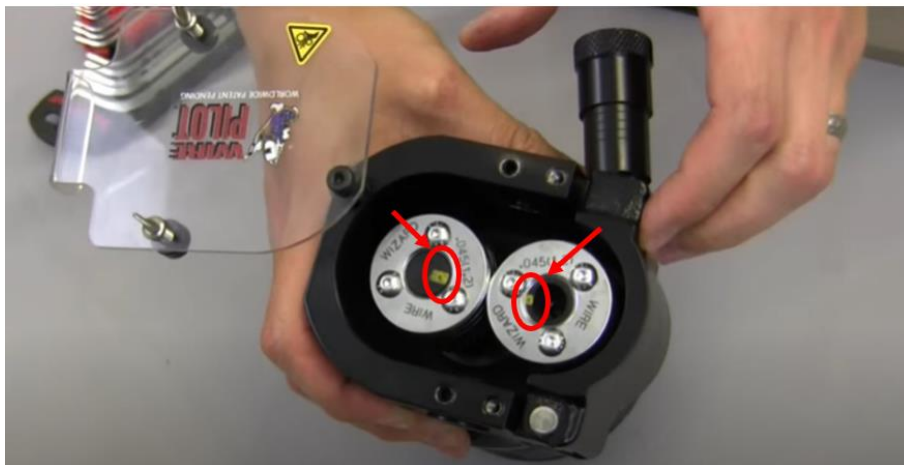


Figura 64 – Alinhamento das marcas inseridas nos rolos [65]

A regulação deste sistema é normalmente feita de forma manual, pelo operador da máquina. Segundo o fabricante destes motores, a pressão do ar deve estar regulada entre 10 e 20 psi e deverá deixar o fio “leve”, isto é, o motor deverá estar a exercer uma força ligeiramente menor que a força necessária para movimentar o fio do local onde existe o motor mestre. Desta forma o motor escravo compensa todo o trajeto até ao motor mestre. Caso a pressão ultrapasse a recomendada pelo fabricante ou exista um maior aperto nos rolos, o motor decresce no desempenho e funciona com uma maior velocidade que poderá ter como consequência aranhões no fio assim como tendência para ocorrerem dobras [65]. Como o percurso do fio de soldadura é bastante comprido, é recomendado que se utilizem dois motores pneumáticos como motores escravos, colocados em serie, para exercerem uma maior força de tração no fio sem o danificar, ou então optar por um motor duplo [66].

3.4.3.3 Soluções complementares às soluções anteriores

3.4.3.3.1 Conduatas

O fio de soldadura percorre todo o trajeto dentro de conduatas. Desta forma o fio é guiado desde a bobine de fio até à tocha de soldadura.

Para um bom desempenho, as conduatas devem ter um corte perpendicular à conduata nas extremidades. Estes cortes devem estar sem rebarbas e escareados para que seja possível aplicar os acessórios. Caso exista uma falha nesta operação, poderá ocorrer o aumento considerável de atrito entre o fio de soldadura e a conduata. A curvatura do fio de soldadura não deverá ter um raio inferior a 18 polegadas, para permitir a passagem do fio de soldadura sem causar demasiada fricção [67].

As conduatas podem ser de materiais diferentes conforme a sua aplicação e o tipo de fio de soldadura escolhido. Para a escolha da conduata mais apropriada à função é necessário analisar alguns requisitos, como o diâmetro de fio, o comprimento da conduata e se fica estática ou está em constante movimento.

Conduata de polímero

Em primeira opção, consideram-se conduatas de material polimérico pois estas são as mais económicas e têm um coeficiente de atrito inferior às concorrentes. No entanto, estas são mais apropriadas para fio de soldadura em alumínio [68]. No caso da utilização do fio de soldadura em aço, a conduata teria um desgaste superior ao fio de alumínio, pelo facto de esta ser polimérica.



Figura 65 – Conduata de polímero [68]

Conduata extra flexível

As conduatas extra flexíveis têm uma vida útil bastante longa, têm um coeficiente de atrito baixo e são resistentes ao desgaste, pelo facto de o seu interior ser revestido com um material metálico. Estas conduatas são ideais para aplicações em robótica. Para além disso como são bastante flexíveis, podem ser utilizadas em operações com bastante movimento. Estas conduatas são formadas por três camadas (Figura 66): a primeira está na parte mais externa, é resistente aos salpicos da soldadura, a segunda camada tem um baixo atrito e, por fim, a última camada é um revestimento em espiral de arame.



Figura 66 – Conduto extra flexível [68]

Conduto extremamente flexível

As condutas extremamente flexíveis são utilizadas em aplicações que requerem um alto grau de movimento e flexibilidade. Estas condutas apresentam apenas duas camadas (Figura 67) para conseguirem ter uma melhor flexibilidade. A camada externa é de proteção contra os salpicos, enquanto a interna é constituída por um arame elíptico em espiral com baixo atrito.



Figura 67 – Conduto extremamente flexível [68]

Conduto extremamente flexível para fio de alumínio

Esta conduta (Figura 68) é idêntica à mencionada anteriormente, mas esta contém mais uma camada adicional no interior, feita de material polimérico muito duradouro e com um baixo atrito. Este modelo de conduta é aconselhável apenas para fio de alumínio. A conduta que está em contacto com o fio de soldadura é polimérica. Se fosse utilizado um fio de soldadura em aço, a conduta teria um desgaste superior ao fio de alumínio.



Figura 68 – Conduto extremamente flexível para alumínio [68]

As duas últimas condutas mencionadas anteriormente podem ser utilizadas em aplicações em que o diâmetro do fio de soldadura é reduzido (até 1,6 mm).

Diferença entre arame elíptico e linear

As condutas flexíveis devem apresentar um revestimento de arame elíptico para que os cantos sejam suaves e arredondados, o que reduz o atrito e previne cortes no fio de soldadura. Já o revestimento linear apresenta os cantos afiados, o que aumenta o atrito e pode causar cortes no arame de soldadura (Figura 69) [68].



Figura 69 – Arame elíptico e arame linear [68]

A Tabela 9 apresenta um resumo dos diversos modelos anteriormente mencionados, divididos pelos diversos requisitos [68].

Tabela 9 – Tabela resumo dos modelos de condutas (adaptado de [68])

		Distância da conduta recomendável					
		1-3 m		3-6 m		Mais de 6 m	
Tipo de fio	Diâmetro	Estático	Dinâmico	Estático	Dinâmico	Estático	Dinâmico
Aço	0,6	EC-3-R	FC-X-SW / EC-3-R	EC-3-R	FC-X-SW / EC-3-R	EC-3-R	FC-X-SW / EC-3-R
Aço	0,8	EC-3-R	FC-X-SW / EC-3-R	EC-3-R	FC-X-SW / EC-3-R	EC-4-R	FC-X / EC-4-R
Aço	0,9	EC-4-R	FC-X / EC-4-R	EC-4-R	FC-X / EC-4-R	EC-4-R	FC-X / EC-4-R
Aço	1	EC-4-R	FC-X / EC-4-R	EC-4-R	FC-X / EC-4-R	EC-4-R	FC-X / EC-4-R
Aço	1,1	EC-4-R	FC-X / EC-4-R	EC-4-R	FC-X / EC-4-R	EC-4-R	FC-X / EC-4-R
Aço	1,3	EC-4-R	FC-X / EC-4-R	EC-4-R	FC-X / EC-4-R	EC-5	FC-XH
Aço	1,6	EC-5	FC-XH	EC-5	FC-XH	EC-5	FC-XH
Aço	2	EC-5	FC-XH	EC-5	FC-XH	EC-5	FC-XH
Aço	2,4	EC-5	FC-XH	EC-5	FC-XH	EC-5	FC-XH
Aço	2,5	EC-5	FC-XH	EC-5	FC-XH	EC-6	FC-XH-LW
Aço	3,2	EC-6	FC-XH-LW	EC-6	FC-XH-LW	EC-6	FC-XH-LW
Aço	4	EC-6	FC-XH-LW	EC-6	FC-XH-LW	EC-6	FC-XH-LW
Alumínio	0,6	EC-3-R	EC-3-R / FCES-A	EC-3-R	EC-3-R ou FCES-A	EC-3-R	EC-3-R / FCES-A
Alumínio	0,8	EC-3-R	EC-3-R / FCES-A	EC-3-R	EC-3-R / FCES-A	EC-3-R	EC-3-R / FCES-A
Alumínio	0,9	EC-3-R	EC-3-R / FCES-A	EC-4-R	EC-4-R / FCES-A	EC-4-R	EC-4-R / FCES-A
Alumínio	1,2	EC-4-R	EC-4-R / FCES-A	EC-4-R	EC-4-R / FCES-A	EC-4-R	EC-4-R / FCES-A
Alumínio	1,6	EC-4-R	EC-4-R / FCES-A	EC-4-R	EC-4-R / FCES-A	EC-4-R	EC-4-R / FCES-A
Alumínio	2,4	EC-4-R	EC-4-R	EC-4-R	EC-4-R	EC-4-R	EC-4-R

As designações na tabela têm o seguinte significado, de acordo com o fabricante *Wire-Wizard* [68]:

- EC-3-R, EC-4-R, EC-5-R e EC-6-R são condutas de polímero;
- FC-X, FC-XH, FC XH-LW e FC-X-SW são para condutas extra flexíveis;
- FC-E para condutas extremamente flexíveis;
- FCES-A para condutas extremamente flexíveis para alumínio.

3.4.3.3.2 Esteira porta cabos

Uma alternativa às condutas é um acessório constituído por vários rolamentos, de modo a eliminar o atrito do arame ao completar os raios de curvatura (Figura 70). Este acessório é apresentado por módulos que serão montados continuamente, até que seja obtido o comprimento desejado [66].

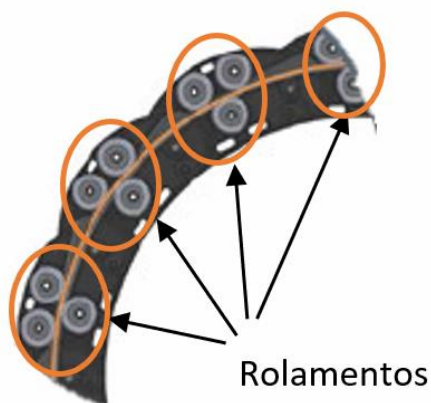


Figura 70 - Vista em corte dos módulos com rolamentos [66]

Desta forma, estes módulos podem ser aplicados numa esteira porta cabos, lateralmente, como se apresenta na Figura 71. Com a utilização deste acessório é possível transportar o fio de soldadura numa esteira com boa eficiência [66].



Figura 71 – Esteira porta cabos [66]

3.4.4 Soluções a implementar

É implementada a solução nº1 apresentada no capítulo 3.4.2 com base na Tabela 8, pois esta consegue executar soldaduras, tanto no interior como no exterior, de uma virola da torre eólica, enquanto a segunda solução pode executar qualquer tipo de soldadura, mas apenas do lado exterior.

A Tabela 10 é referente aos critérios de seleção dos processos de soldadura.

Tabela 10 – Critérios de seleção para os processos de soldadura (1-Ideal, 2-Pouco aconselhável, 3-Não aconselhável)

Processos de soldadura	Mig-Mag	Arco submerso	Eléctrodo revestido
Soldadura de torres eólicas	2	1	3
Peças do ramo automóvel	1	3	2
Peças de pequenas dimensões	1	3	2
Peças convencionais	2	3	1

Uma coluna de soldadura apenas utiliza o processo de soldadura de MIG-MAG e arco submerso, sendo excluído o processo de eléctrodo revestido. Através do critério de seleção apresentado na Tabela 10, conclui-se que, numa soldadura para torres eólicas, o processo ideal é o arco submerso, por ter uma maior deposição de material e um maior rendimento.

Quanto ao sistema de transmissão de todo o movimento da estrutura, são utilizados diferentes tipos de transmissão. Para a movimentação linear do braço é utilizada a transmissão por roda dentada e cremalheira. Assim, é aplicada em todo o curso de deslocamento uma cremalheira e uma roda dentada. Quando o motorreductor é acionado, a roda dentada gira na cremalheira, transformando o movimento de rotação em movimento linear. Para deslocar o braço são utilizadas uma roda de coroa e uma corrente. É aplicado um peso numa das extremidades da corrente dentro da coluna, enquanto a outra extremidade é inserida no bacalhau. Desta forma, o peso no interior da coluna faz com que seja exercida uma força contrária ao peso do braço, e o motorreductor não necessita de executar um binário tão elevado para que consiga movimentar o braço.

O sistema de alimentação de fio que se irá utilizar é um sistema pneumático. Com esta solução, não se prevê arrasto pois os motores utilizados são independentes. O motor pneumático tem como função compensar todo o comprimento de fio desde o *big pack* até à tocha de soldadura. Será projetado um sistema de alimentação em que possa ser

acoplado um motor pneumático *standard*. Desta forma, a empresa desenvolve o seu próprio sistema, o que lhe permite diferenciar-se da concorrência.

É criada uma tabela de seleção como que se observa na Tabela 11. Esta tabela compara os critérios apresentados e define qual a importância para o projeto, já que existem alguns critérios têm mais peso que outros.

Critérios expostos na matriz de seleção:

1. Custo;
2. Facilidade na montagem;
3. Facilidade na construção.

Tabela 11 – Tabela de seleção (importância)

Critério	1-2	1-3	Importância	%
1	60	75	1	50
2	40		2/3	33.33
3		25	1/3	16.66
		Total	2	100

Para a seleção dos materiais utilizados recorreu-se em primeiro lugar ao custo, pois tinha que ser mais económico que os existentes, a facilidade na montagem, pois é necessário que a substituição de componentes seja rápida e de forma simples e por fim, a facilidade na construção, uma vez que é pretendido que este sistema seja fabricado da forma mais rápida e económica possível.

3.5 Projeto

No presente capítulo, em primeiro lugar é apresentado o projeto da estrutura da máquina de soldadura robotizada. De seguida, é efetuado o projeto do motor para a alimentação de fio de soldadura para a mesma máquina.

3.5.1 Análise MEF da estrutura da máquina

3.5.1.1 Sistema simplificado

De forma a verificar qual a posição mais crítica da estrutura, recorreu-se a um cálculo simples, simplificando a estrutura ao máximo. Através dos diagramas apresentados na Figura 72 é possível concluir a posição da estrutura com maior nível de esforços. Para o efeito, foi aplicada uma carga de 2452,5 N, representando o peso da tocha de arco submerso. Para a fixação da estrutura é utilizado um encastramento na sua base.

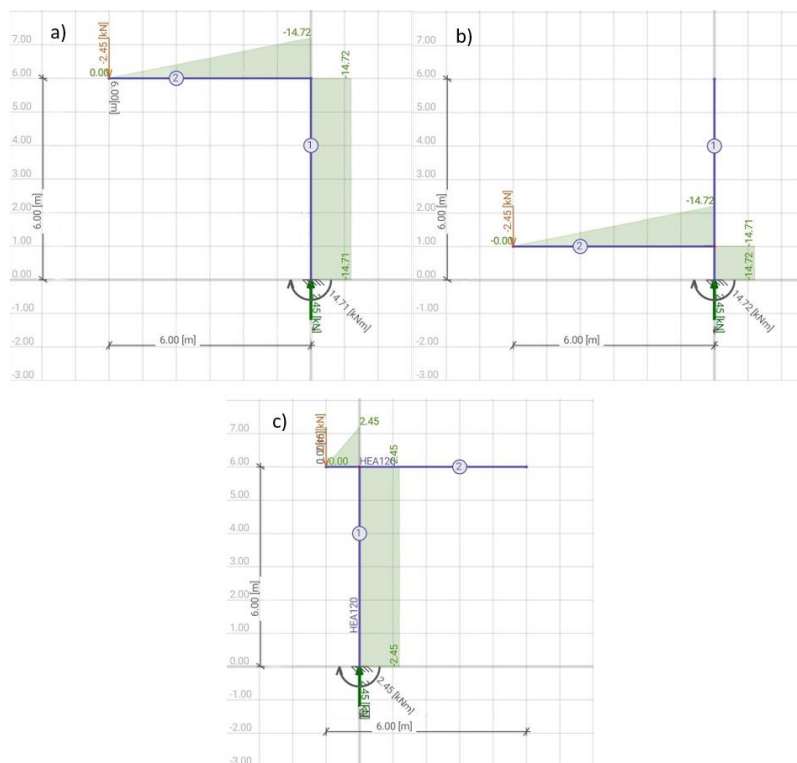


Figura 72 – Reações e diagrama de momentos: a) posição 1; b) posição 2; c) posição 3

Pelos três diagramas de momentos é possível analisar os momentos máximos e as reações nas três posições mais críticas da estrutura: a), b) e c). Como espectável, as reações são as mesmas em todas as posições, ao contrário do que ocorre com os momentos. É possível analisar que os momentos máximos são iguais na posição a) e na b), enquanto na posição representada em c) o momento é inferior. Contudo, o momento na posição a) é mais impactante na estrutura, pois o momento é atingido ao longo de toda a estrutura, pelo que se pode concluir que a posição a) é a mais crítica da estrutura.

3.5.1.2 Análise MEF por *software*

Recorrendo a um *software* de análise MEF da estrutura, de forma a otimizar a mesma para que se consiga exercer as mesmas funções, mas com melhorias a nível de performance ou na redução de custos de fabrico. Este *software* permite analisar as tensões de von Mises, deformações, deslocamentos e fator de segurança presentes na estrutura. Deste modo, é possível validar uma estrutura que se comporte com segurança na solicitação imposta.

Para iniciar o dimensionamento é necessário aplicar um material. No caso da presente estrutura é aplicado o aço S235 (Figura 73). Este é um aço estrutural de baixo carbono, utilizado no seu estado natural, cujas principais características se encontram na Tabela 12. O aço S235 não é recomendado para tratamento térmico, embora possa ser aplicada carbonitruração ou nitruração.

Este aço está presente em praticamente em todos os setores da indústria metalomecânica, pois trata-se de um aço utilizado em várias aplicações:

- Órgãos de máquinas;
- Veios e cavilhas;
- Parafusos e porcas;
- Varão roscado;
- Hastes.

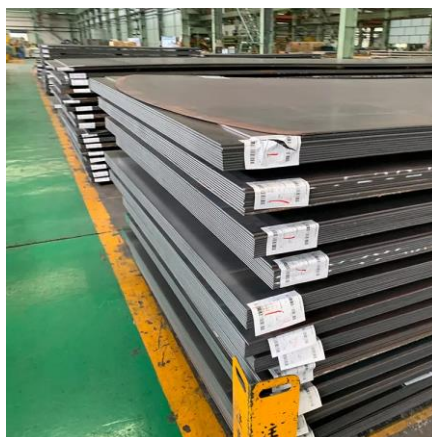


Figura 73 - Aço S235 [69]

Tabela 12 – Propriedades mecânicas do aço S235 (adaptado de [70])

Designação do Aço (EN 10025-2)	Processo	Tensão de rotura* [MPa]	Tensão de cedência* [MPa]	Dureza de Brinell (HB)* [Kg/mm ²]
S235	Laminagem a quente	360	235	102 – 140

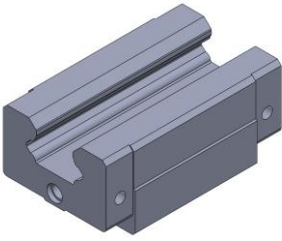
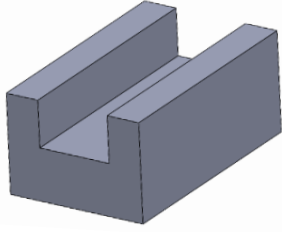
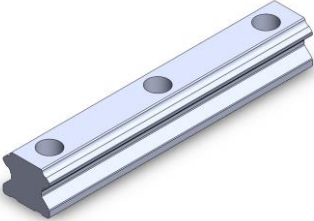
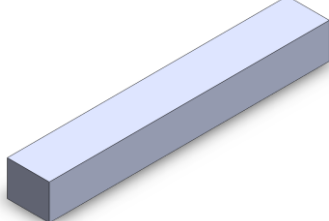
*Valores médios

3.5.1.2.1 Simplificação de componentes

Para simplificar a análise da estrutura, não serão colocados alguns componentes, como por exemplo motores elétricos, correntes, rodas dentadas, cremalheiras, entre outros pequenos componentes, pelo facto de não serem relevantes para o desempenho da análise MEF. Pelo contrário, estes componentes teriam um efeito negativo no tempo de simulação, pois a estrutura teria geometrias ainda mais complexas. Desta forma, estes componentes foram removidos e outros como as guias lineares e respetivos patins foram simplificados de modo a possuir uma forma mais simples, como se pode observar na Tabela 13.

Parte-se do princípio de que as guias lineares e os respetivos patins estão dimensionados para os esforços anunciados no catálogo, pelo que não há necessidade de simular e determinar os esforços internos nestes componentes.

Tabela 13 – Simplificação para simulação

Modelo CAD original	Modelo CAD simplificado
	
	

3.5.1.2.2 Condições fronteira

A aplicação das condições fronteira numa estrutura que está a ser dimensionada é absolutamente crucial. As condições fronteira podem restringir todos os movimentos, tanto de translação como de rotação, ou então só restringir a direção ou rotação que o utilizador define. A sua aplicação deve ser o mais próxima possível da realidade, pois de facto quanto mais realista estiver a estrutura, mais preciso será o estudo. Na estrutura estudada é aplicada a condição fronteira do tipo fixo nos carris da máquina, o que reproduz a fixação dos carris ao chão, como é indicado na Figura 74.

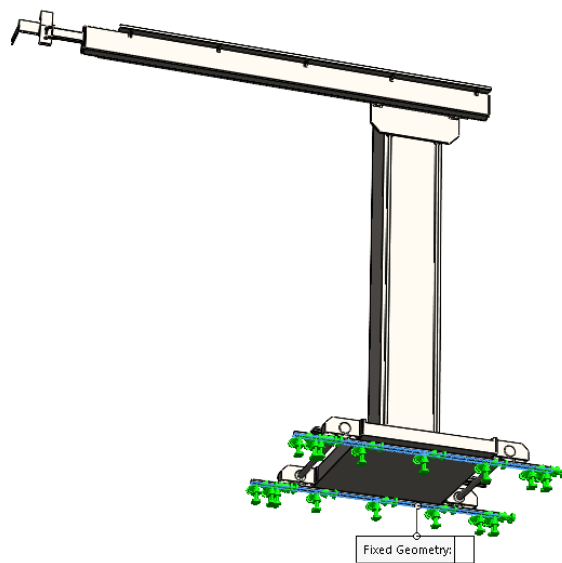


Figura 74 – Fixação da estrutura

3.5.1.2.3 Esforços

No estudo é aplicada uma força externa na face da estrutura na direção vertical, de forma a simular a presença da tocha de soldadura. No presente caso esta força é uniforme, contudo o *software* também permite a aplicação de forças não uniformes. A força aplicada é de 2452,5 N, o que representa 250 kg na estrutura, no local indicado na Figura 75. Esta força é a mesma que é referida no sistema simplificado da Figura 72.

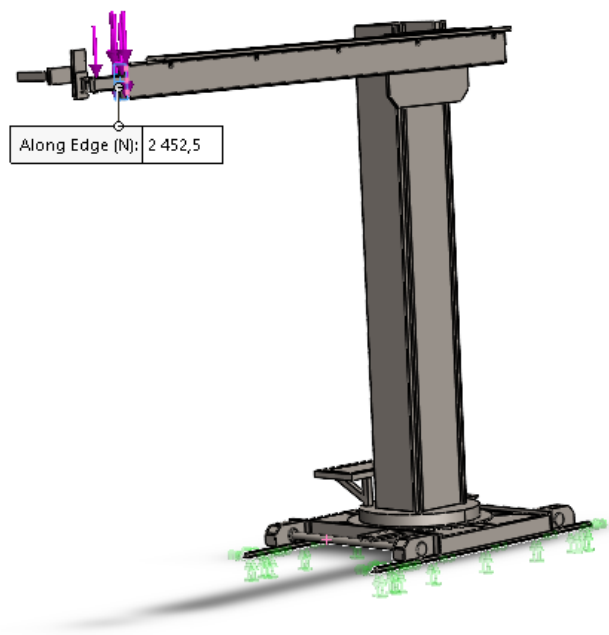


Figura 75 – Aplicação de força na estrutura

3.5.1.2.4 Ligações

Toda a estrutura é soldada e aparafusada. Deste modo, é possível usar uma ligação do tipo soldada, o que permite assim simular uma soldadura de todos os componentes que estão em contacto entre si. Desta forma a malha será contínua, independentemente de se tratar de materiais iguais ou de materiais com propriedades diferentes.

Para as guias lineares e os respetivos carrinhos, é necessário colocar uma ligação sem penetração, devido à existência de movimento com deslizamento entre as superfícies de contacto e para evitar a penetração entre eles. No caso da roda e carril é necessário usar também a ligação sem penetração pois ocorre um esforço de contacto elevado, visto que a área efetiva de contacto é muito reduzida.

3.5.1.2.5 Malha

Para o presente trabalho, foi criada uma malha baseada na curvatura, por existirem zonas de maior detalhe e de diferentes dimensões que necessitam claramente de uma malha mais refinada do que a restante estrutura. Posto isto, é selecionado um tamanho de malha máximo e mínimo, com o objetivo de refinar a malha da estrutura. Além disso,

foi necessário recorrer ao *mesh control*, já que existem algumas zonas, nomeadamente os componentes onde são introduzidas as rodas da estrutura, por apresentarem espessuras mais esbeltas do que o resto da estrutura. Desta forma foi possível obter uma malha mais personalizada e eficiente como é possível observar na Figura 76.

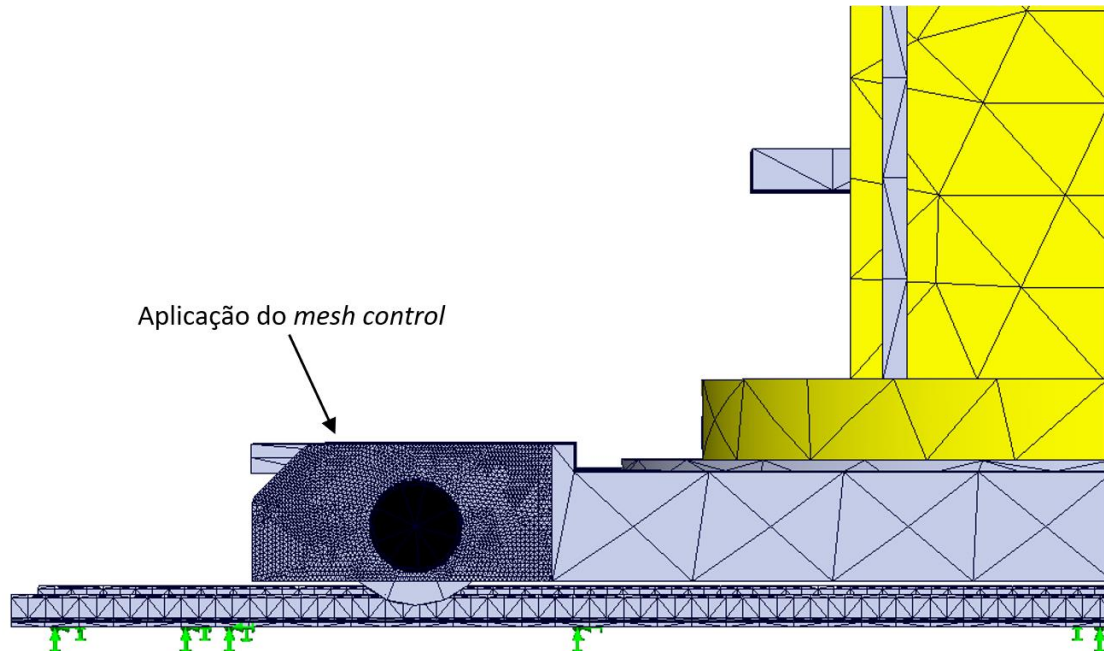


Figura 76 – Aplicação do *mesh control*

Para o estudo estático do equipamento é inicialmente realizado um estudo de convergência onde são atribuídos vários tipos de malha começando por uma malha mais grosseira, na primeira análise, e de seguida, será colocada uma malha cada vez mais refinada até que se atinja uma convergência. Considera-se que existe convergência quando existe uma variação muito pequena nos resultados dos estudos estáticos da malha mais refinada para a anterior, daí não existir grande contribuição para um próximo refinamento. De modo a determinar a convergência da malha é escolhido um ponto, chamado de ponto de convergência. Desta forma o estudo de cada refinamento é analisado num único ponto de modo a se identificar a alteração de uma dada variável que pode ser a tensão de von Mises, deslocamento ou até mesmo o fator de segurança. O ponto de convergência indicado na Figura 77 é localizado num local onde existe uma grande tensão de modo a que a cada refinamento ocorra uma variação da tensão mais significativa. O mesmo não aconteceria se o ponto escolhido estivesse num local de baixa tensão. Desta forma, a análise de convergência permite obter uma percepção mais clara do efeito da malha. Alcançado o ponto de convergência, não existe necessidade de executar um novo refinamento da malha.

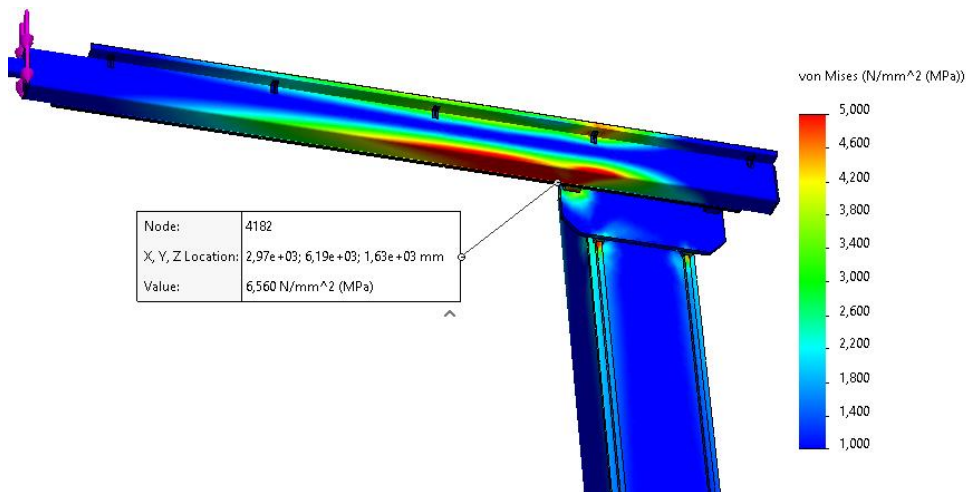


Figura 77 – Ponto de convergência escolhido

A Figura 78 apresenta de forma gráfica o número de nós e elementos para três modelos do estudo de convergência efetuado, com diferentes refinamentos de malha. É possível observar que, em cada refinamento da malha, o número de elementos e de nós aumenta, o que conduz invariavelmente a um aumento do tempo de computação necessário à corrida dos modelos.

Através da Figura 79 é verificada a convergência da malha em função do número de elementos utilizados. De referir que foram acrescentadas duas corridas de simulação, com refinamento intermédio relativamente à malha grosseira e média, com o objetivo de compreender melhor o comportamento do modelo na zona em que começa a ocorrer uma estabilização de tensão de von Mises. Em função dos resultados obtidos, refere-se que se utilizou no estudo subsequente a malha média, que corresponde ao melhor compromisso de precisão de resultados vs. tempo de computação.

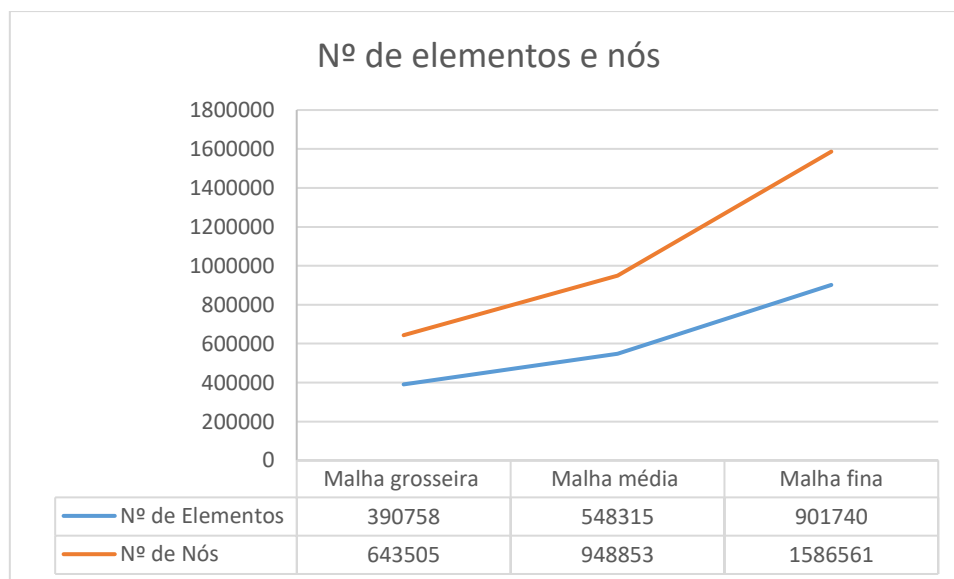


Figura 78 – Nº de elementos e nº de nós

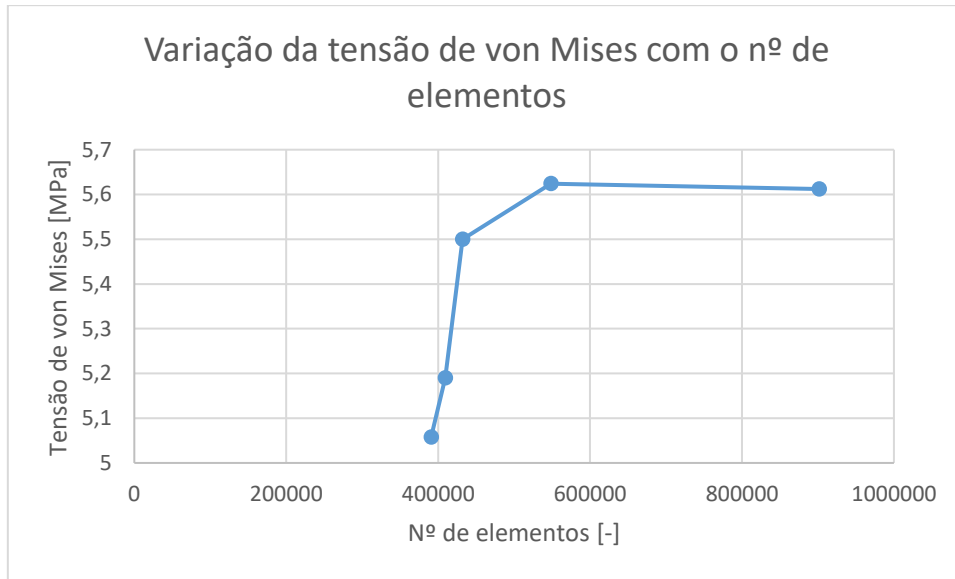


Figura 79 – Variação da tensão de von Mises com o nº de elementos

3.5.1.3 Verificação da posição mais crítica por análise MEF

Através da análise em *software* é possível afirmar que a posição mais crítica está de acordo com a posição obtida por meio do sistema simplificado apresentado no capítulo 3.5.1.1. Como é possível analisar na Figura 80, Figura 81 e Figura 82, a posição 1 é a mais crítica de funcionamento da coluna de soldadura.

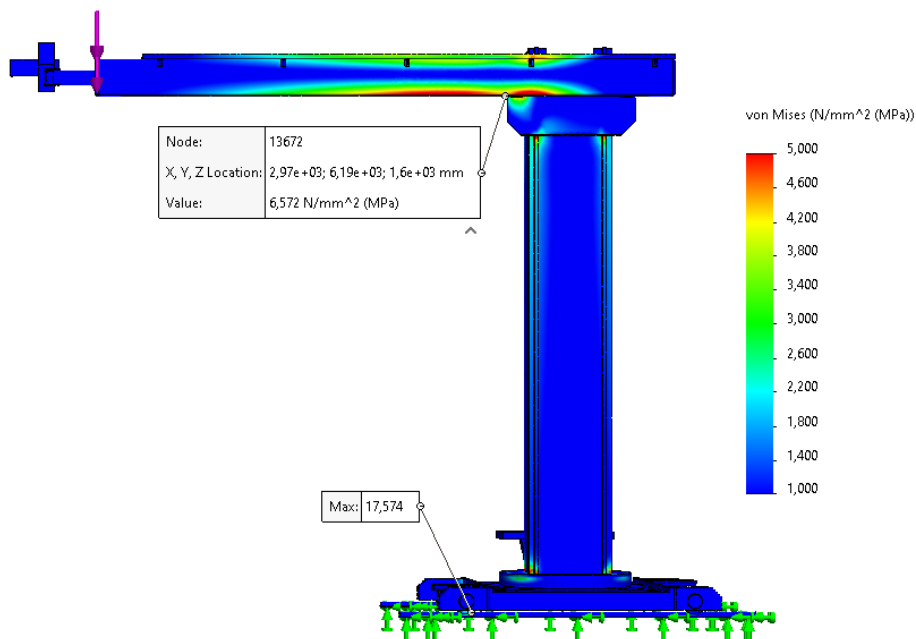


Figura 80 – Tensão de von Mises: a) posição 1

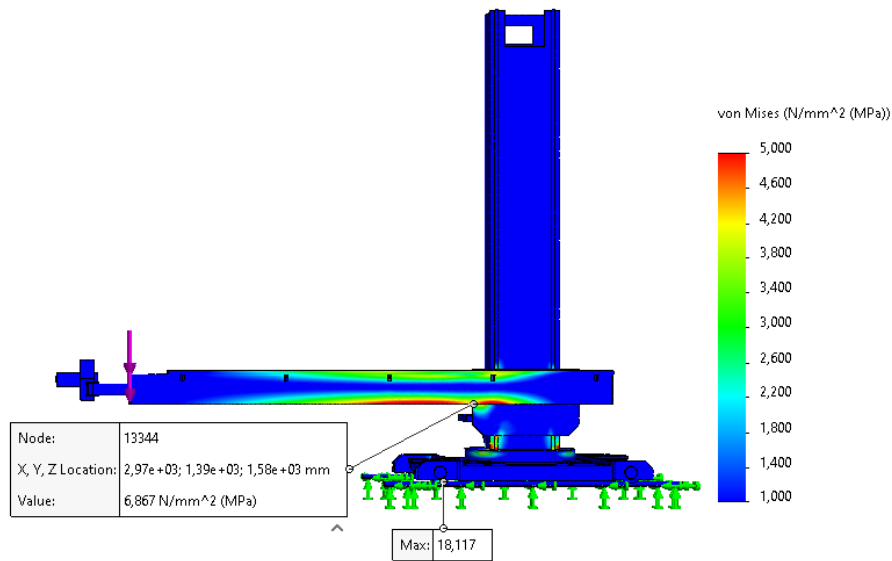


Figura 81 – Tensão de von Mises: b) posição 2

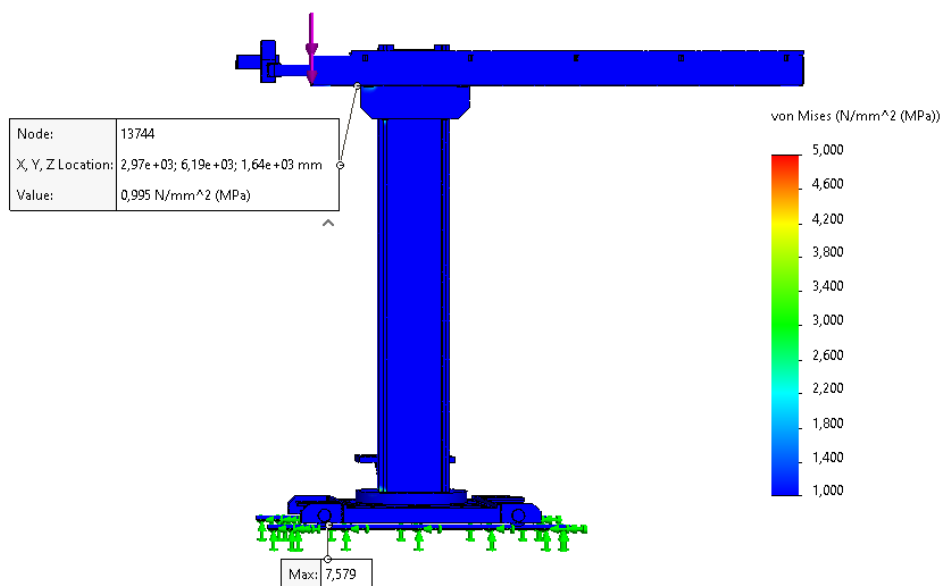


Figura 82 – Tensão de von Mises: c) posição 3

É de notar que a simulação representa o sistema simplificado em que a posição a) e b) têm valores muito idênticos, com uma tensão entre 17,5 e 18,1 MPa, enquanto a posição c) é aquela onde existe menor tensão, com uma tensão máxima de 7,58 MPa. Como mencionado anteriormente, a posição 1 será a posição mais crítica pelo facto de existir uma maior tensão ao longo de toda a sua estrutura. O mesmo acontece no deslocamento vertical, como é possível constatar nas Figura 83, Figura 84 e Figura 85. De facto, na posição 1 e 2 existe um deslocamento máximo de 2,71 mm, enquanto o deslocamento na posição 3 é quase nulo.

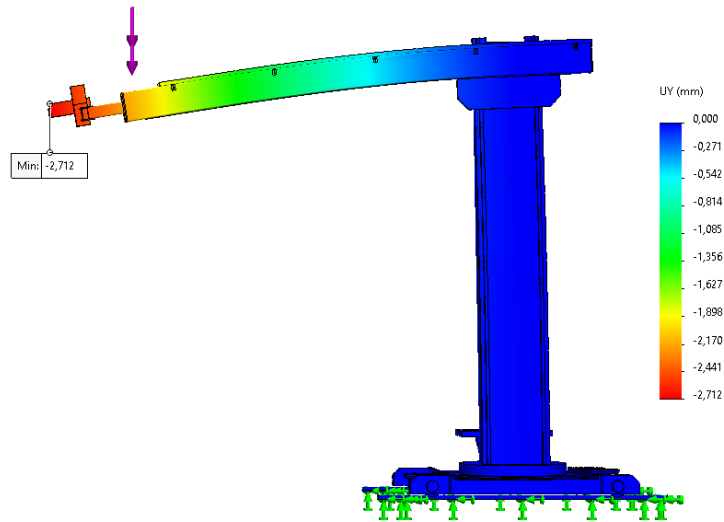


Figura 83 – Deslocamento vertical: a) posição 1

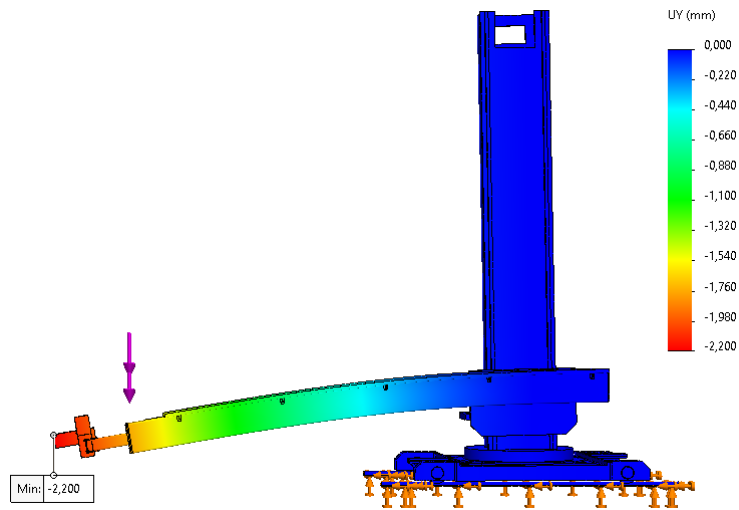


Figura 84 – Deslocamento vertical: b) posição 2

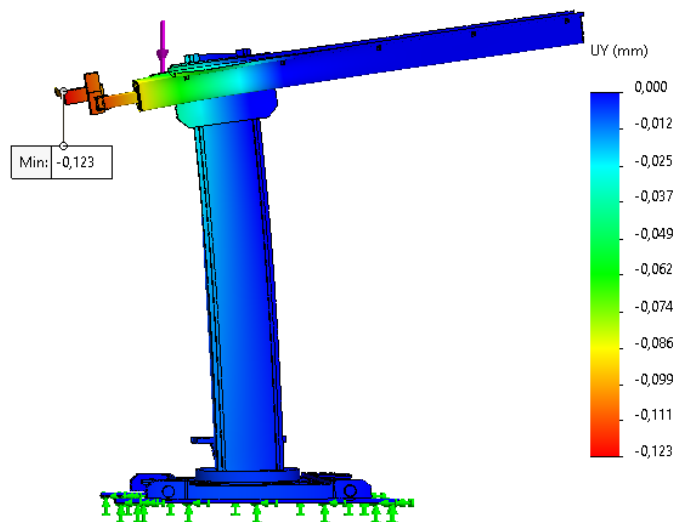


Figura 85 – Deslocamento vertical: c) posição 3

Note-se que existe um grande sobredimensionamento na estrutura, pois a tensão máxima exercida é muito inferior à tensão de cedência do material, observado na Figura 86, Figura 87 e Figura 88. Deste modo, é possível otimizar a estrutura de forma a aligeirar partes que não afetarão o funcionamento correto do equipamento, pelo facto de possuírem coeficientes de segurança muito elevados.

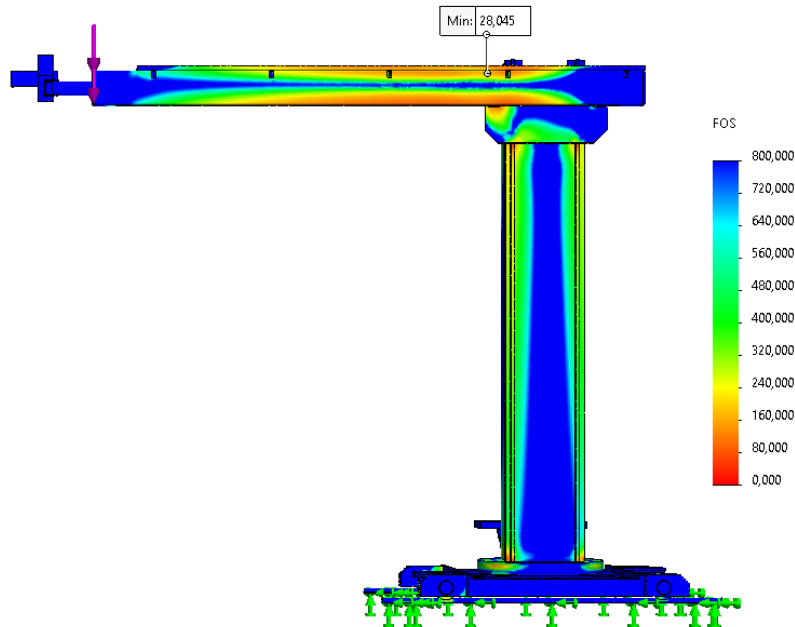


Figura 86 – Fator de segurança: a) posição 1

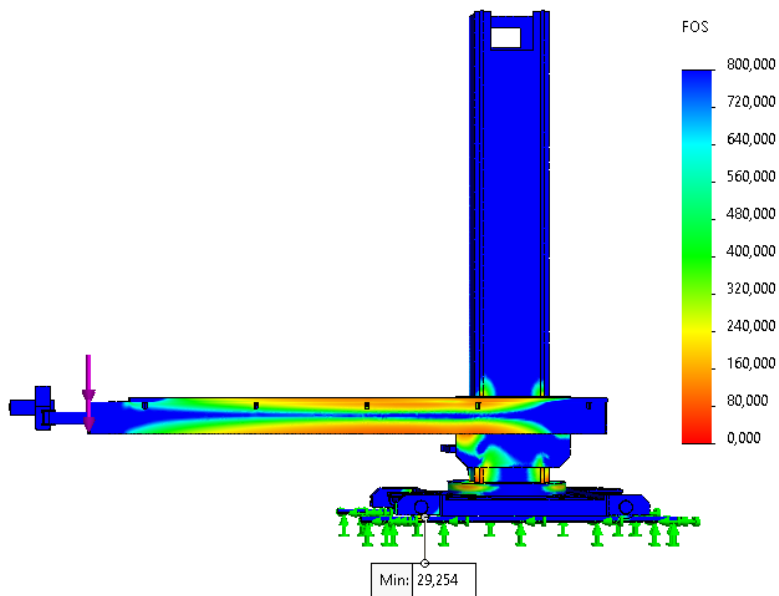


Figura 87 – Fator de segurança: b) posição 2

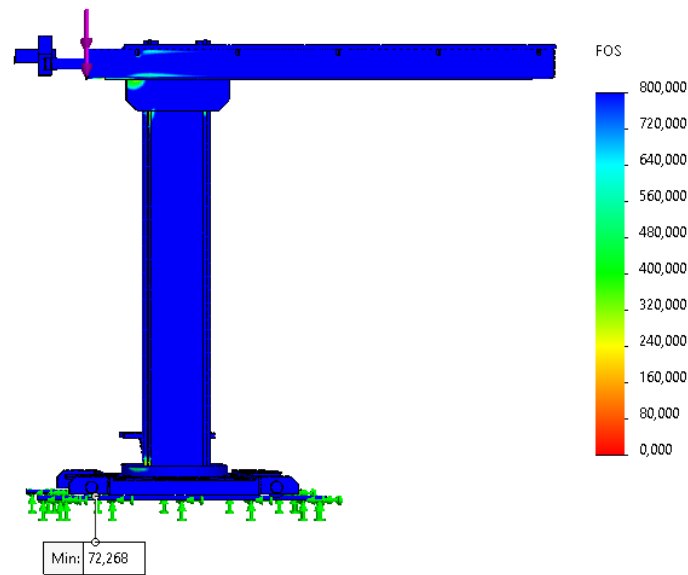


Figura 88 – Fator de segurança: c) posição 3

Através das figuras apresentadas, são de fácil identificação os componentes que podem ser aligeirados, pois estão apresentados a azul, apresentando um fator de segurança bastante elevado, como é possível observar na escala. Assim sendo, é diminuída a espessura da chapa quinada em 4,5 mm na coluna e 2 mm no tubo do braço, o que levou a uma diminuição de peso significativa em cerca de 600 kg, e um aumento de apenas 0,5 mm no deslocamento vertical, como se pode verificar na Figura 89.

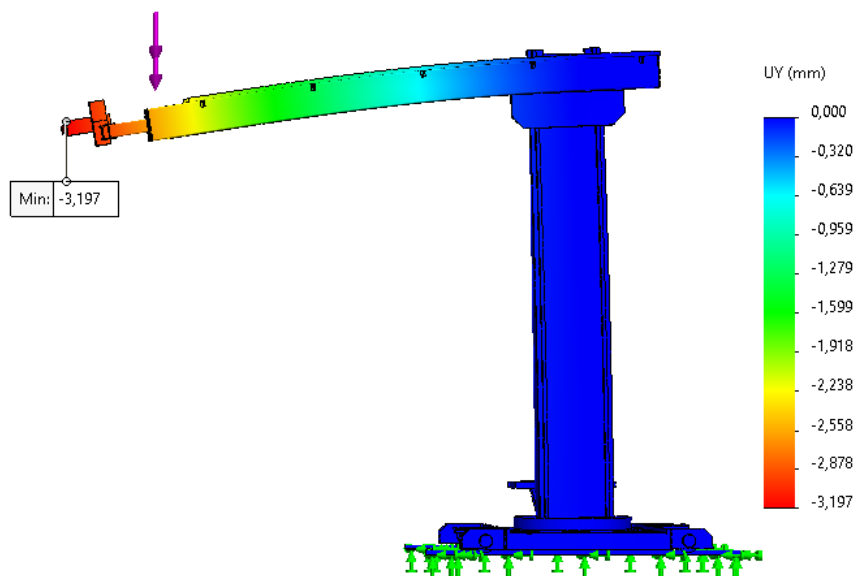


Figura 89 – Deslocamento vertical com componentes fragilizados

Pela análise MEF ainda era possível reduzir mais o seu peso, mas atendendo a algumas normas, como por exemplo a norma ISO (em que o parafuso deve roscar $1,5 \times \varnothing$) não é possível diminuir a espessura dos restantes elementos. No entanto, era possível alterar o *design* de forma a serem usadas estruturas de parede mais fina, como a

representada na Figura 90. Porém, a estrutura ficará mais fragilizada e não compensa a alteração pelo facto do elevado custo de mão de obra associado à operação de fabrico. Logo, este *design* não é aplicado.

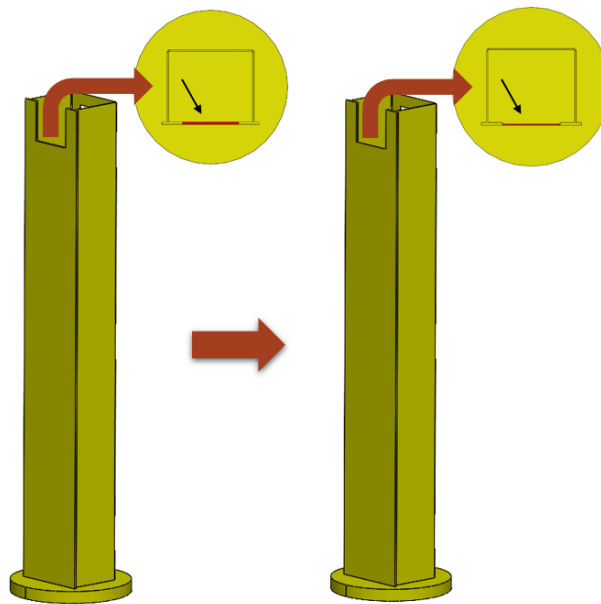


Figura 90 – Alteração do *design*

Contudo, e não menos importante, é necessário verificar o centro de gravidade da estrutura, pois como esta tem um braço bastante comprido, caso o centro de gravidade se encontre fora ou no limite do apoio da estrutura, esta torna-se instável. Através da análise da Figura 91 conclui-se que a estrutura se encontra bastante estável, contendo o centro de massa praticamente a meio do plano do apoio da estrutura. É de notar que o centro de massa já contém as cargas externas aplicadas.

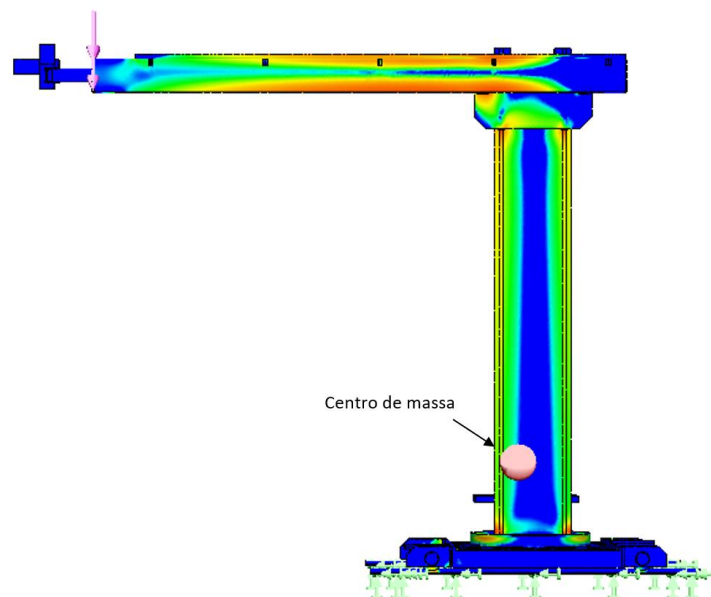


Figura 91 – Centro de massa da estrutura

3.5.2 Dimensionamento do sistema de movimentação

Para o sistema de movimentação é necessário dimensionar motorreductor de forma que o equipamento consiga se movimentar em todas as direções pretendidas.

3.5.2.1 Motorreductor

De seguida, são escolhidos separadamente os motorredutores para a coluna e o braço do equipamento.

Coluna

Para elevar o braço para a posição definida a estrutura conta com um motorreductor. O movimento é efetuado por duas guias lineares com dois patins em cada uma. Para o motorreductor seguiu-se o procedimento de cálculo indicado pelo fornecedor Sew-Eurodrive, pois neste cálculo é possível utilizar um contrapeso. A velocidade máxima a que o braço se deve deslocar é de 2 m/min. Na Tabela 14 estão apresentados os requisitos necessários a cumprir para a elevação do braço.

Tabela 14 – Condições iniciais para cálculo

Descrição	Valor
Massa a elevar	$m = 2091 \text{ kg}$
Contrapeso	$mc = 1500 \text{ kg}$
Velocidade de elevação	$v = 0,033(3) \text{ m/s}$
Diâmetro da roda de dentada	$\varnothing = 461 \text{ mm}$
Rendimento total	$\eta = 85\%$

Para seleccionar o motor é essencial saber em primeiro lugar a potência mínima necessária, pelo que é calculada a potência estática pela equação (1):

$$P_s = \frac{F \times v}{\eta} \quad (1)$$

$$P_s = \frac{(2091,58 - 1500) \times 9,81 \times 0,033(3)}{1000 \times 0,85} = 0,227 \text{ kW}$$

Em segundo lugar é fundamental calcular o binário a aplicar para que o motorreductor consiga deslocar o braço da máquina para a posição desejada. Sabendo que a roda dentada tem um diâmetro (d) de 461 mm e é necessário elevar uma força (F) de 5797,71 N, obteve-se um binário (M_a), de 1336,37 N.m, através da equação (2).

$$M_a = \frac{d}{2} \times F \quad (2)$$

$$M_a = 0,2305 \times 5797,71 = 1336,37 \text{ N.m}$$

De seguida só fica a faltar a velocidade em rpm. Para o efeito, é necessário calcular o perímetro da roda dentada (P) para determinar o deslocamento por cada rotação. Como são conhecidos o valor de curso e a sua velocidade, é determinada a rotação por minuto necessária para executar o curso, com a velocidade pretendida.

$$P = 2\pi r \quad (3)$$

$$P = 2 \times \pi \times 0,2305 = 1,448 \text{ m}$$

Número de voltas da roda dentada:

$$N = \frac{\text{curso útil}}{P} \quad (4)$$

$$N = \frac{6}{1448} = 4,14 \text{ voltas}$$

Rotação de saída do motorreductor:

$$n_R = \frac{N}{\text{tempo (min)}} \quad (5)$$

$$n_R = \frac{4,14}{3} = 1,38 \text{ rpm}$$

Com os parâmetros calculados procedeu-se à seleção do motorreductor mais adequado para a aplicação em causa. Selecionou-se a marca Nord, uma marca de motores e redutores que trabalha com a empresa Motofil há vários anos. Desta forma localizou-se no catálogo o motorreductor de três estágios com a designação SK 43125 (ver anexo 6.1 – motorreductor Nord 0,55kW) mais apropriado à função, como é possível observar na Figura 92.



P_1 [kW]	n_2 [min ⁻¹]	M_2 [Nm]	f_B	i_{ges}	F_R [kN]	F_A [kN]	$F_{R VL}$ [kN]	$F_{A VL}$ [kN]	Type	kg	mm
0,55	1,0	2630	1,2	1639,55	24,4	20,8	26,5	28,0	SK 43125 - 80 S/4	121	E48-49
	1,1	2387	1,3	1476,55	25,5	20,8	26,5	28,0			
	1,4	1973	1,6	1198,50	26,5	20,8	26,5	28,0			
	1,8	1567	2,0	928,25	26,5	20,8	26,5	28,0			
	2,1	1364	2,3	794,58	26,5	20,8	26,5	28,0			
	2,4	1509	1,9	689,67	26,5	20,8	26,5	28,0			
	2,7	1336	2,0	607,91	26,5	20,8	26,5	28,0			
	3,0	1210	2,6	547,47	26,5	20,8	26,5	28,0			
	3,7	995	3,0	444,38	26,5	20,8	26,5	28,0			

Figura 92 – Tabela de motorredutores NORD [71]

Através da análise do catálogo do fabricante, o motorreductor para a coluna aconselhado é SK 43125 – 80 S/4 com uma rotação de 1,4 rpm, um binário de 1973 N.m e um peso de 121 kg.

Braço

O dimensionamento do motorreductor a ser aplicado no bacalhau, para o efeito de deslocar o braço, é bastante idêntico ao dimensionamento da coluna. Este não precisa de ter uma potência muito elevada, pois como o braço está todo guiado não existe necessidade de uma força elevada para que este se desloque. Foi assumido uma roda dentada de 80 mm de diâmetro e, através desta escolha, foi feito o dimensionamento do motor. Através da equação (3) é calculado o perímetro, para se conhecer o deslocamento de uma volta da roda dentada e, assim, de seguida calcular o número de rpm necessário para deslocar o braço com 2 m/s.

$$P = 2 \times \pi \times 0,04 = 0,251 \text{ m}$$

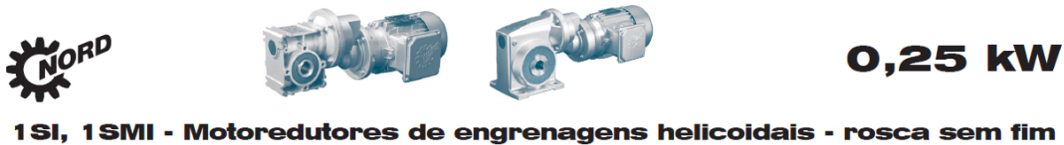
Número de voltas da roda dentada:

$$N = \frac{6}{0,251} = 23,876 \text{ voltas}$$

Rotação de saída do motorreductor:

$$n_R = \frac{23,876}{3} = 7,959 \text{ rpm}$$

Deste modo, seleciona-se o motorreductor com uma potência de 0,25 kW do modelo SK1SI 63/H10 IEC71 – 71 S/4 de 8,4 rpm (ver anexo 6.2 – motorreductor Nord 0,25 kW), como se verifica na Figura 93.



P ₁ [kW]	n ₂ [min ⁻¹]	M ₂ [Nm]	f _B	i _{ges}	i _{sch}	i _{vor}	F _R	F _{RF}	Motorreductor			IE1 kg	mm						
									IE1	IE2	IE3								
0,25	2,2	384	0,9	800	80	10	8,0	4,1	SK 1SI 75/H10 IEC71 - 71 S/4				B51						
	2,9	335	1,1	600	60	10	8,0	4,3											
	3,5	304	1,2	500	50	10	8,0	4,3											
	4,3	267	1,5	400	40	10	8,0	4,4											
	5,8	241	1,5	300	30	10	8,0	4,4											
	6,9	213	1,8	250	25	10	8,0	4,4											
	8,6	181	2,2	200	20	10	8,0	4,5											
	12	144	3,0	150	15	10	8,0	4,5											
	14	130	2,7	125	12	10	8,0	4,5											
	17	108	3,4	100	10	10	8,0	4,5											
	23	83,5	3,7	75	7,50	10	8,0	4,5											
	35	58,5	3,7	50	5,00	10	8,0	4,6											
															SK 1SMI 75/H10 IEC71 - 71 S/4			22	B51
															SK 1SI 63/H10 IEC71 - 71 S/4				B50
		8,4	180	1,3	200	20	10	5,0						2,3					
	11	144	1,8	150	15	10	5,2	2,4											
	13	131	1,6	125	12,5	10	5,3	2,4											
	17	109	1,7	100	10	10	5,4	2,5											
	22	84,6	1,7	75	7,5	10	5,5	2,5											

Figura 93 – Tabela de motorredutores NORD [72]

3.5.3 Transmissão de potência

Para a transmissão de potência é possível optar por um dos três tipos de transmissão: correias, correntes e engrenagens.

Para a realização da elevação do braço, a transmissão mais adequada para o caso prático é a transmissão por corrente. Este tipo de transmissão é indicado para maiores potências, tem uma maior durabilidade e não existe perigo de escorregamento, apesar de existir uma pequena desvantagem em relação às correias, pois as correntes necessitam de lubrificação. Para a seleção da corrente foi utilizado o catálogo do fornecedor Rolisa. Como é necessária uma boa segurança foi optada por uma corrente de rolos duplos (Figura 94). Caso fosse de rolos simples, para ter a mesma segurança, seria necessária uma corrente de maiores dimensões. Para a seleção da corrente foi fundamental calcular a força necessária, de modo a escolher uma corrente que resista a uma força superior à determinada.



Figura 94 – Elevação do braço através de corrente de rolos duplos

Conforme referido no capítulo 3.5.2.1 foi selecionado um motor com uma potência de 1,1 kW e terá que elevar uma força tangencial de 5797,71 N, com uma rotação da polia de 1,4 rpm e um momento de 1973 N.m. Neste caso, os cálculos serão efetuados a partir do motor escolhido, pois como o momento máximo que o motor exerce é de valor superior ao calculado, é necessário fazer o cálculo para a pior das hipóteses, assegurando a segurança.

Força de tangencial máxima na corrente:

$$F_{max} = \frac{M}{r} \quad (6)$$

$$F_{max} = \frac{1973}{0,2305} = 8559,65 \text{ N}$$

Para o cálculo do fator de segurança é de conhecimento do projetista que é aplicada uma carga constante, existindo uma lubrificação periódica e a corrente é posicionada na vertical.

Tabela 15 – Fator de funcionamento (adaptado de [73])

Fator de funcionamento	
Fator de serviço (K_s)	Carga constante $K_s = 1,0$
	Carga com impactos, operação contínua $K_s = 1,3$
	Carga com impactos fortes, operação contínua $K_s = 1,5$
Fator de lubrificação (K_l)	Lubrificação contínua $K_l = 1,0$
	Lubrificação periódica $K_l = 1,3$
Fator de posição (K_{po})	Transmissão na horizontal ou com uma inclinação < a 45° $K_{po} = 1,0$
	Inclinação > a 45° $K_{po} = 1,3$

Através da Tabela 15 é possível calcular o fator de funcionamento, que se deve aplicar à corrente em questão, através do cálculo da equação (7).

$$K = K_s \times K_l \times K_{po} \quad (7)$$

$$K = 1 \times 1,3 \times 1,3 \cong 1,7$$

O passo seguinte é determinar o coeficiente de segurança aplicado à corrente de acordo com a rotação exigida.

Tabela 16 – Coeficiente de segurança (adaptado de [73])

Passo	rpm								
	50	200	400	600	800	1000	1200	1600	2000
1/2" – 5/8"	7,0	7,8	8,6	9,4	10,2	11,0	11,7	13,2	14,8
3/4" – 1"	7,0	8,2	9,4	10,3	11,7	12,9	14,0	16,3	
1" 1/4 – 1" 1/2	7,0	8,6	10,2	13,2	14,8	16,3	19,5		

Com o auxílio da Tabela 16 é determinado o coeficiente de segurança da corrente (n_s). Como a rotação da corrente é muito inferior à descrita na tabela, irá usar-se o coeficiente de segurança aplicado a 50 rpm e, deste modo, o coeficiente de segurança será de 7.

Força de rotura (F_a) da corrente:

$$F_a = F_t \times n_s \times K \quad (8)$$

$$F_a = 8559,65 \times 7 \times 1,7 = 101860 \text{ N}$$

Sabe-se que a força tangencial deve ser sempre muito menor à força de rotura que o catálogo da corrente apresenta. Através da Figura 95, é selecionada a corrente de rolos dupla, com um ISO número 16B-2 (ver anexo 6.3 – correntes de rolos), que cumpre com a força de rotura calculada pela equação (8).

CORRENTES DE ROLOS DUPLA - DIN 8187										
ISO Nr.	p		b ₁ mm min.	d ₂ mm	d ₁ mm max.	a ₂ mm max.	g mm max.	e mm	F _s min. N	q kg / m ≈
	mm	polegadas								
06B-2	9,525	3/8"	5,72	3,28	6,35	23,8	8,26	10,24	17.300	0,78
08B-2	12,7	1/2"	7,75	4,45	8,51	31,0	11,81	13,92	31.800	1,35
10B-2	15,875	5/8"	9,65	5,08	10,16	36,2	14,73	16,59	45.400	1,85
12B-2	19,05	3/4"	11,68	5,72	12,07	42,2	16,13	19,46	59.000	2,50
16B-2	25,4	1"	17,02	8,28	15,88	68,0	21,08	31,88	110.000	5,40
20B-2	31,75	1 1/4	19,56	10,19	19,05	79,7	26,42	35,45	180.000	7,20
24B-2	38,1	1 1/2	25,40	14,63	25,40	101,8	33,40	48,36	324.000	13,50
28B-2	44,45	1 3/4	30,99	15,90	27,94	124,7	37,08	59,56	381.000	16,60
32B-2	50,8	2"	30,99	17,81	29,21	126,0	42,99	58,55	495.000	21,00
40B-2	63,5	2 1/2	38,10	22,89	39,37	154,0	52,90	72,29	630.000	33,61

Figura 95 – Catálogo de correntes Rolisa [73]

Depois da escolha da corrente, é escolhida a roda de coroa mais apropriada. A roda de coroa (ver anexo 6.4 – roda de coroa) foi a 16B2 com 57 dentes, como se confirma na Figura 96.

Coroas	Z	de	dp	S D T		
				D ₁	D ₂	D ₃
1" x 17,02mm 25,4 x 17,02 mm (16B - 1 - 2 - 3) para corrente de rolo segundo DIN 8187 ISO/R 606	43	361,7	347,98	25	25	-
	44	369,8	356,06	25	25	30
	45	377,9	364,12	25	25	30
	46	386,0	372,21	25	25	30
	47	394,1	380,29	25	25	-
	48	402,1	388,36	25	25	30
	49	410,2	396,44	25	-	-
	50	418,3	404,52	25	25	30
	51	426,4	412,60	30	25	40
	52	434,5	420,67	30	30	40
	53	442,5	428,75	30	-	-
	54	450,6	436,85	30	-	-
	55	458,7	444,93	30	30	40
	56	466,8	453,01	30	40	-
	57	474,9	461,07	30	40	40
	58	482,9	469,16	30	-	-
59	491,0	477,24	30	-	-	
60	499,1	485,32	30	40	40	
61	507,2	493,46	30	-	-	
62	515,3	501,50	30	40	-	

Figura 96 – Catálogo de rodas de coroa da Rolisa [73]

Braço

Nesta aplicação é colocada uma cremalheira com módulo de 2,5 mm. Assim sendo é necessário colocar uma roda dentada cilíndrica com o mesmo módulo (Figura 97). Para a cremalheira (ver anexo 6.5 – cremalheira) selecionou-se a de 25x25x2000 mm³ (Figura 98) e para a roda dentada (ver anexo 6.6 – roda dentada) é escolhida uma de 80 mm de diâmetro (Figura 99).

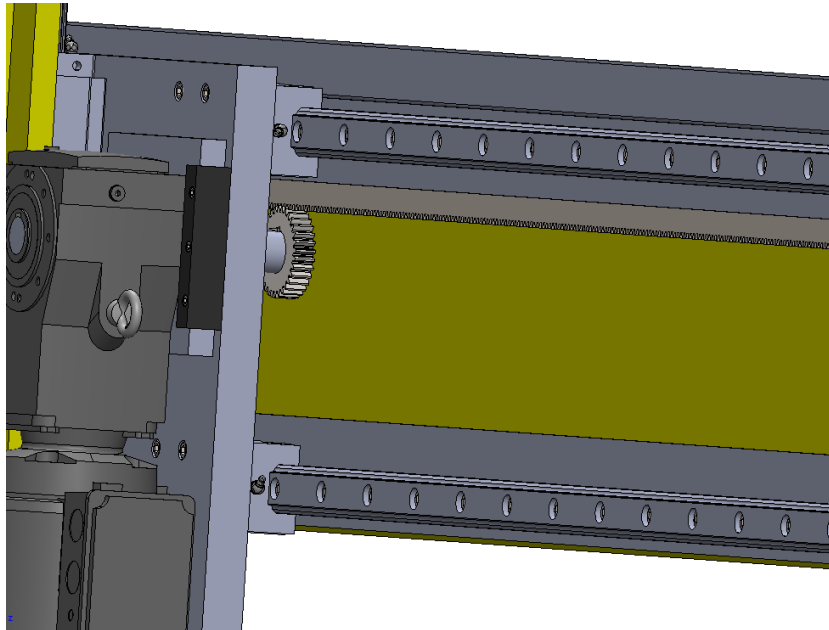


Figura 97 – Transmissão por cremalheira e roda dentada

Cremalheiras de Módulo Dentadas				
segundo DIN 782 ângulo de pressão: 20 ° Material C 43 Trefilado				
Módulo	Comprimento (L)			
	500 mm	1000 mm	2000 mm	* 3000 mm
	A x B	A x B	A x B	A x B
1	15 x 15	15 x 15	15 x 15	15 x 15
1,5	17 x 17	17 x 17	17 x 17	17 x 17
2	20 x 20	20 x 20	20 x 20	20 x 20
2,5	25 x 25	25 x 25	25 x 25	25 x 25
3	30 x 30	30 x 30	30 x 30	30 x 30
4	22 x 22	22 x 22	22 x 22	22 x 22

Figura 98 – Tabela de cremalheiras Rolisa [73]

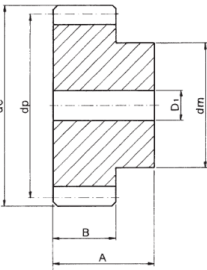
Rodas dentadas cilíndricas	Z	Mod. 1				Mod. 1,5				Mod. 2				Mod. 2,5			
		de	dp	dm	D ₁	de	dp	dm	D ₁	de	dp	dm	D ₁	de	dp	dm	D ₁
Ângulo de pressão 20° 	12	14	12	9	-	21,0	18,0	14	8	28	24	18	10	35,0	30,0	22	10
	13	15	13	10	-	22,5	19,5	15	8	30	26	20	10	37,5	32,5	25	10
	14	16	14	11	-	24,0	21,0	17	8	32	28	22	10	40,0	35,0	28	10
	15	17	15	12	-	25,5	22,5	18	8	34	30	24	10	42,5	37,5	30	10
	16	18	16	13	-	27,0	24,0	19	8	36	32	25	10	45,0	40,0	32	12
	17	19	17	14	-	28,5	25,5	20	8	38	34	25	10	47,5	42,5	35	12
	18	20	18	15	8	30,0	27,0	20	8	40	36	25	10	50,0	45,0	35	12
	19	21	19	15	8	31,5	28,5	20	8	42	38	25	10	52,5	47,5	35	12
	20	22	20	16	8	33,0	30,0	25	8	44	40	30	10	55,0	50,0	40	12
	21	23	21	16	8	34,5	31,5	25	10	46	42	30	12	57,5	52,5	40	14
	22	24	22	16	8	36,0	33,0	25	10	48	44	30	12	60,0	55,0	45	14
	23	25	23	18	8	37,5	34,5	25	10	50	46	30	12	62,5	57,5	45	14
	24	26	24	20	10	39,0	36,0	25	10	52	48	35	12	65,0	60,0	45	14
	25	27	25	20	10	40,5	37,5	25	10	54	50	35	12	67,5	62,5	50	14
	26	28	26	20	10	42,0	39,0	30	12	56	52	40	12	70,0	65,0	50	14
	27	29	27	20	10	43,5	40,5	30	12	58	54	40	12	72,5	67,5	50	14
	28	30	28	20	10	45,0	42,0	30	12	60	56	40	12	75,0	70,0	50	14
	29	31	29	20	10	46,5	43,5	30	12	62	58	40	14	77,5	72,5	50	14
	30	32	30	20	10	48,0	45,0	30	12	64	60	40	14	80,0	75,0	55	14
	31	33	31	25	10	49,5	46,5	35	12	66	62	45	14	82,5	77,5	55	16
	32	34	32	25	10	51,0	48,0	35	12	68	64	45	14	85,0	80,0	55	16
	33	35	33	25	10	52,5	49,5	35	12	70	66	45	14	87,5	82,5	55	16
	34	36	34	25	10	54,0	51,0	35	12	72	68	45	14	90,0	85,0	55	16

Figura 99 – Tabela de rodas dentadas cilíndricas Rolisa [73]

Com o motorreductor anteriormente escolhido e com a roda dentada referida na Figura 99 é possível cumprir com a velocidade desejada de 2 m/s e conseguir uma força tangencial de 4500 N, o que é suficiente para deslocar o braço.

O cálculo foi executado através da equação (2).

$$M_a = r \times F$$

$$180 = 0,04 \times F \Leftrightarrow F = \frac{180}{0,04} = 4500 \text{ N}$$

3.5.4 Guias lineares

Para a seleção das guias lineares e dos respetivos carrinhos (patins), consultou-se o catálogo da HIWIN. Existem dois tipos de patins: os de rolos e de esferas. Os patins de rolos são utilizados para velocidades de deslocamento baixas e têm uma grande capacidade de carga, enquanto os patins de esferas conseguem uma velocidade elevada, mas não suportam cargas elevadas. Como o projeto não necessita de velocidades elevadas e existe uma carga elevada a movimentar, optou-se pela utilização de patins de rolos (Figura 100).

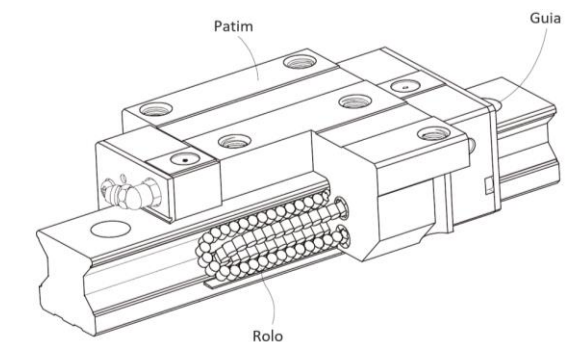


Figura 100 – Guia linear e patim de rolos

O fator de segurança estático depende das condições ambientais e de operação, e deve ser levado em consideração em aplicações com grandes períodos de tempo sem movimento ou movimento a baixa velocidade. É necessário que exista um fator de segurança maior quando as guias estão sujeitas a cargas com impactos ou vibrações (Tabela 17) [74].

Tabela 17 – Fator de segurança estático (adaptado de [74])

Condição de carga	f_{SL}, f_{SM} – fator de segurança estático
Carga normal	1,0 – 3,0
Carga com impactos/ vibrações	3,0 – 5,0

$$f_{SL} = \frac{C_0}{P} \quad (9)$$

$$f_{SM} = \frac{M_0}{M} \quad (10)$$

Vida útil

Quando a guia e os elementos de uma guia linear são submetidos a tensões repetidas, a superfície da guia tem tendência a sofrer fadiga. A vida útil de uma guia linear é definida como a distância total percorrida até ao aparecimento de fadiga na guia, ou nos elementos rotativos (rolos ou esferas). A vida útil varia muito, mesmo quando as guias de movimento linear são fabricadas da mesma maneira, ou utilizadas nas mesmas condições. Por isso, é calculada a vida nominal, pois esta é usada como critério para prever a vida útil de uma guia linear. A vida nominal é a distância total que 90% de um grupo de guias lineares idênticas, usadas em condições de trabalho semelhantes, funcionam sem ocorrer fadiga.

A vida nominal (L) de uma guia linear do tipo rolos é dada pela equação (11) [74].

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^{\frac{10}{3}} \times 100 \text{ [km]} \quad (11)$$

Pela equação (12) é possível converter a vida nominal (L) em vida útil (L_h) para uma guia do tipo rolo dependendo da velocidade de deslocamento (V_e).

$$L_h = \frac{L \times 10^3}{V_e \times 60} \text{ [h]} \quad (12)$$

Através da análise do caso em estudo, os patins vão estar sujeitos principalmente ao momento aplicado como demonstra na Figura 101.

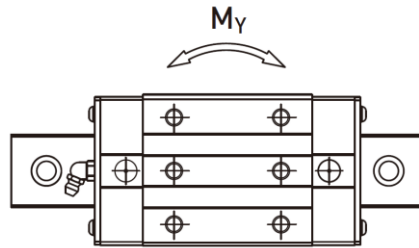


Figura 101 – Seleção do tipo de esforço [74]

Através dos cálculos executados, determinou-se o momento máximo de 14.72 kN.m através dos diagramas representados na Figura 72 e como são quatro patins, divide-se este valor por 4, tendo como resultado o valor de 3,68 kN.m em cada patim. Tendo em conta o catálogo do fornecedor da HIWIN, é selecionada uma guia linear que cumpra o valor do momento máximo na coluna M_Y . Deste modo foi selecionado a guia cujo modelo é RGH45HA (ver anexo 6.7 – guia linear) como se verifica na Figura 102.

Model No.	Dimensions of Assembly (mm)				Dimensions of Block (mm)										Dimensions of Rail (mm)						Mounting Bolt for Rail (mm)	Basic Dynamic Load Rating C (kN)	Basic Static Load Rating C ₀ (kN)	Static Rated Moment			Weight					
	H	H ₁	N	W	B	B ₁	C	L ₁	L	K ₁	K ₂	G	MxL	T	H ₂	H ₃	W _R	H _R	D	h				d	P	E	M _R	M _P	M _Y	Block	Rail	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm				mm	mm	mm	mm	kN-m	kN-m	kN-m	kg	kg/m
RGH15CA	28	4	9.5	34	26	4	26	45	68	13.4	4.7	5.3	M4 x 8	6	7.6	10.1	15	16.5	7.5	5.7	4.5	30	20	M4 x16	11.3	24	0.311	0.173	0.173	0.20	1.8	
RGH20CA	34	5	12	44	32	6	36	57.5	86	15.8	6	5.3	M5 x 8	8	8.3	8.3	20	21	9.5	8.5	6	30	20	M5 x20	21.3	46.7	0.647	0.46	0.46	0.40	2.76	
RGH20HA							50	77.5	106	18.8																						
RGH25CA	40	5.5	12.5	48	35	6.5	35	64.5	97.9	20.75	7.25	12	M6 x 8	9.5	10.2	10	23	23.6	11	9	7	30	20	M6 x20	27.7	57.1	0.758	0.605	0.605	0.61	3.08	
RGH25HA							50	81	114.4	21.5																						
RGH30CA	45	6	16	60	40	10	40	71	109.8	23.5	8	12	M8 x10	9.5	9.5	10.3	28	28	14	12	9	40	20	M8 x25	39.1	82.1	1.445	1.06	1.06	0.90	4.41	
RGH30HA							60	93	131.8	24.5																						
RGH35CA	55	6.5	18	70	50	10	50	79	124	22.5	10	12	M8 x12	12	16	19.6	34	30.2	14	12	9	40	20	M8 x25	57.9	105.2	2.17	1.44	1.44	1.57	6.06	
RGH35HA							72	106.5	151.5	25.25																						
RGH45CA	70	8	20.5	86	60	13	60	106	153.2	31	10	12.9	M10x17	16	20	24	45	38	20	17	14	52.5	22.5	M12 x35	92.6	178.8	4.52	3.05	3.05	3.18	9.97	
RGH45HA							80	139.8	187	37.9																						
RGH55CA	80	10	23.5	100	75	12.5	75	125.5	183.7	37.75	12.5	12.9	M12x18	17.5	22	27.5	53	44	23	20	16	60	30	M14 x45	130.5	252	8.01	5.4	5.4	4.89	13.98	
RGH55HA							95	173.8	232	51.9																						

Figura 102 – Catálogo de guias lineares da HIWIN [74]

Com a análise dos valores da Figura 102 e com o recurso à equação (9) é determinado o fator de segurança estático, com o valor de 5,66.

$$f_{SL} = \frac{116}{20,5029} = 5,66 [-]$$

Recorrendo à equação (11) obtêm-se o valor estimado para a distância nominal de 32270,7 km, até que exista fadiga nas guias de rolos lineares.

$$L = \left(\frac{116}{20.5029} \right)^{\frac{10}{3}} \times 100 = 32270,7 \text{ km}$$

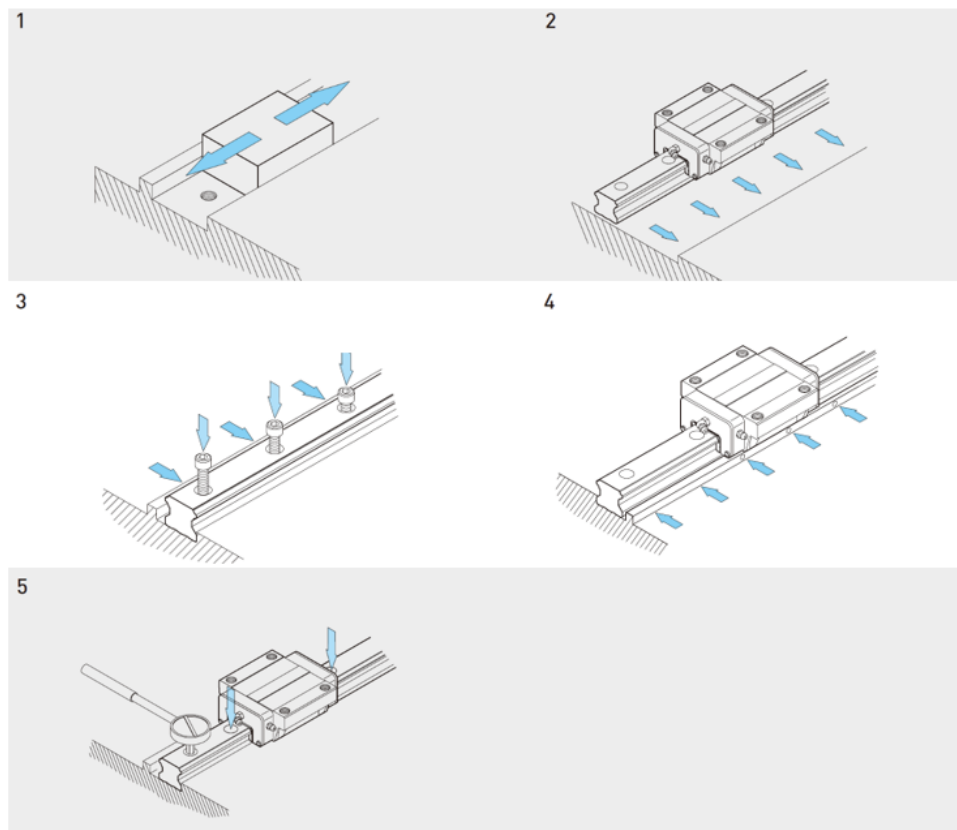
Convertendo os valores da distância nominal para a vida útil é aplicada a equação (12), alcançando um valor de 268923 horas. Se as guias trabalharem 24 horas por dias nos 365 dias do ano, alcançavam 30,7 anos de funcionamento, o que representa uma vida útil elevadíssima.

$$L_h = \frac{32270,7 \times 10^3}{2 \times 60} = 268923 \text{ h}$$

Era possível aplicar umas guias lineares de menores dimensões, mas para uniformizar toda a estrutura, foi colocado o mesmo tipo de guias lineares para a elevação do braço da coluna de soldadura.

3.5.4.1 Aplicação das guias lineares

Para a colocação das guias lineares é necessário executar os procedimentos representados na Figura 103.



1 – Antes de começar, remova toda a sujidade da superfície onde se aplica a guia com uma pedra apropriada.

2 – Colocar a guia suavemente no batente.

3 – Colocar os parafusos para fixar a guia.

4 – Apertar os parafusos para garantir que a calha está alinhada com o batente.

5 – Apertar os parafusos com uma chave dinamométrica para o momento necessário

Figura 103 – Colocação da guia linear (adaptado de [74])

3.5.5 Desenhos de conjunto e pormenor

Neste capítulo é apresentada a estrutura completa assim como os principais pormenores, nomeadamente os sistemas de transmissão, a lubrificação, o sistema de segurança entre outros pormenores.

Desenho de conjunto

Na Figura 104 está representada a estrutura completa da coluna de soldadura (ver anexo 6.8 – desenho de conjunto).

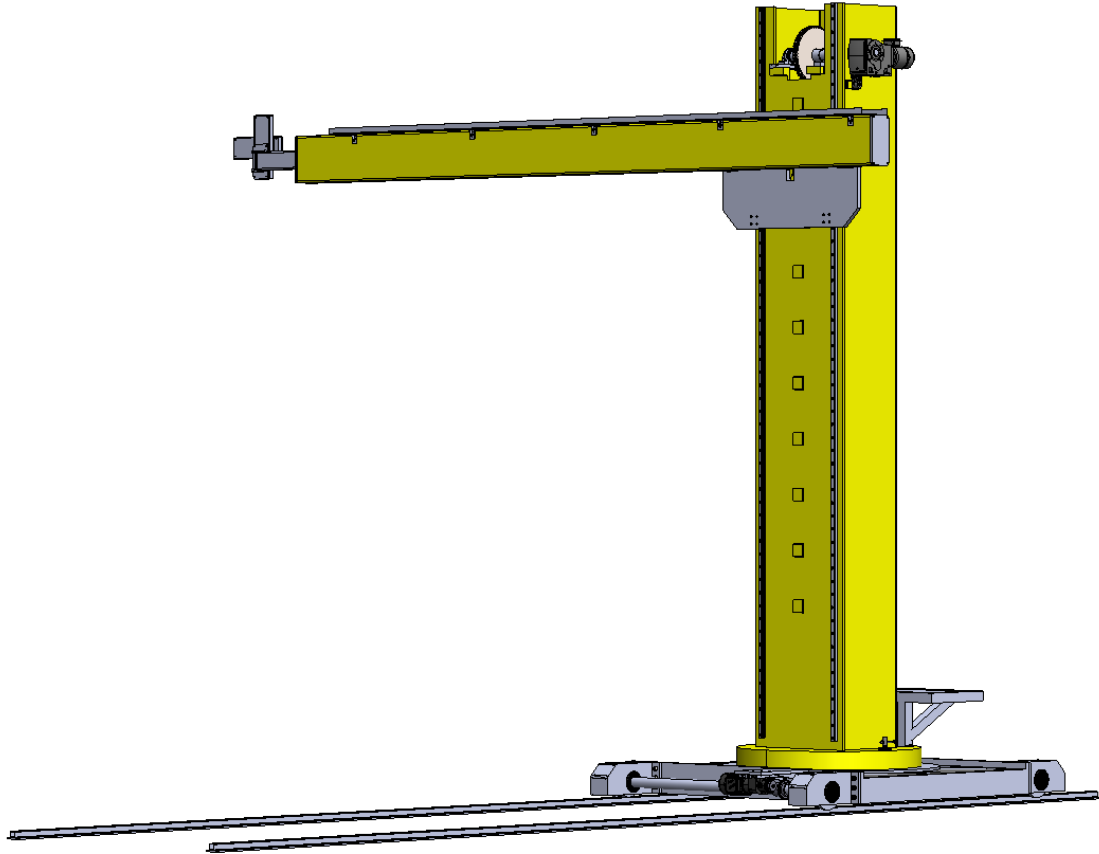


Figura 104 – Conjunto geral da coluna de soldadura

Vista explodida

Na Figura 105 é representada uma vista explodida de todos os constituintes que fazem parte da coluna de soldadura. Desta forma, é possível entender a sequência de montagem dos diversos componentes.

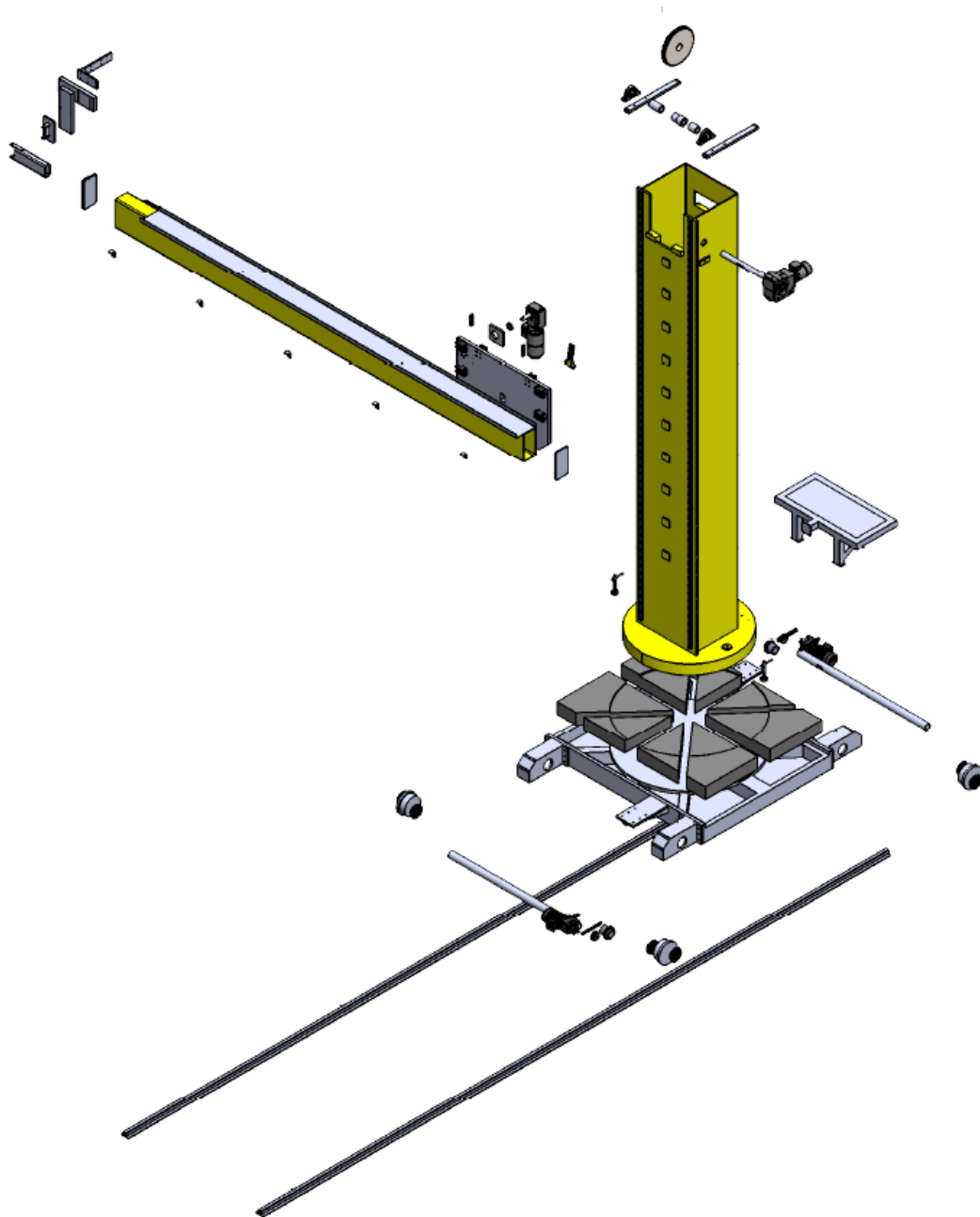


Figura 105 – Vista explodida da coluna de soldadura

Pormenores

Sistemas de transmissão

A Figura 106 apresenta a transmissão de potência do motorreductor para as rodas da estrutura através de um sistema de transmissão por corrente.

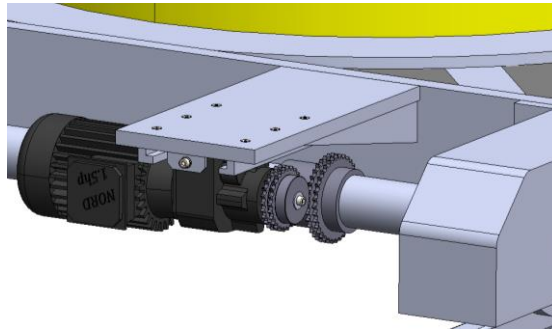


Figura 106 – Transmissão de potência do carro da estrutura (corrente)

Para a elevação do braço é utilizado um motorreductor. Este está ligado a uma roda de coroa, através do veio do motorreductor. Como se consegue verificar na Figura 107 é utilizada uma corrente dupla, pois trata-se de uma carga elevada.

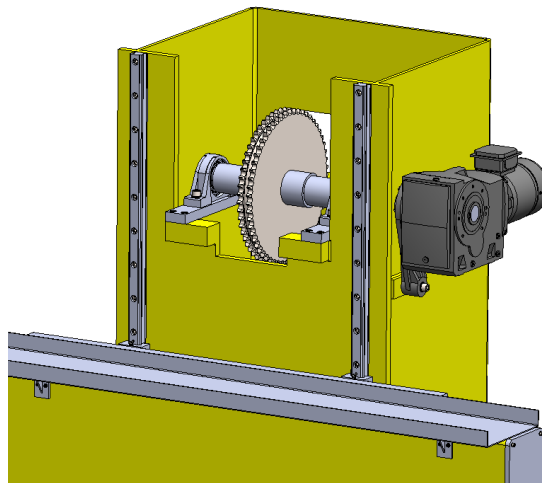


Figura 107 – Transmissão de potência para a elevação do braço (corrente)

Como o objetivo é transmitir uma potência rotativa num deslocamento linear de forma a deslocar do braço da estrutura, é então aplicado um motorreductor com uma roda dentada e uma cremalheira, como se observa na Figura 108.

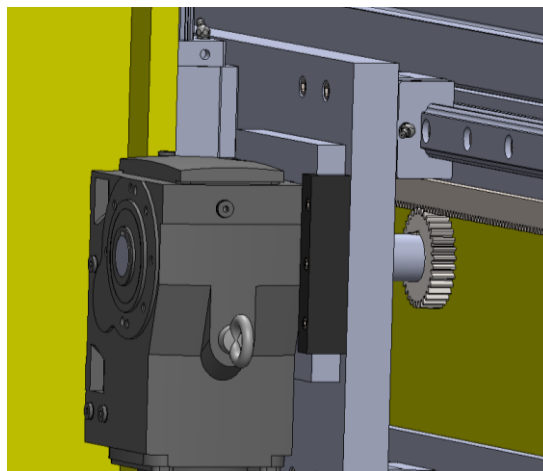


Figura 108 – Transmissão de potência para o deslocamento do braço (roda - cremalheira)

Lubrificação

Para a lubrificação das guias lineares e dos rolamentos é aplicada massa lubrificante manualmente no local indicado pelas Figura 109 e Figura 110 no *gracé*.

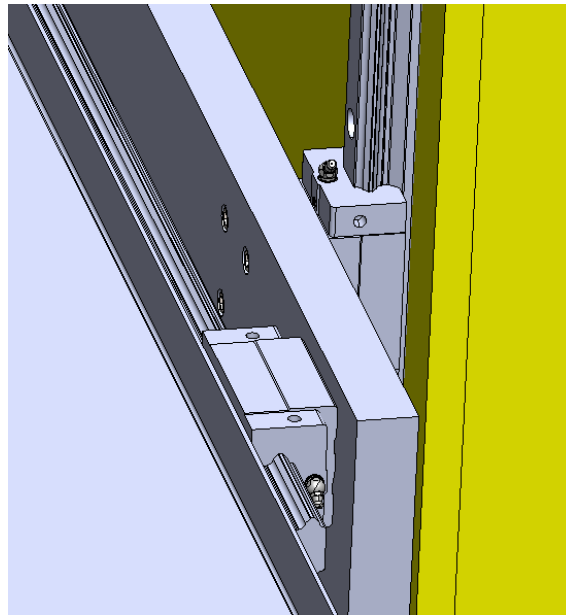


Figura 109 – Lubrificação de guias lineares

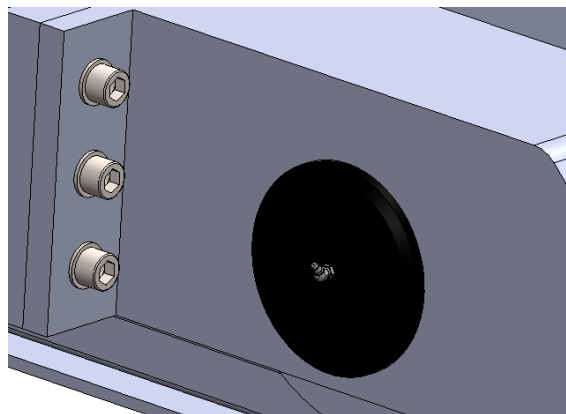


Figura 110 – Lubrificação de rolamentos

Sistema de segurança

O sistema de segurança mecânico serve para prevenir acidentes, na eventualidade de existir uma falha na corrente. Desta forma, quando a corrente quebra, o sistema representado na Figura 111 pela peça amarela inclina, pois esta tem um maior peso na zona de ligação com a corrente. Assim, este componente colide nas saliências da coluna, e bloqueia o movimento, garantindo a segurança.

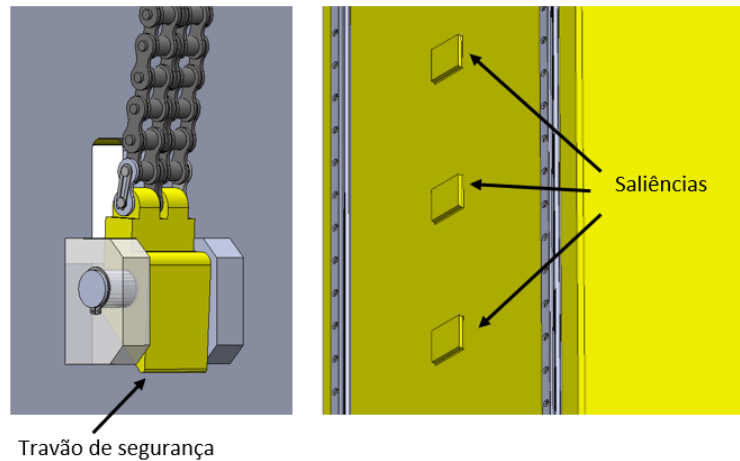


Figura 111 – Sistema de segurança da coluna de soldadura, travão de segurança e saliências

Outros pormenores

Através da Figura 112 é possível observar o suporte do quadro elétrico e da máquina de soldadura, assim como o travão manual utilizado para executar a rotação da estrutura e travar no local desejado.

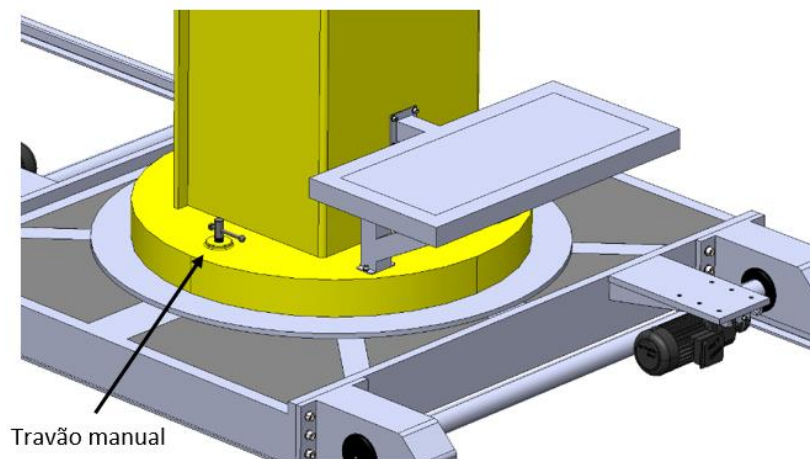


Figura 112 – Outros pormenores

3.5.6 Estrutura da máquina

A estrutura da máquina é descrita pela seguinte sequência:

- 1) Carril;
- 2) Base do carro;
- 3) Rodas;
- 4) Coluna;
- 5) Bacalhau;
- 6) Braço.

Carril – (Figura 113) é constituído por um veio longo de secção quadrada soldado a uma chapa espessa, que deverá ser aparafusada ao piso da empresa (ver anexo 6.9 – carril).

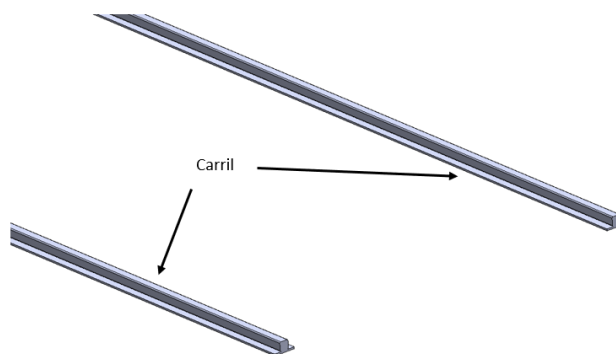


Figura 113 – Carris da coluna de soldadura

Base do carro – (Figura 114) é constituída por vários tubos de secção quadrada e uma chapa na parte inferior. Na parte superior é soldada uma chapa circular de elevada espessura e retificada, para posteriormente ser aplicada a coluna da estrutura (ver anexo 6.10 – base do carro).

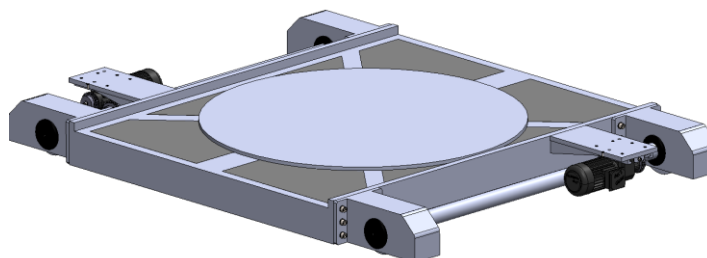


Figura 114 – Base do carro da coluna de soldadura

Rodas – (Figura 115) as rodas são feitas em aço através de torno CNC, com dois diâmetros exteriores diferentes. O primeiro diâmetro é de menor dimensão, mas tem uma espessura muito elevada, pelo facto de ser a zona que está em contacto com o carril. O segundo diâmetro é de maior dimensão, mas é de espessura menor, pois serve apenas para travamento. Como a roda se desloca sobre o carril e não existe nenhuma deslocação no sentido perpendicular ao carril, caso existisse deslocamento perpendicular e a roda não tivesse travamento, a máquina sairia facilmente do carril (ver anexo 6.11 – roda).

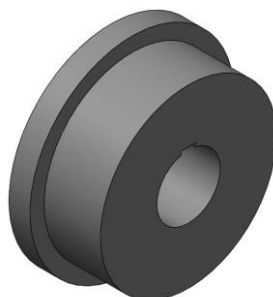


Figura 115 – Roda da coluna de soldadura

Coluna – (Figura 116) é constituída por uma chapa quinada em forma de “U” soldada a uma chapa de grande espessura. Assim, é possível produzir uma coluna do tipo tubo,

mas com grandes dimensões, o que não era possível de executar com tubos *standard*, por não existirem configurações de tubos tão elevadas. A chapa soldada é de elevada espessura para cumprir com a norma ISO dos parafusos (ver anexo 6.12 – coluna).

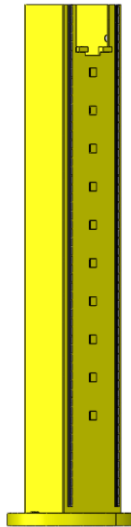


Figura 116 – Coluna da máquina de soldadura

Bacalhau – (Figura 117) é uma chapa de grande espessura que suporta o braço. Deste modo, os patins das guias lineares são apertados neste componente, assim como a corrente que faz subir e descer o braço (ver anexo 6.13 – bacalhau).

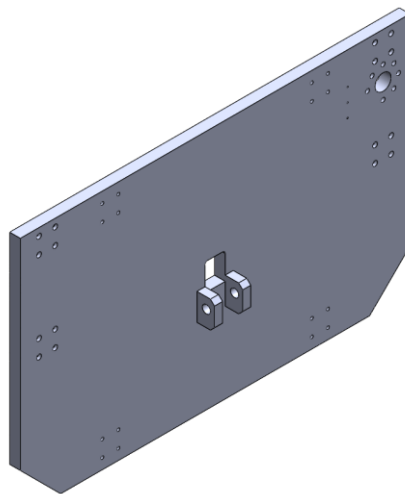


Figura 117 – Bacalhau da coluna de soldadura

Braço – (Figura 118) é o elemento que incorpora a tocha de soldadura. Este elemento é constituído por um tubo de grandes dimensões e guias lineares. Para colocar as guias é necessário soldar duas chapas retificadas, para existir espessura suficiente para apertar os parafusos da guia (ver anexo 6.14 – braço).

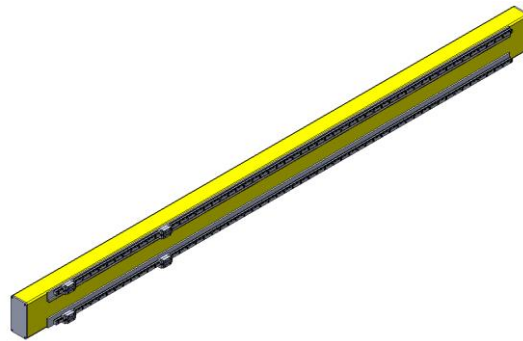


Figura 118 – Braço da coluna de soldadura

3.5.7 Sistema de alimentação de fio de soldadura

Através da Figura 56 é possível perceber o trajeto do fio de soldadura e é possível visualizar a localização dos motores para a alimentação junto ao *big pack*.

Após o estudo de vários motores possíveis de aplicar para a alimentação do fio de soldadura (elétricos ou pneumáticos) é desenvolvido um sistema diferente dos atuais. O sistema desenvolvido é um sistema de alimentação de fio que pode acoplar um motor pneumático *standard* de marcas concorrentes e satisfazer os eventuais alimentadores do fio de soldadura pneumáticos. Surge o primeiro protótipo do sistema de alimentação, como se pode observar na Figura 119.

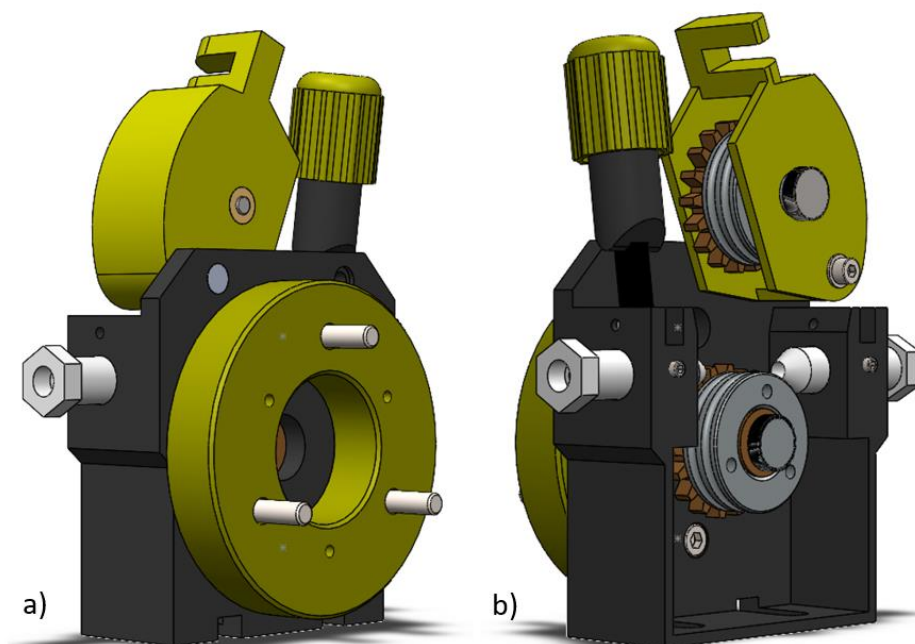


Figura 119 – Primeiro protótipo do sistema de alimentação de fio de soldadura a) vista de trás, b) vista de frente

Com uma análise mais profunda do sistema de alimentação conclui-se que seria necessário arredondar as quinas vivas. O protótipo possuía muitas quinas vivas que poderiam ser arredondadas, facilitando o processo de fabricação por maquinagem, como se pode observar na Figura 120.

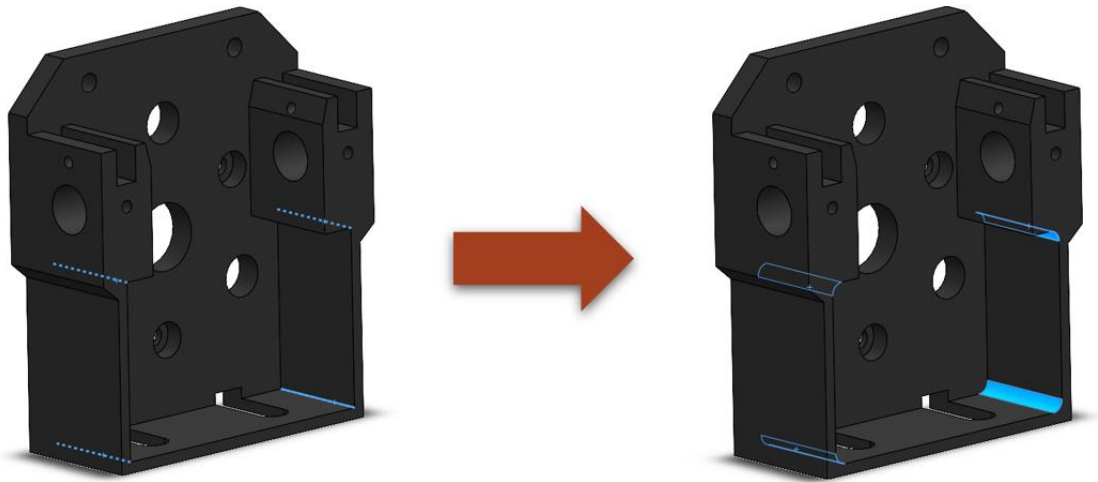


Figura 120 – Melhoria do componente

Por fim, é concluído o protótipo final, dando início à sua fabricação. O protótipo é projetado para ter uma fabricação simples e um funcionamento prático. Portanto, são colocados elementos de engates rápidos, para que não haja necessidade de o operador apertar e desapertar parafusos todas as vezes que precise de mudar os rolos do fio de soldadura. Na Figura 121 é apresentado o protótipo final (ver anexo 6.15 – sistema de alimentação de fio de soldadura).

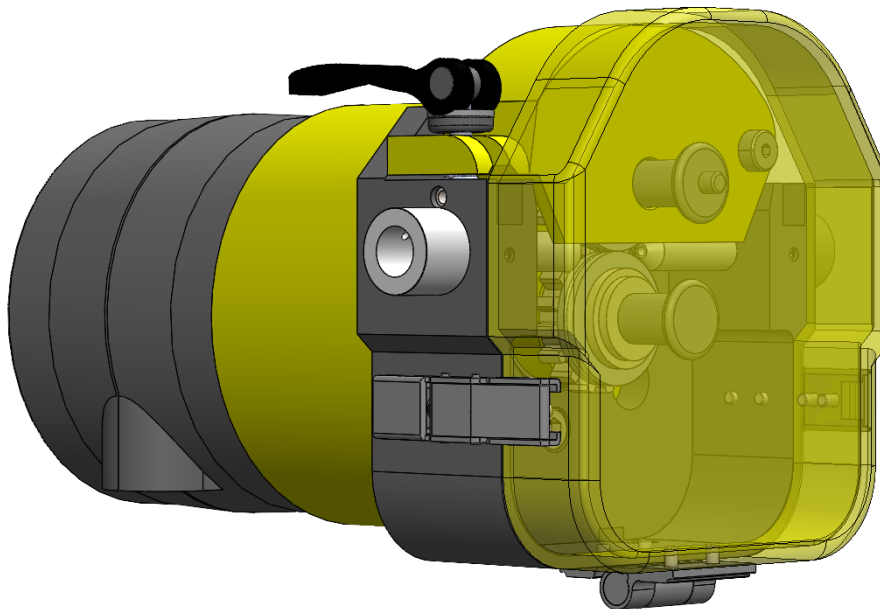


Figura 121 – Protótipo final do sistema de alimentação de fio de soldadura

Para uma melhor compreensão do sistema pneumático, é apresentada uma vista em corte longitudinal, mostrando o interior do sistema com a designação dos principais componentes (Figura 122).

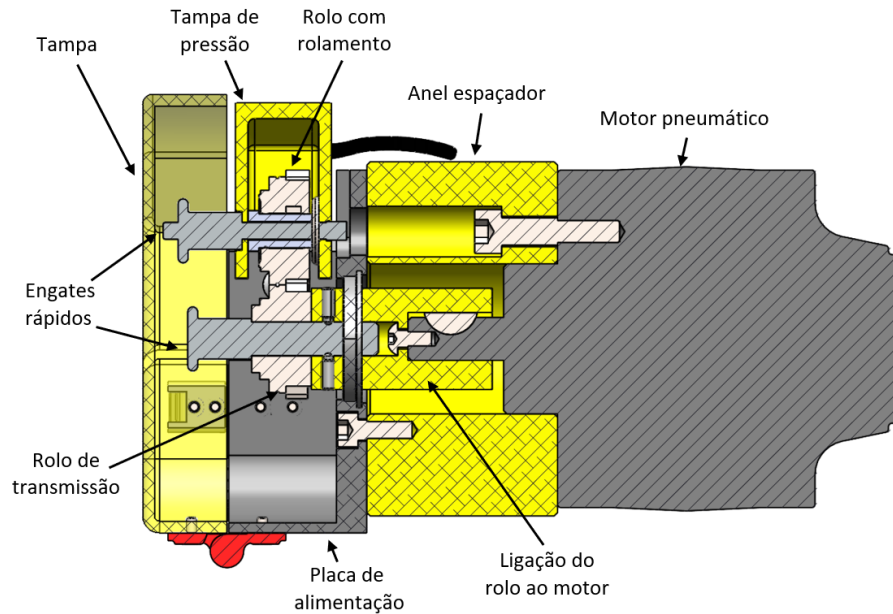


Figura 122 – Vista em corte do sistema de alimentação de fio de soldadura

Na vista explodida da Figura 123 é possível compreender a montagem do sistema da alimentação do fio.

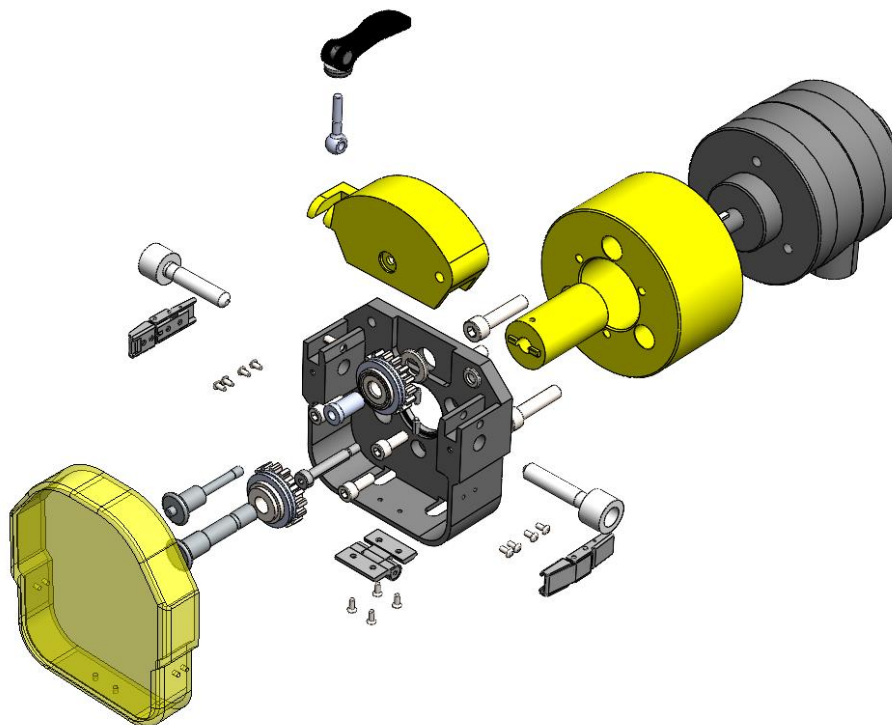


Figura 123 – Vista explodida do sistema de alimentação de fio de soldadura

Para o funcionamento correto do motor é essencial montar vários acessórios pneumáticos (ver anexo 6.16 – acessórios pneumáticos) como: válvula de fecho, regulador de pressão, lubrificador, válvula 5/3 e escapes rápidos (Figura 124).

Válvula de fecho – bloqueia o ar comprimido em ambas as direções pelo fecho manual.

Regulador de pressão – é um componente que regula a pressão do ar comprimido definida pelo utilizador.

Lubrificador – é um componente que introduz partículas de lubrificante no ar comprimido e com isso reduz o atrito e aumenta a vida útil dos componentes do sistema pneumático.

Válvula 5/3 – é uma electroválvula com 5 vias e 3 posições, estas válvulas são comuns de encontrar em sistema como cilindros em que precisão de parar numa posição intermediária ou também em paragens de emergência que no caso como a válvula é de centro fechado o cilindro fica sem qualquer movimento.

Escape rápido – estas válvulas são utilizadas para aumentar a velocidade dos cilindros expulsando o ar para a atmosfera muito rápido e diminui o ruído da expulsão do ar.

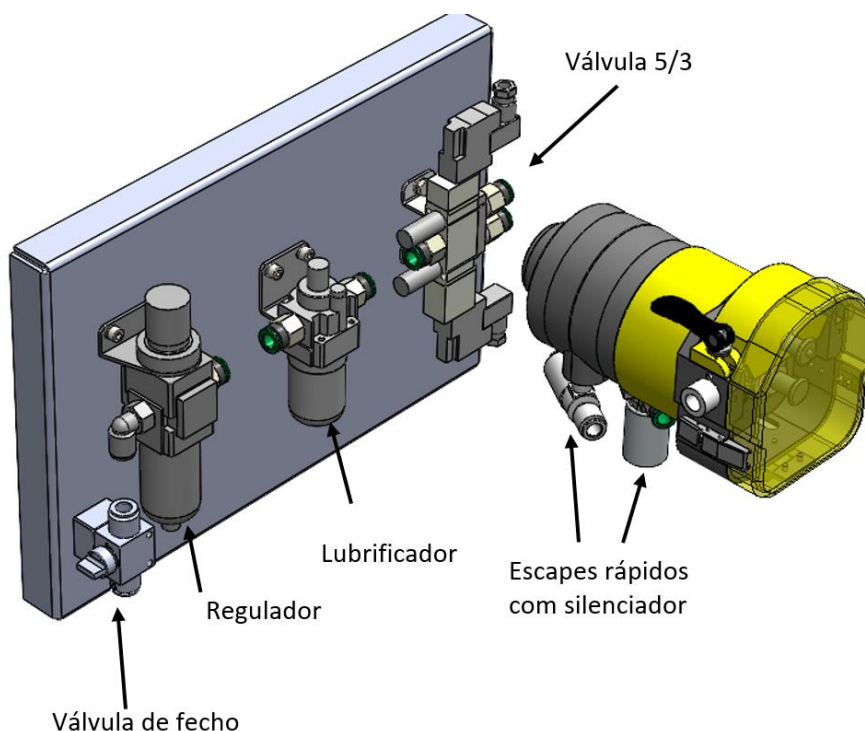


Figura 124 – Sistema de alimentação de fio pronto para funcionamento

3.5.7.1 Dimensionamento do motor pneumático

Com a aplicação de condutas para o transporte do fio de soldadura, o avanço do fio dentro da conduta é condicionado pelo coeficiente de atrito desenvolvido entre o fio de soldadura e a conduta. Quanto maior for o coeficiente de atrito, mais difícil é o deslocamento do fio dentro da conduta. Como o trajeto não é em linha reta, é importante ter em conta todas as curvas. Quanto mais curvas existirem, mais dificuldade existe na deslocação do fio ao longo do percurso.

Por isso, para determinar o motor pneumático que será acoplado no sistema de alimentação de fio, recorre-se à equação de Euler-Eytelwein. Esta equação é suficientemente precisa para projetar sistemas de transporte de fio [75]. Para a sua aplicação são necessários alguns requisitos:

- A força necessária para puxar o fio;
- O coeficiente de atrito da conduta selecionada;
- A soma dos raios da conduta.

A equação de Euler-Eytelwein toma a seguinte forma (equação (13)):

$$F = F_0 \times e^{\mu \times \alpha} \quad (13)$$

Como α é o ângulo total, a equação pode ser usada para que se possa somar todos os ângulos ao longo do percurso (equação (14)):

$$F = F_0 \times e^{\mu \times (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \dots + \alpha_n)} \quad (14)$$

Neste caso, F_0 é a força necessária para puxar o fio caso não exista nenhuma curva ou atrito nulo. Como isto não se verifica, é possível calcular a força necessária F_0 , através do comprimento do fio, diâmetro e massa específica do material. Deste modo, calculou-se o peso do fio, que corresponde à força mínima necessária a realizar caso o trajeto fosse o ideal. μ representa o coeficiente de atrito da conduta e α , como foi enunciado anteriormente, é o somatório de todos os ângulos realizados durante o percurso. A Figura 125 ajuda a uma melhor compreensão do significado de α .

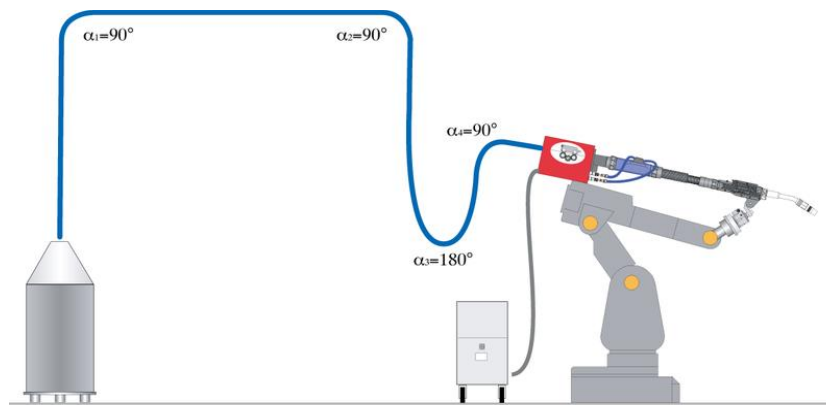


Figura 125 – Trajeto do fio de soldadura [76]

Para o caso em questão, F_0 será o peso do fio de soldadura:

$$F_0 = \pi \times r^2 \times h \times d \times g \quad (15)$$

Na equação (15) é possível observar que o peso do fio de soldadura é dado pelo produto do volume do cilindro pelo peso específico do material. Seguidamente, o dimensionamento do motor é calculado com o mesmo procedimento que se utilizou no cálculo do motor elétrico.

Conhecida a força tangencial necessária para o sistema de alimentação e o diâmetro dos rolos do sistema, é possível determinar o binário necessário para o motor em questão e, dessa forma, selecioná-lo através de um catálogo do fornecedor de motores pneumáticos. Selecionado o motor, e recorrendo à ficha de características, é possível saber com rigor a pressão de ar comprimido, que deverá ser fornecida para que o motor cumpra com os valores calculados, como se verifica na Figura 126.

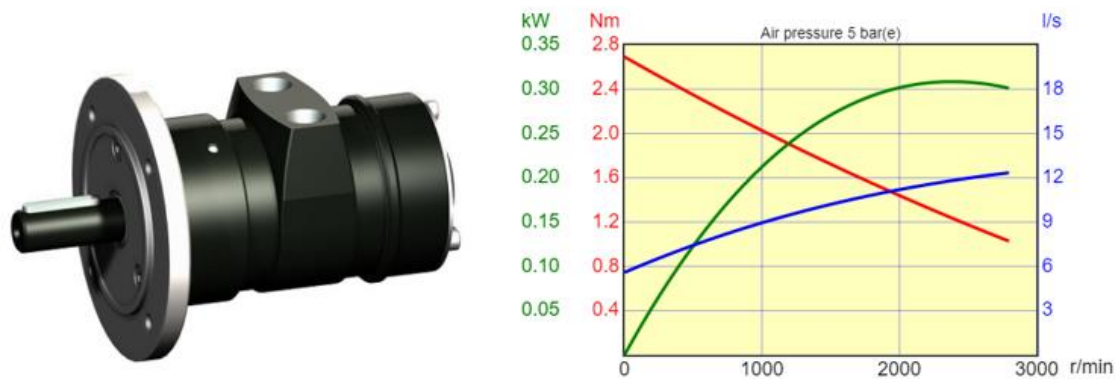
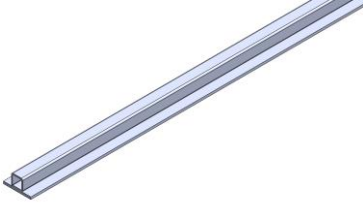
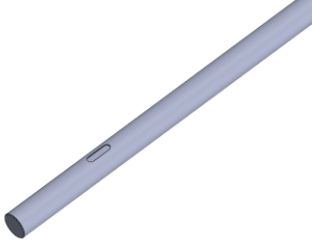


Figura 126 – Motor pneumático e curvas de características

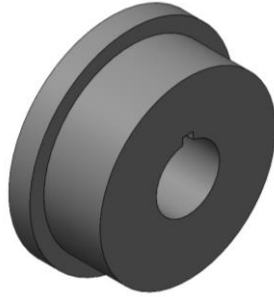
3.6 Componentes, material e processos de fabrico

Na Tabela 18 são representados os componentes principais da estrutura da máquina de soldadura, o processo de fabrico e o material.

Tabela 18 – Componentes e processo de fabrico da estrutura da máquina de soldadura

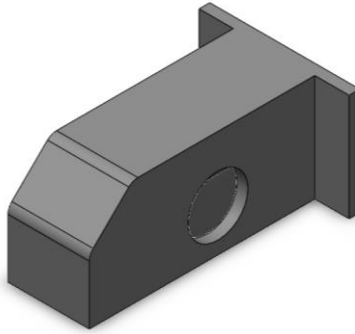
Designação	Componente	Processo de fabrico
Carril		<ul style="list-style-type: none"> • Processo de soldadura • Pintura
Veio		<ul style="list-style-type: none"> • Torno CNC • Fresadora convencional • Pintura

Roda



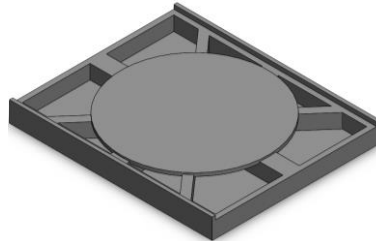
- Torno CNC
- Fresadora convencional
- Pintura

Suporte das rodas



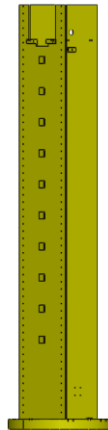
- Processo de serralharia
- Processo de soldadura
- Fresadora CNC
- Pintura

Carro (base)



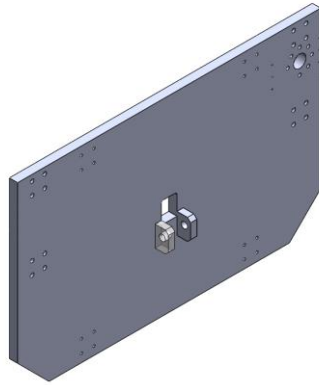
- Processo de serralharia
- Processo de soldadura
- Fresadora CNC
- Pintura

Coluna



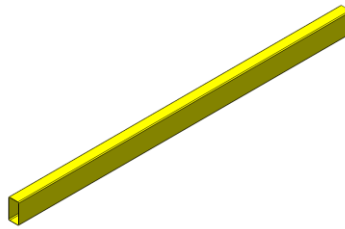
- Chapa quinada
- Processo de soldadura
- Fresadora CNC
- Pintura

Bacalhau



- Processo de serralharia
- Fresadora CNC
- Pintura

Braço



- Serralharia
- Soldadura
- Fresadora CNC
- Pintura

3.7 Sistema de comando

Toda a estrutura é automatizada por um setor especializado em automação. Desta forma, apenas é citado na dissertação um breve resumo sobre a automação da coluna de soldadura. A coluna de soldadura possui um autómato e um HMI para otimização.

O autómato possui toda a programação da coluna, enquanto o HMI proporciona a entrada e a saída de sinais que o operador fornece à máquina e a máquina ao operador. A máquina fornece informação ao operador, através dos seguintes componentes e podem-se observar na Figura 46, Figura 47, Figura 48 e Figura 127:

- Sensores como finais de curso, para que a máquina não ultrapasse os limites do curso útil;
- O laser e câmara para transmissão de imagem da soldadura em tempo real;
- O apalpador para ajudar na execução do cordão de soldadura.

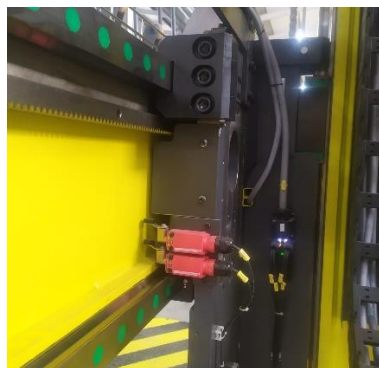


Figura 127 – Sensor de fim de curso

De modo geral, a automação de uma coluna de soldadura é bastante simples, pois é só necessário ligar a coluna de soldadura, colocar os parâmetros e deslocar a máquina para a posição desejada (elevar ou baixar o braço da estrutura e movimentá-lo na horizontal).

A Figura 128 mostra o *grafcet* das principais etapas do processo de automação.

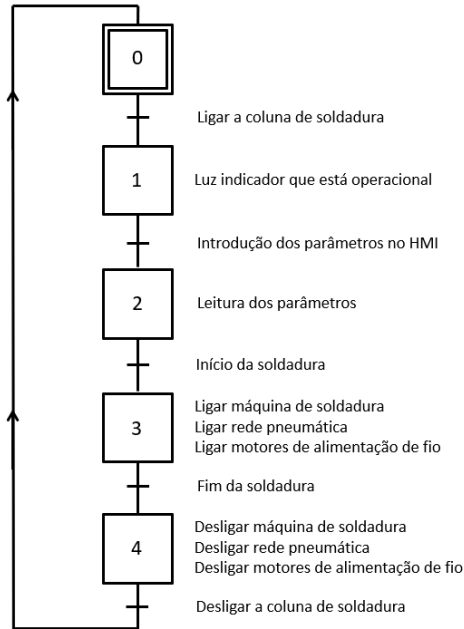
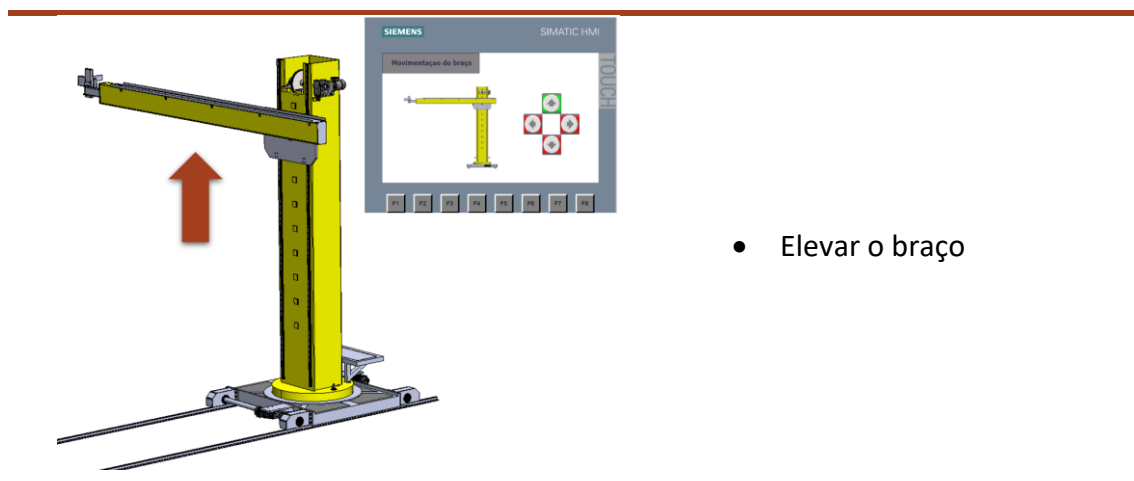
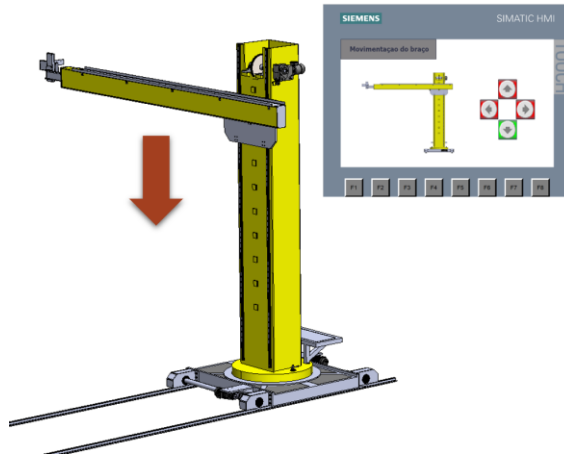


Figura 128 - *Grafcet* da automação da coluna de soldadura

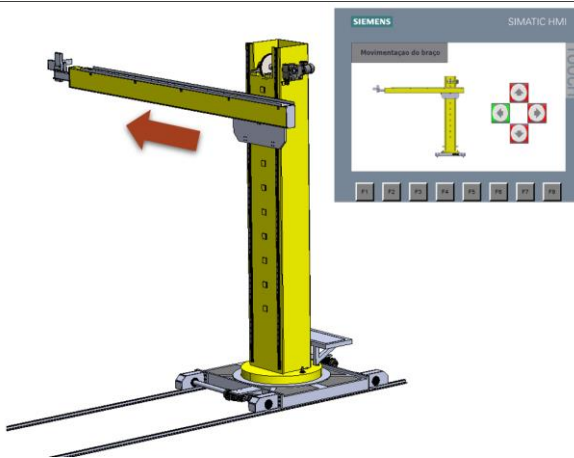
Neste caso no HMI é só necessário possuir quatro botões digitais para fazer as quatro movimentações necessárias nos dois eixos da estrutura e mais dois botões para o deslocamento da máquina no carril, como é possível entender numa sequência de figuras apresentadas na Tabela 19.

Tabela 19 – Posições da coluna de soldadura

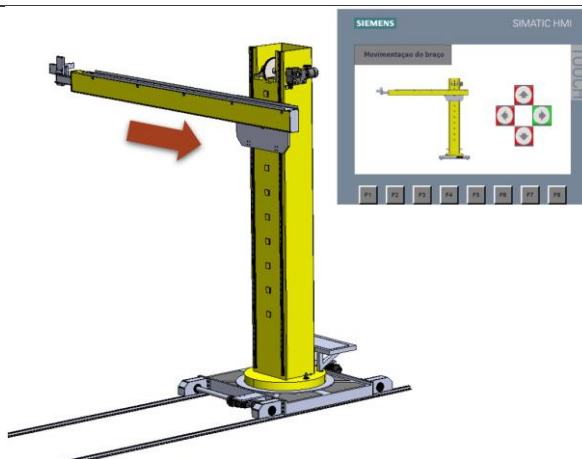




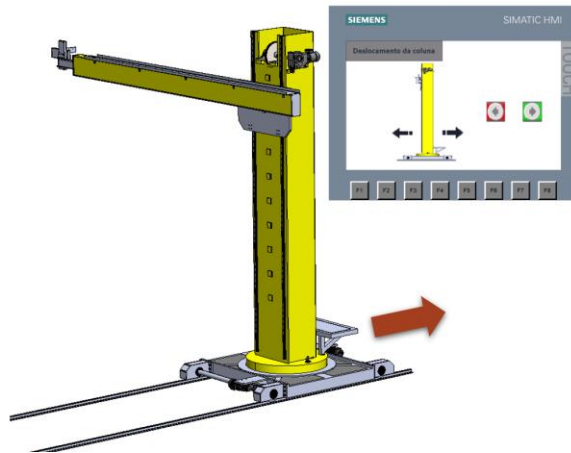
- Descer o braço



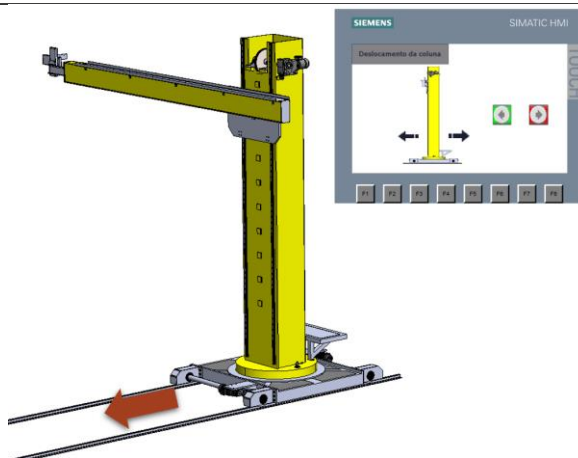
- Movimentar o braço para a esquerda



- Movimentar o braço para a direita



- Movimentar a estrutura para trás



- Movimentar a estrutura para a frente

No HMI é possível colocar os parâmetros de soldadura, assim como a velocidade de movimentação da estrutura. Deste modo, é possível realizar um cordão de soldadura estável e eficiente.

Os parâmetros introduzidos no HMI foram:

- Diâmetro do fio – 4 mm;
- Velocidade de alimentação do fio (adaptada aos parâmetros selecionados);
- Intensidade de corrente elétrica – 550 A;
- Tensão – 30 V.

A máquina é parametrizada para adaptar a taxa de material de adição e a velocidade do fio com a velocidade do braço da coluna de soldadura, assim como a velocidade de rotação dos viradores.

No sistema desenvolvido para a alimentação do fio, este funciona de forma independente com a coluna de soldadura. Este apenas pode ser atuado com a electroválvula 5/3 (5 vias e 3 posições), colocando assim o movimento no sentido desejado. Deste modo, é possível que o motor trabalhe num sentido: anti-horário a), parar b) e horário c), como se pode verificar no circuito pneumático da Figura 129.

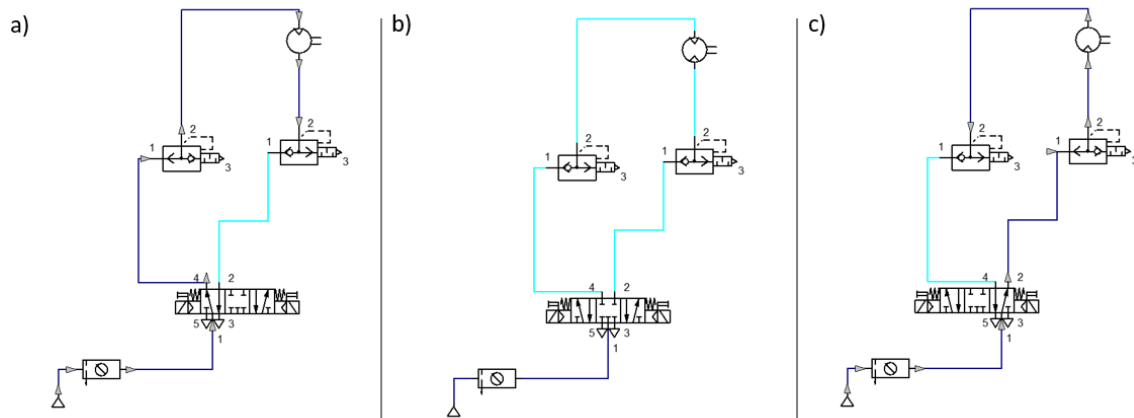


Figura 129 – Circuito pneumático: a) sentido anti-horário, b) não realiza qualquer movimento, c) sentido horário

3.8 Instruções de montagem

Toda a estrutura mecânica, elétrica e pneumática é transportada para o cliente pré-montada. Inicialmente, são aplicados os carris (Figura 130), que devem ser fixados ao piso da empresa do cliente, para que não se desloquem e causem algum acidente, pois toda a estrutura está apoiada sobre os carris.

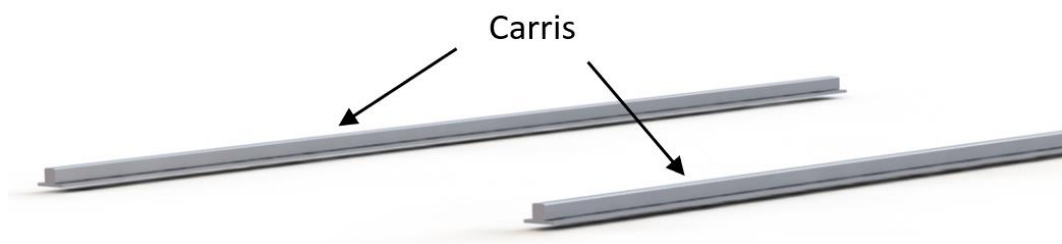


Figura 130 – Carris

De seguida, é colocado o carro representado na Figura 131, que representa a base de toda a estrutura. O carro é constituído pelas rodas e por uma base metálica com cimento, para elevar o peso, e assim baixar o centro de gravidade, fazendo com que a estrutura esteja segura. Relembrando que as figuras representadas estão simplificadas, estas não contêm motores elétricos nem parafusos.

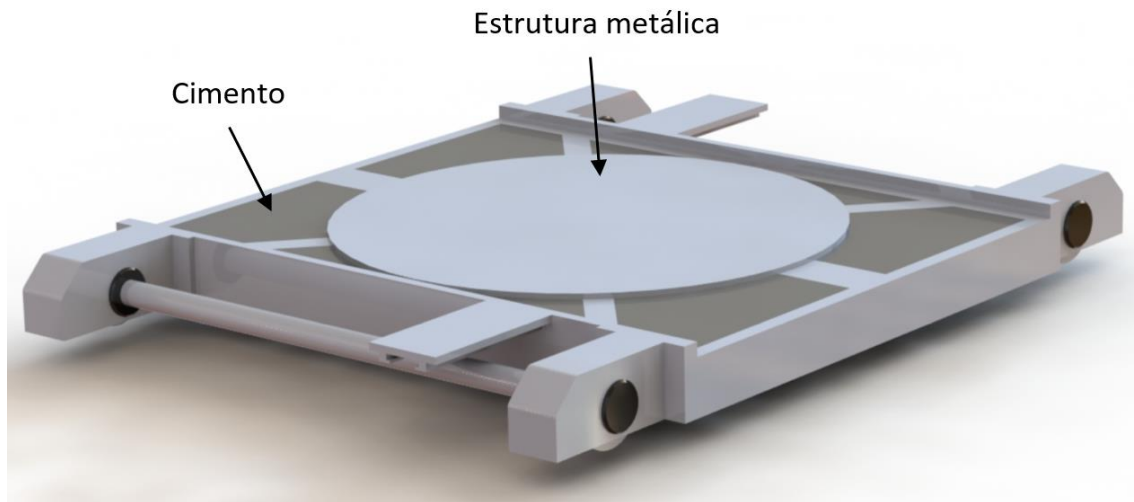


Figura 131 – Carro

Posteriormente é aplicada a coluna (Figura 132) apertada ao carro.

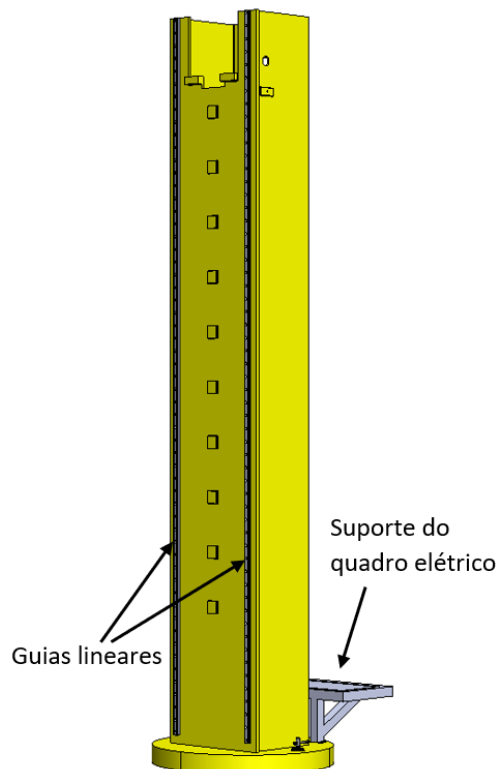


Figura 132 – Coluna

Seguidamente é montado o braço (Figura 133) com o bacalhau, guias lineares, suporte da tocha de soldadura e calha, onde irá toda a alimentação para a tocha de soldadura (fio de soldadura e energia elétrica). O braço é montado na coluna através dos patins das guias lineares, antes de ser aplicado o motorreductor e a corrente para fixar o braço em altura, até ao final da montagem da estrutura.

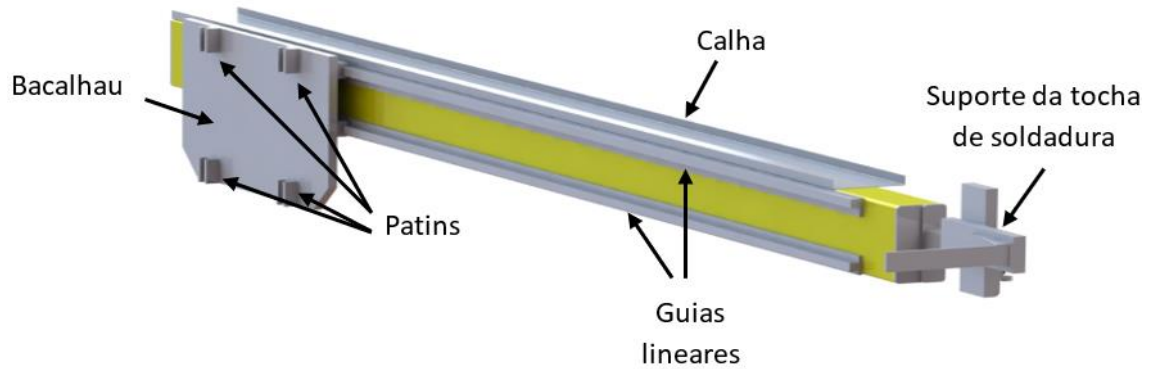


Figura 133 – Braço

Por fim, como se constata na Figura 134, é aplicada toda a cablagem e as respetivas ligações elétricas, alimentação de ar comprimido, energia elétrica e aplicação do aparelho de soldadura.

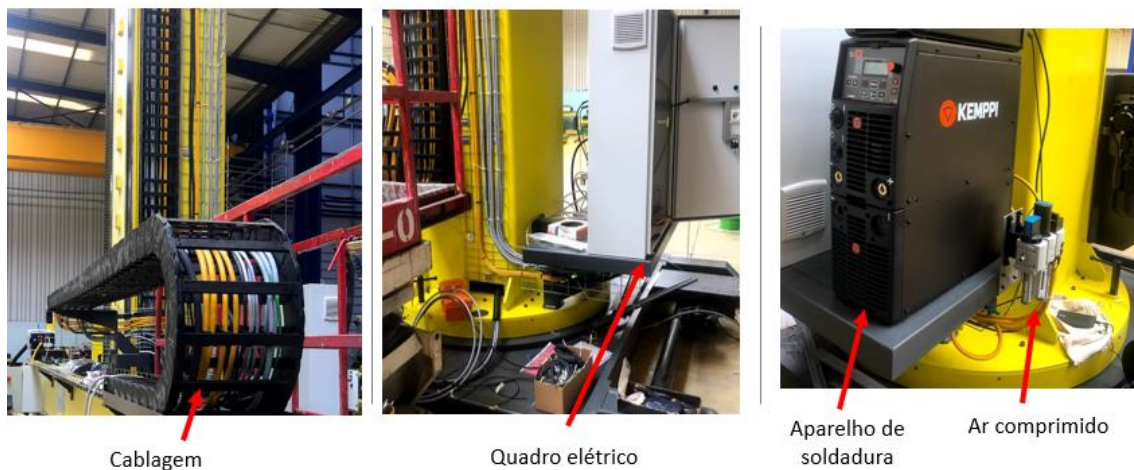


Figura 134 – Cablagem, ligações elétricas, ar comprimido e aparelho de soldadura

3.9 Manutenção do equipamento

No capítulo da manutenção do equipamento é retratado o processo de lubrificação dos principais constituintes da máquina de soldadura.

3.9.1 Lubrificação das guias lineares

A lubrificação das guias lineares é extremamente importante para o seu funcionamento. Caso não seja aplicada lubrificação na guia, a vida útil desta será muito reduzida devido ao aumento do coeficiente de atrito entre o patim e a guia.

As vantagens da lubrificação são as seguintes:

- Reduz o atrito entre as superfícies de contato, evitando a abrasão;
- Cria uma película de lubrificante entre as superfícies de rolamento e diminui a fadiga;
- Anti-corrosão.

Para guias lineares que não atingem uma velocidade de 60 m/min que é o caso em estudo, a lubrificação deve ser feita através de massa lubrificante (Figura 135). É recomendado que estas sejam lubrificadas a cada 100 km. Através da equação (16), é possível determinar a frequência de alimentação de lubrificante através da velocidade da guia linear.

$$T = \frac{100 \times 1000}{V_e \times 60} \text{ [h]} \quad (16)$$

$$T = \frac{100 \times 1000}{2 \times 60} = 833,33 \text{ h}$$

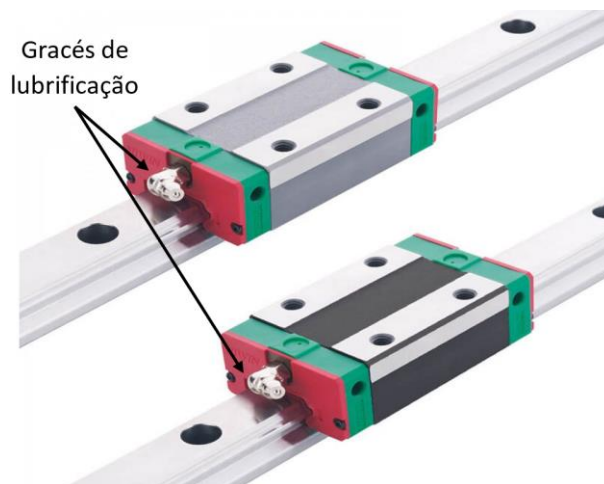


Figura 135 – Lubrificação das guias lineares [77]

3.9.2 Substituição de óleo dos motorreductores

Os redutores e motorreductores são fornecidos com lubrificante, já prontos a funcionar. Caso o lubrificante introduzido no motorreductor seja de origem mineral, este deve ser trocado a cada 10000 horas de funcionamento ou com um intervalo temporal de dois anos. Caso o lubrificante for de origem sintético, estes valores passam para o dobro. Em caso de operação em condições extremas, por exemplo humidade do ar elevada, ambiente agressivo e elevadas oscilações de temperatura, torna-se vantajoso reduzir os intervalos de troca do lubrificante. Quando é realizada a troca do lubrificante, é recomendável realizar uma limpeza ao motorreductor. Depois de trocar o lubrificante, é possível que ocorram pequenas variações no nível de óleo após as primeiras horas de funcionamento, pelo facto de o óleo ocupar os espaços dos canais de óleo lentamente. Desta forma, é recomendado, após duas horas de funcionamento, verificar o nível do

óleo com o motorreductor parado e frio. A troca do lubrificante do motorreductor deverá ser sempre de uma determinada origem (mineral ou sintético), não devendo ser misturado com um lubrificante de outra origem.

Antes de colocar o motorreductor em operação é necessário retirar a tampa do parafuso de exaustão, para evitar a formação de pressão no motorreductor.



Figura 136 – Substituição de óleo no motorreductor [78]

3.9.3 Lubrificação dos rolamentos

A correta lubrificação dos rolamentos é fundamental para prolongar a sua vida útil. É crucial a escolha de uma massa de lubrificante adequada à aplicação do rolamento, e a aplicação da quantidade necessária antes de o rolamento entrar em funcionamento. Durante o período de funcionamento, é necessário lubrificar periodicamente. É fornecida a quantidade de massa lubrificante a colocar e os intervalos de tempos corretos, através da ficha técnica do rolamento disponibilizada pelo fabricante, de forma a que o rolamento tenha o melhor desempenho e vida útil possíveis. É habitual usar métodos manuais de lubrificação, mas existem processos já otimizados para a lubrificação que acarretam muitas vantagens. A lubrificação contínua é um processo já automático, que possibilita o fornecimento de massa lubrificante na quantidade correta e livre de contaminação.

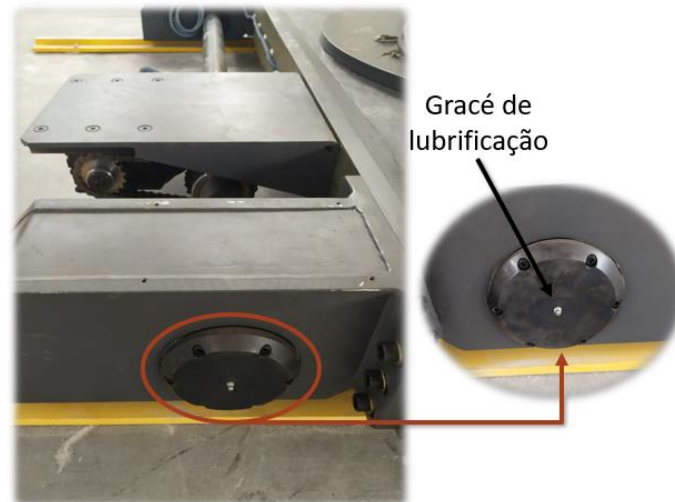


Figura 137 – Lubrificação de rolamentos

3.10 Análise de custos

Para o cálculo de uma estimativa de custos da produção de uma coluna de soldadura são considerados os diferentes processos para o fabrico, assim como a instalação no cliente e sua formação. A Tabela 20 apresenta os custos associados ao fabrico de uma coluna de soldadura com um curso de 6 por 6 metros. Desta forma, consegue-se perceber o custo de máquinas idênticas, variando apenas o valor do custo pelas dimensões das estruturas.

Tabela 20 – Análise de custos

Matriz de custos	
Engenharia	
Projeto 3D	10000 €
Projeto 2D	3000 €
Automação	6000 €
Compras/Materiais	
Aço	5000 €
Motor pneumático	1000 €
Motorreductores	6000 €
Guias lineares	5000 €
Máquinas de soldar	40000 €
Roda coroa	1500 €
Roda dentada e cremalheira	500 €

Material elétricos	18000 €
Componentes <i>standard</i>	3000 €
Fabrico	
Serralharia	
• Soldadura	5000 €
• Corte/quinagem	3000 €
Tratamentos	
• Térmicos	0 €
• Superficiais/pintura	4000 €
Maquinação	
• Torno	10000 €
• Fresadora CNC	20000 €
Montagem	
• Montagem mecânica/ elétrica	30000 €
• Ajustes	5000 €
• Ensaios	5000 €
Verificação e controlo	
• Tridimensional	1000 €
• <i>Laser tracker</i>	1000 €
Cliente	
Montagem	10000 €
Deslocamento (estrangeiro)	10000 €
Formação	6000 €
Acompanhamento	3000 €
Total	212000 €

CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

- 4.1 Conclusões
- 4.2 Propostas de trabalhos futuros

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 Conclusões

Nesta dissertação são retratados vários aspetos para o projeto e fabrico de uma estrutura metálica. A máquina projetada é semelhante a um robô de três eixos, adicionado de um eixo rotacional. Inicialmente, na empresa onde é desenvolvido o presente trabalho, as colunas robotizadas de arco submerso para soldadura de virolas apresentam algumas falhas na alimentação de fio de soldadura. Tendo por base esta falha, pretendeu-se projetar uma coluna de soldadura com um sistema otimizado para a alimentação de fio de soldadura. Para este efeito, foi utilizado um programa CAD com módulo integrado de MEF, para permitir o dimensionamento e a proposta de uma solução otimizada. A análise da coluna atual permitiu concluir que esta está sobredimensionada, pela observação das tensões impostas ao material, assim como do fator de segurança apresentado pela análise de MEF. No entanto, uma coluna de soldadura, para executar as operações exigidas com a precisão necessária, não necessita de apresentar um coeficiente de segurança particularmente elevado, mas sim ser bastante rígida. Desta forma, para garantir rigidez necessária, pode ser necessário chegar a uma solução possa estar sobredimensionada em termos de coeficiente de segurança, estudo este que foi realizado por MEF.

Seguidamente é executado o dimensionamento para todos os sistemas de movimento. Este processo consistiu no cálculo dos diferentes motorreductores através do peso da coluna de soldadura e do braço e a velocidade desejada. Foi atribuído um valor para as rodas dentadas, nomeadamente a que eleva o braço, as duas que promovem o movimento da coluna nos carris através de uma corrente e, por fim, a que faz com que o braço se desloque através de uma cremalheira. De seguida foram dimensionadas a corrente e a cremalheira que integram as rodas dentadas, no sentido de suportarem o peso do braço e garantir o deslocamento da coluna. Como a coluna de soldadura é uma máquina de carga elevada e não tem uma grande velocidade, foram escolhidas guias lineares de rolos, pois estas são as mais aconselhadas para este tipo de guiamento. Para o cálculo das guias foi utilizado o momento máximo exercido na estrutura, visto que é o esforço mais crítico nas guias, o que permitiu escolher uma guia que suporta este momento.

Posteriormente são apresentados os desenhos do conjunto completo em pormenor. Nestes desenhos é exibida a vista do conjunto geral, a vista explodida, para melhor compreender o processo de montagem da coluna e, por fim, os principais pormenores da máquina, tais como os sistemas de transmissão, sistema de segurança, pontos de

lubrificação e o travão. De seguida explica-se o procedimento de fabricação dos principais constituintes da coluna de soldadura.

Na última parte do capítulo do projeto é desenvolvido um sistema de alimentação de fio de soldadura pneumático. Para o desenvolvimento recorreu-se a uma investigação de vários métodos existenciais para a alimentação de fio, sendo estes elétricos ou pneumáticos. Desta forma foi criado um sistema onde é possível acoplar qualquer motor pneumático de diferentes marcas, o que permite apresentar um sistema bastante adaptativo. Para o dimensionamento do motor foi utilizada a fórmula de Euler-Eytelwein e, através da manipulação, foi possível obter o binário necessário para fornecer o fio de soldadura desde a bobine de fio até ao sistema de alimentação de fio de soldadura (elétrico) que se localiza junto à tocha de soldadura. Este desenvolvimento era o ponto fulcral do trabalho realizado, pois a empresa apresentava falhas na execução da soldadura pelo motivo de o sistema de alimentação de fio danificar o fio de soldadura. Este sistema foi produzido pela empresa pois fica mais económico que os sistemas atuais, fabricados por marcas concorrentes.

Toda a coluna de soldadura foi programada com recurso a um controlador lógico programável (PLC) e um HMI. Desta forma, foi possível otimizar a coluna de modo a simplificar o seu funcionamento, na medida em que o operador não precisa de grandes conhecimentos para operar com a coluna de soldadura.

Como os vários componentes instalados na coluna de soldadura precisam de manutenção foram apresentadas indicações sobre a lubrificação de vários equipamentos de forma a prolongar a sua vida útil.

Na última parte desta dissertação é apresentado o custo da coluna de soldadura, em vários aspetos de construção. Desta forma é possível compreender que os equipamentos usados têm um custo bastante elevado, o que tem como consequência um valor elevado para o cliente.

Em suma, conclui-se que os requisitos impostos, para combater as falhas inicialmente apresentadas no equipamento, foram cumpridos.

4.2 Propostas de trabalhos futuros

Para trabalhos futuros seria interessante desenvolver a segunda solução sugerida para sistema de alimentação de fio de soldadura (sistema elétrico) para que, no final, fosse possível comparar os dois sistemas e averiguar qual deles é mais vantajoso em desempenho e economicamente.

Estudar o processo de arco submerso noutras aplicações na indústria, pois pode ser benéfico por apresentar elevadas taxas de deposição de material

Desenvolver uma coluna de soldadura que seja mais económica e que tenha um desempenho semelhante.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES
DE INFORMAÇÃO**

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- [1] "Ligas de alumínio". [Online].Disponível em: <https://www.extrusal.pt/index.php?id=57>, [Consultado a: Janeiro de 2021].
- [2] "Perfil extraído de alumínio". [Online].Disponível em: <https://br.depositphotos.com/stock-photos/perfil-aluminio.html>, [Consultado a: Janeiro de 2021].
- [3] P. Soares, *Aços - Características e tratamentos*, Publindústria ed. 2010.
- [4] N. d. C. Sousa, "Influência do aperto de parafusos em ligações correntes em estruturas metálicas," Mestrado em Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, 2013.
- [5] "Parafusos sextavados interior e exterior". [Online].Disponível em: <https://candice1208.en.made-in-china.com/product/DqWEXuBwAikT/China-Bolts-DIN912-DIN-931-DIN-933-DIN934-DIN6923-.html>, [Consultado a: Dezembro de 2020].
- [6] "Norma portuguesa eurocódigo 3 - Projecto de estruturas de aço Parte 1-8: Projecto de ligações". [Online].Disponível em: https://www.leca.pt/sites/default/files/euroc%C3%B3digo_1/Eurocodigo%203%20Parte%201-8.pdf, [Consultado a: Janeiro de 2021].
- [7] I. C. Turner, *Engineering applications of pneumatics and hydraulics*. Routledge, 2014.
- [8] "Acionamento pneumático". [Online].Disponível em: <https://www.mtibrasil.com.br/pneumatica.php>, [Consultado a: Dezembro de 2020].
- [9] "Elevador hidráulico – acionamento hidráulico". [Online].Disponível em: <https://www.mundoedu.com.br/uploads/pdf/55cbc416013a8.pdf>, [Consultado a: Dezembro de 2020].
- [10] R. Crowder, *Electric drives and electromechanical systems: Applications and control*. Butterworth-Heinemann, 2019.
- [11] "Motor movifit CA com variador acoplado". [Online].Disponível em: <https://www.sew-eurodrive.de/products/inverter-technology/decentralized-installation-inverters/controller-movifit-mc-technology-for-movimot/controller-movifit-mc-technology-for-movimot.html>, [Consultado a: Dezembro de 2020].
- [12] J.-M. Franssen e P. V. Real, *Fire Design of Steel Structures: Eurocode 1: Actions on structures; Part 1-2: General actions--Actions on structures exposed to fire; Eurocode 3: Design of steel structures; Part 1-2: General rules--Structural fire design*. John Wiley & Sons, 2012.
- [13] "Eurocodes". [Online].Disponível em: <https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/>, [Consultado a: Janeiro de 2021].
- [14] F. J. G. Silva, *Tecnologia da Soldadura: Uma abordagem técnico-didática*, Publindústria ed. 2016.
- [15] K. Weman, *Welding processes handbook*. Elsevier, 2011.
- [16] "Soldadura através de eléctrodo revestido". [Online].Disponível em: <https://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/solda/argonsoldas/produtos/solda/consumiveis-de-soldagem-eletrodo-revestido>, [Consultado a: Novembro de 2020].
- [17] S. Christena, *Learn to weld: Beginning MIG welding and metal fabrication basics*. Crestline Books, 2014, p. 176.

- [18] "Método MIG-MAG". [Online].Disponível em: <https://www.sumig.com/pt/blog/post/tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-o-processo-de-soldagem-mig-mag>, [Consultado a: Novembro de 2020].
- [19] "Soldadura por fio fluxado". [Online].Disponível em: <https://www.esab.com.pt/pt/pt/filler-metals/index.cfm>, [Consultado a: Novembro de 2020].
- [20] "Soldadura do tipo TIG". [Online].Disponível em: <https://master-w.pt/meuservicos/tig/>, [Consultado a: Novembro de 2020].
- [21] "Soldadura do tipo plasma". [Online].Disponível em: <https://megaplasma.com.br/blog/as-vantagens-da-tecnologia-de-soldagem-a-plasma/>, [Consultado a: Novembro de 2020].
- [22] "Soldadura do tipo arco submerso". [Online].Disponível em: <https://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/solda/argonsoldas/produtos/solda/solda-arco-submerso>, [Consultado a: Novembro de 2020].
- [23] "Soldadura por pontos". [Online].Disponível em: <https://static2.olympus-ims.com/data/Image/appnotes/Spotweld.JPG?rev=11A9> [Consultado a: Novembro de 2020].
- [24] "Soldadura oxiacetilénica". [Online].Disponível em: <https://www.logicautomation.com.mx/post/soldadura-oxiacetil%C3%A9nica>, [Consultado a: Novembro de 2020].
- [25] "Soldadura laser". [Online].Disponível em: <https://www.eurobots.net/img/2.png> [Consultado a: Novembro de 2020].
- [26] "Soldadura por feixe de eletrões". [Online].Disponível em: https://img.directindustry.com/pt/images_di/photo-g/11660-8811622.jpg [Consultado a: Novembro de 2020].
- [27] L. Jeffus, *Welding: principles and applications*. Cengage Learning, 2020.
- [28] "Máquina de soldadura com alavanca". [Online].Disponível em: https://www.mavipal.pt/public/produtos/categoria/aparelhos_soldar, [Consultado a: Novembro de 2020].
- [29] "Inverter". [Online].Disponível em: <https://www.kgrspa.it/pt/produtos/comercializado/maquinas-de-solda-kemppi>, [Consultado a: Novembro de 2020].
- [30] D. J. Todd, *Fundamentals of robot technology: An introduction to industrial robots, teleoperators and robot vehicles*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [31] "RobotWorx". [Online].Disponível em: <https://www.robots.com/fag/what-are-the-main-types-of-robots>, [Consultado a: Janeiro 2021].
- [32] "Robô articulado e respetiva área de trabalho". [Online].Disponível em: http://www.ece.ufrgs.br/~rventura/Aula2B_tiposderobos.pdf, [Consultado a: Janeiro de 2021].
- [33] "Robô cartesiano e respetiva área de trabalho". [Online].Disponível em: http://www.obr.org.br/wp-content/uploads/2016/03/OBR2015_Gabarito_Nivel3.pdf, [Consultado a: Janeiro de 2021].
- [34] "Robô cilíndrico e respetiva área de trabalho". [Online].Disponível em: <https://robot.cfp.co.ir/en/robots/cylindrical>, [Consultado a: Janeiro de 2021].
- [35] "Robô polar e respetiva área de trabalho". [Online].Disponível em: <https://www.slideshare.net/AVINASHJURIANI/robotics-done>, [Consultado a: Janeiro de 2021].
- [36] "Robô SCARA e respetiva área de trabalho". [Online].Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/tipos-de-robos/>, [Consultado a: Janeiro de 2021].
- [37] "Robô delta pode revolucionar a produção na indústria". [Online].Disponível em: <http://www.group-promotion.com/entenda-como-o-robo-delta-pode-revolucionar-a-producao-na-industria/>, [Consultado a: Janeiro de 2021].
- [38] "Robô delta". [Online].Disponível em: <https://www.fanuc.eu/pt/pt/rob%C3%B4s/p%C3%A1gina-filtro->

- [rob%C3%B4s/delta-robots/s%C3%A9rie-m2/m-2ia-3s](#), [Consultado a: Janeiro de 2021].
- [39] J. N. Pires, A. Loureiro, e G. Bölmsjö, *Welding robots: technology, system issues and application*. Springer Science & Business Media, 2006.
- [40] R. Kumar, I. Dikshit, e A. Verma, "Experimental investigations and statistical modelling of dilution rate and area of penetration in submerged arc welding of SS316-L," *Materials Today: Proceedings*, 2020.
- [41] I. Shareef e C. Martin, "Effect of Process Parameters on Weld Spatter in Robotic Welding," *Procedia Manufacturing*, vol. 48, pp. 358-371, 2020.
- [42] M. Saravana Kumar e S. Rashia Begum, "Simulation of hybrid (LASER-TIG) welding of stainless steel plates using design of experiments," *Materials Today: Proceedings*, 2020.
- [43] R. Campilho, Publindústria, Ed. *Método de Elementos Finitos*. 2012.
- [44] E. Oñate, *Structural analysis with the finite element method. Linear statics: volume 2: beams, plates and shells*. Springer Science & Business Media, 2013.
- [45] R. Quey, P. R. Dawson, e F. Barbe, "Large-scale 3D random polycrystals for the finite element method: Generation, meshing and remeshing," *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 200, no. 17, pp. 1729-1745, 2011.
- [46] "Refinamento da malha". [Online].Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172007000400015, [Consultado a: Janeiro de 2021].
- [47] N. M. C. Pereira, "Desenvolvimento de Reservatórios em Materiais Compósitos," Mestrado em Engenharia mecânica, Feup - Faculdade de Engenharia, 2017.
- [48] "Análise do MEF em crash test na indústria automóvel". [Online].Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/An-example-vehicle-crash-simulation-with-finite-element-modeling_fig1_30859061, [Consultado a: Janeiro de 2021].
- [49] L. Kubicek, R. Staffa, T. Novotny, R. Vlachovsky, J. Bursa, S. Polzer, L. Lambert, e T. C. Gasser, "Abdominal Aortic Aneurysm Rupture Risk Prediction Based on Computer-aided Vascular Wall Stress Assessment Using Finite Element Method—The Future of Decision Making Process," *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, vol. 58, no. 6, pp. e306-e307, 2019.
- [50] B. Klein, *FEM*. Springer, 2015.
- [51] "Propriedades do material". [Online].Disponível em: http://corro4v072.blogspot.com/2008/03/propriedades-mecnicas_27.html, [Consultado a: Janeiro de 2020].
- [52] R. V. Petrova, *Introduction to static analysis using SolidWorks simulation*. CRC Press, 2014.
- [53] B. Wang, B. C. Khoo, Z. Q. Xie, e Z. J. Tan, "Fast centroidal Voronoi Delaunay triangulation for unstructured mesh generation," *Journal of Computational and Applied Mathematics*, vol. 280, pp. 158-173, 2015.
- [54] "Triangulação de delaunay". [Online].Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Triangula%C3%A7%C3%A3o_de_Delaunay#/media/Ficheiro:Delaunay_circumcircles_vectorial.svg, [Consultado a: Janeiro de 2021].
- [55] S. Kushwah, S. Parekh, e M. Mangrola, "Optimization of coil spring by finite element analysis method of automobile suspension system using different materials," *Materials Today: Proceedings*, 2020.
- [56] C.-C. Hsieh, C.-C. Hung, T.-J. Hsiao, e T.-C. Li, "Finite element analysis applied to the taper mechanism of excavator assembly alignment analysis and optimization," *Engineering Failure Analysis*, vol. 121, p. 105170, 2021.
- [57] P. Kumar e N. K. Jain, "Finite element analysis of femoral prosthesis using Ti-6Al-4 V alloy and TiNbZrTaFe high entropy alloy," *Materials Today: Proceedings*, 2020.
- [58] *Guias Lineares (Patins e Rail)*. [Online].Disponível em: <https://www.equinotec.com/produtos/rexroth-linear> Equinotec. [Consultado a: Abril de 2021].

- [59] "Apalpador em funcionamento". [Online].Disponível em: <https://www.hardfacingfty.com/pt/sub-arc-manipulator/>, [Consultado a: Abril de 2021].
- [60] *Wire drive components*. [Online].Disponível em: https://www.millerwelds.com/files/owners-manuals/o-cwf-50a_jet.pdf J. Engineering. 2021, [Consultado a].
- [61] C. Kaufman, "System and method for coordinating wire feeder motor operation," Patent US20060163230A1, 2007.
- [62] C. G. C. Perazzoli, "Wire feeding system," European Patent Office Patent EP2949416A2, 2014.
- [63] E. Enyedy, "Wire feed speed measurement device," United States Patent US20120160819A1, 2010.
- [64] Q. W. S. D. Nelson, "Welding systems with torque motor wire drive using calibration data," European Patent Office Patent EP2539100B1, 2010.
- [65] Wire-Wizard, "Wire pilot pneumatic wire feed assist," ed. Michigan, EUA, 2013.
- [66] Wire-Wizard, "Submerged arc & large wire welding solutions," Wire-Wizard, Ed., ed. Michigan, EUA.
- [67] Wire-Wizard, "Wire wizard polymer and extra flexible conduit," ed. Michigan, EUA, 2013.
- [68] Wire-Wizard, "Wire delivery & welding peripheral equipment," Wire-Wizard, Ed., ed. Michigan, EUA.
- [69] *Placa de aço*. [Online].Disponível em: <https://portuguese.alibaba.com/product-detail/steel-manufacturing-a36-steel-plate-weight-s235-s355-price-per-kg-s275-mild-hot-rolled-steel-sheet-62000254156.html> 2021, [Consultado a: Julho de 2021].
- [70] *Aço S235*. [Online].Disponível em: <http://www.ferpinta.pt/index.php?cat=26> Fertinta. [Consultado a: Julho de 2021].
- [71] NORD, "Catálogo - G1000 AR," NORD, Ed., ed. Aveiro, Portugal, 2009.
- [72] NORD, "Catálogo - G1035," Nord, Ed., ed. Aveiro, Portugal, 2009.
- [73] B. Moreira, "Catálogo técnico - Transmissões," L. Rolisa, Ed., ed. Maia, Portugal, 2007.
- [74] HIWIN, "Linear Guideway," H. T. Corp, Ed., ed. Taichung, Taiwan, 2019.
- [75] "10 - Yarn winding operations in braiding," in *Braiding Technology for Textiles*, Y. Kyosev, Ed.: Woodhead Publishing, 2015, pp. 231-254.
- [76] *Wire transport*. [Online].Disponível em: <https://migal.co/en/products/wire-transport> Migal. [Consultado a].
- [77] HIWIN, "Guias lineares HIWIN," ed, 2021.
- [78] P. F. Moreno, "Troca de óleo de um motoredutor," ed. JUNDIAÍ, 2021.

ANEXOS

6 ANEXOS

6.1 Motorreductor Nord 0,55 kW



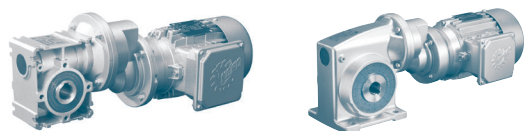
0,55 kW

P ₁ [kW]	n ₂ [min ⁻¹]	M ₂ [Nm]	f _B	i _{ges}	F _R [kN]	F _A [kN]	F _{R VL} [kN]	F _{A VL} [kN]	Type	mm	
										kg	
0,55	1,0	2630	1,2	1639,55	24,4	20,8	26,5	28,0	SK 43125 - 80 S/4	121	E48-49
	1,1	2387	1,3	1476,55	25,5	20,8	26,5	28,0			
	1,4	1973	1,6	1198,50	26,5	20,8	26,5	28,0			
	1,8	1567	2,0	928,25	26,5	20,8	26,5	28,0			
	2,1	1364	2,3	794,58	26,5	20,8	26,5	28,0			
	2,4	1509	1,9	689,67	26,5	20,8	26,5	28,0			
	2,7	1336	2,0	607,91	26,5	20,8	26,5	28,0			
3,0	1210	2,6	547,47	26,5	20,8	26,5	28,0				
3,7	995	3,0	444,38	26,5	20,8	26,5	28,0				
1,4	1831	0,9	1175,19	7,5	12,0	16,2	16,0	SK 33100 - 80 S/4	72	E44-45	
2,5	1089	1,5	660,60	15,3	12,0	16,2	16,0				
3,2	883	1,8	519,31	16,2	12,0	16,2	16,0				
3,5	808	2,0	468,37	16,2	12,0	16,2	16,0				
4,5	653	2,3	365,07	16,2	12,0	16,2	16,0				
5,5	551	2,7	299,28	16,2	12,0	16,2	16,0				
6,4	585	2,6	257,63	16,2	12,0	16,2	16,0				
2,6	1067	1,3	645,00	15,4	12,0	16,2	16,0	SK 32100 - 80 S/4	64	E42-43	
3,2	869	1,6	510,00	16,2	12,0	16,2	16,0				
6,8	462	3,1	241,50	16,2	12,0	16,2	16,0				
9,0	367	3,7	183,50	16,2	12,0	16,2	16,0				
9,9	337	4,0	165,50	16,2	12,0	16,2	16,0				
3,2	842	0,8	#520,20	12,0	12,0	10,8	12,0	SK 12080 - 80 S/4	38	E38-39	
4,1	672	1,1	#402,90	13,0	12,0	12,2	12,0				
5,9	608	1,2	#276,92	13,0	12,0	12,6	12,0				
7,0	422	1,7	234,60	9,3	9,0	13,0	12,0				
8,8	349	1,9	187,17	9,7	9,0	13,0	12,0				
10	302	2,2	157,59	9,9	9,0	13,0	12,0				
12	270	2,4	138,21	10,0	9,0	13,0	12,0				
13	246	2,5	123,42	10,1	9,0	13,0	12,0				
15	216	2,7	106,08	10,2	9,0	13,0	12,0				
17	195	2,9	94,35	10,2	9,0	13,0	12,0				
21	191	3,4	78,91	10,2	9,0	13,0	12,0				
25	163	3,9	66,44	10,3	9,0	13,0	12,0				
28	144	4,2	58,27	10,0	9,0	13,0	12,0				
32	130	4,4	52,03	9,6	9,0	13,0	12,0				
8,4	427	0,8	#195,86	5,7	7,8	9,4	10,0				SK 12063 - 80 S/4
9,0	325	1,0	183,60	6,7	7,7	10,1	10,0				
10	292	1,1	162,18	7,0	7,7	10,3	10,0				
11	264	1,1	144,33	7,2	7,7	10,4	10,0				
14	223	1,3	118,32	7,4	7,7	10,6	10,0				
16	200	1,5	104,04	7,6	7,7	10,7	10,0				
18	180	1,6	92,31	7,6	7,7	10,8	10,0				
21	180	1,7	77,40	7,6	7,7	10,8	10,0				
24	161	1,8	68,37	7,7	7,7	10,8	10,0				
27	144	1,9	60,85	7,8	7,7	10,8	10,0				
33	120	2,2	49,88	7,6	7,7	10,9	10,0				
37	107	2,3	43,86	7,3	7,7	10,9	10,0				
42	95,5	2,6	38,92	7,1	7,7	10,9	10,0				
47	91,7	2,9	34,89	6,8	7,7	10,9	10,0				
58	75,8	3,2	28,61	6,4	7,7	11,0	10,0				
14	208	0,8	114,75	4,7	5,6	6,1	8,0	SK 02050 - 80 S/4	24	E30-31	
18	172	1,0	92,82	5,0	5,6	6,1	8,0				
20	153	1,1	80,58	5,2	5,6	6,1	8,0				
25	151	1,1	65,25	5,2	5,6	6,1	8,0				
29	133	1,3	57,38	5,3	5,6	6,1	8,0				
32	119	1,3	50,63	5,4	5,6	6,1	8,0				
40	97,5	1,6	40,95	5,2	5,6	6,1	8,0				
46	85,8	1,8	35,55	5,0	5,6	6,1	8,0				
53	80,9	1,9	30,94	4,7	5,6	6,1	8,0				
61	71,4	2,2	27,21	4,5	5,6	6,1	8,0				
69	63,4	2,4	24,01	4,4	5,6	6,1	8,0				
85	51,7	2,8	19,42	4,2	5,6	6,1	8,0				
97	45,3	2,7	16,86	4,0	5,6	6,1	8,0				
111	39,8	2,8	14,72	3,9	5,6	6,1	8,0				
125	36,6	3,3	13,18	3,6	5,5	6,1	8,0				
142	32,5	3,5	11,63	3,5	5,4	6,1	8,0				
175	26,4	4,2	9,41	3,3	5,2	6,1	8,0				
201	23,1	4,8	8,17	3,2	5,0	6,1	8,0				
230	20,3	5,2	7,13	3,1	4,9	6,1	8,0				



⇨ A54

6.2 Motorreductor Nord 0,25 kW



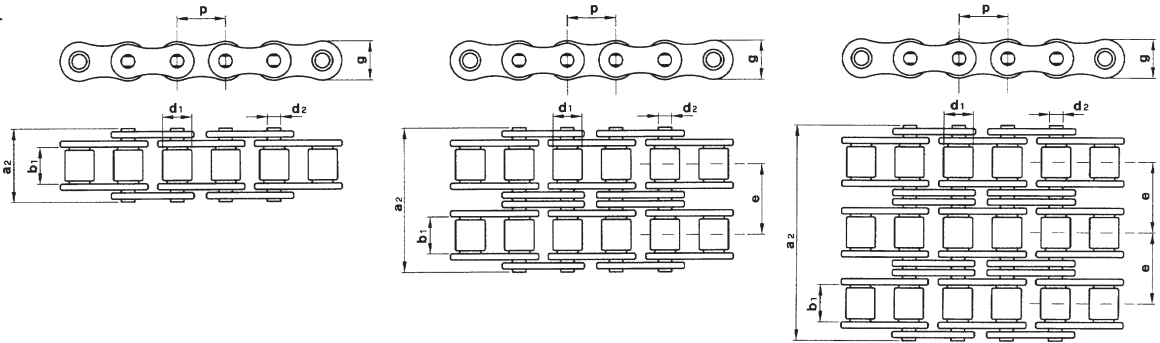
0,25 kW

1 SI, 1 SMI - Motoredutores de engrenagens helicoidais - rosca sem fim

P ₁ [kW]	n ₂ [min ⁻¹]	M ₂ [Nm]	f _B	i _{ges}	i _{sch}	i _{vor}	F _R	F _{RF} [kN]	Motoredutor			IE1 kg	mm H-D B		
									IE1	IE2	IE3				
0,25	2,2	384	0,9	800	80	10	8,0	4,1	SK 1SI 75/H10 IEC71 - 71 S/4				B51		
	2,9	335	1,1	600	60	10	8,0	4,3							
	3,5	304	1,2	500	50	10	8,0	4,3							
	4,3	267	1,5	400	40	10	8,0	4,4							
	5,8	241	1,5	300	30	10	8,0	4,4							
	6,9	213	1,8	250	25	10	8,0	4,4							
	8,6	181	2,2	200	20	10	8,0	4,5							
	12	144	3,0	150	15	10	8,0	4,5							
	14	130	2,7	125	12	10	8,0	4,5							
	17	108	3,4	100	10	10	8,0	4,5							
	23	83,5	3,7	75	7,50	10	8,0	4,5							
	35	58,5	3,7	50	5,00	10	8,0	4,6							
														22	B51
	3,3	295	0,8	500	50	10	3,7	1,7	SK 1SI 63/H10 IEC71 - 71 S/4				B50		
	4,2	260	0,9	400	40	10	4,2	1,9							
	5,6	218	1,2	300	30	10	4,7	2,1							
	6,7	211	1,0	250	25	10	4,8	2,2							
	8,4	180	1,3	200	20	10	5,0	2,3							
	11	144	1,8	150	15	10	5,2	2,4							
	13	131	1,6	125	12,5	10	5,3	2,4							
	17	109	1,7	100	10	10	5,4	2,5							
	22	84,6	1,7	75	7,5	10	5,5	2,5							
	33	59,6	1,8	50	5	10	5,6	2,5							
												14		B50	
	8,4	175	0,8	200	20	10	4,8	2,3		SK 1SI 50/H10 IEC71 - 71 S/4					B50
	11	141	1,0	150	15	10	4,8	2,4							
	13	129	0,9	125	12,5	10	4,8	2,4							
	17	107	1,1	100	10	10	4,8	2,5							
	22	83,4	1,5	75	7,5	10	4,8	2,5							
	33	58,9	1,7	50	5	10	4,8	2,5							
													12	B50	
	22	81,6	0,9	75	7,5	10	2,5	1,0	SK 1SI 40/H10 IEC71 - 71 S/4					B50	
	33	58,0	1,1	50	5	10	2,7	1,1							
													10	B50	

6.3 Correntes de rolos

Correntes de Rolos – Norma Europeia



CORRENTES DE ROLOS SIMPLES - DIN 8187

ISO Nr.	p		b ₁ mm min.	d ₂ mm	d ₁ mm max.	a ₂ mm max.	g mm max.	F ₈ min. N	q kg / m ≈
	mm	polegadas							
04-1	6	-	2,80	1,85	4,00	7,4	5,00	3.000	0,12
05B-1	8	-	3,00	2,31	5,00	8,6	7,11	4.600	0,18
06B-1	9,525	3/8"	5,72	3,28	6,35	13,5	8,26	9.100	0,41
081-1	12,7	1/2"	3,30	3,66	7,75	10,2	9,91	8.200	0,28
083-1	12,7	1/2"	4,88	4,09	7,75	12,9	10,30	12.000	0,44
084-1	12,7	1/2"	4,88	4,09	7,75	14,8	11,15	16.000	0,49
08B-1	12,7	1/2"	7,75	4,45	8,51	17,0	11,81	18.200	0,70
10B-1	15,875	5/8"	9,65	5,08	10,16	19,6	14,73	22.700	0,95
12B-1	19,05	3/4"	11,68	5,72	12,07	22,7	16,13	29.500	1,25
16B-1	25,4	1"	17,02	8,28	15,88	36,1	21,08	58.000	2,70
20B-1	31,75	1 1/4"	19,56	10,19	19,05	43,2	26,42	95.000	3,60
24B-1	38,1	1 1/2"	25,40	14,63	25,40	53,4	33,40	170.000	6,70
28B-1	44,45	1 3/4"	30,99	15,90	27,94	65,1	37,08	200.000	8,30
32B-1	50,8	2"	30,99	17,81	29,21	67,4	42,29	260.000	10,50
40B-1	63,5	2 1/2"	38,10	22,89	39,37	82,60	52,90	355.000	16,99

CORRENTES DE ROLOS DUPLA - DIN 8187

ISO Nr.	p		b ₁ mm min.	d ₂ mm	d ₁ mm max.	a ₂ mm max.	g mm max.	e mm	F ₈ min. N	q kg / m ≈
	mm	polegadas								
06B-2	9,525	3/8"	5,72	3,28	6,35	23,8	8,26	10,24	17.300	0,78
08B-2	12,7	1/2"	7,75	4,45	8,51	31,0	11,81	13,92	31.800	1,35
10B-2	15,875	5/8"	9,65	5,08	10,16	36,2	14,73	16,59	45.400	1,85
12B-2	19,05	3/4"	11,68	5,72	12,07	42,2	16,13	19,46	59.000	2,50
16B-2	25,4	1"	17,02	8,28	15,88	68,0	21,08	31,88	110.000	5,40
20B-2	31,75	1 1/4"	19,56	10,19	19,05	79,7	26,42	35,45	180.000	7,20
24B-2	38,1	1 1/2"	25,40	14,63	25,40	101,8	33,40	48,36	324.000	13,50
28B-2	44,45	1 3/4"	30,99	15,90	27,94	124,7	37,08	59,56	381.000	16,60
32B-2	50,8	2"	30,99	17,81	29,21	126,0	42,99	58,55	495.000	21,00
40B-2	63,5	2 1/2"	38,10	22,89	39,37	154,0	52,90	72,29	630.000	33,61

CORRENTES DE ROLOS TRIPLA - DIN 8187

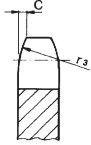
ISO Nr.	p		b ₁ mm min.	d ₂ mm	d ₁ mm max.	a ₂ mm max.	g mm max.	e mm	F ₈ min. N	q kg / m ≈
	mm	polegadas								
06B-3	9,525	3/8"	5,72	3,28	6,35	34,0	8,26	10,24	25.400	1,20
08B-3	12,7	1/2"	7,75	4,45	8,51	44,9	11,81	13,92	45.400	2,00
10B-3	15,875	5/8"	9,65	5,08	10,16	52,8	14,73	16,59	68.100	2,80
12B-3	19,05	3/4"	11,68	5,72	12,07	61,7	16,13	19,46	88.500	3,80
16B-3	25,4	1"	17,02	8,28	15,88	99,9	21,08	31,88	165.000	8,00
20B-3	31,75	1 1/4"	19,56	10,19	19,05	116,1	26,42	35,45	270.000	11,00
24B-3	38,1	1 1/2"	25,04	14,63	25,40	150,2	33,40	48,36	485.000	21,00
28B-3	44,45	1 3/4"	30,99	15,90	27,94	184,3	37,08	59,56	571.000	25,00
32B-3	50,8	2"	30,99	17,81	29,21	184,5	42,99	58,55	743.000	32,00
40B-3	63,5	2 1/2"	38,10	22,89	39,37	223,8	52,90	72,29	1.057.000	50,04

6.4 Roda de coroa

Coroas	Z	de	dp	S D T		
				D ₁	D ₂	D ₃
3/4" x 7/16" 19,05 x 11,68 mm (12B - 1 - 2 - 3)	8	58,0	49,78	10	12	12
	9	63,9	55,70	10	12	12
	10	69,8	61,64	10	12	12
	11	75,8	67,61	12	12	16
	12	81,8	73,60	14	14	16
	13	87,8	79,59	14	14	16
	14	93,8	85,61	14	16	16
	15	99,8	91,63	14	16	16
	16	105,8	97,65	14	16	20
	17	111,9	103,67	14	16	20
	18	117,9	109,71	14	16	20
	19	123,9	115,75	14	16	20
	20	130,0	121,78	14	16	20
	21	136,0	127,82	16	20	20
	22	142,0	133,86	16	20	20
	23	148,1	139,90	16	20	20
	24	154,1	145,94	16	20	20
	25	160,2	152,00	16	20	20
	26	166,2	158,04	16	20	20
	27	172,3	164,09	16	20	20
	28	178,3	170,13	16	20	20
	29	184,4	176,19	16	20	20
	30	190,4	182,25	16	20	20
	31	196,5	188,31	20	20	25
	32	202,5	194,35	20	20	25
	33	208,6	200,40	20	20	25
	34	214,6	206,46	20	20	25
35	220,7	212,52	20	20	25	
36	226,8	218,58	20	25	25	
37	232,8	224,64	20	25	25	
38	238,9	230,69	20	25	25	
39	244,9	236,75	20	25	25	
40	251,0	242,81	20	25	25	
41	258,9	248,87	25	25	25	
42	265,0	254,93	25	25	25	
43	271,1	260,98	25	25	25	
44	277,1	267,03	25	25	25	
45	283,2	273,10	25	25	25	
46	289,2	279,16	25	25	25	
47	295,3	285,21	25	25	25	
48	301,4	291,27	25	25	25	
49	307,4	297,33	25	25	25	
50	313,5	303,39	25	25	25	
51	319,5	309,45	25	25	25	
52	325,6	315,50	25	25	25	
53	331,6	321,56	25	25	25	
54	337,7	327,64	25	25	25	
55	343,8	333,70	25	25	25	
56	349,8	339,75	25	25	30	
57	355,9	345,81	25	25	30	
58	362,0	351,87	25	25	30	
59	368,0	357,93	25	25	30	
60	374,1	363,99	25	25	30	
61	380,1	370,06	25	-	-	
62	386,2	376,12	25	30	30	
63	392,3	382,18	25	-	-	
64	398,3	388,24	25	30	30	
65	404,4	394,29	25	30	30	
66	410,4	400,35	25	30	30	
67	416,5	406,42	30	-	-	
68	422,6	412,49	30	30	30	
69	428,7	418,55	30	-	-	
70	434,7	424,60	30	30	30	
71	440,8	430,67	30	-	-	
72	446,8	436,74	30	30	30	
73	452,9	442,80	30	-	-	
74	459,0	448,87	30	-	-	
75	465,0	454,91	30	30	30	
76	471,1	460,99	30	30	30	
78	483,2	473,10	30	30	30	
80	495,3	485,22	30	30	30	
85	525,6	515,55	30	30	30	
88	543,7	533,73	30	-	-	
90	555,9	545,86	30	30	30	
95	586,2	576,17	30	30	30	
100	616,6	606,47	30	30	30	
110	677,2	667,11	30	30	30	
114	701,4	691,36	30	30	30	
120	737,8	727,74	30	30	30	
125	768,1	758,05	30	30	30	

Coroas	Z	de	dp	S D T		
				D ₁	D ₂	D ₃
1" x 17,02mm 25,4 x 17,02 mm (16B - 1 - 2 - 3)	8	77,9	66,37	16	16	16
	9	85,8	74,27	16	16	16
	10	93,8	82,19	16	16	16
	11	101,7	90,14	16	20	20
	12	109,7	98,14	16	20	20
	13	117,7	106,12	16	20	20
	14	125,7	114,15	16	20	20
	15	133,7	122,17	16	20	20
	16	141,8	130,20	20	20	25
	17	149,8	138,22	20	20	25
	18	157,8	146,28	20	20	25
	19	165,9	154,33	20	20	25
	20	173,9	162,38	20	20	25
	21	182,0	170,43	20	25	25
	22	190,1	178,48	20	25	25
	23	198,1	186,53	20	25	25
	24	206,2	194,59	20	25	25
	25	214,2	202,66	20	25	25
	26	222,3	210,72	20	25	30
	27	230,4	218,79	20	25	30
	28	238,4	226,85	20	25	30
	29	246,5	234,92	20	25	30
	30	254,6	243,00	20	25	30
	31	262,6	251,08	25	25	30
	32	270,7	259,13	25	25	30
	33	278,8	267,21	25	25	30
	34	286,9	275,28	25	25	30
35	294,9	283,36	25	25	30	
36	303,0	291,44	25	25	30	
37	311,1	299,51	25	25	-	
38	319,2	307,59	25	25	30	
39	327,2	315,67	25	25	30	
40	335,3	323,73	25	25	30	
41	345,6	331,82	25	25	-	
42	353,7	339,90	25	25	30	
43	361,7	347,98	25	25	-	
44	369,8	356,06	25	25	30	
45	377,9	364,12	25	25	30	
46	386,0	372,21	25	25	30	
47	394,1	380,29	25	25	-	
48	402,1	388,36	25	25	30	
49	410,2	396,44	25	-	-	
50	418,3	404,52	25	25	30	
51	426,4	412,60	30	25	40	
52	434,5	420,67	30	30	40	
53	442,5	428,75	30	-	-	
54	450,6	436,85	30	-	-	
55	458,7	444,93	30	30	40	
56	466,8	453,01	30	40	-	
57	474,9	461,07	30	40	40	
58	482,9	469,16	30	-	-	
59	491,0	477,24	30	-	-	
60	499,1	485,32	30	40	40	
61	507,2	493,46	30	-	-	
62	515,3	501,50	30	40	-	
63	523,4	509,58	30	-	-	
64	531,4	517,65	30	-	-	
65	539,5	525,73	30	40	40	
66	547,6	533,80	30	-	-	
67	555,7	541,89	30	-	-	
68	563,8	549,98	30	40	40	
70	579,9	566,14	30	40	40	
71	588,0	572,23	30	-	-	
72	596,1	582,32	30	40	40	
75	620,3	606,55	30	40	40	
76	628,4	614,65	30	40	40	
78	644,6	630,80	30	-	-	
80	660,7	646,96	30	40	40	
85	701,2	687,40	30	40	40	
90	741,6	727,81	30	40	40	
95	782,0	768,22	30	40	40	
100	822,4	808,63	30	40	40	
110	903,3	889,48	30	40	40	
114	935,6	921,81	30	40	40	
120	984,1	970,33	30	40	40	
125	1024,5	1010,73	30	40	40	

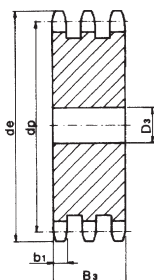
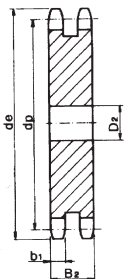
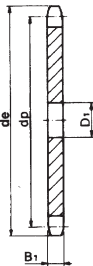
para corrente de rolo segundo DIN 8187 ISO/R 606



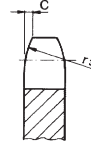
COROA	mm
Raio dente r3	19
Largura raio C	2
Largura dente coroa B1	11,1
Largura dente coroa b1	10,8
Largura dente coroa B2	30,3
Largura dente coroa B3	49,8

CORRENTE	mm
Passo	19,05
Largura interna	11,68
Rolo - ø	12,07

Material C 43



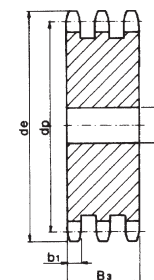
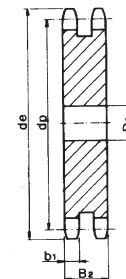
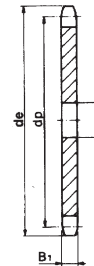
para corrente de rolo segundo DIN 8187 ISO/R 606



COROA	mm
Raio dente r3	26
Largura raio C	2,5
Largura dente coroa B1	16,2
Largura dente coroa b1	15,8
Largura dente coroa B2	47,7
Largura dente coroa B3	79,6

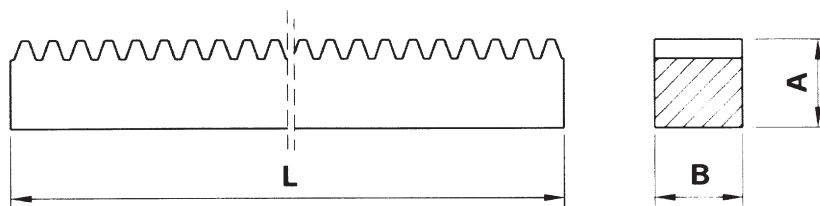
CORRENTE	mm
Passo	25,4
Largura interna	17,02
Rolo - ø	15,88

Material C 43



6.5 Cremalheira

Cremaheiras de Módulo Dentadas

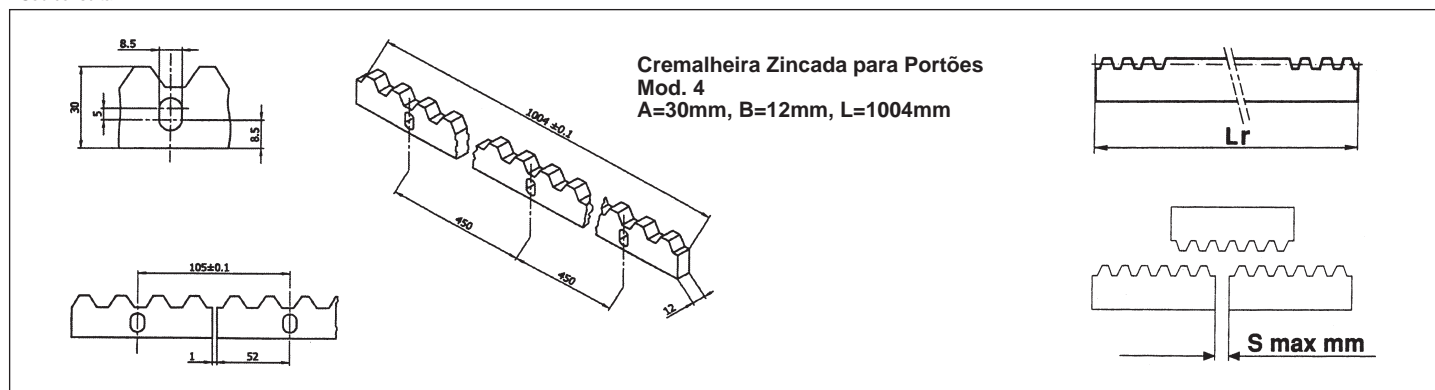


segundo DIN 782
ângulo de pressão: 20 °

Material C 43 Trefilado

Módulo	Comprimento (L)			
	500 mm	1000 mm	2000 mm	* 3000 mm
	A x B	A x B	A x B	A x B
1	15 x 15	15 x 15	15 x 15	15 x 15
1,5	17 x 17	17 x 17	17 x 17	17 x 17
2	20 x 20	20 x 20	20 x 20	20 x 20
2,5	25 x 25	25 x 25	25 x 25	25 x 25
3	30 x 30	30 x 30	30 x 30	30 x 30
4	22 x 22	22 x 22	22 x 22	22 x 22
4	25 x 25	25 x 25	25 x 25	25 x 25
4	30 x 30	30 x 30	30 x 30	30 x 30
4	40 x 40	40 x 40	40 x 40	40 x 40
5	50 x 50	50 x 50	50 x 50	50 x 50
6	60 x 60	60 x 60	60 x 60	60 x 60
8	80 x 80	80 x 80	80 x 80	80 x 80

* Sob consulta.



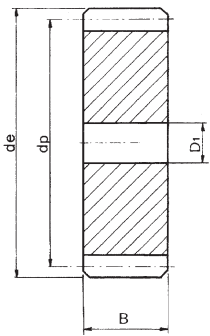
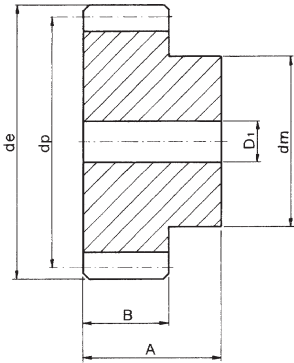
Dados Técnicos

Mód.	Passo mm	S	L							
			500 mm		1000 mm		2000 mm		3000 mm	
			Z	Lr	Z	Lr	Z	Lr	Z	Lr
1	3,1416	0,5	159	499,51	318	999,02	636	1998,05	955	3000,22
1,5	4,7124	0,6	106	499,51	212	999,02	424	1998,05	637	3001,79
2	6,2832	0,6	80	502,65	159	999,02	318	1998,05	478	3003,36
2,5	7,8540	0,7	64	502,65	127	997,45	255	2002,77	382	3000,22
3	9,4248	0,8	53	499,51	106	999,02	212	1998,05	319	3006,51
4	12,5664	0,8	40	502,65	80	1005,31	159	1998,05	239	3003,36
5	15,7080	1,0	32	502,65	64	1005,31	128	2010,31	191	3000,22
6	18,8496	1,0	27	508,93	53	999,02	106	1998,05	-	-
8	25,4000	1,2	20	508,00	40	1016,00	80	2032,00	-	-

6.6 Roda dentada

Rodas dentadas cilíndricas

Ângulo de pressão 20°


Largura "B" para:

Modulo 1	= 15 mm
Modulo 1,5	= 17 mm
Modulo 2	= 20 mm
Modulo 2,5	= 25 mm
Modulo 3	= 30 mm
Modulo 4	= 40 mm
Modulo 5	= 50 mm
Modulo 6	= 60 mm

Altura total "A" para:

Modulo 1	= 25 mm
Modulo 1,5	= 30 mm
Modulo 2	= 35 mm
Modulo 2,5	= 45 mm
Modulo 3	= 50 mm
Modulo 4	= 60 mm
Modulo 5	= 75 mm
Modulo 6	= 80 mm

Material C43 - UNI 7847

Z	Mod. 1				Mod. 1,5				Mod. 2				Mod. 2,5			
	de	dp	dm	D ₁	de	dp	dm	D ₁	de	dp	dm	D ₁	de	dp	dm	D ₁
12	14	12	9	-	21,0	18,0	14	8	28	24	18	10	35,0	30,0	22	10
13	15	13	10	-	22,5	19,5	15	8	30	26	20	10	37,5	32,5	25	10
14	16	14	11	-	24,0	21,0	17	8	32	28	22	10	40,0	35,0	28	10
15	17	15	12	-	25,5	22,5	18	8	34	30	24	10	42,5	37,5	30	10
16	18	16	13	-	27,0	24,0	19	8	36	32	25	10	45,0	40,0	32	12
17	19	17	14	-	28,5	25,5	20	8	38	34	25	10	47,5	42,5	35	12
18	20	18	15	8	30,0	27,0	20	8	40	36	25	10	50,0	45,0	35	12
19	21	19	15	8	31,5	28,5	20	8	42	38	25	10	52,5	47,5	35	12
20	22	20	16	8	33,0	30,0	25	8	44	40	30	10	55,0	50,0	40	12
21	23	21	16	8	34,5	31,5	25	10	46	42	30	12	57,5	52,5	40	14
22	24	22	16	8	36,0	33,0	25	10	48	44	30	12	60,0	55,0	45	14
23	25	23	18	8	37,5	34,5	25	10	50	46	30	12	62,5	57,5	45	14
24	26	24	20	10	39,0	36,0	25	10	52	48	35	12	65,0	60,0	45	14
25	27	25	20	10	40,5	37,5	25	10	54	50	35	12	67,5	62,5	50	14
26	28	26	20	10	42,0	39,0	30	12	56	52	40	12	70,0	65,0	50	14
27	29	27	20	10	43,5	40,5	30	12	58	54	40	12	72,5	67,5	50	14
28	30	28	20	10	45,0	42,0	30	12	60	56	40	12	75,0	70,0	50	14
29	31	29	20	10	46,5	43,5	30	12	62	58	40	14	77,5	72,5	50	14
30	32	30	20	10	48,0	45,0	30	12	64	60	40	14	80,0	75,0	55	14
31	33	31	25	10	49,5	46,5	35	12	66	62	45	14	82,5	77,5	55	16
32	34	32	25	10	51,0	48,0	35	12	68	64	45	14	85,0	80,0	55	16
33	35	33	25	10	52,5	49,5	35	12	70	66	45	14	87,5	82,5	55	16
34	36	34	25	10	54,0	51,0	35	12	72	68	45	14	90,0	85,0	55	16
35	37	35	25	10	55,5	52,5	35	12	74	70	45	14	92,5	87,5	60	16
36	38	36	25	10	57,0	54,0	35	12	76	72	45	14	95,0	90,0	60	16
37	39	37	25	10	58,5	55,5	40	12	78	74	50	14	97,5	92,5	60	16
38	40	38	25	10	60,0	57,0	40	12	80	76	50	14	100,0	95,0	60	16
39	41	39	25	10	61,5	58,5	40	12	82	78	50	14	102,5	97,5	60	16
40	42	40	25	10	63,0	60,0	40	12	84	80	50	14	105,0	100,0	70	16
41	43	41	30	10	64,5	61,5	40	12	86	82	55	16	107,5	102,5	70	16
42	44	42	30	10	66,0	63,0	50	12	88	84	55	16	110,0	105,0	70	16
43	45	43	30	10	67,5	64,5	50	12	90	86	55	16	112,5	107,5	70	16
44	46	44	30	10	69,0	66,0	50	12	92	88	60	16	115,0	110,0	70	16
45	47	45	30	10	70,5	67,5	50	12	94	90	60	16	117,5	112,5	70	16
46	48	46	30	10	72,0	69,0	50	14	96	92	60	16	120,0	115,0	70	20
47	49	47	30	10	73,5	70,5	50	14	98	94	70	16	122,5	117,5	80	20
48	50	48	30	10	75,0	72,0	50	14	100	96	70	16	125,0	120,0	80	20
49	51	49	30	10	76,5	73,5	50	14	102	98	70	16	127,5	122,5	80	20
50	52	50	30	12	78,0	75,0	50	14	104	100	70	16	130,0	125,0	80	20
51	53	51	40	12	79,5	76,5	60	14	106	102	70	16	132,5	127,5	80	20
52	54	52	40	12	81,0	78,0	60	14	108	104	70	16	135,0	130,0	90	20
53	55	53	40	12	82,5	79,5	60	14	110	106	70	16	137,5	132,5	90	20
54	56	54	40	12	84,0	81,0	60	14	112	108	70	16	140,0	135,0	90	20
55	57	55	40	12	85,5	82,5	60	14	114	110	70	16	142,5	137,5	90	20
56	58	56	40	12	87,0	84,0	60	16	116	112	70	16	145,0	140,0	100	20
57	59	57	40	12	88,5	85,5	60	16	118	114	70	16	147,5	142,5	100	20
58	60	58	40	12	90,0	87,0	60	16	120	116	70	16	150,0	145,0	100	20
59	61	59	40	12	91,5	88,5	60	16	122	118	70	16	152,5	147,5	100	20
60	62	60	40	12	93,0	90,0	60	16	124	120	70	16	155,0	150,0	100	20
61	63	61	50	12	94,5	91,5	70	16	126	122	80	16	157,5	152,5	-	20
62	64	62	50	12	96,0	93,0	70	16	128	124	80	16	160,0	155,0	-	20
63	65	63	50	12	97,5	94,5	70	16	130	126	80	16	162,5	157,5	-	20
64	66	64	50	12	99,0	96,0	70	16	132	128	80	16	165,0	160,0	-	20
65	67	65	50	12	100,5	97,5	70	16	134	130	80	16	167,5	162,5	-	20
66	68	66	50	12	102,5	99,0	70	16	136	132	80	16	170,0	165,0	-	20
67	69	67	50	12	103,5	100,5	70	16	138	134	80	16	172,5	167,5	-	20
68	70	68	50	12	105,0	102,0	70	16	140	136	80	16	175,0	170,0	-	20
69	71	69	50	12	106,5	103,5	70	16	142	138	80	16	177,5	172,5	-	20
70	72	70	50	12	108,0	105,0	70	16	144	140	80	16	180,0	175,0	-	20
72	74	72	-	12	111,0	108,0	-	16	148	144	-	16	185,0	180,0	-	20
75	77	75	-	12	115,5	112,5	-	16	154	150	-	20	192,5	187,5	-	20
76	78	76	-	12	117,0	114,0	-	16	156	152	-	20	195,0	190,0	-	20
80	82	80	-	12	123,0	120,0	-	16	164	160	-	20	205,0	200,0	-	25
85	87	85	-	12	130,5	127,5	-	16	174	170	-	20	217,5	212,5	-	25
90	92	90	-	12	138,0	135,0	-	16	184	180	-	20	230,0	225,0	-	25
95	97	95	-	12	145,5	142,5	-	16	194	190	-	20	242,5	237,5	-	25
100	102	100	-	12	153,0	150,0	-	16	204	200	-	20	255,0	250,0	-	25
110	112	110	-	12	168,0	165,0	-	16	224	220	-	20	280,0	275,0	-	25
114	116	114	-	12	174,0	171,0	-	16	232	228	-	20	290,0	285,0	-	25
120	122	120	-	12	183,0	180,0	-	16	244	240	-	20	305,0	300,0	-	25
127	129	127	-	12	193,5	190,5	-	16	258	254	-	20	322,5	317,5	-	25

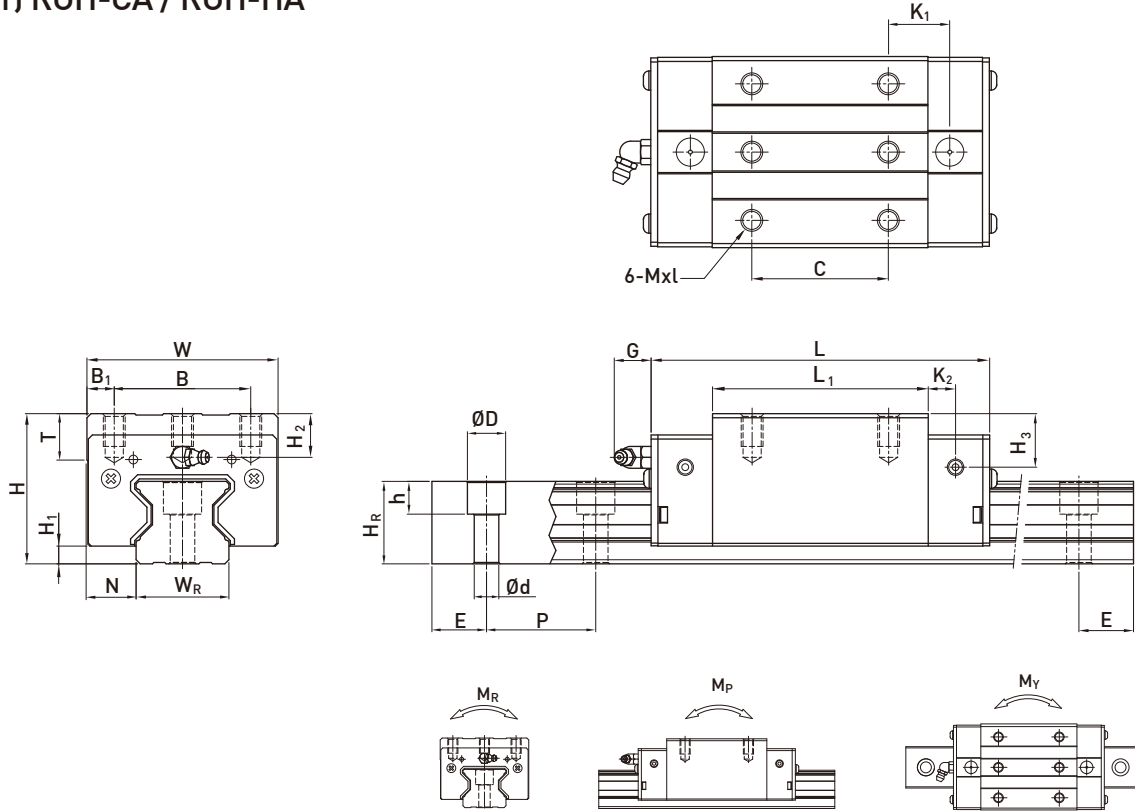
6.7 Guia linear

RG Series

High Rigidity Roller Type

2-9-13 Dimensions for RG series

(1) RGH-CA / RGH-HA

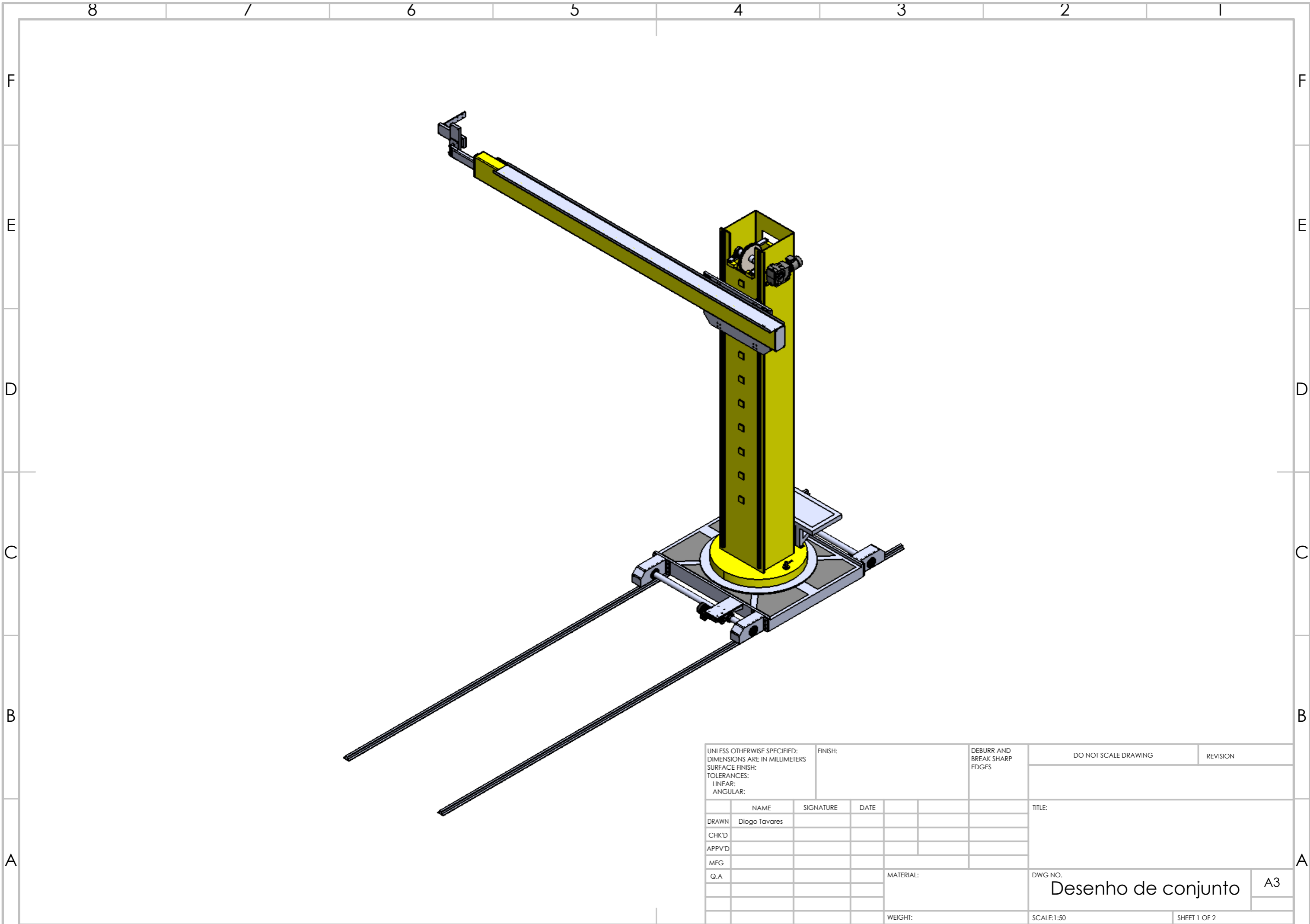


Model No.	Dimensions of Assembly (mm)			Dimensions of Block (mm)											Dimensions of Rail (mm)						Mounting Bolt for Rail (mm)	Basic Dynamic Load Rating C(kN)	Basic Static Load Rating C ₀ (kN)	Static Rated Moment			Weight				
	H	H ₁	N	W	B	B ₁	C	L ₁	L	K ₁	K ₂	G	Mxl	T	H ₂	H ₃	W _R	H _R	D	h				d	P	E	M _R (kN-m)	M _P (kN-m)	M _Y (kN-m)	Block (kg)	Rail (kg/m)
	RGH15CA	28	4	9.5	34	26	4	26	45	68	13.4	4.7	5.3	M4 x 8	6	7.6	10.1	15	16.5	7.5	5.7	4.5	30	20	M4 x16	11.3	24	0.311	0.173	0.173	0.20
RGH20CA	34	5	12	44	32	6	36	57.5	86	15.8	6	5.3	M5 x 8	8	8.3	8.3	20	21	9.5	8.5	6	30	20	M5 x20	21.3	46.7	0.647	0.46	0.46	0.40	2.76
RGH20HA							50	77.5	106	18.8															26.9	63	0.872	0.837	0.837	0.53	
RGH25CA	40	5.5	12.5	48	35	6.5	35	64.5	97.9	20.75	7.25	12	M6 x 8	9.5	10.2	10	23	23.6	11	9	7	30	20	M6 x20	27.7	57.1	0.758	0.605	0.605	0.61	3.08
RGH25HA							50	81	114.4	21.5															33.9	73.4	0.975	0.991	0.991	0.75	
RGH30CA	45	6	16	60	40	10	40	71	109.8	23.5	8	12	M8 x10	9.5	9.5	10.3	28	28	14	12	9	40	20	M8 x25	39.1	82.1	1.445	1.06	1.06	0.90	4.41
RGH30HA							60	93	131.8	24.5															48.1	105	1.846	1.712	1.712	1.16	
RGH35CA	55	6.5	18	70	50	10	50	79	124	22.5	10	12	M8 x12	12	16	19.6	34	30.2	14	12	9	40	20	M8 x25	57.9	105.2	2.17	1.44	1.44	1.57	6.06
RGH35HA							72	106.5	151.5	25.25															73.1	142	2.93	2.6	2.6	2.06	
RGH45CA	70	8	20.5	86	60	13	60	106	153.2	31	10	12.9	M10x17	16	20	24	45	38	20	17	14	52.5	22.5	M12 x35	92.6	178.8	4.52	3.05	3.05	3.18	9.97
RGH45HA							80	139.8	187	37.9															116	230.9	6.33	5.47	5.47	4.13	
RGH55CA	80	10	23.5	100	75	12.5	75	125.5	183.7	37.75	12.5	12.9	M12x18	17.5	22	27.5	53	44	23	20	16	60	30	M14 x45	130.5	252	8.01	5.4	5.4	4.89	13.98
RGH55HA							95	173.8	232	51.9															167.8	348	11.15	10.25	10.25	6.68	
RGH65CA	90	12	31.5	126	76	25	90	160	232	60.8	15.8	12.9	M16 x20	25	15	15	63	53	26	22	18	75	35	M16x50	213	411.6	16.20	11.59	11.59	8.89	20.22
RGH65HA							120	223	295	67.3															275.3	572.7	22.55	22.17	22.17	12.13	

Note : 1. 1 kgf = 9.81 N

2. The theoretical dynamic rated load is C_{100R}, if necessary C_{50R} conversion formula is as follows : C_{50R} = 1.23 x C_{100R}

6.8 Desenho de conjunto



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
								TITLE:			
DRAWN Diogo Tavares				SIGNATURE		DATE					
CHK'D											
APPV'D											
MFG											
Q.A						MATERIAL:		DWG NO.		A3	
						WEIGHT:		SCALE:1:50		SHEET 1 OF 2	
								Desenho de conjunto			

6.9 Carril

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

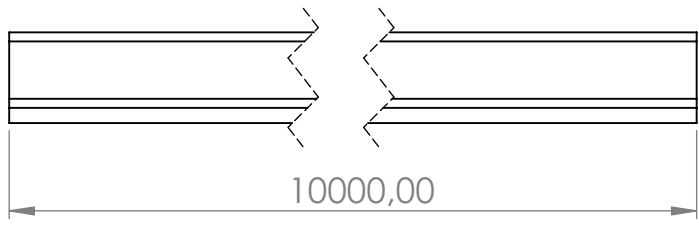
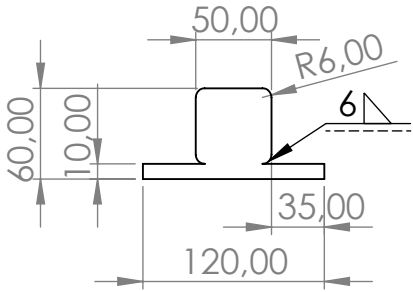
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Diogo Tavares		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:

MATERIAL:

DWG NO. Carril

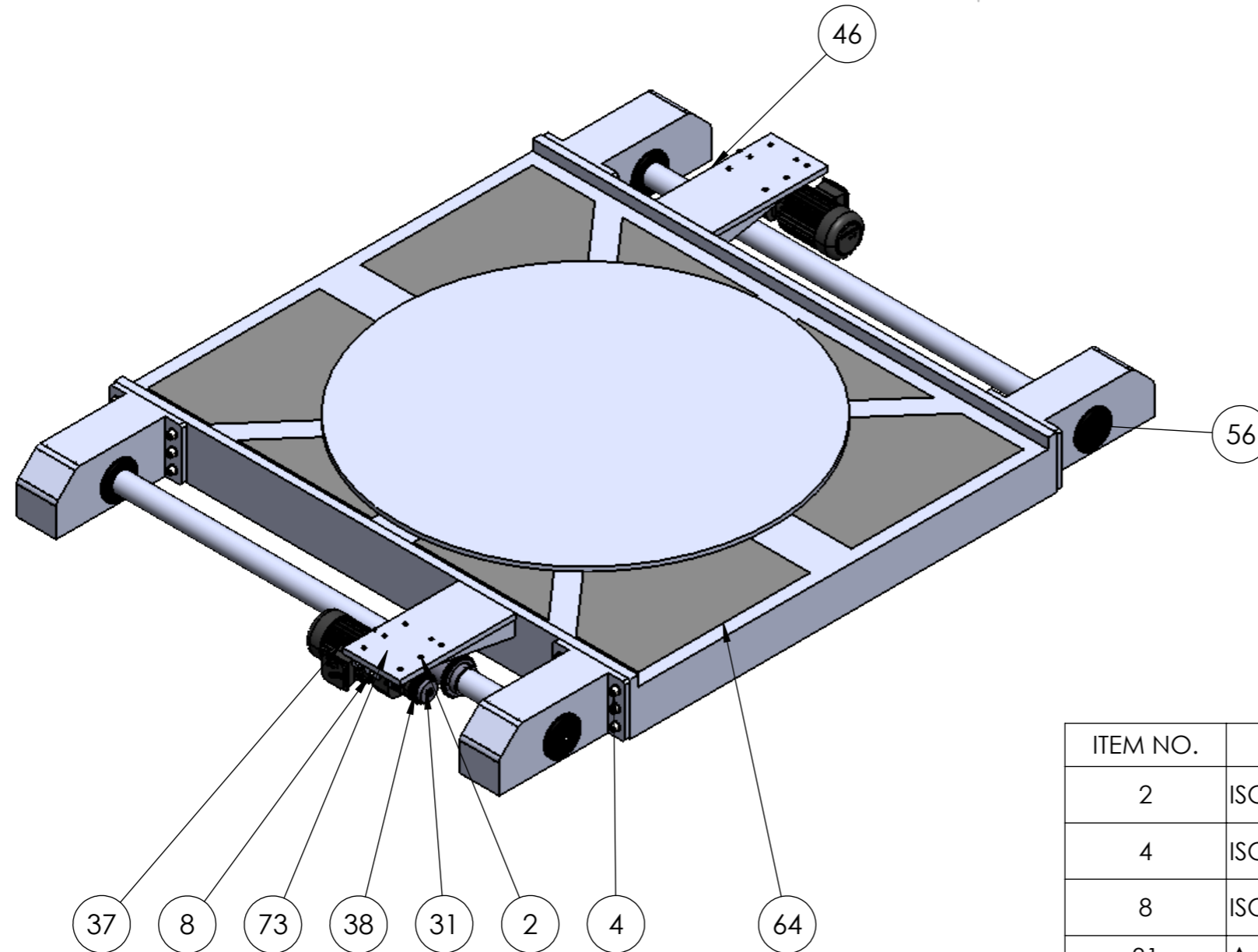
SCALE: 1:5

SHEET 1 OF 1

A4

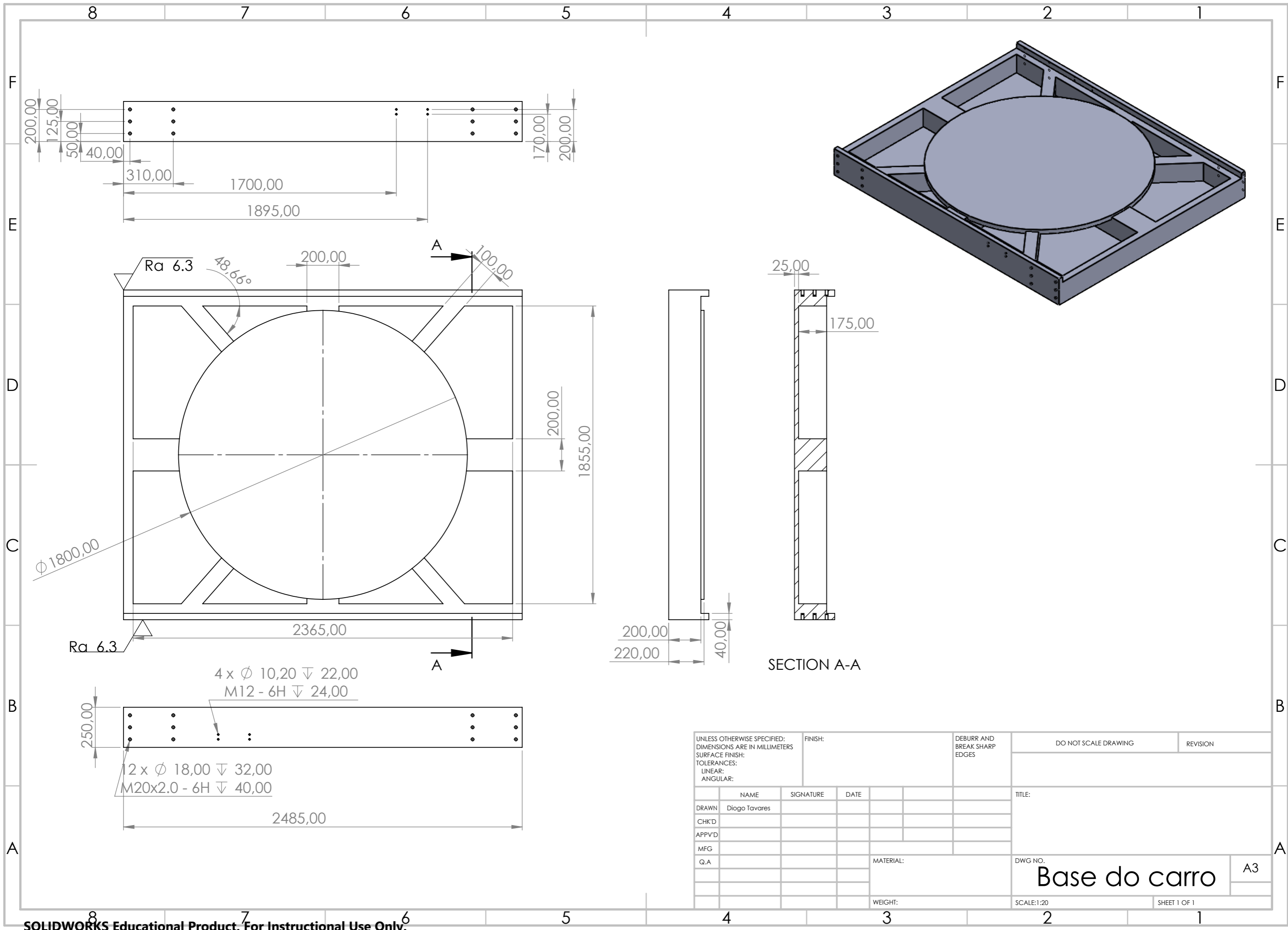
4 3 2 1

6.10 Base do carro

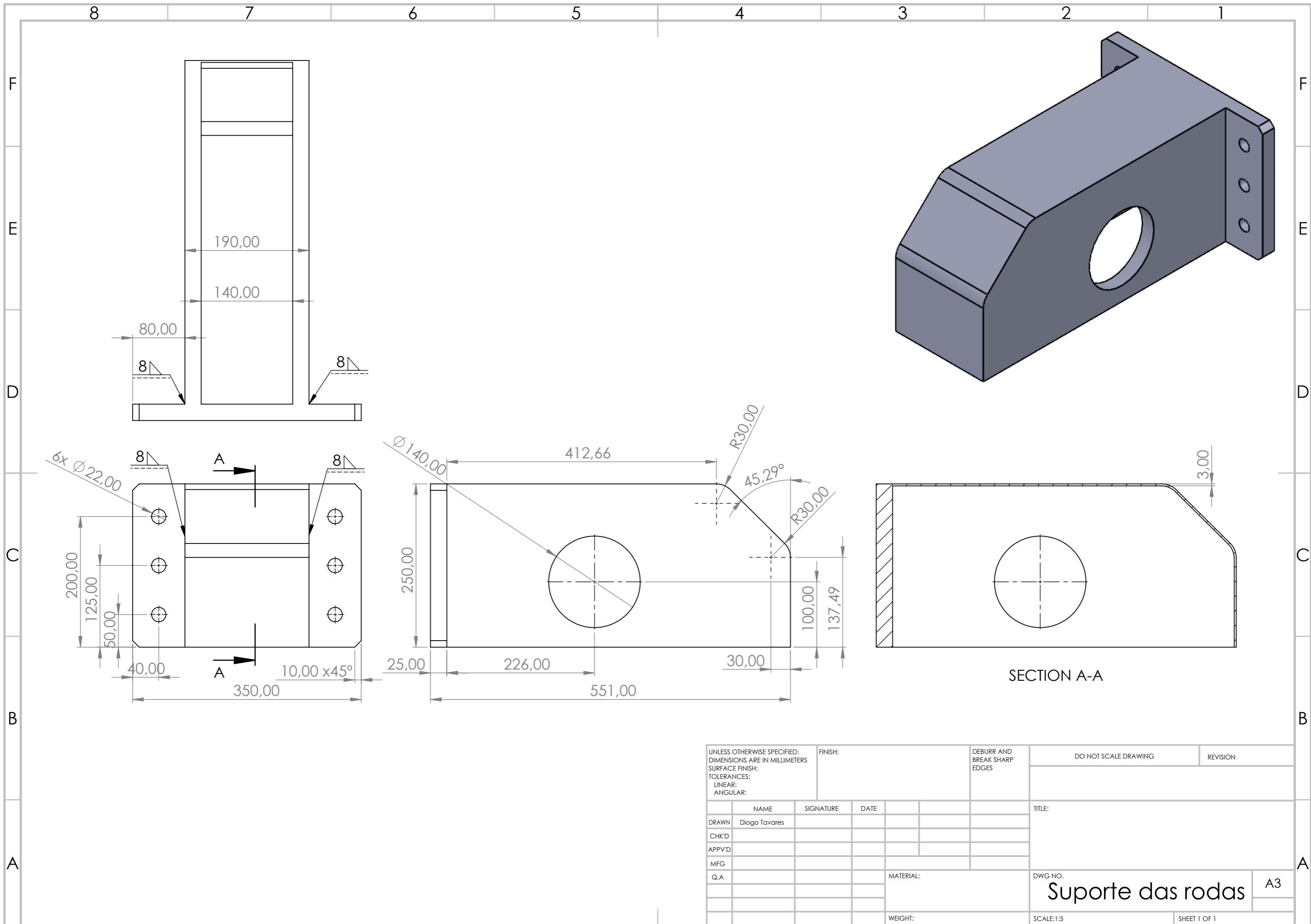


ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
2	ISO 10642 - M8 x 30 - 30N		12
4	ISO 4762 M20 x 55 - 55N		24
8	ISO 4762 M10 x 70 - 32N		2
31	Anilha		2
37	1.1KW-1.5hp x 76+85+170 (Rpm)		2
38	00177466		2
46	Carro		1
56	Tampa do carro		4
64	Cimento		1
73	Suporte do motor do carro		2

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:									
TOLERANCES:									
LINEAR:									
ANGULAR:									
	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE:			
DRAWN	Diogo Tavares								
CHK'D									
APPV'D									
MFG									
Q.A					MATERIAL:	DWG NO.		A3	
					WEIGHT:	SCALE:1:20		SHEET 1 OF 1	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS				FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:											
TOLERANCES:											
LINEAR:											
ANGULAR:											
DRAWN		NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
CHK'D		Diogo Tavares									
APPV'D											
MFG											
Q.A								MATERIAL:		DWG NO.	
										A3	
								WEIGHT:		SCALE:1:20	
										SHEET 1 OF 1	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN Diogo Tavares			SIGNATURE		DATE		TITLE:			
CHK'D										
APPV'D										
MFG										
Q.A					MATERIAL:		DWG NO.		A3	
					WEIGHT:		SCALE:1:5		SHEET 1 OF 1	

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

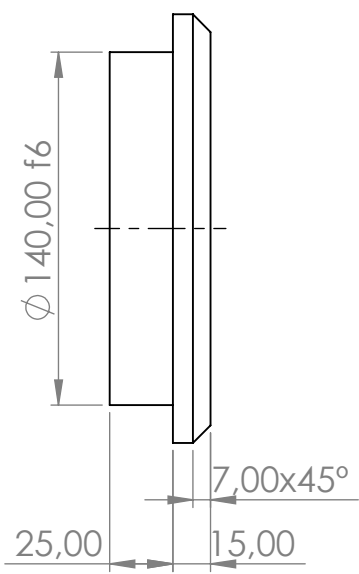
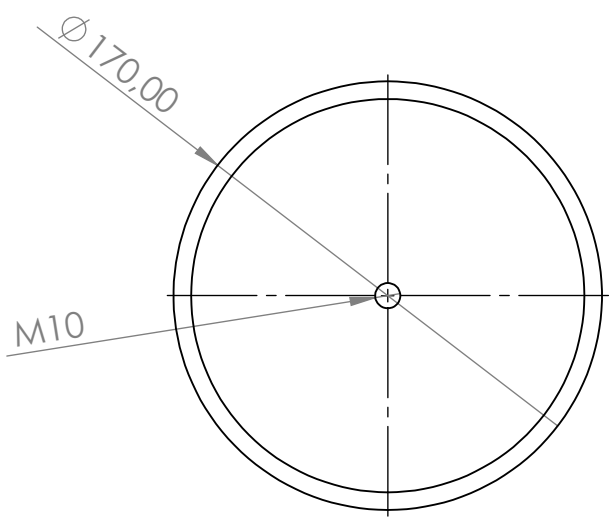
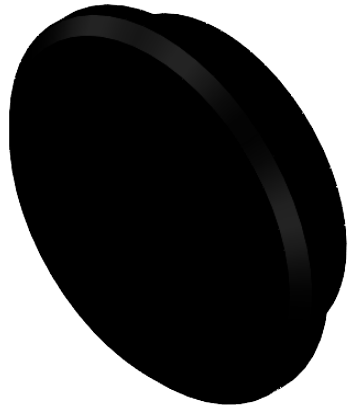
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Diogo Tavares		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:

MATERIAL:

DWG NO. **Tampa do carro**

SCALE: 1:3

SHEET 1 OF 1

A4

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

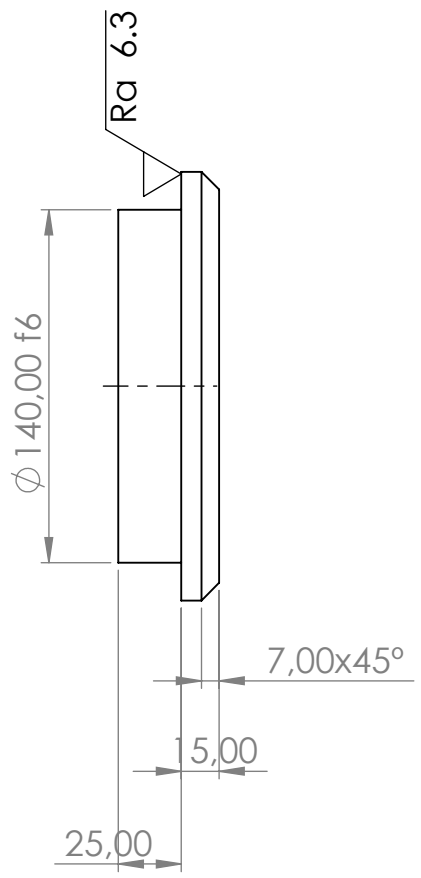
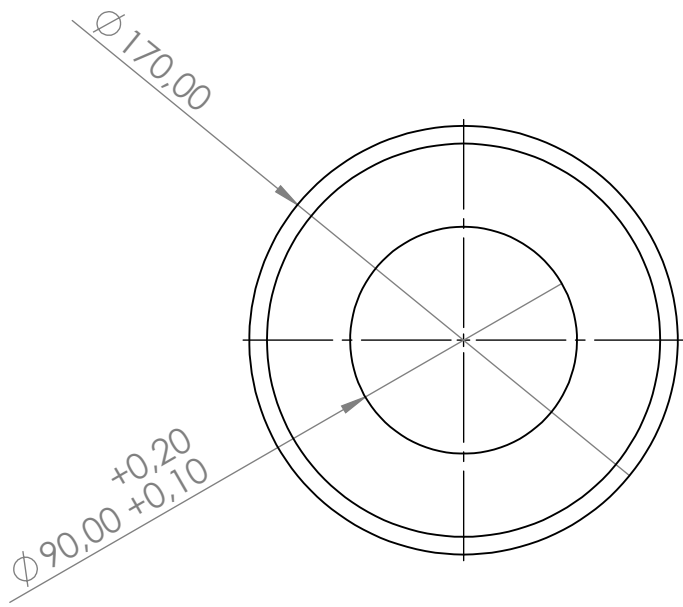
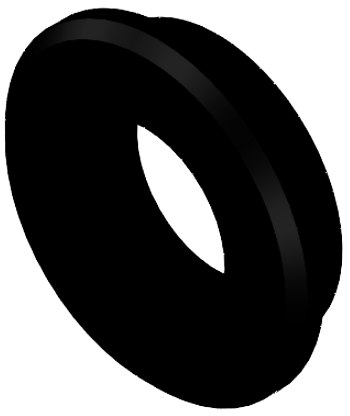
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Diogo Tavares		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:

DWG NO. **Tampa do carro com furo** A4

SCALE:1:3

SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

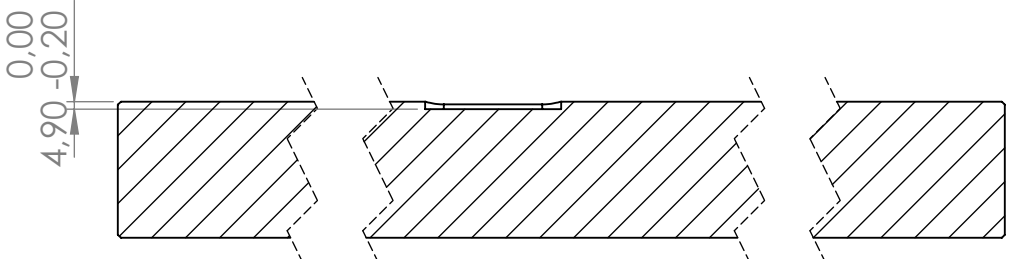
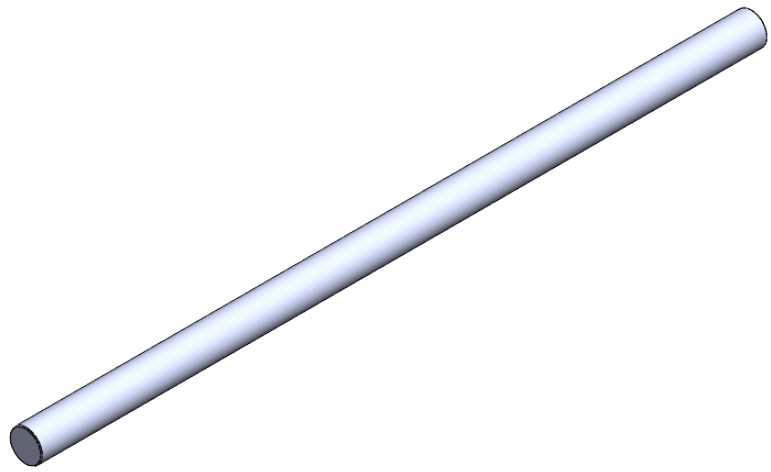
C

B

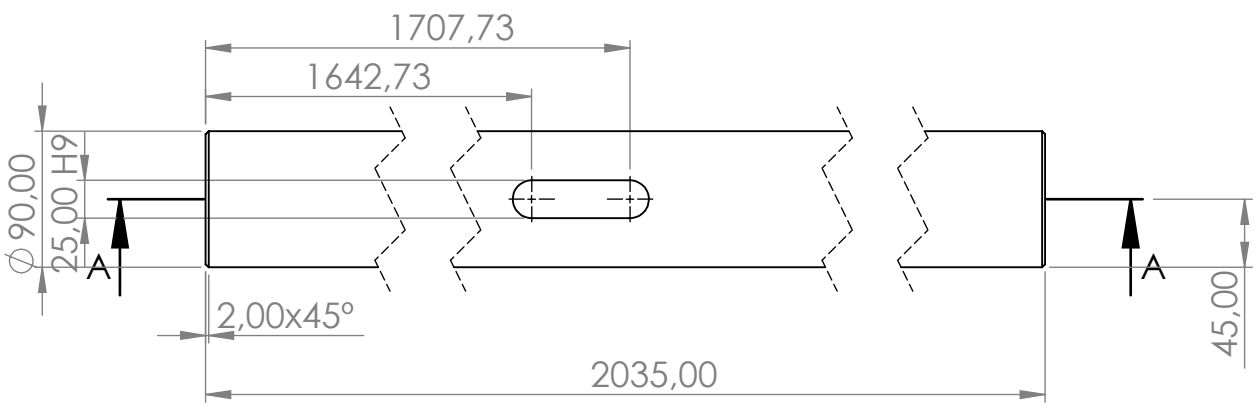
B

A

A



SECTION A-A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Diogo Tavares		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:	
DWG NO.	Veio
SCALE: 1:5	SHEET 1 OF 1

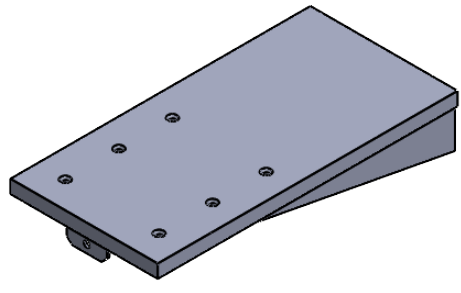
A4

4 3 2 1

4 3 2 1

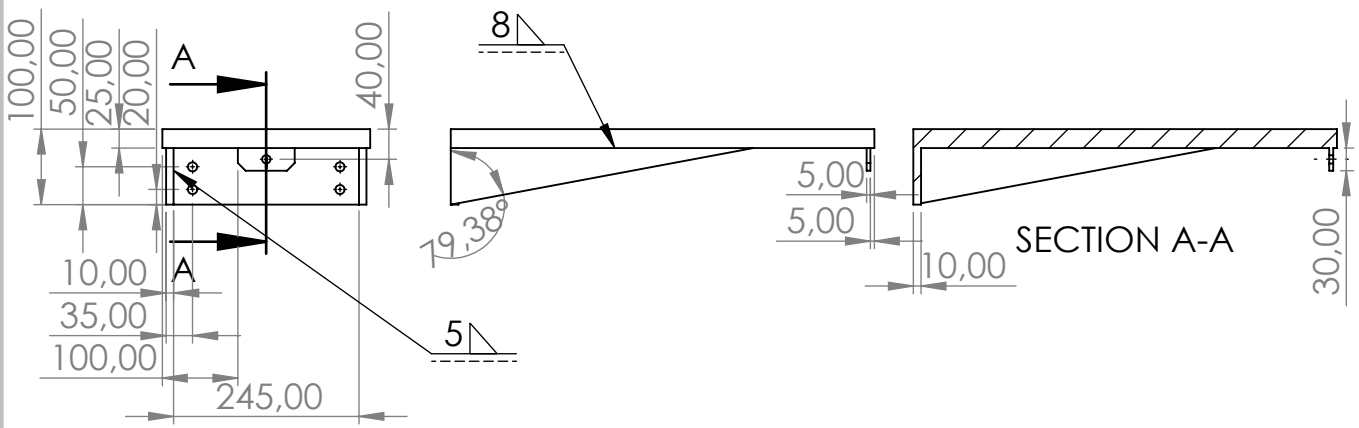
F

F



E

E

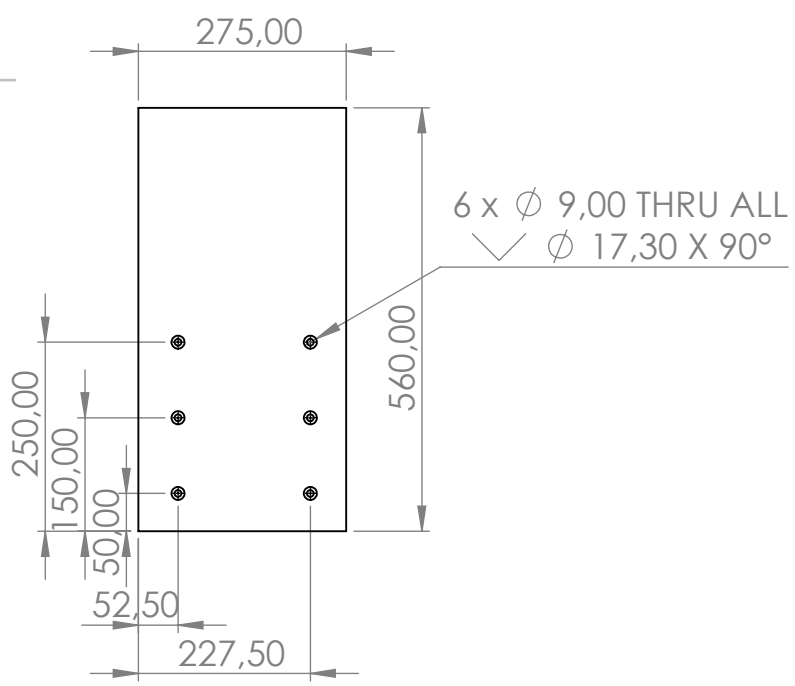


D

D

C

C



B

B

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE	
DRAWN	Diogo Tavares			
CHK'D				
APPV'D				
MFG				
Q.A				

TITLE:	
MATERIAL:	DWG NO.
Suporte do motor ^{A4}	
WEIGHT:	SCALE: 1:10
SHEET 1 OF 1	

A

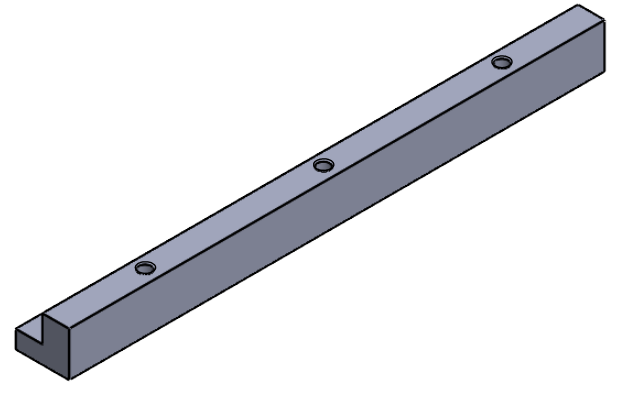
A

4 3 2 1

4 3 2 1

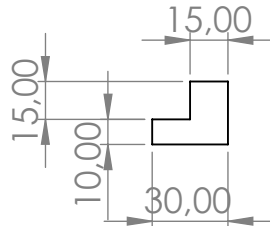
F

F



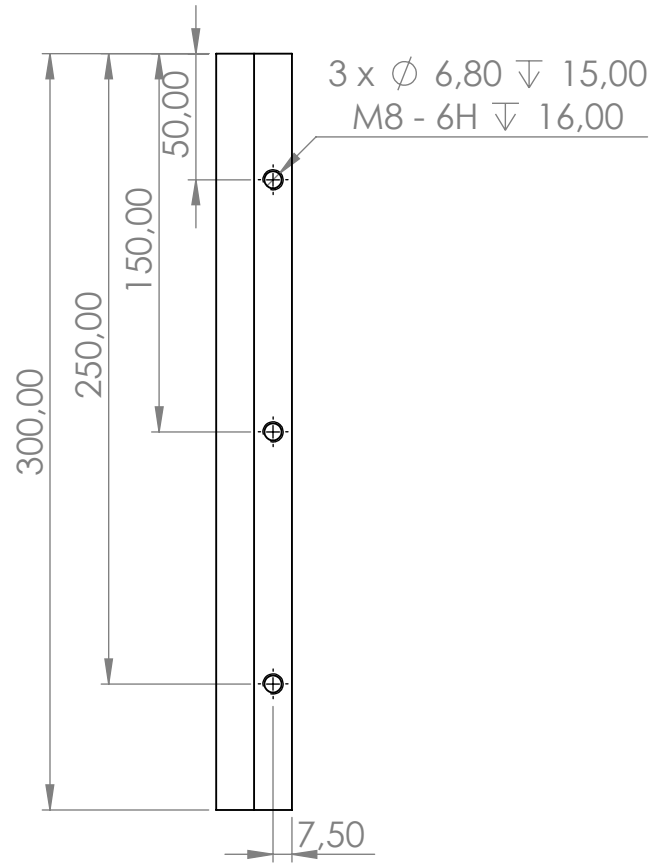
E

E



D

D



C

C

B

B

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Diogo Tavares		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:

MATERIAL:

DWG NO. Suporte do motor do carro A4

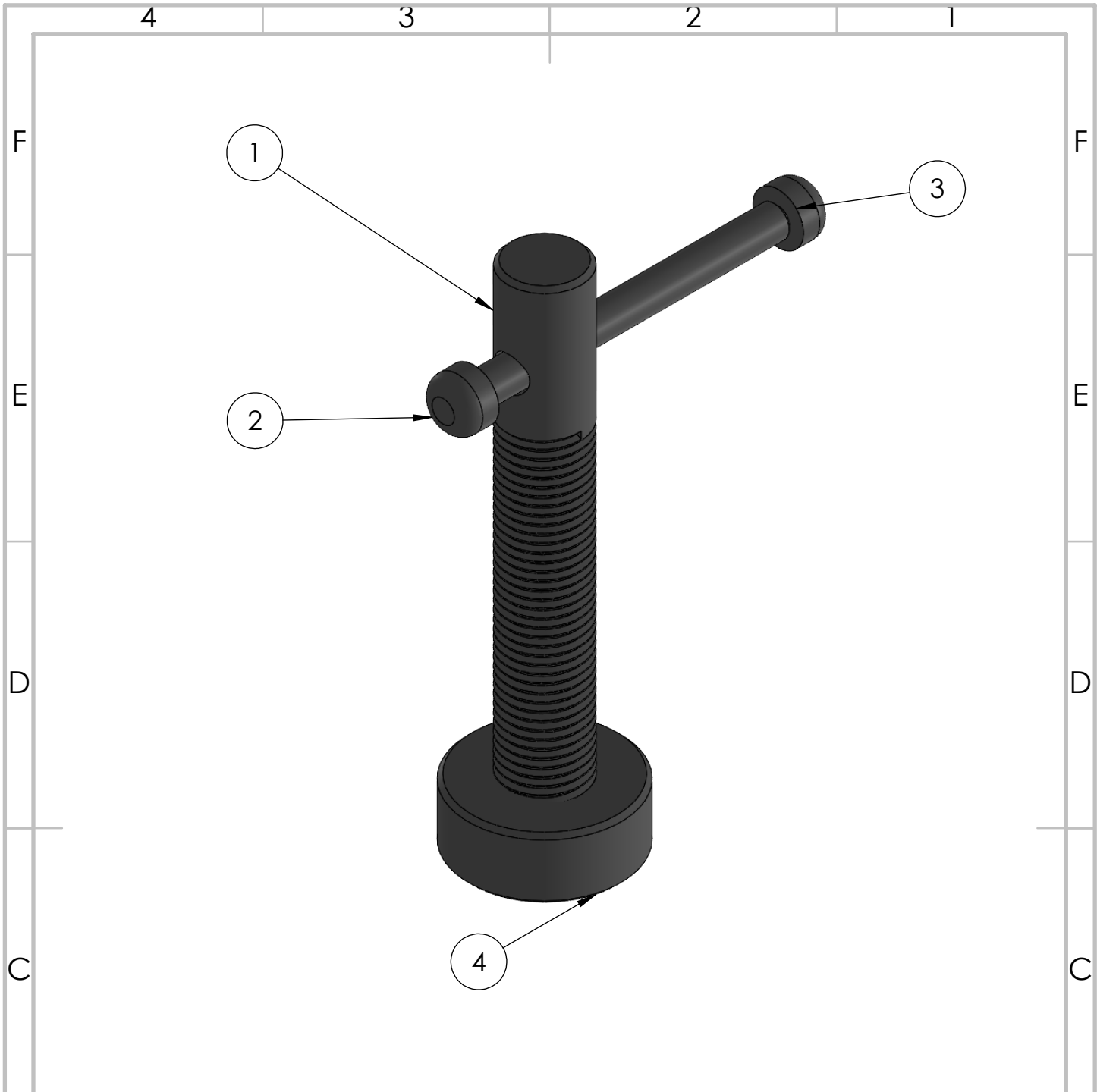
WEIGHT:

SCALE:1:3 SHEET 1 OF 1

A

A

4 3 2 1



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	veio do travão		1
2	ajuste		1
3	parafuso de ajuste		1
4	bolacha		1

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:	FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		TITLE:
DRAWN	Diogo Tavares				
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
			MATERIAL:	DWG NO.	Travão
			WEIGHT:	SCALE:1:2	SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

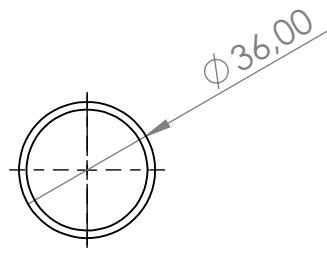
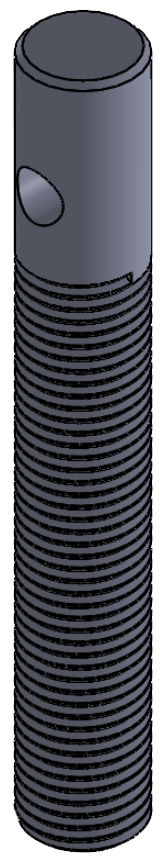
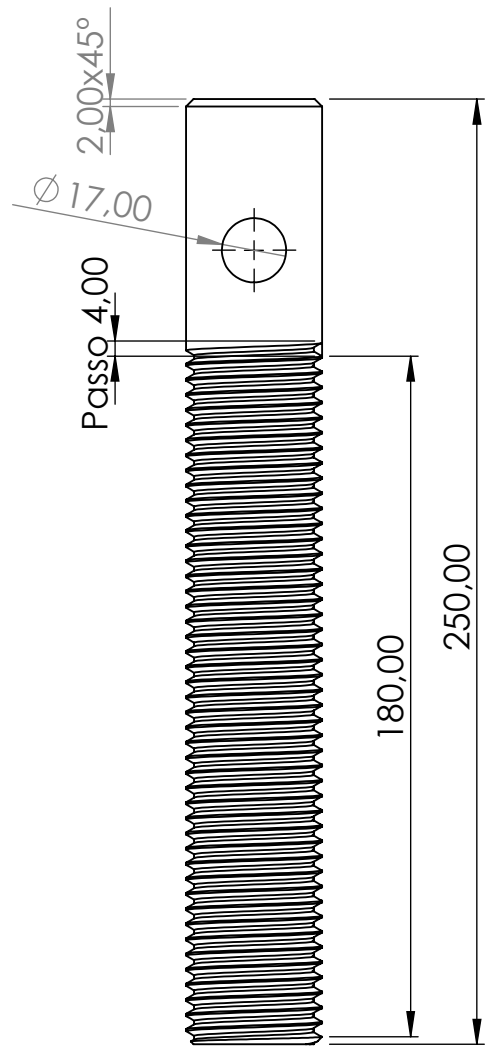
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Diogo Tavares		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:

MATERIAL:

DWG NO. **Veio do travão**

SCALE: 1:2

SHEET 1 OF 1

A4

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

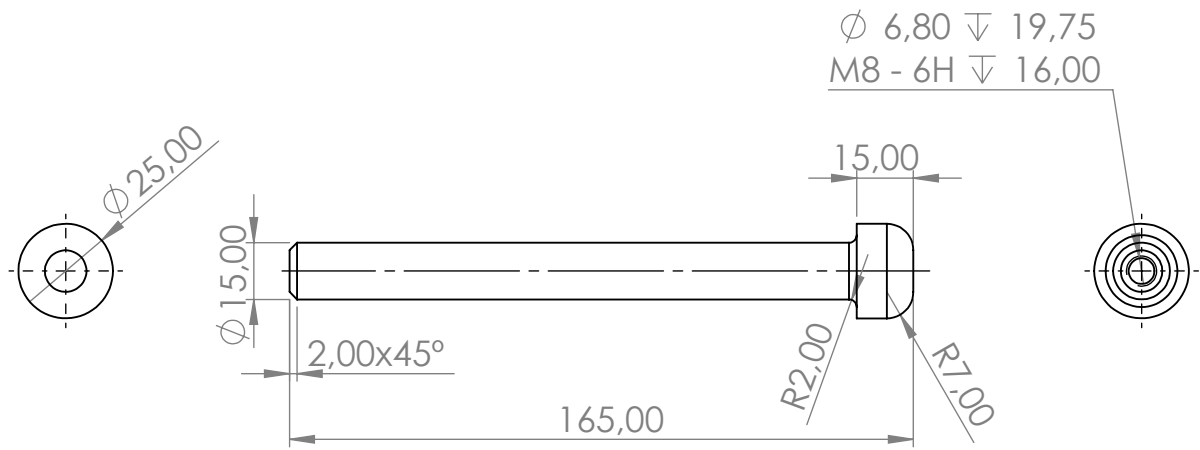
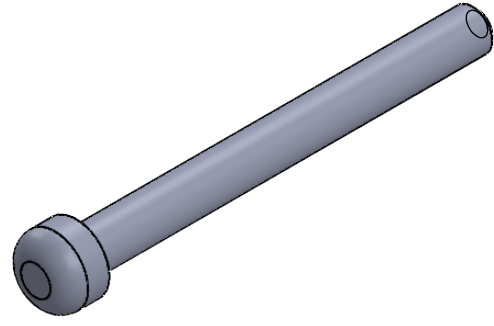
D

C

C

B

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Diogo Tavares		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:

MATERIAL:

DWG NO. **Ajuste**

SCALE: 1:2

SHEET 1 OF 1

A4

A

A

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

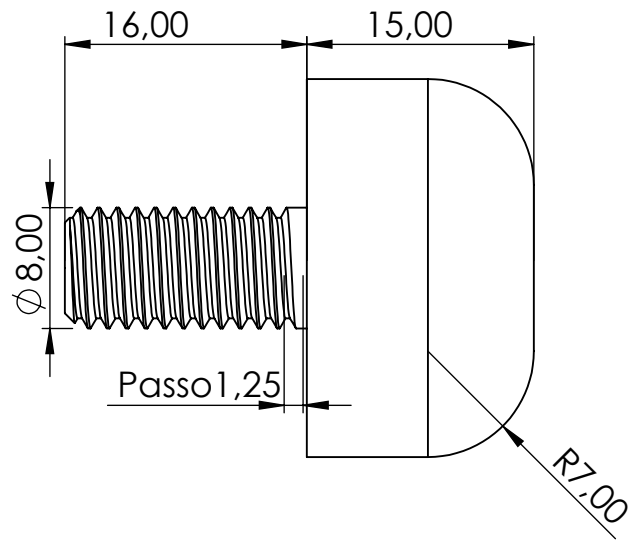
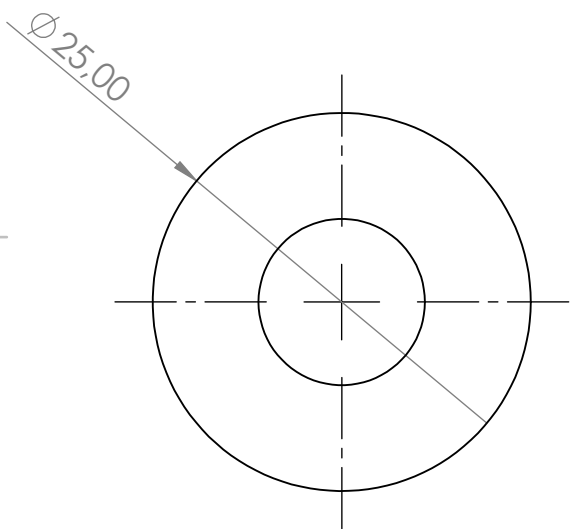
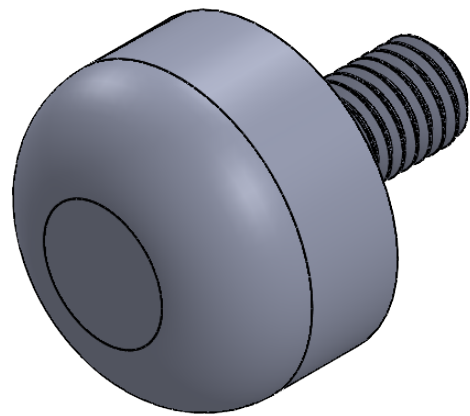
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Diogo Tavares		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:

MATERIAL:

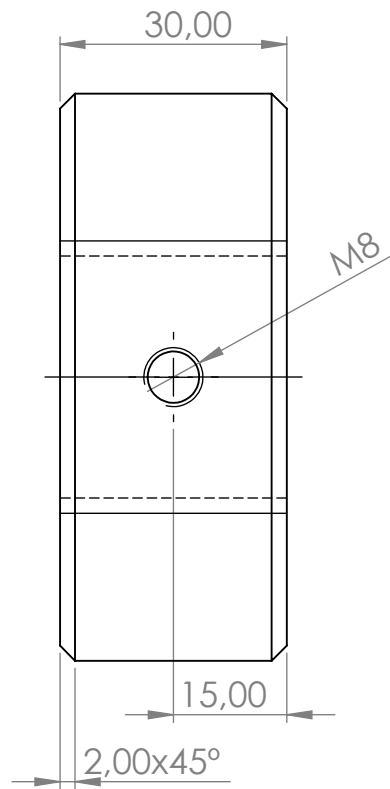
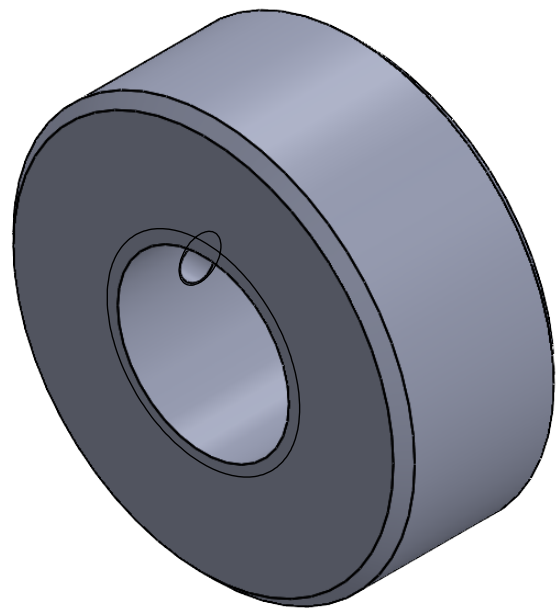
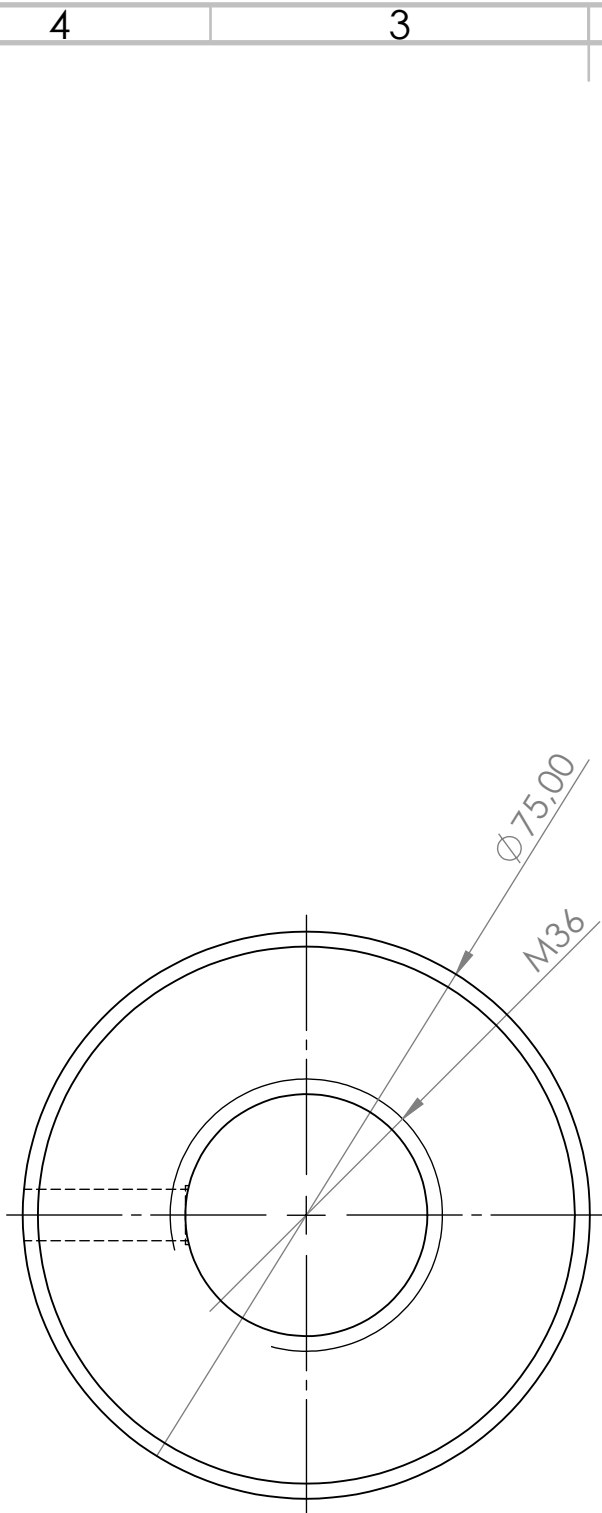
DWG NO. **Parafuso de ajuste** A4

WEIGHT:

SCALE:2:1

SHEET 1 OF 1

4 3 2 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Diogo Tavares		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:

MATERIAL:

DWG NO.

Bolacha

A4

WEIGHT:

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1

6.11 Roda

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

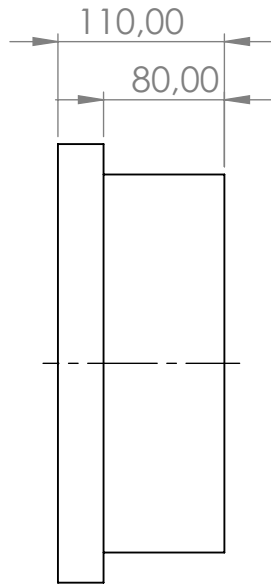
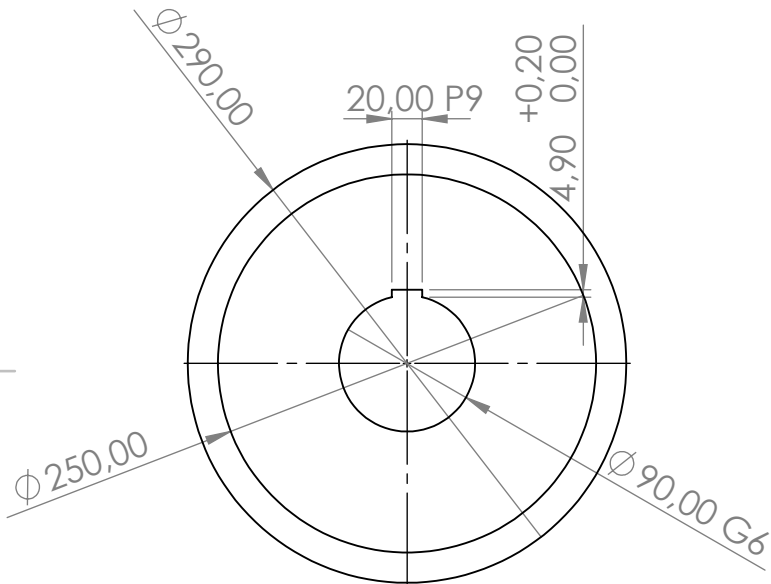
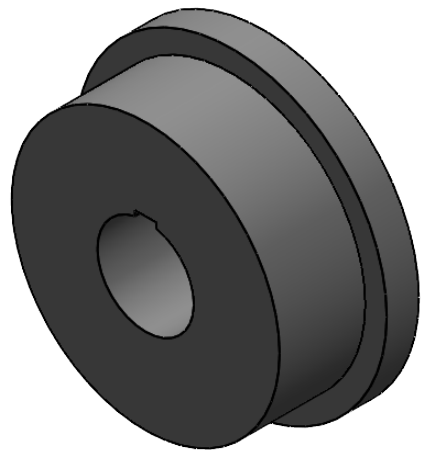
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Diogo Tavares		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:

DWG NO. **Roda**

SCALE: 1:5

SHEET 1 OF 1

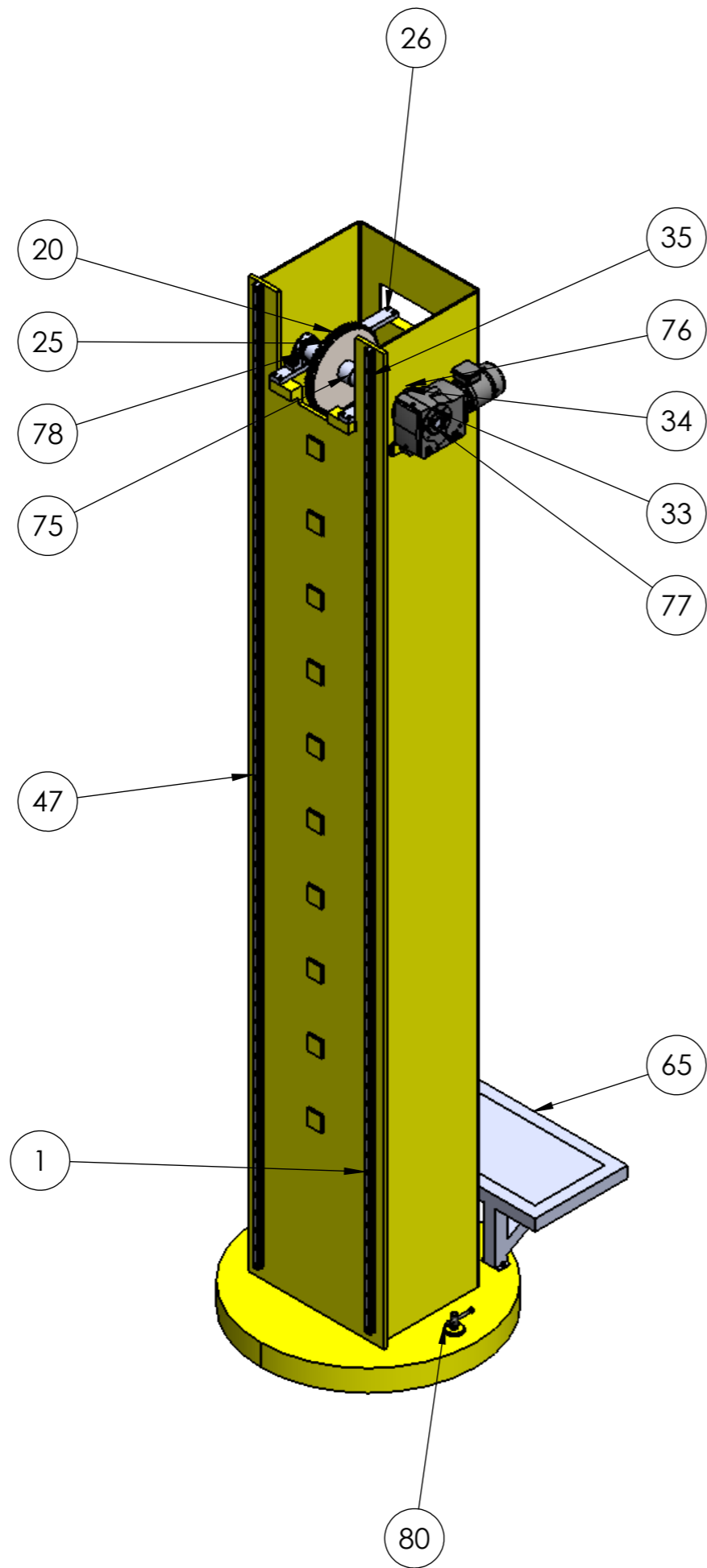
MATERIAL:

WEIGHT:

A4

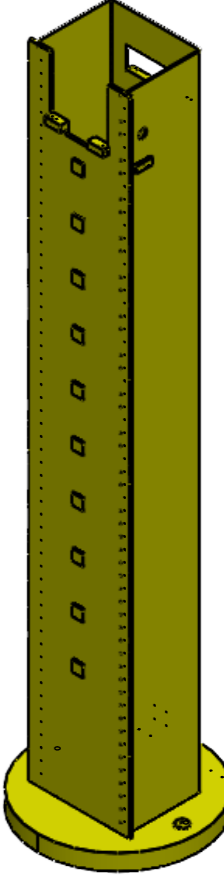
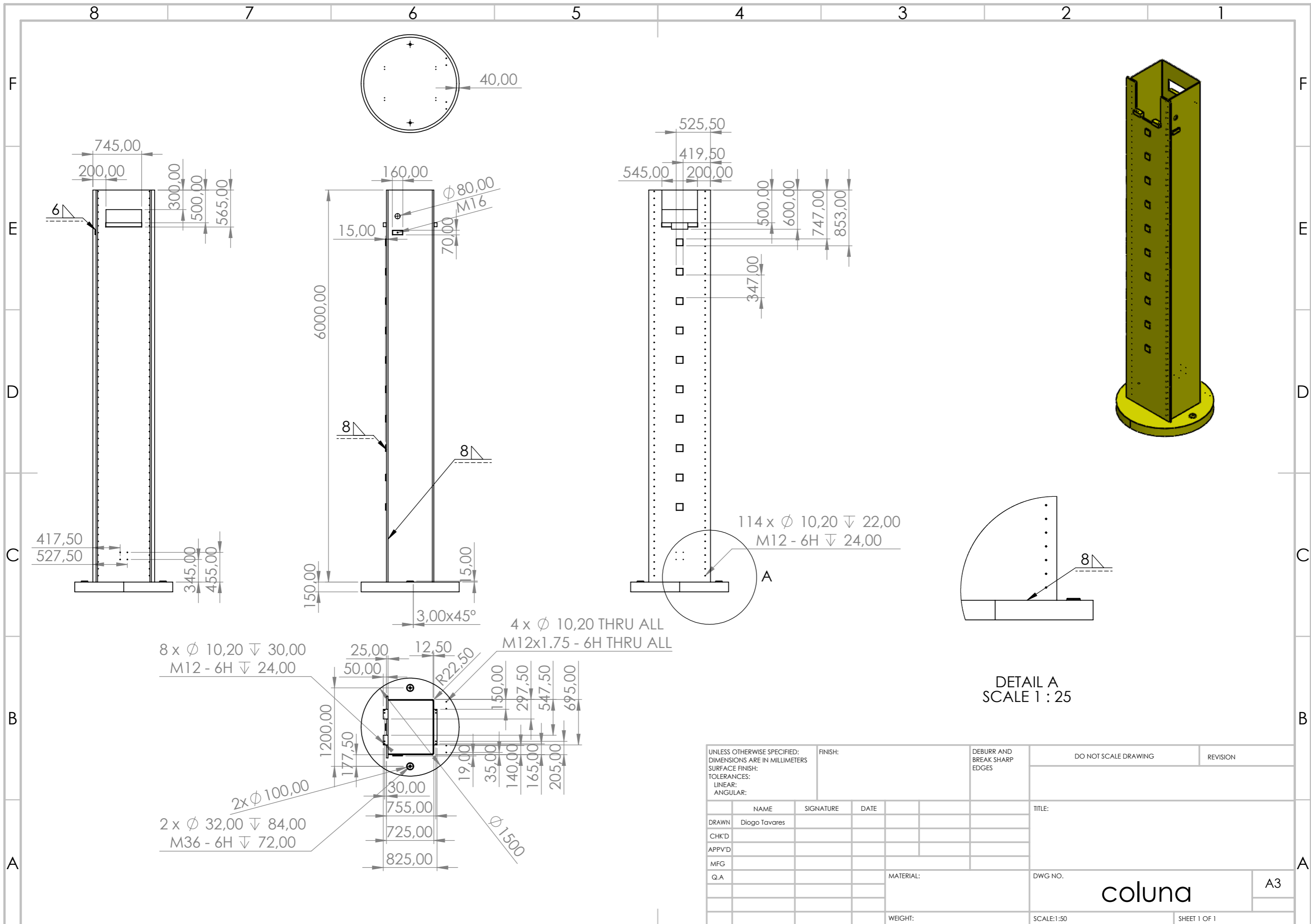
4 3 2 1

6.12 Coluna

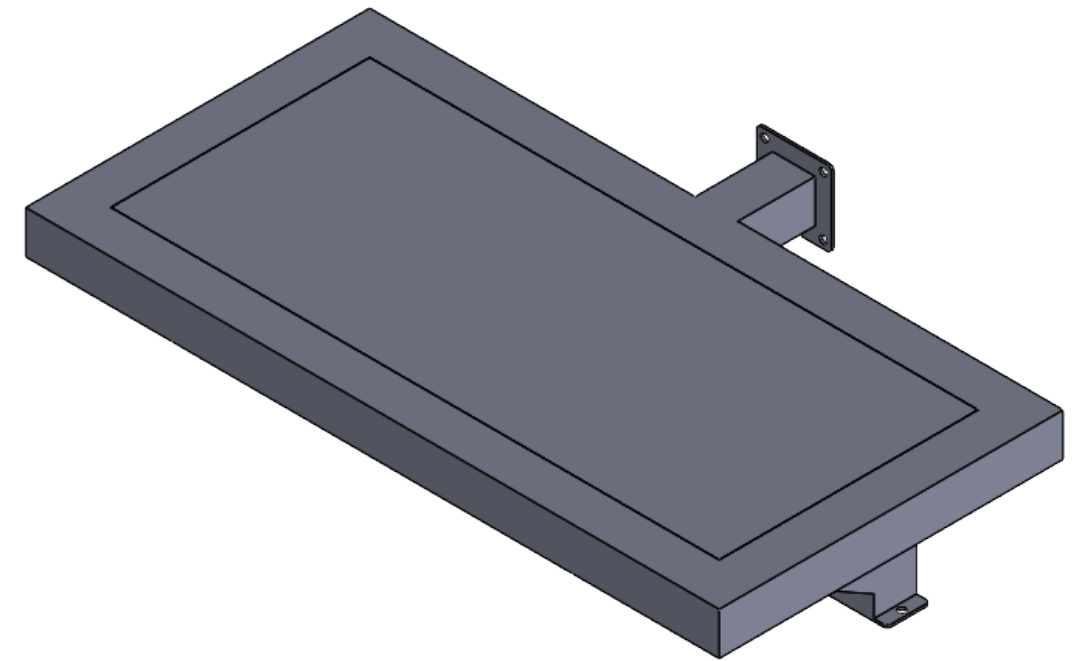
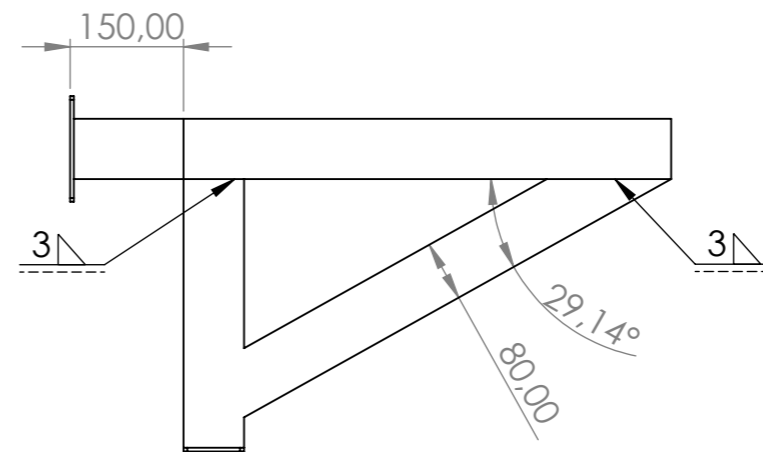
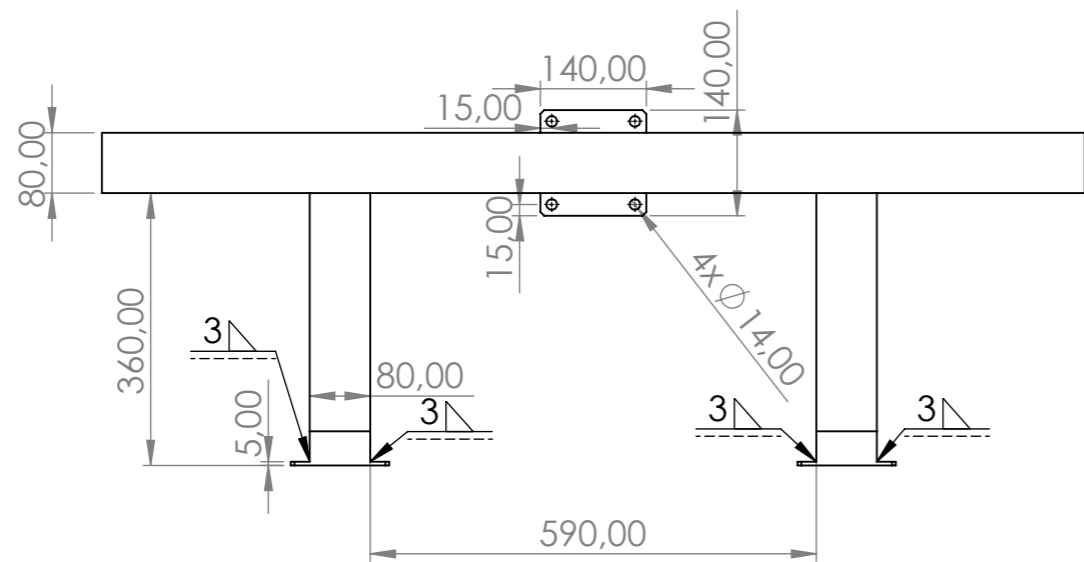
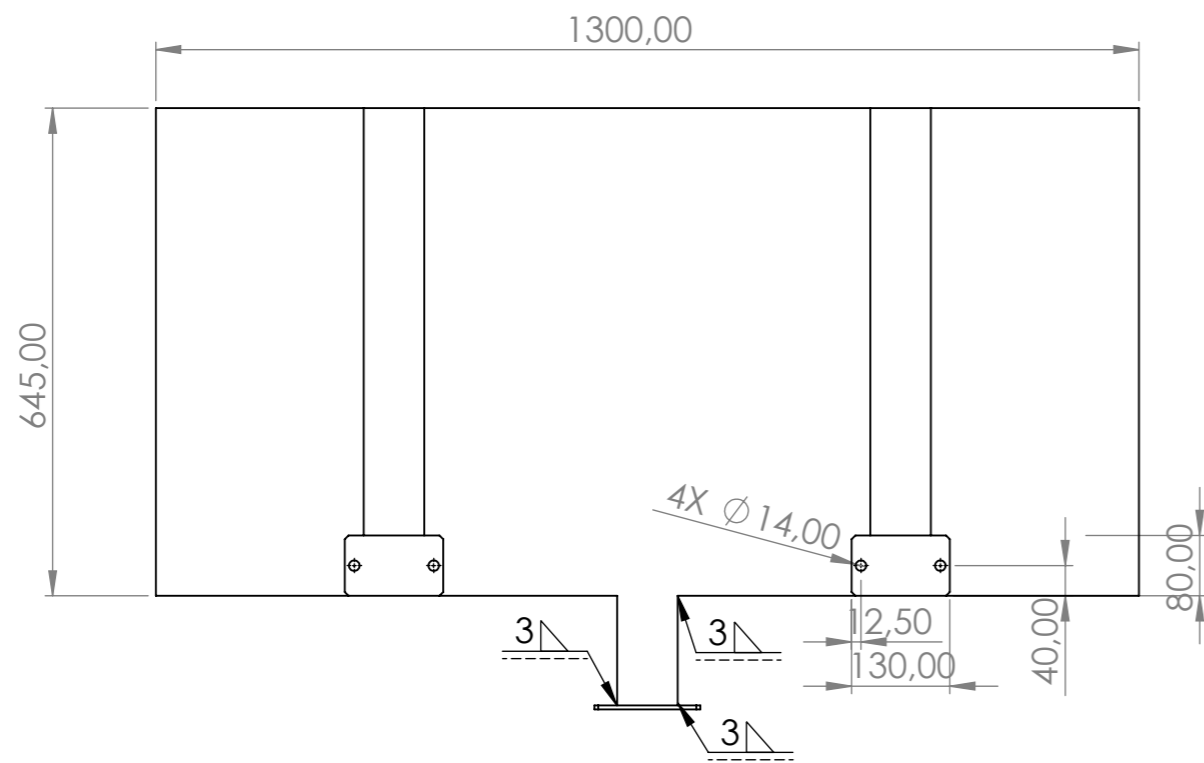


ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	ISO 4762 M12 x 35 - 35N		228
20	Chain wheel ISO - 57Z 16B-2 -- 57SA90.0N		1
25	ISO 4762 M16 x 55 - 55N		4
26	ISO 4762 M12 x 40 - 40N		8
33	sk_9032_1_azdk_-_90sh_4_1_1kw_i_110_77_50h7_ft16_5_m1_2_i_01		1
34	sk_9032_1_azdk_-_90sh_4_1_1kw_i_110_77_50h7_ft16_5_m1_2_i_03		1
35	bearing_unit_sy_60_tf_va201_2		2
47	coluna montagem		1
65	suporte do quadro e aparelho		1
75	peça 1		1
76	barra		2
77	veio do motorreductor		1
78	casquilho 1		1
80	travao		2

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:									
TOLERANCES:									
LINEAR:									
ANGULAR:									
DRAWN Diogo Tavares		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
CHK'D									
APPV'D									
MFG									
Q.A				MATERIAL:		DWG NO.		A3	
						Coluna - Assembly			
				WEIGHT:		SCALE:1:30		SHEET 1 OF 1	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS				FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:											
TOLERANCES:											
LINEAR:											
ANGULAR:											
DRAWN		Diogo Tavares		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
CHK'D											
APPV'D											
MFG											
Q.A						MATERIAL:		DWG NO.		A3	
								coluna			
						WEIGHT:		SCALE:1:50		SHEET 1 OF 1	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:									
TOLERANCES:									
LINEAR:									
ANGULAR:									
DRAWN		NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:	
CHK'D		Diogo Tavares							
APPV'D									
MFG									
Q.A						MATERIAL:		DWG NO.	
								Suporte do quadro e dos aparelhos	
						WEIGHT:		SCALE:1:10	
								SHEET 1 OF 1	
								A3	

4 3 2 1

F

F

E

E

D

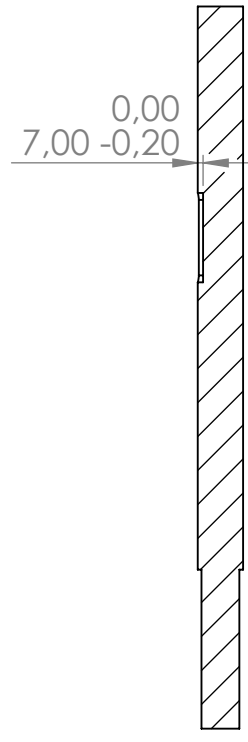
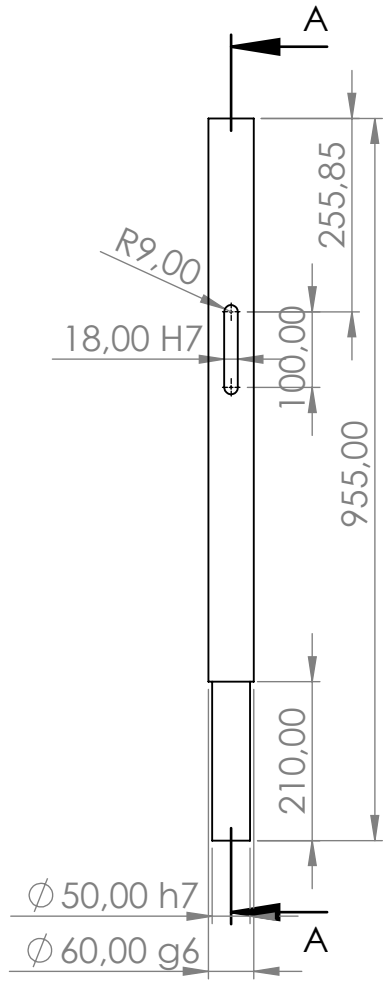
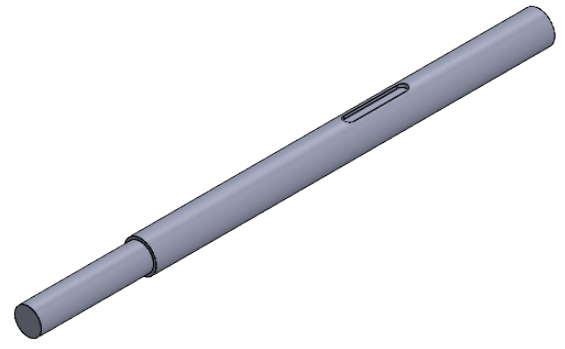
D

C

C

B

B



SECTION A-A

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Diogo Tavares		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:

MATERIAL:

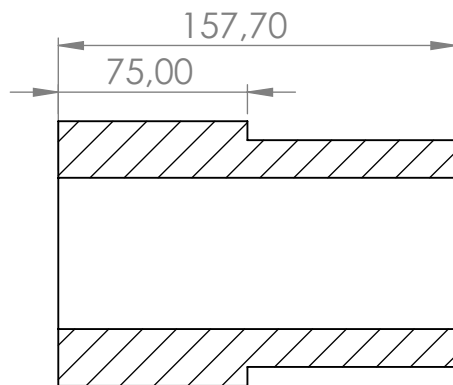
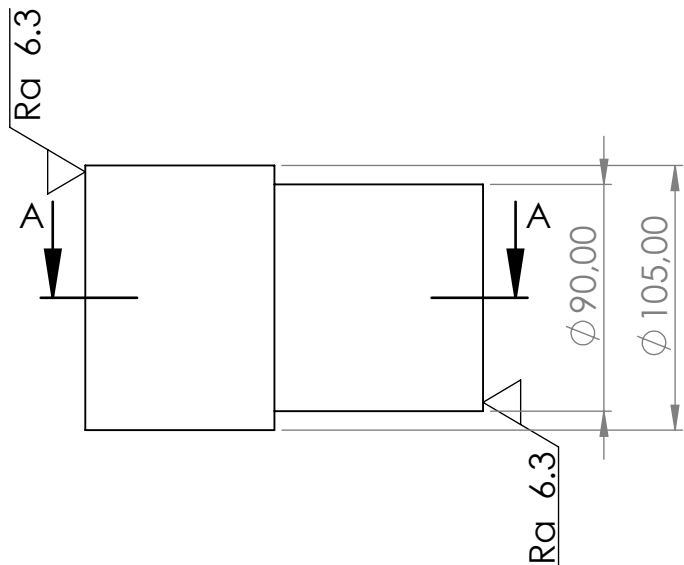
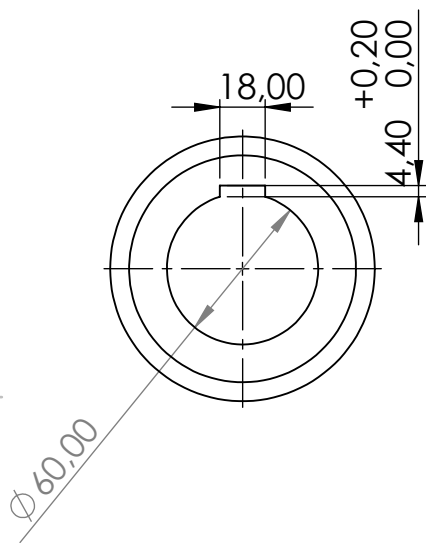
DWG NO. **Veio do motorreductor**

SCALE: 1:10

SHEET 1 OF 1

A4

4 3 2 1



SECTION A-A

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE	
DRAWN	Diogo Tavares			
CHK'D				
APPV'D				
MFG				
Q.A				

TITLE:

MATERIAL:

DWG NO.

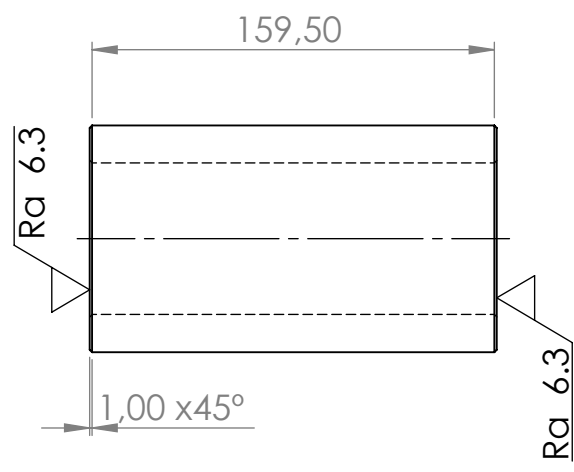
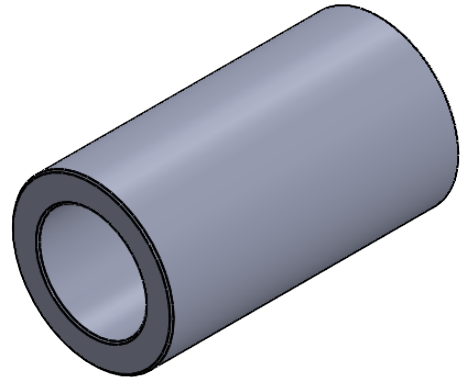
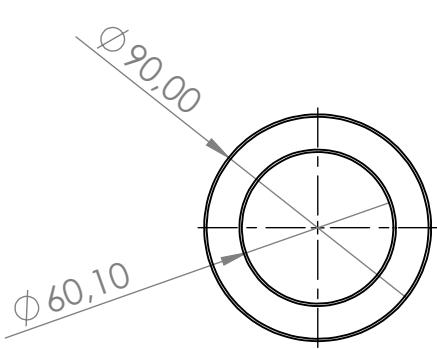
Casquilho_roda de coroa

A4

WEIGHT:

SCALE:1:3

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE:			
DRAWN Diogo Tavares			<h1 style="text-align: center;">Casquilho 1</h1>			A4
CHK'D						
APPV'D						
MFG						
Q.A						
MATERIAL:			DWG NO.			
WEIGHT:			SCALE: 1:3			SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

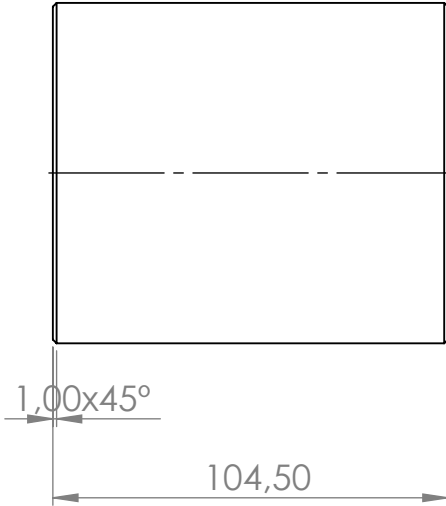
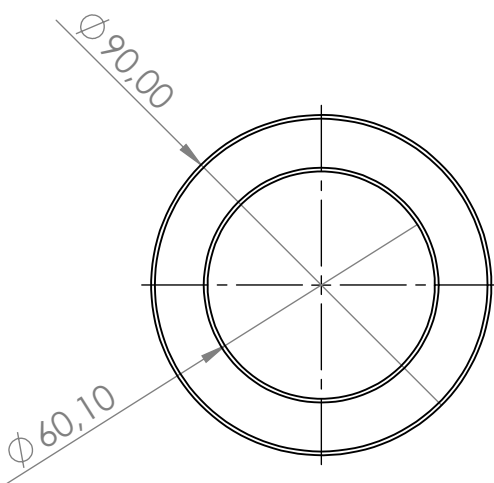
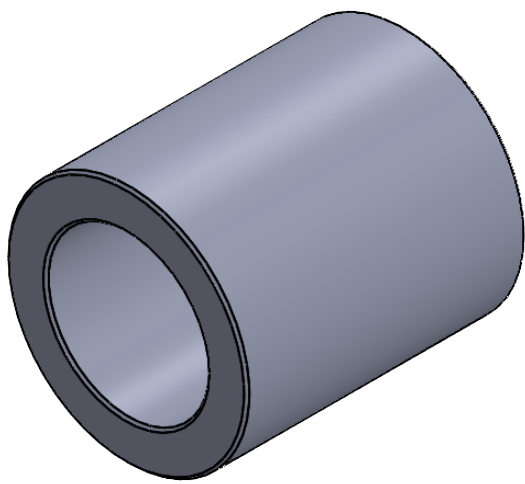
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Diogo Tavares		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:

MATERIAL:

DWG NO. **casquilho 2**

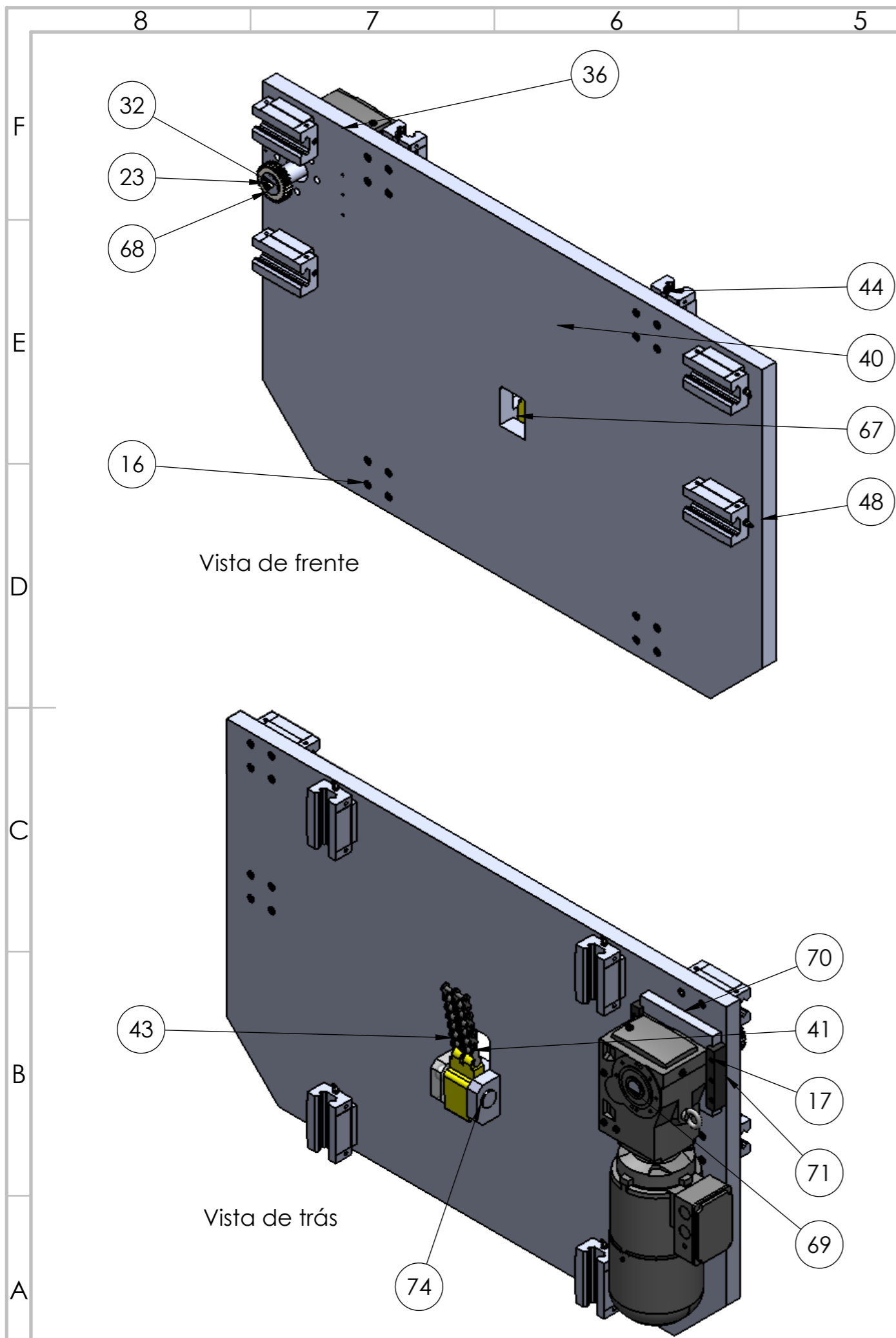
SCALE: 1:2

SHEET 1 OF 1

A4

4 3 2 1

6.13 Bacalhau



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
16	ISO 4762 M10 x 55 - 55N		32
17	ISO 4762 M6 x 10 - 10N		6
23	ISO 4762 M10 x 40 - 40N		1
32	Anilha 2		1
36	sk_9012_1_azdk_-_100ah_4_bre40_3kw_i_24_53_35h7_ft115_m1_2_i_		1
40	16b-2		1
41	Engate de corrente		1
42	Link		1
43	Elo		1
44	97940_2210150		12
48	Bacalhau assembly		1
67	Suporte de corrente		1
68	Pinion with hole		1
69	Veio bacalhau		1
70	Suporte de motorreductor		1
71	Ajuste		2
74	Veio do travão de segurança		1

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND BREAK SHARP EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE:
DRAWN Diogo Tavares			
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

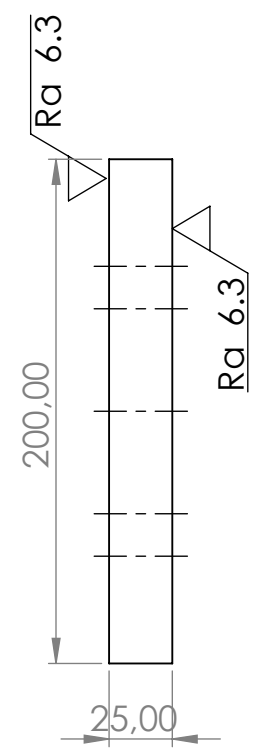
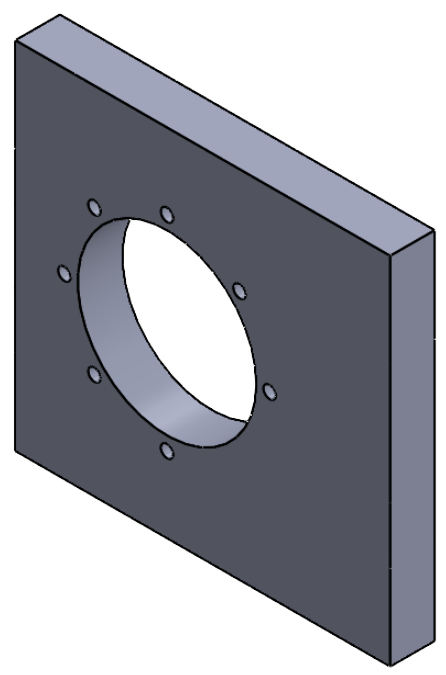
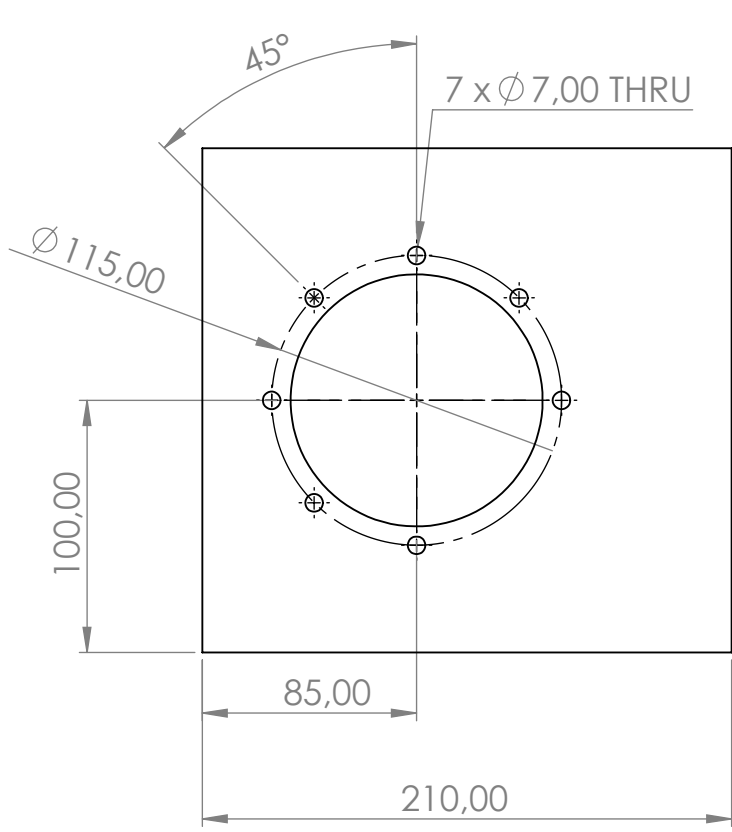
MATERIAL:

DWG NO. **Bacalhau - Assembly** A3

WEIGHT:

SCALE:1:10

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:	FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Diogo Tavares		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:	
DWG NO.	
MATERIAL:	
WEIGHT:	
SCALE:1:3	SHEET 1 OF 1

Suporte do motorreductor

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

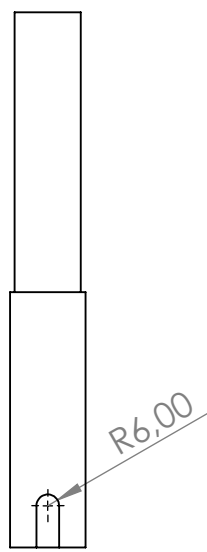
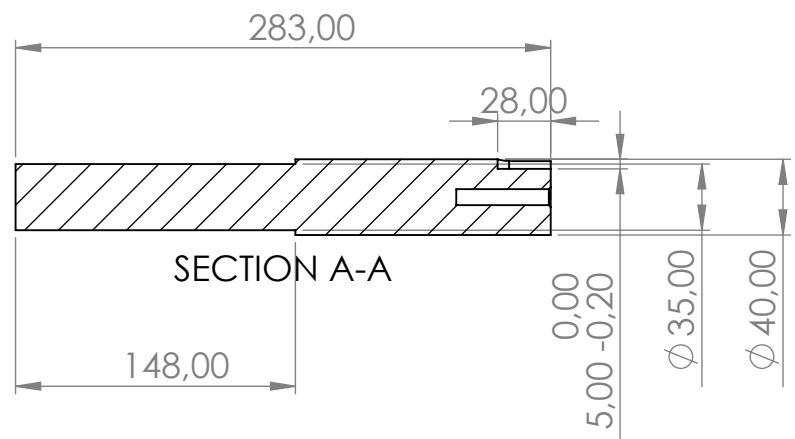
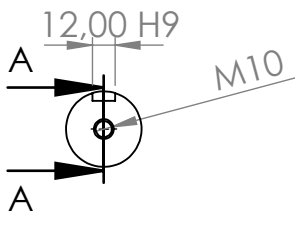
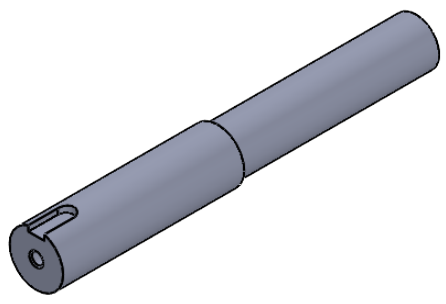
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Diogo Tavares		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:

MATERIAL:

WEIGHT:

DWG NO. **Veio bacalhau**

SCALE: 1:4

SHEET 1 OF 1

A4

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

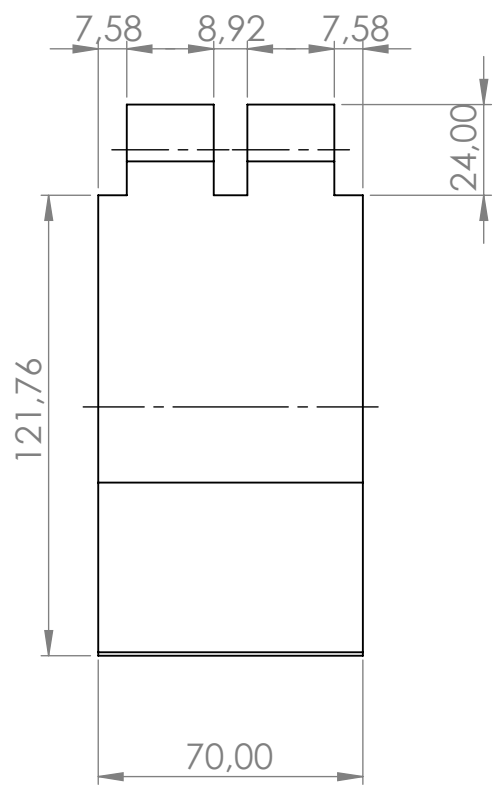
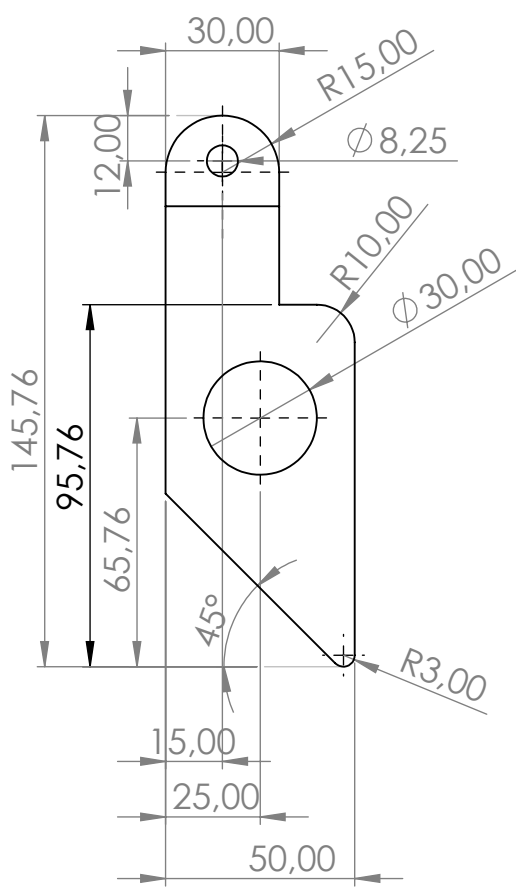
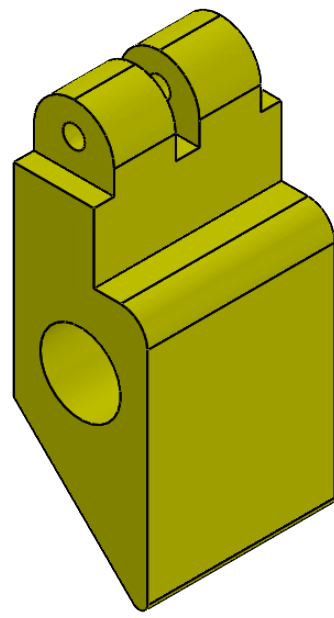
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE	
DRAWN	Diogo Tavares			
CHK'D				
APPV'D				
MFG				
Q.A				

TITLE:	<h1>Suporte da corrente</h1>	A4
DWG NO.		
WEIGHT:	SCALE: 1:2	SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

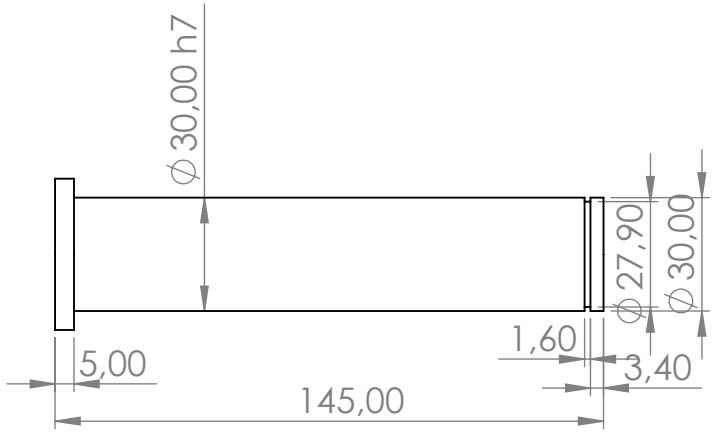
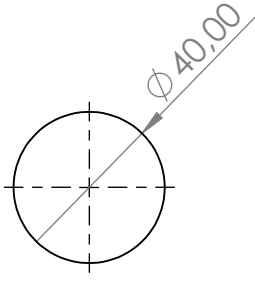
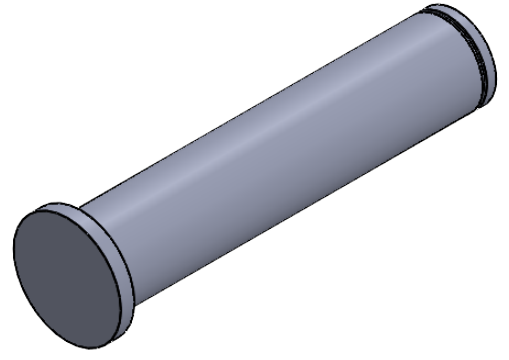
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Diogo Tavares		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:

MATERIAL:

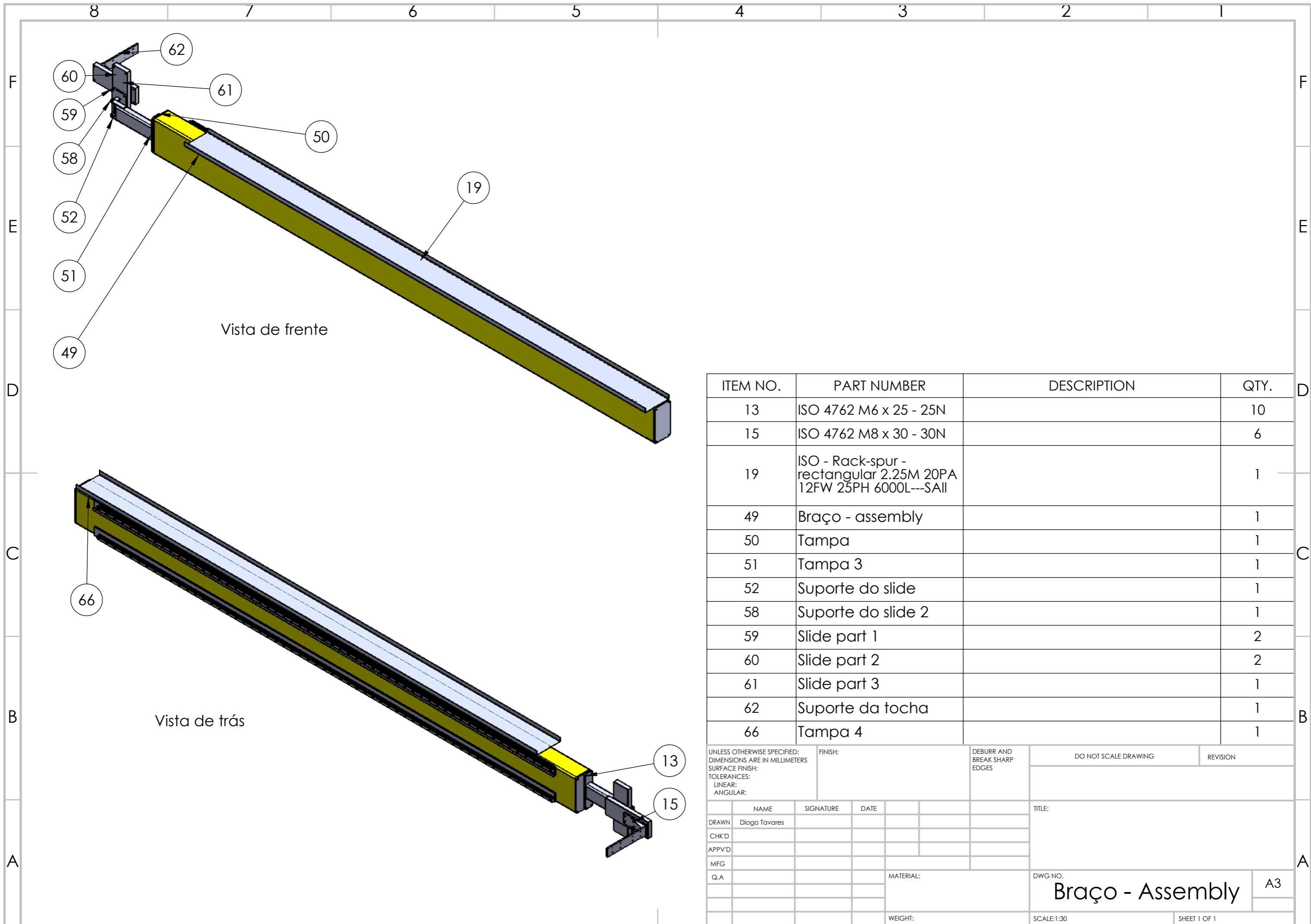
DWG NO. Veio do travao de segurança A4

WEIGHT:

SCALE: 1:2 SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

6.14 Braço

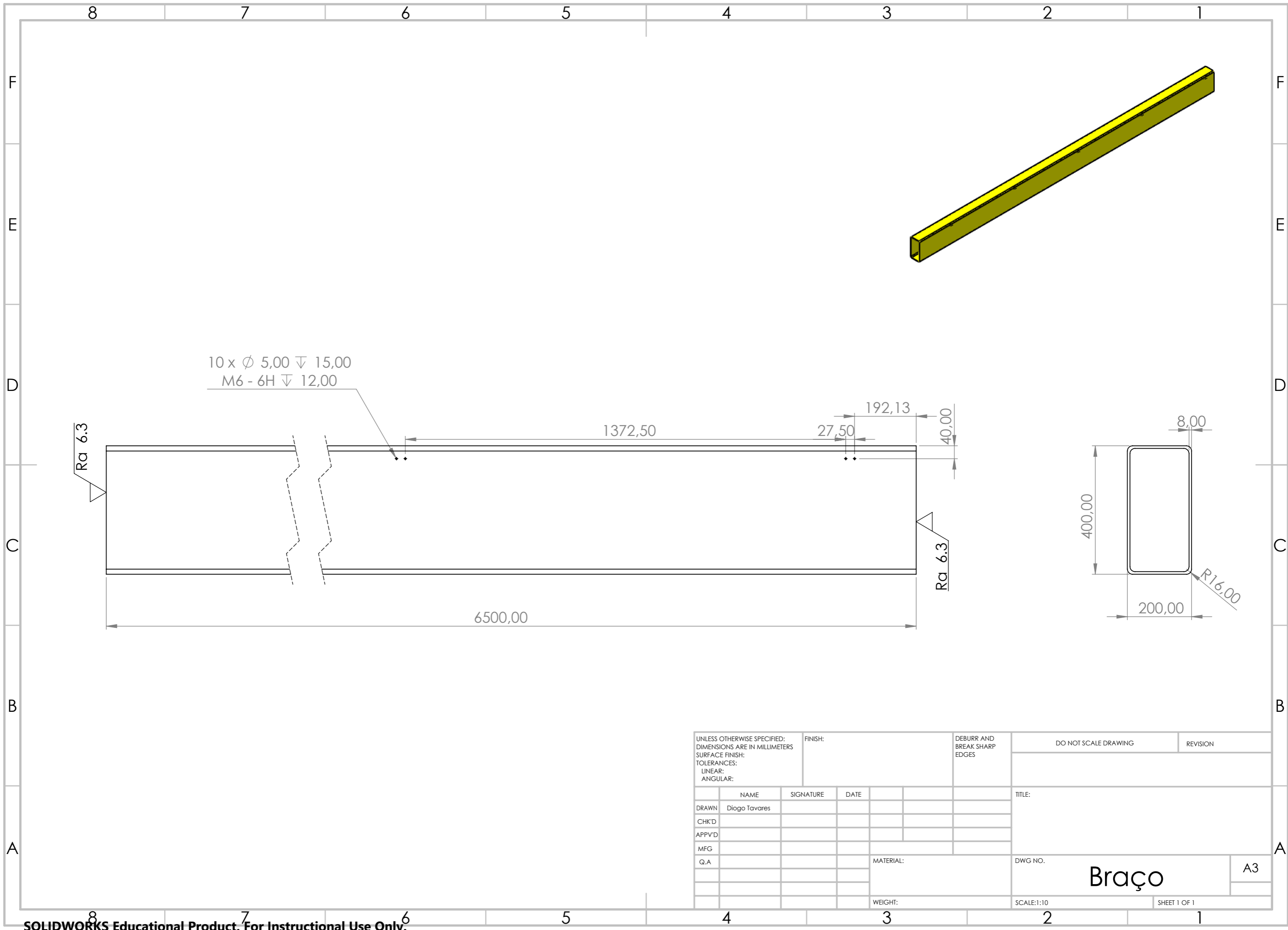


Vista de frente

Vista de trás

ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
13	ISO 4762 M6 x 25 - 25N		10
15	ISO 4762 M8 x 30 - 30N		6
19	ISO - Rack-spur - rectangular 2.25M 20PA 12FW 25PH 6000L---SAII		1
49	Braço - assembly		1
50	Tampa		1
51	Tampa 3		1
52	Suporte do slide		1
58	Suporte do slide 2		1
59	Slide part 1		2
60	Slide part 2		2
61	Slide part 3		1
62	Suporte da tocha		1
66	Tampa 4		1

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:									
TOLERANCES:									
LINEAR:									
ANGULAR:									
NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
DRAWN Diogo Tavares									
CHK'D									
APPV'D									
MFG									
Q.A						MATERIAL:		DWG NO.	
								Braço - Assembly	
						WEIGHT:		SCALE:1:30	
								SHEET 1 OF 1	



10 x \varnothing 5,00 ∇ 15,00
 M6 - 6H ∇ 12,00

Ra 6.3

Ra 6.3

400,00
 200,00
 8,00
 R16,00

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN Diogo Tavares				SIGNATURE		DATE		TITLE:			
CHK'D											
APPV'D											
MFG											
Q.A						MATERIAL:		DWG NO.		A3	
						WEIGHT:		SCALE:1:10		SHEET 1 OF 1	

Braço

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

C

B

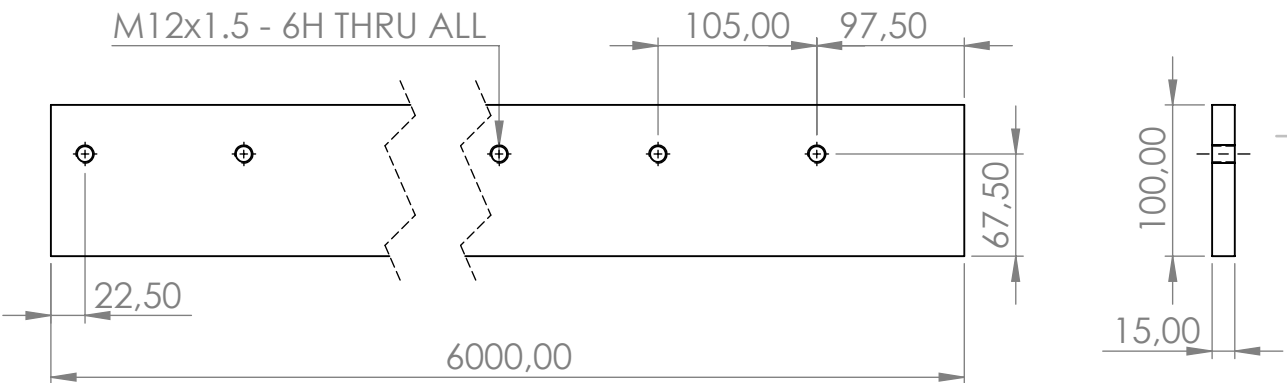
B

A

A



57 x ϕ 10,50 THRU ALL
M12x1.5 - 6H THRU ALL



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Diogo Tavares		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:

MATERIAL:

WEIGHT:

DWG NO.

SCALE: 1:5

SHEET 1 OF 1

Apoio de guias

A4

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

C

B

B

A

A

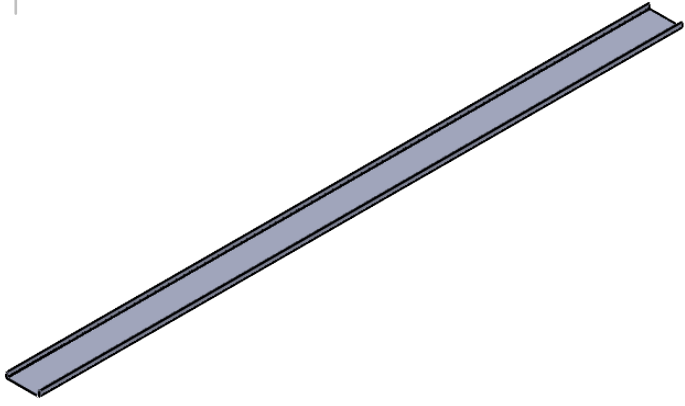
6000,00

3,00

50,00

310,00

R3,00



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN	Diogo Tavares				
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					

TITLE:	
MATERIAL:	DWG NO.
WEIGHT:	SCALE:1:5
SHEET 1 OF 1	

Calha

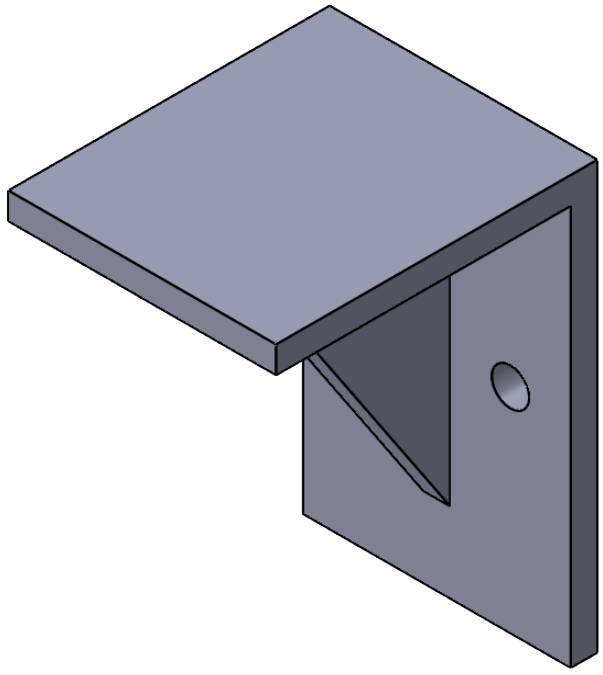
A4

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

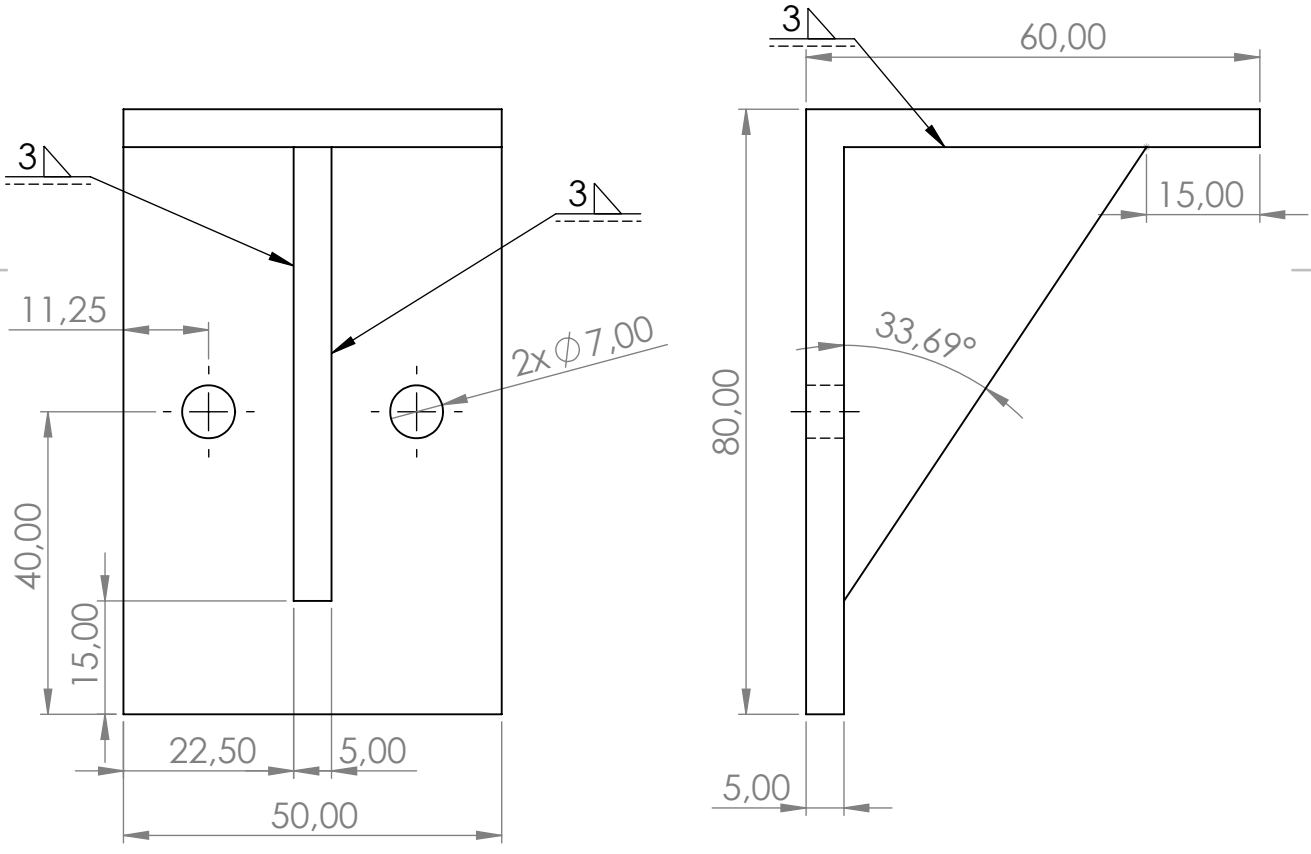


E

E

D

D



C

C

B

B

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Diogo Tavares		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:

DWG NO. **Suporte da calha** A4

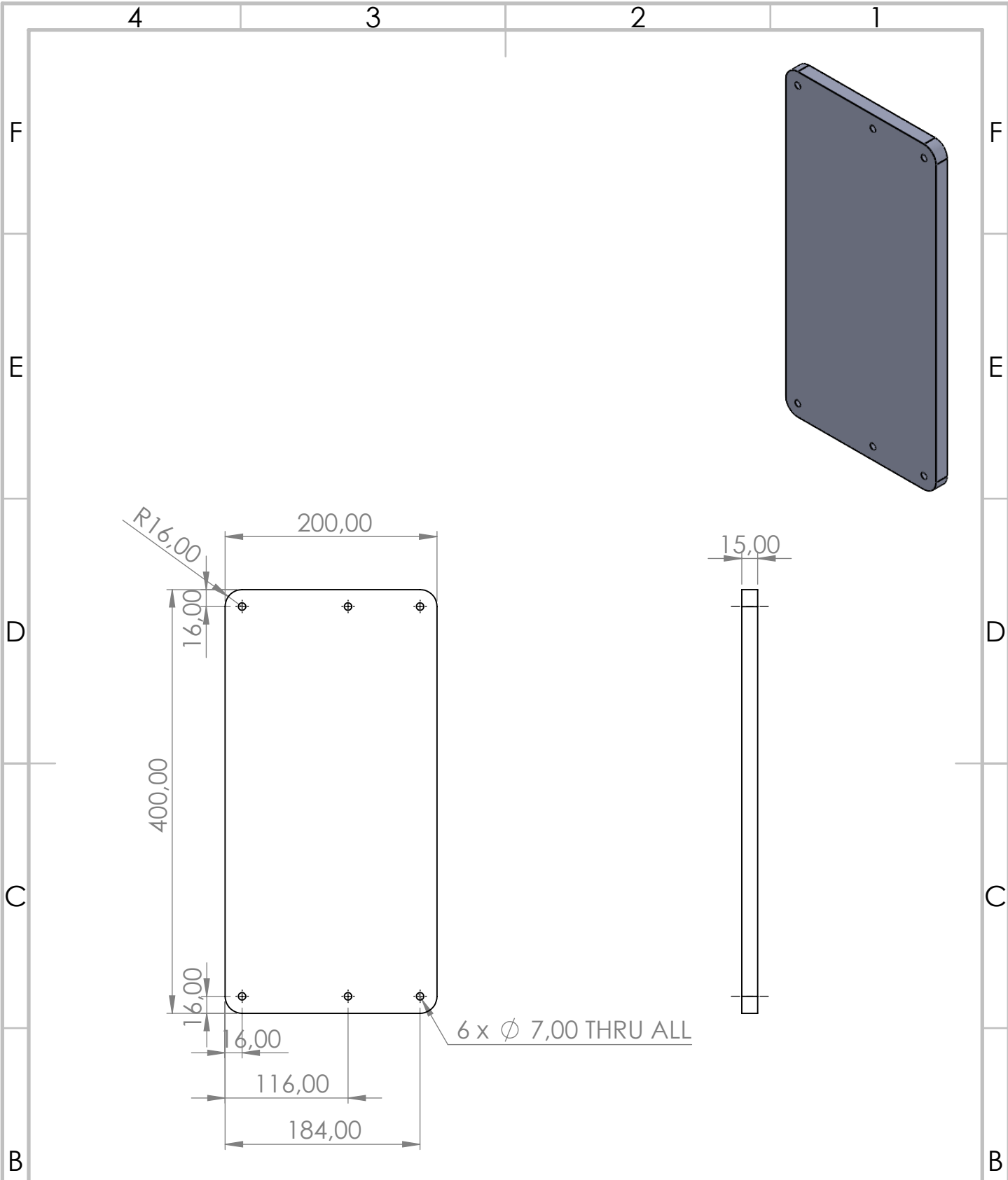
SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1

A

A

4 3 2 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Diogo Tavares		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:

MATERIAL:

WEIGHT:

DWG NO.

SCALE: 1:5

SHEET 1 OF 1

Tampa

A4

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

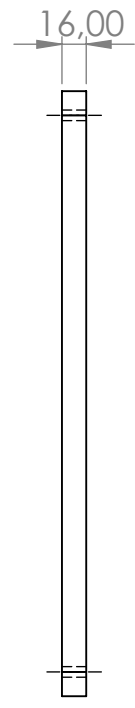
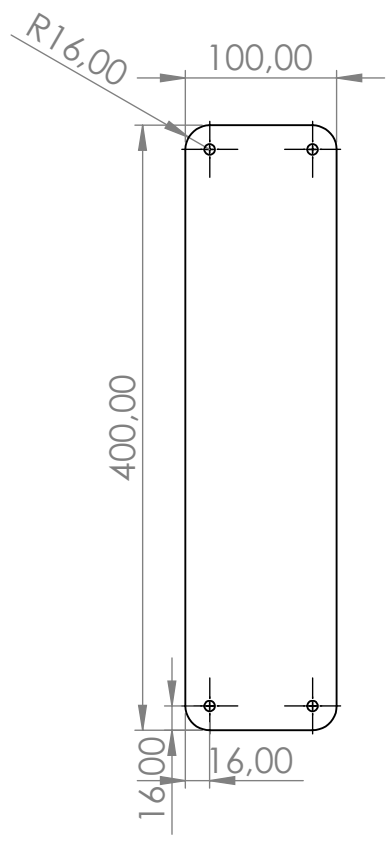
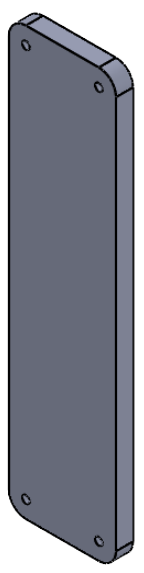
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Diogo Tavares		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:	
DWG NO.	Tampa 3
SCALE:1:5	SHEET 1 OF 1

MATERIAL:

DWG NO.

Tampa 3

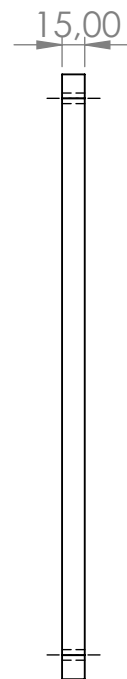
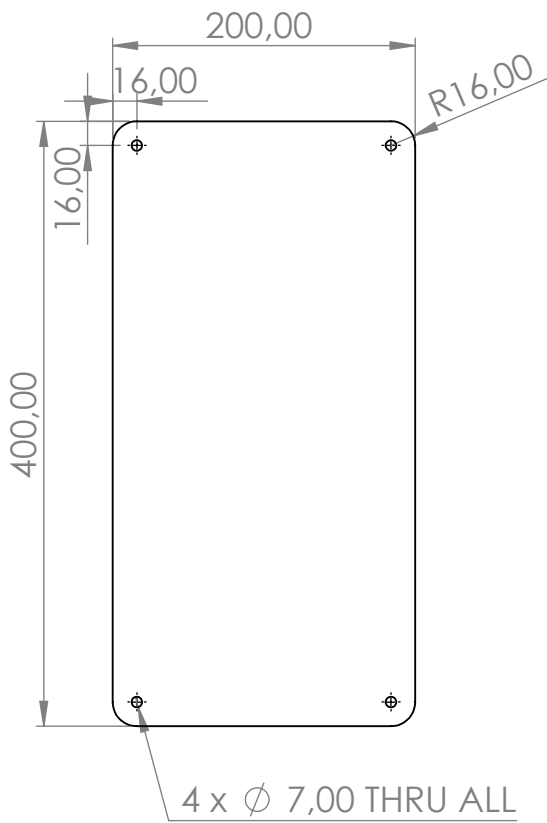
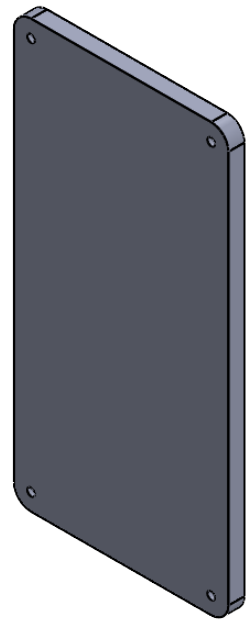
A4

WEIGHT:

SCALE:1:5

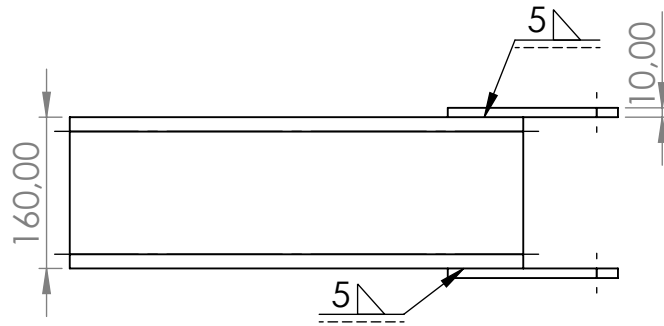
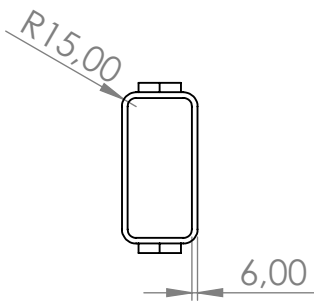
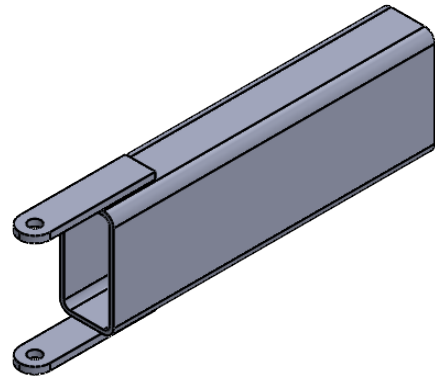
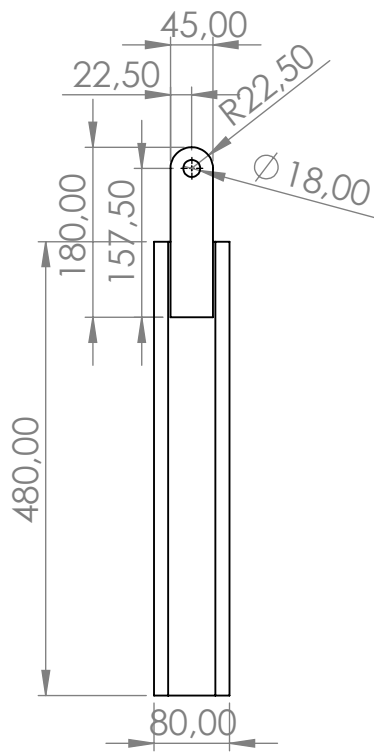
SHEET 1 OF 1

4 3 2 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
NAME				SIGNATURE	DATE	TITLE:
DRAWN	Diogo Tavares					
CHK'D						
APPV'D						
MFG						
Q.A				MATERIAL:	DWG NO.	A4
				WEIGHT:	SCALE:1:5	SHEET 1 OF 1

Tampa 4



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE	
DRAWN	Diogo Tavares			
CHK'D				
APPV'D				
MFG				
Q.A				

TITLE:

MATERIAL:

DWG NO.

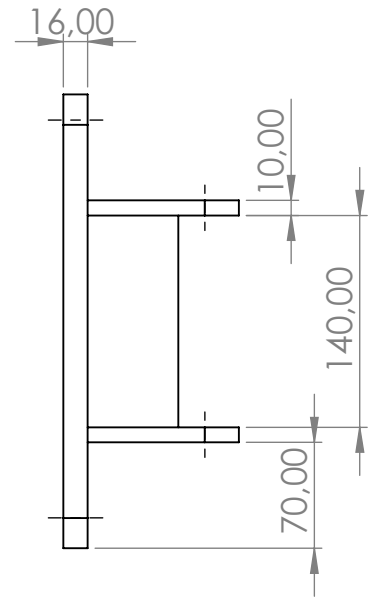
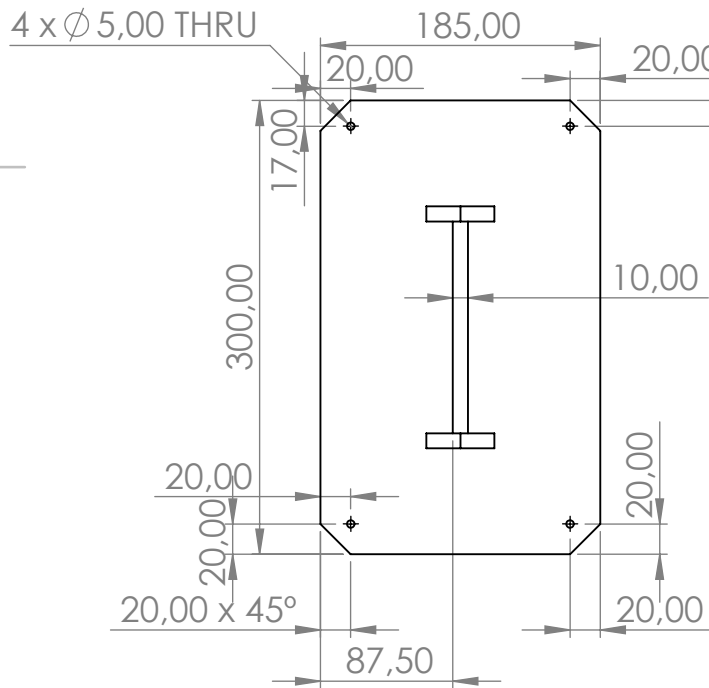
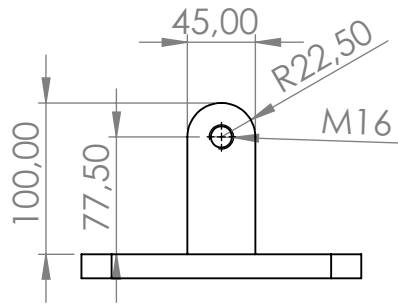
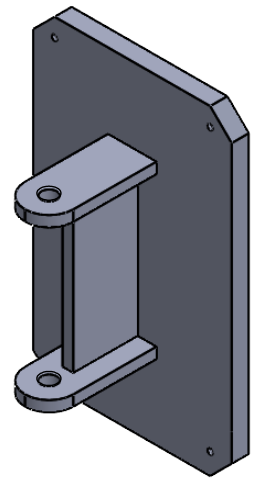
Suporte dos slides

A4

WEIGHT:

SCALE: 1:8

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Diogo Tavares		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:
 Suporte dos slides 2 A4

DWG NO.
 SCALE: 1:5

MATERIAL:
 WEIGHT:

SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

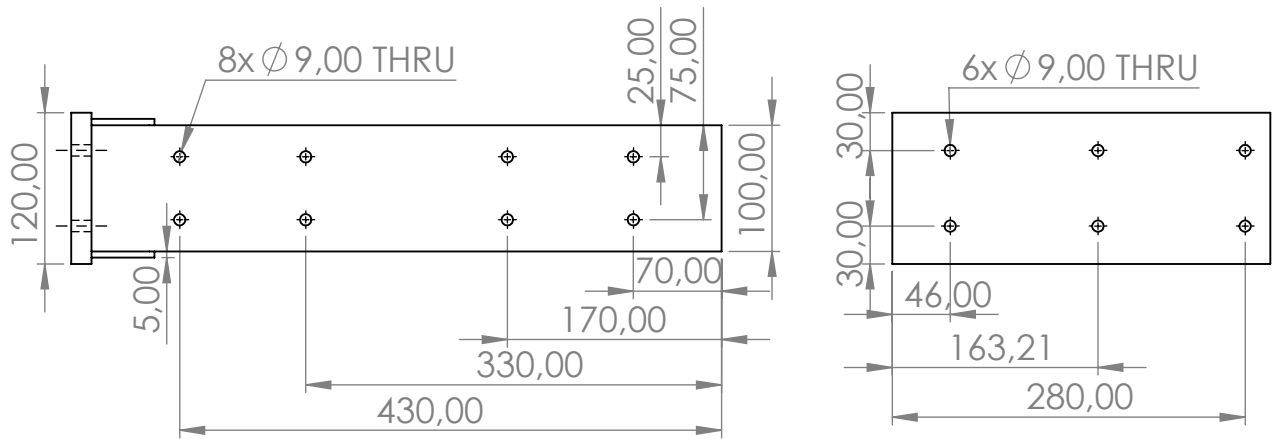
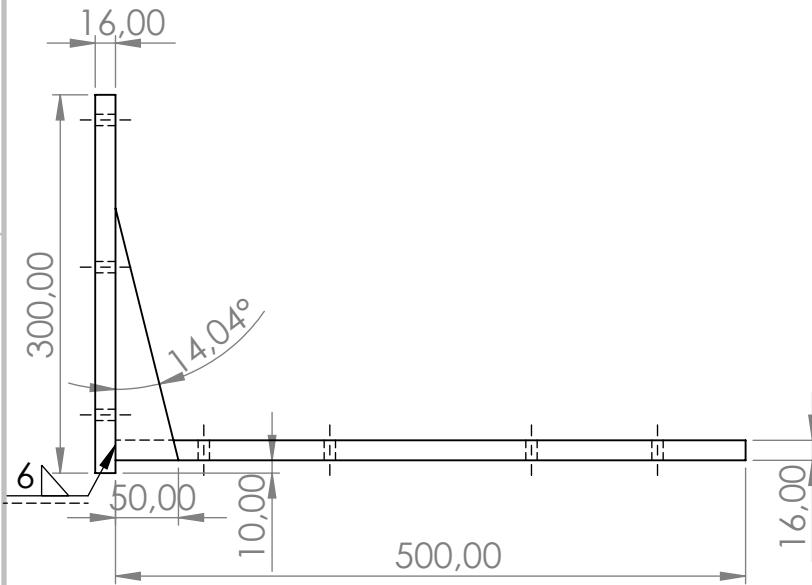
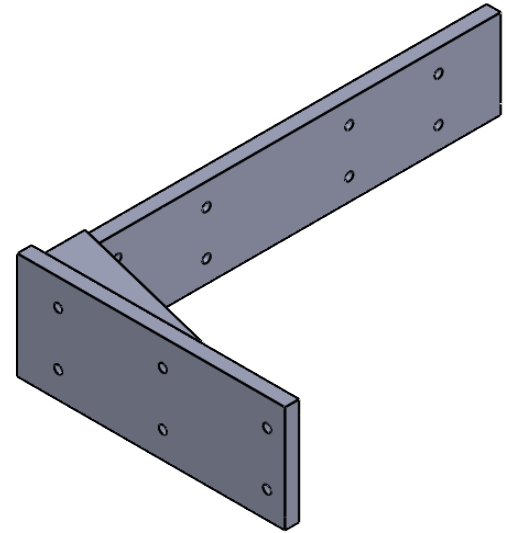
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Diogo Tavares		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:

MATERIAL:

DWG NO.

Suporte da tocha

A4

WEIGHT:

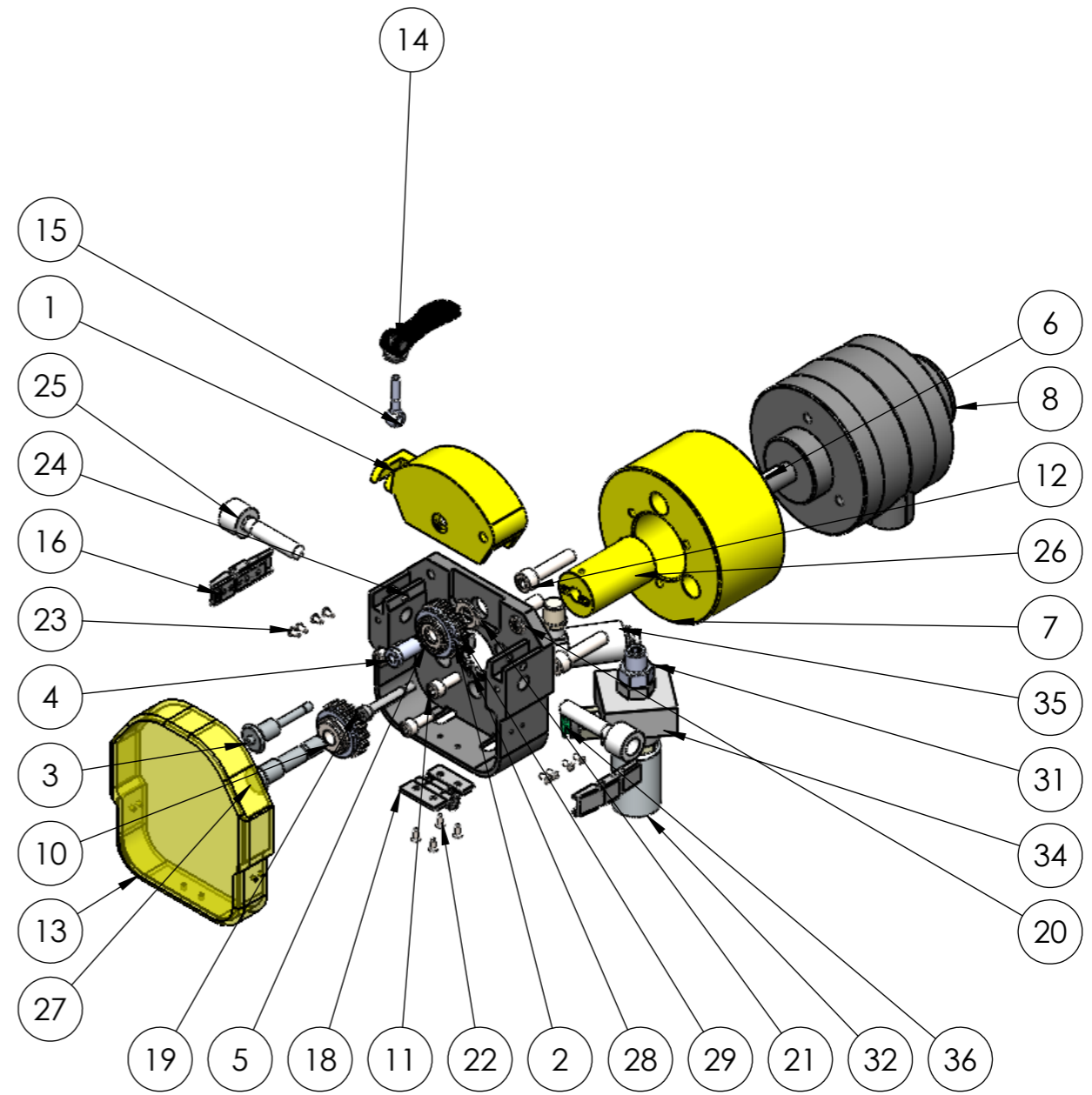
SCALE:1:6

SHEET 1 OF 1

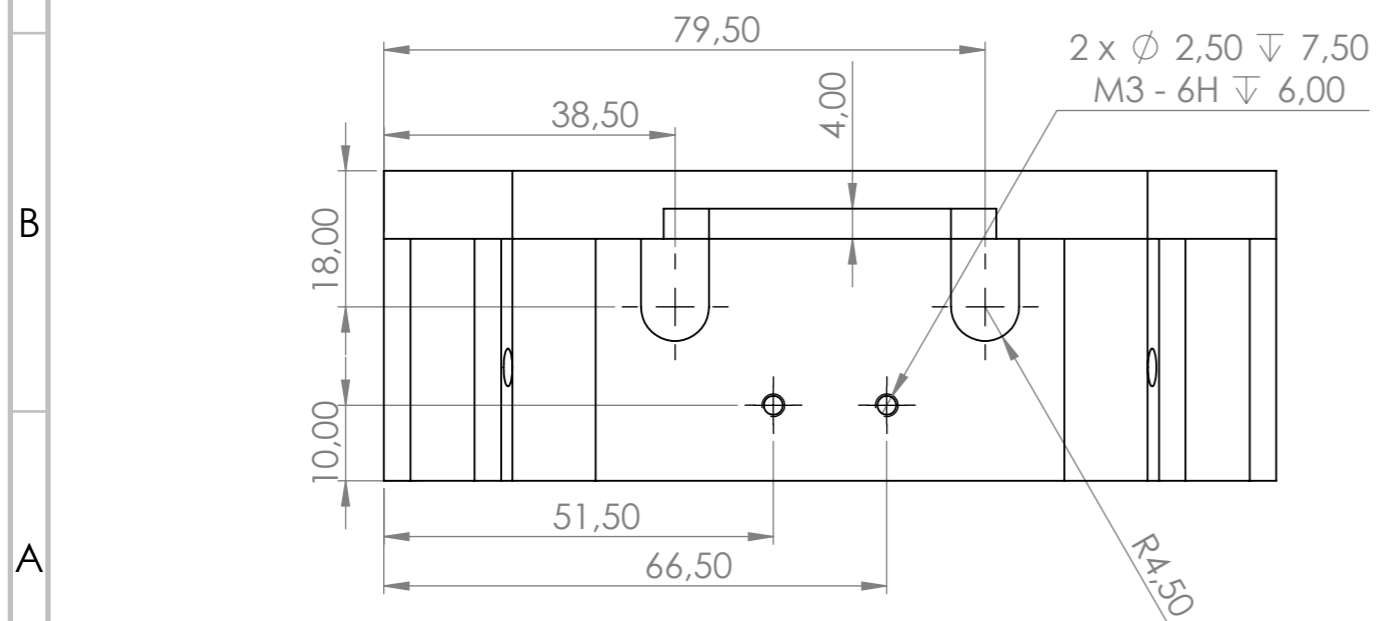
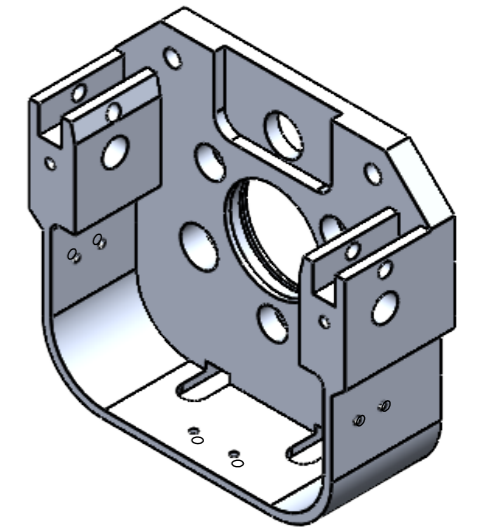
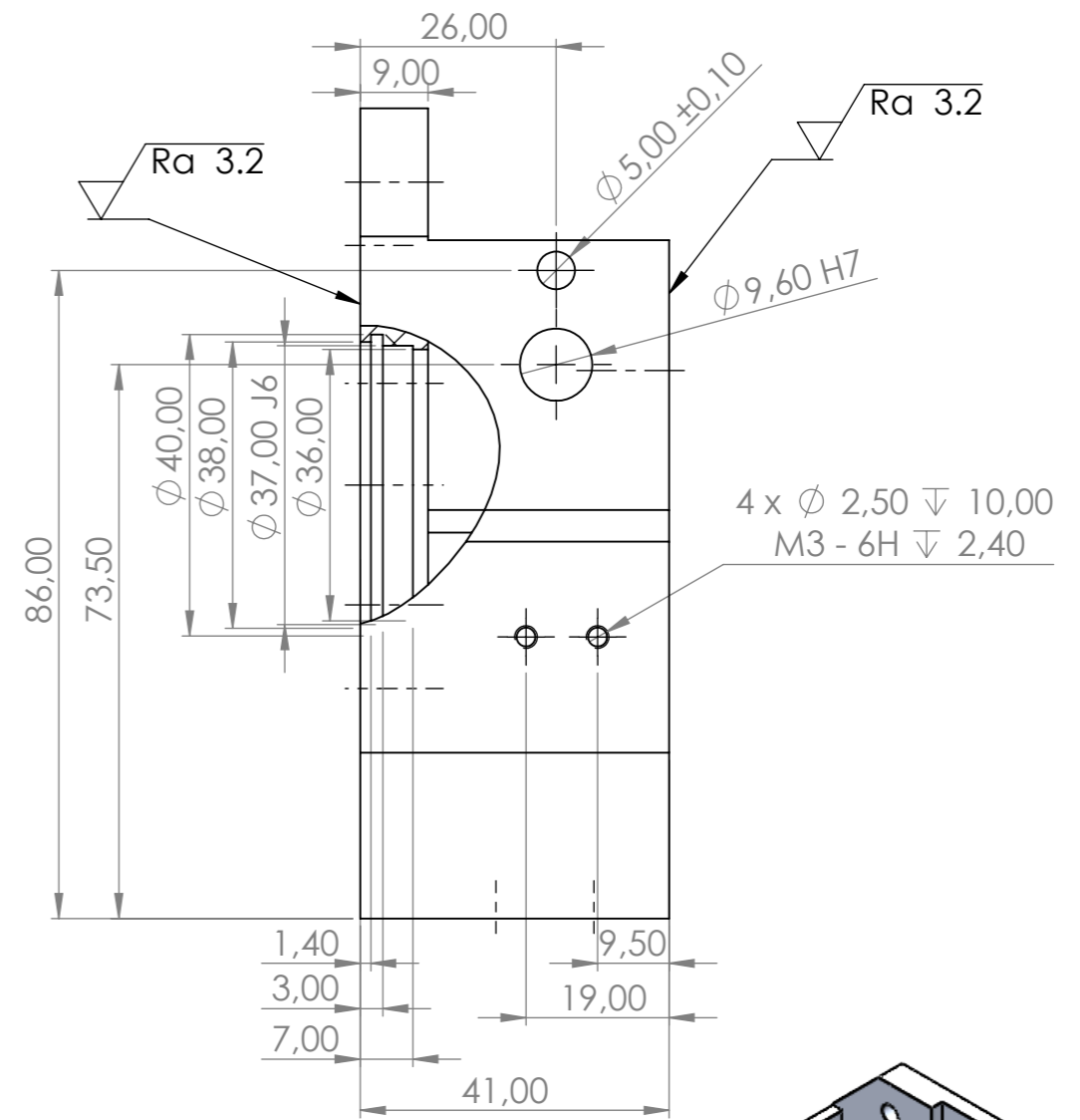
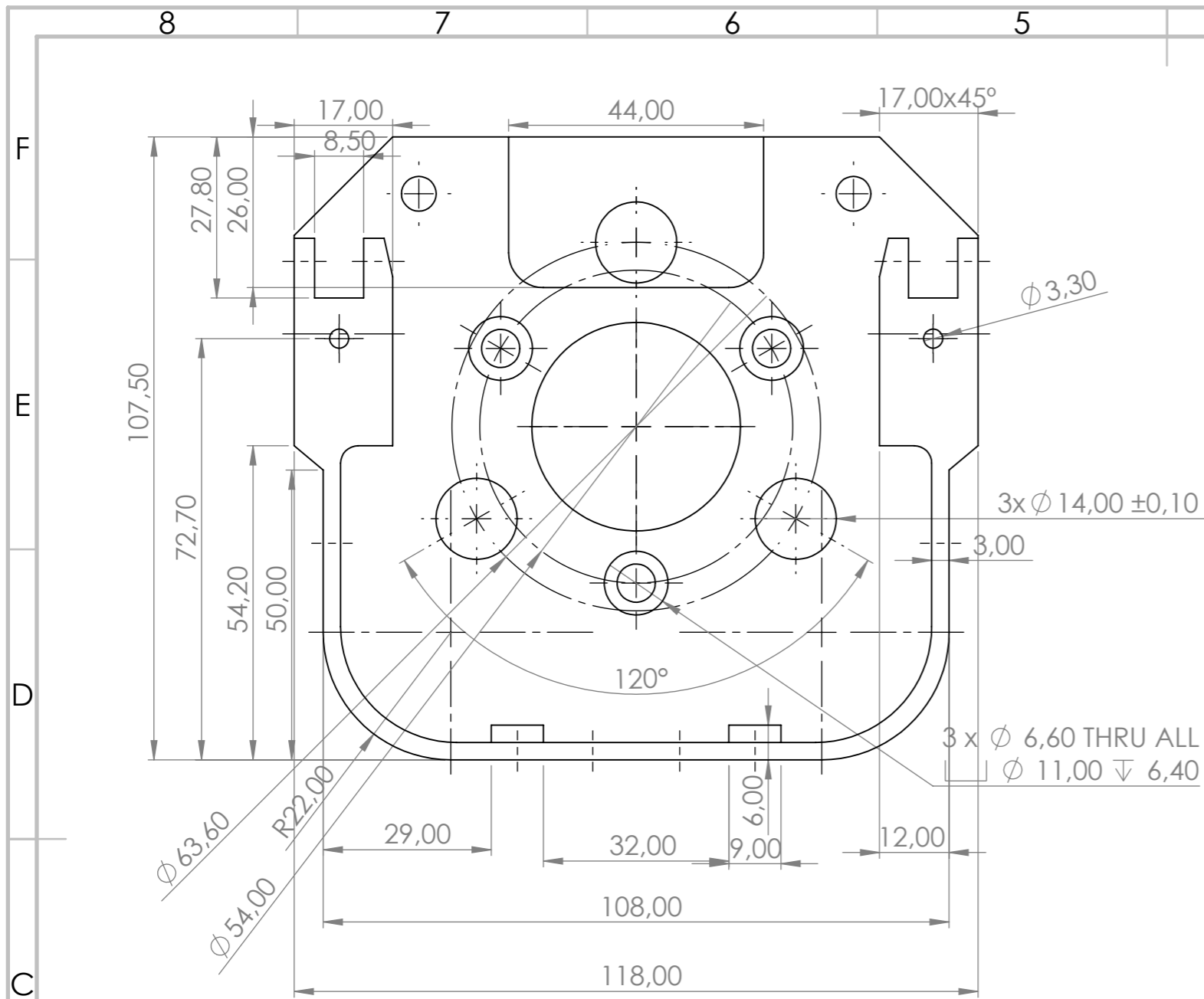
4 3 2 1

6.15 Sistema de alimentação de fio de soldadura

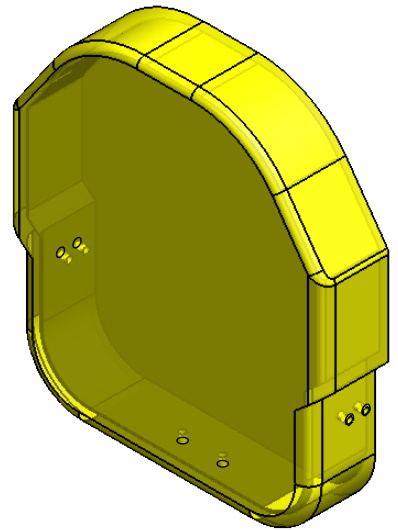
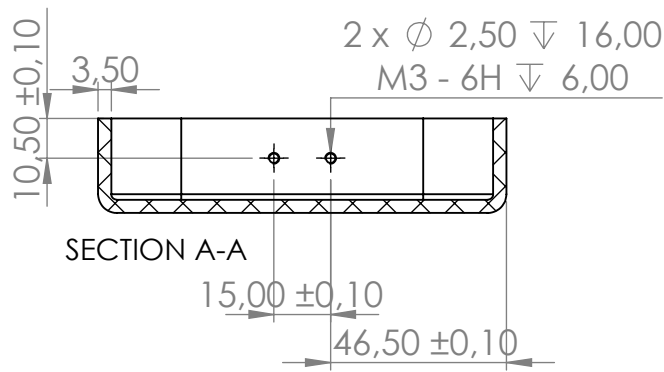
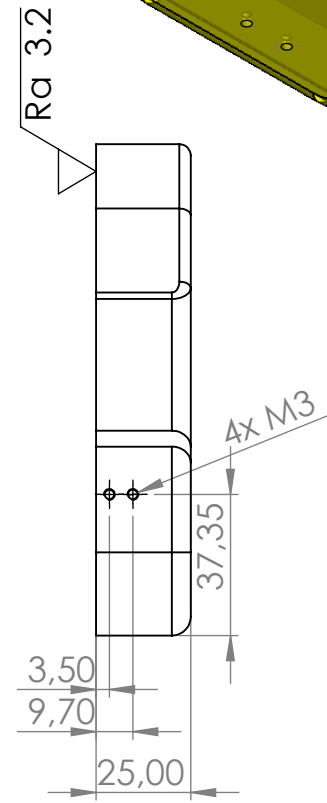
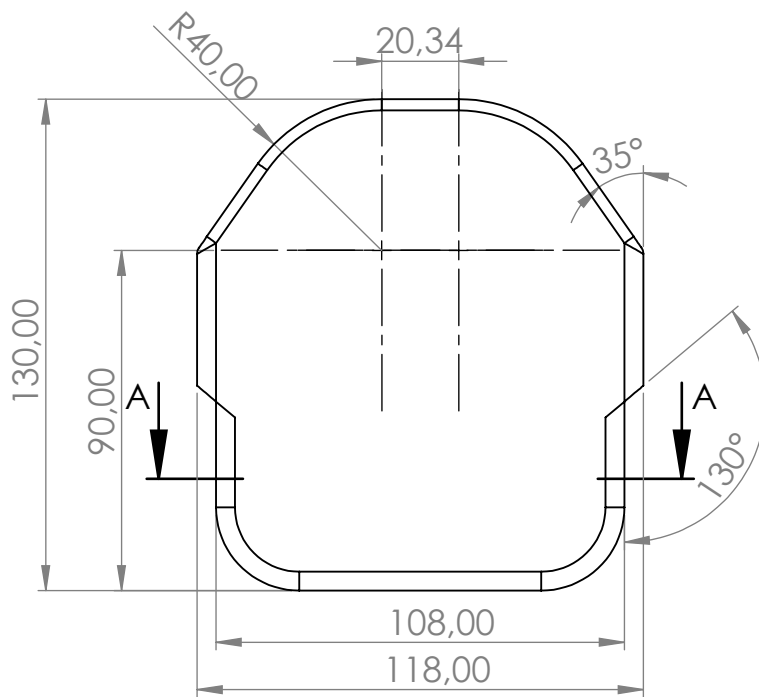
ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Tampa de pressão		1
2	Placa de alimentação		1
3	ball lock		1
4	Casquilho		1
5	rolo com rolamento		1
6	Key ISO 3912 4 x 6.5 x 16-N-AÇO		1
7	Suporte do motor		1
8	motor pneumático		1
9	ISO 7380 - M5 x 10 --- 10N-AÇO		1
10	rolo		1
11	ISO 4762 M6 x 16 --- 16N-AÇO		3
12	ISO 4762 M8 x 35 --- 35N-AÇO		3
13	Tampa		1
14	04232-0511105		1
15	din_444_bm5x30_5_6		1
16	8330-15-ni-a		2
17	ISO 4029 - M3 x 8-N-AÇO		2
18	27859_353010		1
19	07534_06X30		1
20	Washer ISO 7090 - 6-AÇO		1
21	Washer ISO 7090 - 10-AÇO		1
22	ISO 10642 - M3 x 8 --- 8N-AÇO		4
23	ISO 7380 - M3 x 6 --- 6N-AÇO		8
24	Spring Pin ISO 8752 - 5 x 14 - St-AÇO		1
25	Inlet Guide		2
26	Ligação do motor ao rolo		1
27	Ball lock		1
28	03030_204_V3		2
29	SKF_W_61706_2RZ		1
30	07331_381500		1
31	1823_391_254		1
32	01982252		1
33	pneumatica		1
34	04352398		1
35	02475158		1
36	01996487		1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		
DRAWN Diogo Tavares			SIGNATURE		DATE		TITLE:				
CHK'D											
APPV'D											
MFG											
Q.A					MATERIAL:		DWG NO. Alimentação de fio de soldadura				A3
					WEIGHT:		SCALE:1:4				SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN Diogo Tavares			SIGNATURE		DATE		TITLE:			
CHK'D							DWG NO.		A3	
APPV'D							Placa de alimentação			
MFG							SCALE:1:1		SHEET 1 OF 1	
Q.A					MATERIAL:		WEIGHT:			



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>NAME</th> <th>SIGNATURE</th> <th>DATE</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DRAWN Diogo Tavares</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CHK'D</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>APPV'D</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MFG</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Q.A</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				NAME	SIGNATURE	DATE		DRAWN Diogo Tavares				CHK'D				APPV'D				MFG				Q.A				TITLE:		
NAME	SIGNATURE	DATE																												
DRAWN Diogo Tavares																														
CHK'D																														
APPV'D																														
MFG																														
Q.A																														
MATERIAL: PC High Viscosity				DWG NO.		A4																								
WEIGHT:				SCALE:1:2		SHEET 1 OF 1																								

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

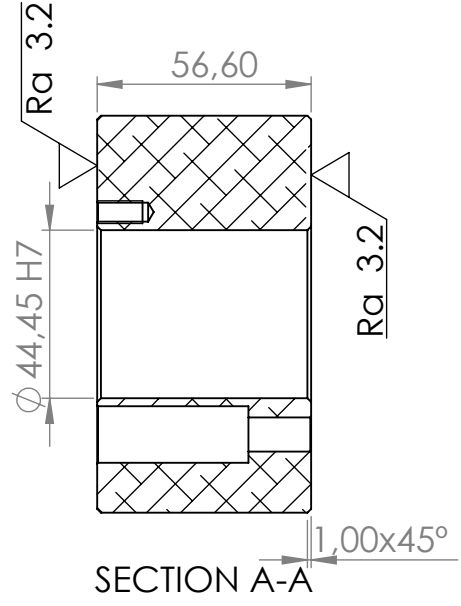
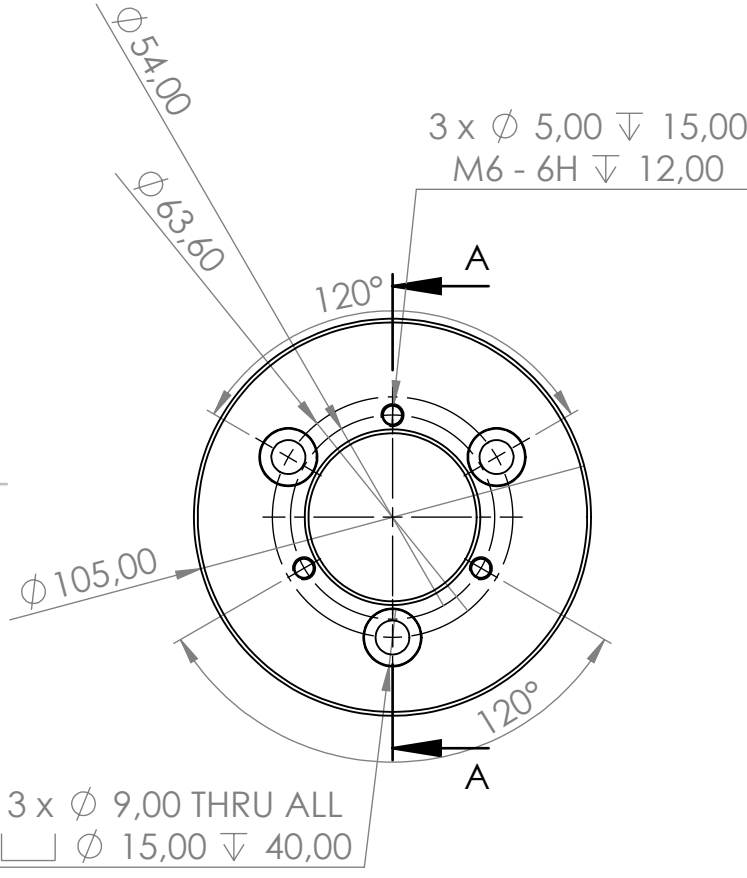
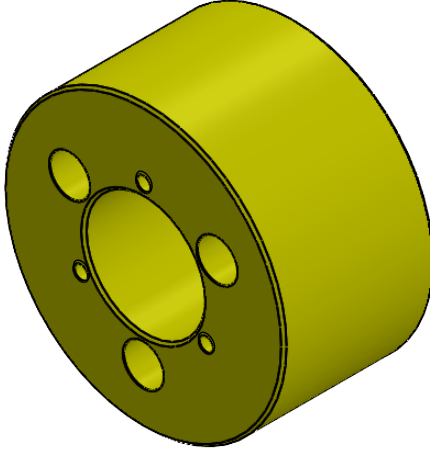
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Diogo Tavares		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

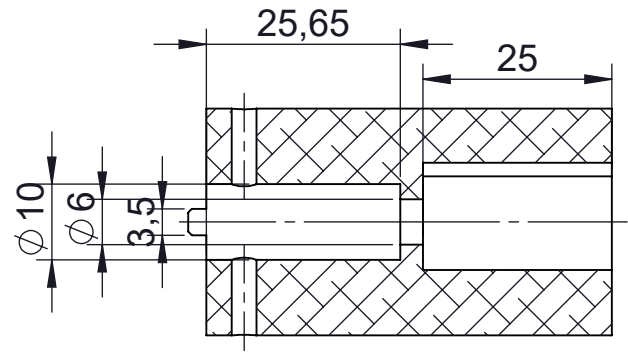
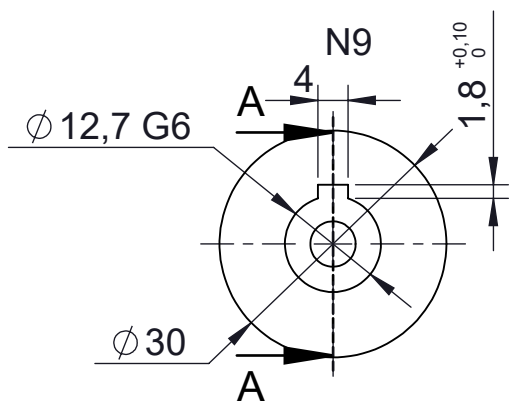
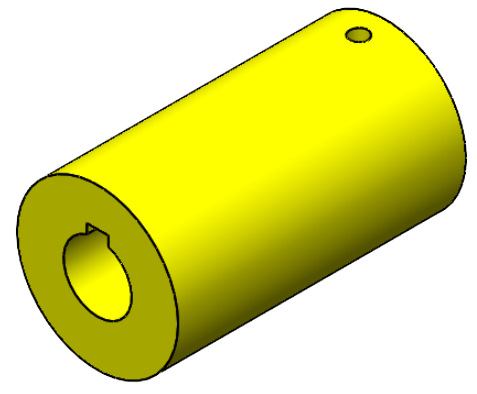
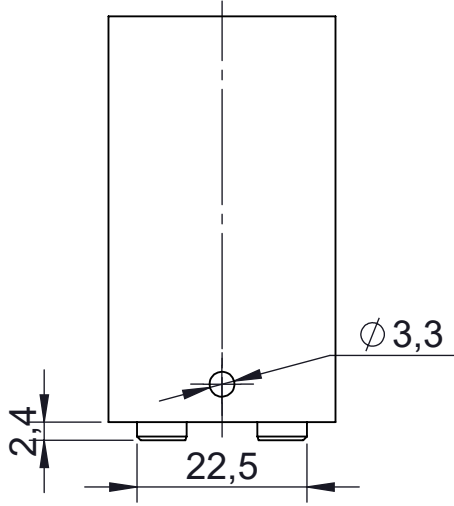
TITLE:

DWG NO. **Suporte do motor** A4

SCALE: 1:2

SHEET 1 OF 1

4 3 2 1



VIEW A-A

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Diogo Tavares		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:	
MATERIAL:	1060 Alloy
DWG NO.	Ligação do motor ao rolo
SCALE:1:1	SHEET 1 OF 1

A4

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

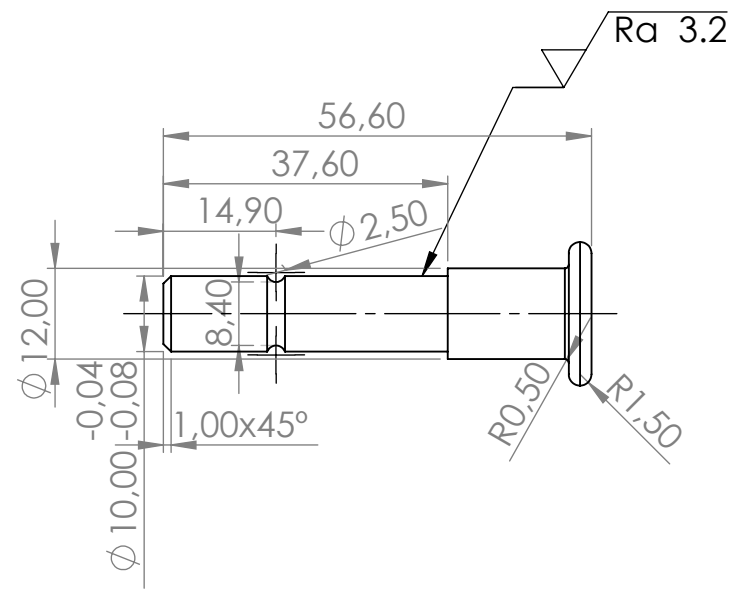
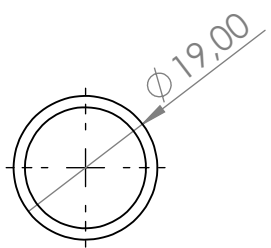
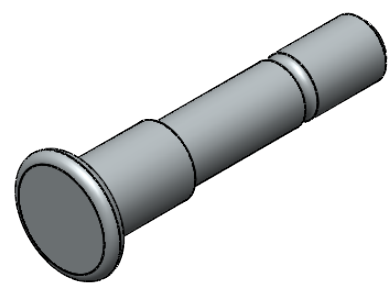
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

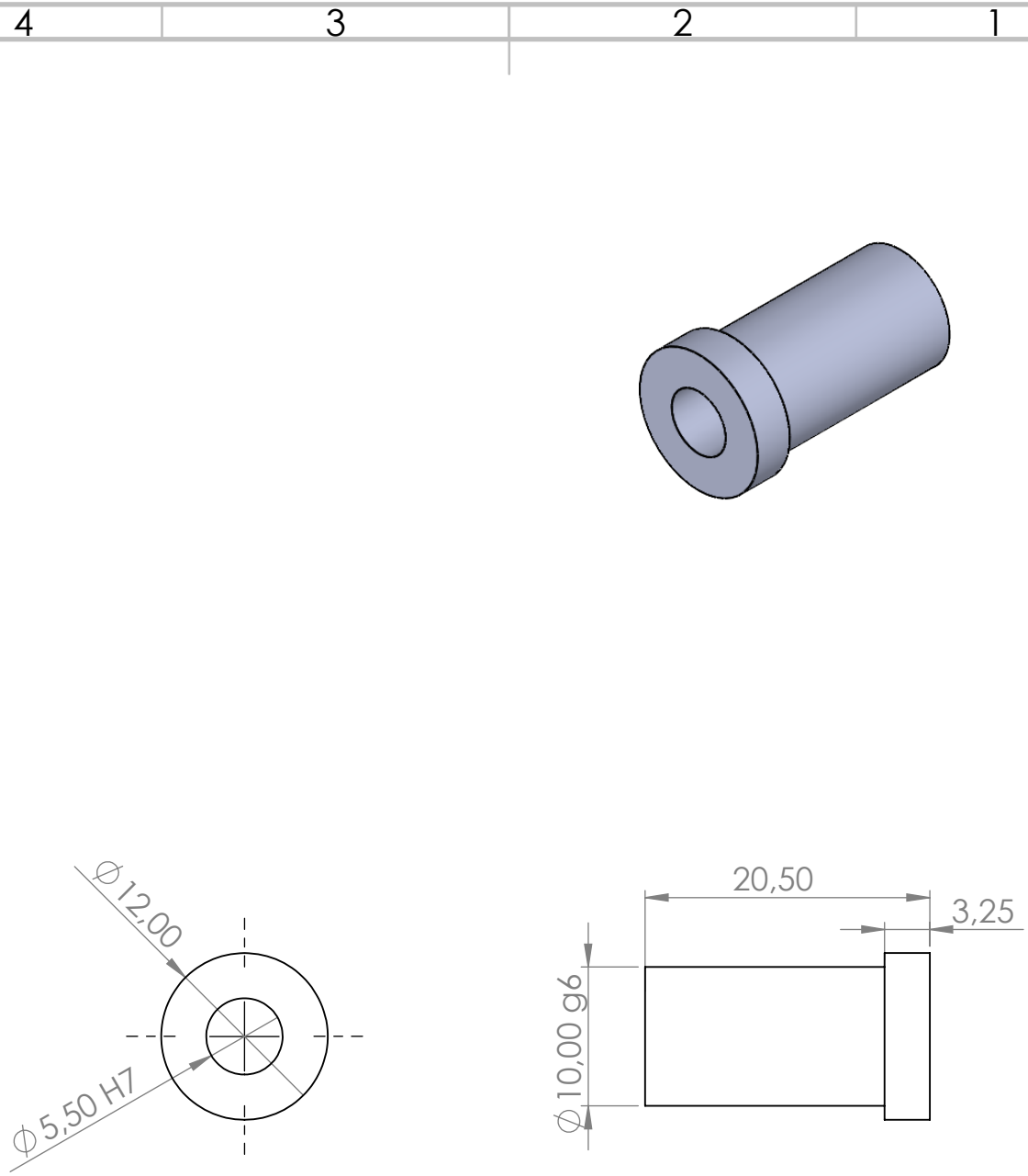
DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Diogo Tavares		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:	<h1>Ball lock</h1>	A4
DWG NO.		
MATERIAL:	Material <not specified>	
WEIGHT:		
SCALE: 1:1		SHEET 1 OF 1

4 3 2 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Diogo Tavares		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

MATERIAL:
 Material <not specified>

WEIGHT:

TITLE:

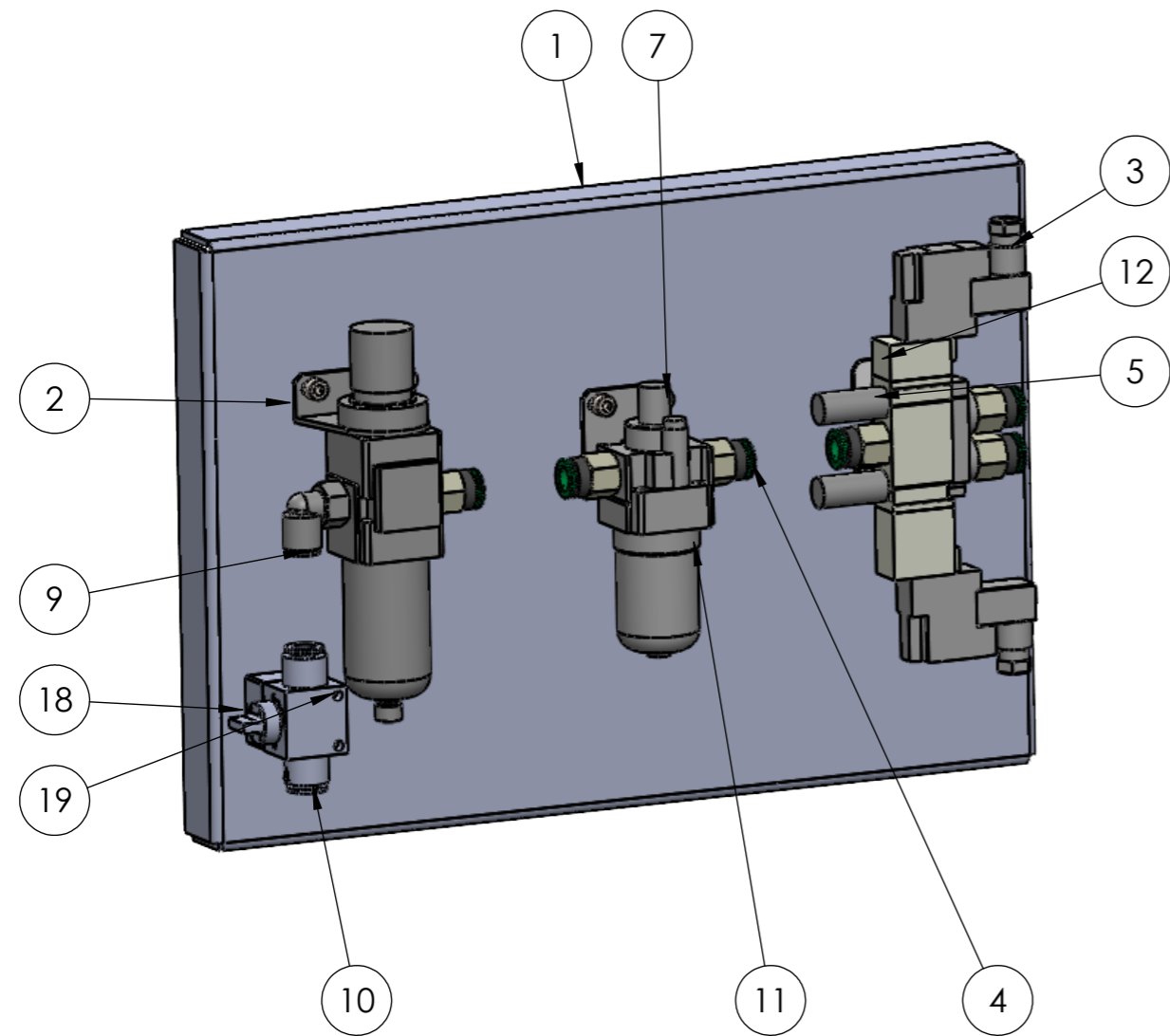
DWG NO. **Casquilho**

SCALE:2:1

SHEET 1 OF 1

A4

6.16 Acessórios pneumáticos



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	chapa_smc		1
2	70467867		1
3	04576462		1
4	01996487		6
5	70072423		2
6	Washer ISO 7092 - 5-AÇO		6
7	ISO 4762 M5 x 16 --- 16N-AÇO		4
8	Hexagon Nut ISO - 4032 - M5 - W - N-AÇO		4
9	kq2l10-02as		1
10	VHK2A-10F-10F		1
11	70401468		1
12	suporte de valvula		1
13	Washer ISO 7092 - 6-AÇO		2
14	ISO 4017 - M6 x 20-N-AÇO		2
15	Hexagon Nut ISO - 4032 - M6 - W - N-AÇO		2
16	Washer ISO 7092 - 4-AÇO		2
17	ISO 4017 - M4 x 10-N-AÇO		2
18	suporte da valvula de mao		1
19	ISO 4762 M5 x 40 --- 22N-AÇO		2

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN Diogo Tavares			SIGNATURE		DATE		TITLE:			
CHK'D										
APPV'D										
MFG										
Q.A							MATERIAL:		DWG NO.	
									Pneumática	
							WEIGHT:		SCALE:1:3	
									SHEET 1 OF 1	
									A3	