



Adaptação de um pórtico de soldadura para uma máquina de corte de tubo

ANDRÉ RANGEL VIDAL

outubro de 2021

ADAPTAÇÃO DE UM PÓRTICO DE SOLDADURA PARA UMA MÁQUINA DE CORTE DE TUBO

André Rangel Vidal

1160541

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

ADAPTAÇÃO DE UM PÓRTICO DE SOLDADURA PARA UMA MÁQUINA DE CORTE DE TUBO

André Rangel Vidal

1160541

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

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

JÚRI

Presidente

Doutora Sandra Cristina de Faria Ramos

Professor Adjunto, ISEP

Orientador

Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho

Professor Adjunto, ISEP

Coorientador

Doutor Francisco José Gomes da Silva

Professor Coordenador, ISEP

Arguente

Doutor António Manuel de Bastos Pereira

Professor Associado com Agregação, UA

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador no ISEP Doutor Raul Campilho e ao Coorientador Francisco Silva, por toda a dedicação e confiança demonstrada ao longo deste trajeto.

Ao meu orientador na Martifer Engenheiro Diogo Figueiredo, pela oportunidade proporcionada, por toda a partilha de conhecimentos, pelas sugestões e pelo acompanhamento orientação deste projeto. À equipa que integrei na Martifer que, indiretamente, me acompanharam neste percurso.

Por fim, gostaria de expressar a minha gratidão à minha família por todo o apoio e compreensão ao longo deste percurso.

PALAVRAS CHAVE

Projeto mecânico, Método de elementos finitos, Recondicionamento de equipamentos, Sistema de corte de tubos, Automação, Produtividade.

RESUMO

A indústria metalomecânica representa um setor bastante heterogéneo e integra um conjunto alargado de atividades industriais, apresentando uma grande influência na economia mundial. O avanço tecnológico ao longo dos anos permitiu o desenvolvimento de novas técnicas de fabrico que promoveram uma melhoria da qualidade e da produtividade dos bens fabricados, o que levou a um significativo aumento da competitividade no setor.

De forma a acompanhar o crescimento exponencial do mercado, a automatização apresenta-se como uma boa oportunidade para uma empresa não ser ultrapassada pela concorrência. É neste sentido que a presente dissertação se contextualiza. De facto, devido à inutilização de um pórtico de soldadura e face à necessidade de realizar cortes complexos em tubos de grandes dimensões, a Martifer pretende a readaptação do pórtico de soldadura para uma máquina de corte de tubo semiautomática. Este projeto abrange várias áreas do setor da engenharia, na medida em que a proposta de trabalho engloba todos os aspetos intrínsecos ao bom funcionamento da máquina. O desenvolvimento deste projeto passa pelo estudo de grupos de análise específicos, nomeadamente o suporte de tubos, a bucha fixadora, o processo de corte, o recondicionamento do controlador e, por fim, o sistema de extração de fumos. É ainda de salientar que o suporte de tubos é o grupo de análise cujo estudo foi realizado de forma mais pormenorizada, uma vez que este, devido à escassa oferta do mercado, é projetado para ser fabricado internamente, com o intuito de se apresentar como um suporte de tubos robusto e inovador.

A readaptação do pórtico existente em chão de fábrica permitiu realizar o corte de forma semiautomática, à qual está associada um aumento da produtividade do processo de corte de tubos de 446%, comparativamente ao corte manual, utilizado até à data na Martifer. As modificações implementadas e respetiva automação resultaram ainda numa redução dos custos de processo de aproximadamente 355%, o que permite que a readaptação do pórtico seja amortizada em 36 meses.

KEYWORDS

Mechanical design, Finite element method, Equipment reconditioning, Tube cutting system, Automation, Productivity.

ABSTRACT

The metalworking industry represents a very heterogeneous sector and integrates a wide range of industrial activities, with a great influence on the world economy. Technological advances over the years enabled the development of new manufacturing techniques that promoted an improvement in the quality and productivity of manufactured goods, which led to a significant increase in competitiveness in the sector.

To keep up with the exponential growth of the market, automation presents itself as a good opportunity for a company not to be overtaken by the competition. It is in this sense that this dissertation is contextualized. In fact, due to the lack of use of a welding frame and given the need to perform complex cuts in large tubes, Martifer intends to retrofit the welding frame to a semi-automatic tube cutting machine. This project covers several areas of the engineering sector, as the work proposal encompasses all aspects intrinsic to the proper functioning of the machine. The development of this project involves the study of specific analysis groups, namely the tube support, the fastening chuck, the cutting process, the controller reconditioning and, finally, the smoke extraction system. It should also be noted that the tube support is the analysis group whose study was carried out in more detail, since this, due to the limited availability in the market, is designed to be manufactured in-house, with the aim of presenting itself as a robust and innovative tube support.

The re-adaptation of the existing frame on the factory floor allowed for semi-automatic cutting, which is associated with an increase in the productivity of the pipe cutting process of 446%, compared to manual cutting, currently used at Martifer. The implemented modifications and respective automation also resulted in a reduction in process costs of approximately 355%, which allows the re-adaptation of the frame to be amortized in 36 months.

LISTA DE ABREVIATURAS, UNIDADES E SÍMBOLOS

Lista de Abreviaturas

3D	Três dimensões
4 R's	Reduzir, Reusar, Reciclar e Restaurar
AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i>
ANN	<i>Artificial neural network</i>
ANOVA	<i>Analysis of variance</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAM	<i>computer-aided manufacturing</i>
CNC	<i>Computer numeric control</i>
DFR	<i>Dross formation rate</i>
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
EUA	Estados Unidos da América
FL	<i>Fuzzy logic</i>
FMEA	<i>Failure mode and effects analysis</i>
IoT	<i>Internet of things</i>
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
ISO	Organização Internacional para a Normalização
LASER	<i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i>
METIP	Metodologias de Investigação e Planeamento
Nd:YAG	<i>Neodymium-doped yttrium aluminium garnet</i>
PF	Processo de fabrico

RSM	<i>Response Surface Method</i>
SWO	<i>Strengths, Weaknesses, Opportunities</i>
SWOT	<i>Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats</i>
TOPSIS	<i>Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
UE	União Europeia
UV	Ultravioleta
ZTA	Zona termicamente afetada

Lista de Unidades

€	Euro
°	Grau
°C	Grau Celsius
A	Ampere
bar	Bar
h	Hora
Hz	Hertz
kg	Quilograma
kg/m ³	Quilograma por metro cúbico
kN	QuiloNewton
kW	QuiloWatt
m	Metro
m ³	Metro cúbico
m ³ /h	Metro cúbico por hora

min	Minuto
mm	Milímetros
mm/min	Milímetro por minuto
mm ²	Milímetro quadrado
MPa	Mega Pascal
N	Newton
N.m	Newton - metro
N/m	Newton por metro
s	Segundo
V	Volt

Lista de Símbolos

%	Porcentagem
Σ	Somatório
C.S.	Coeficiente de segurança
C ₁	Variável auxiliar 1
F	Força atuante
F _{Cx}	Força atuante no ponto C (eixo x)
F _{Cy}	Força atuante no ponto C (eixo y)
G ₁	Movimento linear da garra 1 da bucha hidráulica
G ₂	Movimento linear da garra 2 da bucha hidráulica
G ₃	Movimento linear da garra 3 da bucha hidráulica
L ₁	Direção do movimento auxiliar 1 do braço robótico

L_2	Direção do movimento auxiliar 2 do braço robótico
L_3	Direção do movimento auxiliar 3 do braço robótico
$L_{m\acute{a}x}$	Comprimento máximo de afastamento dos suportes de tubos
M_C	Momento no ponto C
$M_{m\acute{a}x}$	Momento fletor máximo
M_O	Momento no ponto O
$\varnothing$	Diâmetro
$\varnothing_{ext}$	Diâmetro exterior
$\varnothing_{int}$	Diâmetro interior
q	Carga distribuída por unidade de comprimento
Q	Caudal volumétrico
R	Raio do maior diâmetro de tubo suportado
R_1	Movimento rotacional da bucha fixadora
R_a	Rugosidade média
R_{Ax}	Reação de apoio no ponto A (eixo x)
R_{Ay}	Reação de apoio no ponto A (eixo y)
R_{Bx}	Reação de apoio no ponto B (eixo x)
R_{By}	Reação de apoio no ponto B (eixo y)
R_{c-g}	Reação de apoio do carro guia
rpm	Rotações por minuto
R_t	Rugosidade total
t	Tempo de corte total
V	Volume

α	Ângulo representativo da direção da força aplicada no suporte de tubos
β	Ângulo da haste em relação à base do suporte de tubos
β_1	Ângulo de corte da parede 1
β_2	Ângulo de corte da parede 2
σ_{adm}	Tensão admissível
σ_{ced}	Tensão de cedência
σ_{inst}	Tensão instalada

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição do mercado mundial de fabrico de máquinas industriais (adaptado de [2])	9
Figura 2 - Crescimento da produção mundial de aço bruto, em milhões de toneladas (adaptado de [3]) 10	
Figura 3 - Evolução do valor de vendas da produção industrial na União Europeia (exceto Chipre, Luxemburgo e Malta) [4]	11
Figura 4 - Distribuição do valor de vendas da produção industrial por sector na UE, em 2018 (exceto Chipre, Luxemburgo e Malta) (adaptado de [4])	11
Figura 5 – Impacto global do Covid-19 na produção industrial entre janeiro e novembro de 2020, em % (adaptado de [5])	12
Figura 6 - Impacto das subcategorias da indústria metalomecânica, em 2017 [7]	12
Figura 7 - Distribuição das empresas da indústria metalomecânica em Portugal continental [8]	13
Figura 8 - Representação dos diferentes tipos de serras: A) serra alternativa, B) serra de fita e C) serra circular (adaptado de [12])	15
Figura 9 - Representação das três fases do processo de oxicorte, encontrando-se explicadas detalhadamente na Tabela 3 (adaptado de [17])	16
Figura 10 - Variação das pressões dos gases em função da espessura do material [19]	19
Figura 11 - Influência do teor de impurezas no desvio do corte (adaptado de [19])	19
Figura 12 - Representação gráfica da percentagem de oxigénio consumido em função da temperatura (adaptado de [19])	20
Figura 13 - Representação esquemática do processo de corte a laser (adaptado de [28])	25
Figura 14 - Parâmetros do processo de corte a laser (adaptado de [28])	27
Figura 15 - Representação esquemática de uma tocha de corte por arco de plasma (adaptado de [12]) 29	
Figura 16 - Influência da espessura do material e da intensidade de corrente/processo de corte na velocidade de corte de aço leve: 1- corte plasma 65 A, 2- corte plasma 200 A, 3- corte plasma 400 A, 4- corte laser 5kW e 5- oxicorte [37]	31
Figura 17 - Representação dos ângulos de inclinação, β_1 e β_2 , das paredes do corte (adaptado de [37]) 32	
Figura 18 - Representação do comportamento do jato de plasma: A) vista superior e B) vista lateral (adaptado de [37])	32
Figura 19 - Influência da velocidade de corte na qualidade do corte: A) ângulos de inclinação das paredes do corte e B) dimensões da largura de corte (adaptado de [39])	33

Figura 20 - Vista frontal do corte de acordo com as diferentes velocidades de corte representadas na Figura 19 (adaptado de [39])	33
Figura 21 - Influência da velocidade de corte na qualidade do corte: A) deflexão do jato de plasma e B) rugosidade superficial (adaptado de [39])	33
Figura 22 - Efeito do caudal mássico de diferentes gases na taxa de remoção de material (adaptado de [10])	34
Figura 23 - Tipos de automatização em função da quantidade e da variação da produção (adaptado de [44])	38
Figura 24 - Bucha fixadora de tubos [50]	40
Figura 25 - Controlador (FANUC R-30iB Plus) [53]	42
Figura 26 - Braço robótico (Fanuc M-710iC/70) [53]	42
Figura 27 - Sistema de extração de fumos (Nederman - NEX HD) [56]	43
Figura 28 - Política dos 4R's (reduzir, reusar, reciclar e restaurar) (adaptado de [65])	47
Figura 29 - Vista aérea dos pavilhões da Martifer em Oliveira de Frades (adaptado de Google Maps)	54
Figura 30 - Exemplo de obra de construção metálica da Martifer - ala este do aeroporto de Genebra [74]	54
Figura 31 - Torres eólicas fabricadas na Martifer [74]	55
Figura 32 - Representação dos setores de produção da Martifer: A) fabrico de torres eólicas e B) construção metálica [74]	55
Figura 33 - Esquema do processo produtivo dos tubos usados nas obras de construção metálica	56
Figura 34 - Representação dos processos utilizados pela Martifer no corte de tubo manual: A) oxicorte e B) rebarbagem	56
Figura 35 - Pórtico de soldadura existente em chão de fábrica	58
Figura 36 - Representação dos diferentes grupos de análise no pórtico em estudo	60
Figura 37 - Suporte de tubos existente em chão de fábrica: A) vista geral do suporte e B) sistemas de posicionamento dos rolos	60
Figura 38 - Estrutura de suporte de tubos existente em chão de fábrica	62
Figura 39 - Braço robótico equipado com uma cabeça de soldadura MIG/MAG	63
Figura 40 - Controlador FANUC SYSTEM R-J3	64
Figura 41 - Representação 3D do pórtico existente em chão de fábrica	69
Figura 42 - Representação CAD da solução I	70
Figura 43 - Representação dos diâmetros de tubo limite suportados pela solução I: A) suporte do menor diâmetro de tubo possível e B) suporte do maior diâmetro de tubo possível	70

Figura 44 - Representação CAD da solução II: A) Vista geral do suporte (solução II) e B) Representação da curva-guia	72
Figura 45 - Representação dos diâmetros de tubo limite suportados pela solução II: A) suporte do menor diâmetro de tubo possível e B) suporte do maior diâmetro de tubo possível	72
Figura 46 - Representação CAD da solução III	73
Figura 47 - Representação dos diâmetros de tubo limite suportados pela solução III: A) suporte do menor diâmetro de tubo possível e B) suporte do maior diâmetro de tubo possível	74
Figura 48 - Modos de acionamento do suporte: A) cilindro hidráulico [75] e B) fuso com rosca direita e esquerda [76]	75
Figura 49 - Representação CAD das garras pretendidas	78
Figura 50 – Máquina de corte Suprarex SXE – P 8000.....	80
Figura 51 - Corte com oxicorte: A) cabeça de corte com três bicos e B) cabeça de oxicorte em funcionamento.....	81
Figura 52 - Corte com plasma: A) cabeça de corte de plasma e B) cabeça corte de plasma em funcionamento.....	83
Figura 53 - Exemplo de calha articulada [83]	88
Figura 54 - Sistema de extração - calha extratora [56].....	88
Figura 55 - Carro para extrator de fumos [56]	89
Figura 56 - Representação do suporte de tubos e dos respectivos componentes a projetar	91
Figura 57 – Representação da base do suporte de tubos	92
Figura 58 – Vista explodida do conjunto da base do suporte	92
Figura 59 - Representação dos encaixes da base do suporte: A) encaixe placa lateral – base e B) encaixe placa de topo – placa lateral – base.....	93
Figura 60 - Vista de corte da placa de topo	93
Figura 61 - Representação do suporte da haste.....	94
Figura 62 - Vista explodida do conjunto suporte da haste	94
Figura 63 - Representação dos rebaixos existentes na parte inferior da base do suporte das hastes	95
Figura 64 - Representação do sistema de guias + carros guia na base do suporte	95
Figura 65 - Representação dos rasgos da base do suporte	96
Figura 66 - Sistema de fixação dos carros-guia ao suporte da haste.....	96
Figura 67 - Representação do conjunto de hastes	97
Figura 68 - Conjunto das hastes do suporte de tubos e identificação dos veios.....	97

Figura 69 - Fixação do veio do suporte das hastes	98
Figura 70 - Representação da fixação dos rolamentos.....	98
Figura 71 - Exemplo ilustrativo do funcionamento dos rolamentos	99
Figura 72 - Casquilho autolubrificante PRMF 505530 [84]	100
Figura 73 - Representação esquemática do posicionamento dos casquilhos	100
Figura 74 - Representação do veio dos rolos e respetivos constituintes	101
Figura 75 - Representação das variáveis do suporte de tubos	102
Figura 76 - Representação da direção da força do tubo sob os rolos para a pior situação possível	103
Figura 77 - Diagrama de equilíbrio do tubo a suportar	107
Figura 78 - Diagrama de equilíbrio do suporte de tubos.....	107
Figura 79 - Diagrama de equilíbrio da haste I.....	108
Figura 80 - Diagrama de equilíbrio da haste II.....	108
Figura 81 - Representação das forças do sistema	109
Figura 82 - Representação esquemática do comprimento máximo entre suportes	112
Figura 83 - Representação esquemática dos esforços aplicados no tubo.....	112
Figura 84 - Representação do fuso e das fêmeas trapezoidais	114
Figura 85 - Representação da fêmea trapezoidal (NFEFM 609) [85].....	116
Figura 86 - Representação da posição da fêmea trapezoidal: A) sem a utilização de calço e B) com a utilização de calço	117
Figura 87 - Posicionamento do calço e do suporte da haste.....	117
Figura 88 - Representação do furo que permite a desmontagem da cavilha	118
Figura 89 - Fixação do calço à placa de topo do suporte da haste	118
Figura 90 - Representação da fixação da fêmea trapezoidal.....	118
Figura 91 - Motor LSES 132 MU [87]	119
Figura 92 - Moto redutor NRV-P110 [88]	120
Figura 93 - Representação do acoplamento a utilizar (Norelem - 23022.700) [89]	120
Figura 94 - Representação esquemática da fixação do fuso e do veio de acionamento pelo acoplamento	121
Figura 95 - Representação da vista explodida da ligação do veio de acionamento ao moto redutor	121
Figura 96 - Posições de trabalho permitidas do moto redutor NRV-P110 [88].....	122
Figura 97 - Representação do posicionamento do moto redutor	122

Figura 98 - Cabo utilizado pelo motor (Tipo de cabo: 4G4) [83]	123
Figura 99 - Representação esquemática do posicionamento dos cabos na calha articulada [83]	124
Figura 100 - Esquema do funcionamento da calha articulada da guia A: A) Guia com barras deslizáveis e B) Guia simples (adaptado de [83])	124
Figura 101 - Esquema do funcionamento da calha articulada da guia B (adaptado de [83])	125
Figura 102 - Representação do interruptor de limite com alavanca de rolo ajustável [90]	125
Figura 103 - Representação do posicionamento do interruptor para o controlo do maior afastamento do suporte das hastes	126
Figura 104 - Representação do posicionamento do interruptor para o controlo do menor afastamento do suporte das hastes	126
Figura 105 - Representação da transferência de carga do suporte da haste para os carros-guia e respetivo diagrama de equilíbrio	127
Figura 106 - Representação do sistema de movimento linear a utilizar [91]	128
Figura 107 - Rolo do fornecedor Elesa+Ganter [92]	129
Figura 108 - Representação do sistema de guias aplicado no suporte de tubos	130
Figura 109 - Roda de aço de flange simples (Brauer – SSF 100/25/KM25) [93]	131
Figura 110 - Representação da fixação da roda	131
Figura 111 - Representação do veio das rodas de dupla flange e dos componentes a ele associados....	132
Figura 112 - Representação do modo de fixação do mancal de rolamentos e do calço à base do suporte de tubos	132
Figura 113 - Vista lateral do suporte de tubos e do sistema de guias	133
Figura 114 - Representação CAD da estrutura da bucha fixadora existente em chão de fábrica: (1) estrutura da bucha e (2) adaptador do prato da bucha fixadora	134
Figura 115 - Bucha fixadora - ROTA NCO 1000 Z520-SV90° [94]	134
Figura 116 - Esquema referente ao funcionamento da bucha fixadora adotada [94]	135
Figura 117 - Conjunto hidráulico OPUS-V250 [94]	136
Figura 118 - Garras SP-HB 800 [94]	136
Figura 119 - Equipamento de oxicorte: GCE - FIT+two [95]	140
Figura 120 - Diagrama de pressões dos gases de acordo com o ciclo de corte da tocha adotada [95] ...	140
Figura 121 - Processo de ignição da tocha de oxicorte [95]	141
Figura 122 - Bico de aquecimento – GSF [95]	141
Figura 123 - Bico de corte PSF 15-25 mm [95]	141

Figura 124 - Método de montagem do bico de corte sem ferramentas [95].....	143
Figura 125 - Representação esquemática do sistema de refrigeração COOLEX [95]	143
Figura 126 - Robot FANUC M16i [53]	144
Figura 127 - Representação dos eixos de movimento do robot FANUC M16i [53].....	145
Figura 128 - Representação dos eixos de movimento auxiliares do robot FANUC M16i no pórtico existente em chão de fábrica.....	145
Figura 129 - Ponteira do robot FANUC M16i [53]	146
Figura 130 – Representação do veio de fixação do sistema de corte e do respetivo sistema de conexão à ponteira do robot FANUC M16i	146
Figura 131 - Fixação da tocha de oxicorte ao veio de fixação do sistema de corte através de grampos .	147
Figura 132 - Representação da tocha de oxicorte aplicada no braço robótico	147
Figura 133 - Representação da consola de comandos [53]	152
Figura 134 - Representação da ventilação forçada existente em chão de fábrica	152
Figura 135 - Representação de um corte boca de lobo.....	194
Figura 136 - Custo da mão de obra e dos consumíveis no corte manual e semiautomático	205
Figura 137 - Custo dos consumíveis no corte manual e semiautomático	206
Figura 138 - Tempo de oxicorte e de acabamento no corte manual e semiautomático	206
Figura 139 - Pórtico a projetar sem a aplicação das soluções adotadas	207
Figura 140 - Representação das guias para os suportes de tubos no pórtico a projetar	208
Figura 141 - Aplicação dos suportes de tubos no pórtico a projetar	208
Figura 142 - Representação das calhas articuladas no pórtico a projetar	209
Figura 143 - Aplicação do prato da bucha fixadora na estrutura existente	209

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Produção de aço bruto em 2019 [3]	10
Tabela 2 - Vantagens e desvantagens do processo de corte por ferramentas mecânicas (adaptado de [13-16])	16
Tabela 3 - Fases do processo de oxicorte [11,18,19]	17
Tabela 4 - Vantagens e desvantagens do processo de oxicorte (adaptado de [19,22,25])	23
Tabela 5 - Estado da arte do processo de oxicorte	23
Tabela 6 – Diferentes tipos de remoção de material no processo de corte laser (adaptado de [25])	25
Tabela 7 - Tipos de laser mais comuns em função do meio ativo (adaptado de [30,34])	26
Tabela 8 - Vantagens e desvantagens do processo de corte laser (adaptado de [25,35,36])	27
Tabela 9 - Estado da arte do processo de corte laser	28
Tabela 10 - Gases primários do processo de corte por plasma [36, 43]	30
Tabela 11 - Gases de proteção do processo de corte plasma (adaptado de [36])	30
Tabela 12 - Vantagens e desvantagens do processo de corte por plasma (adaptado de [25,36])	35
Tabela 13 - Estado da arte do processo de corte por plasma	35
Tabela 14 - Razões que justificam a automatização dos equipamentos (adaptado de [44])	37
Tabela 15 - Estado da arte da automatização de processos de corte	39
Tabela 16 - Fornecedores de suporte de tubos	41
Tabela 17 - Fornecedores de braços robóticos	43
Tabela 18 - Fornecedores de sistemas de extração industrial	44
Tabela 19 - Implementação dos 4R's na indústria (adaptado de [67,69])	47
Tabela 20 - Estado de arte da engenharia na proteção ambiental	48
Tabela 21 - Estado de arte de estudos económicos da viabilidade de recuperação de equipamentos	49
Tabela 22 - Valores da Martifer [74]	53
Tabela 23 – Vantagens e desvantagens do processo manual de corte de tubo	57
Tabela 24 - Vantagens e desvantagens do processo semiautomático de corte de tubo	57
Tabela 25 - Dimensões do pórtico existente em chão de fábrica	58
Tabela 26 - Características dos tubos a cortar na máquina a projetar	59

Tabela 27 - Grupos de análise do projeto em estudo	59
Tabela 28 – Requisitos dimensionais do suporte de tubos	61
Tabela 29 – Requisitos dimensionais da bucha fixadora estabelecidos pela empresa	61
Tabela 30 - Problemas a solucionar no grupo de análise I - Estrutura da bucha fixadora	62
Tabela 31 - Ações que o controlador necessita de realizar	64
Tabela 32 - Problemas a solucionar no grupo de análise V - Sistema de extração de fumos	65
Tabela 33 - Análise SWO da solução I - Rolos de altura fixa.....	71
Tabela 34 - Análise SWO da solução II - Movimento dos rolos através do sistema batente-guia.....	73
Tabela 35 - Análise SWO da solução III - Movimento dos rolos através do sistema de tesoura	74
Tabela 36 - Considerações relativas aos modos de acionamento do suporte.	75
Tabela 37 - Análise SWOT – Aquisição externa de uma bucha	76
Tabela 38 - Análise SWOT – Fabrico interno de uma bucha.....	77
Tabela 39 - Vantagens e desvantagens do acionamento manual das garras.....	78
Tabela 40 - Vantagens e desvantagens do acionamento hidráulico das garras [77].....	79
Tabela 41 - Vantagens e desvantagens do acionamento pneumático das garras [78]	79
Tabela 42 - Informações relativas aos provetes	80
Tabela 43 - Parâmetros da cabeça de oxicorte em função da espessura da chapa a cortar.....	81
Tabela 44 - Resultados do ensaio de oxicorte	82
Tabela 45 - Parâmetros da cabeça de plasma em função da espessura da chapa a cortar [79]	83
Tabela 46 - Resultados do ensaio de corte plasma	84
Tabela 47 - Conclusões dos ensaios realizados	85
Tabela 48 - Emissões provenientes do corte plasma e oxicorte [80]	86
Tabela 49 - Valores limite de exposição aos agentes tóxicos provenientes dos processos de corte de plasma e oxicorte [82].....	87
Tabela 50 - Vantagens e desvantagens da solução I - Guiamento das tubagens com recurso a uma calha articulada	88
Tabela 51 - Vantagens e desvantagens da solução II - Calha extratora	89
Tabela 52 - Vantagens e desvantagens da solução III - Renovação do ar com ventiladores existentes no pavilhão.....	90
Tabela 53 - Etapas do projeto do suporte de tubos	91
Tabela 54 - Passos para a simulação dos esforços a que o suporte de tubos está sujeito.....	104

Tabela 55 - Resultados da simulação dos esforços a que o suporte de tubos está sujeito	106
Tabela 56 - Parâmetros para o dimensionamento do fuso	115
Tabela 57 - Características do fuso a utilizar [76]	115
Tabela 58 - Características da fêmea trapezoidal (NFEFM 609) [85]	116
Tabela 59 - Características do motor LSES 132 MU [87]	119
Tabela 60 - Características do moto reduto NRV-P110 [88]	120
Tabela 61 - Características dimensionais da calha articulada [83]	123
Tabela 62 - Valores limite de afastamento dos suportes das hastes	127
Tabela 63 - Características técnicas do rolo RE.F4-250x80-RSL [92]	129
Tabela 64 - Características da bucha fixadora adotada (ROTA NCO 1000 Z520-SV90°) [94]	135
Tabela 65 - Passos para a simulação dos esforços a que a bucha está sujeita	137
Tabela 66 - Parâmetros dos diferentes bicos de corte adotados [95]	142
Tabela 67 - Descrição das funções dos acessórios do equipamento de oxicorte	144
Tabela 68 - Plano de recondicionamento do controlador	148
Tabela 69 - Lista de elementos comprados	153
Tabela 70 - Lista de peças a fabricar	162
Tabela 71 - Etapas e processos de fabrico dos componentes a fabricar	167
Tabela 72 - Orçamentação para o equipamento a projetar	188
Tabela 73 - Tubos constituintes do estudo de retorno de investimento	194
Tabela 74 - Tempos de corte estimado - Processo manual	196
Tabela 75 - Tempos total despendido em oxicorte e em acabamento	197
Tabela 76 - Fluxo de gás para os diferentes bicos de corte a utilizar no corte manual	197
Tabela 77 - Custo dos diferentes gases utilizados no corte manual dos tubos da obra em questão	198
Tabela 78 - Custos dos consumíveis para o corte manual dos tubos da obra em questão	198
Tabela 79 - Tempos de corte estimados - Processo robotizado	200
Tabela 80 - Tempos de acabamento estimados	201
Tabela 81 - Fluxo de gás para os diferentes bicos de corte a utilizar no corte de tubo no pórtico a projetar	202
Tabela 82 - Tempos de corte totais de acordo com os respetivos bicos de corte utilizados	203
Tabela 83 - Volumes dos diferentes gases em função do bico de corte	203

Tabela 84 - Custo dos diferentes gases utilizados no corte dos tubos da obra em questão no pórtico projetado	204
Tabela 85 - Custos dos consumíveis para o corte dos tubos da obra em questão no pórtico projetado	204
Tabela 86 - Custo do corte manual e no pórtico projetado dos tubos da obra em questão	205
Tabela 87 - Manual de manutenção.....	210
Tabela 88 - Análise ao cumprimento dos objetivos propostos para o projeto	216

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	3
1.1	Contextualização	3
1.2	Objetivos	4
1.3	Metodologia	4
1.4	Estrutura do relatório.....	5
1.5	Empresa de acolhimento	5
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1	Indústria metalomecânica.....	9
2.1.1	Importância da indústria metalomecânica na economia mundial	9
2.1.2	Importância da indústria metalomecânica na economia nacional	12
2.2	Tecnologia do corte de tubos metálicos	14
2.2.1	Tecnologias convencionais	14
2.2.1.1	Ferramentas mecânicas	14
2.2.1.2	Oxicorte	16
2.2.2	Tecnologias avançadas	24
2.2.2.1	Corte laser	24
2.2.2.2	Corte plasma	28
2.2.3	Automatização de processos de corte	36
2.2.4	Sistemas de apoio às operações de corte de tubos metálicos	40
2.2.4.1	Bucha fixadora	40
2.2.4.2	Suporte de tubos	40
2.2.4.3	Controlador	41
2.2.4.4	Braço robótico	42
2.2.4.5	Sistema de extração de fumos	43

2.2.4.6	Equipamento de corte	44
2.3	Recondicionamento de equipamentos	44
2.3.1	Vantagens do recondicionamento de equipamentos industriais	45
2.3.2	Reduzir, Reusar, Reciclar, Restaurar – Contribuir para um melhor ambiente	46
2.3.3	Estudos económicos da viabilidade de recuperação	49
3	CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA, DO PROCESSO E DO PROBLEMA	53
3.1	Caracterização da empresa	53
3.2	Caracterização do processo	55
3.3	Requisitos iniciais e caracterização do problema	58
3.3.1	Grupo de análise II – Suporte de tubos	60
3.3.2	Grupo de análise I – Bucha Fixadora	61
3.3.3	Grupo de análise III – Processo de corte	63
3.3.4	Grupo de análise IV – Recondicionamento do controlador	63
3.3.5	Grupo de análise V – Sistema de extração de fumos	65
4	DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS	69
4.1	Tempestade de ideias e anteprojecto	69
4.1.1	Grupo de análise I – Suporte de tubos	69
4.1.2	Grupo de análise II – Bucha fixadora	76
4.1.3	Grupo de análise III – Processo de corte	80
4.1.4	Grupo de análise IV – Recondicionamento do controlador	86
4.1.5	Grupo de análise V – Sistema de extração de fumos	86
4.2	Projecto	90
4.2.1	Grupo de análise I – Suporte de tubos	90
4.2.1.1	Projecto da base e do suporte das hastes	92
4.2.1.2	Projecto do sistema de hastes e respectivas ligações	97
4.2.1.3	Cálculo dos esforços para o pior cenário possível	101
4.2.1.4	Cálculo das forças a que o suporte está sujeito	106
4.2.1.5	Determinação da quantidade de suportes necessários	110

4.2.1.6	Dimensionamento do fuso e do respetivo sistema de acionamento	114
4.2.1.7	Dimensionamento do sistema de movimento linear	127
4.2.1.8	Dimensionamento dos rolos	128
4.2.1.9	Projeto do sistema de movimentação longitudinal do suporte	129
4.2.2	Grupo de análise II – Bucha fixadora	133
4.2.3	Grupo de análise III – Processo de corte	139
4.2.4	Grupo de análise IV – Recondicionamento do controlador	148
4.2.5	Grupo de análise V – Sistema de extração de fumos	152
4.3	Definição de elementos a adquirir	153
4.4	Lista de peças a fabricar	162
4.5	Processos de fabrico	167
4.6	Orçamentação	188
4.7	Estudo de retorno do investimento	193
4.8	Manual de montagem	207
4.9	Manual de manutenção	210
5	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	215
5.1	CONCLUSÕES	215
5.2	PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	217
6	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO	221
7	ANEXOS	231

INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Este projeto surge no âmbito da dissertação de mestrado, do ramo de Materiais e Tecnologias de Fabrico, do curso de Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP). O presente relatório surge de um estágio curricular realizado na empresa Martifer SGPS, SA, reconhecida internacionalmente pelo seu prestígio na indústria metalomecânica, focando-se atualmente na construção metálica e na produção de torres eólicas.

A indústria metalomecânica é atualmente uma das principais fontes de exportação nacional. As boas características dos metais fazem com que esta grande família de materiais seja uma opção viável para uma vasta gama de aplicações, sendo de grande importância realçar o setor da construção mecânica. Este encontra-se num crescimento exponencial sendo possível constatar que na atualidade passou a ser comum depararmo-nos com grandes estruturas metálicas. Como tal é um mercado extremamente competitivo onde é necessária uma procura constante pelo aumento da produtividade e qualidade dos projetos.

Um projeto de construção mecânica é algo complexo, onde é necessária uma estrutura empresarial consistente e bem definida. É necessária uma perfeita sintonia dos vários departamentos de uma empresa para que o projeto seja concluído com sucesso. As dimensões e complexidade da geometria das peças a fabricar variam consoante o projeto, sendo necessário uma grande versatilidade no departamento de produção.

A utilização de estruturas tubulares na construção mecânica apresenta-se como uma grande vantagem devido ao dinamismo promovido pela facilidade de acoplamento de tubos. Para além disso caracterizam-se como estruturas resistentes, leves e com uma estética mais apelativa. No entanto, é necessário que os tubos sejam pré-trabalhados, isto é, sejam realizados chanfros que visam a aumentar a área de contacto entre eles para que o acoplamento entre eles seja efetuado de forma a obter a maior resistência mecânica possível.

De forma a acompanhar a evolução do mercado do setor da construção mecânica é necessário estar constantemente à procura de formas de aumentar a produtividade. Sendo nesse sentido que a presente dissertação se contextualiza: a readaptação de um pórtico de soldadura para uma máquina de corte de tubo de grandes dimensões

robotizada. Com este pretende-se alcançar um aumento significativo da produtividade da empresa de acolhimento.

1.2 Objetivos

Este desafio surge da necessidade da empresa Martifer SGPS, SA em realizar cortes complexos em tubos de grandes dimensões, nomeadamente o corte “boca de lobo”, uma vez que até à data este processo é realizado manualmente, o que representa uma lacuna na produtividade da empresa. A presente dissertação baseia-se no estudo da possibilidade de adaptação de um pórtico de soldadura de tubo existente na fábrica para uma máquina semiautomática de corte de tubo. Os objetivos principais do trabalho são:

- Projeto de uma máquina para realização de cortes complexos em tubos de grandes dimensões de forma semiautomática;
- Desenvolvimento de todos os sistemas adjacentes à realização do corte de forma semiautomática;
- Aumento da produtividade do processo de corte de tubos;
- Redução dos custos associados ao corte de tubos;
- Apresentar o menor custo de investimento possível, salvaguardando a produtividade do equipamento;
- Diminuição da mão de obra associada ao processo em questão;
- Garantir que o equipamento não apresenta risco para a segurança do operador.

1.3 Metodologia

Com vista a atingir os objetivos anteriormente propostos foi seguida a seguinte metodologia:

- Análise do estado da máquina de corte de tubo existente na empresa;
- Análise do processo de corte de tubo da empresa;
- Seleção dos pontos importantes para a revisão bibliográfica;
- Elaboração da revisão bibliográfica;
- Revisão do estado de arte;
- Caracterização dos problemas dos diferentes grupos de análise;
- Estudo das possíveis soluções para implementação no processo de readaptação do pórtico existente;
- Escolha das soluções mais adequadas para a resolução dos problemas existentes;
- Desenvolvimento de todas as melhorias a efetuar no conjunto existente;
- Projeto dos novos mecanismos a acrescentar ao equipamento;
- Estudo do retorno de investimento da readaptação do pórtico existente;
- Análise de resultados.

1.4 Estrutura do relatório

De forma a facilitar a interpretação e análise desta dissertação, esta foi dividida em 5 capítulos principais.

No primeiro capítulo é procurado introduzir o tema do trabalho em questão de forma a que o leitor tome conhecimento do contexto do presente relatório, quais os objetivos principais e a metodologia adotada para os atingir. Ainda é realizada uma breve abordagem à empresa de acolhimento onde o estágio se encontra a ser realizado para a conceção deste projeto.

O segundo capítulo é destinado à realização da revisão bibliográfica, onde é procurado abranger todos os tópicos de interesse para o projeto em estudo. Inicialmente é realizada uma introspeção geral à indústria metalomecânica e o impacto da mesma a nível nacional e mundial. Como base ao trabalho desenvolvido são também descritas as tecnologias utilizadas para corte de tubos e abordado o tópico de acondicionamento de equipamentos mecânicos.

No terceiro capítulo é realizada uma introdução mais detalhada à empresa onde o estágio foi desenvolvido, sendo realizada uma caracterização dos processos da mesma. Para além disso, é ainda efetuada a diferenciação dos diferentes grupos de análise, seguida pela descrição dos respetivos requisitos iniciais predefinidos pela empresa para a execução do trabalho a realizar.

No quarto capítulo são apresentadas as diferentes etapas do desenvolvimento do projeto e os respetivos resultados. Como tal, primeiramente, na tempestade de ideias são enumeradas as várias soluções de acordo com os requisitos iniciais e problemas apresentados. De seguida, no projeto, as soluções adotadas são estudadas pormenorizadamente e realizado o seu projeto mecânico até à obtenção de soluções satisfatórias e funcionais. Por fim, é realizada a orçamentação e estudada a viabilidade do investimento necessário à readaptação da máquina.

Por fim, no quinto capítulo, são traçadas as conclusões e apontados possíveis trabalhos para uma futura evolução.

1.5 Empresa de acolhimento

O trabalho desenvolvido até à data surge do estágio na empresa Martifer SGPS, SA. Este terá uma duração de 9 meses – de setembro de 2020 a junho de 2021. Esta empresa está presente em vários pontos do país e do mundo, estando sediada na zona industrial de Oliveira de Frades, local onde o estágio foi realizado.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Indústria metalomecânica

A atual indústria metalomecânica, também por vezes designada de metalúrgica metálica, consiste na transformação de materiais metálicos, independentemente do processo, em objetos úteis. Estes não são necessariamente produtos finais, pelo contrário, tratam-se maioritariamente de bens de produção [1].

2.1.1 Importância da indústria metalomecânica na economia mundial

O fabrico de máquinas industriais é uma atividade constituinte da indústria metalomecânica, sendo um dos indicadores importantes para a análise do estado do mercado desta indústria. Na Figura 1 encontra-se representada a distribuição do fabrico mundial de máquinas industriais em 2019, sendo possível verificar que a China é o país com uma maior parcela de mercado, com um valor de máquinas produzidas superior a 19,9 biliões de euros. É ainda de salientar que os países asiáticos são responsáveis por cerca de 50% das máquinas produzidas, uma vez que para além da China e do Japão, também a Coreia do Sul, a Tailândia e a Índia se encontram na lista de países que mais máquinas produzem. Os Estados Unidos da América (EUA) apresentam uma percentagem de máquinas industriais produzidas de 6%, equivalente a 4,3 biliões de euros. Por outro lado, na europa, os países que mais se destacam nesta vertente são a Alemanha e a Itália [2].

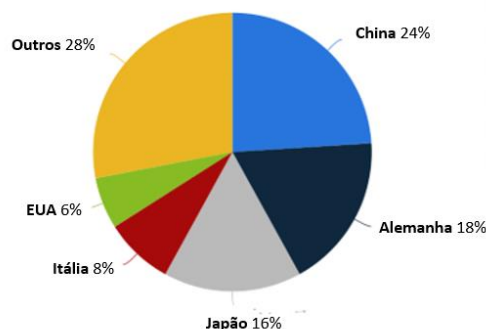


Figura 1 - Distribuição do mercado mundial de fabrico de máquinas industriais (adaptado de [2])

A análise do fabrico de metais é outro fator que permite analisar o crescimento da indústria metalomecânica. O aço é o metal mais utilizado no mundo e, como tal, na Figura 3 é possível verificar o sólido crescimento da sua produção mundial.

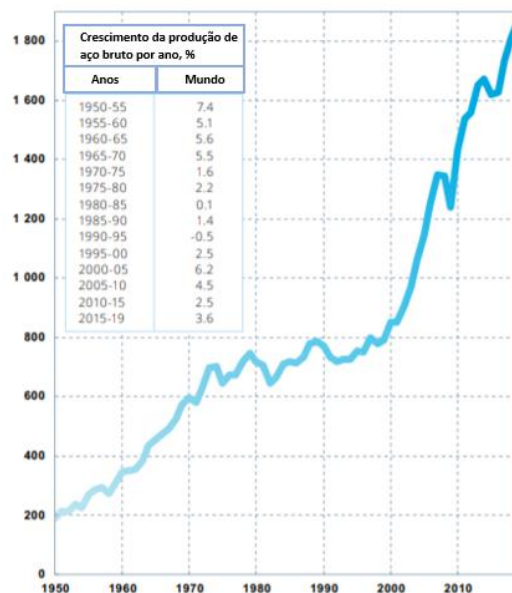


Figura 2 - Crescimento da produção mundial de aço bruto, em milhões de toneladas (adaptado de [3])

Os países asiáticos encontram-se em destaque mais uma vez mas, neste caso, pelo facto de em 2019 serem líderes mundiais na produção de aço bruto. Também se observa que quatro dos sete países mais produtores são do continente asiático. Na Tabela 1 é possível verificar os valores de aço bruto, em milhões de toneladas, produzidos por cada país em 2019 [3].

Tabela 1 - Produção de aço bruto em 2019 [3]

País	Milhões de toneladas
China	996,3
Índia	111,2
Japão	99,3
EUA	87,8
Rússia	71,9
Coreia do Sul	71,4
Alemanha	39,7

Na Europa, a produção industrial encontra-se em crescimento, sendo possível verificar na Figura 3 que, desde 2009 até 2018, houve um aumento significativo das vendas. Em 2009, devido à crise económica estabelecida na União Europeia (UE), a produção industrial diminuiu drasticamente, com uma quebra de valor de vendas de cerca de 18% relativamente a 2008. No entanto, de 2009 a 2011, o valor de vendas da produção industrial na UE apresentou um crescimento sólido de 12,6% e, após essa data, o crescimento do mercado manteve-se estável. Os resultados das vendas relativas à produção industrial em 2018 comprovam que estas se encontram em crescimento [4].



Figura 3 - Evolução do valor de vendas da produção industrial na União Europeia (exceto Chipre, Luxemburgo e Malta) [4]

O ano de 2018 manteve a tendência positiva no crescimento do valor de vendas de produtos industriais. Na Figura 4 encontram-se representadas as indústrias que mais impacto tiveram no crescimento registado nesse ano. A indústria metalomecânica encontra-se representada na Figura 4 pelas parcelas relativas à produção de metais e fabrico de produtos metálicos (14%) e produção de máquinas e equipamentos (10%). Verifica-se que cerca de um quarto das vendas de produtos industriais na UE, em 2018, ano em que foi registado um aumento das vendas de produtos industriais (Figura 3), devem-se à indústria metalomecânica, sendo este um indicador importante que evidencia o crescimento desta indústria [4].

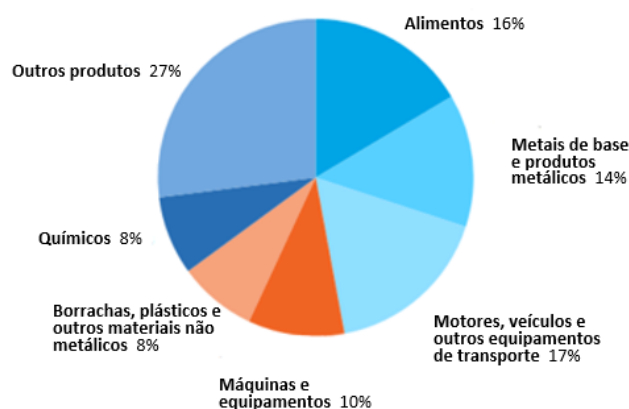


Figura 4 - Distribuição do valor de vendas da produção industrial por sector na UE, em 2018 (exceto Chipre, Luxemburgo e Malta) (adaptado de [4])

O ano de 2020 ficou marcado como um ano trágico devido à pandemia mundial provocada pelo vírus Covid-19. O número elevado de infeções e fatalidades provocadas pelo elevado nível de contágio deste vírus levou ao confinamento geral de vários países. Estas medidas, embora necessárias, levaram à queda abrupta da produção industrial, tal como representado na Figura 5. A taxa de crescimento que a indústria metalomecânica veio a registar até ao início de 2020 foi interrompida. Comparando novembro de 2019 com fevereiro de 2020 verifica-se uma quebra de crescimento de cerca de 7% na indústria relativa ao fabrico de máquinas e equipamentos e de aproximadamente 3% na indústria de fabrico de produtos metálicos [5].

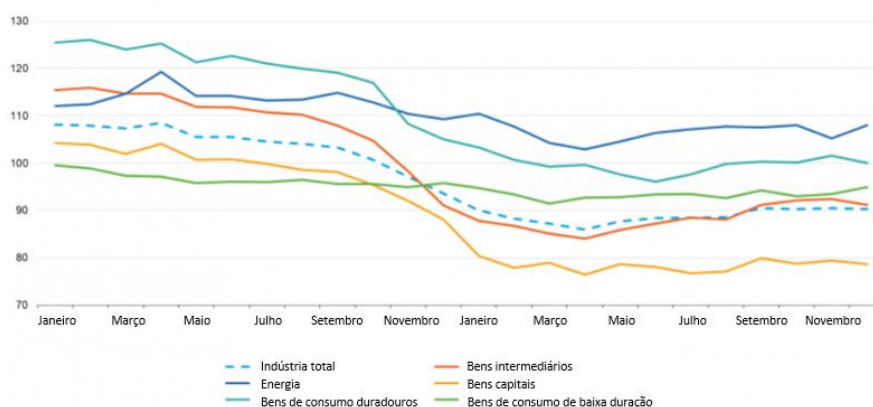


Figura 5 – Impacto global do Covid-19 na produção industrial entre janeiro e novembro de 2020, em % (adaptado de [5])

Em julho de 2020, a produção industrial de Portugal teve uma redução de 9,6% face ao mesmo mês de 2019 [6].

2.1.2 Importância da indústria metalomecânica na economia nacional

A nível nacional, a indústria metalomecânica divide-se em três segmentos de atividade: equipamentos de transporte, produtos metálicos e elétricos e metalúrgicas de base. Como é possível verificar na Figura 6, o segmento de produção de produtos metálicos e elétricos detém maior parte das empresas do setor da indústria metalomecânica nacional, representando metade do volume de negócios do setor [7].

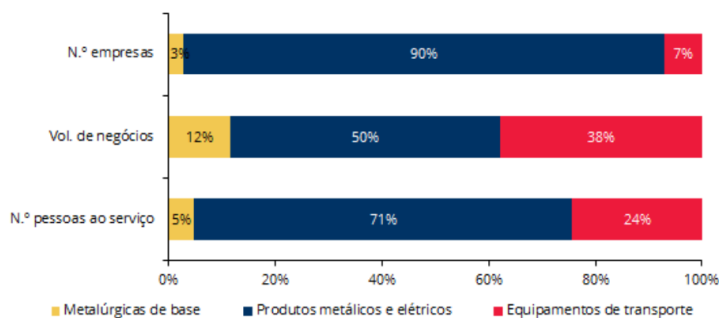


Figura 6 - Impacto das subcategorias da indústria metalomecânica, em 2017 [7]

Apesar do grande impacto das empresas de produtos metálicos e elétricos é de salientar que, entre 2016 e 2017, esta foi a área que menos evoluiu. Por outro lado, as empresas metalúrgicas de base e de equipamentos de transporte tiveram ambas um crescimento do seu volume de negócios superior a 20% [8].

Em 2017, o setor da indústria metalomecânica representava cerca de 2% das empresas portuguesas, o que equivale a aproximadamente 10 mil empresas, empregando mais de 175 mil pessoas. O volume de negócios do setor representa cerca de 7% do volume de negócios nacional. Na Figura 7 é possível verificar que grande parte das empresas da indústria metalomecânica encontram-se sediadas na zona norte e centro do país. A região centro representa 27% do volume de negócios da indústria metalomecânica, enquanto a região norte representa 43%. No entanto, é na zona centro que este setor apresenta maior impacto, uma vez que a indústria metalomecânica representa 12% do volume de negócios total das empresas sediadas nesta região [8].

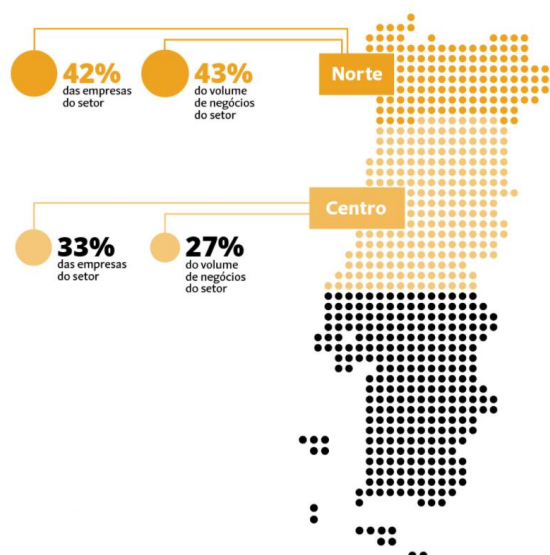


Figura 7 - Distribuição das empresas da indústria metalomecânica em Portugal continental [8]

A indústria metalomecânica e metalúrgica apresenta-se como o setor mais exportador a nível nacional, sendo este um indicador de que a indústria metalomecânica representa um forte pilar da economia portuguesa. Os produtos nacionais são exportados principalmente para mercados situados na união europeia, tais como o de Espanha, Alemanha, França, Reino Unido e Itália. No entanto, a qualidade e diversidade do setor é cada vez mais reconhecida internacionalmente, sendo que fora da UE, Portugal exporta para mercados como os de Angola e EUA [9].

Em 2017, 82% do volume de negócios da indústria metalomecânica foi proveniente do setor exportador, o que comprova que o crescimento da indústria metalomecânica se deve em grande parte ao reconhecimento deste setor nos diferentes mercados externos. Para além de o setor se afirmar como uma das maiores fontes de exportação nacional, também coloca o país no radar de empresas estrangeiras que procuram

expandir o negócio para território nacional. De 2016 a 2018, mais duas dezenas de empresas expandiram os seus negócios para Portugal [7,9].

2.2 Tecnologia do corte de tubos metálicos

O corte de tubos metálicos é uma atividade importante no setor da metalomecânica. É cada vez mais comum ver construções mecânicas onde se dá prioridade à ligação de estruturas através de tubos metálicos, não só por permitirem uma maior flexibilidade para estabelecer ligações entre estruturas, mas também por questões estéticas. Em muitas empresas a realização destes cortes ainda é efetuada com recurso a tecnologias convencionais. No entanto, estas têm taxas de remoção de material relativamente baixas. Com a chegada da indústria 4.0 surgiram novas técnicas de corte mais complexas, denominadas de tecnologias avançadas [10].

Nos subcapítulos que se seguem é realizada uma descrição de alguns dos processos de corte de tubo metálico mais comuns, sendo dado especial ênfase aos processos de oxicorte e plasma, uma vez que irão ser abordados na parte prática da presente dissertação. É ainda realizado o estado da arte atual dos processos de corte a fim de constatar alguns estudos recentemente desenvolvidos. As ferramentas mecânicas são um processo de corte mais rudimentar, pelo que o seu estado de arte não foi desenvolvido, uma vez que não representa uma mais-valia para o desenvolvimento da presente dissertação.

2.2.1 Tecnologias convencionais

Apesar das tecnologias convencionais de corte de metais não serem tão eficientes, ainda são comuns na atualidade devido ao elevado custo das máquinas de corte de tubo metálico que utilizam tecnologias avançadas. Esta transição das máquinas de corte convencionais para as avançadas requer a alocação de recursos para a elaboração de estudos de retorno de investimento de forma a perceber se é vantajoso economicamente.

2.2.1.1 Ferramentas mecânicas

Algumas ferramentas mecânicas de corte, também conhecidas por serras, apresentam uma maior dificuldade de serem automatizadas. Estas representam uma das formas mais simples de cortar materiais e são comuns em pequenas oficinas. Estas ferramentas consistem numa lâmina com um conjunto de dentes afiados, em que cada um deles remove uma pequena porção de material até que ocorra a separação das peças. As serras são associadas a máquinas que providenciam o movimento da ferramenta. Estas máquinas dividem-se em três tipos: serras alternativas (Figura 8 A), serras de fita (Figura 8 B) e serras circulares (Figura 8 C) [10 ,11].

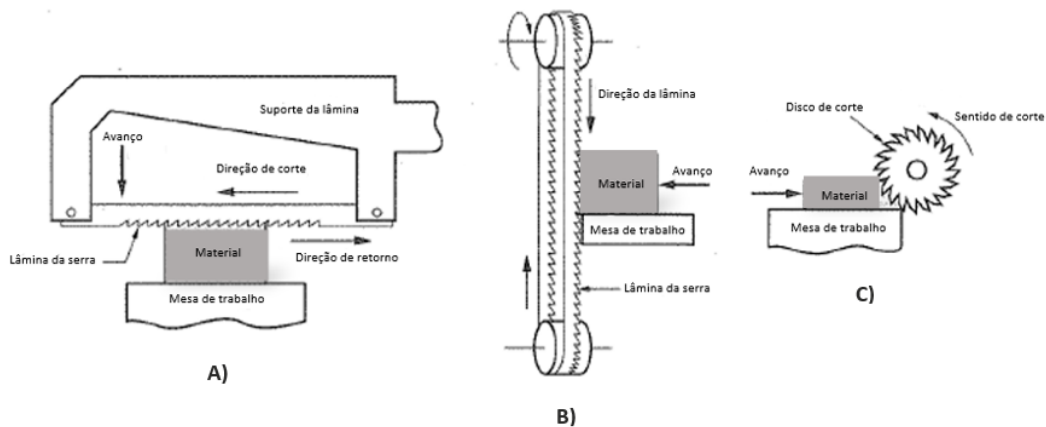


Figura 8 - Representação dos diferentes tipos de serras: A) serra alternativa, B) serra de fita e C) serra circular (adaptado de [12])

A serra alternativa (Figura 8 a) consiste no movimento linear alternado de uma lâmina com um conjunto de dentes afiados. Este tipo de serra é menos eficiente do que os restantes, uma vez que o seu corte não é contínuo. Os dentes da lâmina apenas removem material numa direção. A serra alternativa é a única cujo corte pode ser efetuado manualmente. No entanto, se o movimento for mecânico é possível otimizar parâmetros como a velocidade de corte e a pressão da lâmina no material [12].

As serras de fita (Figura 8 b) são constituídas por uma fita com um conjunto de dentes afiados que é colocada sob tensão entre dois volantes em rotação que conduzem a fita. Tal como nas serras alternativas, a lâmina só corta numa direção. No entanto, as serras de fita são muito mais eficazes do que as serras alternativas, uma vez que a fita se encontra em constante movimento num circuito fechado a uma velocidade elevada, isto é, não existe tempo morto associado ao recuo da ferramenta. O número de dentes destas serras é superior ao das serras alternativas. Logo, como o contacto da ferramenta com o material é distribuído por um maior número de dentes, existe um menor aquecimento da ferramenta e um menor desgaste da mesma, que resultam numa maior longevidade. Estas serras podem ser operadas manualmente ou automaticamente, podendo ser associadas a sistemas CNC para realizar contornos complexos [10-12].

Nas serras circulares (Figura 8 c), o corte é efetuado através de um disco de espessura reduzida constituído por uma série de dentes. Estes são responsáveis pelo arranque de apara que realiza o corte. Este tipo de serras é utilizado principalmente para cortar barras e tubos, de forma a que estes fiquem com o comprimento desejado. É ainda possível realizar entalhes e cortes com um ângulo de inclinação, proporcionados pelo posicionamento da peça em relação à ferramenta. Por vezes, o corte por serras circulares pode ser efetuado através do mecanismo de abrasão, utilizando discos sem dentes constituídos por partículas abrasivas que efetuam o corte. O mecanismo de corte nas serras circulares pode ainda ser por corte abrasivo ou por corte por fricção. O processo de corte com discos abrasivos é utilizado para efetuar o corte de materiais mais difíceis de cortar através das serras convencionais [10,11].

Por norma, são utilizados fluidos de corte em todos os tipos de serra, uma vez que estes promovem um aumento da qualidade do corte e, para além disso, aumentam a vida útil da ferramenta [14]. Na Tabela 2 encontram-se representadas algumas das principais vantagens e desvantagens do processo de corte com recurso a ferramentas mecânicas.

Tabela 2 - Vantagens e desvantagens do processo de corte por ferramentas mecânicas (adaptado de [13-16])

Vantagens	Desvantagens
Processo rápido e económico	Vibração da serra
Largura de corte reduzida	Qualidade superficial reduzida
Taxa de remoção de material elevada	Desgaste dos dentes de corte
Pode ser automatizado	Não realiza cortes complexos

2.2.1.2 Oxicorte

Muitos dos componentes metálicos utilizados numa vasta gama de setores (construção mecânica, indústria naval, indústria de fabrico), primeiramente, passaram por um processo de separação de forma a estes chegarem ao cliente com a geometria/dimensão pretendida. O processo de oxicorte, também conhecido como corte por chama, é uma das tecnologias convencionais utilizadas para realizar essa transformação [16]. Este processo pode ser dividido em três fases: pré-aquecimento, perfuração inicial e corte. Estas fases encontram-se esquematizadas na Figura 9 e são abordadas mais detalhadamente na Tabela 3.

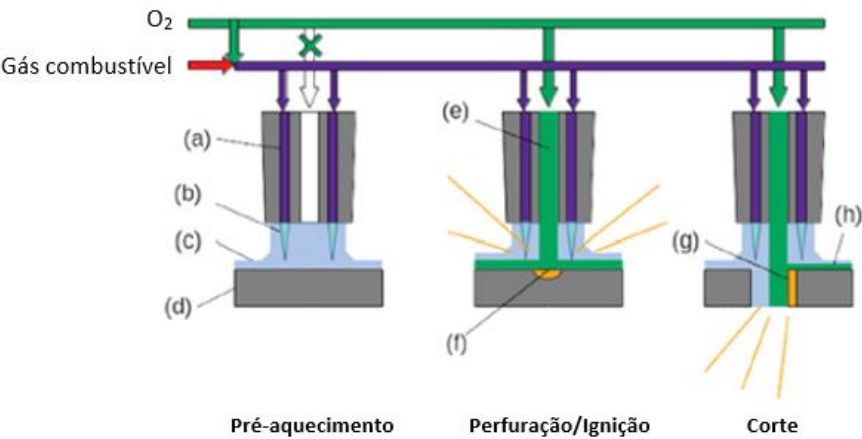


Figura 9 - Representação das três fases do processo de oxicorte, encontrando-se explicadas detalhadamente na Tabela 3 (adaptado de [17])

Tabela 3 - Fases do processo de oxicorte [11,18,19]

Fase	Explicação	Legenda
Pré-aquecimento	É utilizado o calor resultante da combustão de determinados gases, combinado com a reação exotérmica do metal com o oxigénio, para sustentar este processo [12].	a) Jato de oxigénio combinado com gás combustível; b) Dardo (chama primária); c) Penacho (chama secundária); d) Superfície de trabalho.
Perfuração/Ignição	É aplicado um jato de oxigénio para remover uma porção de material, isto é, perfurando a peça [17].	e) Jato de oxigénio; f) Início da perfuração.
Corte	A pressão do jato de oxigénio promove a remoção do material oxidado. A reação de oxidação gera energia térmica em excesso que é conduzida para as proximidades, aumentando a temperatura da peça à frente da zona cortada. Devido ao jato incidir em novas porções de material, este é defletido nessa direção, promovendo assim a continuidade do corte [17].	g) Largura de material removido; h) Porção de jato defletida.

Para interromper o corte, interrompe-se o fluxo de oxigénio mantendo a chama de pré-aquecimento acesa [17]. O processo de oxicorte pode ser utilizado manualmente ou com recurso a máquinas automáticas. O processo manual aplica-se para operações em que a precisão de corte não é uma variável fundamental. Por outro lado, a produção com máquinas permite velocidades de corte superiores e uma melhor precisão de corte. Estes equipamentos podem ainda ser controlados numericamente, o que permite o corte de geometrias mais complexas [12]. No entanto, a completa automatização do processo de oxicorte é algo complexo, uma vez que existem vários parâmetros que necessitam de ser considerados. Os parâmetros mais importantes para a obtenção de uma boa qualidade de corte são abordados nos pontos seguintes.

- **Velocidade de avanço**

A velocidade do avanço da tocha não pode ser demasiado rápida, caso contrário o corte será interrompido uma vez que o jato de oxigénio será direcionado para zonas do material que ainda não atingiram a temperatura para que ocorra a oxidação do ferro. Sem o calor da reação exotérmica, o material irá ser arrefecido pelo jato de oxigénio. Se, por outro lado, a tocha for movimentada a uma velocidade reduzida, existirá calor suficiente para a fusão das bordas. Isto resulta num pior acabamento e na adesão da escória às superfícies cortadas [19]. Outro aspeto relevante é o facto de o avanço da

tocha ter de ser suave para evitar que ocorra demasiada vibração e que o jato de oxigénio seja direcionado para zonas circundantes, acontecendo o mesmo desfecho de quando a velocidade da tocha é demasiado elevada [17].

- **Distância entre a tocha e o material**

A preparação deste processo é realizada de modo a que a peça que se pretende cortar fique imediatamente abaixo da chama primária, maximizando assim o calor transferido para o material. Esta distância, por norma de 3 a 8 mm, é suficiente para assegurar que o bico de corte não é danificado por subprodutos consequentes do processo de corte [17,20].

- **Espessura do material**

A espessura do material que se pretende cortar representa um grande impacto no processo de corte, uma vez que a partir da espessura de corte são definidos os seguintes parâmetros: diâmetro do orifício de passagem de oxigénio do bico de corte, temperatura de pré-aquecimento, caudal dos gases e velocidade de corte. De forma geral, quanto maior a espessura, maior será o diâmetro do bico de corte, maior será o caudal do jato de oxigénio e menor será a velocidade de corte [19]. Este processo permite realizar o corte de aços ao carbono e de baixa liga com espessuras de 5 a 750 mm, embora quanto maior a espessura de corte, maior a dificuldade de efetuar o mesmo [15].

O aumento da espessura do material resulta num aumento da taxa de arrefecimento do material, isto é, o material arrefece mais rapidamente e consequentemente ocorre um aumento do tamanho do grão. Esta apresenta-se como uma situação indesejável uma vez que o aumento do tamanho do grão prejudica as propriedades mecânicas do material, nomeadamente o aumento da dureza e fragilidade da superfície do material, o que torna a peça mais difícil de maquinar. No entanto, para diminuir a taxa de arrefecimento é realizado um pré-aquecimento do material para reduzir a dureza da superfície e, consequentemente, diminuir a dificuldade de maquinagem do material [21].

- **Caudal de oxigénio**

O caudal de oxigénio depende sobretudo da espessura do material que se pretende cortar, do tipo de bico de corte (mais especificamente o diâmetro do orifício de saída dos gases), da velocidade de corte e do gás combustível. Através Figura 10, é possível verificar que o oxigénio relativo ao corte, que produz a chama primária, necessita de uma pressão superior ao oxigénio responsável pela chama secundária e ao gás combustível (acetileno). A elevada pressão do oxigénio de corte promove um maior

caudal deste gás e, conseqüentemente, a velocidade da reação de oxidação também irá aumentar [22,23].

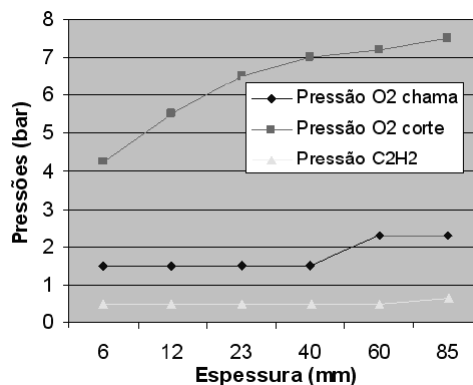


Figura 10 - Variação das pressões dos gases em função da espessura do material [19]

- **Pureza do oxigênio**

O oxigênio industrial pode ter graus de pureza muito próximas de 100%, embora exista sempre uma pequena percentagem de impurezas. Estas podem ser provenientes da própria tubulação do circuito ou, por outro lado, o instante em que o oxigênio é expelido pelo bico de corte e entra em contacto com o ar atmosférico é suficiente para que este seja contaminado. As próprias reações resultantes do corte libertam gases que contaminam o jato de oxigênio. Por exemplo, no corte de aços, o carbono é oxidado e é formado monóxido de carbono, reduzindo a concentração de oxigênio. Esta contaminação aumenta com o aumento da espessura do material. Sendo assim, o corte na superfície do material irá ser realizado com uma determinada percentagem de oxigênio, enquanto na parte inferior será efetuado com uma percentagem de oxigênio menor. Este fenómeno dá origem a um desvio no corte representado com a letra “e” na Figura 11 [19].

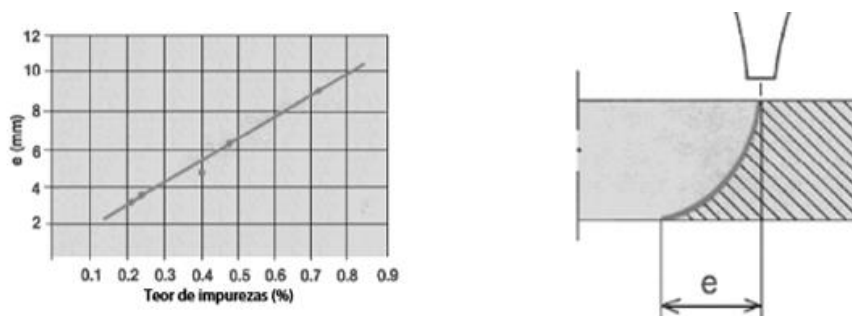


Figura 11 - Influência do teor de impurezas no desvio do corte (adaptado de [19])

- **Tipo de gás combustível**

Para que a chama de oxi-combustível seja formada é necessário que haja a mistura de oxigênio com um gás combustível. Os gases mais comuns são o acetileno, propano,

propileno, hidrogénio e butano. A escolha do gás combustível deve ser feita de acordo com a temperatura de fusão do material que se pretende cortar. Os principais fatores que variam com os diferentes gases combustíveis são a temperatura máxima da chama, o consumo de oxigénio e, consequentemente, o custo do processo. Na Figura 12 verifica-se que o acetileno apresenta uma maior temperatura máxima e uma menor percentagem de oxigénio consumido, relativamente aos outros gases. Quanto maior a temperatura máxima do gás combustível, mais rapidamente se dá a perfuração do material no início do processo e menor é a largura da zona termicamente afetada (ZTA). Outro aspeto relevante é o facto de quanto maior for a temperatura máxima do gás combustível, maior é a versatilidade do processo, uma vez que se podem cortar materiais com temperaturas de fusão mais elevadas. Para materiais com temperatura de fusão inferior à curva de temperatura do respetivo gás combustível, é necessário realizar um ajustamento das proporções da mistura de oxigénio e gás combustível. O caudal de acetileno é reduzido, promovendo uma menor participação deste gás na reação de combustão, o que resulta numa menor temperatura da chama [19].

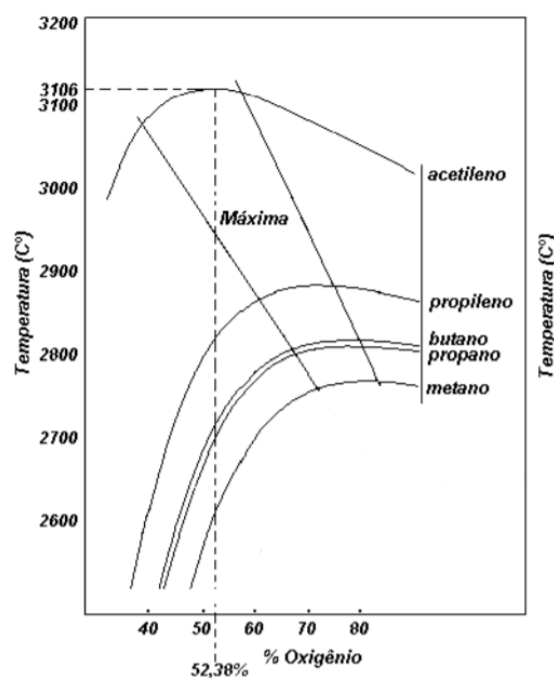


Figura 12 - Representação gráfica da percentagem de oxigénio consumido em função da temperatura (adaptado de [19])

- **Tempo de pré-aquecimento**

Teoricamente, a energia térmica proveniente da reação exotérmica da oxidação do ferro deveria ser suficiente para sustentar o processo de corte, isto é, para manter o material a uma dada temperatura, na qual seja possível ocorrer a reação de oxidação. No

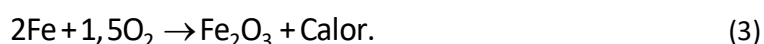
entanto, na prática não é o que se verifica, uma vez que o material perde calor por condução, logo é necessário realizar um pré-aquecimento [19].

A realização de pré-aquecimento promove uma redução do gradiente térmico entre a zona de corte e o material de base não influenciado pelo ciclo térmico, fazendo com que o gradiente térmico entre estas zonas seja inferior. A redução do gradiente térmico promove uma menor perda de calor na zona de corte por condução e uma maior uniformidade das propriedades do material após a realização do corte. Gradientes térmicos muito elevados resultam no aparecimento de tensões durante o processo de corte e no aumento da dureza superficial do material. A transferência prévia de uma determinada energia térmica que é acumulada no material leva a que, durante o processo de corte não seja necessário aquecer tanto o material para que o corte seja efetuado, aumentando assim a velocidade de corte [22,23].

De forma geral, o tempo de pré-aquecimento deve ser determinado de forma a que seja possível efetuar um corte contínuo, isto é, sem interrupções devido à temperatura do material não permitir que ocorra reação de oxidação. Por outro lado, o tempo de pré-aquecimento não pode ser demasiado elevado de forma a que a temperatura do material, após o pré-aquecimento, seja demasiado superior à temperatura de oxidação. Caso contrário, a temperatura do material estará próxima do seu ponto de fusão, o que leva a uma diminuição da dureza e do limite elástico. Consequentemente, o corte será irregular devido à fusão de material na zona de corte. O tempo de pré-aquecimento vai depender da temperatura à qual se pretende chegar [20,21]

- **Tipo de material**

Este processo é principalmente utilizado no corte de metais ferrosos, uma vez que a rápida oxidação do ferro facilita o corte. Nas equações (1), (2) e (3) encontram-se representadas as reações que ocorrem durante o corte de metais ferrosos [12].



A formação do óxido de ferro traduz-se como uma fonte de energia térmica auxiliar, sendo que a equação (2). traduz a reação onde a geração de calor é mais significativa. Por outro lado, os materiais metálicos não ferrosos apresentam baixas temperaturas de fusão e uma resistência à oxidação superior. Estes fatores representam uma adversidade ao processo. Como tal, a mistura combustível/oxigénio vai desempenhar um papel fundamental para que o corte possa ser efetuado. Por vezes, para facilitar o

processo de oxidação, são adicionados fluxos químicos ou pós metálicos ao jato de oxigénio [12].

- **Tipo de bico de corte**

O bico de corte é o dispositivo condutor dos gases do processo e deve promover um caudal constante e sem turbulências. O seu projeto de produção deve ter como base um design construtivo que promova um maior aproveitamento do calor da chama primária durante o processo. Outro aspeto relevante é o facto de o diâmetro do canal de oxigénio do bico de corte estar diretamente relacionado com a velocidade de corte e com o caudal de oxigénio libertado. Um diâmetro de bico de corte elevado resulta numa maior área de contacto do jato com o material, promovendo uma maior ZTA e uma menor energia específica transferida para a peça. Estes aspetos resultam numa perda de eficiência do processo [19].

- **Temperatura ambiente**

A localização geográfica onde o corte é realizado é um fator importante para o rendimento do processo de oxicorte. Comparando temperaturas médias de diferentes territórios mundiais, verifica-se que existe uma grande diferença na temperatura ambiente média. A temperatura do material que se pretende cortar varia de acordo com a temperatura ambiente, logo se o local onde o corte é realizado tem uma temperatura ambiente reduzida, o material também terá uma temperatura mais reduzida, aumentando o gradiente térmico entre a zona cortada e o restante material da peça. Este aspeto leva a uma maior taxa de arrefecimento do material que, por sua vez, faz com que exista um aumento do tamanho de grão, que resulta num aumento da dureza e da fragilidade do material e dificulta a maquinagem. Para evitar este fenómeno é comum realizar pré-aquecimento no material que se pretende cortar [21]. Para além dos parâmetros anteriormente mencionados existe uma série de pressupostos que necessitam de se verificar, pois, caso contrário, o processo de oxicorte não ocorrerá como o esperado. Estes pressupostos são [22,24]:

- A temperatura de oxidação do material deve ser inferior à sua temperatura de fusão;
- A temperatura do ponto de fusão dos óxidos formados deve ser inferior à temperatura do material circundante, para que os óxidos possam ser removidos mecanicamente pelo jato de oxigénio;
- A reação de oxidação entre o oxigénio e o metal deve ser suficientemente exotérmica para manter a temperatura de oxidação;
- Os gases resultantes do processo de corte devem ser minimizados para não contaminar o jato de oxigénio;

- O material a ser cortado deve ter uma condutibilidade térmica reduzida para que o calor não seja rapidamente dissipado.

Na Tabela 4 encontram-se representadas algumas das principais vantagens e desvantagens do processo de oxicorte. Na Tabela 5 encontra-se representado o estado de arte relativo ao processo de oxicorte.

Tabela 4 - Vantagens e desvantagens do processo de oxicorte (adaptado de [19,22,25])

Vantagens	Desvantagens
Facilidade no corte de aços ao carbono e de baixa liga	Incapacidade de cortar metais não ferrosos
Processo mais económico para cortar placas de aço de espessuras elevadas	Qualidade de corte inferior comparativamente a processos de corte avançados
Não existe contacto entre a tocha e o material	Velocidade de corte reduzida
Pode ser automatizado	ZTA elevada relativamente a outros processos térmicos
Investimento inicial reduzido	Furo de menor diâmetro possível: 20 mm
Baixo custo de manutenção	Largura de corte elevada ($\geq 2\text{mm}$)

Tabela 5 - Estado da arte do processo de oxicorte

Autor	Descrição
Pond e Martin [17]	Este estudo analisou a influência das características elétricas do processo de oxicorte no corte de um aço. No decorrer deste estudo analisou-se fundamentalmente o comportamento da chama de corte, tendo sido realizadas medições da resistência da chama variando alguns dos parâmetros deste processo. Verificou-se que a resistência da chama de oxicorte é maior durante a fase de pré-aquecimento do que durante o corte e que a resistência média da chama é influenciada pela distância entre o bico da tocha e o material.
Ramakrishna et al. [20]	Este artigo tem como objetivo a otimização no corte de um aço ao carbono através do processo de oxicorte, através da aplicação do método de Taguchi e da técnica ANOVA. Foi realizado o registo da taxa de remoção de material de forma a perceber a influência das variáveis usadas, sendo elas a velocidade de corte, a distância entre a tocha e o material e a pressão de oxigénio. Concluiu-se que os parâmetros que

mais influenciam o corte deste material são a velocidade de corte e a pressão do oxigénio, sendo que foi verificado que um aumento do último promove o aumento da taxa de remoção de material.

Bae et al.
[23]

Os autores têm como objetivo prever o tamanho da ZTA no corte de placas de aço através do processo de oxicorte. O gás de assistência utilizado foi o etileno e o material das amostras foi o aço macio. Através de métodos estatísticos, foi investigado de que forma a variação de parâmetros influencia as dimensões da ZTA. Verificou-se que a largura da ZTA na superfície superior do material aumentou com o aumento do fluxo de etileno e diminuiu com o aumento da velocidade de corte. Outro aspeto registado foi o facto de o aumento da espessura do material ou da velocidade de corte promovem o aumento da ZTA na superfície inferior do material. Por fim, verificou-se ainda que a largura da ZTA no centro do material diminui gradualmente com o aumento da velocidade de corte.

2.2.2 Tecnologias avançadas

As indústrias relacionadas com o fabrico de componentes estão a crescer a uma velocidade considerável e são um dos principais fatores do crescimento da economia global. Com a chegada da era da indústria 4.0, foram introduzidas técnicas de corte inovadoras, denominadas de técnicas não convencionais, que resultam num aumento da eficácia e eficiência de corte e, conseqüentemente, num aumento da produtividade [24]. Estas técnicas, também designadas por tecnologias avançadas de corte, são todas aquelas que promovem a remoção de material através da aplicação de vários métodos como térmicos, elétricos, químicos e de energia mecânica. Estas técnicas caracterizam-se principalmente pelo elevado nível de precisão, por um bom acabamento superficial, pela capacidade de trabalhar materiais de difícil maquinagem e, por fim, pela capacidade de maquinar geometrias complexas sem provocar tensões residuais [25]. Ao contrário das tecnologias de corte convencionais, as tecnologias avançadas não produzem lascas ou aparas conseqüentes do processamento do material. Estes subprodutos inerentes ao corte dos metais por vezes são difíceis de reciclar, logo consideram-se indesejáveis [26].

2.2.2.1 Corte laser

O LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) é um raio de radiação eletromagnética de alta energia e distingue-se dos outros tipos de luz devido a apresentar um feixe coerente espacial e temporalmente, monocromático e direcionado, uma vez que o seu ângulo de divergência é reduzido [25]. A radiação desloca-se no espaço sob a forma de onda. No entanto, ao entrar em contacto com a matéria tem o

comportamento de partículas energéticas, designadas de fotões [27]. Na Figura 13 é possível observar a representação esquemática do corte a laser.

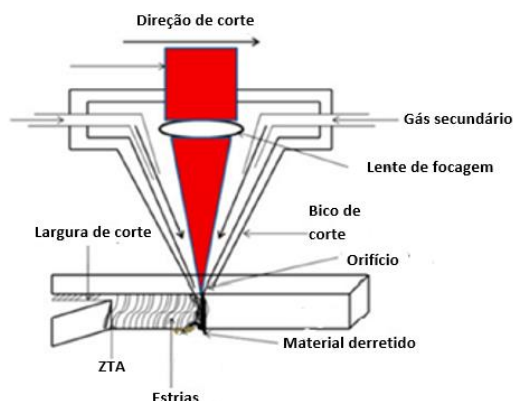


Figura 13 - Representação esquemática do processo de corte a laser (adaptado de [28])

O corte é efetuado através da quebra das ligações químicas do material por parte do feixe de fotões estimulados. O material a cortar possui eletrões livres que irão absorver estas partículas de energia, que por sua vez libertam energia térmica. Deste processo resulta o aquecimento da peça até que esta atinga o seu ponto de fusão e posteriormente o material derretido seja ejetado pela pressão exercida pelo feixe de eletrões. Neste caso o mecanismo de remoção de material designa-se de fusão. Caso seja utilizado um gás reativo neste processo haverá libertação de energia exotérmica e então o mecanismo de corte denomina-se de reativo. Por vezes a energia do feixe é suficiente para atingir o ponto de ebulição do material da peça que se pretende cortar, caso em que o material será removido por vaporização [30,32].

Os mecanismos de remoção de material do processo de corte laser abordados no paragrafo anterior são os métodos térmicos que se aplicam no corte de materiais metálicos. No entanto, o processo de corte laser permite cortar uma vasta gama de materiais. Na Tabela 6 encontram-se descritos os diferentes métodos de remoção de material do processo de corte por laser e os materiais a que se destinam.

Tabela 6 – Diferentes tipos de remoção de material no processo de corte laser (adaptado de [25])

	Processo Foto-térmico				Processo Fotoquímico
	Fratura controlada	Derretimento e sopro		Vaporização	
		Fusão	Reativo		
Mecanismo	O material é partido através de esforço termicamente Induzido.	O material é derretido devido à radiação laser e soprado pelo	O material é derretido devido à radiação laser e à energia exotérmica, e	O material é vaporizado devido à elevada intensidade do feixe de	O material é separado devido à quebra das ligações covalentes

		jato de gás pressurizado.	soprado pelo jato de gás pressurizado.	radiação laser.	pela energia dos fótons da radiação UV.
Tipo de gás	Gás inerte	Gás inerte	Gás quimicamente reativo	Gás inerte ou sem gás	Gás inerte
Materiais da peça de trabalho	Cerâmicos	Metais Polímeros Cerâmicos Vidros Compósitos	Metais Polímeros	Metais Polímeros Cerâmicos	Materiais orgânicos

Os tipos de laser caracterizam-se pela natureza do meio ativo, isto é, o meio de emissão dos fótons. Na Tabela 7 é possível verificar os tipos de laser mais comuns dos diferentes meios ativos e os respectivos materiais a que se aplicam.

Tabela 7 - Tipos de laser mais comuns em função do meio ativo (adaptado de [30,34])

Meio ativo	Tipos de laser mais comuns	Características	Aplicação (material)
Sólido	Nd:YAG	Fácil alinhamento do feixe laser Eficiência reduzida	Materiais metálicos (dificuldade no corte de ligas de prata e ouro, e incapacidade de corte de vidro)
	Fibra	Laser conduzido por fibra Diâmetro focal reduzido proporciona uma elevada intensidade do laser	Materiais metálicos
Gasoso	CO ₂	Potências elevadas Dificuldade em cortar metais refletores Custos de investimento e de operação reduzidos	Materiais metálicos e não metálicos (dificuldade no corte de alumínio, cobre, vidro, alguns compósitos, pedra e cerâmicos)

Para a realização de corte em materiais metálicos os tipos de laser mais comuns são os que têm o meio ativo sólido, o laser de fibras e o Nd:YAG [25]. No entanto, o último, devido à sua baixa eficiência, tem perdido mercado relativamente ao laser de fibra. O processo de corte a laser, como todos os outros processos, necessita de ter os parâmetros bem regulados a fim de se obter a qualidade de corte desejada. Os principais

parâmetros que influenciam este processo dividem-se em três categorias (parâmetros do material, do processo e do laser) e encontram-se especificados na Figura 14.

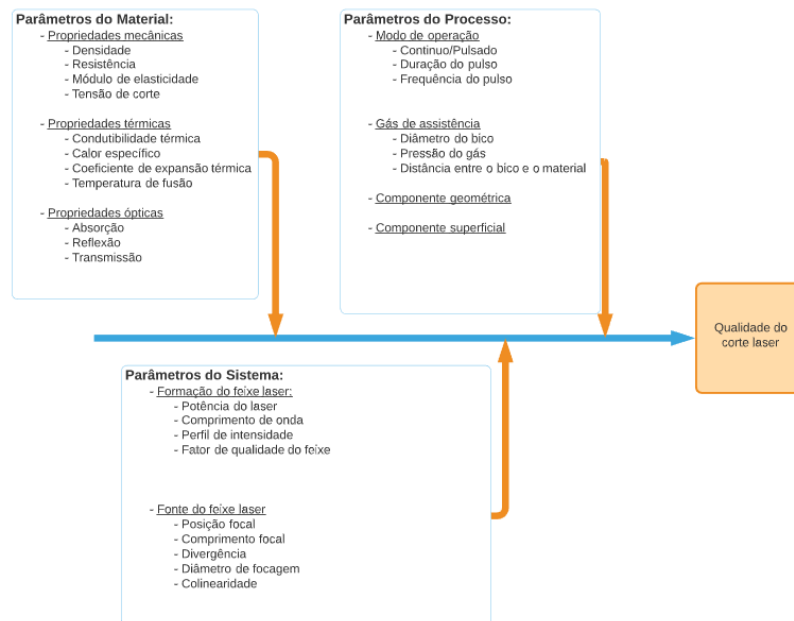


Figura 14 - Parâmetros do processo de corte a laser (adaptado de [28])

Também a produtividade pode ser melhorada através da alteração dos parâmetros de corte. A espessura e o tipo de material são os dois fatores que maior impacto têm na velocidade de corte. Quanto maior a espessura do material, menor será a velocidade de corte [25]. O processo de corte a laser permite cortar materiais até 50 mm de espessura. No entanto, a qualidade de corte apenas é garantida para materiais com espessuras até 15 mm [16]. Na Tabela 8 encontram-se representadas algumas das principais vantagens e desvantagens do processo de corte a laser.

Tabela 8 - Vantagens e desvantagens do processo de corte a laser (adaptado de [25,35,36])

Vantagens	Desvantagens
Velocidade de corte elevada	Manutenção com custo elevado
Elevada precisão de corte	Espessuras elevadas reduzem consideravelmente a qualidade e velocidade de corte.
Aplica-se a uma vasta gama de materiais	Dificuldade de corte em algumas ligas devido à sua condutibilidade térmica e coeficiente de reflexão elevados
Não existe contacto entre o bico de corte e o material	Baixa taxa de remoção de material
Largura de corte reduzida	Necessário de sistema de extração de fumos
ZTA reduzida relativamente a outros processos térmicos	

Na Tabela 9 apresenta-se o estado de arte relativo ao processo de corte laser.

Tabela 9 - Estado da arte do processo de corte laser

Autor	Descrição
Bakhtiyari et al. [28]	Devido ao elevado número de variáveis no processo de corte laser, a utilização de sistemas de inteligência artificial veio promover uma otimização deste processo. <i>Artificial neural network</i> (ANN), <i>fuzzy logic</i> (FL) e <i>metaheuristic optimization algorithms</i> são alguns exemplos das técnicas utilizadas para a definição dos diferentes parâmetros do processo de forma a melhorar as características das várias operações, nomeadamente o corte. Os resultados deste estudo preveem que no futuro será possível a total otimização do desempenho do feixe laser, através de técnicas de inteligência artificial.
Wetzig et al. [31]	Este estudo demonstra a capacidade de cortar materiais de pequena espessura a elevadas velocidades através do laser de fibra de alta potência. Foi verificado que o corte linear pode chegar aos 150 m/min mantendo uma qualidade de corte aceitável e evitando a formação de escória.
Kannan et al. [32]	Através do método TOPSIS, os autores realizaram uma otimização dos parâmetros de corte, estudando a capacidade do processo de corte (Nd:YAG) realizar cortes elípticos de dimensões bastante reduzidas em alumínio (Al 7475). Foi registado que a realização deste corte obteve melhores resultados para uma potência de corte de 3kW e uma velocidade de corte de 50 mm/s.

2.2.2.2 Corte plasma

O corte por arco de plasma é uma das várias tecnologias de corte térmico utilizadas na atualidade para efetuar as diferentes formas pretendidas. A evolução deste processo ao longo dos anos permitiu que o corte seja efetuado mais rapidamente e com uma melhor qualidade [33]. Este processo surgiu nos anos 80 como alternativa aos processos de corte tradicionais, nomeadamente o oxicorte, uma vez que inicialmente este processo era utilizado para corte de aços inoxidáveis e alumínio. No entanto, percebeu-se que este processo apresentava vantagens económicas no corte de aços macios com espessuras reduzidas. Este processo de corte pode ser utilizado no corte de todos os materiais condutores elétricos e em alguns materiais não condutores elétricos, embora nestes o corte seja difícil de executar [19,36,41].

O plasma trata-se de um gás que recebe uma elevada quantidade de energia de modo a ionizar e tornar-se condutor elétrico. O arco plasma é gerado entre um eletrodo existente no interior da tocha e o material (ânodo), operando entre os 11.000°C e os

27.800°C [10,41]. O corte por arco de plasma consiste no direcionamento de um feixe de plasma a alta velocidade na superfície do material. Este será fundido e consequentemente ejetado pela pressão exercida pelo feixe de plasma. Na Figura 15 encontra-se representado um esquema de uma tocha de corte por arco de plasma [12].

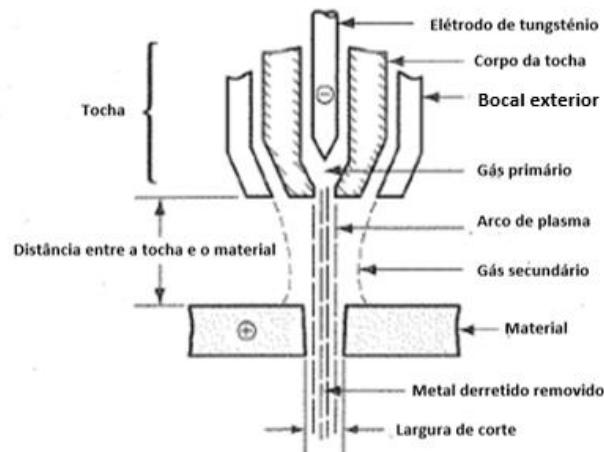


Figura 15 - Representação esquemática de uma tocha de corte por arco de plasma (adaptado de [12])

O processo de corte por plasma, por norma, utiliza dois tipos de gases, o primário e secundário. O primário é usado para a criação do arco plasma, como tal passa pela mudança de estado e será ionizado. Este gás deve cumprir alguns requisitos para que o processo de corte por arco de plasma seja realizado com sucesso, tal como, possuir

- Energia de ionização elevada;
- Condutividade térmica elevada para que seja possível transferir uma elevada quantidade de energia para o material a cortar;
- Elevado peso atômico, de forma a fornecer energia suficiente para conseguir remover material da peça [10].

Na tabela 11 encontram-se representados os principais gases primários utilizados no processo de corte plasma, tal como as respetivas propriedades e aplicações. Por outro lado, o gás secundário ou gás de proteção cobre a zona a ser cortada e permite uma melhor qualidade de corte, promovendo o arrefecimento, a redução da oxidação e a formação de fumos no processo de arco de plasma. A utilização deste gás é também responsável por comprimir o jato primário de plasma, facilitando o afastamento do material fundido à medida que este se forma. É ainda de salientar que o mesmo gás pode desempenhar a função de gás primário e secundário, simultaneamente. No entanto, é necessária uma tocha de corte adaptada. Na tabela 12 apresentam-se os gases secundários mais comuns no processo de corte por plasma [11,36].

Tabela 10 - Gases primários do processo de corte por plasma [36, 43]

Gás primário	Propriedades	Aplicação
Azoto	- Tendência a formar nitretos e fragilizar o material; - Elevada vida útil dos consumíveis; - Bom acabamento em alumínio e aço inoxidável.	Aço ao carbono Alumínio Aço inoxidável
Oxigénio	- Maior velocidade de corte; - Não existe formação de nitretos; - Só se aplica para materiais com temperatura oxidação inferior à temperatura de fusão.	Aço ao carbono
Ar	- Mais económico; - Jato com elevada concentração de energia; - Vida do eletrodo reduzida; - Oxidação no aço inoxidável e alumínio; - Formação de nitretos, fragilizando o material.	Aço ao carbono Alumínio Aço inoxidável
Mistura (Hidrogénio + Árgon)	- Elevada qualidade e velocidade de corte para espessuras superiores a 12 mm; - Redução de fumos provenientes do processo.	Alumínio Aço inoxidável

Tabela 11 - Gases de proteção do processo de corte plasma (adaptado de [36])

Gás secundário	Utilizado com o gás primário	Propriedades
Ar	Ar Azoto Oxigénio	- Baixo custo; - Formação de nitretos.
Dióxido de carbono	Azoto	- Boa proteção para uma vasta gama de metais; - Elevada vida útil dos consumíveis; - Necessita de sistema de fornecimento de gás adequado; - Superfície de corte rugosa.
Azoto	Azoto Mistura (Hidrogénio + Árgon)	- Elevada qualidade de corte em aço inoxidável e alumínio; - Elevada vida útil dos consumíveis.
Água	Azoto Mistura (Hidrogénio + Árgon) Oxigénio	- Elevada qualidade de corte em aço inoxidável e alumínio; - Redução dos fumos provenientes do processo de corte.

Os parâmetros de corte mais relevantes no processo de corte por plasma são descritos nos seguintes pontos [34].

- **Velocidade de corte**

A velocidade de corte no processo de arco de plasma varia com uma série de parâmetros. Na Figura 16 é possível verificar a influência que a espessura do material e a intensidade de corrente têm na velocidade do corte. É ainda efetuada uma comparação entre o processo de corte por arco plasma com diferentes intensidades de corrente e os processos de corte laser e oxicorte. É observado que a velocidade de corte aumenta com a redução da espessura dos materiais. Um aumento da intensidade de corrente permite cortar materiais com maiores espessuras e de forma geral permite maiores velocidades de corte. Por outro lado, intensidades de corrente elevadas impossibilitam o corte de materiais com espessura reduzida [37].

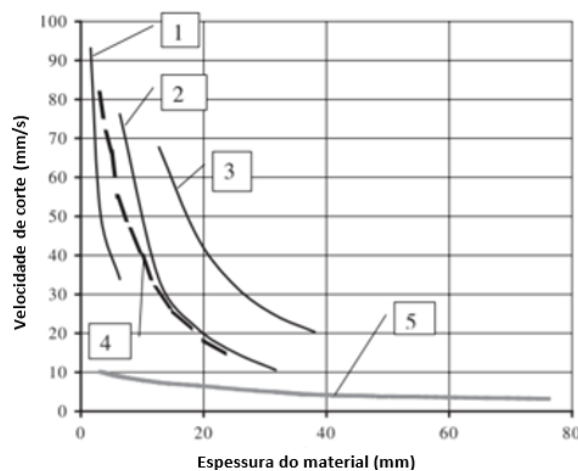


Figura 16 - Influência da espessura do material e da intensidade de corrente/processo de corte na velocidade de corte de aço leve: 1- corte plasma 65 A, 2- corte plasma 200 A, 3- corte plasma 400 A, 4- corte laser 5kW e 5- oxicorte [37]

Para além da espessura do material e da intensidade de corrente, o tipo de gás utilizado e o respetivo caudal também irão influenciar a velocidade de corte. Os gases primários que permitem maiores velocidades de corte são o oxigénio, o ar e a mistura de argón com hidrogénio [36]. A velocidade de corte apresenta-se como um parâmetro bastante importante pois é determinante na qualidade do corte. Quando se fala do processo de corte por arco de plasma é necessário ter em conta os ângulos de inclinação existente nas paredes do corte, isto é, a largura de corte é maior no topo do material comparativamente com a parte inferior do mesmo. Os ângulos de inclinação encontram-se representados como β_1 e β_2 na Figura 17. Estes dependem da velocidade de corte. Quando esta é elevada, os ângulos são maiores. Por outro lado, à medida que a velocidade de corte diminui, os ângulos de inclinação também diminuem. Concluiu-se assim que é necessário encontrar um meio termo entre a qualidade de corte e a produtividade, uma vez que velocidades elevadas aumentam a produtividade do processo, mas diminuem a qualidade do corte. É ainda de salientar que, caso a velocidade de corte seja demasiado elevada, os ângulos de inclinação serão muito

grandes, fazendo com que as arestas de corte na parte inferior do material fiquem demasiado próximas e, assim, ocorra a fusão das mesmas [38].

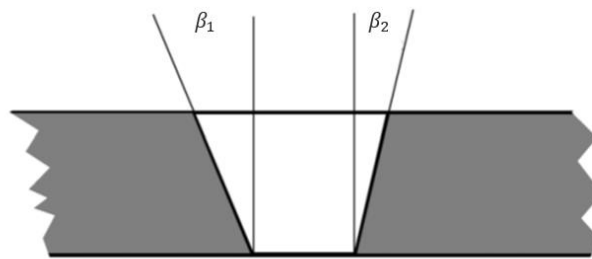


Figura 17 - Representação dos ângulos de inclinação, β_1 e β_2 , das paredes do corte (adaptado de [37])

Como é possível verificar na Figura 17, os ângulos de inclinação β_1 e β_2 não são iguais, isto é, existe sempre um lado com melhor qualidade de corte do que o outro. Esta diferença dos ângulos de inclinação depende da direção de corte e da direção do movimento espiral do jato de plasma. A razão dos ângulos β_1 e β_2 serem diferentes é observável na Figura 18. Nesta é possível verificar que o movimento rotacional do jato plasma segue no sentido de A para C (Figura 18 (a)), somando um maior tempo de contacto com o metal na zona do jato plasma representada pela letra C. Logo, a temperatura do jato nesta zona será inferior à temperatura na zona A, que por sua vez é a zona mais quente do jato. Na Figura 18 (b) pode-se verificar que, na zona A, o metal será mais facilmente derretido do que na zona C. Esta assimetria das paredes de corte diminui com o aumento da profundidade do corte, uma vez que quanto maior for a profundidade, maior será o atrito entre o movimento espiral do jato e as paredes de corte, o que reduz a velocidade de rotação do jato e promove uma melhor qualidade no corte [37].

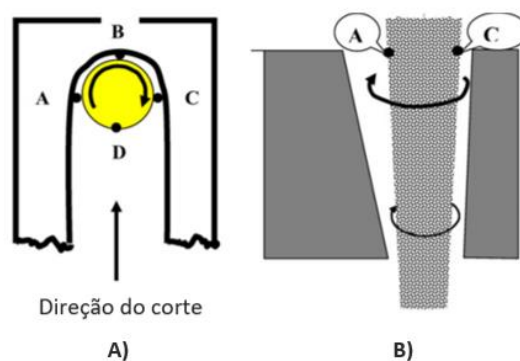


Figura 18 - Representação do comportamento do jato de plasma: A) vista superior e B) vista lateral (adaptado de [37])

A variação do ângulo de inclinação das paredes de corte e as dimensões da largura do corte são demonstradas na Figura 19 (A) e Figura 19 (B), respetivamente.

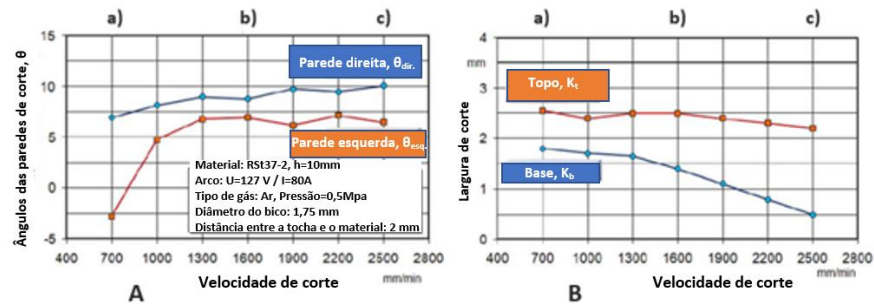


Figura 19 - Influência da velocidade de corte na qualidade do corte: A) ângulos de inclinação das paredes do corte e B) dimensões da largura de corte (adaptado de [39])

Na Figura 20 é possível observar as dimensões da largura de corte e o ângulo de inclinação das paredes do corte, de acordo com os parâmetros de corte determinados na Figura 19.

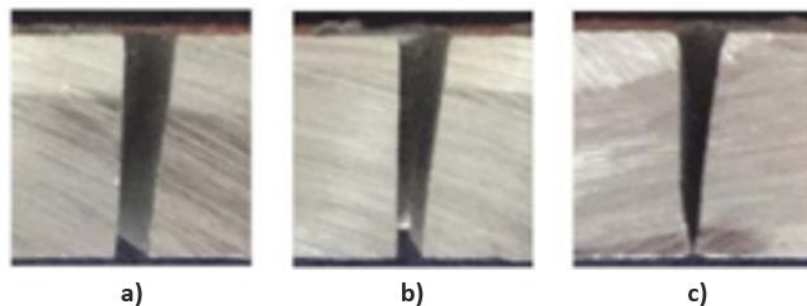


Figura 20 - Vista frontal do corte de acordo com as diferentes velocidades de corte representadas na Figura 19 (adaptado de [39])

Para além da inclinação das paredes da zona cortada, a velocidade de corte também influencia a deflexão do jato de plasma e a rugosidade superficial. De modo a perceber a influência da velocidade de corte na deflexão do jato de plasma foram registadas as dimensões do arrasto e o passo do mesmo. Através da Figura 21 (A) é possível verificar que, para os parâmetros definidos, tanto o arrasto como o passo do arrasto aumentam com o aumento da velocidade de corte. Relativamente à rugosidade superficial após realizar o corte, verifica-se que a rugosidade média (R_a) e a rugosidade total (R_t), rugosidade máxima tendo em conta todo o comprimento da amostra, aumentam com o aumento da velocidade de corte (Figura 21 (B)) [39].

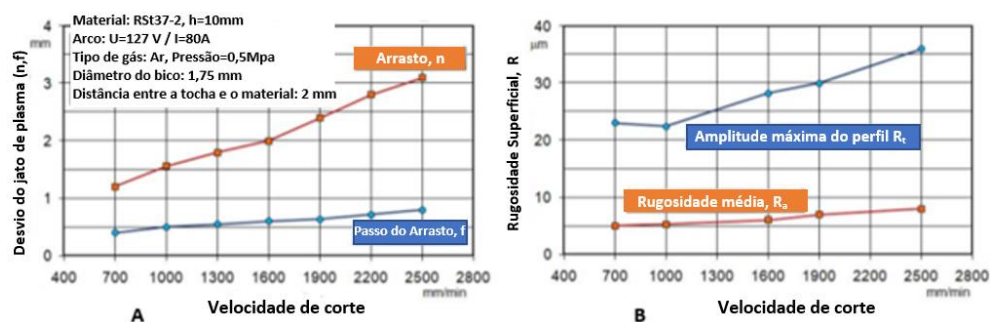


Figura 21 - Influência da velocidade de corte na qualidade do corte: A) deflexão do jato de plasma e B) rugosidade superficial (adaptado de [39])

- **Intensidade de corrente**

A intensidade de corrente no processo de corte por arco de plasma varia entre 30 e 1000 A, tendo uma grande influência na ZTA. De forma geral, o aumento da intensidade de corrente juntamente com a diminuição da velocidade de corte, promovem um aumento considerável da ZTA. Este fenómeno ocorre porque é transferida uma maior quantidade de energia por unidade de tempo para o material [41,47].

- **Distância entre a tocha e o material**

A distância entre a tocha e o material deve ser constante de forma a obter uma melhor qualidade de corte. A otimização deste parâmetro varia com a espessura do material a cortar e com a intensidade de corrente. Por norma é utilizado um valor *standard* de 6 mm, embora as máquinas automatizadas mais recentes possuam algoritmos que otimizam a distância entre a tocha e o material [40].

- **Diâmetro do orifício**

O bico de corte é responsável pela constrição do gás ionizado que se encontra a altas temperaturas. O bico utilizado deve ser resistente ao ambiente agressivo a que está sujeito, quer a nível térmico como elétrico. A variação do diâmetro do orifício tem uma influência significativa no processo de corte por plasma. Para um maior diâmetro do orifício, tem-se uma menor pressão do gás e um maior caudal, e maior será a área de contacto entre o jato de plasma e o material, logo o calor irá dissipar-se por uma maior área, resultando numa redução da energia específica. A escolha do bico de corte deve ter em conta vários fatores, como o material a cortar e a sua espessura, o tipo de gases utilizados, a acessibilidade à zona de corte e a velocidade de corte pretendida.

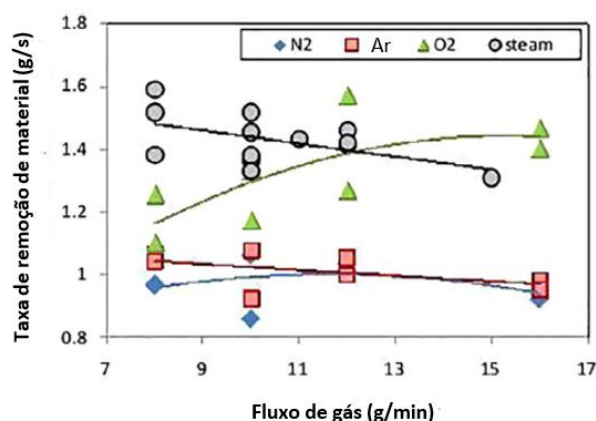


Figura 22 - Efeito do caudal mássico de diferentes gases na taxa de remoção de material (adaptado de [10])

Na Figura 22 encontra-se representada a taxa de remoção de material em função do caudal mássico de diferentes tipos de gases. Verificou-se que apenas o oxigénio regista um aumento da taxa de remoção de material com o aumento do caudal mássico do gás,

devido ao calor adicional proveniente da reação de oxidação, o que facilita o processo de corte. É ainda de salientar que uma maior precisão no ajuste do bico de corte permite atingir os requisitos impostos referentes ao toleranciamento geométrico no corte de materiais de espessura reduzida [36,48].

Na Tabela 12 encontram-se representadas algumas das principais vantagens e desvantagens do processo de corte por plasma. Na Tabela 13 encontra-se representado o estado de arte relativo ao processo de corte por plasma.

Tabela 12 - Vantagens e desvantagens do processo de corte por plasma (adaptado de [25,36])

Vantagens	Desvantagens
Não existe contacto entre a tocha e o material	Dificuldade elevada no corte de materiais que não sejam condutores elétricos
Velocidade de corte elevada para espessuras reduzidas	Não corta espessuras muito elevadas (espessura máximo: ≈ 50 mm)
Taxa de remoção de material elevada	Largura de corte elevada (≥ 1 mm)
Pode ser automatizado com tecnologia CNC	ZTA moderada (inferior à ZTA no processo de oxicorte)
Corte pode ser efetuado debaixo de água – eliminando algumas adversidades do processo	Necessária elevada quantidade de energia
Custo de consumíveis	Não permite rugosidades superficiais reduzidas
Não utiliza químicos, não havendo risco de corrosão	Necessita de sistema de extração de fumos

Tabela 13 - Estado da arte do processo de corte por plasma

Autor	Descrição
Sharma e Kumar [42]	Este trabalho estuda a taxa de formação de escória (DFR - <i>Dross formation rate</i>) consequente do processo de corte por arco de plasma, uma vez que é uma das maiores desvantagens deste processo. Através do método de superfície de resposta (RSM - <i>Response Surface Method</i>) é possível verificar o impacto de parâmetros como a intensidade de corrente, a velocidade de corte, o intervalo de tensão do corte e a espessura da peça na qualidade do corte. Conclui-se que o aumento da intensidade de corrente promove a diminuição da DFR. Esta irá aumentar com o aumento da velocidade de corte e com o aumento do intervalo de tensão de corte. Para baixas intensidades de corrente, a DFR aumenta com a espessura. Por outro lado, para intensidades de corrente elevadas, a DFR diminui com a espessura. Este método permite otimizar os parâmetros de corte de forma a obter um resultado com uma formação de escória mínima ou nula. O método RSM apresenta uma taxa de erro de 8% no caso em estudo.

Rajeshkannan
et al. [33]

Este estudo procura otimizar alguns parâmetros de corte (intensidade de corrente, tempo de corte, e distância entre o bico de corte e o material) de forma a obter uma melhoria nas características de corte, nomeadamente uma menor rugosidade superficial e uma maior taxa de remoção de material. Este trabalho experimental foi elaborado com recurso ao método Taguchi, sendo que esta técnica permite estudar a influência das várias variáveis que afetam o corte, num curto período de tempo. No caso em estudo, para o aço AISI 1018, obteve-se que o aumento da intensidade de corrente e a diminuição do tempo de corte otimizam a taxa de remoção de material. Por outro lado, a otimização da rugosidade superficial é obtida através de uma diminuição da intensidade de corrente e um aumento do tempo de corte. A distância entre o bico de corte e o material deve ser de 0 mm tanto para a otimização da taxa de remoção de material como para a otimização da rugosidade superficial.

Singh
[43]

O autor investiga a ZTA em aços inoxidáveis no processo de corte de plasma através do método RSM, concluindo que a diferença de potencial e a velocidade de corte são os parâmetros que mais influenciam a ZTA. Um aumento da diferença de potencial aumenta a temperatura do material, aumentando a ZTA. Por outro lado, o aumento da velocidade de corte apenas aumenta a temperatura do material se também se verificar uma elevada diferença de potencial.

2.2.3 Automatização de processos de corte

Um sistema automático é aquele em que o processo é efetuado sem a influência direta do operador, isto é, a máquina trabalha autonomamente, processando as instruções previamente definidas. No entanto, o nível de automatização dos equipamentos pode variar, isto é, a porção do tempo de ciclo que é controlado por um programa varia.

Existem máquinas que não são totalmente automatizadas, isto é, necessitam da atuação periódica do operador, quer para carregamentos de material, remoção das peças fabricadas, troca de ferramentas, entre outros. Estas são denominadas de equipamentos semiautomáticos. Por outro lado, os equipamentos completamente automáticos são caracterizados pela capacidade de operar durante longos períodos de tempo sem que seja necessária a intervenção humana [44]. Existem várias razões que justificam a automatização de equipamentos, sendo estas descritas na Tabela 14.

Tabela 14 - Razões que justificam a automatização dos equipamentos (adaptado de [44]).

Razões	Descrição
Aumento da produtividade	A automatização de um equipamento traduz-se num aumento da taxa de produção e da produtividade, devido à redução dos tempos de ciclo.
Redução do custo de produção	O investimento realizado na automatização do equipamento é justificado devido à redução do custo de produção por unidade.
Redução dos efeitos de escassez de mão de obra	Alguns países enfrentam uma escassez de mão de obra. A automatização mitiga este problema, uma vez que possibilita que máquinas substituam o trabalho realizado pelo Homem.
Redução de tarefas cíclicas realizadas por operadores	Existem operações que devido ao seu cariz cíclico demonstram diminuições de rendimento por parte do operador. Máquinas devidamente programadas podem desempenhar estas operações.
Maior segurança dos trabalhadores	O operador deixa de ter uma ação direta na produção, passando a monitorizar as máquinas. Como tal, diminui-se o risco de acidentes de trabalho.
Melhor qualidade do produto	Além de uma maior produtividade, a qualidade do produto também é superior. Máquinas previamente programadas permitem especificações de qualidade mais rigorosas.
Realização de operações impossíveis de realizar manualmente	Existem operações complexas que não podem ser realizadas manualmente. Existem componentes que necessitam de ser desenhados com recurso a <i>software</i> de CAD, sendo posteriormente processados por maquinadas de controlo numérico.
Evitar o alto custo da não automatização	A automatização dos equipamentos demonstra-se como um forte fator na posição da empresa no mercado em que se encontra. Uma empresa com um alto nível de automatização transpõe uma imagem de maior profissionalismo e qualidade, traduzindo-se em melhores relações com os clientes e mais vendas.

A automatização pode ser dividida em três tipos, em função da quantidade de produção e da diversidade dos produtos, tal como representado na Figura 23, sendo eles a automatização programável, flexível e fixa. De forma geral, estes tipos de automatização operam para sistemas completamente automatizados, embora que seja comum observar sistemas semiautomático na automação programável [44].

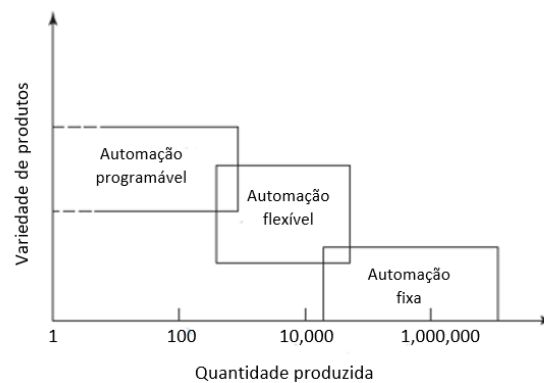


Figura 23 - Tipos de automatização em função da quantidade e da variação da produção (adaptado de [44])

Automatização programável

Este tipo de automatização é utilizado quando a quantidade de produção é reduzida e existe uma diversidade considerável do produto. Nestes casos, o equipamento de produção é concebido com a capacidade de se adaptar a diferentes configurações de produtos conforme as necessidades da empresa. A sequência de operações é controlada por um programa que contém as instruções necessárias em forma de código, que é lido e interpretado pelo sistema. O programa pode ser trocado para que se possam produzir novos produtos. Algumas das características principais da automatização programável são [44]:

- Alto investimento para obtenção do equipamento;
- Taxas de produção inferiores à automatização fixa;
- Flexibilidade para adaptar o processo às variações do produto;
- Adequado para produção em lotes.

Automatização fixa

A automatização fixa é adequada para quando a diversidade do produto é reduzida e a quantidade a produzir é elevada. Neste caso, a sequência de operações para um determinado produto é fixada de acordo com as configurações do equipamento. Existe a junção de várias operações num único equipamento, tornado o sistema complexo. Algumas das características principais da automatização fixa são [44]:

- Taxa de produção elevada;
- Inflexibilidade do equipamento se adaptar a alterações no produto.

O investimento realizado para a obtenção deste tipo de automação é justificado pela capacidade de produção de um produto em grandes quantidades e com taxas de produção elevadas, que promovem a redução do custo unitário do produto e facilitam a amortização do equipamento [44].

Automatização flexível

Este caso é considerado uma extensão da automatização programável e tem a capacidade de produzir vários produtos sem que existam perdas de tempo quando se altera o tipo de produto. Para que este tipo de automação seja possível é necessário que as diferenças entre as peças processadas não sejam significativas. Algumas das características principais da automatização flexível são [44]:

- Produção contínua de diferentes produtos;
- Taxas de produção moderadas;
- Não existe necessidade de produção por lotes;
- Flexibilidade em adaptar o processo para alterações no design do produto.

A indústria metalomecânica encontra-se num período de transição para a produção autónoma. Esta mudança deve-se ao aparecimento de novas técnicas de corte mais sofisticadas, às quais foram implementados sistemas de automatização. Este cenário é também conhecido por indústria 4.0, que promoveu um aumento significativo da competitividade do setor. O facto de a ferramenta/tocha de corte passar a ser movimentada por sistemas de controlo numérico potenciou um grande aumento da qualidade do corte, uma vez que a troca do Homem pela máquina elimina uma série de fatores que influenciam negativamente a qualidade de corte [64,65]. Na Tabela 15 é possível verificar o estado da arte relativo à automatização de processos de corte.

Tabela 15 - Estado da arte da automatização de processos de corte

Autor	Descrição
Barbosa [47]	O autor depara-se com a necessidade de otimizar o processo produtivo de corte de espiral para cabos de comando aplicados na indústria automóvel. A máquina existente apenas corta uma espiral de cada vez, de forma automática. No entanto, a qualidade do corte é reduzida, sendo necessários processos de acabamento. O objetivo deste trabalho passou pelo projeto de um equipamento automático capaz de realizar o corte de duas espirais com uma boa qualidade de corte. Este projeto representa um aumento significativo na produtividade deste processo produtivo.
Tavares [48]	O autor projetou uma célula robotizada de corte de plasma para realizar cortes específicos em chapas de metal, de forma a aumentar a produtividade de uma linha de produção. O processo de automatização permitiu uma redução dos tempos de corte e um aumento da qualidade do mesmo.

Silva [49]

O autor pretende implementar uma automatização no processo de fabrico de perfis metálicos, mais especificamente no seu corte e furação. Como tal, foi desenvolvido um controlador capaz de gerar um código G que interpreta as linhas de código e replica-o nos movimentos necessários para o fabrico dos perfis. O desenvolvimento deste sistema permite uma maior produtividade do processo de fabrico de perfis metálicos e uma melhor qualidade de corte, uma vez que este passa a ser automático.

2.2.4 Sistemas de apoio às operações de corte de tubos metálicos

A operação de corte de tubos metálicos necessita de um conjunto de componentes que possibilitam a sua realização. Nos seguintes subcapítulos são descritos alguns desses componentes, sendo ainda realiza um estudo de mercado para cada um deles.

2.2.4.1 Bucha fixadora

Este componente encontra-se representado na Figura 24 e tem como função realizar a fixação numa das extremidades do tubo. Por vezes, os tubos podem ser maquinados em ambas as extremidades. Como tal, é necessário que o sistema de garras seja capaz de agarrar o tubo tanto na superfície exterior como na interior. A bucha fixadora necessita ainda de ser capaz de rodar o tubo de forma a promover o corte de geometrias mais complexas. Este componente deve ser fornecido pela mesma empresa do sistema robótico e do controlador, de forma a que seja possível que estes componentes estejam interligados, aumentando a complexidade dos cortes.



Figura 24 - Bucha fixadora de tubos [50]

2.2.4.2 Suporte de tubos

Enquanto uma extremidade do tubo está presa na bucha fixadora, o restante comprimento do tubo necessita de pelo menos um suporte para evitar a sua flexão. O número de suportes necessários depende do comprimento total do tubo e das suas

propriedades. Este suporte pode adotar diferentes mecanismos, sendo alguns deles descritos na Tabela 16.

Tabela 16 - Fornecedores de suporte de tubos

Figura	Fornecedor	Descrição
	HGG [50]	O suporte de tubos oferecido por este fornecedor permite o ajuste da distância entre rolos, de forma a que possam ser suportados tubos de diferentes diâmetros, mantendo o centro de eixo da bucha fixadora e do tubo sempre colineares. A diminuição ou o aumento do diâmetro é realizado manualmente pelo operador através de um sistema hidráulico.
	Messer [51]	Este suporte permite o ajuste do centro de eixo do tubo ao centro de eixo da bucha fixadora através do movimento vertical das barras que se encontram nas extremidades do suporte. O ajuste a diferentes diâmetros de tubo é realizado através da troca do tamanho e do posicionamento dos rolos.
	Lansun [52]	Este suporte é idêntico ao suporte do fornecedor HGG. No entanto, o sistema de ajuste do diâmetro do tubo é realizado pelo movimento das hastes nas guias existentes na base do suporte. Como tal, este ocupa muito espaço e o intervalo de diâmetros é mais reduzido.

2.2.4.3 Controlador

O controlador (Figura 25) é um componente fundamental para o funcionamento do equipamento, uma vez que é responsável pela correlação de todos os outros

componentes. É ainda de salientar que é o componente responsável pela leitura das linhas de código que se irão traduzir nos movimentos do braço robótico para a realização do corte pretendido. Este componente por norma é fornecido juntamente com o braço robótico e pode ser automatizado com o apoio da empresa que o fornece, de forma a correlacionar todo o sistema.



Figura 25 - Controlador (FANUC R-30iB Plus) [53]

2.2.4.4 Braço robótico

O braço robótico (Figura 26) é responsável pelo suporte da cabeça de corte e, como tal, necessita de uma certa robustez. Este componente possui a flexibilidade de ser programável permitindo que a máquina de corte na qual irá ser instalado possa realizar cortes complexos. Outro aspeto relevante é número de eixos no qual o braço robótico opera, permitindo uma maior gama de movimentos. Na Tabela 17 encontram-se representados alguns dos fornecedores de braços robóticos e as soluções que possuem atualmente.



Figura 26 - Braço robótico (Fanuc M-710iC/70) [53]

Tabela 17 - Fornecedores de braços robóticos

Fornecedor	Descrição
FANUC [53]	A FANUC possui mais de 100 modelos de braços robóticos diferentes com capacidades de carga até 2300 kg e alcances até 4683 mm. São fáceis de operar e o seu consumo de energia é otimizado. São ainda disponibilizadas peças sobresselentes ao longo de toda a vida útil dos robôs.
KUKA [54]	Esta empresa oferece uma vasta gama de modelos com vários alcances e capacidades de carga. O braço robótico é acompanhado com um software e uma unidade de comando de última tecnologia de forma a conseguir satisfazer as necessidades produtivas do utilizador.
ABB [55]	A ABB é uma empresa pioneira na automação de sistemas robóticos industriais e conta com mais de 400 mil sistemas robóticos instalados. Como tal, é uma empresa experiente com o conhecimento necessário para ajudar o fabricante a melhorar a produtividade e a qualidade do produto.

2.2.4.5 Sistema de extração de fumos

Muitas das vezes os processos utilizados para o corte de metais resultam no aparecimento de fumos e partículas que podem ser prejudiciais à saúde. Uma forma de contrariar este aspeto é a utilização de sistemas de aspiração (Figura 27) que extraem estes fumos da zona de trabalho, promovendo melhor higiene e segurança de trabalho.



Figura 27 - Sistema de extração de fumos (Nederman - NEX HD) [56]

Na Tabela 18 encontram-se representados dois fornecedores de sistemas de extração industrial e as respetivas soluções de mercado.

Tabela 18 - Fornecedores de sistemas de extração industrial

Fornecedor	Descrição
Nederman [56]	Os braços de extração da Nederman apresentam soluções para situações de trabalho onde existem fumos e poeiras prejudiciais à saúde do operário. Estes braços são projetados para serem capazes de realizar a extração de fumos e poeiras a altas temperaturas. O fornecedor apresenta ainda sistemas de <i>rails</i> de forma a que o braço extrator possa acompanhar a área de trabalho e otimizar a eficiência da extração.
RoboVent [57]	Este fornecedor apresenta uma solução de extração específica para o processo de corte plasma permitindo um nível de segurança elevada e adaptada para o processo em questão. Este sistema de extração foi testado em laboratório e algumas das principais vantagens são um caudal de ar extraído elevado e uma elevada vida útil do filtro.

2.2.4.6 Equipamento de corte

O equipamento de corte, apesar de ainda não ter sido definido, é um componente importante para o corte de tubo metálico e depende do processo de corte utilizado. A escolha do processo deve ser realizada, tendo em conta as seguintes necessidades:

- Cortar espessuras elevadas;
- Realização de cortes complexos;
- Velocidade de corte elevada;
- Boa qualidade de corte.

Este componente influencia alguns dos equipamentos anteriormente referidos. Os principais aspetos que o equipamento de corte condiciona são:

- Capacidade de carga do braço robótico;
- Possibilidade de adaptação do braço robótico ao processo de corte;
- Intensidade e particularidades do sistema de extração.

2.3 Recondicionamento de equipamentos

Os equipamentos existentes nos vários setores da indústria possuem um ciclo de vida pré-determinado, isto é, o equipamento é desenhado e construído para ser capaz de efetuar eficazmente a sua função durante um certo período. No entanto, estes vão perdendo a capacidade de executar as suas funções, quer por desgaste dos componentes, quer por má utilização do operador [58]. O equipamento, por vezes, pode

nem chegar a cumprir o seu ciclo de vida, sendo o caso do equipamento se deparar com avarias mais graves, em que não é viável executar uma reparação.

À medida que o equipamento se aproxima do seu fim de vida, é expectável que exista um maior número de problemas associados ao mesmo. A própria manutenção do equipamento torna-se cada vez mais difícil de executar, quer pela descontinuação de peças, quer pela escassez de ajuda técnica. Outro aspeto que impulsiona a possibilidade do recondicionamento dos equipamentos é a chegada da indústria 4.0. Esta promoveu avanços tecnológicos significativos, introduzindo uma interação entre o real e o digital, através do conceito de internet das coisas (IoT - *internet of things*). Esta revolução industrial é marcada pela existência de uma relação entre equipamentos, pessoas e sistemas de informação. Os novos equipamentos já são desenhados de forma a poderem usufruir destas tecnologias inovadoras. No entanto, os equipamentos mais antigos estão limitados ou não têm capacidade de suportar as novas ferramentas tecnológicas. Como tal, o utilizador é forçado a decidir entre substituir o equipamento ou proceder ao seu recondicionamento [58].

O recondicionamento do equipamento visa a dar uma nova vida aos equipamentos que já cumpriram o seu ciclo de vida ou que se encontram com avaria, uma vez que estes, se forem recondicionados podem voltar a desempenhar as suas funções [59]. Este recondicionamento foca-se na substituição de componentes desgastados ou danificados, no recondicionamento de controladores e ainda no estudo de formas de melhorar o desempenho do equipamento. Por outro lado, o recondicionamento também é entendido como uma adaptação do equipamento às condições de serviço, que no momento estão a ser necessárias, quer em termos de produtividade como de qualidade [60]. Mesmo que o equipamento ainda não se encontre no seu fim de vida, se deixar de cumprir com os requisitos que são necessários no momento, é preciso proceder à realização do recondicionamento do equipamento para que cumpra com todas as especificações requeridas pelo utilizador.

O recondicionamento de equipamentos nem sempre se demonstra como a opção mais vantajosa a nível económico. Em alguns casos, o equipamento a recondicionar encontra-se de tal forma incapacitado e desatualizado, que faz com que esta operação possa requerer custos elevados. Como tal, é necessário realizar estudos de mercado e de retorno de investimento, de forma a decidir conscientemente entre a compra de um novo equipamento ou o recondicionamento do mesmo [58].

2.3.1 Vantagens do recondicionamento de equipamentos industriais

Depois de serem realizados os devidos estudos e se concluir que, economicamente, o recondicionamento do equipamento é viável, é necessário perceber quais os pontos fulcrais a melhorar, de forma a que o equipamento cumpra os requisitos predefinidos pelo utilizador. A capacidade de o recondicionamento do equipamento ser adaptado às necessidades do utilizador demonstra uma mais-valia, pois permite que um

equipamento em fim de vida possa voltar a desempenhar as suas funções iniciais e/ou outras, com níveis de qualidade e produtividade superiores. Estas melhorias podem ser justificadas pela introdução de sistemas automatizados no equipamento. No entanto, a principal vantagem do recondicionamento de equipamentos é a possibilidade de as empresas poderem contribuir para um melhor ambiente, uma vez que a produção de novos equipamentos requiere a extração de recursos do planeta e de processos de fabrico poluentes. O próprio transporte do equipamento, desde o local onde foi produzido até ao local onde vai ser equipado, deve ser considerado no somatório do impacto ambiental relativo à compra de um novo equipamento. Como tal, a extensão da vida de uma máquina faz com que não seja necessário comprar um equipamento novo para realizar as mesmas funções [56,59].

De forma geral, as vantagens do recondicionamento de equipamentos são [58]:

- Boa relação custo-eficiência;
- Adaptação a novas tecnologias;
- Automatização de equipamentos;
- Capacidade de adaptar o equipamento para os requisitos pretendidos;
- Contribui para um melhor ambiente.

2.3.2 Reduzir, Reusar, Reciclar, Restaurar – Contribuir para um melhor ambiente

A consciência do estado ambiental atual deve estar presente em todos os seres humanos, sendo uma responsabilidade de cada um cumprir as medidas impostas de forma a reduzir o impacto ambiental da atividade humana. A área da engenharia mecânica está em muitos casos relacionada com a produção de bens, como tal é importante que os engenheiros tenham a capacidade de promover soluções amigas do ambiente. É necessário pensar no ciclo de vida dos materiais com os quais os equipamentos irão ser fabricados e na facilidade de reutilizar e reciclar os mesmos [62].

Tal como na sociedade em geral existem medidas de proteção ambiental, também a nível industrial estas são implementadas. Estas medidas devem ser cuidadosamente cumpridas, uma vez que a atividade industrial de uma fábrica de produção de bens apresenta um grande impacto ambiental, sendo necessário reduzi-lo sempre que possível. A política dos 4 R's (Reduzir, Reusar, Reciclar e Restaurar) encontra-se esquematizada na Figura 28 [63,64].



Figura 28 - Política dos 4R's (reduzir, reusar, reciclar e restaurar) (adaptado de [65])

Na Tabela 19 encontra-se representada uma linha guia da atitude que todas as empresas devem adotar para reduzir o impacto ambiental das mesmas.

Tabela 19 - Implementação dos 4R's na indústria (adaptado de [67,69])

Medida	Descrição
Reduzir	A compra de um equipamento deve visar a que este tenha a capacidade de realizar várias tarefas, de forma a evitar a necessidade de obter novos equipamentos para realizar as mesmas operações, separadamente.
Reusar	Os ciclos de vida dos equipamentos devem ser cumpridos, isto é, os equipamentos devem ser reutilizados até que sejam incapazes de desempenhar a sua função.
Reciclar	O projeto das peças deve ser elaborado tendo em conta a necessidade futura do equipamento ser reciclado. Isto é, devem ser priorizados materiais que sejam facilmente reciclados. Os excessos derivados da produção devem ser devidamente descartados.
Restaurar	Sempre que possível, os equipamentos devem ser restaurados de forma a prolongar a vida útil do equipamento, reduzindo a necessidade da compra de novos equipamentos.

Na Tabela 20 são apresentados alguns exemplos em que a aplicação dos conhecimentos da área da engenharia promoveu soluções que contribuem, diretamente ou indiretamente, para um melhor ambiente.

Tabela 20 - Estado de arte da engenharia na proteção ambiental

Autor	Descrição
Lopes et al. [66]	Em países onde a temperatura ambiente é baixa, o transporte de asfalto necessita de ser efetuado em depósitos revestidos, para reduzir as perdas de calor. Este artigo apresenta um novo contentor e compara os resultados obtidos com um contentor já existente. Foi verificado que o contentor desenvolvido apresenta uma maior vida útil, uma redução de perdas de calor, uma maior capacidade e, consequentemente, o número de viagens para o mesmo volume de asfalto diminuiu. Como tal, o transporte do asfalto com o novo contentor promove uma diminuição do consumo de combustível. Este estudo permite que o transporte seja mais competitivo e amigo do ambiente (para a mesma carga de asfalto são emitido menos 640 g de NOx por ano).
Gupta et al. [67]	Este artigo apresenta um estudo realizado ao processo de maquinagem (torneamento) do aço Inconel-800 (superliga à base de níquel), material comum na indústria aeroespacial. O estudo recai sobre a medição de vários parâmetros de corte sob influência da variação do lubrificante. Foi verificado que, comparativamente a outras técnicas de lubrificação, a utilização de azoto líquido promove uma redução do custo de fabrico (-9,3%), da energia consumida (-11,3%), das emissões de carbono (-49,17%) e do desgaste da ferramenta (-46,6%). É ainda de salientar que, com a utilização do azoto líquido como lubrificante, foram também registadas melhorias na rugosidade superficial.
Sabarinathan et al. [68]	Este estudo debruça-se sobre a reciclagem e reutilização de uma porção de material presente nas extremidades dos discos de alumina utilizados no processo de retificação, que normalmente é descartada. No entanto, este material pode ser reutilizado como abrasivo no processo de jato de água abrasivo. Foram medidos alguns dos indicadores de desempenho das partículas abrasivas recicladas no processo de corte por jato de água abrasivo, como a taxa de remoção de material, a largura de corte, a profundidade de corte e o tempo de corte. Os materiais utilizados foram alumínio e mármore, tendo sido realizada uma comparação entre o abrasivo de alumina reciclada e o abrasivo de <i>garnet</i> . Verificou-se que a utilização das partículas abrasivas de alumina reciclada permitiram maior eficiência de corte, maior profundidade de corte e menos tempo de corte, no caso do alumínio. No entanto, para ambos os materiais, a largura de corte é superior comparativamente ao abrasivo de <i>garnet</i> . Após a observação dos resultados, recomenda-se que o uso de partículas abrasivas de alumina reciclada sejam utilizadas em processos de corte grosseiros de mármore e granito. Este artigo retrata um exemplo de como algumas indústrias podem contribuir para um melhor ambiente e ao mesmo tempo melhorar as características de corte.

Li et al.
[69]

Os autores retratam a necessidade de reciclar as sobras de ferro provenientes da sua maquinagem. A reciclagem por derretimento de material não se adequa para as sobras de ferro, uma vez que este fica sujeito à oxidação, o que poderá ter consequências negativas nas propriedades do material. Como tal, o autor propôs um novo conceito, que consiste na compressão das sobras de ferro, conferindo ao material uma maior densidade e resistência. A taxa de rendimento deste material reciclado pode chegar aos 90%, demonstrando-se superior ao rendimento do ferro disperso em 8%.

2.3.3 Estudos económicos da viabilidade de recuperação

Neste subcapítulo, são demonstrados, na Tabela 21, diferentes casos de estudo em que se realizou o acondicionamento de um equipamento. É possível verificar que, no geral, a implementação desta medida leva a que a fábrica reduza o tempo de ciclo do seu processo produtivo e, consequentemente, aumente a sua produtividade. É ainda tido em conta a vertente económica de cada um destes casos de estudo.

Tabela 21 - Estado de arte de estudos económicos da viabilidade de recuperação de equipamentos

Autor	Descrição
Figueiredo et al. [70]	O artigo retrata a introdução da operação de decapagem num equipamento de fundição de terminais de arames utilizados na indústria automóvel. A máquina inicialmente existente trata-se de um equipamento semiautomático. No entanto, a adição da operação da decapagem permite um fluxo de produção contínuo, em que a matéria-prima recebida é transformada diretamente num produto final. O acondicionamento desta máquina, para além de aumentar a produtividade deste componente, permitiu ainda a eliminação de stocks intermediários e a redução de problemas logísticos. Tendo em conta a carga de trabalho e o investimento inicial, estima-se que o sistema seja amortizado em aproximadamente 2 anos.
Castro et al. [71]	Este estudo demonstra as vantagens do acondicionamento de uma célula de soldadura robótica, através da reutilização de um robot fora de serviço, para a produção da estrutura de autocarros. Os autores adotaram como exemplo a estrutura da bagageira dos mesmos. O processo de desenvolvimento deste acondicionamento, passou pelo estudo do layout da célula de soldadura, das especificações mecânicas do sistema, dos requisitos de fabrico e pela simulação e verificação de dados (<i>Roboguide – Fanuc Simulation Software</i>). Os fatores mais importantes para a determinação do sucesso do acondicionamento do equipamento

	considerados pelo autor são o tempo de ciclo e a qualidade do produto. Foi verificado que a soldadura robotizada apresentou um tempo de ciclo de 17 minutos, valor bastante inferior aos 35 minutos necessários para realizar a soldadura manualmente. A qualidade do produto não foi abordada neste artigo uma vez que só pode ser completamente definida após a implementação da célula de soldadura. Este recondicionamento tem um custo estimado de 33 500 €. No entanto, como permite a redução do tempo de ciclo em 51%, considerou-se que o equipamento é rapidamente amortizado.
Conceição et al. [72]	Este estudo foi desenvolvido com o objetivo de melhorar as linhas de montagem de cabos de aço utilizados no controlo de alguns sistemas básicos para a indústria automóvel, nomeadamente o sistema de elevação dos vidros das portas. Numa primeira fase, foram automatizadas quatro estações desta linha de montagem cujas operações eram realizadas manualmente. De seguida, numa segunda fase, foram tomadas medidas de forma a reduzir os desperdícios da linha de montagem, nomeadamente a eliminação de movimentos desnecessários, a realização de inspeções visuais, entre outras. Estas ações permitiram um aumento da produtividade da linha de montagem de 41% com um único investimento, cuja amortização se estima em 4 meses.
Silva et al. [73]	Este artigo estuda o recondicionamento de uma linha de montagem, introduzindo uma solução de baixo custo para automatizar os processos de inspeção e embalagem de um componente constituinte dos assentos dos automóveis, denominado de tapete de suspensão. A solução estudada passou pela colocação de câmaras que detetam automaticamente eventuais desconformidades. O embalamento é realizado através de um robot programado para a tarefa em questão. O tempo de ciclo é de 9,2 segundos, estando dentro dos requisitos previamente determinados. A amortização para a realização das alterações acima referidas é de cerca de 22 meses. Estas adaptações eliminaram o trabalho humano, aumentando a confiabilidade, a produtividade e a eficiência da inspeção do componente.

CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA, DO PROCESSO E DO PROBLEMA

3 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA, DO PROCESSO E DO PROBLEMA

3.1 Caracterização da empresa

A Martifer foi fundada em 1990 e é reconhecida mundialmente como uma empresa líder na execução de grandes projetos na área da construção metálica, na indústria naval e nas energias renováveis. Esta empresa conta com mais de trinta anos de experiência comprovada e tem aproximadamente 1400 colaboradores. A sua missão passa pelo reconhecimento nos diferentes mercados de negócio onde atua, devido à sua competência, inovação e engenharia, capacidade industrial e por assegurar sempre a melhor solução aos seus clientes. Para além disso, a Martifer segue uma série de valores de referência, representados na Tabela 22, de forma a desenvolver um trabalho de excelência em cada um dos projetos em qual a empresa participa.

Tabela 22 - Valores da Martifer [74]

Valores da Martifer
Rigor e compromisso
Humildade e integridade
Sentido crítico e inconformismo
Bom senso e clareza comunicacional
Espírito de entreaajuda e solidariedade
Capacidade de trabalho e espírito inovador
Orgulho na empresa e sentimento de pertença

A Martifer atua principalmente no mercado europeu, estando representada em vários países. Fora da Europa, a empresa tem instalações em Angola, Moçambique e na Arábia Saudita. Já em Portugal, a Martifer está presente em Aveiro, Lisboa, Viana do Castelo e em Oliveira de Frades, local onde se encontra sediada (Figura 29).



Figura 29 - Vista aérea dos pavilhões da Martifer em Oliveira de Frades (adaptado de Google Maps)

A Martifer tem a sua produção dividida entre a construção metálica e o fabrico de torres eólicas. Na vertente das torres eólicas, a empresa mune-se de duas mesas de corte equipadas com cabeças de oxicorte e plasma, duas calandras de dimensões elevadas e vários cristos de soldadura providos de equipamentos de soldadura por arco submerso. Por outro lado, na vertente de construção mecânica, a produção, para além de ser auxiliada pelas mesas de corte, utiliza também vários equipamentos mais rudimentares como rebarbadoras, tochas de oxicorte manuais e equipamentos de soldadura MIG/MAG. É de salientar que a empresa possui ainda estações de decapagem e pintura de forma a conferir os acabamentos pretendidos às peças fabricadas.

Alguns dos trabalhos mais notáveis da Martifer são a montagem da ala este do aeroporto de Genebra (Figura 30), as estruturas metálicas de vários estádios de futebol nacionais e estrangeiros, entre outros.



Figura 30 - Exemplo de obra de construção metálica da Martifer - ala este do aeroporto de Genebra [74]

A empresa conta ainda com vários contratos de produção de torres eólicas ao longos dos anos, o que corresponde a uma das principais atividades da empresa. Na Figura 31 é possível observar torres eólicas fabricadas na Martifer.



Figura 31 - Torres eólicas fabricadas na Martifer [74]

3.2 Caracterização do processo

A empresa na qual o estágio foi realizado tem a sua produção dividida em dois setores: torres eólicas (Figura 32 A) e construção metálica (Figura 32 B). No entanto, como a presente dissertação tem como objetivo a readaptação de um pórtico de soldadura numa máquina para realizar corte de tubo para o setor de construção metálica da empresa, apenas este setor será analisado.



Figura 32 - Representação dos setores de produção da Martifer: A) fabrico de torres eólicas e B) construção metálica [74]

O processo de construção metálica varia de obra para obra, uma vez que a elevada experiência da empresa permite uma elevada diversificação da natureza da obra, sendo que podem ser construídos desde estruturas metálicas para estádios de futebol, aeroportos e grandes edifícios, como também podem ser fabricados pilares metálicos para pontes. Como tal, não é possível definir uma ordem de processos, uma vez que a produção da Martifer tem este elevado nível de diversidade. Desta forma, são apenas abordadas as fases do processo produtivo em que os tubos metálicos estão diretamente associados. Na Figura 33 encontra-se representado o esquema de produção dos tubos usados em obras de construção metálica na Martifer. É ainda de salientar que esta linha produtiva pode sofrer alterações de acordo com as particularidades das diferentes obras.

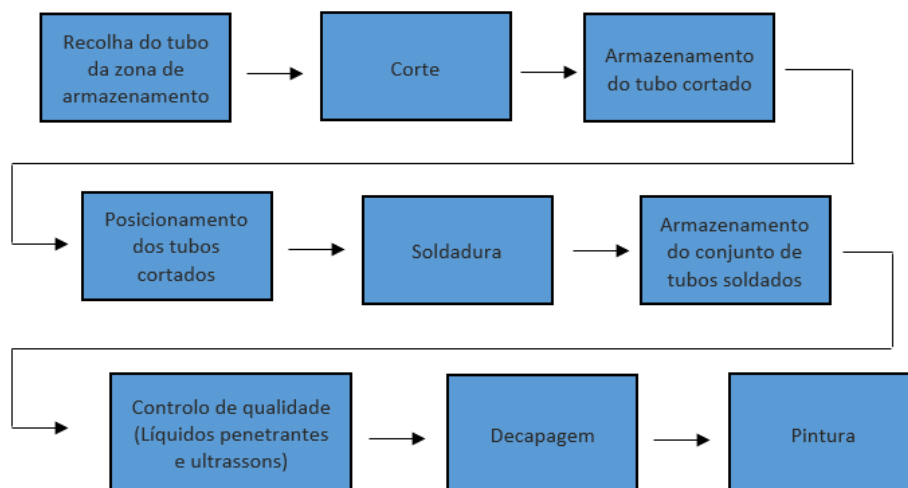


Figura 33 - Esquema do processo produtivo dos tubos usados nas obras de construção metálica

O tubo é inicialmente adquirido em lotes relativamente grandes e é guardado em chão de fábrica, no local próprio de armazenamento. Quando é dada a ordem de execução de um processo de fabrico (PF) relativa a um tubo para uma determinada obra, o operador associado a essa PF desloca o tubo da zona de armazenamento para a sua zona de trabalho com recurso a uma ponte rolante. Dependendo da geometria pretendida, o operador realiza o corte com recurso a um sistema portátil de oxicorte e a uma rebarbadora, tal como representado na Figura 34 A) e Figura 34 B), respetivamente. É ainda utilizado um aparelho de soldadura MIG/MAG de forma a corrigir pequenas imperfeições, caso o operador remova material em excesso.

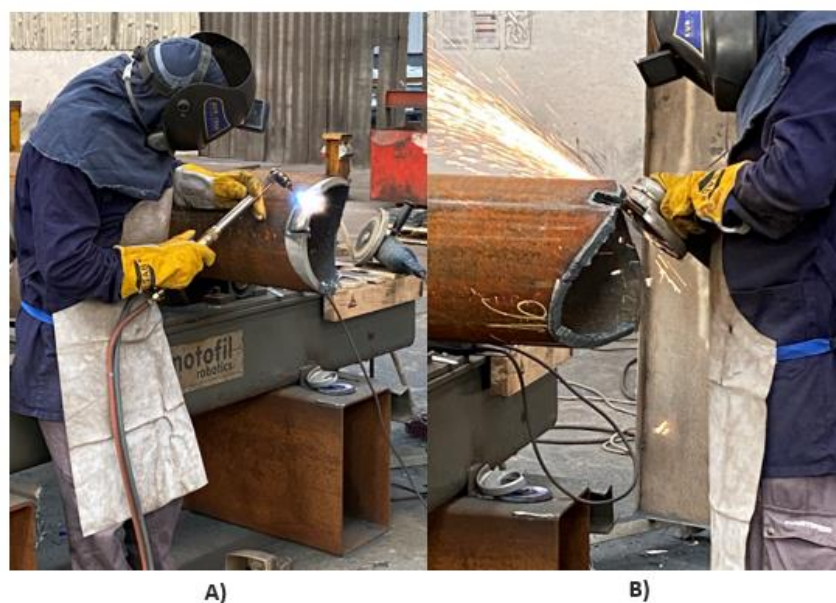


Figura 34 - Representação dos processos utilizados pela Martifer no corte de tubo manual: A) oxicorte e B) rebarbagem

Apesar de o processo de corte de tubo manual acarretar várias desvantagens, nomeadamente o elevado tempo de fabrico, este permite que o tubo saia da zona de corte com o acabamento requerido para ser soldado. Como tal, procede-se à soldadura dos tubos, com o auxílio da ponte rolante no posicionamento dos tubos a soldar de acordo com a estrutura pretendida. Quando o conjunto possui a geometria final pretendida, este é transportado para a estação de decapagem, de forma a remover todas as oxidações e substâncias inorgânicas presentes na superfície do metal. Após a peça sair desta estação, esta prossegue para a estação de pintura onde é aplicada a tinta definida pela entidade compradora. Por fim, a peça fica no armazém de expedição até ao momento de transporte para o cliente.

A presente dissertação foca-se na segunda etapa do esquema produtivo representado na Figura 33, isto é, na fase do corte do tubo. Tal como foi referido anteriormente, a Martifer utiliza ferramentas manuais para a realização do corte de tubos, resultando em tempos de corte bastante elevados. Como tal, é realizado o estudo de readaptação do pórtico de soldadura para uma máquina de corte de tubos semiautomática, o que acarreta uma série de fatores positivos para a empresa. Na Tabela 23 e na Tabela 24 encontram-se representadas as vantagens e desvantagens do processo de corte de tubos manual e semiautomático, respetivamente.

Tabela 23 – Vantagens e desvantagens do processo manual de corte de tubo

Vantagens	Desvantagens
• Peça final possui bom acabamento • Baixo custo de manutenção • Baixo custo dos equipamentos • Investimento inicial reduzido	• Elevado tempo de fabrico • Custo de mão de obra elevado • Requer operador qualificado e com experiência • Baixo rigor dimensional • Dificuldade em realizar cortes mais complexos

Tabela 24 - Vantagens e desvantagens do processo semiautomático de corte de tubo

Vantagens	Desvantagens
• Baixo tempo de fabrico • Possibilidade de realizar cortes complexos • Elevado rigor dimensional • Redução dos custos de mão de obra	• Investimento inicial elevado • Custo de manutenção elevado • Necessidade de processo secundário para conferir o acabamento requerido para soldar os tubos

3.3 Requisitos iniciais e caracterização do problema

A diversificação dos projetos do setor de construção metálica da Martifer impede que exista uma linha de produção contínua. A variedade da geometria e das dimensões dos produtos concebidos pela Martifer levam a que estes não possam ser produzidos em série, o que conduz a tempos de produção superiores. Muitas das obras de construção metálica da Martifer apresentam tubos na sua constituição e o seu corte manual apresenta uma enorme perda de produtividade. De forma a implementar uma redução dos tempos de produção, é pretendido que o corte de tubos deixe de ser efetuado de forma manual, passando a ser realizado de forma semiautomática. A presente dissertação surge no sentido de realizar a readaptação de um pórtico de soldadura presente em chão de fábrica, representado na Figura 35, transformando-o numa máquina semiautomática de corte de tubos.



Figura 35 - Pórtico de soldadura existente em chão de fábrica

As dimensões do pórtico existente em chão de fábrica encontram-se representadas na Tabela 25.

Tabela 25 - Dimensões do pórtico existente em chão de fábrica

Dimensões do pórtico	
Comprimento	27,64 m
Largura	2,53 m
Altura	4,38 m
Comprimento da zona de trabalho	25,2 m
Largura da zona de trabalho	1065 mm

O processo de readaptação necessita de ser elaborado tendo em conta as dimensões dos tubos que se pretendem cortar. Como tal, as propriedades dimensionais dos mesmos, definidas pela Martifer, encontram-se representadas na Tabela 26.

Tabela 26 - Características dos tubos a cortar na máquina a projetar

Características do tubo	
Diâmetro de tubos	75 mm – 1000 mm
Espessura	10 – 100 mm
Comprimento máximo	12 000 mm
Peso máximo total	12 ton

Para além do tubo, também os componentes do sistema irão necessitar de cumprir alguns requisitos de forma que o sistema final possa satisfazer todas as necessidades da empresa. Estes requisitos irão ser abordados a par com os problemas existentes. A transformação a realizar implica a adaptação de uma grande parte dos elementos constituintes do sistema. Como tal, de forma a organizar toda a informação, o estudo foi dividido em vários grupos de análise, representados na Tabela 27.

Tabela 27 - Grupos de análise do projeto em estudo

Grupos de análise	Ponto de estudo
I	Suporte de tubos
II	Bucha fixadora
III	Processo de corte
IV	Recondicionamento do controlador
V	Sistema de extração de fumos

Na Figura 36 encontram-se representados os diferentes grupos de análise no pórtico em estudo. É ainda de salientar que o grupo de análise V (sistema de extração de fumos) não se encontra representado na Figura 36, uma vez que o pórtico existente em chão de fábrica não possui nenhum sistema de extração de fumos.

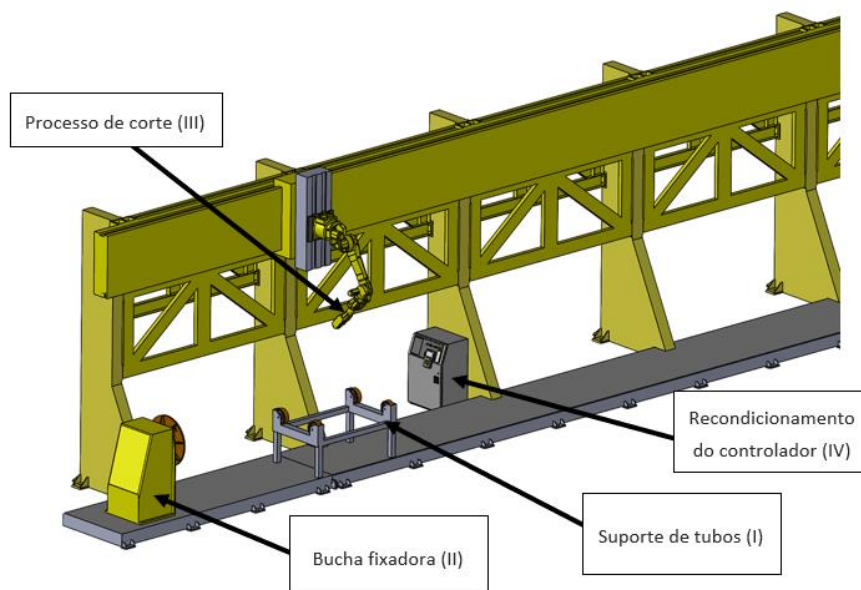


Figura 36 - Representação dos diferentes grupos de análise no pórtico em estudo

3.3.1 Grupo de análise II – Suporte de tubos

O suporte dos tubos é um dos aspetos mais importantes desta dissertação, uma vez que o suporte presente em chão de fábrica (Figura 37 A) é um equipamento muito limitado, pois a gama de diâmetros de tubo que se pode cortar é reduzida. Para além disso, o mecanismo de readaptação dos diâmetros de suporte é muito pouco prático, na medida em que requiere a troca manual da posição dos rolos pelo operador (Figura 37 B).

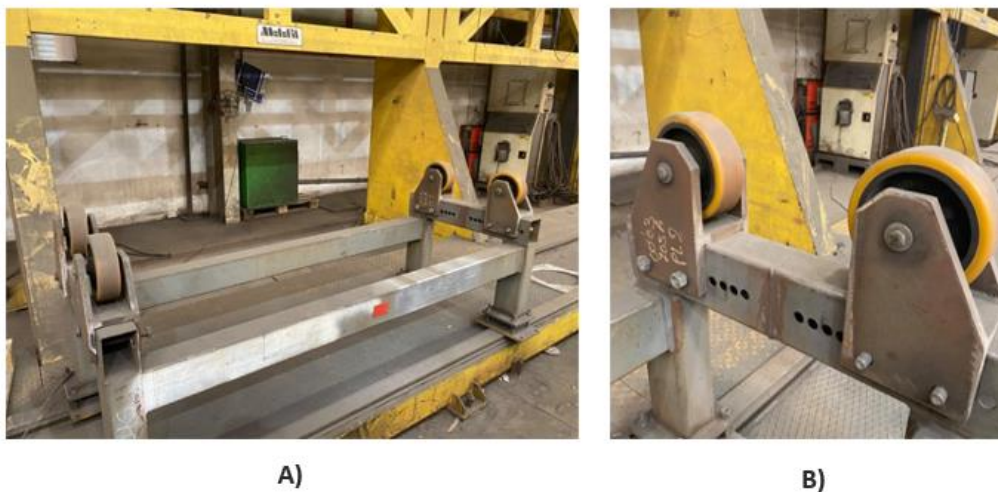


Figura 37 - Suporte de tubos existente em chão de fábrica: A) vista geral do suporte e B) sistemas de posicionamento dos rolos

Como tal, será necessário projetar uma solução nova que permita manter a colinearidade dos eixos de centro do tubo e da bucha fixadora e que ao mesmo tempo, permita o corte de um elevado intervalo de diâmetros de tubo. Na Tabela 28 encontram-se representadas as características dimensionais requeridas do suporte de tubos.

Tabela 28 – Requisitos dimensionais do suporte de tubos

Características dimensionais do suporte de tubos	
Peso suportado	4 toneladas
Intervalo de diâmetros	75 mm – 1000 mm
Altura de trabalho	1170 mm

Este suporte apresenta uma grande importância no sistema a projetar, pelo que serão estudadas várias alternativas em ordem a encontrar uma solução que, para além de cumprir os requisitos dimensionais apresentados na Tabela 28, permita também as seguintes condições:

- Ajuste de diâmetro dos rolos rápido e prático;
- Elevada gama de diâmetros;
- Colinearidade entre o centro de eixo do tubo e da bucha.

A necessidade de o suporte ser ajustável, isto é, ter um mecanismo que permita a rápida alteração do diâmetro de tubo a suportar, advém da necessidade de encurtar o tempo de *setup*, mantendo sempre o centro de eixo do tubo e da bucha fixadora colineares.

3.3.2 Grupo de análise I – Bucha Fixadora

A bucha fixadora, representada na Figura 38, é parte integrante do sistema e como tal, necessita de cumprir uma série de requisitos previamente definidos pela empresa. Estes encontram-se representados na Tabela 29. É de salientar que o pórtico em estudo possui apenas uma bucha fixadora, que se encontra fixa numa das extremidades do pórtico.

Tabela 29 – Requisitos dimensionais da bucha fixadora estabelecidos pela empresa

Bucha fixadora	
Intervalo de diâmetros de tubo	75 mm – 1000 mm
Altura de trabalho	1170 mm

A bucha fixadora tem como objetivo fixar e promover a rotação do tubo. A máquina existente em chão de fábrica possui um sistema de suporte de tubos, tal como representado na Figura 38. A estrutura da bucha fixadora representada é composta por três elementos: (1) corpo, (2) adaptador para a bucha e (3) bucha. No entanto, o elemento (3) é bastante primitivo, uma vez que para fixar o tubo é necessário soldar uma das extremidades do tubo à bucha. Este sistema permite a fixação de uma baixa

gama de diâmetros de tubos e, para além disso, não representa uma boa prática de trabalho, pelo que não satisfaz as necessidades requeridas. Sendo assim, a bucha (3) é o principal elemento em estudo neste grupo de análise. Por outro lado, os restantes elementos da estrutura da bucha fixadora encontram-se em bom estado, possuindo os mecanismos internos de rotação da bucha e do movimento longitudinal de toda a estrutura funcionais.



Figura 38 - Estrutura de suporte de tubos existente em chão de fábrica

Para além dos requisitos apresentados na Tabela 29, a bucha (3) necessita ainda de possuir um sistema de garras que permita que a fixação do tubo possa ser feita quer pelo seu exterior, como pelo seu interior. Por vezes, em determinadas geometrias, a fixação do tubo pelo seu exterior não é possível. Como tal, apesar desta característica não ser fundamental para o funcionamento da bucha fixadora, aumenta a versatilidade do equipamento. O modo de acionamento das garras irá também constituir parte integrante do estudo deste grupo de análise.

Na Tabela 30 encontra-se um quadro resumo dos problemas a solucionar no grupo de análise referente à estrutura da bucha fixadora.

Tabela 30 - Problemas a solucionar no grupo de análise I - Estrutura da bucha fixadora

Problemas a solucionar (Grupo de análise I – Estrutura bucha fixadora)
Bucha obsoleta
Sistema de garras necessita de possibilitar a fixação exterior e interior
Modo de acionamento das garras

3.3.3 Grupo de análise III – Processo de corte

O pórtico existente em chão de fábrica possui um robot equipado com uma cabeça de soldadura MIG/MAG (Figura 39). Como tal, é necessário proceder à troca da cabeça de soldadura para a de corte.



Figura 39 - Braço robótico equipado com uma cabeça de soldadura MIG/MAG

O processo de corte a utilizar deve ser aquele que permita realizar um corte mais rápido com a melhor qualidade superficial. Os tubos a cortar podem variar de espessuras muito reduzidas para espessuras muito elevadas. Como tal, o processo de corte deve ser versátil. É ainda de salientar que a cabeça de corte irá ser acoplada no braço robótico, pelo que esta não pode exceder o limite de carga suportada pelo robot.

O principal foco deste grupo de análise passa pela escolha do melhor processo de corte para a aplicação em causa. Como tal, serão realizados ensaios de corte em provetes de forma a determinar a solução mais adequada. Após a escolha do processo de corte a utilizar, é ainda necessário definir de que forma é que este irá ser acoplado ao robot sem que exista o atravancamento devido aos cabos.

3.3.4 Grupo de análise IV – Recondicionamento do controlador

O controlador existente em chão de fábrica (Figura 40) está programado e direcionado para comandar as operações do pórtico de soldadura. Como tal, é necessário realizar uma readaptação do controlador de forma que este seja completamente adaptado à máquina que se pretende projetar e que permita a conectividade dos componentes do sistema, de forma a aumentar a produtividade da máquina.



Figura 40 - Controlador FANUC SYSTEM R-J3

As ações do sistema que irão ser controladas por este elemento encontram-se representadas na Tabela 31, de acordo com cada componente do pórtico.

Tabela 31 - Ações que o controlador necessita de realizar

Componentes	Ações permitidas pelo controlador
Bucha fixadora	• Movimento rotacional da bucha; • Movimento longitudinal das garras.
Suporte de tubos	• Acionamento do motor do fuso, aumentando ou diminuindo o diâmetro de tubo suportado.
Processo de corte	• Acionamento do processo de corte.
Braço robótico	• Deslocamento do braço robótico ao longo dos seus eixos de movimento, de acordo com o programa.
Sistema de extração de fumos	• Ativação e regulação do caudal de extração.

3.3.5 Grupo de análise V – Sistema de extração de fumos

O pórtico existente não possui qualquer tipo de sistema de extração localizada. No entanto, devido à emissão de fumos tóxicos gerados durante o processo de corte, é necessário estudar a necessidade de colocar um sistema de extração de fumos, de forma a respeitar as normas de higiene e segurança no trabalho definidas no DL nº 103/2008. Os principais focos de estudo deste grupo de análise encontram-se representados na Tabela 32.

Tabela 32 - Problemas a solucionar no grupo de análise V - Sistema de extração de fumos

Problemas a solucionar (Grupo de análise V – Sistema de extração de fumos)
Estudo da legislação relativa ao sistema de extração para a aplicação em causa;
Aplicação do sistema de extração.

DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

4 DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

O pórtico existente em chão de fábrica necessita de várias alterações para que possa cumprir as suas funções corretamente. Na Figura 41 encontra-se a representação 3D do mesmo. Nos próximos subcapítulos, são abordadas as diferentes temáticas relativas à readaptação do pórtico de soldadura num pórtico de corte de tubos.

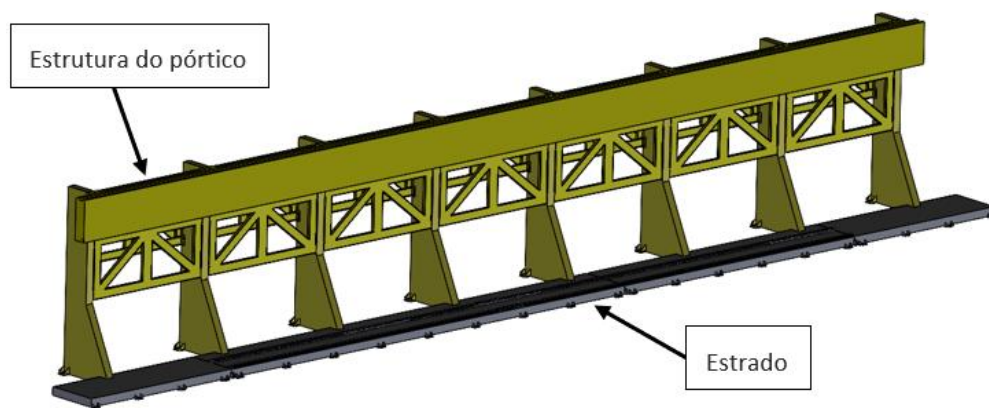


Figura 41 - Representação 3D do pórtico existente em chão de fábrica

4.1 Tempestade de ideias e anteprojeto

Neste subcapítulo são apresentadas as soluções idealizadas para resolver os problemas existentes relativos aos diferentes grupos de análise, presentes no capítulo anterior. De forma a promover a organização da informação da presente dissertação, os próximos subcapítulos seguem a estruturação introduzida no subcapítulo referente aos requisitos iniciais e caracterização do problema, isto é, irá ser procurado solucionar os diferentes problemas respeitando a ordem dos diferentes grupos de análise.

4.1.1 Grupo de análise I – Suporte de tubos

Tendo em conta as necessidades impostas pela empresa, procurou-se determinar o suporte de tubos que se traduza como a solução para as condições impostas no subcapítulo 3.3 (Requisitos iniciais e caracterização do problema), sendo elas:

- Ajuste de diâmetro dos rolos rápido e prático;
- Elevada gama de diâmetros;
- Colinearidade entre o centro de eixo do tubo e da bucha.

Como tal, as soluções apresentadas focam-se principalmente no estudo da geometria do suporte que permita satisfazer estas condições.

Solução I – Rolos de altura fixa

Numa primeira instância, ponderou-se projetar um suporte simples que conseguisse satisfazer as necessidades impostas. A alternativa representada na Figura 42 acaba por apresentar uma estrutura metálica semelhante ao suporte existente em chão de fábrica. No entanto, ao contrário deste, esta solução permite o movimento dos suportes dos rolos, aumentando a gama de diâmetros de tubo suportado.

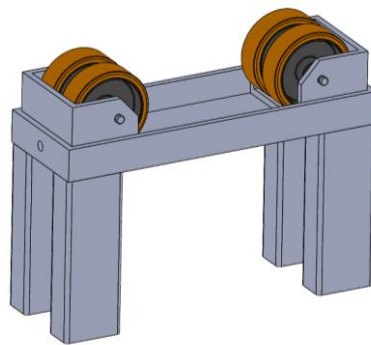


Figura 42 - Representação CAD da solução I

Esta solução permite o desenvolvimento de um sistema de movimentação horizontal dos suportes dos rolos com recurso a um cilindro hidráulico ou a um fuso, promovendo a facilidade do ajuste de diâmetros de tubo a trabalhar. No entanto, primeiramente é necessário perceber a viabilidade da solução I.

Tendo em conta que a altura da estrutura do suporte é fixa, o aumento do diâmetro do tubo tem de ser acompanhado com o aumento da distância entre os rolos. Desta forma mantém-se uma relação de colinearidade entre o eixo de centro do tubo e da bucha fixadora, tal como representado na Figura 43.

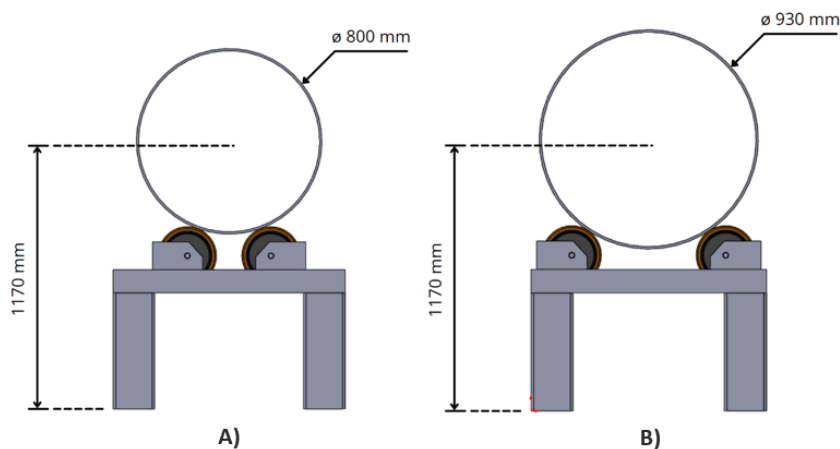


Figura 43 - Representação dos diâmetros de tubo limite suportados pela solução I: A) suporte do menor diâmetro de tubo possível e B) suporte do maior diâmetro de tubo possível

De forma a realizar uma análise geral aos principais aspetos da solução I, foi realizada uma análise SWO, que se encontra representada na Tabela 33.

Tabela 33 - Análise SWO da solução I - Rolos de altura fixa

FORÇAS	FRAQUEZAS
• Facilidade de fabrico; • Investimento reduzido; • Permite o ajuste do diâmetro de tubo; • Permite o acoplamento de um cilíndrico hidráulico ou um fuso como sistema de acionamento do ajuste do diâmetro de tubo; • Estrutura estável.	• Gama de diâmetros reduzida ($\varnothing$ 800 – 930 mm); • Solução mais rudimentar; • Dificuldade na implementação do sistema de ajuste dos rolos devido à falta de espaço; • Instabilidade do tubo para diâmetros inferiores.
OPORTUNIDADES	
• Desenvolvimento de um sistema de pés ajustáveis, de forma a aumentar e diminuir a altura do centro de eixo do tubo e, conseqüentemente, aumentar a gama de diâmetros; • Promover o uso de materiais de elevada resistência mecânica.	

Conclui-se que esta alternativa não é a solução ideal para o problema em questão, uma vez que os diâmetros que a empresa pretende cortar variam entre 75 mm e 1000 mm. No entanto, esta alternativa é limitada a tubos com diâmetros de 800 mm a 930 mm (Figura 43). De facto, a baixa gama de diâmetros possíveis de suportar é a principal razão do descarte desta alternativa. Para além disso, quando o sistema se encontra com os suportes dos rolos com a menor distância entre eles possível, isto é, para o suporte de tubos com 800 mm de diâmetro, é possível verificar que existe uma certa instabilidade devido ao centro de massa do tubo se encontrar muito distante do ponto de contacto entre os rolos e o mesmo.

Solução II – Movimento dos rolos através do sistema batente-guia

A solução II, representada na Figura 44, tem como objetivo fornecer uma alternativa mais robusta e versátil que permita o ajuste do eixo de centro do tubo e da bucha fixadora, de forma rápida e prática. Isto é possível devido ao facto de a curva-guia, representada na Figura 44 B), permitir o movimento sincronizado dos rolos de ambas as hastes, isto é, mantendo os dois rolos à mesma altura e garantindo o alinhamento do eixo central do tubo e da bucha fixadora. É ainda de salientar que esta curva foi determinada empiricamente.

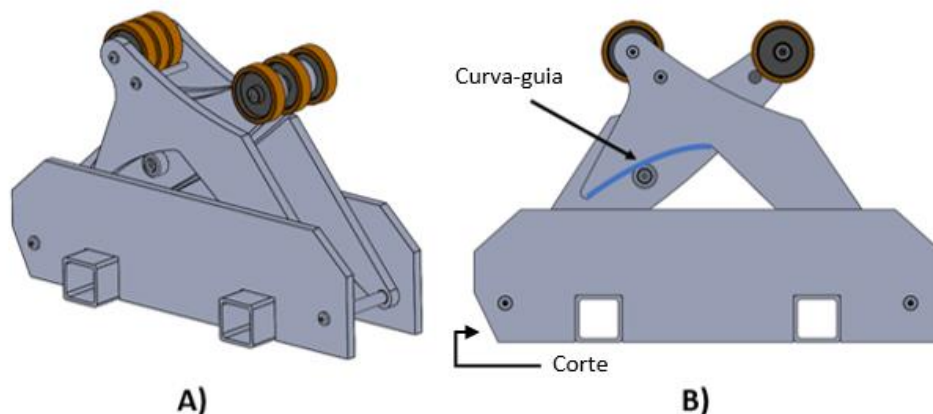


Figura 44 - Representação CAD da solução II: A) Vista geral do suporte (solução II) e B) Representação da curva-guia

Na Figura 45 é possível verificar o diâmetro mínimo e máximo que esta alternativa permite suportar, sendo possível concluir que este se aproxima dos requisitos impostos pela empresa. No entanto, a gama de diâmetros a cortar é limitada pela geometria da curva-guia e pelas características dimensionais do próprio suporte. Dada a inexistência de espaço para um aumento dimensional de toda a estrutura, esta alternativa não permite atingir o diâmetro mínimo e máximo requerido.

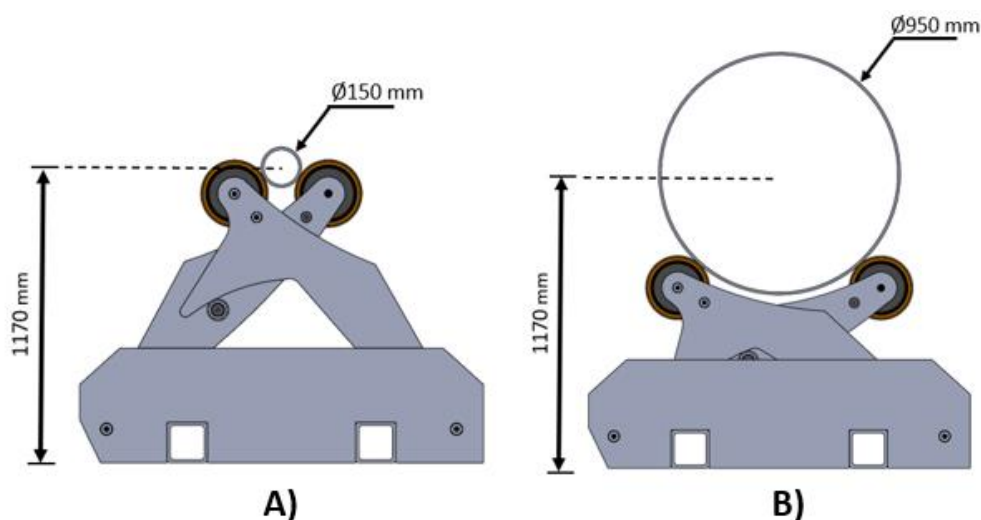


Figura 45 - Representação dos diâmetros de tubo limite suportados pela solução II: A) suporte do menor diâmetro de tubo possível e B) suporte do maior diâmetro de tubo possível

Outro aspeto importante é o facto de, para o suporte da maior gama de diâmetros de tubo, este componente deve possuir uma elevada largura, sendo inclusivamente necessário realizar um corte na base do mesmo, tal como representado na Figura 44 B). Na Tabela 34 encontra-se representada a análise SWO elaborada à solução II, de forma a definir os aspetos gerais desta alternativa.

Tabela 34 - Análise SWO da solução II - Movimento dos rolos através do sistema batente-guia

FORÇAS	FRAQUEZAS
- Elevada robustez; - Movimento de ajuste do diâmetro de tubo bem definido pela curva-guia; - Permite a utilização de um cilindro hidráulico para o ajuste do diâmetro do tubo a suportar.	- Gama de diâmetros inferior à pretendida; - Elevado espaço ocupado; - Não permite a utilização de fuso para o ajuste do diâmetro do tubo a suportar.
OPORTUNIDADES	
- Promover o uso de materiais de elevada resistência mecânica; - Utilização deste suporte em aplicações de maior dimensão devido à sua elevada robustez.	

A solução II já se aproxima do resultado pretendido, uma vez que esta é uma alternativa robusta cujas características construtivas promovem o ajuste do suporte aos diferentes diâmetros de tubo. A relação geométrica entre o pino e a curva-guia levam a que a altura de trabalho seja constante (1170 mm), para os diferentes diâmetros de tubo. No entanto, o facto de a gama de diâmetros de tubo suportado não ser a pretendida, leva a que haja espaço para procurar uma melhor solução.

Solução III – Movimento dos rolos através de sistema de tesoura

Esta alternativa foi projetada de forma aumentar a gama de diâmetros dos tubos a suportar para a altura de trabalho previamente definida de 1170 mm. O sistema funciona com um mecanismo de tesoura, isto é, ambas as hastes rodam sob um veio central, o que leva a que os rolos se encontrem sempre à mesma altura, tal como é possível verificar na Figura 46.

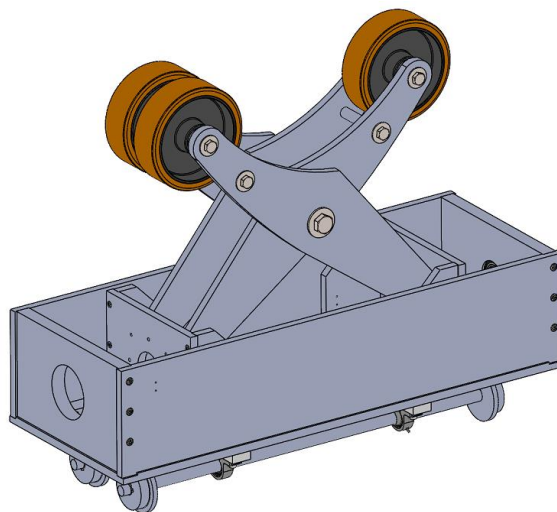


Figura 46 - Representação CAD da solução III

Na Figura 47 é possível verificar o diâmetro mínimo e máximo que esta alternativa permite suportar, concluindo-se que esta solução permite suportar a gama de diâmetros de tubo pretendida.

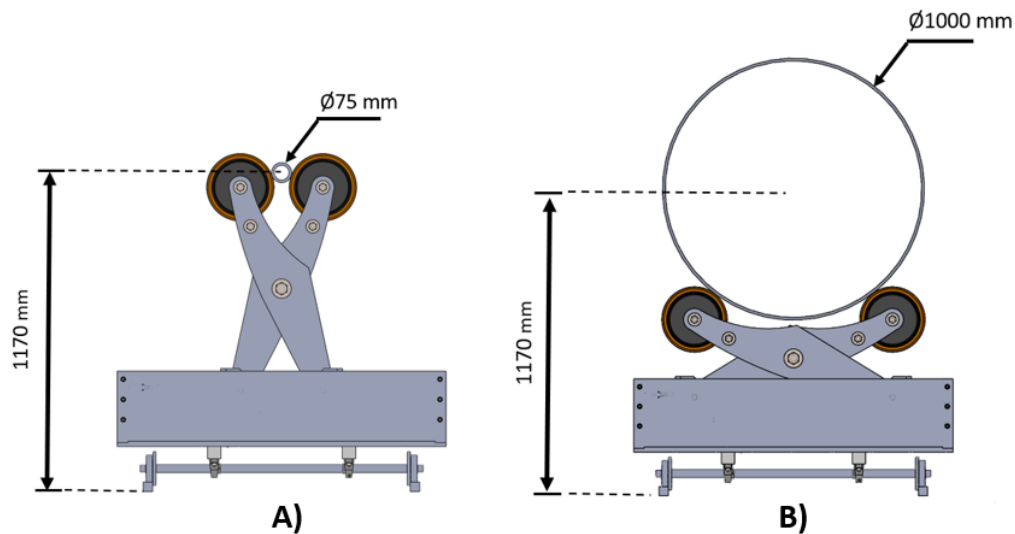


Figura 47 - Representação dos diâmetros de tubo limite suportados pela solução III: A) suporte do menor diâmetro de tubo possível e B) suporte do maior diâmetro de tubo possível

Na Tabela 35 encontra-se representada a análise SWO da solução III.

Tabela 35 - Análise SWO da solução III - Movimento dos rolos através do sistema de tesoura

FORÇAS	FRAQUEZAS
- O sistema em tesoura permite que os rolos estejam sempre alinhados; - Permite o suporte da gama de diâmetros de tubo pretendida; - Permite a utilização de cilindro hidráulico e fuso para o ajuste do diâmetro do tubo.	Pode existir concentração de esforços no eixo central da tesoura.
OPORTUNIDADES	
Promover o uso de materiais de elevada resistência mecânica.	

A solução III é a alternativa mais viável para o caso em estudo, uma vez que é a única que permite realizar o suporte da gama pretendida de diâmetros de tubo, e simultaneamente manter a colinearidade entre o eixo de centro do tubo e da bucha fixadora, devido ao sistema das hastes em tesoura.

Sistema de acionamento do suporte de tubos

A solução adotada permite que o ajuste do diâmetro do tubo possa ser feito com recurso a um cilindro hidráulico (Figura 48 a) ou com recurso a um fuso com rosca esquerda e direita (Figura 48 b). Estes sistemas levam a que a distância entre os rolos aumente ou diminua, o que permite o ajuste do suporte aos diferentes diâmetros de tubo.



Figura 48 - Modos de acionamento do suporte: A) cilindro hidráulico [75] e B) fuso com rosca direita e esquerda [76]

Na Tabela 36 estão algumas considerações relativamente a ambos os métodos de acionamento do suporte.

Tabela 36 - Considerações relativas aos modos de acionamento do suporte.

Cilindro hidráulico	Fuso com rosca esquerda e direita
Necessário sistema de guiamento de cabos hidráulicos	Necessário acoplar um motor a uma das extremidades do fuso
Ambiente de trabalho mais sujo devido a fugas de óleo	Necessário sistema de guiamento de cabos elétricos relativos ao motor de acionamento do fuso
Requer sistema hidráulico	Movimentos menos sensíveis
Dificuldade em centralizar o controlo do ajuste do diâmetro de tubo, em vários suportes	Necessário fuso com diâmetro elevado para suportar os esforços impostos
Permite o suporte de cargas elevadas com um cilindro de diâmetro reduzido	Permite a fácil centralização do controlo do ajuste do diâmetro de tubo, em vários suportes

Tendo em conta a análise de ambos os modos de acionamento representada na Tabela 36, conclui-se que a solução mais adequada para a aplicação em estudo é o fuso com rosca esquerda e direita. Esta opção baseia-se fundamentalmente no facto de que o sistema necessitará de mais do que um suporte de tubos e, como tal, é necessário centralizar o controlo do sistema de ajuste de diâmetro. O fuso de rosca direita e

esquerda é acionado através de um motor elétrico, sendo que vários motores podem ser facilmente conectados a um comando de controlo. Por outro lado, a utilização de um cilindro hidráulico como forma de ajuste do diâmetro de tubo dificulta a centralização do controlo dos suportes, uma vez que para tal, é necessário um conjunto hidráulico complexo. Este acarreta custos elevados, inviabilizando esta alternativa.

4.1.2 Grupo de análise II – Bucha fixadora

A tempestade de ideias referente a este grupo de análise é dividida em três subconjuntos de forma a solucionar, separadamente, os problemas apresentados no subcapítulo 3.3 (Requisitos iniciais e caracterização do problema) relativos à estrutura da bucha fixadora.

Bucha fixadora (elemento 3) obsoleta

Numa primeira fase ponderou-se a possibilidade de desenhar e fabricar uma bucha adaptada ao sistema em estudo. No entanto, dado a existência de várias empresas especializadas na área, foi realizada uma análise SWOT quer para o cenário de compra da bucha, como também para o projeto da mesma (Tabela 37 e Tabela 38, respetivamente).

Tabela 37 - Análise SWOT – Aquisição externa de uma bucha

FORÇAS	FRAQUEZAS
• Componente certificado; • Componente projetado e fabricado por uma empresa especializada na área; • Garantia por parte da marca; • Apoio técnico por parte da marca.	• Maior investimento; • Menor personalização à aplicação em estudo; • Custos de transporte.
OPORTUNIDADES	AMEAÇAS
• Possibilidade de apoio técnico por parte da marca em caso de avaria.	• Componente pode não ser compatível com a estrutura de suporte em chão de fábrica.

Tabela 38 - Análise SWOT – Fabrico interno de uma bucha

FORÇAS	FRAQUEZAS
- Projeto adaptado especificamente às necessidades existentes; - Custo inferior; - Inexistência de custos de transporte.	- Inexperiência na área; - Inexistência de apoio técnico especializado; - Tempo de obtenção da bucha superior; - Necessário centro de maquinagem de dimensões consideráveis.
OPORTUNIDADES	AMEAÇAS
Conhecimento construtivo leva a uma maior facilidade de futuras alterações ao equipamento.	- Projeto complexo, caso o acionamento das garras seja hidráulico; - Risco de não cumprir com toda a legislação existente para este tipo de equipamentos.

Após a realização das análises SWOT, chegou-se à conclusão de que o desenvolvimento deste equipamento não traria mais valias significativas, uma vez que já existem buchas fixadoras no mercado, que possuem as características necessárias ao bom funcionamento do sistema da estrutura da bucha fixadora. Para além disso, a empresa em questão não possui um equipamento CNC com as características necessárias para o fabrico deste equipamento, nem experiência na área. Como tal, chegou-se à conclusão de que a melhor solução consiste na compra deste equipamento.

Sistema de garras que possibilite a fixação exterior e interior do tubo

Um dos requisitos iniciais relativos à bucha fixadora é a necessidade de as garras possuírem uma geometria que permita a fixação do tubo quer pelo seu exterior, como pelo seu interior. Tendo em conta que a bucha fixadora é comprada, optou-se também pela compra das garras. No entanto, realizou-se o desenho 3D das mesmas, de forma a idealizar a geometria pretendida (Figura 49).

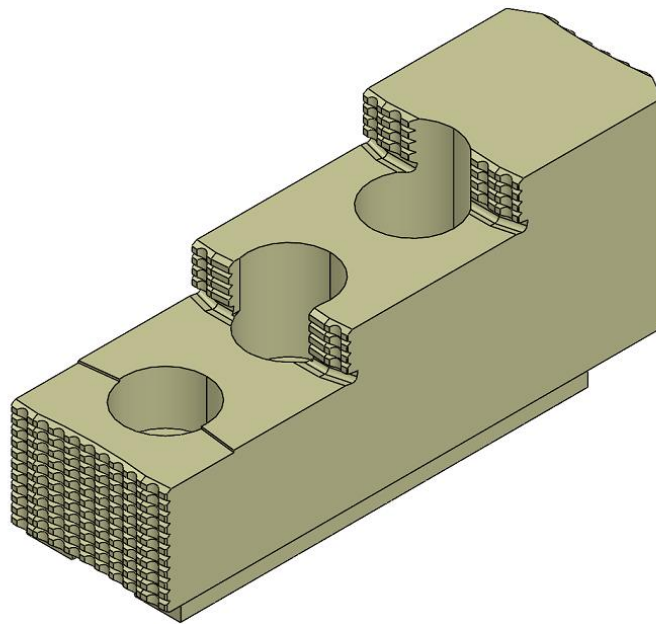


Figura 49 - Representação CAD das garras pretendidas

De forma a garantir a compatibilidade, as garras devem ser obtidas no mesmo fornecedor da bucha fixadora. Logo, é necessário optar por uma marca que permita desenvolver um sistema de garras com uma geometria idêntica à garra representada na Figura 49, que permite a fixação do tubo quer pelo seu interior, como pelo seu exterior. Sendo assim, na fase de escolha do fornecedor, é necessário ter este aspeto em conta.

Modo de acionamento das garras

O acionamento das garras pode ser realizado de formas distintas, nomeadamente manual, pneumática e hidráulica. Na Tabela 39, Tabela 40 e Tabela 41 é possível verificar as vantagens e desvantagens referentes aos modos de acionamento manual, hidráulicos e pneumáticos, respetivamente.

Tabela 39 - Vantagens e desvantagens do acionamento manual das garras

Vantagens	Desvantagens
Custo reduzido	Tempos de <i>setup</i> elevados
Inexistência de cabos	Pouco prático
Solução limpa	Pouco usual para tubos de grandes dimensões

Tabela 40 - Vantagens e desvantagens do acionamento hidráulico das garras [77]

Vantagens	Desvantagens
Precisão de movimentos	Custo superior relativamente aos sistemas pneumáticos
Sistema auto lubrificante	Baixo rendimento (devido a perdas de carga do circuito hidráulico)
Usado para cargas elevadas	Poluição da área de trabalho (devido às fugas do circuito)
Vida útil longa	

Tabela 41 - Vantagens e desvantagens do acionamento pneumático das garras [78]

Vantagens	Desvantagens
Disponibilidade do ar praticamente infinita	Necessário tratamento do ar
Tecnologia limpa	Baixa precisão de movimentos
Custo relativamente baixo	Cargas inferiores às do sistema hidráulico
	Pouco económico para cargas elevadas

Um dos objetivos principais da readaptação do pórtico de soldadura numa máquina de corte de tubos de grandes dimensões passa por assegurar o aumento da produtividade da empresa. Como tal, o acionamento manual das garras é um sistema muito rudimentar para este tipo de máquina, que não promove o aumento da produtividade da mesma. Como tal, esta alternativa não é uma opção viável. O acionamento com recurso a sistemas pneumáticos também foi descartado, uma vez que as pressões utilizadas na pneumática são reduzidas, fixando-se na ordem dos 6 a 8 bar. Como tal, as áreas dos cilindros necessitariam de ser muito elevadas de forma a que estes tivessem a capacidade de suportar parte do peso do tubo. Por outro lado, as pressões utilizadas por uma solução hidráulica são muito superiores, e permitem assim suportar cargas elevadas com cilindros de dimensões reduzidas. Tendo em conta os aspetos mencionados e as tabelas de vantagens e desvantagens referentes aos diferentes modos de acionamento das garras, chegou-se à conclusão de que a melhor opção será a utilização de um sistema hidráulico para o movimento das garras e fixação do tubo. Este aspeto deve ser tido em conta no momento da escolha da bucha fixadora a adotar.

4.1.3 Grupo de análise III – Processo de corte

Este grupo de análise é bastante relevante, uma vez que o processo de corte tem uma grande influência na produtividade do sistema. Tendo em conta a informação teórica do capítulo 2 e as características dimensionais do tubo que se pretende cortar, concluiu-se que as alternativas mais viáveis são o corte plasma e o oxicorte. Estes processos são alternativas comuns no corte de metais e apresentam características que se adequam às necessidades do projeto em estudo [10].

De forma a perceber qual destes processos de corte é mais viável para o projeto em estudo, foram realizados alguns ensaios com o objetivo de verificar alguns aspetos, nomeadamente a velocidade de corte em diferentes espessuras e a respetiva qualidade de corte. Estes foram elaborados de forma a conciliar o registo de dados sem que ocorra a paragem do processo de corte de chapa para virolas da Martifer. Como tal, o registo dos dados foi efetuado quando o operador cortou as chapas com as espessuras oportunas para os ensaios, dentro da gama de espessuras cortadas na Martifer. Na Tabela 42 encontram-se representadas as características dos provetes.

Tabela 42 - Informações relativas aos provetes

Provete	Comprimento de corte [mm]	Espessura [mm]	Processo de corte	Material
1	500	15	Oxicorte	S355J2+N
2		24		
3		15	Plasma	
4		24		

A máquina de corte Suprarex SXE – P 8000 (Figura 50) está equipada com uma cabeça de corte de plasma e com uma cabeça com um conjunto de três bicos de oxicorte.



Figura 50 – Máquina de corte Suprarex SXE – P 8000

Ensaio de oxicorte

O ensaio de oxicorte foi realizado com uma cabeça com um conjunto de três bicos de oxicorte, tal como representado na Figura 51 (A), uma vez que este foi realizado durante o corte de uma chapa chanfrada de uma virola. O bico perpendicular à chapa é responsável pelo corte em profundidade, enquanto os outros dois são responsáveis por realizar os chanfros da chapa.

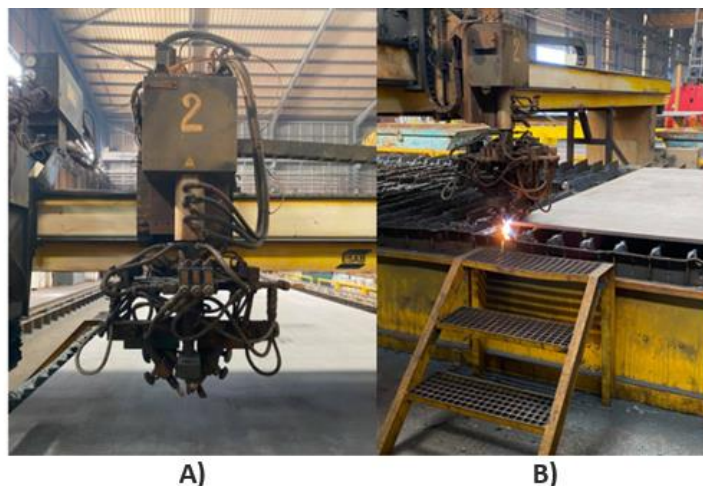


Figura 51 - Corte com oxicorte: A) cabeça de corte com três bicos e B) cabeça de oxicorte em funcionamento

Na Tabela 43 apresentam-se os parâmetros da cabeça de oxicorte utilizada nos ensaios, em função da espessura de chapa a cortar. Estes foram obtidos através da consola de comandos da máquina de corte Suprarex SXE – P 8000.

Tabela 43 - Parâmetros da cabeça de oxicorte em função da espessura da chapa a cortar

Parâmetros da cabeça de oxicorte (três bicos)		
Espessura da chapa [mm]	15	24
Velocidade de corte teórica [mm/min]	551,2	426
Distância entre a tocha e o material [mm]	3	
Diâmetro do bico de corte [mm]	2	
Gás primário (corte)	Oxigénio	
Gás secundário (aquecimento)	Mistura oxigénio + propano	
Pressão de gás primário [bar]	11	
Pressão de gás secundário [bar]	Propano: 0,7; oxigénio: 3,7	

O facto de usar uma cabeça de corte com três bicos impossibilita que o arranque do corte seja feito diretamente na chapa, devido ao elevado calor gerado pelos mesmos. O tempo que demoraria para perfurar a chapa com uma quantidade de calor tão elevada resultaria no derretimento do material. Desta forma, na zona de arranque do corte iriam ser visíveis irregularidades e imperfeições. Como tal, o arranque deu-se do exterior da chapa para o interior. A contagem do tempo foi iniciada alguns segundos após o arranque do corte. Na Tabela 44 encontram-se representados os registos obtidos dos ensaios realizados, onde é possível verificar a velocidade de corte real do equipamento, calculada através da equação (4). A diferença entre a velocidade teórica e real pode derivar de algum desgaste do bico de corte.

$$\text{Velocidade de corte} = \frac{\text{Comprimento de corte (mm)}}{\text{Tempo de corte (min)}} \quad (4)$$

Tabela 44 - Resultados do ensaio de oxicorte

Provete	Espessura [mm]	Tempo de corte [s]	Velocidade de corte real	Qualidade de corte
1	15	59,2	$V_{\text{Real}} = \left(\frac{500}{\frac{59,2}{60}} \right)$ $V_{\text{Real}} = 506,76 \text{ mm / min}$	
2	24	70,5	$V_{\text{Real}} = \left(\frac{500}{\frac{70,5}{60}} \right)$ $V_{\text{Real}} = 425,53 \text{ mm / min}$	

Ensaio corte plasma

Os ensaios de corte de plasma foram realizados de igual forma em conciliação com os trabalhos de corte de chapas para virolas. Para estes foi utilizada a cabeça de corte PT-600, apresentada na Figura 52 (A), cujo funcionamento se encontra representado na Figura 52 (B).

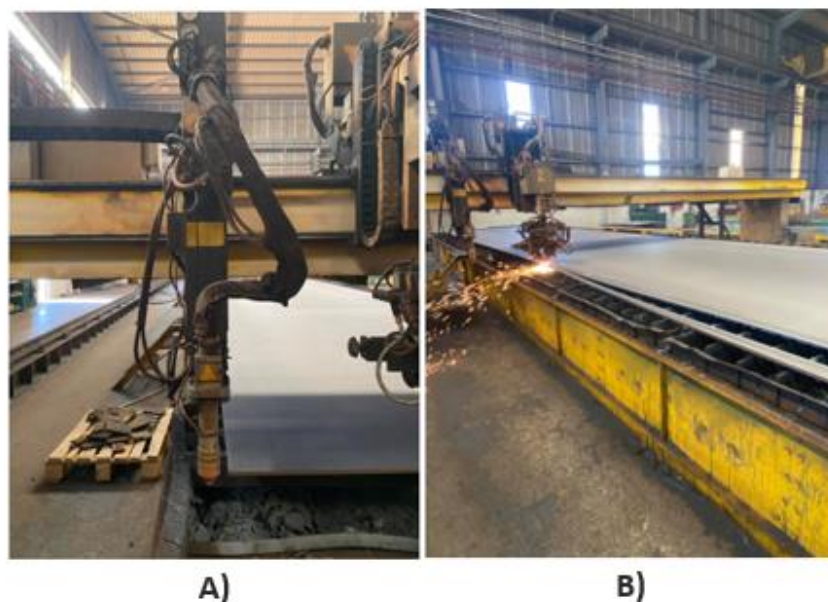


Figura 52 - Corte com plasma: A) cabeça de corte de plasma e B) cabeça corte de plasma em funcionamento

Na Tabela 45 encontram-se representados os parâmetros da cabeça de corte plasma utilizada nos ensaios, em função da espessura de chapa a cortar. Estes foram obtidos através do catálogo da cabeça de corte de plasma.

Tabela 45 - Parâmetros da cabeça de plasma em função da espessura da chapa a cortar [79]

Parâmetros da cabeça de corte plasma		
Espessura da chapa [mm]	15 mm	24 mm
Velocidade de corte teórica	3000 mm/min	1280 mm/min
Distância entre a tocha e o material	8 mm	
Intensidade de corte	200 A	
Diâmetro do bico de corte	2 mm	
Gás primário (Corte)	Oxigénio	
Gás secundário (proteção)	Árgon	

Gás de partida	Azoto	
Pressão de gás de corte	2,8 bar	2,8 bar
Pressão de gás de proteção	0,8 bar	0,8 bar
Pressão de gás de partida (corte)	1,4 bar	1,7 bar
Pressão de gás de partida (proteção)	1,4 bar	1,2 bar

Na Tabela 46 encontram-se representados os resultados do ensaio de corte por plasma. A velocidade de corte real foi de igual forma obtida através da equação (4).

Tabela 46 - Resultados do ensaio de corte plasma

Provete	Espessura [mm]	Tempo de corte [s]	Velocidade de corte real	Qualidade de corte
3	15	10,2	$V_{\text{Real}} = \frac{500}{\left(\frac{10,2}{60} \right)}$ $V_{\text{Real}} = 2941,18 \text{ mm / min}$	
4	24	25	$V_{\text{Real}} = \frac{500}{\left(\frac{25}{60} \right)}$ $V_{\text{Real}} = 1200 \text{ mm / min}$	

Discussão dos resultados dos ensaios de oxicorte e corte por plasma

Na Tabela 47 encontram-se representadas as conclusões obtidas através dos ensaios realizados. É ainda de salientar que estes não cobrem toda a gama de espessuras previamente definidas pela empresa, uma vez que o equipamento existente não tem capacidade de cortar espessuras superiores a 30 mm através de plasma. No entanto, tendo em conta os ensaios realizados e a revisão bibliográfica da presente dissertação, é espectável que o equipamento de oxicorte corte espessuras elevadas com maior facilidade do que o corte plasma.

Tabela 47 - Conclusões dos ensaios realizados

Oxicorte vs. Plasma	
Velocidade de corte	Verificou-se que, para os ensaios realizados, o corte por plasma apresenta uma velocidade de corte superior ao oxicorte. No entanto, a espessura da chapa influencia esta velocidade, sendo que para espessuras superiores é espectável que o oxicorte apresente um melhor desempenho.
Qualidade de corte	Como referido anteriormente, o registo dos ensaios foi feito em trabalhos existentes na empresa de forma a não interromper o fluxo de fabrico. Como tal, a zona cortada a oxicorte apresenta um chanfro, não sendo possível realizar uma comparação linear com o corte de plasma. No entanto, no oxicorte é visível a olho nu uma tonalidade circundante à zona de corte que evidencia a existência de uma elevada zona termicamente afetada. Para além disso, verifica-se a existência de algum material derretido em ambas as chapas. No corte plasma não é possível detetar a zona termicamente afetada a olho nu e regista-se ainda um aumento considerável de material fundido na superfície inferior da placa de 24 mm de espessura em relação à placa de 15 mm de espessura.
Custo do equipamento (investimento inicial)	De forma geral, o equipamento de corte plasma apresenta um investimento inicial superior ao do oxicorte.
Custo de trabalho	O oxicorte apresenta um menor custo de trabalho, uma vez que o pórtico a projetar tem como objetivo o corte de tubos de grandes dimensões com espessuras elevadas. O corte de plasma torna-se pouco económico para o corte de espessuras elevadas, uma vez que requer intensidades de corrente muito elevadas.

Tendo em conta a comparação presente na Tabela 47, considera-se que o processo de corte a utilizar é o oxicorte, pois trata-se da solução mais económica para o corte de tubos de espessuras elevadas. De facto, a realização de este tipo de cortes com um equipamento de corte plasma iria requerer uma elevada quantidade de energia e, consequentemente, maiores gastos. Para além disso, é espectável que o corte por plasma de aço carbono não seja efetivo para espessuras superiores a 40 mm, diminuindo

consideravelmente a qualidade de corte, sendo até mesmo verificada a incapacidade da total perfuração da chapa [79].

4.1.4 Grupo de análise IV – Recondicionamento do controlador

Tal como indicado anteriormente, o controlador existente em chão de fábrica deve ter a capacidade de controlar os movimentos do braço robótico, e também garantir que todos os componentes do sistema trabalham em sintonia. Na Tabela 31 encontram-se enumerados os componentes do pórtico que necessitam de ser manipulados pelo controlador e apresentar conectividade entre si. Tendo em conta que a empresa não possui um trabalhador com as qualificações necessárias para a reprogramação do controlador, será necessário subcontratar esse serviço.

4.1.5 Grupo de análise V – Sistema de extração de fumos

Tal como verificado anteriormente, o foco de estudo deste grupo de análise recai sobre dois fatores, nomeadamente:

- Estudo da legislação relativa ao sistema de extração para a aplicação em causa;
- Aplicação do sistema de extração.

Estudo da legislação relativa ao sistema de extração para a aplicação em causa

O corte de materiais metálicos através de corte plasma ou oxicorte leva a que sejam emitidos uma série de substâncias e componentes para a atmosfera, alguns dos quais tóxicos para a saúde humana. Na Tabela 48 é possível constatar as emissões comuns provenientes do corte plasma e oxicorte, o que permite concluir que este tipo de aplicação necessita de um sistema de extração adaptado, que permita a extração de pós e fumos a elevadas temperaturas.

Tabela 48 - Emissões provenientes do corte plasma e oxicorte [80]

Emissões provenientes do corte por plasma e oxicorte
Chispas
Salpicos de escória
Fumo
Pó
Gases tóxicos (Nox, O ₃ , CO)

O sistema de extração de fumos é um componente obrigatório para que sejam cumpridos todos os requisitos de higiene e segurança no trabalho. De facto, segundo o

DL nº 103/2008 [81], a máquina deve ser fabricada de forma a que se evitem os riscos de materiais e substâncias perigosas provenientes do seu uso provocarem danos na saúde dos colaboradores que a utilizem. Apesar de nas normas atuais não existir um valor de caudal de ar extraído definido para cada tipo de aplicação, existem valores limites de concentração de agentes químicos que não podem ser ultrapassados. Estes valores encontram-se representados na Norma NP 1796:2014 [82]. Como tal, de forma a seguir as boas práticas de higiene e segurança no trabalho, deve-se analisar a qualidade do ar, medindo assim a exposição a agentes químicos a que o trabalhador irá estar sujeito. Na Tabela 49 encontram-se representados os valores limite de exposição para alguns dos gases tóxicos que são emitidos no processo de corte por plasma e oxicorte.

Tabela 49 - Valores limite de exposição aos agentes tóxicos provenientes dos processos de corte de plasma e oxicorte [82]

Agente tóxico	Valor limite de exposição [ppm]
Monóxido de carbono (CO)	25
Dióxido de azoto (NO ₂)	0,2
Ozono (O ₃)	0,08
Óxido nítrico (NO)	25

Nota: Os valores limites foram calculados em relação a uma média ponderada no tempo para um período de referência de trabalho de oito horas.

Aplicação do sistema de extração

Para além do estudo da legislação relativa ao sistema de extração para a aplicação em causa, é ainda necessário perceber de que forma é que este poderá ser aplicado no pórtico existente em chão de fábrica. Como tal, foram estudadas as seguintes três alternativas.

Solução I – Guiamento das tubagens com recurso a uma calha articulada

Esta alternativa recai sob o uso de uma calha articulada, tal como a representada na Figura 53, com o objetivo de guiar o tubo de exaustão. Desta forma é possível que a exaustão acompanhe o corte, uma vez que esta alternativa permite que o tubo de extração acompanhe o movimento da cabeça de corte. Esta solução permite assim a extração de fumos e pós ao longo de todo o comprimento do pórtico.

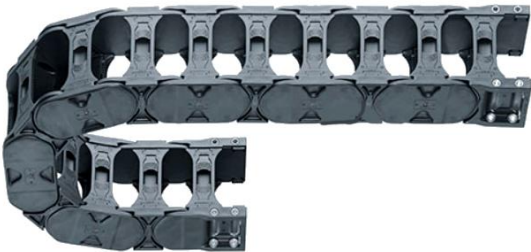


Figura 53 - Exemplo de calha articulada [83]

Na Tabela 50 encontram-se representadas as vantagens e desvantagens da solução I.

Tabela 50 - Vantagens e desvantagens da solução I - Guiamento das tubagens com recurso a uma calha articulada

Vantagens	Desvantagens
Possibilidade de a extração acompanhar o corte em todo o comprimento do pórtico	Perdas de carga elevadas devido a curva acentuada
Custo inferior à solução II	Tubagem danifica-se mais rapidamente
	Dificuldade em encontrar este tipo de calhas articuladas para tubos no mercado

Solução II – Calha extratora

Esta alternativa oferece uma abordagem mais técnica que permite a extração dos fumos e partículas provenientes do processo de corte, em todo o comprimento do pórtico. Esta solução passa pelo uso de uma calha extratora, tal como a representada na Figura 54, que é aplicada em toda a extensão do pórtico.

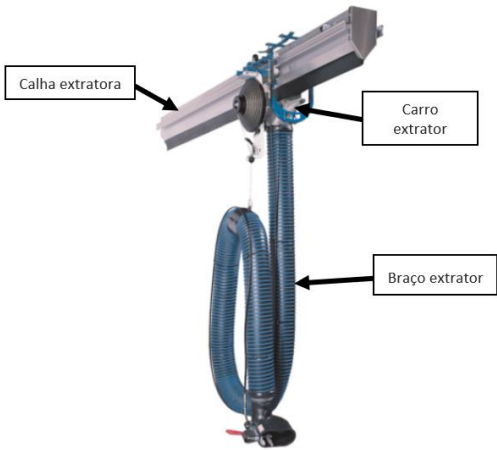


Figura 54 - Sistema de extração - calha extratora [56]

O carro de extração, representado na Figura 55, permite o encaixe de um braço de extração na extremidade inferior e garante ainda a estanquicidade do sistema em toda a calha extratora durante o seu movimento ao longo do pórtico.

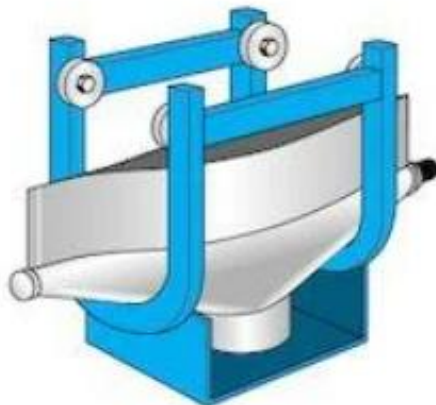


Figura 55 - Carro para extrator de fumos [56]

Na Tabela 51 encontram-se representadas as vantagens e desvantagens relativas à solução II para a aplicação do sistema de extração.

Tabela 51 - Vantagens e desvantagens da solução II - Calha extratora

Vantagens	Desvantagens
Permite a extração de fumos e pós num longo comprimento	Baixa oferta no mercado de este tipo de produtos
Menor perda de carga do que a solução I	Solução dispendiosa
Baixo nível de ruído	

Solução III – Renovação do ar com ventiladores existentes no pavilhão

Para além das soluções anteriormente referidas, é possível que a renovação do ar seja realizada apenas com recurso aos ventiladores existentes no pavilhão da Martifer onde o pórtico se encontra inserido. A empresa possui máquinas semelhantes à máquina a projetar, sujeitas a inspeções de segurança periódicas, cuja extração do ar é realizada através destes ventiladores. Como tal, o uso da ventilação geral do pavilhão poderá ser uma alternativa viável para o projeto em estudo. Para além disso, o facto de o pórtico se encontrar posicionado numa zona ampla e de elevado pé direito promove uma maior facilidade de dissipação dos fumos. Na tabela encontram-se representadas as vantagens e desvantagens da solução III.

Tabela 52 - Vantagens e desvantagens da solução III - Renovação do ar com ventiladores existentes no pavilhão

Vantagens	Desvantagens
Solução mais económica relativamente às restantes	Solução inferior às restantes do ponto de vista técnico
Já se encontra implementado no pavilhão	Requer medição de agentes tóxicos

Após a análise das alternativas anteriores, conclui-se que a solução III (renovação do ar com ventiladores existentes no pavilhão) apresenta-se como a solução mais económica para o caso em estudo. Apesar de as soluções I e II se apresentarem como uma visão mais técnica para a extração dos fumos, a solução III cumpre as mesmas funções sem quaisquer custos associados. Esta solução é sustentada pelo facto de a Martifer utilizar esta alternativa em máquinas semelhantes. No entanto, deverá ser realizada a leitura da concentração de agentes tóxicos, de forma a confirmar a conformidade com as normas de extração de fumos em vigor, referidas anteriormente.

4.2 Projeto

Neste subcapítulo encontram-se representadas as diferentes etapas do dimensionamento dos constituintes dos vários grupos de análise do pórtico em estudo, de acordo com as soluções definidas na tempestade de ideias.

4.2.1 Grupo de análise I – Suporte de tubos

Tal como definido na tempestade de ideias, a alternativa a utilizar na projeção do suporte de tubos é a Solução III – Movimento dos rolos através do sistema de tesoura, uma vez que das ideias estudadas, é a que se enquadra melhor no cenário pretendido. Na Figura 56 encontram-se identificados os diferentes componentes do suporte de tubos a projetar.

Neste grupo de análise pretende-se projetar os diferentes componentes do suporte de tubos. Este necessita de um estudo minucioso sobre todos os fatores que influenciam o seu bom funcionamento, uma vez que irá ser fabricado internamente. De forma a organizar melhor toda a informação relativa ao projeto deste componente, optou-se por realizar a separação das diferentes etapas de estudo por subcapítulos, tal como se apresenta na Tabela 53.

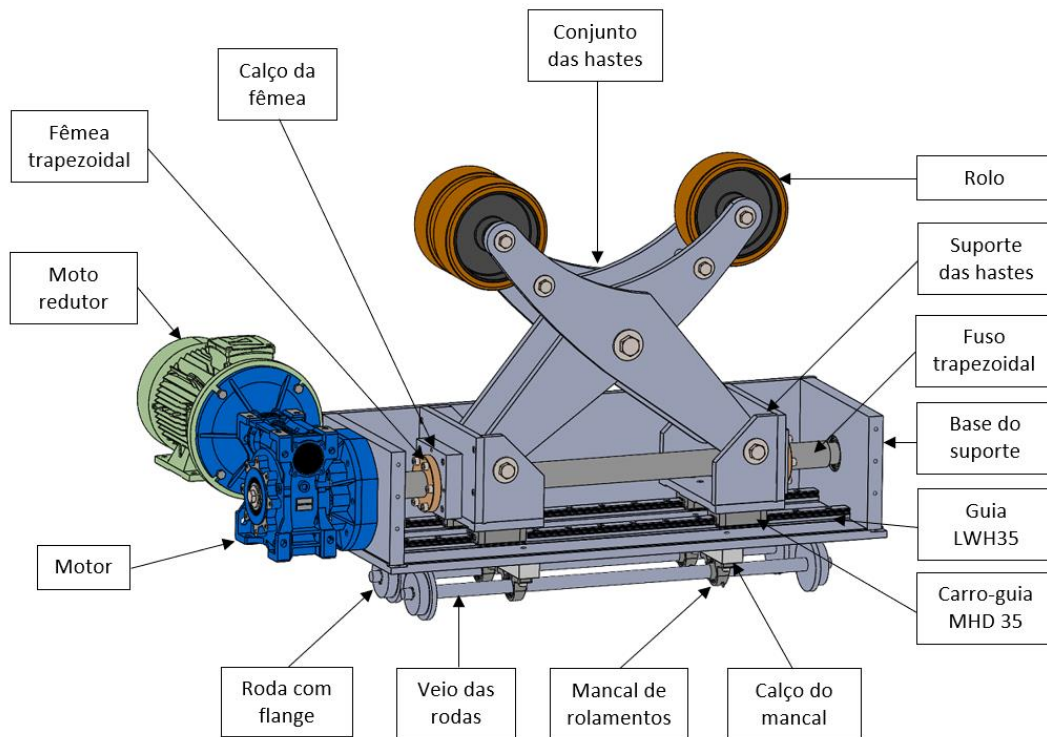


Figura 56 - Representação do suporte de tubos e dos respectivos componentes a projetar

Tabela 53 - Etapas do projeto do suporte de tubos

Divisão do projeto do suporte de tubos

Projeto da base e do suporte das hastes

Projeto do sistema de hastes e respectivas ligações

Cálculo dos esforços para o pior cenário possível

Cálculo das forças a que o suporte está sujeito

Determinação da quantidade de suportes necessários

Dimensionamento do fuso e do respetivo sistema de acionamento

Dimensionamento do sistema de movimento linear

Dimensionamento dos rolos

Projeto do sistema de movimentação longitudinal do suporte

4.2.1.1 Projeto da base e do suporte das hastes

A base do suporte de tubos e os suportes das hastes, representados na Figura 56, necessitam de ter uma geometria e um *design* construtivo que possibilitem o fácil fabrico e montagem dos mesmos. A base do suporte de tubos, representada na Figura 57, é o componente responsável por atribuir a este equipamento uma estabilidade e rigidez que permitam o suporte de tubos de grandes dimensões e, conseqüentemente, cargas elevadas.

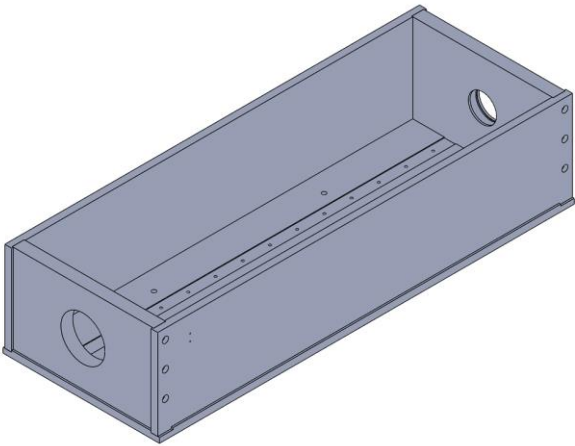


Figura 57 – Representação da base do suporte de tubos

Na Figura 58 encontra-se representada a vista explodida do conjunto da base do suporte de tubos e a respetiva lista de peças.

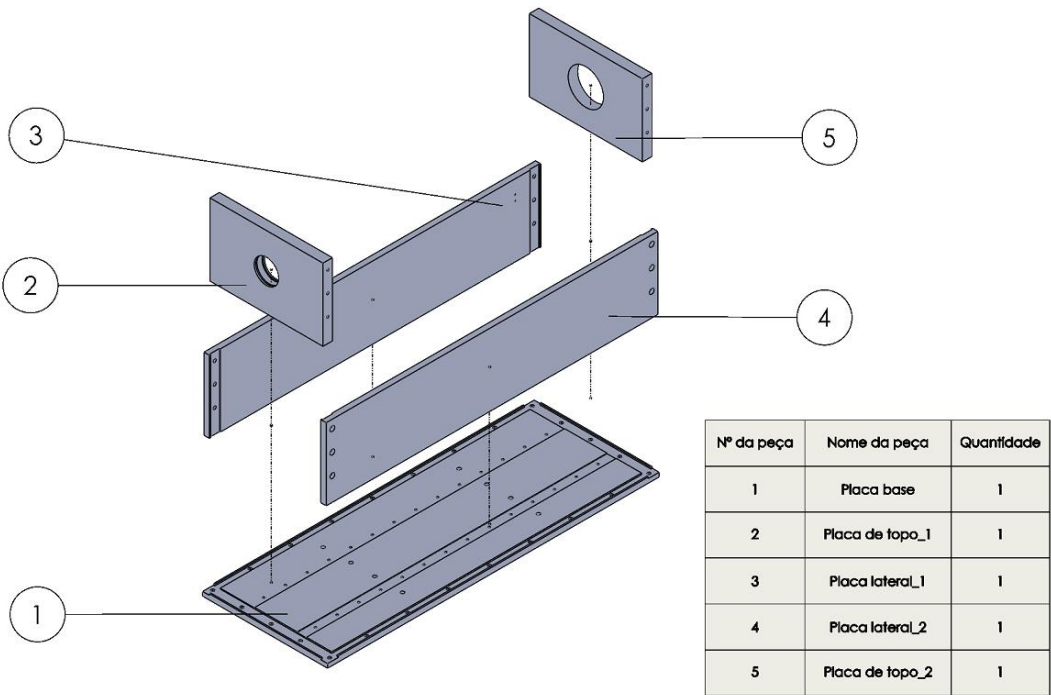


Figura 58 – Vista explodida do conjunto da base do suporte

A base possui um rasgo de forma a encaixar e limitar o movimento das placas laterais, tal como representado na Figura 59 (A). As placas de topo são fixas com auxílio dos rasgos existentes nas placas laterais e na base (Figura 59 B).

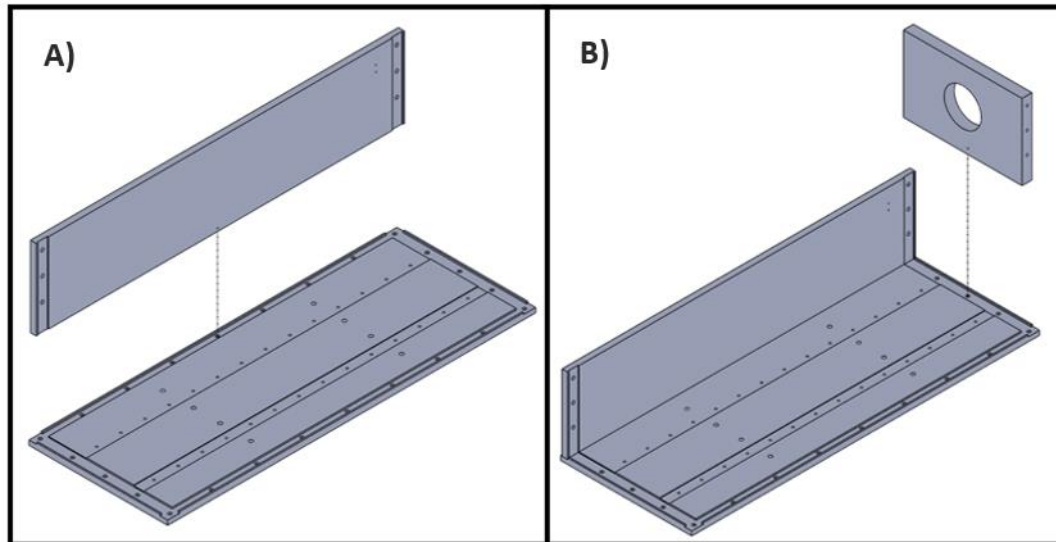


Figura 59 - Representação dos encaixes da base do suporte: A) encaixe placa lateral – base e B) encaixe placa de topo – placa lateral – base

Na Figura 60 é possível observar a quantidade e o posicionamento das ligações aparafusadas da placa de topo, através de uma vista de corte. Tal como no exemplo demonstrado, todos os componentes são fixos com recurso a ligações aparafusadas, obtendo-se como resultado final uma estrutura estável e rígida, cuja montagem e fabrico não representam dificuldades. É de salientar que, inicialmente, ponderou-se efetuar ligação dos diferentes componentes através de soldadura. No entanto, este método de ligação, ao contrário das ligações aparafusadas, não permite a desmontagem dos diferentes componentes, que pode ser necessário para efeitos de manutenção ou de substituição de componentes.

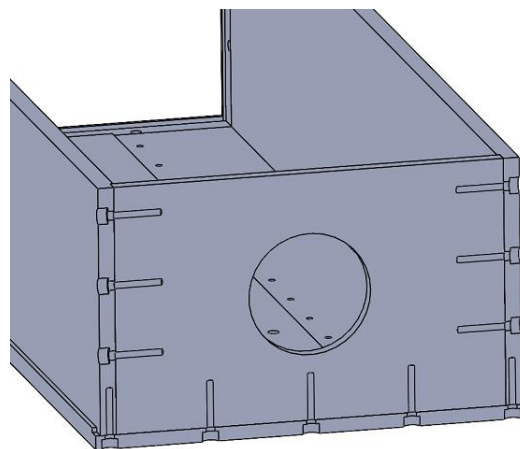


Figura 60 - Vista de corte da placa de topo

O suporte da haste, representado na Figura 61, é o componente que irá suportar o veio onde as hastes rodam, pelo que se encontra sujeito a esforços elevados. Para além disso, os suportes das hastes são um componente crucial do suporte de tubos, uma vez que o deslocamento horizontal dos mesmos permite o ajuste dos diâmetros do tubo. Como tal, o seu projeto necessita de privilegiar uma solução rígida e robusta.

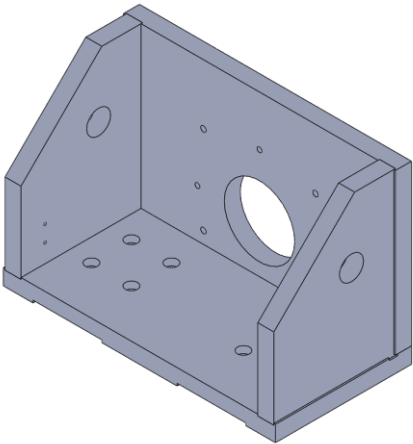


Figura 61 - Representação do suporte da haste

Na Figura 62 encontra-se representado o conjunto suporte da haste. Este componente apresenta a mesma ideologia de conceção da base do suporte, na medida em que privilegia igualmente o fácil fabrico e montagem.

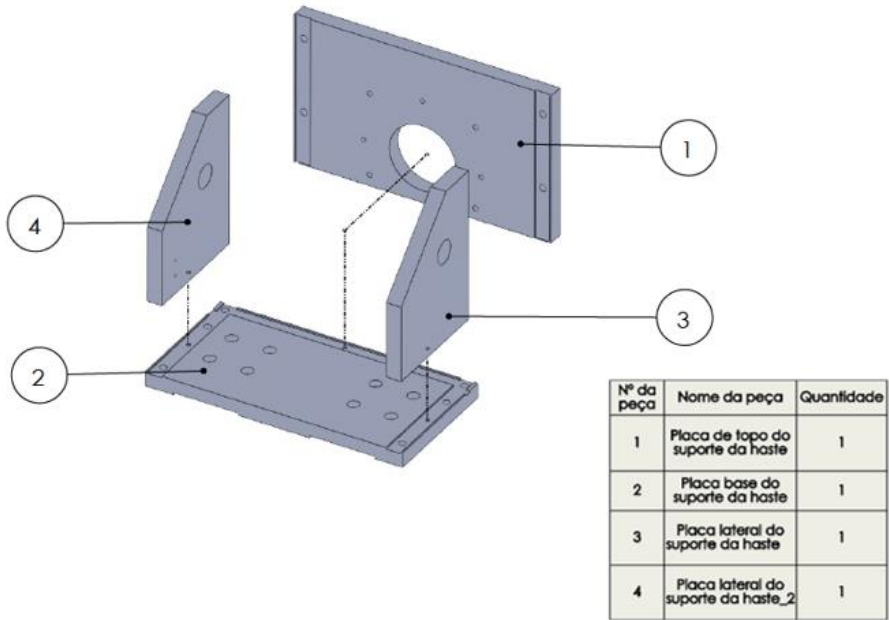


Figura 62 - Vista explodida do conjunto suporte da haste

Os carros-guia são fixos à parte inferior da base do suporte das hastes. Como tal, são realizados dois rebaixos (Figura 63) de forma a restringir o movimento dos carros-guia, promovendo um maior controlo da precisão desta ligação.

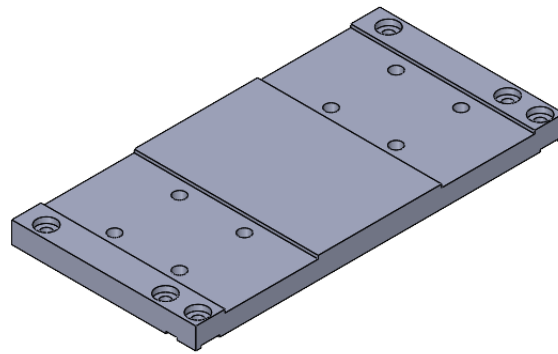


Figura 63 - Representação dos rebaixos existentes na parte inferior da base do suporte das hastes

A ligação entre a base do suporte e os suportes das hastes é dada através de um sistema de guias e de carros guia, representados na Figura 64. Estes dois componentes são adquiridos em conjunto ao mesmo fornecedor, uma vez que é necessário que o sistema de guiamento seja concordante, de forma que não existam folgas entre as guias e os carro-guia.

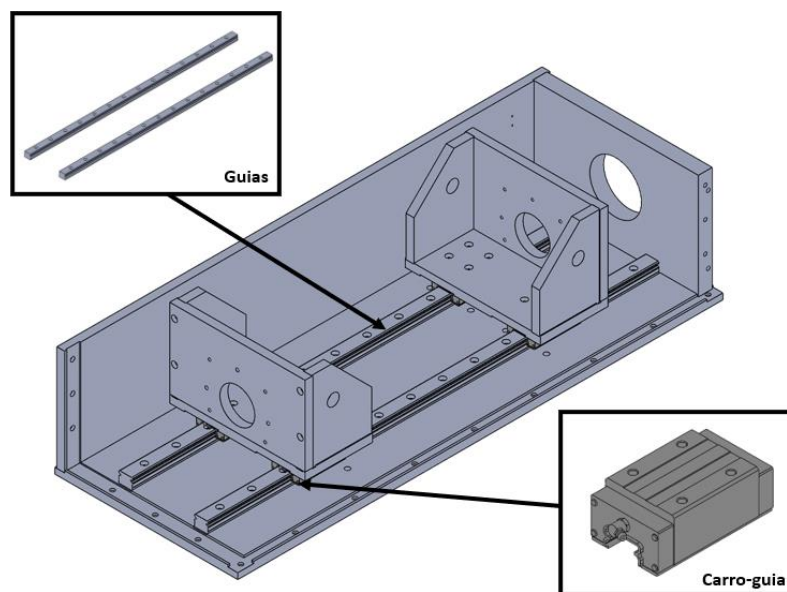


Figura 64 - Representação do sistema de guias + carros guia na base do suporte

A base do suporte apresenta dois rasgos, tal como representado na Figura 65. Estes têm como objetivo a fixação das guias, evitando que estas se desloquem para os lados. O rasgo do lado direito possui uma largura superior ao do lado esquerdo, tal como é possível verificar na Figura 65, de forma a permitir pequenos ajustes da distância entre as guias, caso necessário.

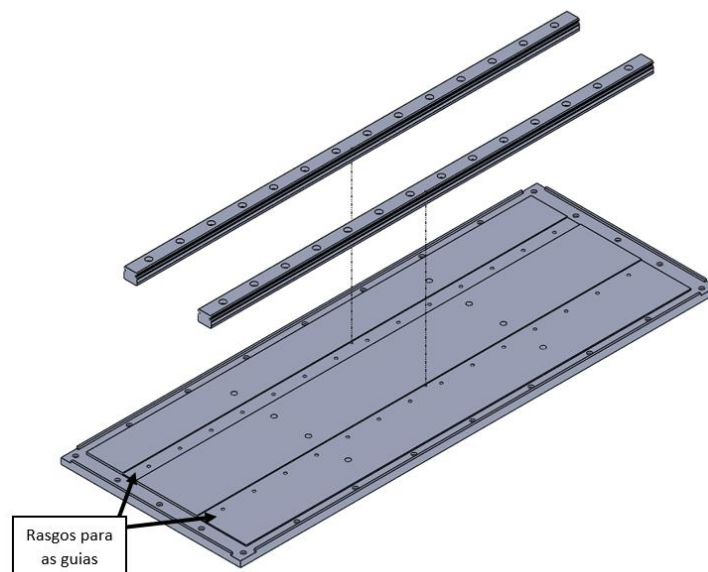


Figura 65 - Representação dos rasgos da base do suporte

É ainda de salientar que as guias não se encontram coincidentes com a parede interior da placa de topo, isto é, ambas as extremidades das guias foram afastadas das paredes de topo do suporte 3 mm. Desta forma, não existe o risco de haver dificuldade na montagem das guias devido a folgas muito reduzidas.

A ligação de cada carro-guia com o suporte da haste é realizada através de quatro parafusos de caixa. Estes são posicionados simetricamente na base do suporte da haste, de forma a que os esforços sejam distribuídos uniformemente pelos dois carros-guia, tal como representado na Figura 66. Nesta figura encontra-se ainda indicado o furo da fêmea trapezoidal, que irá ser dimensionada posteriormente e permite a transferência do movimento rotacional do fuso para o movimento linear do suporte da haste.

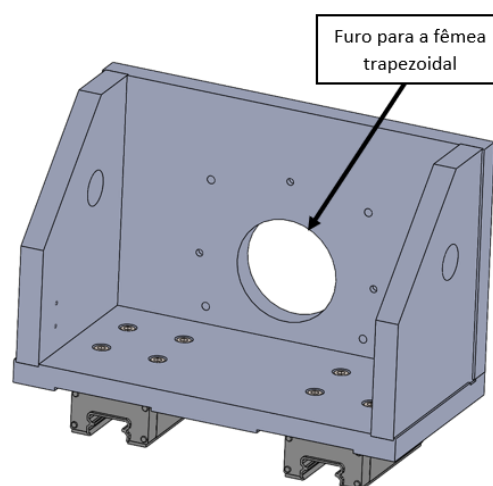


Figura 66 - Sistema de fixação dos carros-guia ao suporte da haste

4.2.1.2 Projeto do sistema de hastes e respectivas ligações

As hastes, representada na Figura 67, são os elementos conectores entre o suporte das hastes (Figura 61) e os rolos. A geometria destas peças foi elaborada de forma a obter um resultado final robusto, sem comprometer o objetivo principal, isto é, permitir que o suporte de tubos tenha a capacidade de sustentar tubos de diâmetros de 75 mm a 1000 mm.

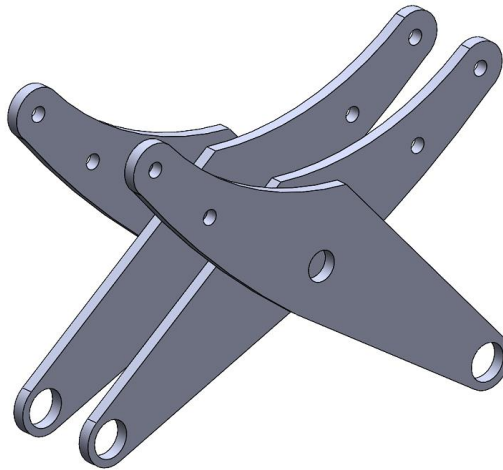


Figura 67 - Representação do conjunto de hastes

O suporte de tubos é constituído por um conjunto de quatro hastes, tal como representado na Figura 68. Nesta é possível verificar as ligações existentes, representadas pelas diferentes cores, que irão ser abordadas separadamente.

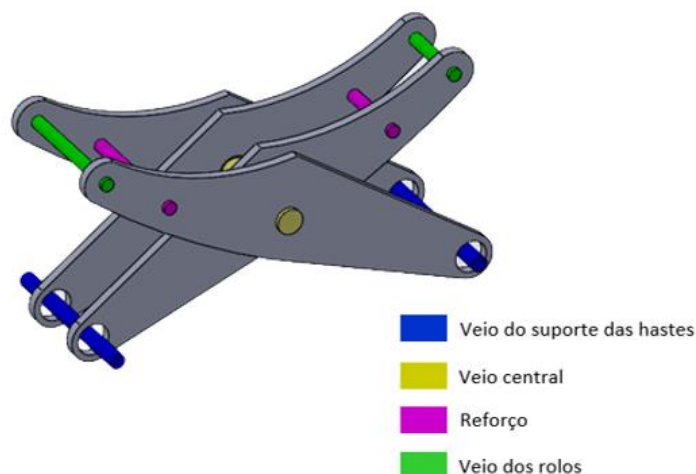


Figura 68 - Conjunto das hastes do suporte de tubos e identificação dos veios

Veio do suporte das hastes

O veio do suporte das hastes, representado a azul na Figura 68, tal como o nome indica é o veio que permite a ligação das hastes ao suporte das hastes. Este veio encontra-se

fixo, ou seja, não está sujeito a movimento rotacional. Para que esta condição seja garantida, o veio não fica coincidente com a face lateral exterior do suporte da haste, tal como é possível verificar na Figura 69. Desta forma, o parafuso fixa o veio e realiza o aperto da anilha em relação à parede lateral, não permitindo o movimento rotacional do veio. Esta metodologia é aplicada em ambas as extremidades do veio.

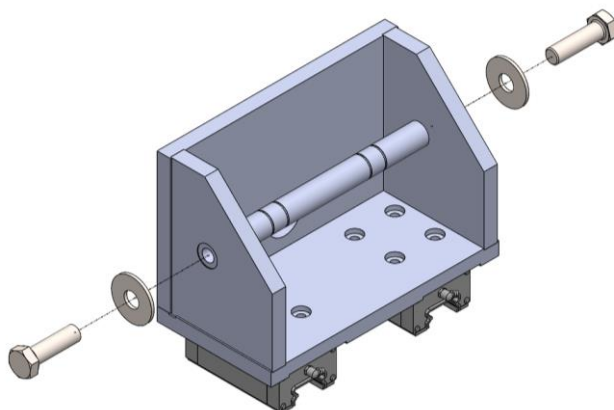


Figura 69 - Fixação do veio do suporte das hastes

O movimento rotacional da haste sobre o veio é realizado com recurso a rolamentos rígidos de esferas. O meio onde estes irão trabalhar leva a que estejam em contacto com vários resíduos provenientes do processo de corte do tubo. Como tal, os rolamentos escolhidos possuem vedantes, de forma a evitar que entrem contaminantes para o seu interior. Desta forma, existe uma redução do risco de danificação dos rolamentos e, consequentemente, um aumento da vida útil dos mesmos.

O rolamento é fixo sob pressão no veio do suporte das hastes, o que permite consolidar a ligação entre a haste e o suporte da haste. No entanto, o funcionamento do suporte leva a que este esteja sujeito a vibrações e a eventuais impactos, que podem levar ao deslocamento do rolamento ao longo do veio do suporte das hastes e, consequentemente, ao deslocamento da haste. Como tal, de forma a evitar que este deslocamento ocorra, são colocados anéis elásticos de ambos os lados de cada rolamento, limitando assim o seu movimento longitudinal (Figura 70). É de salientar que na eventualidade de ocorrer uma elevada concentração de esforços no veio em questão, os rolamentos devem ter o seu movimento restringido com recurso à maquinação de diferentes diâmetros no veio, juntamente com o uso de anéis elásticos apenas nas extremidades laterais do veio.

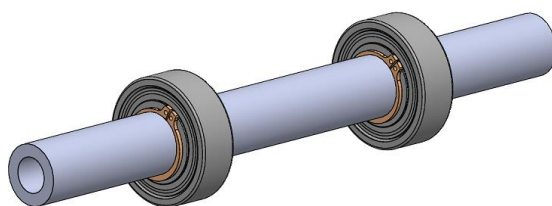


Figura 70 - Representação da fixação dos rolamentos

O rolamento permite o movimento rotacional da haste relativamente ao veio, quando o suporte da haste é solicitado através do acionamento do fuso. Na Figura 71 é possível verificar um exemplo ilustrativo do funcionamento deste mecanismo.

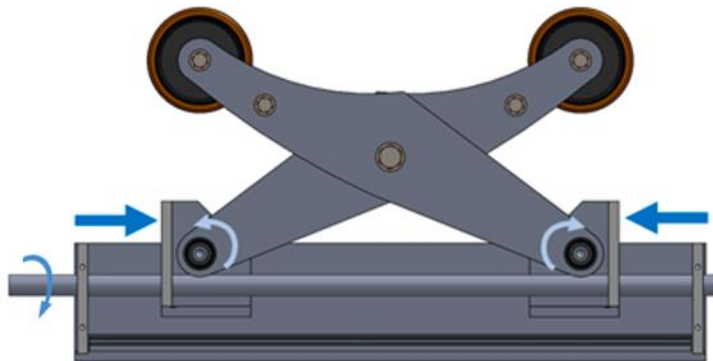


Figura 71 - Exemplo ilustrativo do funcionamento dos rolamentos

Quando o movimento rotacional do fuso resulta no deslocamento convergente dos suportes das hastes, tem lugar o movimento rotacional das hastes sobre o rolamento. Este cenário resulta no afastamento da distância entre os rolos, logo na diminuição do diâmetro de tubo a suportar.

O sistema em estudo tem na sua constituição dois veios de suporte das hastes. Estes são muito semelhantes na sua geometria e na posterior montagem no sistema em estudo. Os veios diferem no seu comprimento, na medida em que este é superior no veio do suporte das hastes exteriores. Por outro lado, a posição dos rasgos dos anéis elásticos também apresenta dissimilaridades, pois as hastes exteriores possuem uma maior distância entre si, logo o comprimento entre os rasgos dos anéis elásticos também é maior.

Veio central

O movimento dos rolos é proporcionado pelo movimento longitudinal do suporte das hastes, juntamente com o movimento rotacional das mesmas sobre o veio do suporte das hastes, tal como é possível verificar na Figura 71. Como tal, o papel do veio central passa por guiar as hastes, mantendo todas as relações geométricas, entre as mesmas.

A ligação das hastes interiores ao veio central é realizada através de um casquilho autolubrificante PRMF 505530 (Figura 72) que é colocado à pressão no furo. Este permite que as hastes interiores rodem sobre o veio central. É ainda de salientar que o casquilho autolubrificante adotado possui 30 mm de comprimento. No entanto, para a aplicação em questão é necessário que este seja maquinado de forma a reduzir o seu comprimento em 10 mm, igualando a espessura das hastes.



Figura 72 - Casquilho autolubrificante PRMF 505530 [84]

Por outro lado, as hastes exteriores são fixas ao veio central através da mesma metodologia de fixação realizada no veio do suporte das hastes (Figura 69). No entanto, neste caso os parafusos realizam o aperto das anilhas contra as hastes exteriores. Desta forma, é possível concluir que o movimento das hastes interiores é solidário com o movimento das hastes exteriores, garantindo o posicionamento de todas as hastes (Figura 73).

O veio central é um ponto de concentração de esforços, pelo que foi alvo de dimensionamento posterior. Para além disso, foram utilizados casquilhos entre as hastes interiores e exteriores, tal como representado na Figura 73, evitando que estas hastes tendam a fletir, quando carregadas. Estes casquilhos garantem ainda o posicionamento das hastes, juntamente com os anéis elásticos utilizados.

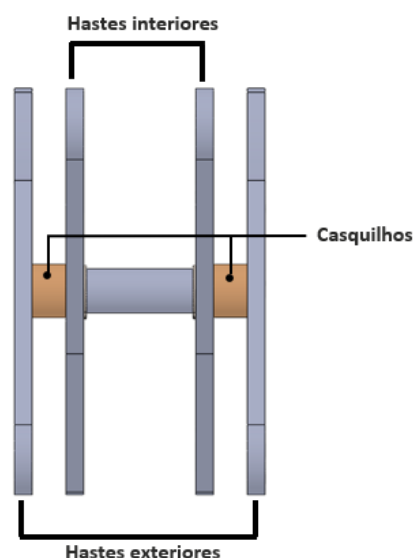


Figura 73 - Representação esquemática do posicionamento dos casquilhos

Reforço

Os reforços, tal como o nome indica, têm como objetivo reforçar a rigidez do sistema. Estes são colocados ligeiramente abaixo dos rolos, para assegurar que não exista uma concentração de esforços nas extremidades superiores da haste. A fixação dos reforços

é realizada com recurso à mesma metodologia de fixação utilizada no eixo do suporte da haste, exemplificada na Figura 69.

Veio dos rolos

O veio dos rolos é o componente responsável pela ligação das hastes aos rolos. Este veio é fixo, uma vez que os rolos utilizados já possuem rolamentos na sua constituição. Tal como nos restantes veios, o método de fixação do veio segue o exemplo da Figura 69. O veio dos rolos encontra-se representado na Figura 74, onde também é possível verificar que o posicionamento dos rolos é garantido através do uso de anéis elásticos de ambos os lados de cada rolo.

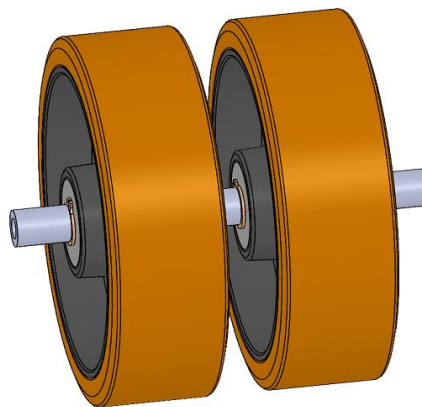


Figura 74 - Representação do veio dos rolos e respetivos constituintes

O suporte de tubos em estudo possui dois veios de rolos. No entanto, o veio representado na Figura 74 é referente ao veio de suporte de rolos das hastes exteriores, possuindo dois rolos acoplados, enquanto o veio oposto apenas possui um rolo. As diferenças entre ambos os veios de suporte de rolos focam-se no diferente espaçamento entre hastes interiores e exteriores, o que resulta em veios com comprimentos diferentes. Para além disso, estes veios diferem ainda na quantidade e na posição dos rasgos dos anéis elásticos.

4.2.1.3 Cálculo dos esforços para o pior cenário possível

O projeto do suporte de tubos necessita de ter em conta o esforço máximo a que o suporte de tubos irá ser sujeito. Como tal, é necessário perceber as relações geométricas intrínsecas à sua geometria. Na Figura 75 encontra-se representado o suporte de tubos com as variáveis a definir. A força que o tubo exerce num rolo é perpendicular ao plano tangente ao ponto de contacto do tubo e do rolo. Logo, de forma a determinar a direção da força do tubo nos rolos, é necessário calcular o ângulo α .

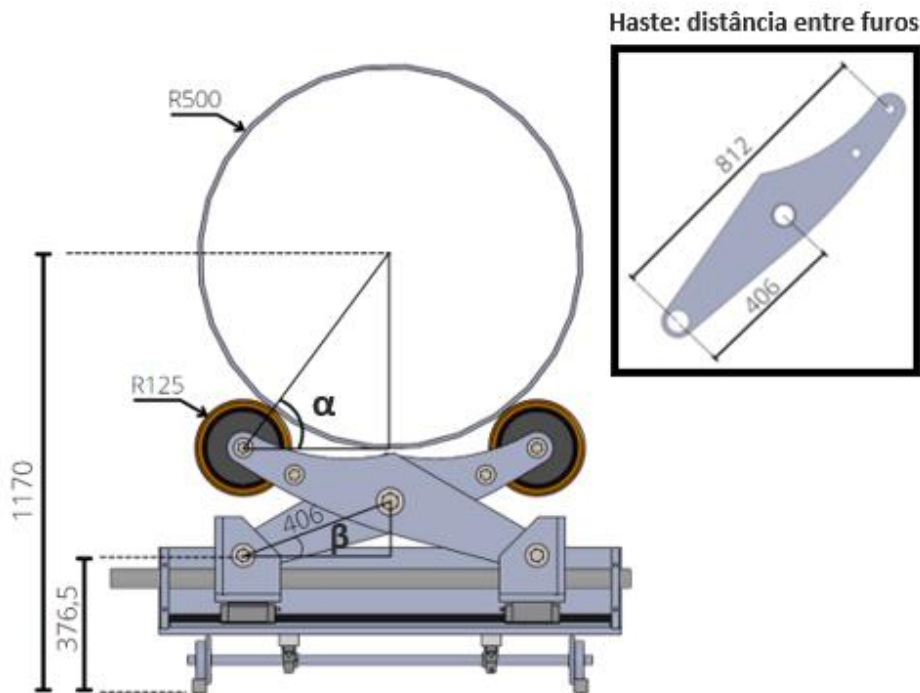


Figura 75 - Representação das variáveis do suporte de tubos

O esforço máximo do suporte ocorre quando este se encontra a suportar o máximo diâmetro de tubo projetado, sendo neste caso 1000 mm. No sistema seguinte encontram-se representadas as equações que permitem calcular o ângulo α , e por conseguinte, a direção da força que o tubo aplica nos rolos.

$$\begin{cases} 1170 = 376,5 + 812 \times \sin \beta + (R + 125) \times \sin \alpha \\ \frac{812}{2} \times \cos \beta = (R + 125) \times \cos \alpha \end{cases}$$

De forma a simplificar o sistema, foram definidas as seguintes relações, tendo em conta a fórmula fundamental da trigonometria, representadas na equação (5) e na equação (6). Para além disso, criou-se uma nova variável (C_1), de acordo com a equação (7).

$$\cos \alpha = x \Leftrightarrow \sin \alpha = \sqrt{1 - x^2} \quad (5)$$

$$\cos \beta = y \Leftrightarrow \sin \beta = \sqrt{1 - y^2} \quad (6)$$

$$(R + 125) = C_1 \quad (7)$$

Tendo em conta as relações anteriores, obteve-se o seguinte sistema simplificado:

$$\begin{cases} C_1\sqrt{1-x^2} + 812\sqrt{1-y^2} = 793,5 \\ 406y - C_1x = 0 \end{cases}$$

Tal como verificado anteriormente, o maior diâmetro que o suporte de tubos consegue suportar é de 1000 mm. Como tal, o R é 500 mm, logo C_1 é 625 mm. Desta forma, é possível proceder ao cálculo do valor de α e β .

$$\begin{cases} x = 0,6050 \\ y = 0,9312 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \alpha = \cos^{-1}(0,6050) \\ \beta = \cos^{-1}(0,9312) \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \alpha = 52,78^\circ \\ \beta = 21,38^\circ \end{cases}$$

Através da resolução do sistema apresentado determinou-se que, para a pior situação possível, $\alpha=52,78^\circ$, ficando assim determinada a direção da força para o maior diâmetro de tubo, tal como representado na Figura 76.

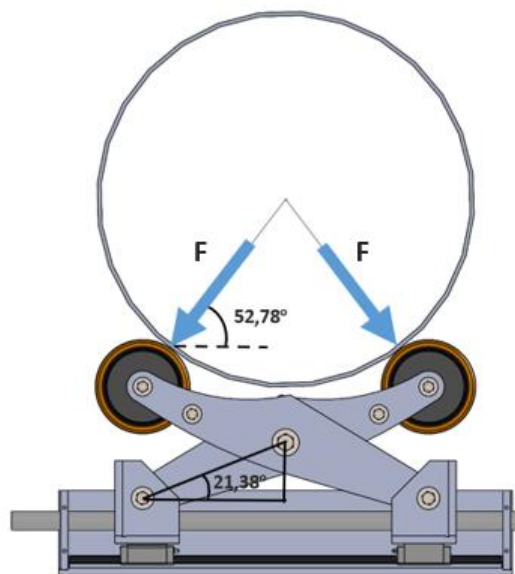


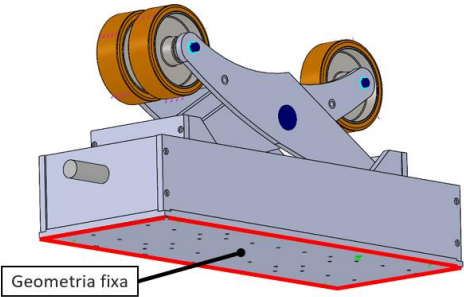
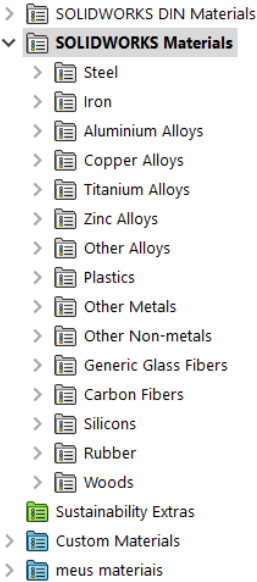
Figura 76 - Representação da direção da força do tubo sob os rolos para a pior situação possível

A determinação dos esforços a que o suporte está sujeito foi realizada com recurso à ferramenta *Simulation* do SolidWorks, onde foi realizada uma análise estática linear do suporte de tubos. Os passos realizados durante este processo encontram-se representados na Tabela 54. É ainda de salientar que estas simulações foram realizadas tendo em conta dois aspetos importantes:

- Cada suporte tem a capacidade de aguentar, no máximo, 4 toneladas, sendo equivalente a uma carga de 40 kN, tal como definido previamente nos requisitos da empresa;

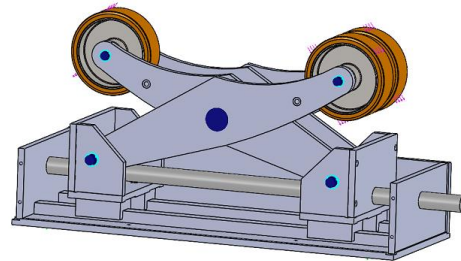
- O diâmetro do fuso arbitrado é de 55 mm, sendo alvo de dimensionamento posterior.

Tabela 54 - Passos para a simulação dos esforços a que o suporte de tubos está sujeito

Passos	Descrição	Representação																								
Definição da superfície fixa	Iniiciou-se o processo de cálculo de esforços com a fixação da base do suporte.																									
Atribuição de materiais	De forma que a simulação seja mais precisa é necessário que os diferentes componentes sejam referenciados com o respetivo material. É de salientar que ficheiro CAD dos rolos foi obtido através do site do fornecedor. No entanto, como se trata de um ficheiro STEP, não é possível diferenciar o exterior do rolo (poliuretano) do interior (ferro fundido). Como tal, atribuiu-se o ferro fundido para todo o conjunto.																									
Criação de ficha técnica do S355J2+N	O material das peças a ser fabricadas na empresa é o S355J2+N. No entanto, como o SolidWorks não possui esse material, é necessário criar uma nova ficha com as características do material a utilizar.	<table><tr><th>Property</th><th>Value</th><th>Units</th></tr><tr><td>Elastic Modulus</td><td>210000</td><td>N/mm^2</td></tr><tr><td>Poisson's Ratio</td><td>0.3</td><td>N/A</td></tr><tr><td>Shear Modulus</td><td>80000</td><td>N/mm^2</td></tr><tr><td>Mass Density</td><td>7850</td><td>kg/m^3</td></tr><tr><td>Tensile Strength</td><td>526</td><td>N/mm^2</td></tr><tr><td>Compressive Strength</td><td></td><td>N/mm^2</td></tr><tr><td>Yield Strength</td><td>416</td><td>N/mm^2</td></tr></table>	Property	Value	Units	Elastic Modulus	210000	N/mm^2	Poisson's Ratio	0.3	N/A	Shear Modulus	80000	N/mm^2	Mass Density	7850	kg/m^3	Tensile Strength	526	N/mm^2	Compressive Strength		N/mm^2	Yield Strength	416	N/mm^2
Property	Value	Units																								
Elastic Modulus	210000	N/mm^2																								
Poisson's Ratio	0.3	N/A																								
Shear Modulus	80000	N/mm^2																								
Mass Density	7850	kg/m^3																								
Tensile Strength	526	N/mm^2																								
Compressive Strength		N/mm^2																								
Yield Strength	416	N/mm^2																								

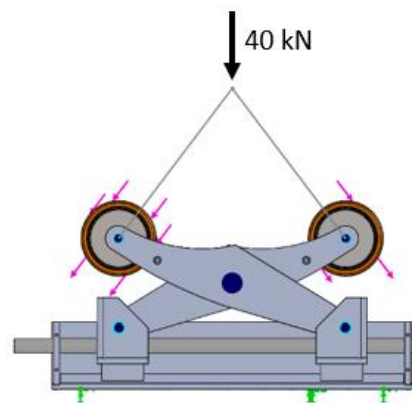
Atribuição dos contactos

Nesta fase foram criadas as relações de pino (azul) e de *no penetration*. A primeira relação tem como objetivo a simulação de um pino num furo, restringindo os graus de liberdade respetivos. Por outro lado, a relação de *no penetration* é um contacto que evita a penetração entre os corpos, que por defeito não tem atrito.



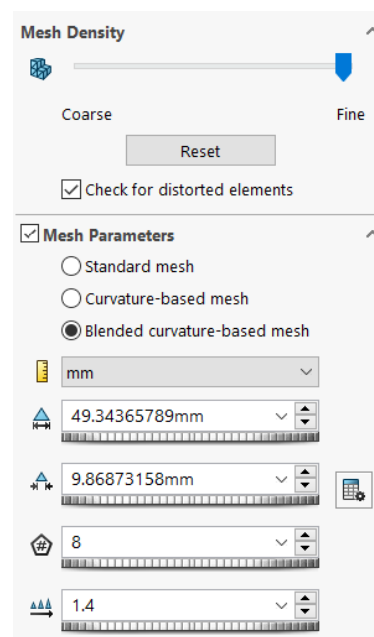
Aplicação dos esforços

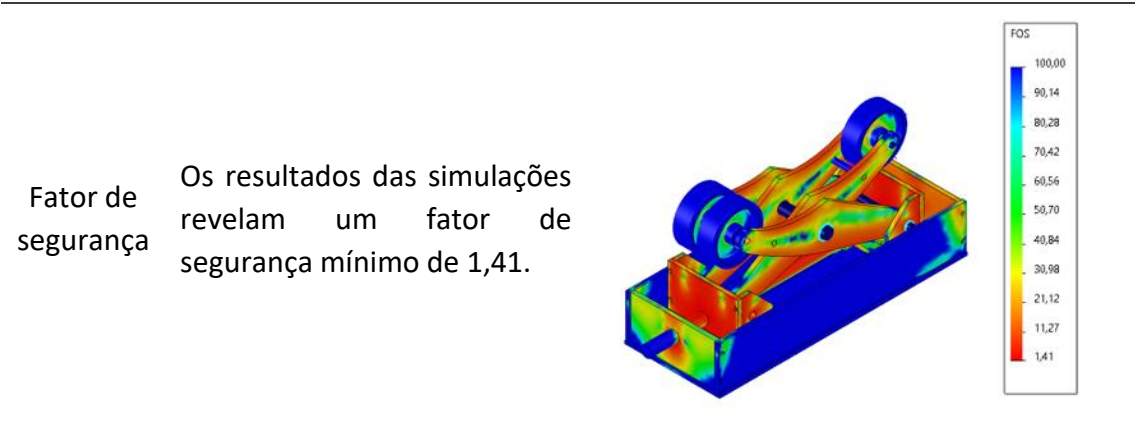
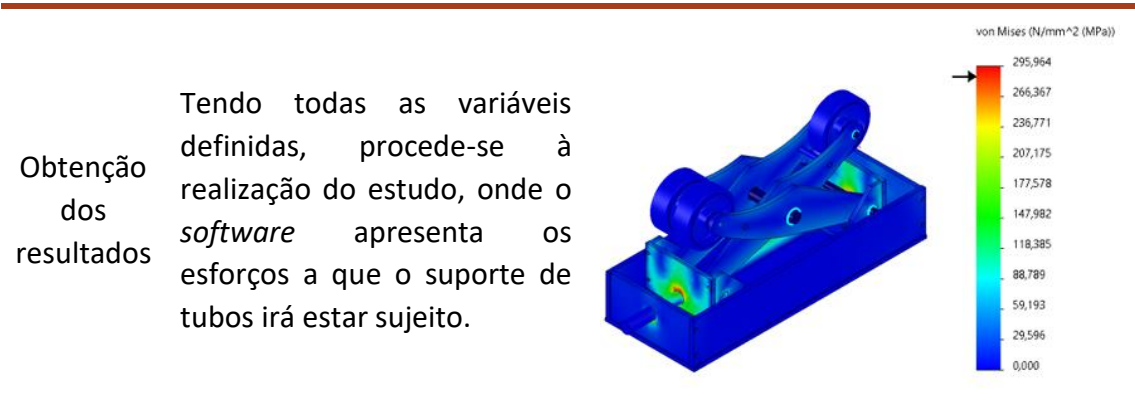
O suporte está sujeito a uma força vertical de 40 kN que se distribuí pelos rolos de acordo com o ângulo α calculado anteriormente.



Criação da malha

A precisão dos resultados obtidos depende da densidade da malha. Como tal, utilizou-se uma malha fina, ou seja, de elevada densidade, de forma a obter resultados mais precisos. O tipo de elemento utilizado pela malha adotada é o tetraedro linear. Trata-se de uma malha baseada em curvatura, cujos tamanhos mínimos e máximos se encontram representados na figura à direita.





Na Tabela 55 encontram-se os resultados da simulação de esforços a que o suporte de tubos está sujeito, quando este opera no pior cenário possível, isto é, para o maior diâmetro de tubo.

Tabela 55 - Resultados da simulação dos esforços a que o suporte de tubos está sujeito

Esforços a que o suporte de tubos está sujeito	
Esforço máximo	295,96 MPa
Deslocamento máximo	5,39 mm
Carga vertical aplicada	40 kN

O esforço máximo obtido na simulação do SolidWorks é 295,96 MPa, sendo no fuso o ponto onde esse esforço máximo é registado. Este valor é inferior ao limite de cedência do material a utilizar (416 MPa), pelo que é possível concluir que o suporte de tubos é capaz de suportar uma carga de 40 kN.

4.2.1.4 Cálculo das forças a que o suporte está sujeito

Neste subcapítulo pretende-se realizar o cálculo das forças a que o suporte está sujeito. Desta forma é possível proceder ao dimensionamento dos vários componentes do sistema, nomeadamente o fuso e o respetivo motor de acionamento, as guias, os carros-

guia e os rolos. Através dos dados obtidos pelas simulações realizadas no SolidWorks, representadas na Tabela 55, verifica-se que o suporte tem a capacidade de suportar a carga máxima de 40 kN. Como tal, elaborou-se o diagrama de equilíbrio do tubo, de forma a perceber qual os esforços que irão ser transmitidos aos rolos.

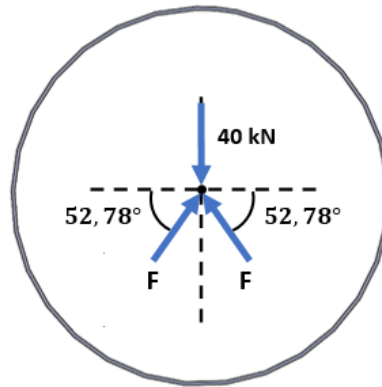


Figura 77 - Diagrama de equilíbrio do tubo a suportar

A força F representa a carga que os rolos necessitam de suportar. Dada a simetria do sistema, a distribuição da carga do tubo pelos rolos vai ser realizada de igual forma, tal como é possível verificar no seguinte sistema:

$$\sum F_y = 0 \Leftrightarrow 2F \times \sin 52,78^\circ - 40\,000 = 0 \Leftrightarrow F = 25\,115,57 \text{ N}$$

Conhecendo a força que é transmitida para os rolos, é possível proceder à construção do diagrama de equilíbrio do suporte (Figura 78).

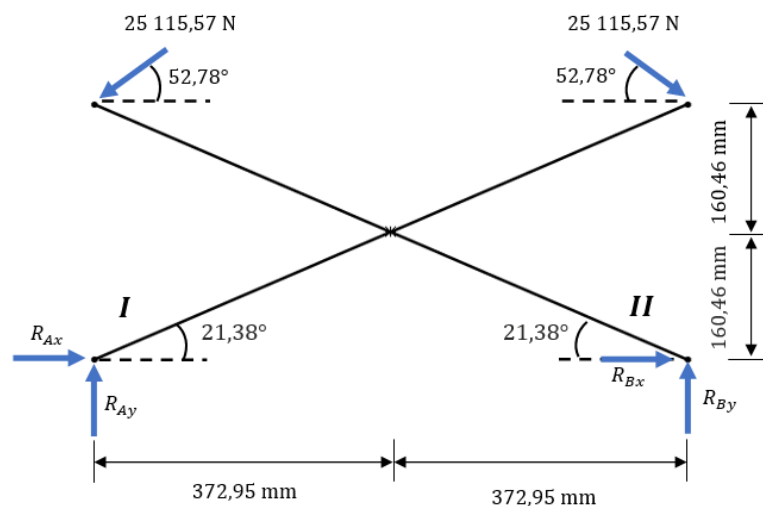


Figura 78 - Diagrama de equilíbrio do suporte de tubos

Tal como é possível verificar na Figura 78, o diagrama possui seis incógnitas. Como tal, é necessário separar as hastes e realizar o diagrama de equilíbrio para ambos os casos,

de forma a desenvolver seis equações, o que possibilita desta forma a resolução do sistema. Na Figura 79 representa-se o diagrama de equilíbrio de forças da haste I.

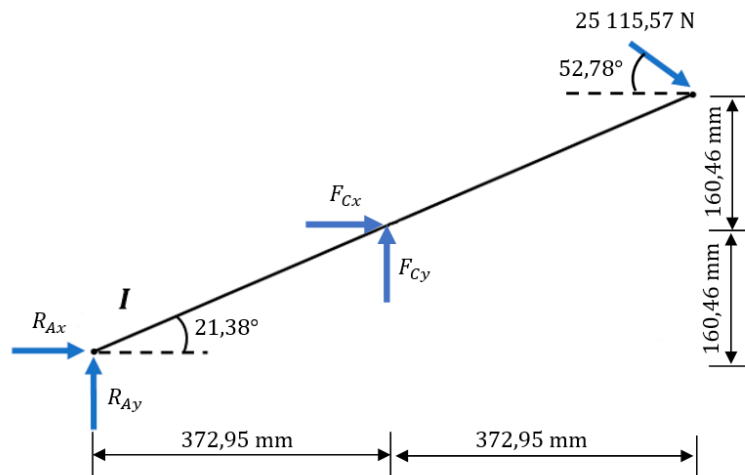


Figura 79 - Diagrama de equilíbrio da haste I

Através do diagrama da Figura 79 é possível definir as três primeiras equações.

$$\begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \\ \sum M_c = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} R_{Ax} + F_{Cx} + 25\,115,57 \times \cos 52,78^\circ = 0 \\ R_{Ay} + F_{Cy} - 25\,115,57 \times \sin 52,78^\circ = 0 \\ -R_{Ay} \times 372,95 + R_{Ax} \times 160,46 - 25\,115,57 \times \cos 52,78^\circ \times 160,46 - 25\,115,57 \times \sin 52,78^\circ \times 372,95 = 0 \end{cases}$$

Na Figura 80 encontra-se representado o diagrama de equilíbrio de forças da haste II, através do qual se obtêm as restantes três equações.

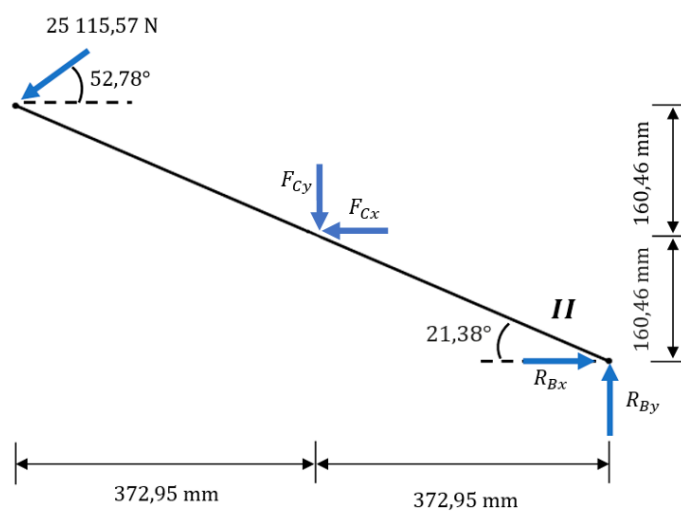


Figura 80 - Diagrama de equilíbrio da haste II

$$\begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \\ \sum M_c = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} R_{Bx} - F_{Cx} - 25\,115,57 \times \cos 52,78^\circ = 0 \\ R_{By} - F_{Cy} - 25\,115,57 \times \sin 52,78^\circ = 0 \\ R_{Bx} \times 160,46 + R_{By} \times 372,95 + 25\,115,57 \times \cos 52,78^\circ \times 160,46 \\ + 25\,115,57 \times \sin 52,78^\circ \times 372,95 = 0 \end{cases}$$

Tendo realizado os diagramas de equilíbrio separadamente para ambas as hastes, obtém-se um sistema de seis equações, que possibilita obter as seis incógnitas.

$$\begin{cases} R_{Ax} + F_{Cx} + 25\,115,57 \times \cos 52,78^\circ = 0 \\ R_{Ay} + F_{Cy} - 25\,115,57 \times \sin 52,78^\circ = 0 \\ -R_{Ay} \times 372,95 + R_{Ax} \times 160,46 - 25\,115,57 \times \cos 52,78^\circ \times 160,46 \\ - 25\,115,57 \times \sin 52,78^\circ \times 372,95 = 0 \\ R_{Bx} - F_{Cx} - 25\,115,57 \times \cos 52,78^\circ = 0 \\ R_{By} - F_{Cy} - 25\,115,57 \times \sin 52,78^\circ = 0 \\ R_{Bx} \times 160,46 + R_{By} \times 372,95 + 25\,115,57 \times \cos 52,78^\circ \times 160,46 \\ + 25\,115,57 \times \sin 52,78^\circ \times 372,95 = 0 \end{cases}$$

A resolução deste sistema foi realizada com recurso ao software *Matlab*, tendo sido obtidas as seguintes soluções:

$$\begin{cases} R_{Ax} = 108\,162\text{ N} & R_{By} = 20\,000\text{ N} \\ R_{Ay} = 20\,000\text{ N} & F_{Cx} = -123\,354\text{ N} \\ R_{Bx} = -108\,162\text{ N} & F_{Cy} = 0\text{ N} \end{cases}$$

Na Figura 81 encontram-se representadas as forças atuantes no suporte em estudo.

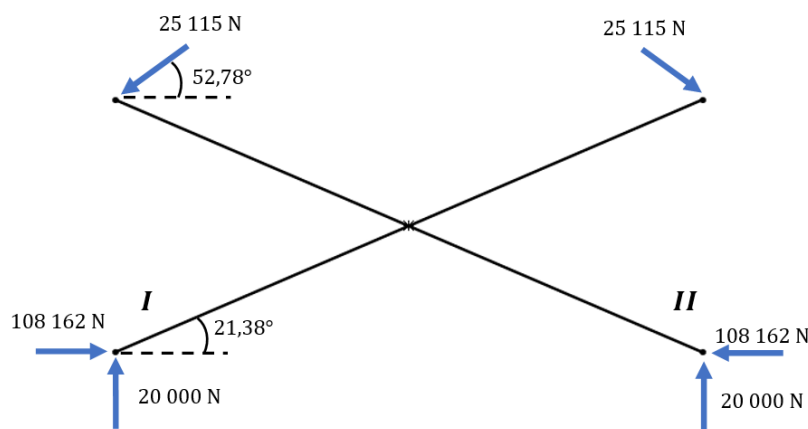


Figura 81 - Representação das forças do sistema

4.2.1.5 Determinação da quantidade de suportes necessários

Os tubos que irão ser cortados neste pórtico têm as suas dimensões máximas definidas conforme apresentado na Tabela 26. Como tal, a determinação do número de suportes necessários deve ter em conta os cenários considerados como mais críticos, sendo eles:

- Cenário I – Concentração de carga;
- Cenário II – Possível flexão.

Cenário I – Concentração de carga (máxima carga para o menor comprimento)

Neste cenário pretende-se determinar o número de suportes necessários para quando se pretende suportar um tubo com o maior diâmetro possível (1000 mm) e com a maior espessura (100 mm). Como tal, irá ser calculado o volume de um metro de tubo com estas características, através da equação (8).

$$V_{\text{Tubo}} = V_{\varnothing \text{ext.}} - V_{\varnothing \text{int.}} \quad (8)$$

$$V = \left(\pi \times \left(\frac{1,000}{2} \right)^2 \times 1 \right) - \left(\pi \times \left(\frac{0,800}{2} \right)^2 \times 1 \right)$$

$$V = 0,2827 \text{ m}^3$$

Tendo em conta a fórmula da massa volúmica, representada na equação (9), é possível obter a massa de tubo por cada metro do mesmo. A densidade do material do tubo (S355J2+N) é 7850 kg/m³.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (9)$$

$$m = 7850 \times 0,2827$$

$$m = 2219,54 \text{ kg}$$

É assim possível concluir que cada metro de tubo, neste cenário, pesa 2219,54 kg, o que equivale a uma carga de 22 195,4 N/m. Tendo em conta este valor e a carga aplicada num suporte, é possível determinar o comprimento de influência de cada suporte (equação (10)).

$$\text{Comprimento de influência} = \frac{\text{Carga aplicada [N]}}{\text{Carga Suportada por metro [N / m]}} \quad (10)$$

$$\text{Comprimento de influência} = \frac{40\,000}{22\,195,4} = 1,8 \text{ m}$$

Através dos cálculos anteriores é possível concluir que, para este cenário, ou seja, para tubos com o diâmetro e espessura máxima, cada suporte permite suportar 1,8 metros de comprimento de tubo.

Sabendo o comprimento de influência de cada suporte de tubos, é possível proceder à determinação do número de suportes necessários. Tendo em conta as características dos tubos a suportar, previamente definidas pela empresa e representadas na Tabela 26, é possível verificar que o peso máximo dos tubos a trabalhar no pórtico em estudo é de 12 toneladas. Como tal, através da equação (9), é possível determinar o comprimento máximo de tubo para este cenário (máxima carga para o menor comprimento de tubo).

$$7850 = \frac{12\,000}{\left(\pi \times \left(\frac{1,070}{2} \right)^2 \times L_{\text{máx}} \right) - \left(\pi \times \left(\frac{0,870}{2} \right)^2 \times L_{\text{máx}} \right)}$$

$$L_{\text{máx}} = 5,02 \text{ m}$$

Um tubo de 12 toneladas com o diâmetro máximo (1000 mm) e a espessura máxima (100 mm) pode ter um comprimento de 5,02 metros. Como tal, através da equação (11) é possível determinar o número de suportes necessários para este cenário.

$$\text{Número de suportes necessários} = \frac{\text{Comprimento máximo } (L_{\text{máx}})}{\text{Comprimento de influência}} \quad (11)$$

$$\text{Número de suportes necessários} = \frac{5,02}{1,80} = 2,79 \approx 3 \text{ suportes necessários}$$

É possível concluir que são necessários três suportes para garantir que um tubo que se enquadre no cenário I possa ser suportado sem que ocorra rotura destes equipamentos.

Cenário II – Possível flexão (máxima carga para o maior comprimento)

O cenário II tem como objetivo estudar o número de suportes necessários para que o tubo não sofra flexão. Como tal, considerou-se que o pior cenário tem lugar quando o tubo a cortar possui o peso máximo previamente definido (12000 kg). De forma a determinar o número de suportes necessários, é imperativo determinar o comprimento máximo entre suportes para que não ocorra flexão. Na Figura 82 encontra-se a representação esquemática da variável que se pretende determinar.

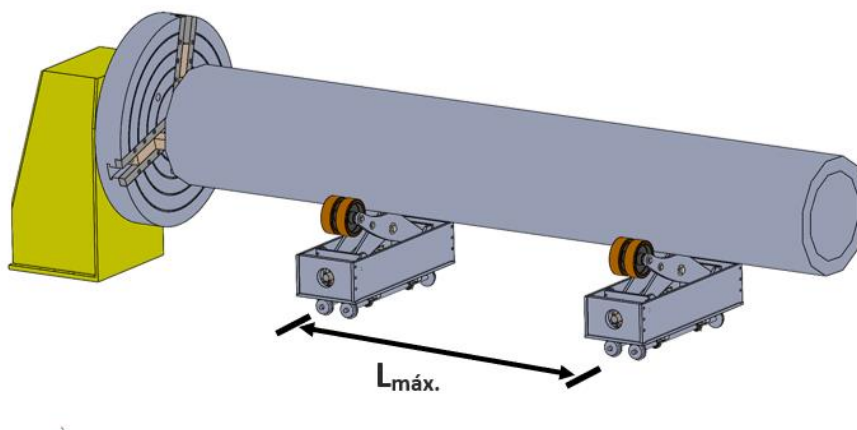


Figura 82 - Representação esquemática do comprimento máximo entre suportes

O cálculo do comprimento máximo entre suportes foi calculado com recurso ao estudo dos esforços aplicados no tubo, tal como esquematizado na Figura 83.

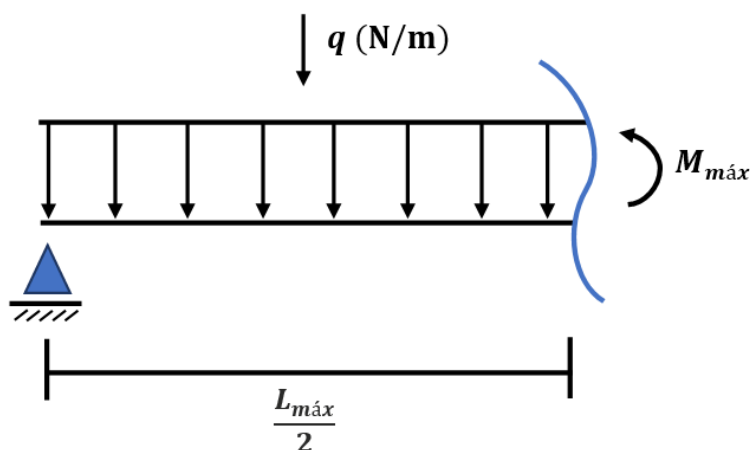


Figura 83 - Representação esquemática dos esforços aplicados no tubo

No cenário I calculou-se que a carga por unidade de comprimento (q) para um tubo com o peso máximo é de 22 195,4 N/m. Como tal, aplicando essa carga distribuída na equação (12) obtém-se o momento fletor máximo aplicado no tubo, em ordem ao comprimento máximo do mesmo.

$$M_{\text{máx}} - \left(q \times \frac{L_{\text{máx}}}{2} \times \frac{L_{\text{máx}}}{2}\right) + \left(q \times \frac{L_{\text{máx}}}{2} \times \frac{L_{\text{máx}}}{4}\right) = 0 \quad (12)$$

$$M_{\text{máx}} = 2\,774,43 L_{\text{máx}}^2$$

Através do dimensionamento pela condição de resistência (equação (13)) obtém-se o comprimento máximo entre tubos para que não ocorra flexão.

$$\sigma_{\text{inst}} \leq \sigma_{\text{adm}} \Leftrightarrow \frac{M_{\text{máx}} \times y}{I} \leq \frac{\sigma_{\text{ced}}}{\text{C.S.}} \quad (13)$$

$$\frac{2\,774,43 L_{\text{máx}}^2 \times 0,5}{\frac{\pi}{4} \times (0,5^4 - 0,4^4)} \leq \frac{416 \times 10^6}{1,5}$$

$$L_{\text{máx}} \leq 76,12 \text{ m}$$

Como o comprimento de influência de cada suporte (1,8 m) é inferior aos 76,12 metros, conclui-se que, em termos de efeitos de flexão devido ao peso próprio o sistema está em perfeita segurança, não existindo deformações plásticas.

O comprimento máximo que o tubo pode ter, para uma flecha arbitrada de 5 mm, foi calculado com recurso à equação (14).

$$f = \frac{-5 \times q \times L^4}{384 \times E \times I} \quad (14)$$

$$0,005 = \frac{-5 \times 22195,4 \times L^4}{384 \times 210 \times 10^9 \times \frac{\pi}{4} \times (0,5^4 - 0,4^4)}$$

$$L = 18,01 \text{ m}$$

Para uma flecha arbitrada de 5 mm, o tubo poderá ter um comprimento máximo de 18,01 metros.

4.2.1.6 Dimensionamento do fuso e do respetivo sistema de acionamento

Neste subcapítulo é realizado o estudo do dimensionamento do fuso e do respetivo sistema de acionamento. De forma, a promover uma melhor organização da informação optou-se por dividir este estudo, nos seguintes tópicos:

- Dimensionamento do fuso e da fêmea trapezoidal;
- Dimensionamento do sistema de acionamento;
- Dimensionamento do sistema de guiamento dos cabos elétricos do motor;
- Sistema de segurança do fuso e do respetivo sistema de acionamento.

Dimensionamento do fuso e da fêmea trapezoidal

O fuso é o componente responsável pela transmissão do movimento do motor para os suportes das hastes e, conseqüentemente, pelo ajuste da distância entre os rolos, de forma a permitir o suporte de tubos de diferentes diâmetros. Este componente necessita de possuir rosca direita e esquerda. Desta forma, quando se dá o acionamento do fuso, os suportes da haste movimentam-se simetricamente em sentidos opostos, tal como demonstrado na Figura 84.

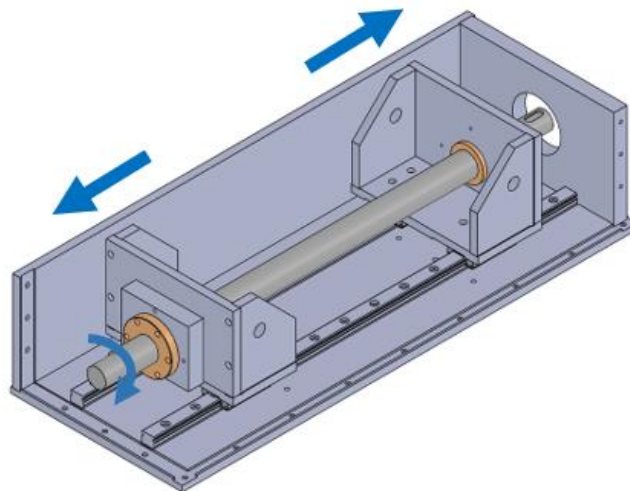


Figura 84 - Representação do fuso e das fêmeas trapezoidais

As forças R_{Ax} e R_{Bx} , determinadas no subcapítulo 4.2.1.4 (Cálculo das forças a que o suporte está sujeito), traduzem-se na carga axial aplicada no suporte da haste, que por sua vez indica a carga axial a que o fuso está sujeito (108 162 N). Conhecendo o valor desta força é possível proceder ao dimensionamento do fuso. Este processo é realizado com o auxílio do configurador da Bornemann, uma vez que se trata de uma empresa especializada na conceção de componentes roscados. Na Tabela 56 encontram-se representados os parâmetros fundamentais inseridos no configurador.

Tabela 56 - Parâmetros para o dimensionamento do fuso

Parâmetros para o dimensionamento do fuso	
Tipo de carga aplicada	Carga de tração de repouso*
Carga axial máxima	108 162 N
Comprimento total do fuso	1200 mm
Tipo de rolamento do fuso	Apoio fixo / apoio fixo
Comprimento da rosca do fuso	1070 mm
Material do fuso	Aço S355J2
Fator de segurança	1,25
Tipo de rosca	Trapezoidal métrica

*A força de tração permanece constante após a aplicação.

Tendo em conta os dados introduzidos no configurador, obtém-se um fuso com as características enumeradas na Tabela 57.

Tabela 57 - Características do fuso a utilizar [76]

Características do fuso a utilizar	
Designação da rosca	Tr 60 x 9
Diâmetro exterior	60 mm
Diâmetro do núcleo	50 mm
Passo	9 mm
Velocidade de rotação máxima	125 rpm
Binário necessário	467,47 N.m
Potência necessária	6,12 kW

É importante salientar que, inicialmente, nas simulações de esforços realizadas no SolidWorks, foi arbitrado que o diâmetro do fuso possui 55 mm. No entanto, no configurador de fusos do fornecedor adotado, o diâmetro a utilizar é de 60 mm. Tendo em conta que o suporte foi dimensionado de acordo com as simulações de esforços

iniciais, era expectável que o diâmetro do fuso obtido no configurador fosse igual ou semelhante ao diâmetro do fuso utilizado nas simulações do SolidWorks. A pequena diferença entre estes diâmetros pode ser explicada pelo facto de que, durante a simulação de esforços, com o intuito de simplificar as simulações, considerou-se o fuso como uma peça sólida, isto é, a rosca trapezoidal não foi representada. Como tal, justifica-se que o diâmetro do fuso obtido no configurador do fornecedor seja superior, pois este tem em conta a existência da rosca trapezoidal.

A ligação do fuso aos suportes das hastes é realizada com recurso a fêmeas trapezoidais. O modelo utilizado é o NFEFM 609 da Tecnopower e as suas características encontram-se representadas na Tabela 58.

Tabela 58 - Características da fêmea trapezoidal (NFEFM 609) [85]

Características da fêmea trapezoidal	
Designação da rosca	Tr 60 x 9
Comprimento da rosca	90 mm
Material	Bronze Cu Sn5 Zn5 Pb5-C

Este componente, representado na Figura 85, permite a transmissão do movimento rotacional do fuso para os suportes das hastes, permitindo que estes se desloquem ao longo do fuso.



Figura 85 - Representação da fêmea trapezoidal (NFEFM 609) [85]

Tendo em conta que o fuso possui rosca direita e esquerda, é necessário que a rosca do furo interior das fêmeas seja correspondente à rosca do fuso. Como tal, uma das fêmeas trapezoidais possui rosca direita, enquanto a outra possui rosca esquerda.

É ainda de salientar que, como a parede de topo do suporte da haste possui uma espessura muito inferior ao comprimento total da fêmea trapezoidal, esta fica com grande parte do seu corpo fora da placa de topo, tal como é possível verificar na Figura 86 (A), resultando numa ligação pouco robusta e mais suscetível a eventuais folgas e

problemas na transmissão de movimento. Para além disso, a fêmea trapezoidal interfere com o veio do suporte das hastes, o que se revela um problema de ainda maior criticidade. Como tal, utilizou-se um calço, de forma que a fêmea trapezoidal fique mais restringida, de forma a promover uma maior robustez da ligação e para não interferir com o veio do suporte das hastes, tal como representado na Figura 86 (B).

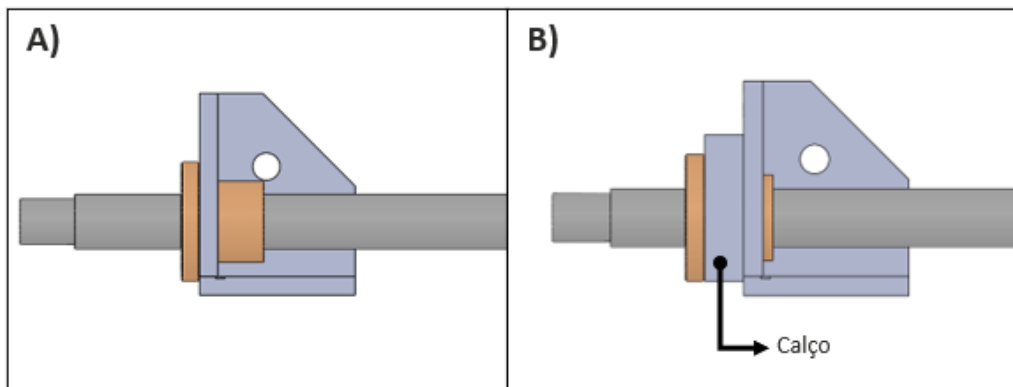


Figura 86 - Representação da posição da fêmea trapezoidal: A) sem a utilização de calço e B) com a utilização de calço

A fixação do calço ao suporte da haste necessita de ser muito precisa, de forma a evitar pequenos desvios entre a fêmea e o fuso, que podem resultar no mau funcionamento do sistema. Desta forma, primeiramente procede-se ao posicionamento do calço e do suporte da haste com recurso a três cavilhas maciças, como representado na Figura 87.

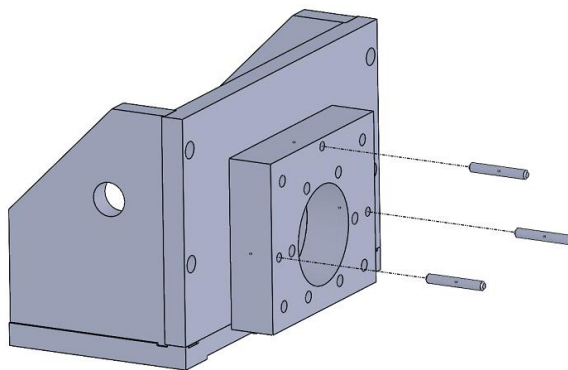


Figura 87 - Posicionamento do calço e do suporte da haste

As cavilhas utilizadas possuem 8 mm de diâmetro e 55 mm de comprimento, pelo que os furos onde estas se encontram alojadas são realizados conforme a norma DIN EN ISO 8735 [86]. No entanto, de forma a facilitar a sua desmontagem, caso necessária, realizou-se um furo de 6 mm de diâmetro e 5 mm de comprimento, como representado na Figura 88. Após o calço se encontrar corretamente posicionado, isto é, os furos do calço e da placa de topo do suporte da haste estarem alinhados, procede-se à fixação destes dois componentes com quatro parafusos, como representado na Figura 89.

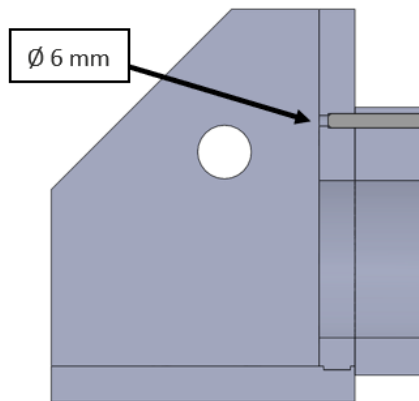


Figura 88 - Representação do furo que permite a desmontagem da cavilha

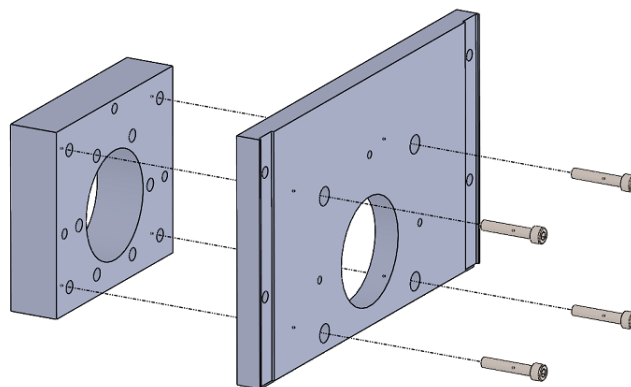


Figura 89 - Fixação do calço à placa de topo do suporte da haste

Por fim, procede-se à fixação da fêmea trapezoidal, que irá ser aparafusada ao calço, tal como é possível verificar na Figura 90.

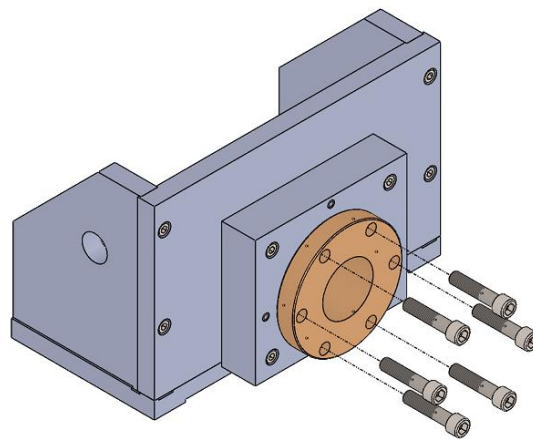


Figura 90 - Representação da fixação da fêmea trapezoidal

Dimensionamento do sistema de acionamento

Após dimensionar a fêmea trapezoidal, é necessário definir o motor que promove o acionamento do fuso. Para tal, é tido em conta que o motor necessita de um binário de 467,47 N.m e de uma potência de 6,12 kW. Estes dados encontram-se representados na

Tabela 57 (obtidos através do processo de dimensionamento do fuso). O motor adotado para o acionamento do fuso é o LSES 132 MU da Nidec (Figura 91).



Figura 91 - Motor LSES 132 MU [87]

Na Tabela 59 é possível verificar as características técnicas do motor em questão. Tal como é possível verificar, o binário máximo do motor é inferior ao binário necessário para o acionamento do fuso. Como tal, utilizou-se um moto redutor de forma a reduzir a velocidade de rotação do motor e, consequentemente, aumentar o binário máximo, de forma a permitir o acionamento do fuso. O moto redutor adotado trata-se do modelo NRV-P110 da Motovario e encontra-se representado na Figura 92.

Tabela 59 - Características do motor LSES 132 MU [87]

Características do motor LSES 132 MU	
Número de fases	3
Potência	7,5 kW
Voltagem	400 V
Frequência	50 Hz
Velocidade nominal	1458 rpm
Binário máximo	49,1 N.m
Peso do motor	62,6 kg
Diâmetro do veio de saída	38 mm



Figura 92 - Moto redutor NRV-P110 [88]

As características referentes ao moto redutor encontram-se na Tabela 60, onde é possível verificar que a sua utilização permite que o conjunto do motor e moto redutor possua um binário superior ao requerido para o acionamento do fuso.

Tabela 60 - Características do moto reduto NRV-P110 [88]

Características do moto redutor NRV-P110	
Razão de redução	10
Binário máximo	851 N.m
Diâmetro veio de entrada	38 mm
Diâmetro veio de saída	42 mm

A ligação do fuso ao moto redutor necessita da utilização de um acoplamento (Figura 93), uma vez que o fuso tem um diâmetro de núcleo de 50 mm, enquanto o diâmetro do veio de saída do moto redutor é de 42 mm. Desta forma, é possível transferir o movimento rotacional do veio de saída do moto redutor para o fuso.



Figura 93 - Representação do acoplamento a utilizar (Norelem - 23022.700) [89]

É ainda de salientar que, devido ao elevado binário necessário, para além do aperto proporcionado pelo próprio acoplamento, existem também duas chavetas, uma em cada extremidade do componente, que impedem que os veios rodem sobre o acoplamento, aumentando assim a robustez da ligação. Na Figura 94 encontra-se representado um esquema da fixação do fuso e do veio de acionamento ao acoplamento. Os rasgos das chavetas não se encontram apresentados no acoplamento representado na Figura 93, uma vez que este componente é comprado, e não possui os rasgos para as chavetas. Como tal, estes serão maquinados posteriormente.

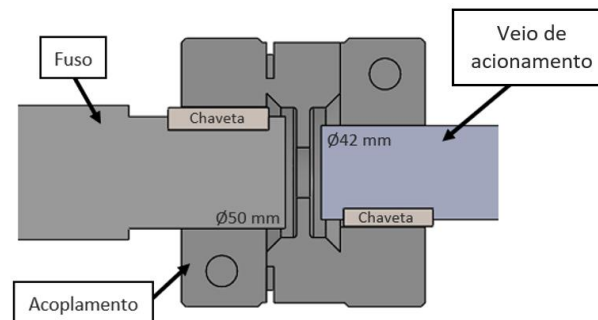


Figura 94 - Representação esquemática da fixação do fuso e do veio de acionamento pelo acoplamento

O moto redutor possui um escatel que percorre todo o comprimento de alojamento do veio de acionamento. Como tal, a fixação deste veio ao moto redutor é realizada através de uma ligação chavetada, tal como representado na Figura 95. Esta ligação resulta na transmissão do movimento rotacional do moto redutor para o veio de acionamento, sem que este escorregue. Para além disso, como o rasgo do alojamento da chaveta é passante, utilizou-se uma anilha de diâmetro superior ao do veio, de forma a impedir que o veio se desloque nessa direção.

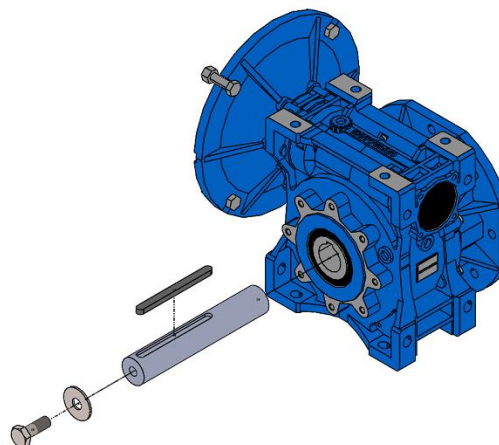


Figura 95 - Representação da vista explodida da ligação do veio de acionamento ao moto redutor

A posição do conjunto moto redutor e motor foi definida tendo em conta o catálogo do moto redutor NRV-P110. Neste catálogo, é possível verificar que este equipamento pode ser montado nas posições B3, B6, B7, e B8, assinaladas na Figura 96.

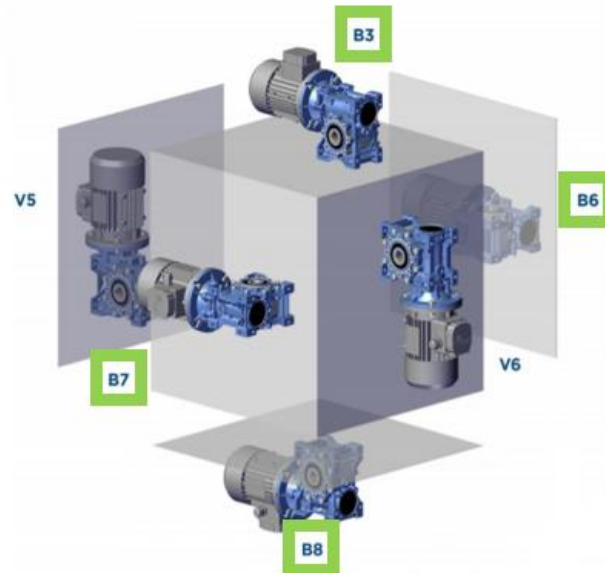


Figura 96 - Posições de trabalho permitidas do moto redutor NRV-P110 [88]

No entanto, a posição de trabalho ideal deste equipamento é a B3, uma vez que é a posição que garante menos fugas de óleo, permite uma melhor lubrificação e um menor aquecimento do moto redutor. Como tal, esta foi a posição adotada no caso em estudo, tal como se encontra representado na Figura 97. A fixação do moto redutor à placa lateral da base do suporte é realizada através da flange de saída do moto redutor.

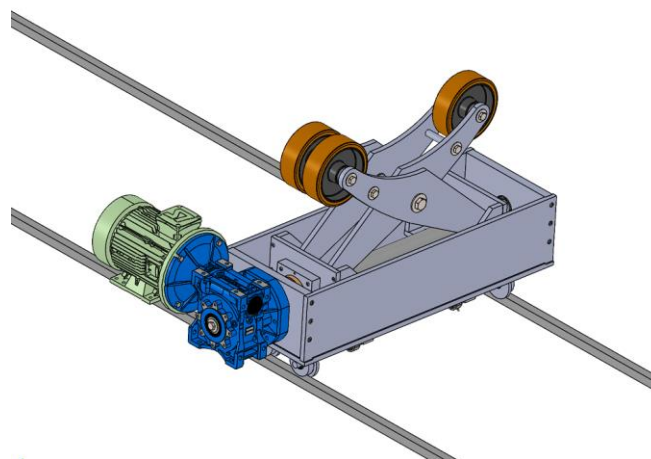


Figura 97 - Representação do posicionamento do moto redutor

Dimensionamento do sistema de guiamento dos cabos elétricos do motor

O cabo utilizado pelo motor é do tipo 4G4, o que significa que este é constituído por quatro condutores de secção de 4 mm², tal como representado na Figura 98.



Figura 98 - Cabo utilizado pelo motor (Tipo de cabo: 4G4) [83]

O guiamento dos cabos do motor é realizado com recurso a calhas articuladas, idênticas à representada na Figura 53. Tal como verificado no subcapítulo 4.2.1.5 (Determinação da quantidade de suportes necessários) o sistema em estudo necessita de três suportes de tubos e, conseqüentemente, três motores. Logo, o sistema necessita de três calhas que permitam o de guiamento de cabos, sem que haja cruzamento dos mesmos.

A calha utilizada é da série 2500 da Igus e possui tampas de proteção ao longo do seu comprimento, uma vez que esta irá estar num ambiente sujo, onde existe o risco de resíduos provenientes do processo de corte de tubo danificarem os cabos do motor. As características dimensionais deste componente encontram-se na Tabela 61.

Tabela 61 - Características dimensionais da calha articulada [83]

Características dimensionais da calha articulada	
Tipo de aplicação	Deslizante*
Largura exterior	73 mm
Largura interior	57 mm
Raio de curvatura	125 mm
Número de elos da calha	277 mm
Alcance	24 000 mm

*É considerada uma aplicação deslizante, quando a parte superior da calha articulada se sobrepõem à parte inferior [83].

A simulação do posicionamento dos cabos na calha articulada encontra-se representada na Figura 99. Apesar de o motor adotado apenas possuir um cabo, a calha escolhida permite o guiamento de dois cabos, pois caso futuramente se opte por adicionar algum tipo de cabo, não é necessário alterar o sistema de calha articulada. Para além disso, a redução da largura da calha pode levar a que esta perca a sua estabilidade.

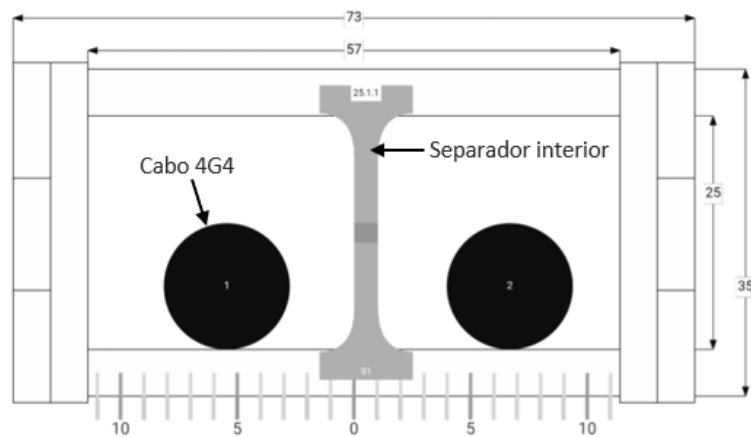


Figura 99 - Representação esquemática do posicionamento dos cabos na calha articulada [83]

De forma a permitir o guiamento dos cabos dos três suportes sem que ocorra cruzamento de cabos, as três calhas articuladas são divididas por duas guias, da seguinte forma:

- Guia A: uma calha articulada;
- Guia B: duas calhas articuladas em funcionamento simultâneo.

Guia A: uma calha articulada

A guia A tem um comprimento de 24 m e permite o acoplamento de uma calha articulada. Esta possui uma das extremidades fixas no meio da guia, permitindo que, com apenas 12 metros de calha, seja possível abranger o curso do suporte de 24 metros. O funcionamento da calha articulada da guia A encontra-se representado na Figura 100. Nesta figura é possível verificar que, no troço A, a calha movimenta-se sobre uma guia com barras deslizantes, representadas na Figura 100 (A). Por outro lado, no troço B, a calha assenta sobre a guia representada na Figura 100 (B) e, por sua vez, desloca-se sobre si própria.

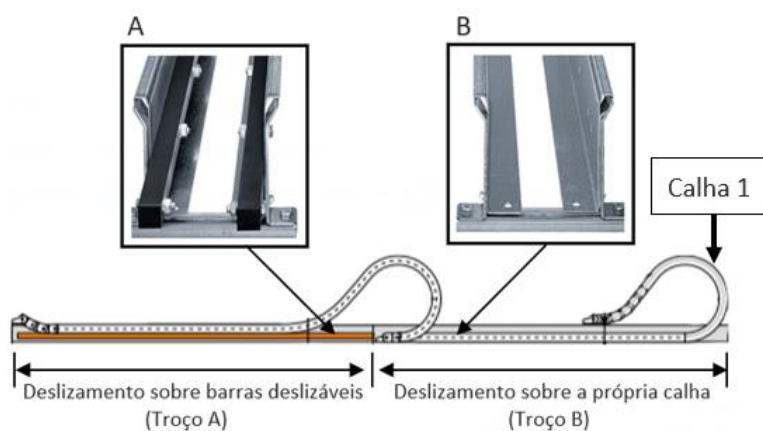


Figura 100 - Esquema do funcionamento da calha articulada da guia A: A) Guia com barras deslizáveis e B) Guia simples (adaptado de [83])

Guia B: duas calhas articuladas em funcionamento simultâneo

A guia B encontra-se disposta paralelamente à guia A e permite o funcionamento simultâneo de duas calhas articuladas, tal como representado na Figura 101. Esta guia não necessita de barras deslizáveis, tendo em conta que as calhas deslizam sobre elas. Analisando o movimento da calha 2, observa-se que esta desliza sobre si própria até ao seu ponto de fixação. Após ultrapassar este ponto, a calha 2 desliza sobre a calha 3.



Figura 101 - Esquema do funcionamento da calha articulada da guia B (adaptado de [83])

Sistema de segurança do fuso e do respetivo sistema de acionamento

O movimento rotacional do motor promove o acionamento do fuso e, consequentemente, o movimento linear dos suportes das hastes. O movimento rotacional do fuso no sentido horário promove o movimento divergente dos suportes das hastes, tal como representado na Figura 84, que em excesso pode conduzir a que estes ultrapassem a zona roscada do fuso, perdendo-se a transmissão de movimento do fuso para as hastes. Por outro lado, o movimento do fuso no sentido anti-horário leva a que as hastes estabeleçam um movimento convergente. Este movimento em excesso resulta no impacto dos rolos e, consequentemente, na sua danificação. Como tal, de forma a prevenir esta eventual falha, utiliza-se um interruptor de limite com alavanca de rolo ajustável, tal como representado na Figura 102.



Figura 102 - Representação do interruptor de limite com alavanca de rolo ajustável [90]

Este componente encontra-se ligado a um recetor programável. Como tal, quando ocorre o movimento rotacional do motor em excesso, a alavanca de rolo entra em contacto com um batente e emite um sinal ao recetor, com a ordem de desligar o motor, evitando a danificação do sistema. Na Figura 103 encontra-se apresentada a aplicação do interruptor no suporte a projetar, para quando este se encontra com os suportes das hastes no limite de maior afastamento. Este componente é aparafusado à placa lateral do suporte e é acionado assim que a placa de topo da haste pressiona a alavanca de rolo do interruptor.

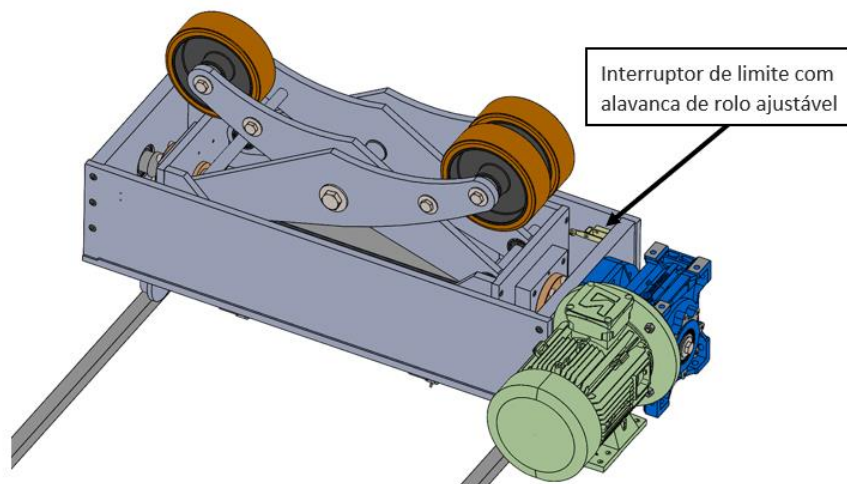


Figura 103 - Representação do posicionamento do interruptor para o controlo do maior afastamento do suporte das hastes

Por outro lado, no controlo do menor afastamento do suporte das hastes, o interruptor é aparafusado à placa lateral do suporte das hastes. No entanto, a alavanca de rolo não se encontra na direção de nenhuma superfície. Como tal, de forma a poder acionar o interruptor é fabricado um batente e, posteriormente, aparafusado na placa lateral do suporte da haste oposto, tal como representado na Figura 104.

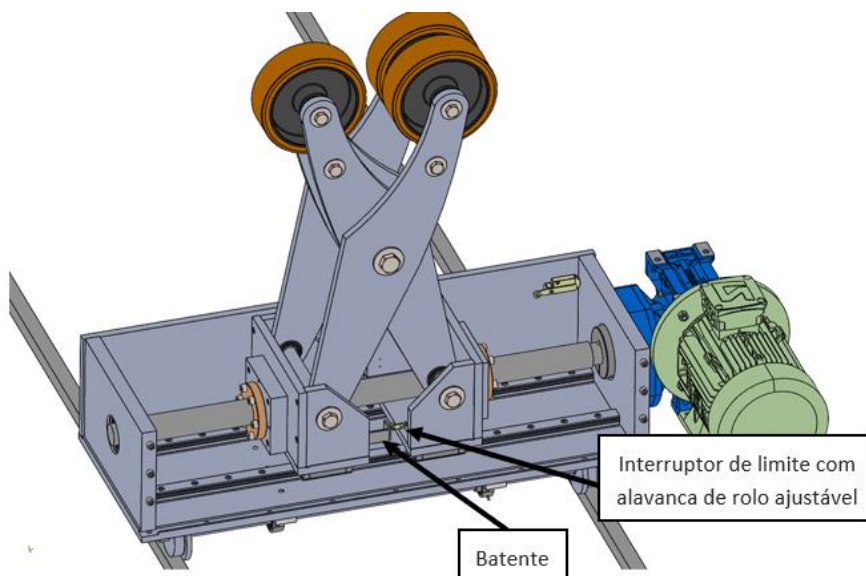


Figura 104 - Representação do posicionamento do interruptor para o controlo do menor afastamento do suporte das hastes

É ainda de salientar que o interruptor de limite com alavanca de rolo ajustável, tal como o nome indica, permite o ajuste da alavanca, nomeadamente aumentar ou diminuir os limites de afastamento dos suportes das hastes. No entanto, os valores críticos de

afastamento dos suportes das hastes, que se excedidos implicam a danificação do suporte, encontram-se representados na Tabela 62.

Tabela 62 - Valores limite de afastamento dos suportes das hastes

Menor afastamento do suporte das hastes	Maior afastamento do suporte das hastes
98,78 mm	562,84 mm

4.2.1.7 Dimensionamento do sistema de movimento linear

A escolha das guias está diretamente ligada à escolha do carro guia, uma vez que estes dois elementos necessitam de estar em concordância geométrica, de forma a que não existam folgas e o movimento seja suave e fluído. O sistema de movimento linear a utilizar depende do esforço que é aplicado no suporte quando este está carregado. Como tal, o dimensionamento destes componentes é realizado com recurso às cargas calculadas anteriormente, representadas na Figura 81. Estas cargas são referentes ao pior cenário possível, isto é, ao suporte de tubos com as máximas dimensões definidas. Como tal, o sistema de movimento linear necessita de suportar uma carga de 20 kN, referente ao peso do tubo. De forma a obter o valor da carga que o sistema de guias necessita de suportar, à carga de 20 kN é somada a carga referente ao peso de todos os componentes do suporte, cujo peso é suportado pelo sistema de guias. Sendo assim, na Figura 105 é possível verificar que a força transversal aplicada num suporte da haste é de aproximadamente 22,1 kN. Por sua vez, o suporte da haste transmite a carga para os dois carros guia, tal como é possível verificar no esquema da Figura 105.

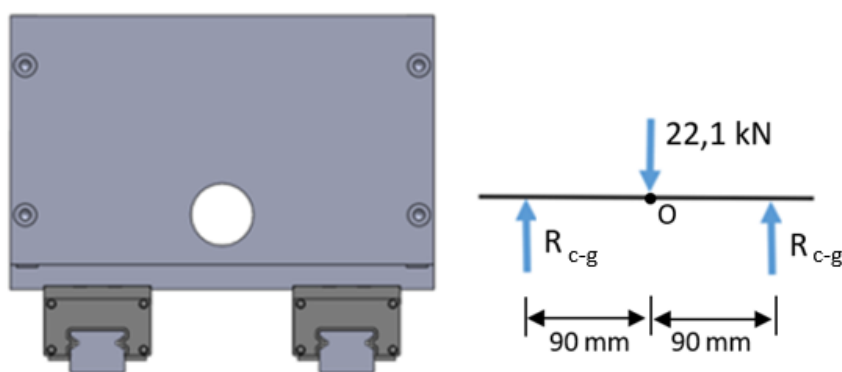


Figura 105 - Representação da transferência de carga do suporte da haste para os carros-guia e respetivo diagrama de equilíbrio

De forma a determinar a carga que cada conjunto de movimento linear (guia + carro-guia) irá estar sujeito, realizou-se o seguinte sistema:

$$\begin{cases} \sum F_y = 0 \\ \sum M_o = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} 2R - 22,1 = 0 \Leftrightarrow R = 11,05 \text{ kN} \\ (-90 \times R_{c-g}) + (90 \times R_{c-g}) = 0 \end{cases}$$

A carga transversal aplicada no suporte é transferida simetricamente para ambos os sistemas de movimento linear. A carga R_{c-g} , representada na Figura 105, é de 11,05 kN, sendo a carga aplicada no pior cenário possível.

O fornecedor adotado para estes componentes é a IKO Nippon Thompson, uma vez que se trata de uma empresa já reconhecida pela Martifer. Com recurso ao catálogo de sistemas lineares de movimento, verificou-se que a solução a adotar na aplicação em causa são os carros-guia MHD 35 e as guias LWH 35. Estes dois componentes apresentam uma alta precisão e rigidez, e encontram-se projetados para aguentar cargas elevadas. A carga transversal máxima que o conjunto guia e carro-guia permite suportar é de 53 700 N. Este valor é muito superior aos 11,05 kN a que cada carro-guia do sistema em estudo está sujeito. No entanto, a escolha deste modelo deve-se ao facto de as suas dimensões estruturais promoverem o aumento da estabilidade e robustez do suporte de tubos. Na Figura 106 é possível observar o sistema de movimentação linear a utilizar no suporte de tubos.

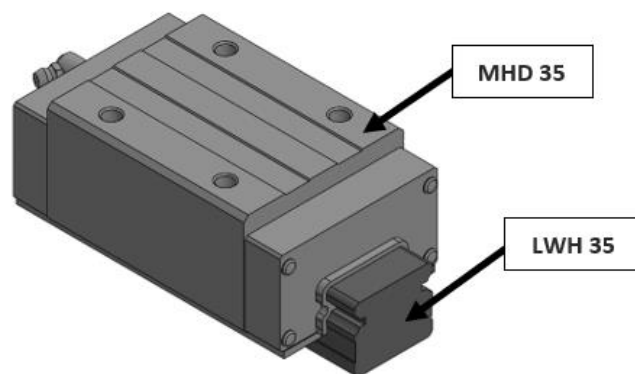


Figura 106 - Representação do sistema de movimento linear a utilizar [91]

4.2.1.8 Dimensionamento dos rolos

Os rolos são os componentes que irão estar em contacto diretamente com o tubo e, consequentemente, o peso do tubo é transferido para estes. Tendo em conta os resultados obtidos através da realização do diagrama de equilíbrio do suporte de tubos, é possível verificar que a carga máxima que irá ser aplicada nos rolos é de 25 115,57 N. Como tal, optou-se pela utilização do rolo da marca Elesa+Ganter, representado na Figura 107. Este já possui um rolamento embutido e é formado por um centro de ferro fundido e por uma cobertura de poliuretano, sendo ideal para aplicações que implicam cargas elevadas.



Figura 107 - Rolo do fornecedor Eles+Ganter [92]

O fornecedor apresenta vários modelos que variam nas dimensões e consequentemente na carga suportada. Na Tabela 63 encontram-se representadas as características técnicas dos rolos do modelo RE.F4-250-RSL, escolhido para o presente projeto.

Tabela 63 - Características técnicas do rolo RE.F4-250x80-RSL [92]

Características do rolo RE.F4-250-RSL	
Dimensões [Diâmetro x Largura]	250 x 80 mm ²
Material corpo da roda	Ferro fundido
Material revestimento exterior da roda	Poliuretano
Rolamento	Rolamento de esferas $\varnothing_{\text{int.}} = 25 \text{ mm}$
Carga estática	28 000 N

A carga máxima suportada por este rolo é de 28 kN, sendo superior à carga máxima para o pior cenário possível do caso em estudo (25 115,57 N). Como tal, este rolo é adequado para a aplicação em causa.

4.2.1.9 Projeto do sistema de movimentação longitudinal do suporte

O pórtico presente em chão de fábrica possui um sistema de guias, tal como já foi descrito anteriormente. Este sistema, apesar de funcional, não se encontra nas

melhores condições. Para além disso, também não permite que o suporte seja movimentado longitudinalmente, de forma manual. De facto, para garantir este movimento, seria necessário acoplar um motor elétrico ao suporte de tubos. Como tal, optou-se por desenvolver um sistema de guias novo para substituir o existente, que permita que o suporte de tubos se movimente longitudinalmente ao longo do pórtico, de forma manual. O sistema de movimento linear a projetar é constituído por rodas de aço de flange simples e perfis quadrados maciços (guias), tal como representado na Figura 108. Estes últimos encontram-se a uma distância de 957 mm, respeitando as dimensões da zona de trabalho do pórtico existente em chão de fábrica, apresentadas na Tabela 25.

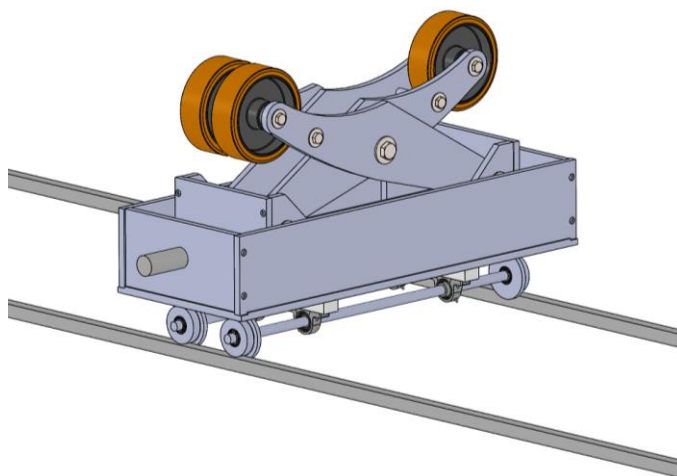


Figura 108 - Representação do sistema de guias aplicado no suporte de tubos

A carga referente ao peso de tubo, que as rodas necessitam de suportar, é de 40 kN. No entanto, a este valor é necessário adicionar a carga associada ao peso de todos os componentes, cujo peso é suportado pelas rodas, sendo de 4412 N (valor obtido através do *software* SolidWorks). Sendo assim, o valor total que as rodas necessitam de suportar é de 44 412 N. Este valor foi tido em conta no momento da escolha das rodas a utilizar, tendo-se optado pela utilização das rodas de aço de flange simples (SSF 100/25/KM25) da Brauer, representadas na Figura 109. Estas demonstram-se como uma boa solução para aplicações de cargas elevadas e possuem um rasgo para chaveta.



Figura 109 - Roda de aço de flange simples (Brauer – SSF 100/25/KM25) [93]

Cada roda do modelo SSF 100/25/KM25 suporta uma carga de 13 000 N. Tendo em conta que são utilizadas quatro rodas, a carga total que as rodas permitem suportar é de 52 000 N, valor superior ao necessário. É ainda de salientar, que o facto de as rodas serem normalizadas e de serem obtidas através de um fornecedor certificado, leva a que não seja necessário aplicar um novo coeficiente de segurança na realização desta escolha.

As rodas trabalham sobre perfis quadrados maciços, que guiam o movimento. O formato da roda adotado promove o movimento linear uniforme do suporte de tubos, isto é, sem que um dos lados avance mais do que o outro. A fixação dos perfis quadrados ao estrado do pórtico é realizada através de soldadura. As rodas de aço de flange simples são fixas ao veio das rodas através de uma chaveta. Para além disso, o seu movimento longitudinal ao longo do veio é restringido através do uso de um anel elástico, tal como representado na Figura 110.

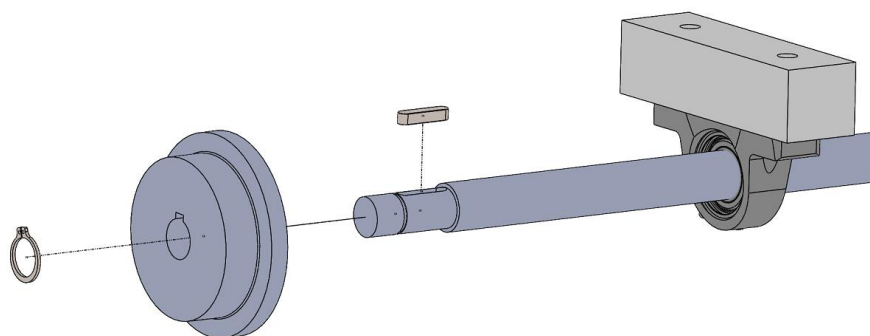


Figura 110 - Representação da fixação da roda

A ligação do veio das rodas ao suporte é realizada através de mancais de rolamentos de esferas fixados, através de uma ligação aparafusada, à base do suporte de tubos. No entanto, tal como é possível verificar na Figura 111, são utilizados calços entre o mancal

e a base do suporte, de forma que as rodas não entrem em contacto com a base do suporte.

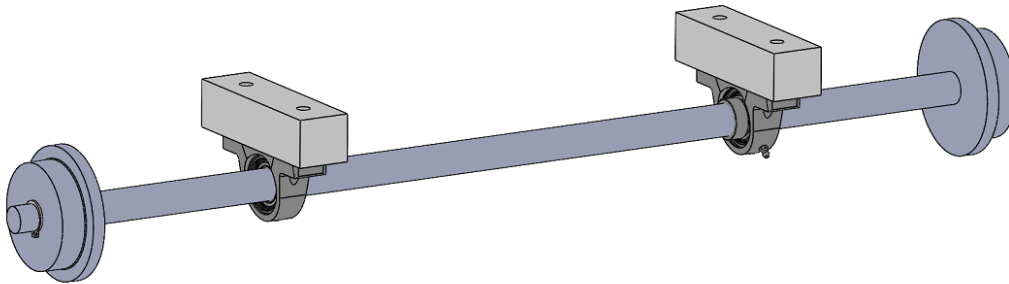


Figura 111 - Representação do veio das rodas de dupla flange e dos componentes a ele associados

O modo de fixação do mancal de rolamentos e do calço à base do suporte de tubos encontra-se representado em corte na Figura 112.

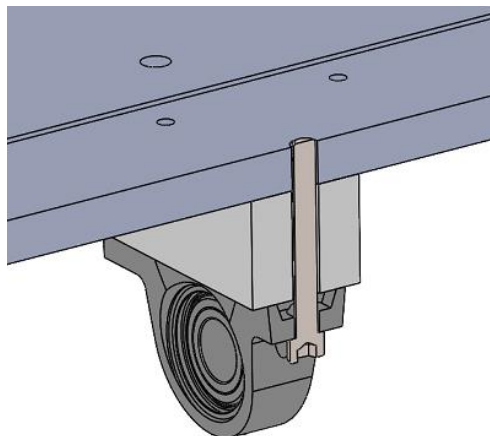


Figura 112 - Representação do modo de fixação do mancal de rolamentos e do calço à base do suporte de tubos

Na Figura 113 é possível observar a vista lateral do suporte de tubos e do respetivo sistema de guias, sendo facilmente perceptível que, caso não se utilizassem os calços, as rodas entrariam em conflito com a base do suporte.

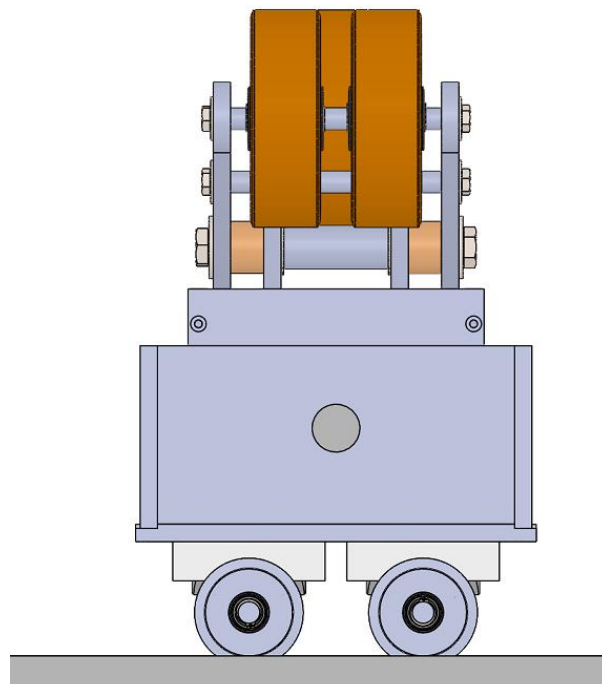


Figura 113 - Vista lateral do suporte de tubos e do sistema de guias

Refere-se que não se considerou necessário o projeto de um sistema de travagem, uma vez que o elevado peso do conjunto do suporte/tubo e o atrito entre o tubo e os rolos não permitem que o suporte se desloque longitudinalmente, quando carregado.

4.2.2 Grupo de análise II – Bucha fixadora

Este subcapítulo destina-se ao projeto da bucha fixadora. Tal como verificado no subcapítulo referente à tempestade de ideias deste componente, apenas a bucha irá ser alterada, pelo que o corpo e o adaptador da bucha (elementos 1 e 2 da Figura 114), não serão modificados. Determinou-se ainda que o fabrico da bucha necessita de ter em conta as seguintes diretrizes:

- A bucha é comprada;
- O sistema de garras deve possuir uma geometria que permita a fixação exterior e interior do tubo;
- O acionamento das garras deverá ser hidráulico.

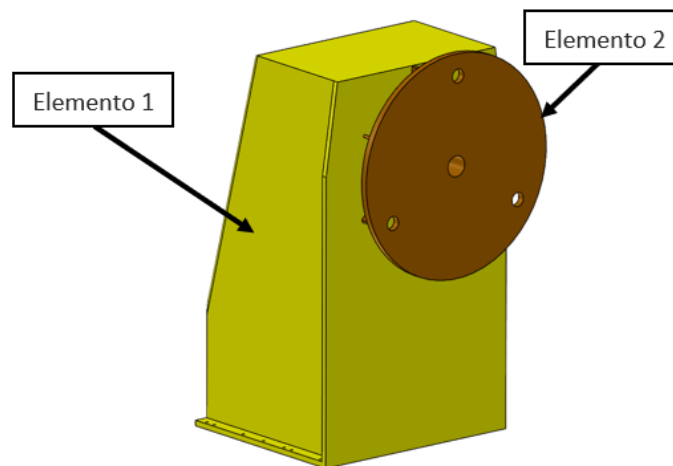


Figura 114 - Representação CAD da estrutura da bucha fixadora existente em chão de fábrica: (1) estrutura da bucha e (2) adaptador do prato da bucha fixadora

Tendo em conta as diretrizes mencionadas e os requisitos da empresa, representados na Tabela 29, optou-se pela utilização da bucha da Schunk, uma vez que se trata de uma empresa especializada em sistemas de fixação. O modelo adotado encontra-se representado na Figura 115 e denomina-se ROTA NCO 1000 Z520-SV90° e apresenta-se como uma solução que satisfaz todas as condições apresentadas.

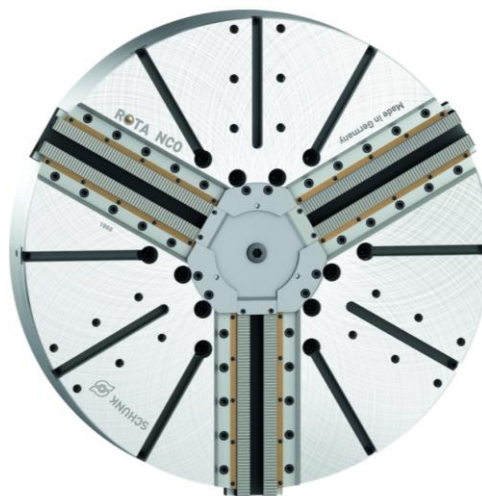


Figura 115 - Bucha fixadora - ROTA NCO 1000 Z520-SV90° [94]

A bucha adotada possui guiamientos para três garras, não apresentando furo central. As características desta bucha encontram-se representadas na Tabela 64.

Tabela 64 - Características da bucha fixadora adotada (ROTA NCO 1000 Z520-SV90°) [94]

Características da bucha fixadora adotada	
Diâmetro do prato	1000 mm
Espessura do prato	180 mm
Intervalo de diâmetros de tubo a suportar	29 – 1000 mm
Número de garras	3
Modo de acionamento	hidráulico
Força máxima de fixação	410 kN
Rotação máxima	700 rpm
Peso	707 kg

Na Figura 116 é possível verificar um esquema referente ao funcionamento da bucha fixadora adotada. O movimento do pistão móvel, acionado hidráulicamente, promove o deslocamento sincronizado das garras, transferindo a força hidráulica para as mesmas.

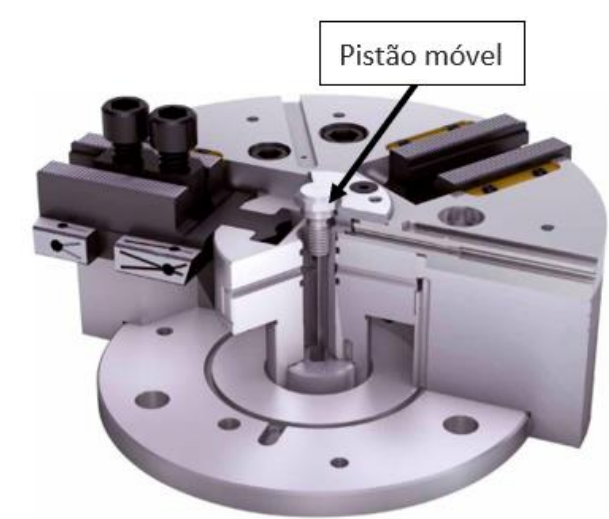


Figura 116 - Esquema referente ao funcionamento da bucha fixadora adotada [94]

O conjunto hidráulico (OPUS-V250) incorporado na bucha é responsável pela movimentação do pistão móvel e encontra-se representado na Figura 117. Este permite uma força de tração de 180 kN para uma pressão de 4 MPa. No entanto, a pressão máxima permitida pelo equipamento é de 5 MPa.



Figura 117 - Conjunto hidráulico OPUS-V250 [94]

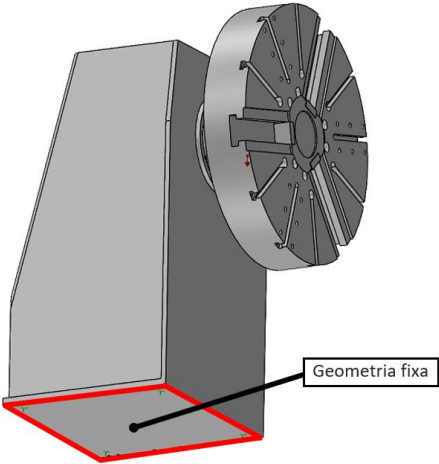
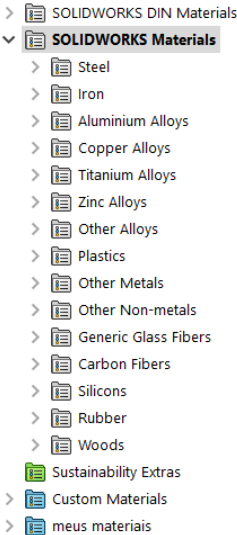
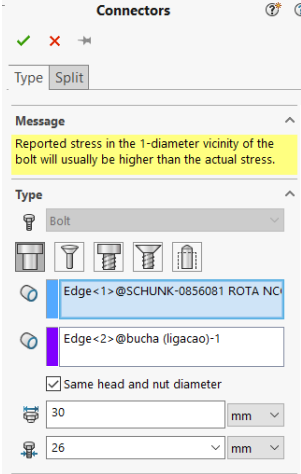
As garras utilizadas são fabricadas em aço 16MnCr5 endurecido e denominam-se SP-HB 800 (Figura 118). Estas são projetadas tanto para a fixação exterior do tubo, como para a interior, pois possuem saliências nas superfícies que contactam com o tubo, o que resulta num aumento da capacidade de fixação do mesmo.



Figura 118 - Garras SP-HB 800 [94]

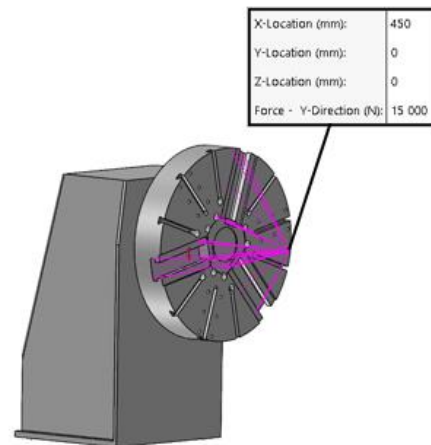
De forma a perceber se a estrutura da bucha presente em chão de fábrica permite suportar com segurança a bucha adotada, foi realizada uma análise estática linear com recurso à ferramenta *simulation* do Solidworks. Na Tabela 65 encontram-se os passos realizados, de forma a obter os esforços que o peso da bucha provoca no conjunto.

Tabela 65 - Passos para a simulação dos esforços a que a bucha está sujeita

Passos	Descrição	Representação
Definição da superfície fixa	A base do corpo da bucha fixadora está fixa ao estrado do pórtico. Como tal, esta é considerada como uma geometria fixa.	
Atribuição de materiais	De forma que a simulação seja mais precisa é necessário que os diferentes componentes sejam referenciados com o respetivo material. O material adotado foi S355J2+N.	
Atribuição dos contactos	Para que os resultados do <i>software</i> sejam os mais precisos possível, é necessário restringir os contactos. É de salientar a criação de contactos do tipo de parafuso para simular o modo de fixação do prato da bucha à estrutura de apoio.	

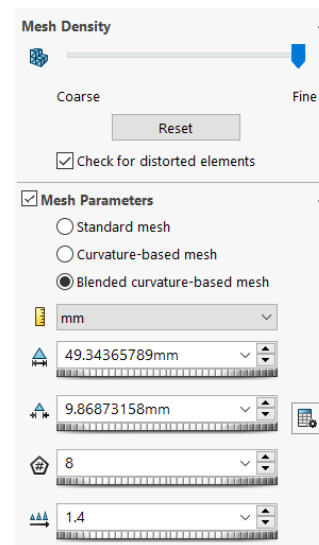
Aplicação dos esforços

A aplicação dos esforços foi realizada tendo em conta que o corpo da bucha fixadora necessita de suportar o peso da bucha e o peso referente a metade da distância entre a bucha e o suporte (comprimento de influência). Como tal, contabilizou-se o peso da bucha e aplicou-se uma força remota equivalente ao peso de 0,9 metros de tubo (metade do comprimento de influência), cujo ponto de aplicação visa em simular o seu centro de gravidade e dista 450 mm do prato da bucha.



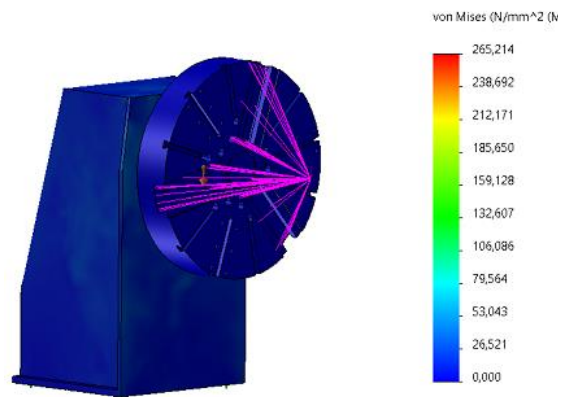
Criação da malha

Foi utilizada uma malha fina de forma a obter resultados com um maior nível de precisão. O tipo de elemento da malha é o tetraedro linear e o seu tamanho mínimo e máximo encontra-se representado na figura à direita.



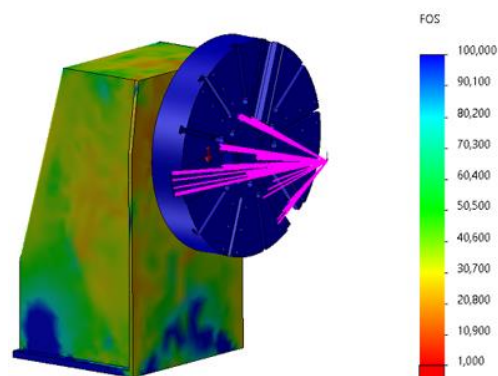
Obtenção
dos
resultados

Tendo todas as variáveis definidas, procede-se à realização do estudo, onde o *software* apresenta os esforços a que a bucha fixadora irá estar sujeita.



Fator de
segurança

Os resultados das simulações possuem um fator de segurança mínimo de 1,57.



O esforço máximo referente ao peso da bucha fixadora e ao peso do comprimento de tubo de metade da distância entre o suporte e a bucha é de 265,21 MPa. Tendo em conta que este valor é inferior à tensão de cedência do material (416 MPa), considerou-se que o corpo da bucha suporta com segurança a bucha fixadora adotada.

4.2.3 Grupo de análise III – Processo de corte

Tal como verificado no subcapítulo anterior, o processo de corte a utilizar para o projeto em estudo é o oxicorte. Optou-se pela utilização de uma tocha de oxicorte e dos respetivos acessórios do fornecedor GCE, uma vez que esta marca é especializada neste tipo de equipamentos e apresenta uma boa relação custo/qualidade. O modelo a utilizar denomina-se FIT+two e encontra-se representado na Figura 119. De forma a organizar a informação relativa a este equipamento foi realizada a divisão do subcapítulo nos seguintes tópicos:

- Ciclo de corte;
- Bico de corte e aquecimento;
- Sistema de refrigeração da tocha;
- Acessórios;
- Braço robótico e acoplamento da tocha de oxicorte;
- Gases do processo e respetivo fornecimento.



Figura 119 - Equipamento de oxicorte: GCE - FIT+two [95]

Ciclo de corte

O ciclo de corte da tocha de oxicorte adotada encontra-se representado na Figura 120. Nesta figura é utilizado o exemplo de uma placa de 25 mm de aço carbono para demonstrar as pressões dos diferentes gases utilizados no processo, no decorrer das várias etapas do ciclo de corte.

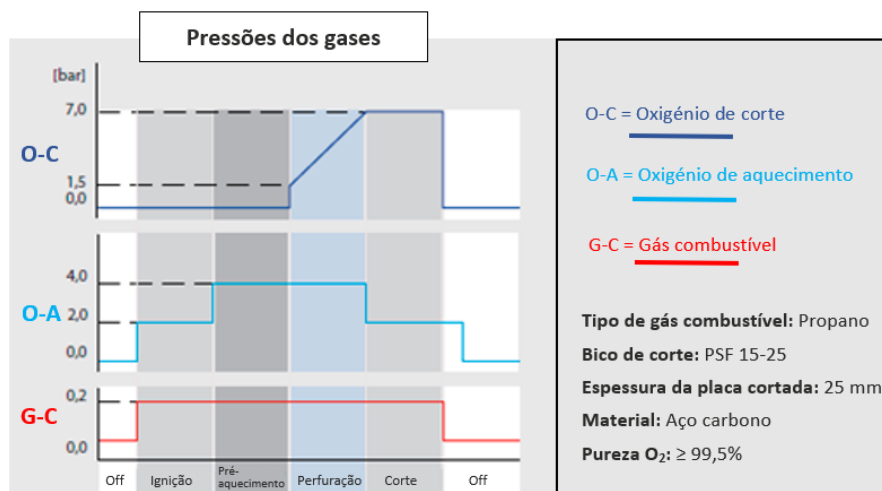


Figura 120 - Diagrama de pressões dos gases de acordo com o ciclo de corte da tocha adotada [95]

É ainda de salientar que a tocha de oxicorte possui um sistema de ignição automática integrado. Desta forma, há um aumento da produtividade deste equipamento devido à redução do tempo de *setup*. A ignição automática promove ainda o aumento da segurança do operador, uma vez que este não necessita de realizar a ignição de forma manual. Na Figura 121 é possível verificar a representação esquemática do processo de ignição da tocha de oxicorte. A ativação da chama ocorre três segundos após o início do fluxo de oxigénio de aquecimento e de gás combustível.

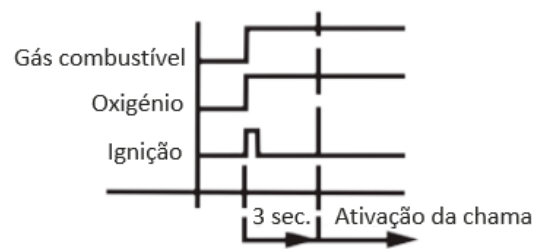


Figura 121 - Processo de ignição da tocha de oxicorte [95]

Bico de corte e aquecimento

A gama de espessuras dos tubos a cortar variam de 10 a 100 mm, tal como referido na Tabela 26. Logo, o bico de aquecimento e os bicos de corte a adotar necessitam de permitir o corte desta gama de espessuras. É ainda de salientar que o fornecedor de ambos os tipos de bicos é a mesma empresa adotada para o fornecimento da tocha de oxicorte, a GCE. O bico de aquecimento adotado (GSF) é projetado para trabalhar com vários tipos de gases combustíveis, incluindo o propano. Para além disso, este permite o corte de uma gama de espessuras de 3 a 100 mm, abrangendo toda a gama de espessuras de chapa a cortar (10 a 100 mm).



Figura 122 - Bico de aquecimento – GSF [95]

Dada a elevada gama de espessuras do tubo, é necessário mais do que um bico de corte, de forma a contemplar toda a gama de espessuras. Na Figura 123 encontra-se representado um exemplo de bico de corte (PSF 15 – 25 mm). Este é projetado exclusivamente para sistemas que utilizam o propano como gás combustível, sendo um dos bicos adotados para o caso em estudo.



Figura 123 - Bico de corte PSF 15-25 mm [95]

Na Tabela 66 representam-se os bicos de corte escolhidos para a aplicação em estudo e os respetivos parâmetros de utilização em função da espessura da chapa a cortar.

Tabela 66 - Parâmetros dos diferentes bicos de corte adotados [95]

								
Bico de corte	Gama de espessuras (mm)	Velocidade de corte (mm/min)	Oxigênio de corte (bar)	Oxigênio de aquecimento (bar)	Gás combustível (bar)	Oxigênio de corte (m³/h)	Oxigênio de aquecimento (m³/h)	Gás combustível (m³/h)
PSF								
3 – 6 mm	3 - 6	795 - 730	2,0 - 5,0	1,5 - 2,0	0,2	0,5 - 1,0	1,0	0,25
PSF								
7 – 15 mm	7 - 15	690 - 575	5,0 - 7,0	2,0	0,2	1,6 - 2,0	1,3	0,32
PSF								
15 – 25 mm	15 - 25	575 - 480	6,0 - 7,0	2,0	0,2	2,5 - 3,1	1,3	0,32
PSF								
25 – 40 mm	25 - 40	480 - 420	6,0 - 7,5	2,0	0,2	3,8 - 4,5	1,3	0,32
PSF								
40 – 60 mm	40 - 60	415 - 355	5,5 - 7,5	2,0	0,2	4,2 - 5,6	1,3	0,32
PSF								
60 – 100 mm	60 - 100	350 - 275	6,0 - 8,5	2,0	0,2	7,6 - 10,6	1,3	0,32

O sistema de troca de bico de corte é projetado de forma a que esta operação seja rápida e fácil. Como tal, a troca de bico de corte não necessita do uso de ferramentas. O método de montagem do bico de corte na tocha encontra-se representado na Figura 124.



Figura 124 - Método de montagem do bico de corte sem ferramentas [95]

Sistema de refrigeração da tocha

Num bico de corte convencional, o calor proveniente do processo de corte é propagado até aos canais de condução dos gases, aquecendo o bico de corte até temperaturas a rondar os 500°C. O sistema COOLEX da GCE, representado na Figura 125, possui canais de refrigeração, onde é mantido um fluxo de oxigénio que reduz a temperatura do bico de corte. A utilização deste sistema permite temperaturas do bico de corte inferiores à dos bicos de corte convencionais, o aumento do desempenho do sistema de corte e o aumento da vida útil do bico de corte.

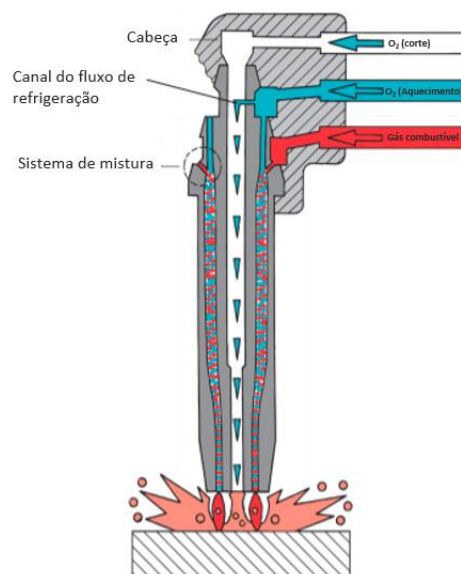


Figura 125 - Representação esquemática do sistema de refrigeração COOLEX [95]

Acessórios

O equipamento possui um conjunto de acessórios fundamentais para o seu bom funcionamento, nomeadamente as válvulas antirretorno, as válvulas de corte, as válvulas reguladoras e o manómetro. Na Tabela 67 encontra-se representada a função de cada um destes elementos para o sistema de oxicorte em estudo.

Tabela 67 - Descrição das funções dos acessórios do equipamento de oxicorte

Componente	Descrição
Manómetro	Permite a leitura da pressão dos gases utilizados.
Válvula de corte	Utilizada para realizar o corte do fornecimento dos gases utilizados.
Válvula antirretorno	É um acessório que promove a segurança do equipamento e a sua principal função, tal como o nome indica, é impedir o fluxo inverso dos gases.
Válvula reguladora	Promove a regulação manual da pressão dos gases do processo, permitindo cumprir os parâmetros de corte estabelecidos pelo fornecedor.
Mangueiras	Permitem o transporte dos gases desde o ponto de abastecimento da rede instalada na fábrica até à tocha de oxicorte.

Braço robótico e acoplamento da tocha de oxicorte

Após a determinação da tocha de oxicorte a utilizar, é necessário definir de que forma é que esta será introduzida no sistema em estudo. Tal como referido anteriormente, o pórtico existente em chão de fábrica possui um braço robótico FANUC M16i, tal como o representado na Figura 126, onde irá ser acoplada a tocha de oxicorte.

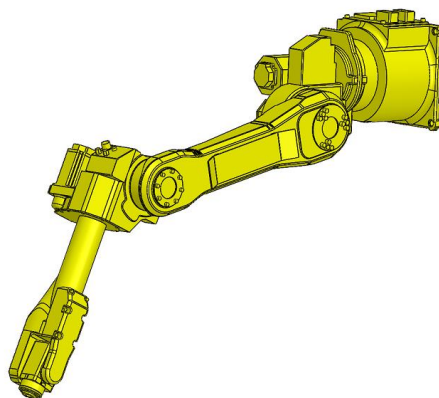


Figura 126 - Robot FANUC M16i [53]

Este equipamento possui seis eixos de movimento, tal como representado na Figura 127, tendo a capacidade de suportar uma carga máxima de 16 kg. As restantes especificações técnicas deste componente encontram-se representadas no anexo 1.

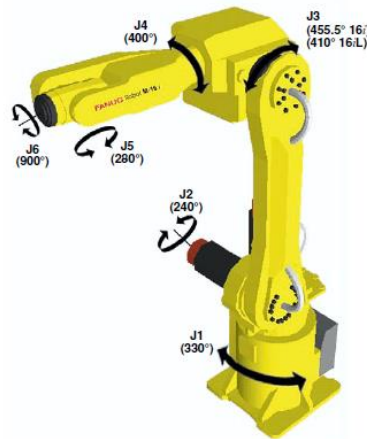


Figura 127 - Representação dos eixos de movimento do robot FANUC M16i [53]

O braço robótico presente no pórtico existente em chão de fábrica possui uma grande flexibilidade de movimentos, de forma a permitir realizar cortes de elevada complexidade numa vasta gama de diâmetros de tubo. Como tal, para além dos movimentos rotacionais associados ao braço robótico, também é possível verificar que este possui três movimentos lineares auxiliares, tal como representado na Figura 128.



Figura 128 - Representação dos eixos de movimento auxiliares do robot FANUC M16i no pórtico existente em chão de fábrica

O braço robótico FANUC M16i possui uma ponteira, tal como a representada na Figura 129, na qual irá ser fixada a tocha de oxicorte.

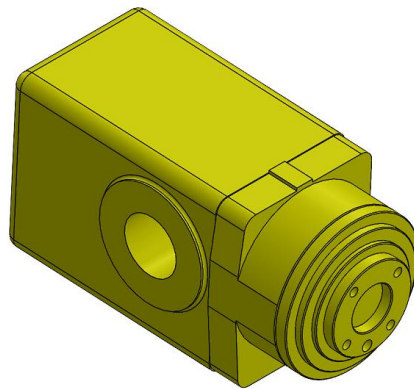


Figura 129 - Ponteira do robot FANUC M16i [53]

Desta forma, projetou-se uma peça com a geometria adequada para realizar a fixação da tocha de oxicorte ao braço robótico. Esta peça encontra-se representada na Figura 130 e denomina-se de veio de fixação do sistema de corte. A sua fixação à ponteira do braço robótico é realizada com recurso a quatro parafusos e uma cavilha maciça que garante o seu posicionamento.

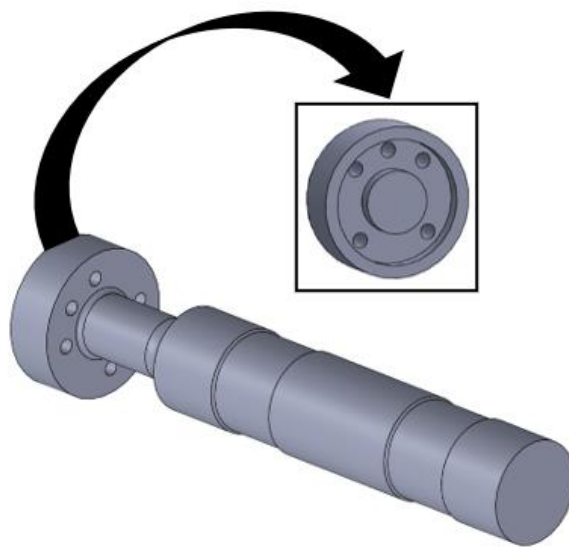


Figura 130 – Representação do veio de fixação do sistema de corte e do respetivo sistema de conexão à ponteiro do robot FANUC M16i

A tocha de oxicorte é fixa ao veio de fixação do sistema de corte através da utilização de dois grampos, tal como o representado na Figura 131. Estes possuem um sistema próprio de aperto e posicionam-se nos rasgos existentes no veio, de forma a evitar o seu deslizamento.

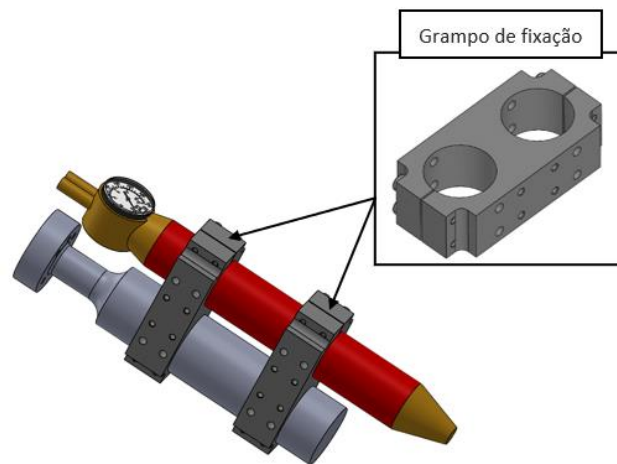


Figura 131 - Fixação da tocha de oxicorte ao veio de fixação do sistema de corte através de grampos

Na Figura 132 é possível observar a tocha de oxicorte e o respetivo sistema de fixação aplicados no braço robótico.

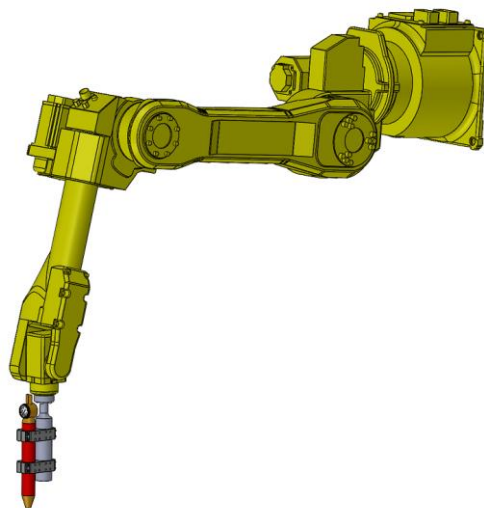


Figura 132 - Representação da tocha de oxicorte aplicada no braço robótico

Gases do processo e respetivo fornecimento

O processo de oxicorte necessita do fornecimento de oxigénio e de um gás combustível. Para o caso em estudo é utilizado o propano, uma vez que a empresa já possui uma tubagem deste gás instalada. A tocha de oxicorte adotada apenas permite a regulação manual dos gases, pois, apesar de a gama de espessura de tubos a cortar variar entre 10 e 100 mm, a recorrência de troca de espessuras de tubo a cortar é reduzida, isto é, por norma são cortadas elevadas quantidades de tubo com a mesma espessura, não havendo necessidade de alterar as pressões dos gases por longos períodos.

Os gases utilizados no processo de corte (oxigénio e propano) são fornecidos através de tubos, sendo que estes necessitam de acompanhar os movimentos do braço robótico.

Como tal, o pórtico em estudo possui um conjunto de três lagartas que permitem o acoplamento dos cabos dos gases do processo de corte. Cada um destes sistemas de lagartas permite o guiamento dos cabos de gás ao longo dos três eixos de movimento auxiliares do robot de corte, definidos como L1, L2 e L3 na Figura 128.

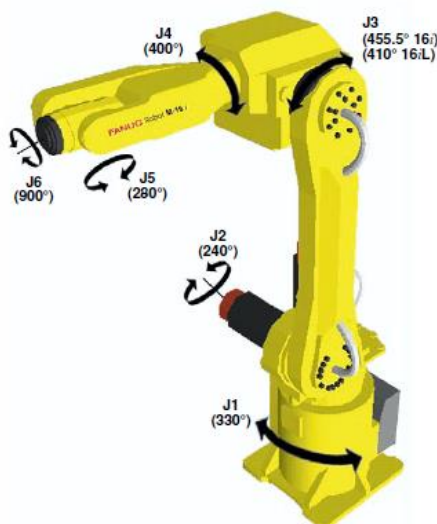
4.2.4 Grupo de análise IV – Recondicionamento do controlador

O controlador existente no pórtico presente em chão de fábrica permite realizar algumas das ações pré-definidas na Tabela 31. No entanto, tendo em conta que o pórtico se encontra parado há um longo período de tempo, optou-se por contemplar todas as ações necessárias no plano de recondicionamento do controlador, representado na Tabela 68. A empresa responsável pela readaptação do controlador deve ter este aspeto em conta e avaliar as funcionalidades do controlador existente, de forma a perceber se são necessárias alterações. É ainda de salientar que as ações que o controlador existente já permite manipular encontram-se assinaladas com a sigla “AC”, significando que se trata de uma ação atualmente controlada.

Tabela 68 - Plano de recondicionamento do controlador

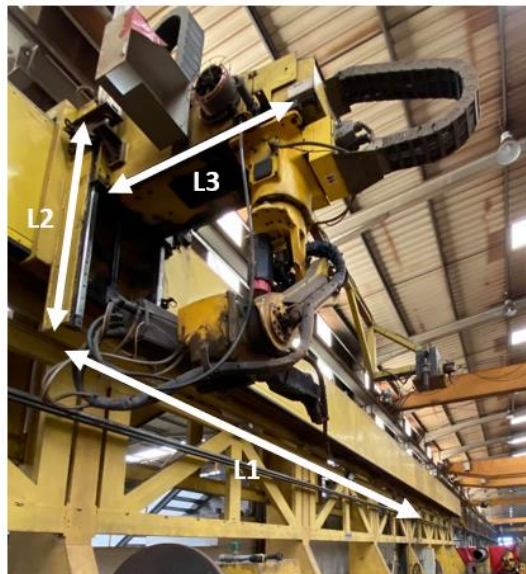
Plano de recondicionamento do controlador

PR01(AC) - Braço robótico: Controlo dos eixos de rotação



O controlo dos eixos de rotação do braço robótico já se encontra contemplado no controlador existente, pelo que apenas é necessário perceber se o programa não necessita de nenhuma atualização fundamental para o bom funcionamento do sistema.

PR02(AC) – Braço robótico: Controlo do movimento linear



O controlo do movimento linear do braço robótico já se encontra contemplado no controlador existente, pelo que apenas é necessário perceber se o programa não necessita de nenhuma atualização fundamental para o bom funcionamento do sistema.

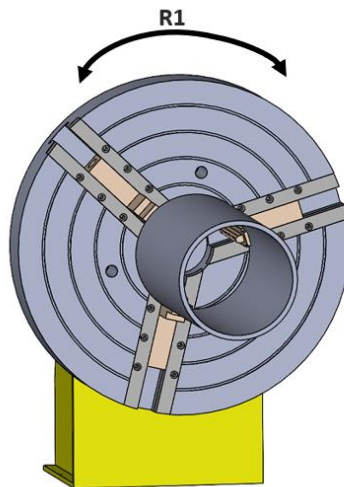
PR03(AC) – Processo de corte: Acionamento do processo de corte

O pórtico existente em chão de fábrica encontra-se configurado para a realização da soldadura automática, pelo que a alteração do comando de início da soldadura para a ignição automática da tocha de oxicorte é realizada através da alteração de uma linha de comando.

PR04 – Processo de corte CAD/CAM: *Software* necessário para transformar o CAD em trajetória de corte (robot)

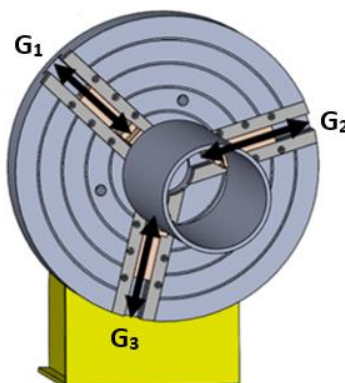
Esta ação traduz-se na implementação de um *software* de CAD/CAM que permita realizar a transcrição de um ficheiro CAD para um conjunto de linhas de código. Estas contêm a informação relativa ao trajeto do braço robótico e do movimento rotacional do prato da bucha fixadora, de forma a obter o corte da geometria pretendida. O *software* utilizado denomina-se de IRBCAM e é especializado em aplicações que englobem braços robóticos. A aplicação em causa necessita do controlo de 10 eixos de movimento: eixos de rotação do braço robótico (6 eixos), movimento linear do braço robótico (3 eixos) e movimento rotacional do prato da bucha (1 eixo).

PR05(AC) – Bucha fixadora: Rotação da bucha



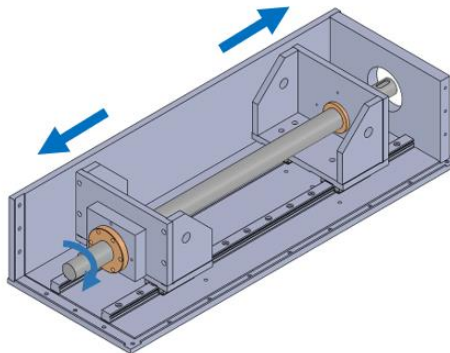
O controlo do movimento rotacional da bucha já se encontra contemplado no controlador existente, pelo que apenas é necessário perceber se o programa não necessita de nenhuma atualização fundamental para o bom funcionamento do sistema.

PR06 – Bucha fixadora: Movimento hidráulico das garras



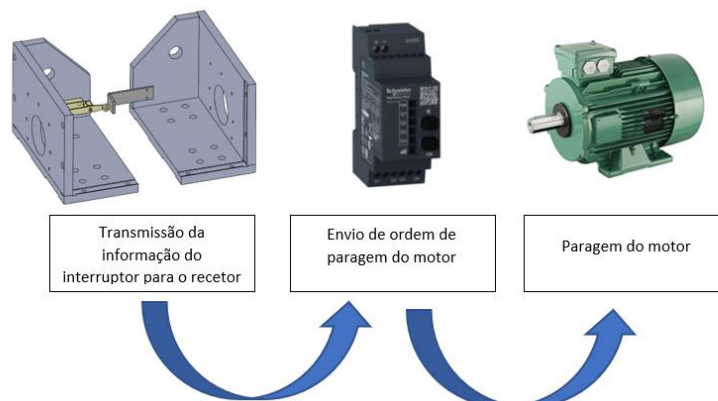
O controlo do movimento hidráulico das garras deve ser realizado através de electroválvulas associadas ao grupo hidráulico da bucha fixadora.

PR07: Suporte de tubos: Acionamento do motor do fuso



O movimento rotacional do fuso que permite o ajuste do diâmetro de tubo é acionado por um motor elétrico. Este encontra-se ligado à caixa de comandos, permitindo o ajuste dos diâmetros de tubo.

PR08 – Conectividade entre o interruptor de limite e o motor



O interruptor de limite de alavanca de rolo ajustável encontra-se conectado a um recetor, que é programado para realizar a interrupção do movimento do motor, quando a alavanca de rolo do interruptor entra em contacto com o batente. Esta ligação deve ser efetuada de igual forma para todos os interruptores de limite existentes no sistema.

É ainda de salientar que o acionamento do fuso, que permite o ajuste do diâmetro de tubo, e a abertura e o fecho das garras da bucha fixadoras são controlados a partir de uma consola de comandos idêntica à representada na Figura 133. O pórtico existente possui ainda um quadro elétrico onde se dá a acomodação de todos os componentes elétricos do sistema.



Figura 133 - Representação da consola de comandos [53]

4.2.5 Grupo de análise V – Sistema de extração de fumos

Na tempestade de ideias relativa a este grupo de análise, optou-se pela implementação da solução III - renovação do ar com ventiladores existentes no pavilhão. Como tal, os fumos são extraídos através do sistema de ventilação do pavilhão (Figura 134), onde o pórtico se encontra inserido, promovendo a renovação constante do ar. Para além disso, o pórtico em estudo encontra-se numa zona muito ampla e de pé direito elevado, sendo que os fumos provenientes do processo de oxicorte acabam por se dissipar e serem posteriormente expelidos através da ventilação do pavilhão.

É ainda de salientar que existem máquinas semelhantes cujo sistema de extração de fumos é, de igual forma, realizado através da ventilação de ar da Martifer. Estas são alvo de inspeções periódicas de segurança, às quais obtêm aprovação, respeitando as normas de higiene e segurança no trabalho. Como tal, deduz-se que estas máquinas apresentam emissões de agentes tóxicos inferiores aos valores limite de exposição, representados na Tabela 49. Contudo, de forma a certificar que a solução adotada permite a extração eficiente dos agentes tóxicos peyorativos à saúde humana, deverão ser efetuadas medições à qualidade do ar, de forma a perceber se estas se encontram dentro dos limites aceitáveis definidos pela norma.



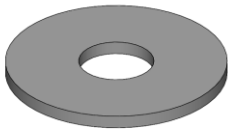
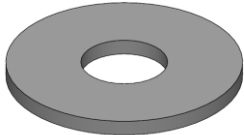
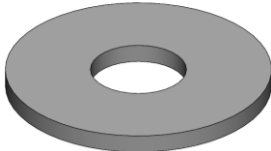
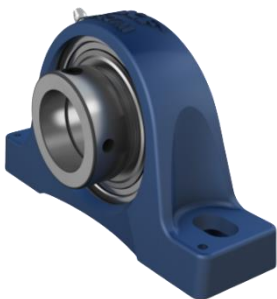
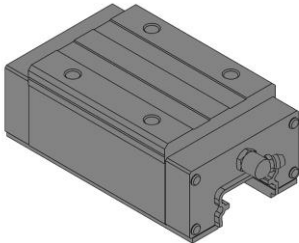
Figura 134 - Representação da ventilação forçada existente em chão de fábrica

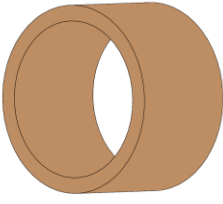
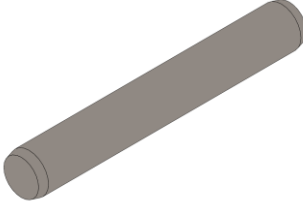
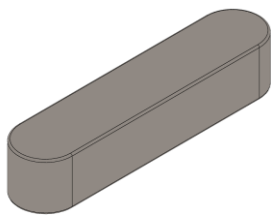
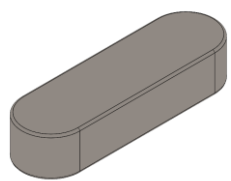
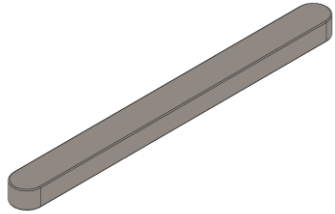
4.3 Definição de elementos a adquirir

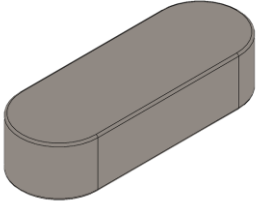
Na Tabela 69 encontram-se listados os principais componentes a comprar, necessários para a realização da readaptação do pórtico em estudo.

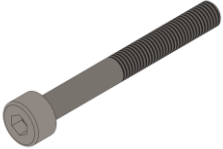
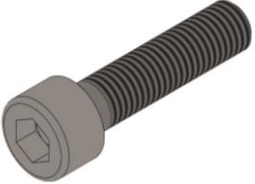
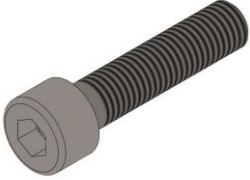
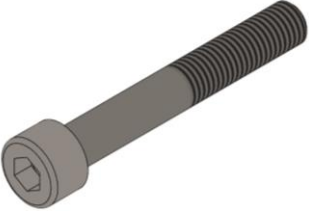
Tabela 69 - Lista de elementos comprados

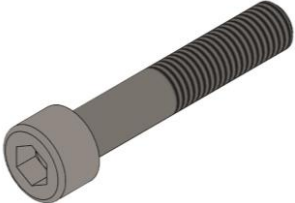
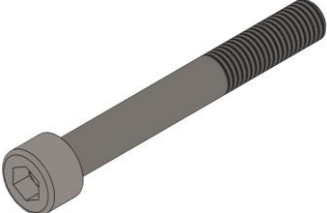
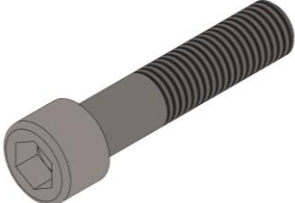
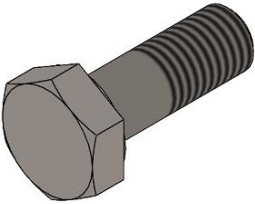
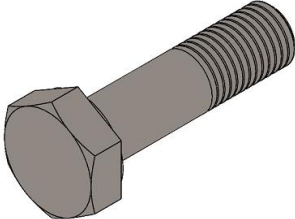
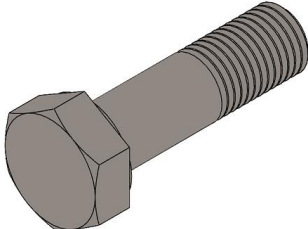
Componente	Ref.	Grupo de análise	Fornecedor	Quant.	Figura
Elementos normalizados					
Acoplamento de garras em elastómero	23022-700	II – Suporte de tubos	Norelem	3 x 1	
Anel elástico	DIN 471 – 25 x 2	II – Suporte de tubos	Fabory	3 x 10	
Anel elástico	DIN 471 – 30 x 2	II – Suporte de tubos	Fabory	3 x 8	
Anel elástico	DIN 471 – 50 x 3	II – Suporte de tubos	Fabory	3 x 2	

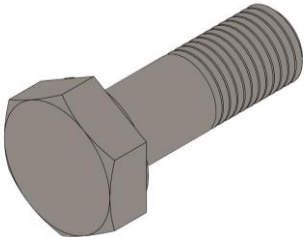
Anilha plana larga	DIN 9021 - 17	II – Suporte de tubos	Fabory	3 x 9	
Anilha plana larga	DIN 9021 - 22	II – Suporte de tubos	Fabory	3 x 4	
Anilha plana larga	DIN 9021 - 26	II – Suporte de tubos	Fabory	3 x 2	
Cabo de potência do tipo 4G4	CF30.40. 04	II – Suporte de tubos	Igus	60 m	
Caixa de mancal de rolamento de esferas	SY 25 FM	II – Suporte de tubos	SKF	3 x 4	
Carro guia	MHD35	II – Suporte de tubos	IKO Nippon Thompson	3 x 4	

Casquilho	PBM 506050 M1G1	II – Suporte de tubos	Imporseal	3 x 2	
Casquilho auto-lubrificante	PRMF 505530	II – Suporte de tubos	SKF	3 x 2	
Cavilha maciça	DIN EN 8734 - 8 x 55 - A - St	II – Suporte de tubos	Norelem	3 x 6	
Chaveta paralela	DIN 6885 A8 x 7 x 36	II – Suporte de tubos	Norelem	3 x 4	
Chaveta paralela	DIN 6885 A12 x 8 x 40	II – Suporte de tubos	Norelem	3 x 1	
Chaveta paralela	DIN 6885 A12 x 8 x 140	II – Suporte de tubos	Norelem	3 x 1	

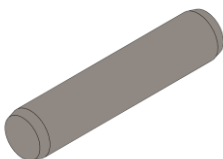
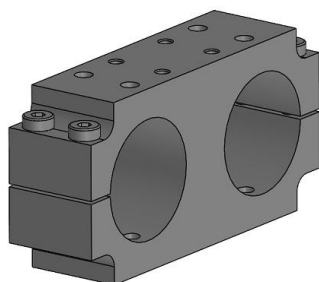
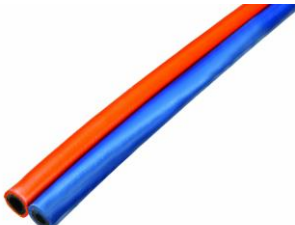
Chaveta paralela	DIN 6885 A16 x 10 x 45	II – Suporte de tubos	Norelem	3 x 1	
Fêmea trapezoidal	NFEFM 609	II – Suporte de tubos	Tecnopower	3 x 2	
Fuso	-	II – Suporte de tubos	Bornemann	3 x 1	
Guia	LHW35	II – Suporte de tubos	IKO Nippon Thompson	3 x 2	
Interruptor de limite com alavanca de rolo ajustável	XCMW14 5	II – Suporte de tubos	Schneider Electric		
Moto redutor	NRV-P110	II – Suporte de tubos	Motovario	3 x 1	

Motor	LSES 132 MU	II – Suporte de tubos	Nidec	3 x 1	
Parafuso de cabeça cilíndrica de oco hexagonal	DIN 912 M4 x 35	II – Suporte de tubos	Fabory	3 x 8	
Parafuso de cabeça cilíndrica de oco hexagonal	DIN 912 Aço zincado M6 x 25	III – Processo de corte	Fabory	4	
Parafuso de cabeça cilíndrica de oco hexagonal	DIN 912 Aço zincado M8 x 35	II – Suporte de tubos	Fabory	3 x 28	
Parafuso de cabeça cilíndrica de oco hexagonal	DIN 912 Aço zincado M8 x 50	II – Suporte de tubos	Fabory	3 x 8	
Parafuso de cabeça cilíndrica de oco hexagonal	DIN 912 Aço zincado M8 x 55	II – Suporte de tubos	Fabory	3 x 8	

Parafuso de cabeça cilíndrica de oco hexagonal	DIN 912 Aço zincado M10 x 55	II – Suporte de tubos	Fabory	3 x 36	
Parafuso de cabeça cilíndrica de oco hexagonal	DIN 912 Aço zincado M10 x 80	II – Suporte de tubos	Fabory	3 x 8	
Parafuso de cabeça cilíndrica de oco hexagonal	DIN 912 Aço zincado M12 x 55	II – Suporte de tubos	Fabory	3 x 12	
Parafuso de cabeça hexagonal	DIN 6914 Aço zincado – M16 x 45	II – Suporte de tubos	Fabory	3 x 1	
Parafuso de cabeça hexagonal	DIN 6914 Aço zincado – M16 x 60	II – Suporte de tubos	Fabory	3 x 8	
Parafuso de cabeça hexagonal	DIN 6914 Aço zincado – M20 x 70	II – Suporte de tubos	Fabory	3 x 4	

Parafuso de cabeça hexagonal	DIN 6914 Aço zincado – M24 x 70	II – Suporte de tubos	Fabory	3 x 2	
Perfil quadrado maciço EN 10059	35 X 35 mm	II – Suporte de tubos	Ferro	50 m	
Recetor programável	XZBWR2 STT24	II – Suporte de tubos	Schneider Electric		
Roda	SSF 100/25/ KM 25	II – Suporte de tubos	Brauer	3 x 4	
Rolamento rígido de esferas	SKF_622 06-2RS1	II – Suporte de tubos	SKF	3 x 4	
Rolamento rígido de esferas	SKF_621 0-2RS1	II – Suporte de tubos	SKF	3 x 1	

Rolo	RE.F4-250-RSL	II – Suporte de tubos	Elesa+Ganter	3 x 3	
Sistema de calhas articuladas	-	II – Suporte de tubos	Igus	1	
Bico de aquecimento	GSF	III – Processo de corte	GCE	1	
Bicos de corte	PSF	III – Processo de corte	GCE	1 Pack	
	7 - 15			(5 uni.)	
	PSF 15 – 25			1 Pack	
				(5 uni.)	
	PSF 25 - 40			1 Pack	
				(5 uni.)	
	PSF 40 - 60			1 Pack	
				(5 uni.)	
	PSF 60 - 100			1 Pack	
				(5 uni.)	

Cavilha maciça	DIN EN 8734 - 6 x 28 - A - St	III – Processo de corte	Norelem	1	
Grampos de fixação	29207	III – Processo de corte	Norelem	2	
Mangueira dupla ISO 3821 - Oxigênio e propano	-	III – Processo de corte	GCE	50 m	
Tocha de oxicorte	FIT+Two	III – Processo de corte	GCE	1	
Válvula anti- retorno	BV12M	III – Processo de corte	GCE	1 Pack (5 uni.)	

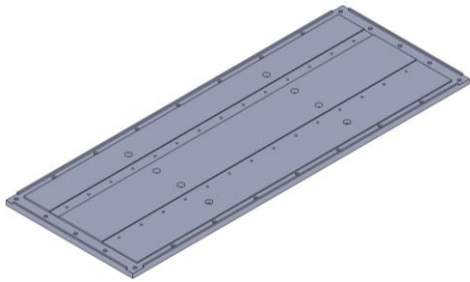
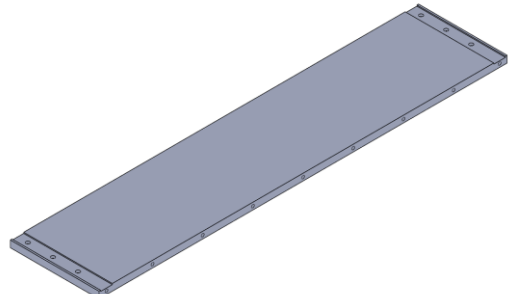
Válvula de segurança	-	III – Processo de corte	GCE	1 Pack (5 uni.)
-------------------------	---	-------------------------------	-----	--------------------



4.4 Lista de peças a fabricar

Na Tabela 70 encontram-se enumeradas as peças a fabricar internamente. As várias peças são associadas a uma referência, cujo primeiro número é correspondente ao grupo de análise de acordo com a ordem inicialmente definida e o segundo número da referência é relativo à peça. É ainda de salientar que as peças fabricadas pela Martifer passam por um processo de decapagem de forma a promover a remoção da oxidação e de impurezas inorgânicas. Para além disso, as peças passam ainda por um processo de zincagem, o que aumenta substancialmente a sua resistência à corrosão. Ambos os processos são controlados de forma a não comprometer o rigor dimensional das superfícies das peças. No anexo 2 é possível verificar os desenhos técnicos dos diferentes componentes.

Tabela 70 - Lista de peças a fabricar

Nome	Ref.	Material	Quant.	Figura
Placa base	001_001	S355J2+N	3 x 1	
Placa lateral_1 (s/furos para o interruptor de limite)	001_002	S355J2+N	3 x 1	

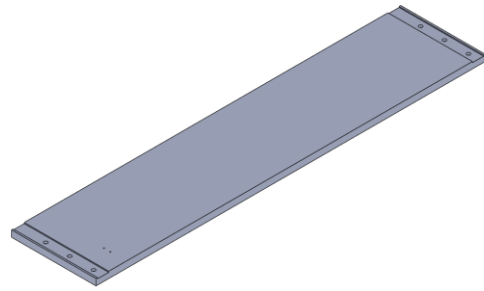
Placa lateral_2

(c/furos para
o interruptor
de limite)

001_003

S355J2+N

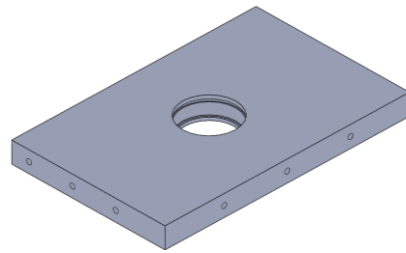
3 x 1

Placa de
topo_1

001_004

S355J2+N

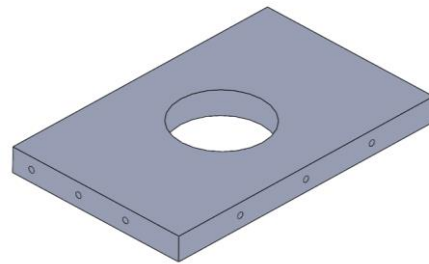
3 x 1

Placa de
topo_2

001_005

S355J2+N

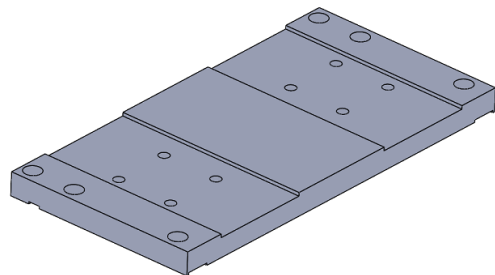
3 x 1

Placa base do
suporte da
haste

001_006

S355J2+N

3 x 2

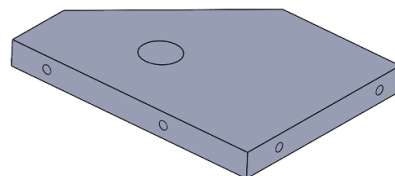
Placa lateral
do suporte da
haste_1

(s/furos para o
interruptor de
limite)

001_007

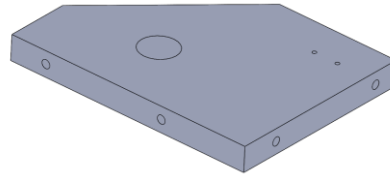
S355J2+N

3 x 2



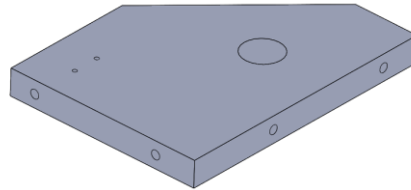
Placa lateral
do suporte da
haste_2
(c/furos para
o interruptor
de limite)

001_008 S355J2+N 3 x 1



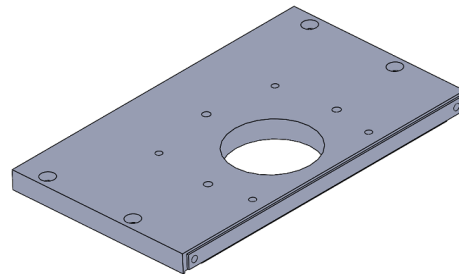
Placa lateral
do suporte da
haste_3
(c/furos para
o batente)

001_009 S355J2+N 3 x 1



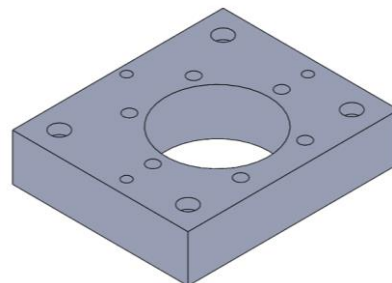
Placa de topo
do suporte da
haste

001_010 S355J2+N 3 x 2



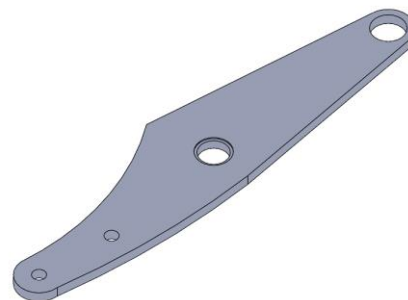
Calço da
fêmea

001_011 S355J2+N 3 x 2



Haste interior
esquerda

001_012 S355J2+N 3 x 1

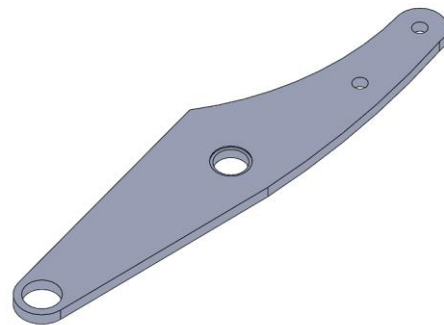


Haste interior
direita

001_013

S355J2+N

3 x 1

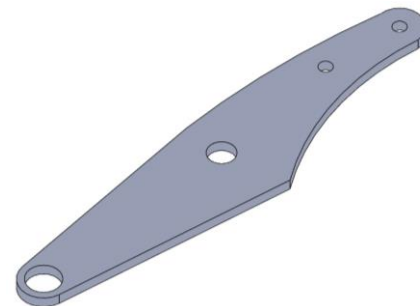


Haste exterior

001_014

S355J2+N

3 x 2

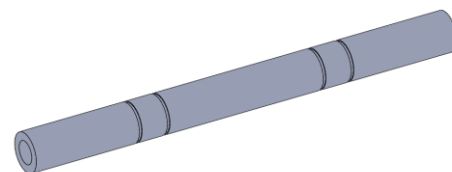


Veio do
suporte das
hastes
interiores

001_015

S355J2+N

3 x 1

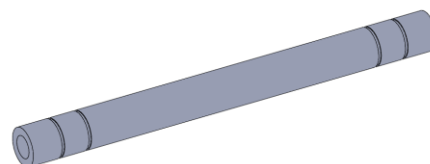


Veio do
suporte das
hastes
exteriores

001_016

S355J2+N

3 x 1

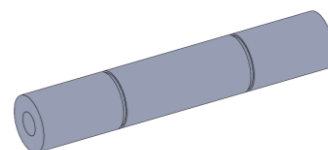


Veio central

001_017

S355J2+N

3 x 1

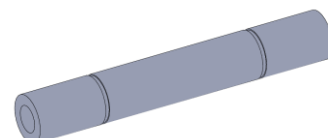


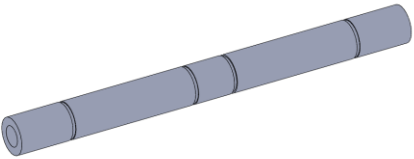
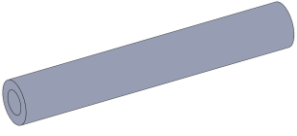
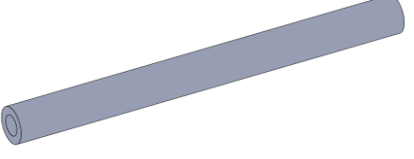
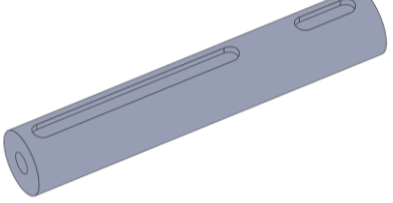
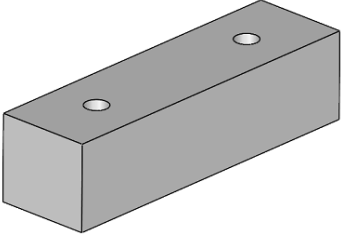
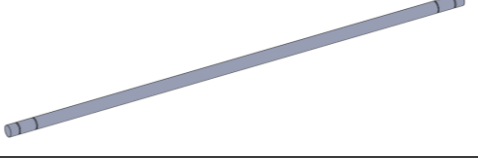
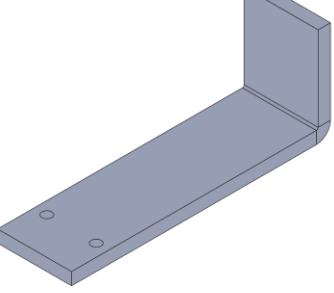
Veio
superior_1
(1 rolo)

001_018

S355J2+N

3 x 1



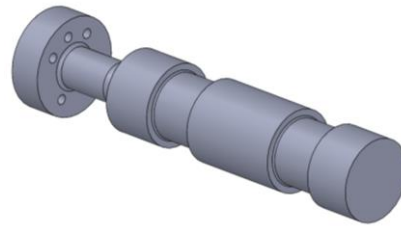
Veio superior_2 (2 rolos)	001_019	S355J2+N	3 x 1	
Reforço das hastes interiores	001_020	S355J2+N	3 x 1	
Reforço das hastes exteriores	001_021	S355J2+N	3 x 1	
Veio de acionamento	001_022	S355J2+N	3 x 1	
Calço do mancal	001_023	S355J2+N	3 x 4	
Veio das rodas	001_024	S355J2+N	3 x 2	
Batente	001_025	S355J2+N	3x1	

Veio de
fixação do
sistema de
corte

002_001

S355J2+N

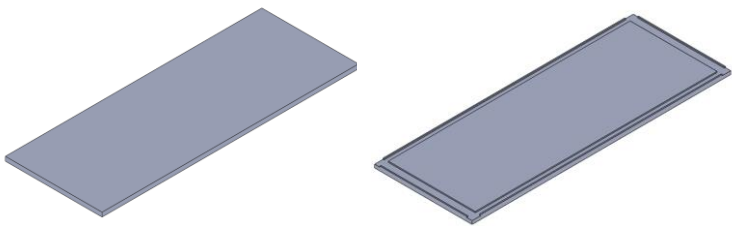
1

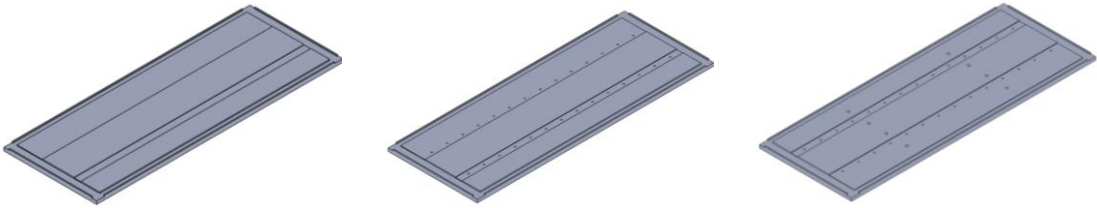
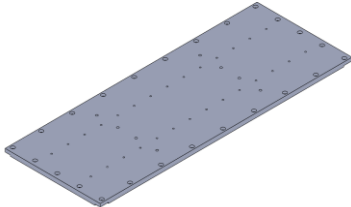
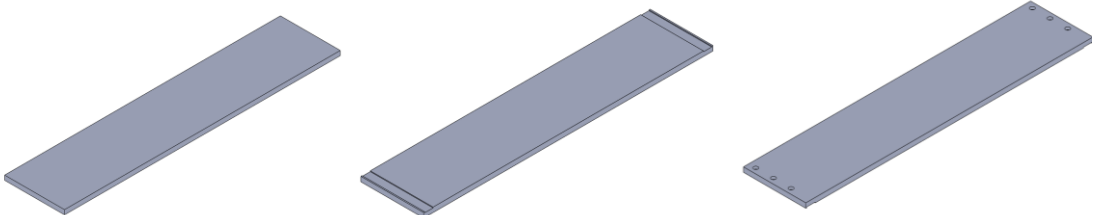


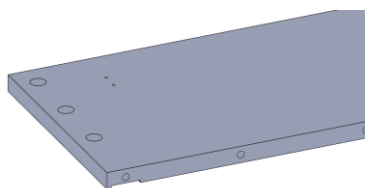
4.5 Processos de fabrico

As peças a fabricar na empresa, enumeradas na Tabela 71, serão concessionadas com recurso aos equipamentos existentes na fábrica. Como tal, neste subcapítulo é realizado um estudo mais atento relativo ao método de fabrico das peças a manufaturar internamente. É ainda de salientar que as chapas metálicas integrantes do projeto são utilizadas com a espessura de fornecimento, uma vez que todas as faces importantes para a montagem do equipamento são maquinadas.

Tabela 71 - Etapas e processos de fabrico dos componentes a fabricar

Placa Base [001_001]		
Figura		
Etapas	[010] Corte	[020] Abertura de rasgos laterais
Descrição da etapa	Corte de chapa de 20 mm 1220x460 mm ²	-
Processo de fabrico	Corte por plasma	Centro de maquinagem

		
[030] Abertura de rasgos centrais	[040] Realização dos furos para as guias	[050] Realização de furos para o mancal
-	Furo M8 – passante	Furo de $\varnothing 12$ mm – não roscado – passante
Centro de maquinagem	Centro de maquinagem	Centro de maquinagem
		
[060] Realização de furos laterais		
Furo de caixa M10 – passante		
Centro de maquinagem		
Placa lateral_1 [001_002]		
		
[010] Corte	[020] Abertura de rasgos	[030] Realização de furos
Corte de chapa de 20 mm 1220x265 mm ²	-	Furo de caixa M10 - passante
Corte por plasma	Centro de maquinagem	Centro de maquinagem

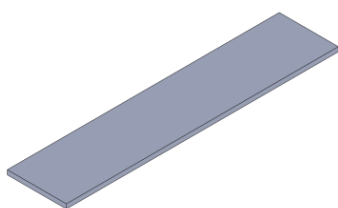


[040] Realização de furos

Furo M10 x 50 mm

Centro de maquinagem

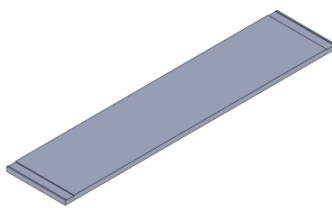
Placa lateral_2 [001_003]



[010] Corte

Corte de chapa de 20 mm
1220x265 mm²

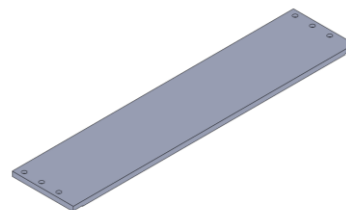
Corte por plasma



[020] Abertura de rasgos

-

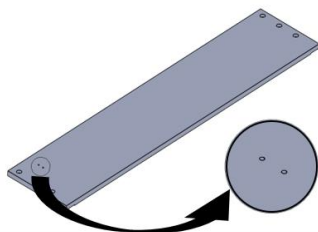
Centro de maquinagem



[030] Realização de furos

Furo de caixa M10 - passante

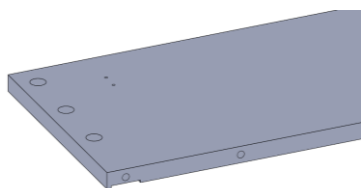
Centro de maquinagem



[040] Realização de furos

Furo M4 x 18 mm

Centro de maquinagem

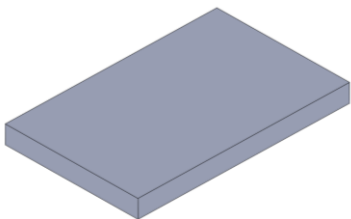
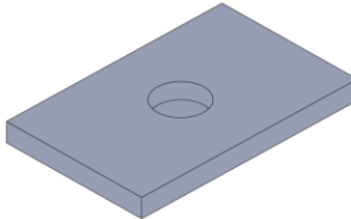
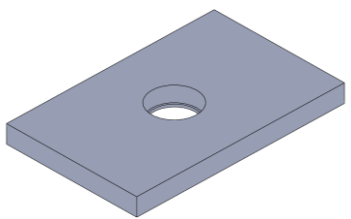
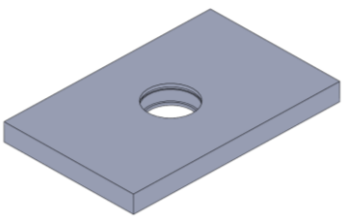
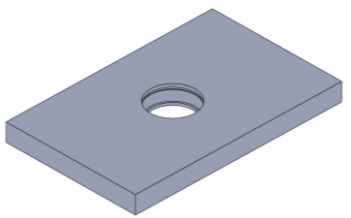
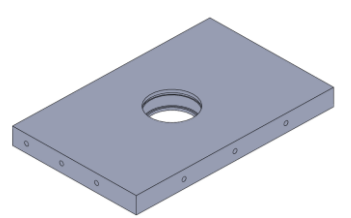


[050] Realização de furos

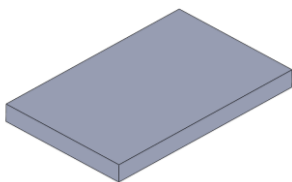
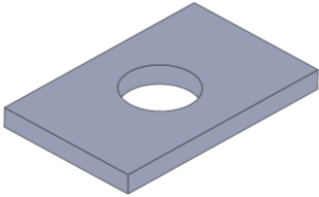
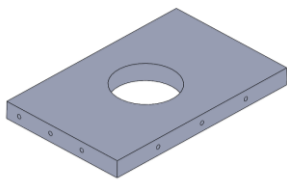
Furo M10 x 50 mm

Centro de maquinagem

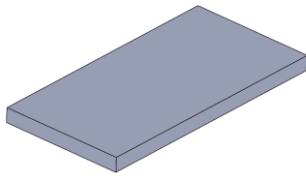
Placa de topo_1 [001_004]

		
[010] Corte	[020] Realização de furo	[030] Realização de furo
Corte de chapa de 35 mm 416x265 mm ²	Furo $\varnothing 90$ mm – 30 mm	Furo $\varnothing 83$ mm – 5 mm
Oxicorte	Centro de maquinagem	Centro de maquinagem
		
[040] Realização da ranhura para o anel elástico	[050] Realização de <i>chanfro</i> no alojamento do rolamento	[060] Realização de furos
Rasgo para anel elástico DIN 472 – 90 x 4	Raio de curvatura de 1 mm	Furo M10 x 50 mm
Centro de maquinagem	Centro de maquinagem	Centro de maquinagem

Placa de topo_2 [001_005]

		
[010] Corte	[020] Realização de furo	[030] Realização de furos
Corte de chapa de 35 mm 416x265 mm ²	Furo $\varnothing 130$ mm - passante	Furo M10 x 50 mm
Oxicorte	Centro de maquinagem	Centro de maquinagem

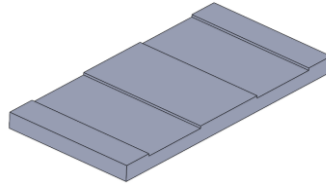
Placa base do suporte da haste [001_006]



[010] Corte

Corte de chapa de 20 mm
340x170 mm²

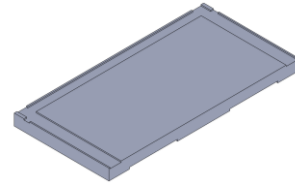
Corte por plasma



[020] Abertura de rasgos

-

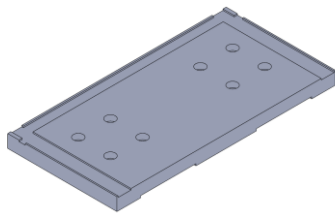
Centro de maquinagem



[030] Abertura de rasgos

-

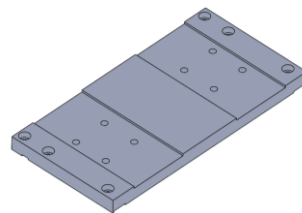
Centro de maquinagem



[040] Realização de furos

Furo de caixa M8 - passante

Centro de maquinagem

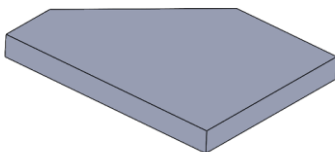


[050] Realização de furos

Furo de caixa M8 - passante

Centro de maquinagem

Placa lateral do suporte da haste_1 [001_007]

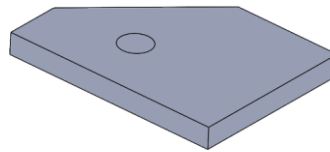


[010] Corte

Corte da geometria
pretendida

Espessura da chapa: 20 mm

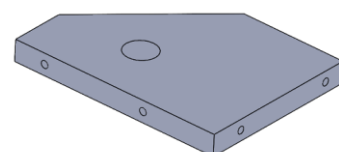
Corte Plasma



[020] Realização de furo

Furo $\varnothing 25$ mm - passante

Centro de maquinagem

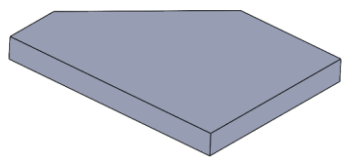


[030] Realização de furos laterais

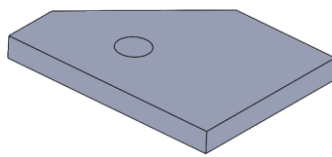
Furo M8 x 50 mm

Centro de maquinagem

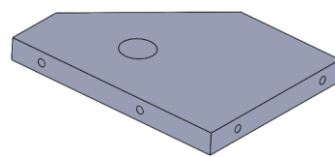
Placa de topo do suporte da haste_2 [001_008]



[010] Corte



[020] Realização de furo



[030] Realização de furos laterais

Corte da geometria pretendida

Furo $\varnothing 25$ mm - passante

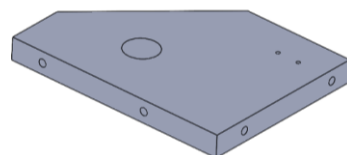
Furo M8 x 50 mm

Espessura da chapa: 20 mm

Corte Plasma

Centro de maquinagem

Centro de maquinagem

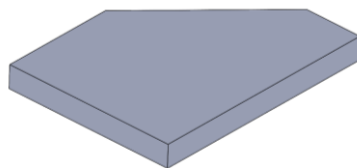


[040] Realização de furos

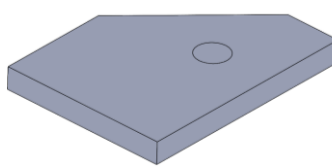
Furo M4 x 18 mm

Centro de maquinagem

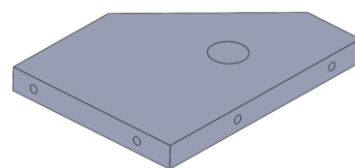
Placa de topo do suporte da haste_3 [001_009]



[010] Corte



[020] Realização de furo



[030] Realização de furos laterais

Corte da geometria pretendida

Furo $\varnothing 25$ mm - passante

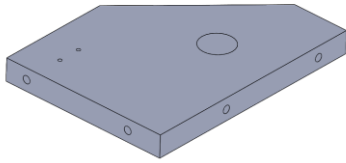
Furo M8 x 50 mm

Espessura da chapa: 20 mm

Corte por plasma

Centro de maquinagem

Centro de maquinagem

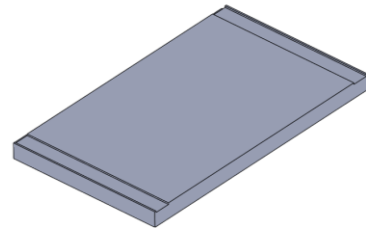
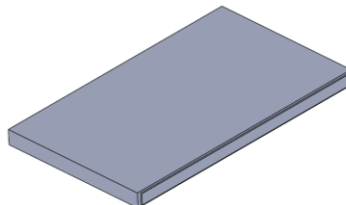
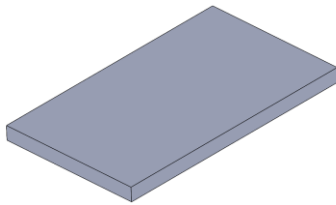


[040] Realização de furos

Furo M4 x 18 mm

Centro de maquinagem

Placa de topo do suporte da haste [001_010]



[010] Corte

[020] Abertura de rasgo

[030] Abertura de rasgos

Corte de chapa de 20 mm

340x202 mm²

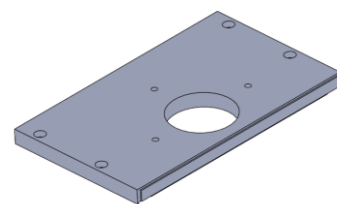
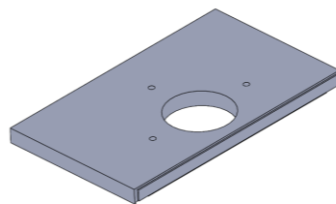
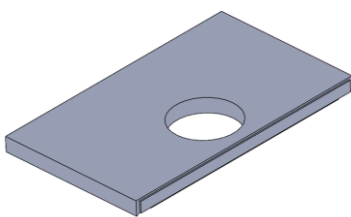
-

-

Corte por plasma

Centro de maquinagem

Centro de maquinagem



[040] Realização de furo

[050] Realização de furo para cavilha

[060] Realização de furos

Furo ø88 mm - passante

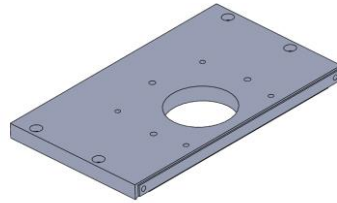
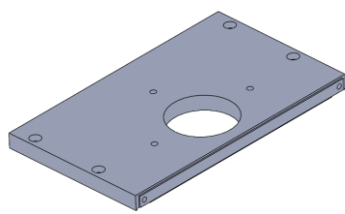
Alojamento da cavilha
DIN EN 8734 - 8 x 55 - A - St

Furo de caixa M8 - passante

Centro de maquinagem

Centro de maquinagem

Centro de maquinagem



[070] Realização de furos

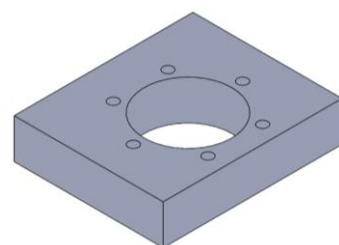
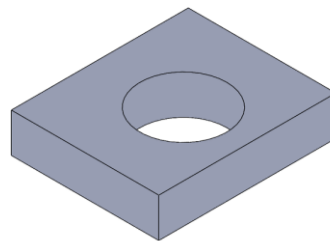
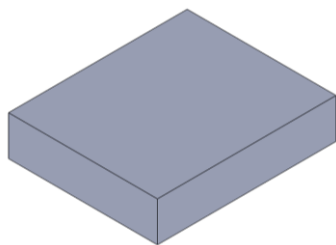
[080] Realização de furos

Furo M8 x 50 mm

Furo M8 - passante

Centro de maquinagem

Centro de maquinagem

Calço da fêmea [001_011]

[010] Corte

[020] Realização de furo

[030] Realização de furos

Corte de chapa de 40 mm
180x150 mm²

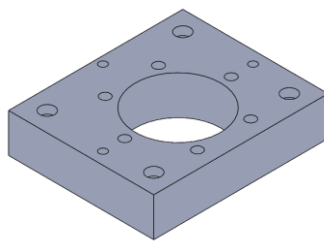
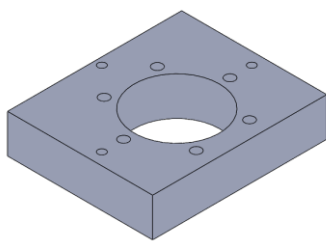
Furo Ø88 mm - passante

Furo M12 - passante

Oxicorte

Centro de maquinagem

Centro de maquinagem

[040] Realização de furo para
cavilha

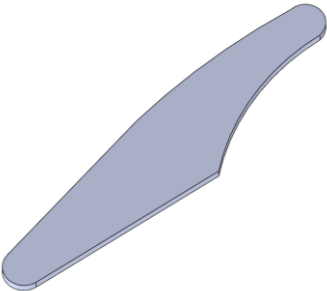
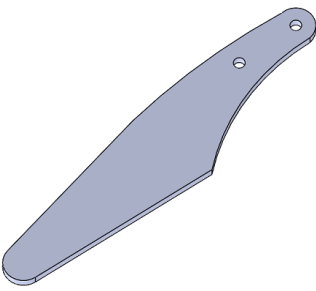
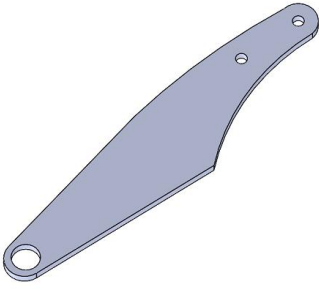
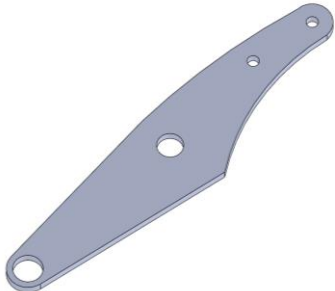
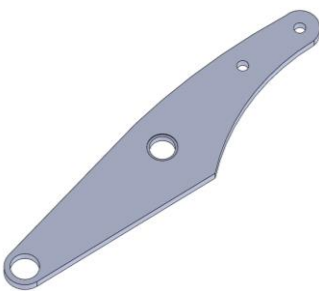
[050] Realização de furos

Alojamento da cavilha
DIN EN 8734 - 8 x 55 - A - St

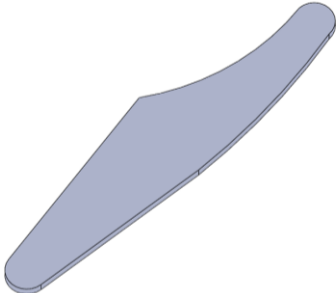
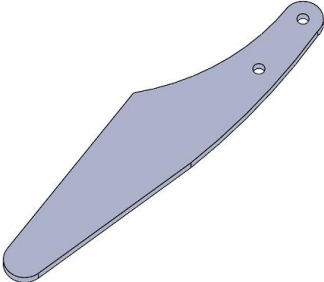
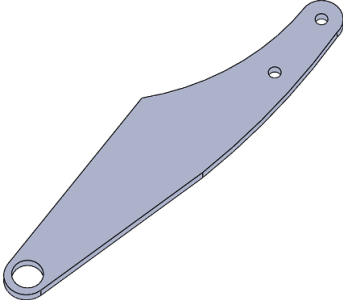
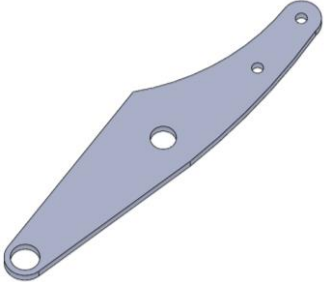
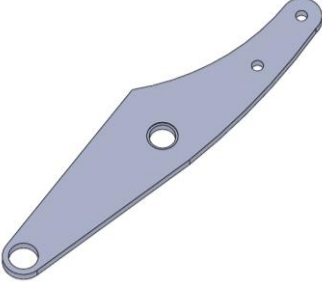
Furo de caixa M8 - passante

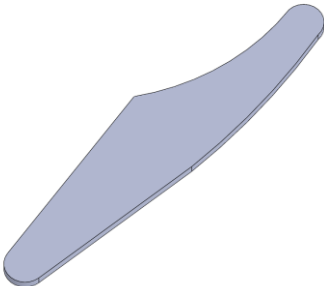
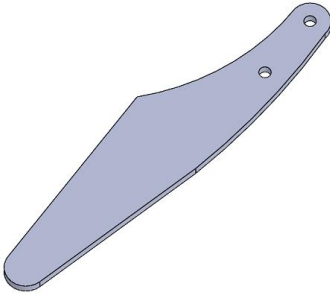
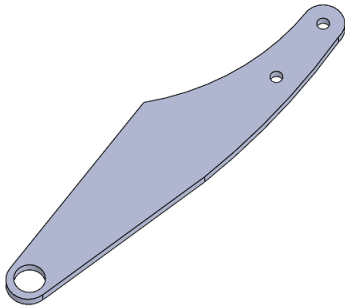
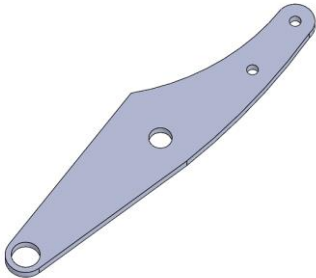
Centro de maquinagem

Centro de maquinagem

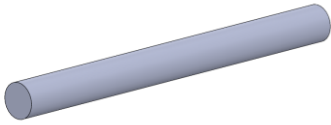
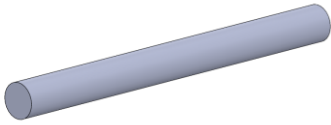
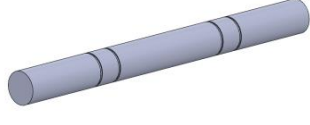
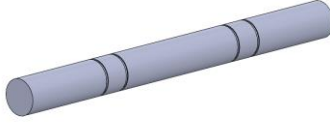
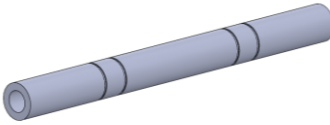
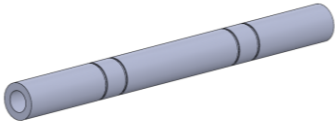
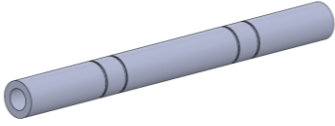
Haste interior esquerda [001_0012]		
		
[010] Corte	[020] Realização de furos	[030] Realização de furo
Corte da geometria pretendida Espessura da chapa: 20 mm	Furos $\varnothing 25$ mm - passante	Furo $\varnothing 62$ mm - passante
Corte por plasma	Centro de maquinagem	Centro de maquinagem
		
[040] Realização de furo	[050] Realização de furo	
Furo $\varnothing 50$ mm - passante	Furo $\varnothing 65$ mm x 2,5 mm	
Centro de maquinagem	Centro de maquinagem	

Haste interior direita [001_013]

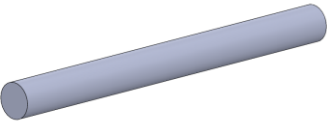
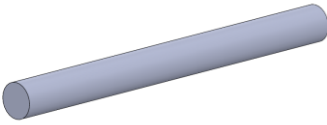
		
[010] Corte	[020] Realização de furos	[030] Realização de furo
Corte da geometria pretendida Espessura da chapa: 20 mm	Furos $\varnothing 25$ mm - passante	Furo $\varnothing 62$ mm - passante
Corte por plasma	Centro de maquinagem	Centro de maquinagem
		
[040] Realização de furo	[050] Realização de furo	
Furo $\varnothing 50$ mm - passante	Furo $\varnothing 65$ mm x 2,5 mm	
Centro de maquinagem	Centro de maquinagem	

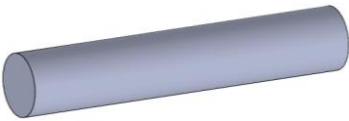
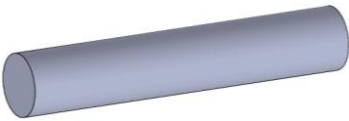
Haste exterior [001_014]		
		
[010] Corte	[020] Realização de furos	[030] Realização de furos
Corte da geometria pretendida Espessura da chapa: 20 mm	Furos $\varnothing 25$ mm - passante	Furo $\varnothing 62$ mm - passante
Corte por plasma	Centro de maquinagem	Centro de maquinagem
		
[040] Realização de furos		
Furo $\varnothing 50$ mm - passante		
Centro de maquinagem		

Veio do suporte das hastes interiores [001_015]

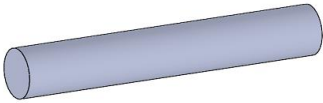
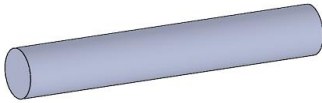
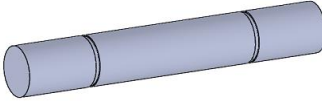
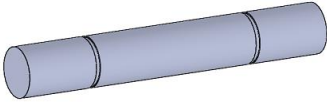
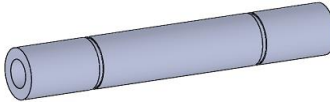
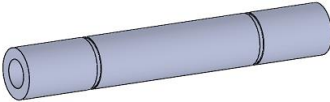
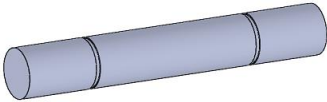
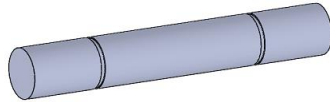
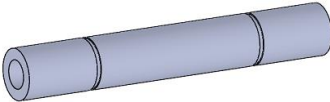
		
[010] Aperto do varão	[020] Retificação do varão	[030] Realização das ranhuras para os anéis elásticos
Varão $\varnothing 35$ mm	Varão $\varnothing 30$ mm	Rasgo para anel elástico DIN 471 – 30 x 2
Torno	Torno	Torno
		
[040] Facejamento	[050] Realização de furo	[060] Sangramento
-	Furo M20 x 80 mm	Cumprimento do varão: 334 mm
Torno	Torno	Torno
		
[070] Aperto na extremidade oposta	[080] Facejamento	[090] Realização de furo
-	-	Furo M20 x 80 mm
Torno	Torno	Torno

Veio do suporte das hastes exteriores [001_016]

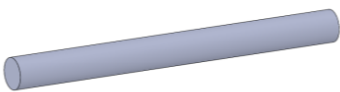
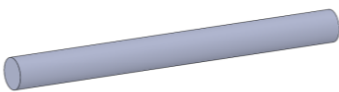
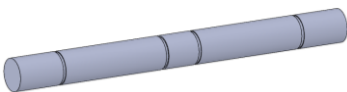
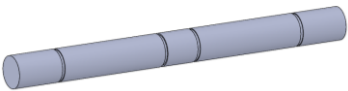
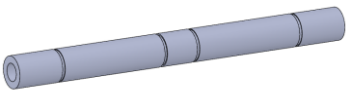
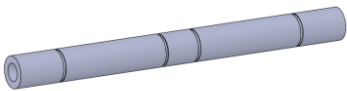
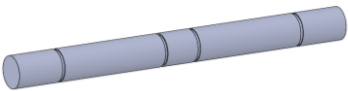
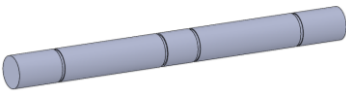
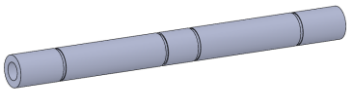
		
[010] Aperto do varão	[020] Retificação do varão	[030] Realização das ranhuras para os anéis elásticos
Varão $\varnothing 30$ mm	Varão $\varnothing 25$ mm	Rasgo para anel elástico DIN 471 – 30 x 2
Torno	Torno	Torno
		
[040] Facejamento	[050] Realização de furo	[060] Sangramento
-	Furo M20 x 80 mm	Cumprimento do varão: 280 mm
Torno	Torno	Torno
		
[070] Aperto na extremidade oposta	[080] Facejamento	[090] Realização de furo
-	-	Furo M20 x 80 mm
Torno	Torno	Torno

Veio central [001_017]		
		
[010] Aperto do varão	[020] Retificação do varão	[030] Realização das ranhuras para os anéis elásticos
Varão $\varnothing 55$ mm	Varão $\varnothing 50$ mm	Rasgo para anel elástico DIN 471 – 50 x 3
Torno	Torno	Torno
		
[040] Facejamento	[050] Realização de furo	[060] Sangramento
-	Furo M24 x 80 mm	Cumprimento do varão: 280 mm
Torno	Torno	Torno
		
[070] Aperto na extremidade oposta	[080] Facejamento	[090] Realização de furo
-	-	Furo M24 x 80 mm
Torno	Torno	Torno

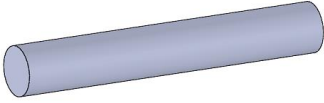
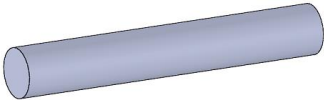
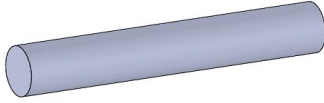
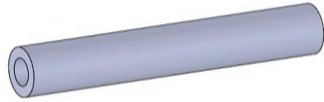
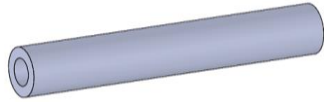
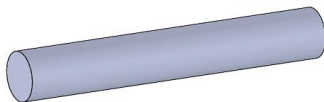
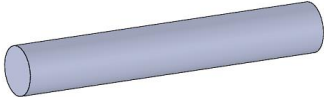
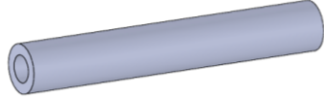
Veio superior (1 Rolo) [001_018]

		
[010] Aperto do varão	[020] Retificação do varão	[030] Realização das ranhuras para os anéis elásticos
Varão $\varnothing 30$ mm	Varão $\varnothing 25$ mm	Rasgo para anel elástico DIN 471 – 25 x 2
Torno	Torno	Torno
		
[040] Facejamento	[050] Realização de furo	[060] Sangramento
-	Furo M16 x 70 mm	Cumprimento do varão: 164 mm
Torno	Torno	Torno
		
[070] Aperto na extremidade oposta	[080] Facejamento	[090] Realização de furo
-	-	Furo M16 x 70 mm
Torno	Torno	Torno

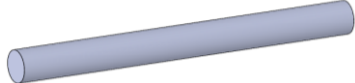
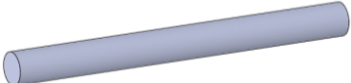
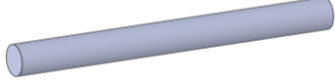
Veio superior (2 Rolos) [001_019]

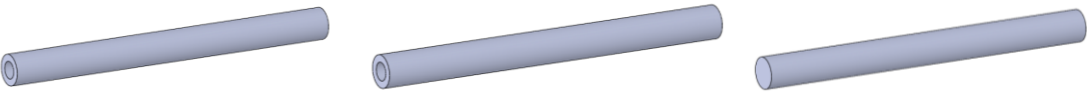
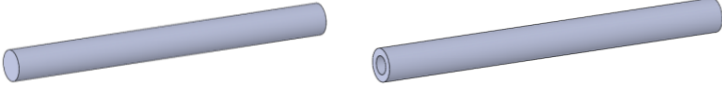
		
[010] Aperto do varão	[020] Retificação do varão	[030] Realização das ranhuras para os anéis elásticos
Varão $\varnothing 30$ mm	Varão $\varnothing 25$ mm	Rasgo para anel elástico DIN 471 – 25 x 2
Torno	Torno	Torno
		
[040] Facejamento	[050] Realização de furo	[060] Sangramento
-	Furo M16 x 70 mm	Cumprimento do varão: 280 mm
Torno	Torno	Torno
		
[070] Aperto na extremidade oposta	[080] Facejamento	[090] Realização de furo
-	-	Furo M16 x 70 mm
Torno	Torno	Torno

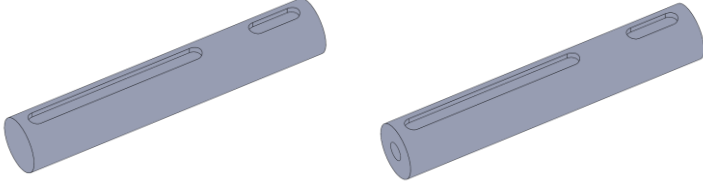
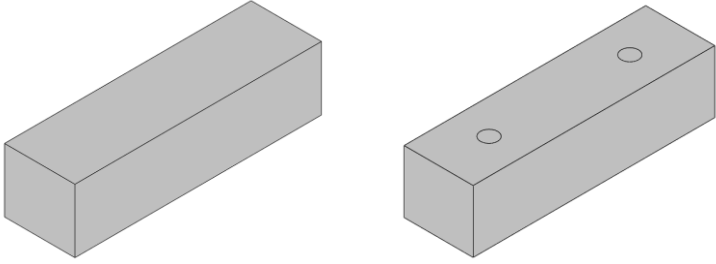
Reforço das hastes interiores [001_020]

		
[010] Aperto do varão	[020] Retificação do varão	[030] Facejamento
Varão $\varnothing 30$ mm	Varão $\varnothing 25$ mm	-
Torno	Torno	Torno
		
[040] Realização de furo	[050] Sangramento	[060] Aperto na extremidade oposta
Furo M16 x 70 mm	Cumprimento do varão: 164 mm	-
Torno	Torno	Torno
		
[070] Facejamento	[080] Realização de furo	
-	Furo M16 x 70 mm	
Torno	Torno	

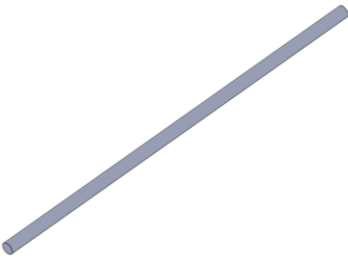
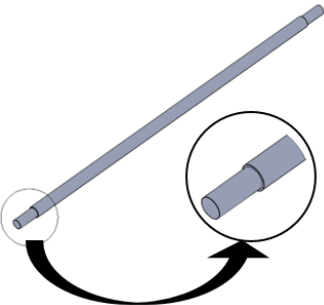
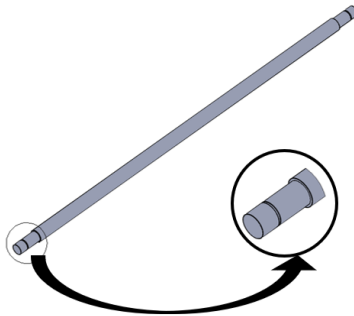
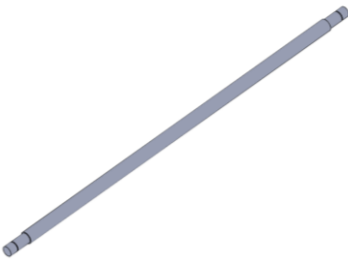
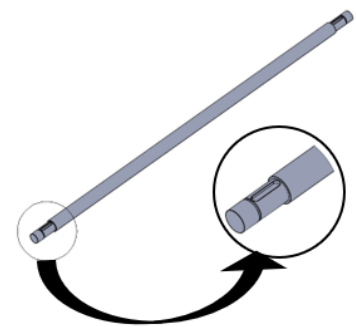
Reforço das hastes exteriores [001_021]

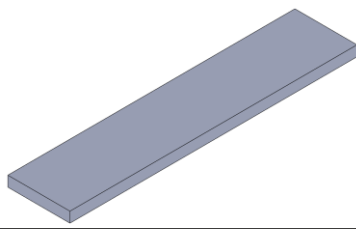
		
[010] Aperto do varão	[020] Retificação do varão	[030] Facejamento
Varão $\varnothing 30$ mm	Varão $\varnothing 25$ mm	-
Torno	Torno	Torno

		
[040] Realização de furo	[050] Sangramento	[060] Aperto na extremidade oposta
Furo M16 x 70 mm	Cumprimento do varão: 280 mm	-
Torno	Torno	Torno
		
[070] Facejamento	[080] Realização de furo	
-	Furo M16 x 70 mm	
Torno	Torno	
Veio de acionamento [001_022]		
		
[010] Aperto do varão	[020] Retificação do varão	[030] Realização do escatel do veio
Varão $\varnothing 45$ mm	Varão $\varnothing 42$ mm	Escatel para chaveta DIN 6885 - A12 x 8 x 40
Torno	Torno	Centro de maquinagem

		
[040] Sangramento	[050] Aperto na extremidade oposta	[060] Realização do escatel do veio
Cumprimento do varão: 237,5 mm	-	Escatel para chaveta DIN 6885 - A12 x 8 x 140
Centro de maquinagem	Centro de maquinagem	Centro de maquinagem
		
[070] Facejamento	[080] Realização de furo	
-	Furo M16 x 50 mm	
Centro de maquinagem	Centro de maquinagem	
Calço do mancal [001_023]		
		
[010] corte	[020] Realização de furos	
Corte de chapa de 45 mm 175x50 mm ²	Furo ø12,5 mm - passante	
Oxicorte	Centro de maquinagem	

Veio das rodas [001_024]

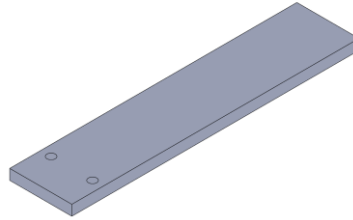
		
[010] Aperto do varão	[020] Retificação do varão	[030] Realização das ranhuras para os anéis elásticos
Varão $\varnothing 30$ mm	Varão $\varnothing 25$ mm	Rasgo para anel elástico DIN 471 – 25 x 2
Torno	Torno	Torno
		
[040] Sangramento	[050] Realização do escatel do veio	
Cumprimento do varão: 1050 mm	Escatel para chaveta DIN 6885 - A8 x 7 x 36	
Torno	Centro de maquinagem	

Batente [001_025]

[010] Corte

Corte de chapa de 5 mm
138,6x30 mm²

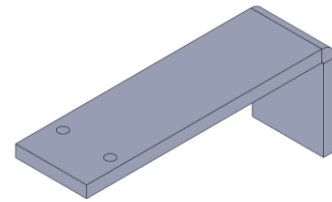
Corte plasma



[020] Realização de furos

Furo $\varnothing 4$ mm - passante

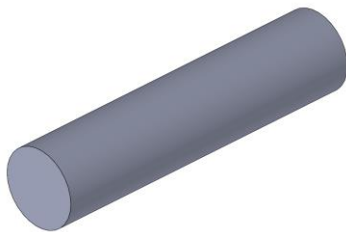
Centro da maquinagem



[030] Dobragem da chapa

Dobragem de 90°

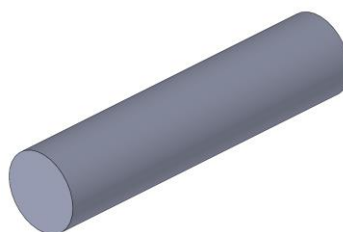
Máquina de dobrar

Veio de fixação do sistema de corte [002_001]

[010] Aperto do varão

Varão $\varnothing 65$ mm

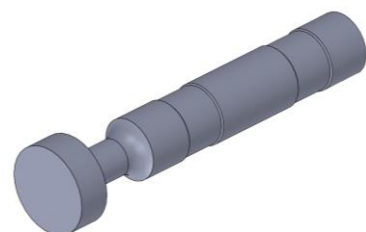
Torno



[020] Retificação do varão

Varão $\varnothing 60$ mm

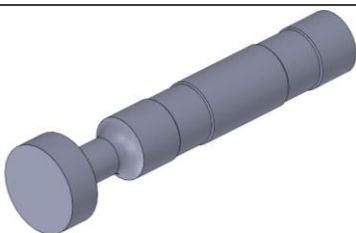
Torno



[030] Desbaste

Obtenção da geometria pretendida

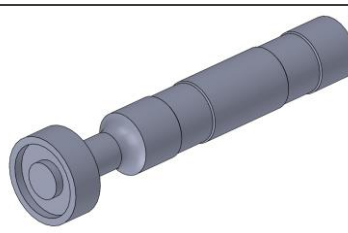
Torno



[040] Sangramento

Cumprimento do varão:
260 mm

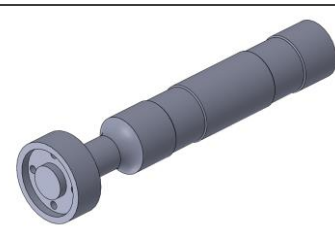
Torno



[050] Abertura de rasgo

-

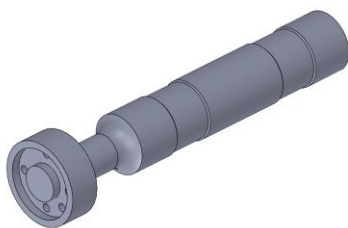
Centro de maquinagem



[060] Realização de furos

Furo $\varnothing 6$ mm - passante

Centro de maquinagem



[070] Realização de furo para
cavilha

Alojamento da cavilha

DIN EN 8734 - 6 x 28 - A - St

Centro de maquinagem

4.6 Orçamentação

Na Tabela 72 encontram-se representados os custos de todos os componentes e serviços necessários para o desenvolvimento do projeto em estudo.

Tabela 72 – Orçamentação para o equipamento a projetar

Descrição	Fornecedor	Quant.	Preço/uni.	Valor (€) (sem iva)
Engenharia				
Projeto 3D	Martifer	220 h	30€/h	6 600€
Desenho 2D		40 h	20€/h	800€
Projeto elétrico e quadro		-	-	5 750€
Software CAD/CAM	Irbcam	-	-	3 000€
Compras				
Matéria-prima	Baogang Group	-	-	2 000€
Rodas de poliuretano (Rolos)	Elesa+Ganter	9	96,64€	869,76€
Moto redutor - NRV-P110	Motovario	3	535,65€	1 609,95€

Motor elétrico - LSES 132 MU	Nidec	3	476,44€	1 429,32€
Cabo de potência 4G4	Igus	60 m	5,72€/m	343,20€
Acoplamento	Norelem	3	567,84€	1 703,52€
Fuso	Bornemann	3	626,45€	1 879,35€
Fêmea trapezoidal	Tecnopower	6	370,28€	2 221,68€
Rodas flangeadas	Brauer	12	63,25€	759,00€
Perfil quadrado maciço	Ferro	50 m	1,30€/m	64,99€
Rolamentos	SKF (Revendedor: Movicontrol)			
• 62206-2RS1	-	12	8,26€	99,12€
• 6210-2RS1	-	3	30,31€	90,93€
Mancal de rolamento de esferas - SY 25 FM	SKF (Revendedor: Movicontrol)	12	41,21	494,52€
Interruptor de limite com alavanca de rolo ajustável (XCMW145)	Schneider Electric	8	103,45€	827,60€
Recetor programável (XZBWR2STT24)	Schneider Electric	4	229,54€	918,16€
Bucha fixadora hidráulica	Schunk			
• Prato da bucha				30 847€
• Conjunto de 3 Garras				1 920€
• Conjunto hidráulico				6 950€

Carros-guia - MHD35	IKO Nippon Thompson	12	99,75€	1 197€
Guia - LHW35	IKO Nippon Thompson	2	45,60€	91,20€
Tocha de oxicorte	GCE	1	1 678,52€	1 678,52€
Bico de aquecimento - GSF	GCE	1	32,14€	32,14€
Bicos de corte	GCE			
• PSF 7 - 15		1 Pack: 5 uni.	72,85€	72,85€
• PSF 15 – 25		1 Pack: 5 uni.	103,80€	103,80€
• PSF 25 - 40		1 Pack: 5 uni.	73,35€	73,35€
• PSF 40 - 60		1 Pack: 5 uni.	105,50€	105,50€
• PSF 60 - 100		1 Pack: 5 uni.	142,25€	142,25€
Mangueira dupla ISO 3821 - Oxigénio e propano	Endevor	50 m	3,96€/m	198,00€
Válvula de segurança	GCE	1 Pack: 5 uni.	-	152,70€
Válvula anti-retorno	GCE	1 Pack: 5 uni.	-	140,15€
Grampo de fixação duplo	Norelem	1	155,72€	155,72€

Sistema de calhas articuladas		Igus			
• Conjunto calha articulada (Guia A)		1	-	1 464,52€	
• Conjunto calha articulada (Guia B)		1	-	1 724,51€	
Componentes normalizados de fixação					
• Parafusos					
○ DIN 912 M4 x 35	Landefeld	24	0,32€	7,68€	
○ DIN 912 M6 x 25		4	0,90€	3,60€	
○ DIN 912 M8 x 35		84	0,41€	34,44€	
○ DIN 912 M8 x 50		24	0,56€	13,44€	
○ DIN 912 M8 x 55		24	0,56€	13,44€	
○ DIN 912 M10 x 55		108	0,35€	37,80€	
○ DIN 912 M10 x 80		24	1,60€	38,40€	
○ DIN 912 M12 x 55		36	1,37€	49,32€	
○ DIN 6914 – M16 x 45	Chemitool	1 Pack: 50 uni.	86,85€	86,85€	
○ DIN 6914 – M16 x 60		1 Pack: 50 uni.	152,18€	152,18€	
○ DIN 6914 – M20 x 70		1 Pack: 50 uni.	165,74€	165,74€	

○ DIN 6914 – M24 x 70		Pack: 25 uni.	86,97€	86,97€
• Anéis elásticos				
○ DIN 471 – 25 x 2		30	0,41€	12,30€
○ DIN 471 – 30 x 2	Norelem	24	0,66€	15,84€
○ DIN 471 – 50 x 3		6	1,92€	11,52€
• Anilha plana larga				
○ DIN 9021 - 17		27	1,21€	32,67€
○ DIN 9021 - 22	Norelem	12	2,40€	28,80€
○ DIN 9021 - 26		6	3,54€	21,24€
• Cavilha maciça				
○ DIN EN 8734 - 6 x 28 - A - St		1	0,44€	0,44€
○ DIN EN 8734 - 8 x 55 - A - St	Norelem	18	0,83€	14,94€
• Chaveta paralela				
○ DIN 6885 A8 x 7 x 36		12	0,45€	5,40€
○ DIN 6885 A12 x 8 x 40		3	0,61€	1,83€
○ DIN 6885 A12 x 8 x 140	Norelem	3	1,48€	4,44€
○ DIN 6885 A16 x 10 x 45		3	0,92€	2,76€

• Casquilhos				
○ Casquilho PBM 506050 M1G1	SKF	6	53,36€	320,16€
○ Casquilho autolubrificante PRMF 505530	SKF	6	24,60€	147,60€
Processo de fabrico				
Centro de maquinagem		-	-	4 000€
Máquina plasma/oxicorte Suprarex SXE – P 8000	Martifer	-	-	400€
Tratamento superficial	-	-	-	1 000€
Mão de obra				
Processos de fabrico		-	-	800€
Montagem	Martifer	-	-	4 800€
Formação				
Formação de operador		50 h		2 000€
TOTAL				92 820,11€

4.7 Estudo de retorno do investimento

A inexistência de um processo de fabrico em série na empresa, leva a que o estudo de retorno de investimento seja realizado através da análise dos custos associados ao corte de bocas de lobo (Figura 135) nos tubos de uma obra da Martifer. Esta análise consiste na comparação entre os custos da realização do corte de forma manual e os custos da realização do corte no pórtico a projetar. Na Tabela 73 encontram-se representados os diferentes tubos constituintes da obra em questão. É ainda de salientar que, para a total perceção da diferença monetária da realização do corte de forma manual ou no pórtico projetado, os custos abordados englobam o acabamento do tubo.



Figura 135 - Representação de um corte boca de lobo

Tabela 73 - Tubos constituintes do estudo de retorno de investimento

Referência do tubo	Dimensões (Ø-espessura) [mm]	Quantidade
CHS 356x10	356-6	10
CHS 406x10	406-8	12
CHS 457x10	457-10	6
CHS 508x12	508-12	114
CHS 508x16	508-16	12
CHS 610x12	610-12	36
CHS 610x16	610-16	84
CHS 610x20	610-20	2
CHS 610x25	610-25	4
CHS 711x20	711-20	14
CHS 711x25	711-25	8

Corte manual

A realização manual do corte boca de lobo com entalhe requer bastante experiência por parte do operador. Trata-se de um trabalho de difícil execução, dada a geometria final da peça pretendida. O corte manual do tubo é realizado com recurso às seguintes operações:

- Oxicorte: É utilizado inicialmente para remover grandes porções de material. O operador desenha a giz a linha de material a remover e procede à passagem da tocha de oxicorte com alguns centímetros de segurança. Desta forma, o operador aproxima a extremidade do tubo à geometria pretendida sem correr o risco de remover material em excesso.
- Rebarbagem: Este processo é utilizado numa fase em que o tubo já possui a geometria pretendida delineada de forma grosseira. A obtenção da geometria final é realizada com recurso a três tipos de discos diferentes:
 - Disco de corte: é utilizado após a passagem da tocha de oxicorte e permite a remoção de arestas pontiagudas;
 - Disco de rebarbar: é utilizado para realizar o desbaste de material, auxiliando na aproximação do tubo à geometria final;
 - Disco de lixar/"amanteigar": é utilizado quando o tubo já possui a geometria pretendida e confere o acabamento final.
- Soldadura: Por vezes o operador remove material em excesso. Nestes casos é utilizado o processo de soldadura MIG para depositar material e permitir a continuidade do corte. No entanto, os custos relativos à soldadura foram desprezados, uma vez que se trata de uma medida corretiva e cuja utilização é muito reduzida.

O custo relativo ao corte manual dos tubos da obra em questão é determinado através da equação (15).

$$\text{Custo de corte(manual)} = \text{Custo de mão de obra} + \text{Custo dos consumíveis} \quad (15)$$

De forma a organizar a determinação dos custos relativos ao corte manual dos da obra em questão, foi realizada a seguinte divisão:

- Determinação do custo de mão de obra
- Determinação do custo dos consumíveis

Determinação do custo de mão de obra

De forma a determinar os custos relativos à mão de obra, é necessário determinar o tempo total despendido no processo de corte de todos os tubos constituintes da obra em questão. Os tempos de *setup*, oxicorte e acabamento estimados, representados na Tabela 74, baseiam-se na experiência da Martifer na realização de cortes bocas de lobo em obras semelhantes. É ainda de salientar que, o tempo de corte total por referência é obtido através da equação (16).

$$\text{Tempo de corte por ref.} = \text{Quant.} \times (\text{Tempo de corte unitário}) \quad (16)$$

Por sua vez, o tempo de corte unitário é descrito através da equação (17).

$$\text{Tempo de corte uni.} = \text{Tempo de } \textit{setup} + \text{Tempo de oxicorte} + \text{Tempo de acabamento} \quad (17)$$

Tabela 74 - Tempos de corte estimado - Processo manual

Ref. do tubo	Quant. *	Tempo de setup [min:seg]	Tempo de oxicorte [min:seg]	Tempo de acabamento [min:seg]	Tempo de corte unitário [min:seg]	Tempo de corte total por ref. [h]
CHS 356x10	10	5:00	6:07	29:15	40:22	6,73
CHS 406x10	12		7:19	33:43	46:02	9,21
CHS 457x10	6		8:27	37:55	51:22	5,14
CHS 508x12	114		9:42	42:28	57:10	108,62
CHS 508x16	12		10:16	44:35	59:51	11,97
CHS 610x12	36		12:10	51:34	68:44	41,24
CHS 610x16	84		12:43	53:37	71:20	99,87
CHS 610x20	2		13:16	55:38	73:54	2,46
CHS 610x25	4		13:57	58:08	77:05	5,14
CHS 711x20	14		15:27	63:42	84:09	19,64
CHS 711x25	8		16:47	66:46	88:03	11,74
Tempo de corte total [h]						321,76

*A quantidade designa o número de cortes boca de lobo, sendo que um tubo pode conter dois cortes, isto é, um em cada extremidade.

O custo da mão de obra da realização dos cortes para a obra em questão é determinado com recurso à equação (18).

$$\text{Custo de mão de obra} = \text{Tempo de corte total} \times \text{Custo do operador} \quad (18)$$

$$\text{Custo de mão de obra} = 321,76 \times 25 = 8\,044\text{€}$$

Tendo em conta o tempo de corte total (321,76h) e que o custo do operador (com encargos) é de 25€/h, é possível concluir que o custo da mão de obra para a realização destes cortes é de 8 044€.

Determinação do custo dos consumíveis

Para a determinação dos custos referentes aos consumíveis é necessário ter em conta que, tal como referido anteriormente, o corte manual pode requerer a utilização de duas operações distintas, nomeadamente oxicorte e acabamento (rebarbagem). Como tal, a equação (19) descreve os custos de consumíveis da obra em questão.

$$\text{Custo consumíveis} = \text{Custo consumíveis(corte)} + \text{Custo consumíveis(acabamento)} \quad (19)$$

De forma a efetuar o cálculo dos custos dos consumíveis, é necessário determinar os tempos unitários destas duas operações, representados na Tabela 75. Estes tempos foram obtidos tendo em conta os tempos de oxicorte e os tempos de acabamento, representados na Tabela 74, assim como as respetivas quantidades de tubo a cortar.

Tabela 75 - Tempos total despendido em oxicorte e em acabamento

Tempo de oxicorte total [h]	Tempo de acabamento total [h]
56,13	240,51

Os custos dos consumíveis relativos ao oxicorte são referentes aos gases utilizados no processo (oxigénio e propano). Como tal, na Tabela 76, encontram-se representados os parâmetros de corte do bico de corte utilizado pela Martifer na execução dos cortes da obra em questão.

Tabela 76 - Fluxo de gás para os diferentes bicos de corte a utilizar no corte manual

Bico de corte	Espessura [mm]	Pressão Oxigénio [bar]	Pressão Propano [bar]	Fluxo de oxigénio [m³/h]	Fluxo de propano [m³/h]
[1]	10 – 75	3	0,3	5,2	0,6

O cálculo do volume total dos gases utilizados no processo de oxicorte manual e o respetivo custo encontra-se representado na Tabela 77.

Tabela 77 - Custo dos diferentes gases utilizados no corte manual dos tubos da obra em questão

Gás	Volume [m ³]	Custo [€/m ³]	Custo total [€]
Oxigénio	291,88	0,36	105,08
Propano	33,68	1,29	43,45
Custo total dos consumíveis (corte)			148,53

Sabendo o custo dos consumíveis relativos ao corte, é necessário proceder ao cálculo do custo dos consumíveis referentes ao acabamento (rebarbagem). Estes custos são associados aos discos utilizados. Tendo em conta a análise dos dados referentes aos discos utilizados pela Martifer, concluiu-se que o custo médio dos consumíveis é de 2,09€/h (valor obtido através da análise de custos de obras anteriores semelhantes). Como tal, tendo em conta que, para o corte manual dos tubos da obra em questão, são despendidas 240,51 horas em acabamentos, é possível determinar os custos dos consumíveis de acabamentos através da equação (20).

$$\text{Custo consumíveis(acabamento)} = \text{Custo de acabamento} \times \text{Tempo de acabamento} \quad (20)$$

$$\text{Custo consumíveis(acabamento)} = 2,09 \times 240,51$$

$$\text{Custo consumíveis(acabamento)} = 502,67 \text{ €}$$

Na Tabela 78 encontra-se representado o resumo dos custos dos consumíveis relativos ao processo manual de corte de tubo para a obra em questão.

Tabela 78 - Custos dos consumíveis para o corte manual dos tubos da obra em questão

Operação	Custo total [€]
Oxicorte	148,53
Acabamento	502,67

Através da equação (19), conclui-se que o custo dos consumíveis total para o processo de corte de tubos manual é de 651,20€. Sabendo o custo total de mão de obra total e o

custo total dos consumíveis é possível determinar o custo da realização do corte manual da obra em questão, através da equação (21).

$$\text{Custo corte (manual)} = \text{Custo de mão de obra} + \text{Custo dos consumíveis} \quad (21)$$

$$\text{Custo corte (manual)} = 8\,044 + 651,20$$

$$\text{Custo corte (manual)} = 8\,695,20\text{€}$$

Corte no pórtico em estudo

A determinação dos custos da realização do corte dos tubos no pórtico projetado necessita de ter em conta que os tubos cortados requerem trabalhos de acabamento, tal como referido anteriormente. No entanto, o pórtico em questão não permite a sua realização de forma semiautomática, sendo efetuado manualmente através do processo de rebarbagem.

O custo de corte total no pórtico projetado é descrito através da equação (22).

$$\text{Custo corte(pórtico)} = \text{Custo de mão de obra} + \text{Custo dos consumíveis} \quad (22)$$

De forma a organizar a determinação dos custos relativos ao corte dos tubos no pórtico projetado foi realizada a seguinte divisão:

- Determinação do custo de mão de obra;
- Determinação do custo dos consumíveis.

Determinação do custo de mão de obra

Primeiramente, são determinados os custos relativos à mão de obra. Estes são obtidos através da equação (23).

$$\text{Custo m.o.} = (\text{Tempo de corte total} + \text{Tempo de acabamento}) \times \text{Custo do operador} \quad (23)$$

Apesar de o pórtico projetado ser semiautomático, é necessário que um operador supervise o funcionamento do equipamento. Como tal, é associado o custo de mão de obra ao corte no pórtico projetado. O tempo de corte unitário é estimado através da equação (24), sendo que a este foi incrementado o tempo de *setup* de cinco minutos. Este é constante, tendo sido considerado que as dimensões do tubo não afetam os processos associados à fixação do tubo. Na Tabela 79 é possível verificar o tempo de corte dos tubos da obra em questão.

$$\text{Tempo de corte unitário} = \frac{\text{Perímetro}}{\text{Velocidade de corte}} \quad (24)$$

Por outro lado, o tempo de corte total por referência é calculado através da equação (25).

$$\text{Tempo de corte total por ref.} = \text{Quant.} \times (\text{Tempo de corte uni.} + \text{Tempo de } \textit{setup} \text{ uni.}) \quad (25)$$

Tabela 79 - Tempos de corte estimados - Processo robotizado

Referência do tubo	Quant.	Perímetro de corte [mm]	Velocidade de corte [mm/min]	Tempo de corte unitário [min:seg]	Tempo de setup unitário [min:seg]	Tempo de corte total por referência [h]
CHS 356x10	10	1165	710	1:38	5:00	1,11
CHS 406x10	12	1355	650	2:05		1,40
CHS 457x10	6	1577	630	2:30		0,75
CHS 508x12	114	1711	600	2:51		14,92
CHS 508x16	12	1711	565	3:02		1,61
CHS 610x12	36	1930	600	3:13		4,93
CHS 610x16	84	1930	565	3:25		11,78
CHS 610x20	2	1930	515	3:45		0,29
CHS 610x25	4	1930	460	4:12		0,61
CHS 711x20	14	2395	515	4:39		2,25
CHS 711x25	8	2395	460	5:12		1,36
Tempo de corte total [h]						41,01

De forma a determinar o custo de mão de obra, é ainda necessário determinar o tempo associado ao acabamento dos tubos. O custo da mão de obra no acabamento depende do diâmetro e espessura do tubo uma vez, que quanto maiores forem as dimensões do

tubo, mais tempo é despendido para conferir o acabamento desejado. Na Tabela 80 é possível verificar os tempos estimados de acordo com as dimensões dos tubos. É ainda de salientar que estes valores são baseados em trabalhos semelhantes realizados na Martifer.

Tabela 80 - Tempos de acabamento estimados

Referência do tubo	Quantidade	Tempo de acabamento unitário [min]	Tempo de acabamento total [h]
CHS 356x10	10	7	1,17
CHS 406x10	12	7	1,40
CHS 457x10	6	8	0,80
CHS 508x12	114	9	17,10
CHS 508x16	12	9	1,80
CHS 610x12	36	11	6,60
CHS 610x16	84	11	15,40
CHS 610x20	2	12	0,40
CHS 610x25	4	12	0,80
CHS 711x20	14	14	3,27
CHS 711x25	8	14	1,87
Tempo de acabamento total [h]			50,61

É ainda de salientar que o tempo de acabamento no pórtico projetado é bastante inferior ao tempo de acabamento do processo de corte manual, uma vez que, no último, quando o operador realiza o corte com tocha de oxicorte, deixa alguns centímetros de segurança para evitar que corte em excesso. Desta forma, o processo de rebarbagem é muito mais demorado, pois é necessário um maior desbaste de material. Por outro lado, os tubos cortados no pórtico projetado possuem já possuem as dimensões exatas requeridas, sendo apenas necessário conferir o acabamento final com recurso a um disco de lixar.

Tendo em conta os tempos totais de corte e de acabamento representados na Tabela 79 e na Tabela 80, respetivamente, é possível determinar que o tempo total, pelo qual a mão de obra será cobrada, é de 91,62 horas, o que equivale a 91 horas e 37 minutos de trabalhos. Considerando o custo de mão de obra de 25€/h, é possível concluir, através da equação (23), que a realização dos cortes desta obra no pórtico projetado, tem um custo de mão de obra no valor de 2 290,50 €.

Determinação do custo dos consumíveis

Ao custo de mão de obra é necessário incrementar os custos relativos aos consumíveis, de forma a obter o custo total do corte dos tubos no pórtico projetado. Como tal, a obtenção do custo dos consumíveis dá-se através do uso da equação (19), tal como foi efetuado para o estudo dos custos do corte manual. No entanto, os valores introduzidos referem-se ao estudo dos custos da realização do corte de forma semiautomática.

O custo dos consumíveis relativos ao corte baseia-se nos gastos de gás para a realização dos cortes da obra em questão. As diferentes espessuras de tubo levam a que sejam necessários bicos de corte diferentes e, consequentemente, existam diferentes fluxos de corte. Os bicos de corte que a tocha de oxicorte projetada possui encontram-se representados na Tabela 66, enquanto os bicos para a obra em questão e os respetivos fluxos de gás encontram-se na Tabela 81.

Tabela 81 - Fluxo de gás para os diferentes bicos de corte a utilizar no corte de tubo no pórtico a projetar

Referência do tubo	Bico de corte a utilizar	Fluxo de Oxigénio de corte [m³/h]	Fluxo de Oxigénio de aquecimento [m³/h]	Fluxo de Propano [m³/h]
CHS 356x10	PSF 7-15	1,8	1,3	0,2
CHS 406x10				
CHS 457x10				
CHS 508x12				
CHS 610x12				
CHS 508x16	PSF 15-25	2,8		
CHS 610x16				
CHS 610x20				
CHS 610x25				
CHS 711x20				
CHS 711x25				

De forma a calcular o volume de gás necessário, é efetuada a reorganização das horas de corte, representadas na Tabela 79, de acordo com o bico de corte utilizado. Na Tabela 82 é possível verificar os tempos de corte (sem tempo de *setup*) em função do bico de corte utilizado.

Tabela 82 - Tempos de corte totais de acordo com os respetivos bicos de corte utilizados

Bico de corte	Tempo de corte [h]
PSF 7-15	8,3
PSF 15-25	7,6

Através da equação (26) é possível calcular o volume necessário dos diferentes gases para concluir a obra.

$$Q = \frac{V}{t} \Leftrightarrow V = Q \times t \quad (26)$$

Exemplo: Cálculo do volume de oxigénio de corte para os tubos cortados com o bico PSF 7-15.

Caudal de oxigénio de corte: 1,80 m³/h

Tempo de corte total: 8,3 h

$$V = 1,80 \times 8,3$$

$$V = 14,94 \text{ m}^3$$

Na Tabela 83 encontram-se representados os volumes dos diferentes gases utilizados no processo de corte em função do bico de corte.

Tabela 83 - Volumes dos diferentes gases em função do bico de corte

Bico de corte	Volume de oxigénio corte [m ³]	Volume de oxigénio aquecimento [m ³]	Volume de propano [m ³]
PSF 7-15	14,94	10,79	1,66
PSF 15-25	21,28	9,88	1,52
Volume total	36,22	20,67	3,18

Os diferentes gases utilizados na obra em questão são fornecidos através do sistema próprio de tubagens de gás da Martifer. Como tal, foi utilizado o custo por metro cúbico exercido pelo fornecedor da empresa. Sabendo o volume total e o custo relativo aos diferentes gases utilizados no processo de corte dos tubos da obra em questão, é possível determinar o custo dos consumíveis do corte (Tabela 84).

Tabela 84 - Custo dos diferentes gases utilizados no corte dos tubos da obra em questão no pórtico projetado

Gás	Volume [m ³]	Custo [€/m ³]	Custo [€]
Oxigénio (corte + aquecimento)	56,89	0,36	20,48
Propano	3,18	1,29	4,10
Custo consumíveis (corte) [€]			54,58

De forma a calcular o custo dos consumíveis total, é ainda necessário determinar o custo dos consumíveis relativos ao processo de acabamento dos tubos. Tal como no processo de corte manual, também no processo de corte dos tubos no pórtico projetado, o acabamento é manual, sendo que é utilizado o custo dos consumíveis de acabamento de 2,09€/h. Tal como foi referido anteriormente, este valor é obtido através da análise dos dados referente aos discos utilizados pela Martifer. Juntamente com os tempos de acabamento, representados na Tabela 80, é possível determinar o valor dos custos dos consumíveis de acabamento através da equação (20).

$$\text{Custo consumíveis(acabamento)} = 2,09 \times 50,61$$

$$\text{Custo consumíveis(acabamento)} = 105,77\text{€}$$

Na Tabela 85 encontra-se representada uma tabela-resumo dos custos dos consumíveis relativos ao processo de corte de tubo no pórtico projetado, para a obra em questão.

Tabela 85 - Custos dos consumíveis para o corte dos tubos da obra em questão no pórtico projetado

Operação	Custo total [€]
Oxicorte	54,58
Acabamento (Rebarbagem)	105,77

Através da equação (19), conclui-se que o custo dos consumíveis total para o processo de corte de tubos no pórtico projetado é de 160,35€. Sabendo o custo total de mão de obra total e o custo total dos consumíveis é possível determinar o custo da realização do corte manual da obra em questão, através da equação (22).

$$\text{Custo corte(pórtico)} = 2\,290,51 + 160,35$$

$$\text{Custo corte(pórtico)} = 2\,450,85\text{€}$$

Tendo calculado os custos do corte dos tubos da obra em questão para ambos os cenários (Tabela 86), isto é, para o corte manual e no pórtico projetado, concluiu-se que, tal como era expectável, o corte dos tubos no pórtico projetado resulta numa acentuada diminuição dos custos de corte, de aproximadamente 355%.

Tabela 86 - Custo do corte manual e no pórtico projetado dos tubos da obra em questão

Custo do corte manual	Custo do corte no pórtico projetado
8 695,20€	2 450,85 €

Na Figura 136 é possível comparar os custos relativos à mão de obra e aos consumíveis entre a operação manual e semiautomática. Conclui-se que, no último caso, existe uma redução abrupta dos custos associados à mão de obra comparativamente com o corte manual. Para além de o corte semiautomático ser mais vantajoso economicamente, também diminui o número de ações diretas do trabalhador na produção dos tubos, diminuindo o risco de acidentes de trabalho.

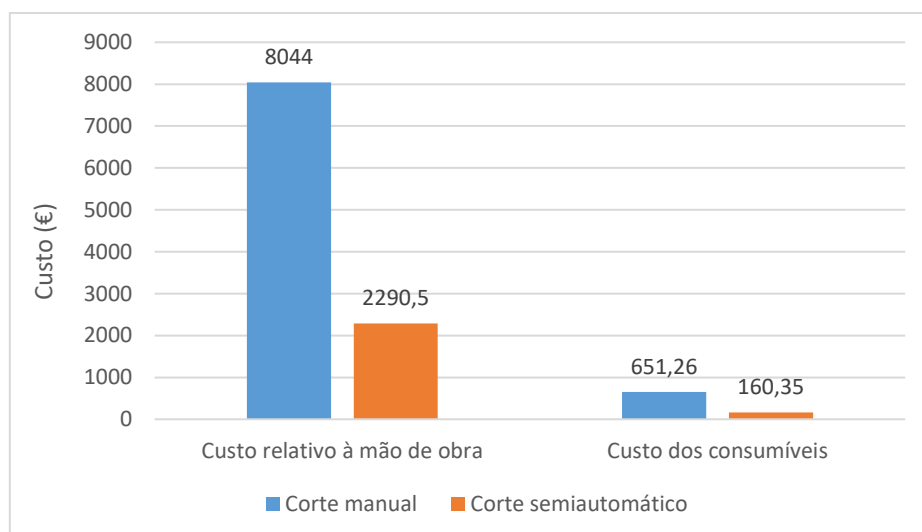


Figura 136 - Custo da mão de obra e dos consumíveis no corte manual e semiautomático

Analisando o custo dos consumíveis, é possível verificar que também existe uma redução significativa do custo dos gases quando se efetua o corte de forma semiautomática. No entanto, a maior alteração centra-se no custo dos discos utilizados no processo de corte, tal como é possível verificar na Figura 137. O corte semiautomático leva a que se reduza o custo dos discos em aproximadamente 475%.

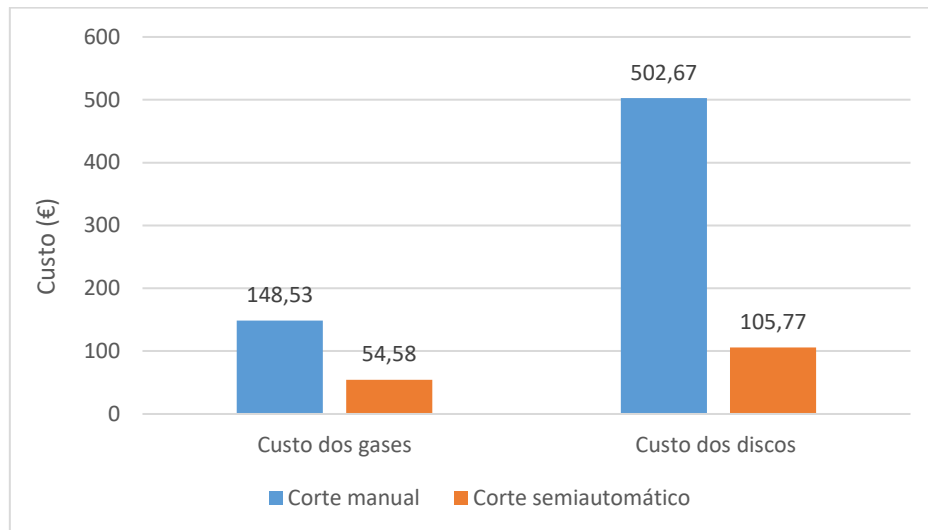


Figura 137 - Custo dos consumíveis no corte manual e semiautomático

Na Figura 138 é possível verificar o tempo despendido nos processos de oxicorte e de acabamento para o processo manual e semiautomático. Nesta figura é possível observar que o processo de corte semiautomático acarreta um tempo total de processo muito inferior ao manual, verificando-se uma redução do tempo total de execução da obra em questão de, aproximadamente, 446%.

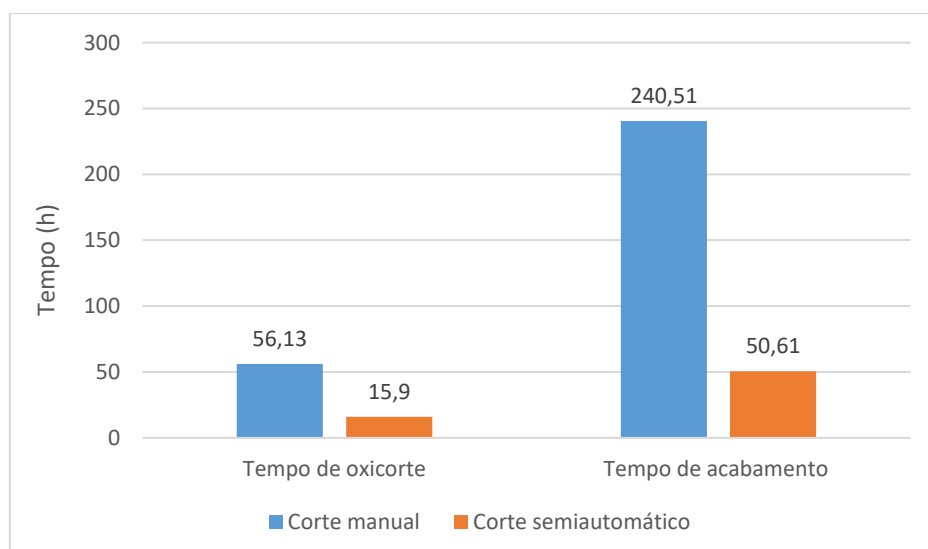


Figura 138 - Tempo de oxicorte e de acabamento no corte manual e semiautomático

Payback

O tempo necessário para a liquidação dos custos despendidos na readaptação do equipamento é calculado através da equação (27).

$$Payback(\text{anos}) = \frac{\text{Investimento para a readaptação do pórtico}}{\text{Ganho do equipamento}} \quad (27)$$

O investimento total para a readaptação do pórtico de soldadura é de 92 820,11€, tal como é possível verificar no capítulo 4.6 – Orçamentação. Por outro lado, o ganho do equipamento é definido através da diferença entre os custos de produção de forma manual e do pórtico a projetar, apresentados na Tabela 86. No entanto, é necessário ter em conta que o histórico de produção deste tipo de obras da Martifer revela que esta mantém uma cadência de produção anual de cinco vezes a obra apresentada.

$$Payback(\text{anos}) = \frac{92\,820,11}{5 \times (8\,695,20 - 2\,450,85)} = 2,97 \text{ anos} \quad (28)$$

É possível concluir que o *payback* do equipamento será alcançado ao fim de, aproximadamente 36 meses, que se apresenta como um valor aceitável, tendo em conta o elevado investimento necessário para a readaptação do pórtico.

4.8 Manual de montagem

O manual de montagem é essencial para que o equipamento seja montado de forma correta e exemplar, caso contrário, poderá conduzir a um mau funcionamento do equipamento, ou mesmo a uma falha catastrófica. Na Figura 139 encontra-se representado o pórtico a projetar no seu estado preliminar, isto é, sem a aplicação das soluções adotadas.

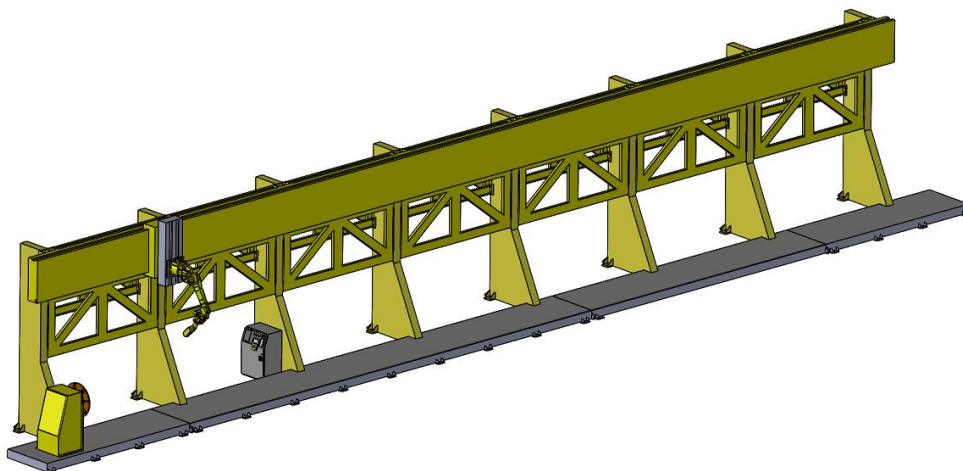


Figura 139 - Pórtico a projetar sem a aplicação das soluções adotadas

De forma a promover a melhor organização do relatório, os diferentes aspetos relativos à montagem dos equipamentos no pórtico a projetar são dispostos de acordo com a ordem dos diferentes grupos de análise, previamente definida.

Suporte de tubos

A montagem dos suportes de tubos é de elevadíssima importância para o bom funcionamento de todo o sistema. Como tal, esta deve ser realizada de acordo com o projeto mecânico. A aplicação dos suportes de tubo no pórtico a projetar requer que, numa primeira fase, se realize a aplicação das guias no pórtico existente, tal como representado na Figura 140, com recurso a soldadura.

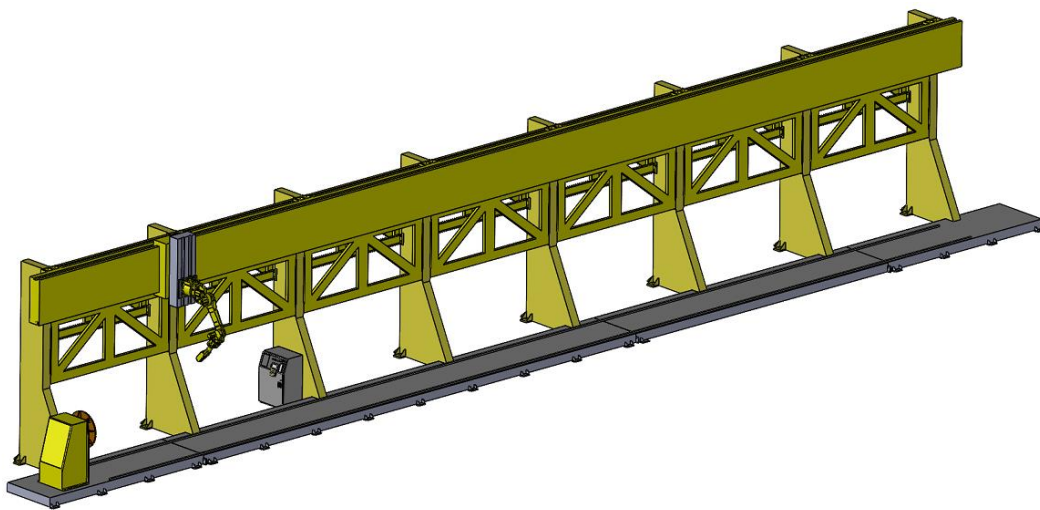


Figura 140 - Representação das guias para os suportes de tubos no pórtico a projetar

Seguidamente colocam-se os suportes de tubos sobre as guias (Figura 141), com recurso à ponte móvel existente no pavilhão em que o pórtico se encontra localizado.

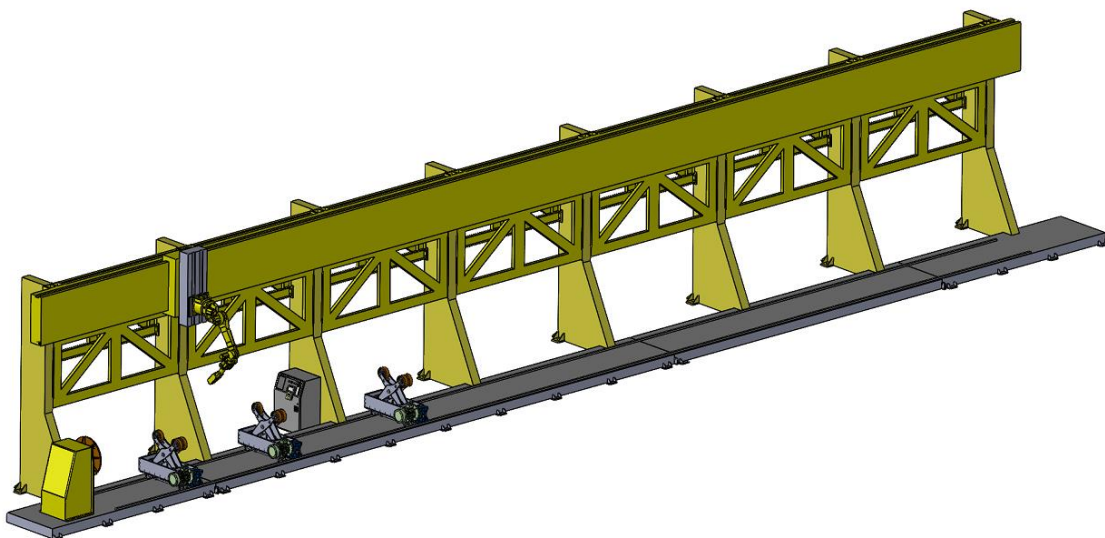


Figura 141 - Aplicação dos suportes de tubos no pórtico a projetar

Por fim, é ainda necessário proceder à montagem das duas calhas articuladas, que permitem o guiamento dos cabos do motor dos três suportes de tubo. Estas calhas posicionam-se paralelamente, tal como representado na Figura 142.

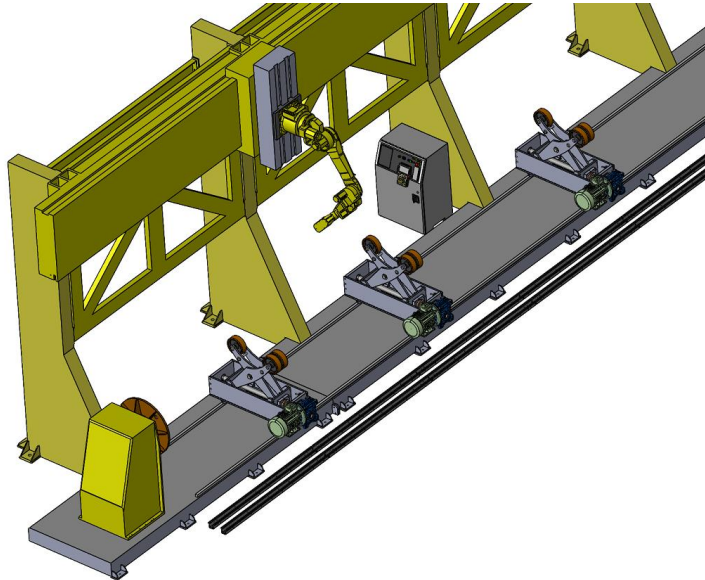


Figura 142 - Representação das calhas articuladas no pórtico a projetar

Bucha fixadora

A montagem da bucha fixadora no pórtico a projetar necessita de seguir todas as diretrizes referidas no respetivo catálogo. A sua aplicação no pórtico projetado encontra-se representada na Figura 143. É ainda de salientar que o posicionamento do prato da bucha fixadora é realizado com recurso à ponte móvel existente no pavilhão onde o pórtico em estudo se encontra localizado.

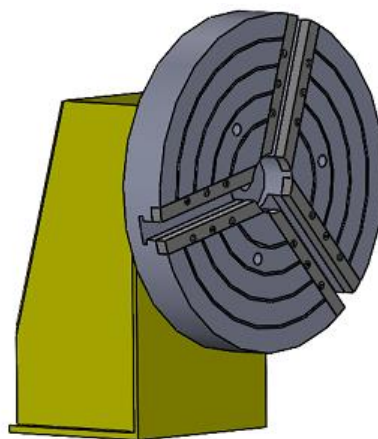


Figura 143 - Aplicação do prato da bucha fixadora na estrutura existente

Tendo em conta que no catálogo da bucha comprada não é possível concluir de que forma é que esta é fixada, conclui-se que o adaptador do prato da bucha fixadora

(elemento 2 da Figura 114) poderá sofrer alterações de forma a que seja possível realizar a correta fixação do prato da bucha fixadora à estrutura existente em chão de fábrica.

Processo de corte

A montagem dos elementos referentes ao processo de corte reduz-se ao acoplamento do veio de fixação do sistema de corte (Figura 130) à ponteira do robot FANUC M16i (Figura 129). Por sua vez, a tocha de oxicorte adotada é fixada ao veio de fixação do sistema de corte com recurso a dois grampos de fixação, como mostra na Figura 131.

4.9 Manual de manutenção

De forma a promover a longevidade do equipamento a projetar, foi elaborado um manual de manutenção, contemplando uma série de ações preventivas. Este encontra-se representado na Tabela 87.

Tabela 87 - Manual de manutenção

Grupo de análise	Componente	Frequência	Ação necessária
I – Suporte de tubos	Motor	Trimestral	Verificação do estado das ligações elétricas
		Trimestral	Verificação do correto funcionamento da ventoinha e grelha de proteção
	Moto redutor	Trimestral	Verificação do nível do óleo
		Trimestral	Verificação de vibrações na zona dos rolamentos
	Fuso	Mensal	Verificação da integridade da rosca trapezoidal

	Sistema de guias (guias)	Mensal	Verificação do estado da guia (amassadelas na guia)
	Sistema de guias (carros-guia)	Mensal	Verificação da estrutura do carrinho
		Mensal	Lubrificação do carro-guia
	Acoplamento	Mensal	Verificação do aperto com chave dinamométrica
II – Bucha fixadora	Garras	Trimestral	Verificação de desgaste
	Conjunto hidráulico	Trimestral	Verificação do nível de óleo
		Trimestral	Verificação de mangueiras
II – Processo de corte	Braço robótico	-	Seguir as indicações do fabricante
	Tocha de oxicorte	Mensal	Verificação da integridade da estrutura
	Válvula de segurança	Mensal	Verificação do correto funcionamento
	Válvula anti- retorno	Quinzenal	Verificação do correto funcionamento do componente

IV – Recondicionamento do controlador	Controlador	Mensal	Limpeza interna do quadro
Sistema elétrico	Geral	Mensal	Verificação do estado da cabelagem
Sistema de gases de corte	Geral	Mensal	Verificação das tubagens de gás

CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

5 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES

A automação e a melhoria de processos das empresas do setor da metalomecânica é um fator crucial para que estas não percam a sua competitividade no mercado de trabalho. Estas medidas levam a um aumento da produtividade e da qualidade das peças produzidas. Para além disso, a automação de equipamentos leva a uma redução da mão de obra necessária para a execução de uma determinada tarefa, que se traduz numa redução dos custos do processo.

A readaptação do pórtico de soldadura para uma máquina semiautomática de corte de geometrias complexas em tubos de grandes dimensões revelou um grande aumento da produtividade. O seu projeto implicou a execução de um complexo projeto mecânico, pelo que a tempestade de ideias e o anteprojeto se demonstraram essenciais para o desenvolvimento do mesmo. Nesta fase foram apresentadas as soluções mais adequadas para os problemas identificados, salvaguardando os requisitos previamente definidos pela empresa.

O estudo dos diferentes grupos de análise permitiu perceber as várias particularidades dos equipamentos de uma máquina de corte de tubo e as diferentes alternativas existentes no mercado. Mais especificamente, o suporte de tubos foi a vertente mais explorada, uma vez que este componente, de momento, não existe em chão de fábrica e a sua oferta no mercado é bastante reduzida. Como tal, o desenvolvimento deste componente do conjunto demonstrou-se bastante benéfico, uma vez que se projetou um suporte de tubos especificamente adaptado às necessidades da aplicação em estudo.

Com a conclusão do estágio e correspondente projeto, constatou-se que, de forma geral, todos os objetivos foram cumpridos. Estes podem ser observados na Tabela 88, seguidos da respetiva análise crítica.

Tabela 88 - Análise ao cumprimento dos objetivos propostos para o projeto

Objetivo	Conclusões	Avaliação
Projeto de uma máquina para realização de cortes complexos em tubos de grandes dimensões de forma semiautomática.	O equipamento desenvolvido permite a realização de cortes complexos em tubos de grandes dimensões de forma semiautomática. O seu funcionamento apenas necessita da intervenção humana para posicionar e retirar o tubo antes e depois do corte, respetivamente. Para além disso, é necessário o acompanhamento de um operador para dar a ordem do início do corte.	
Desenvolvimento de todos os sistemas adjacentes à realização do corte de forma semiautomática.	Ao longo do desenvolvimento do projeto, surgiram várias vertentes a ser analisadas, separadas por cinco grupos de análise. Estes foram estudados em pormenor, visando o bom funcionamento de todo o sistema. No seguimento deste tópico, salienta-se o grupo de análise do suporte de tubos que, devido à escassa oferta no mercado, foi projetado e dimensionado para ser fabricado internamente. Este componente apresenta-se como um equipamento inovador, que apesar de ter sido projetado para satisfazer as necessidades da empresa, pode-se revelar como uma solução competitiva no mercado.	
Aumento da produtividade deste tipo de corte.	Segundo o estudo de retorno de investimento efetuado, verificou-se que a realização do corte de tubos de forma semiautomática, de uma obra definida, possui um tempo total de produção inferior em 446% ao corte do mesmo conjunto de tubos, de forma manual.	
Redução dos custos associados ao corte de tubos	A readaptação do pórtico existente em chão de fábrica permitiu realizar o corte de forma semiautomática, levando a uma redução de custos de processo de aproximadamente 355%, comparativamente ao corte manual.	

Diminuição da mão de obra associada ao processo em questão.	A realização deste tipo de corte no pórtico projetado resultou numa redução considerável da mão de obra. Este corte, atualmente, é realizado de forma manual, o que se traduz num número de horas de trabalho bastante elevado. A automatização do equipamento levou a que todos o processo de corte seja realizado de forma automática, sendo apenas necessária a intervenção do operário para colocar e retirar o tubo da máquina e para dar a ordem de início de corte.	
Apresentar o menor custo de investimento possível, salvaguardando a produtividade do equipamento.	Apesar do investimento inicial para a readaptação do pórtico existente ser elevado, as alterações implementadas promovem um grande aumento de produtividade, quando comparado ao corte de tubos manual. Este aumento permite que a readaptação do pórtico seja amortizada em 36 meses.	
Garantir que o equipamento não apresenta risco para a segurança do operador.	O equipamento segue a diretiva máquinas (DL 103/2008) e a diretiva equipamentos de trabalho (DL50/2005), o que faz com que a segurança do operador esteja assegurada.	

Em suma, pode-se concluir que todos os objetivos traçados foram alcançados com sucesso. É ainda de salientar, a título final, que a realização deste projeto na qual se baseia a dissertação apresenta-se como uma experiência extremamente enriquecedora, pelo facto de permitir que o mestrando tenha um contacto próximo com o ambiente industrial, no qual o pórtico a readaptar se encontra inserido.

5.2 PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

A indústria metalomecânica encontra-se em constante evolução, sendo de extrema importância implementar uma cultura de melhoria contínua, de forma a aumentar a competitividade da empresa. Para além da implementação da parte prática do estudo em questão, entende-se que um possível trabalho futuro seria também o projeto de um sistema adicional de bloqueio do movimento rotacional dos veios do suporte das hastes. O sistema projetado considera que o aperto do parafuso à parede lateral do suporte das hastes é suficiente para restringir o movimento rotacional do veio (Figura 69). Contudo, caso tal não se verifique, apesar de não trazer nenhuma consequência gravosa, pode-se optar por implementar um sistema de bloqueio geométrico, em que as extremidades do veio apresentam uma geometria aproximadamente oval, que encaixa na parede lateral do suporte das hastes, não permitindo o movimento rotacional do veio.

BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

6 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- [1] M. M. Santos, «Os capitais metalomecânicos em Portugal», Dissertação de doutoramento em História na Faculdade de Letras da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2000.
- [2] E. Mazareanu, «Machine tool producers- market share in 2019, by country», 2020. <https://www.statista.com/statistics/264213/leading-countries-in-machine-tool-production-based-on-market-share/> (acedido Jan. 25, 2021).
- [3] World Steel Association, «Major steel-producing», 2020. <http://www.worldsteel.org/wsif.php> (acedido Jan. 25, 2021).
- [4] Eurostats, «EU-28 value of sold industrial production», 2015. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Industrial_production_statistics (acedido Jan. 25, 2021).
- [5] Eurostats, «Impact of Covid-19 crisis on industrial production», 2020. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Impact_of_Covid-19_crisis_on_industrial_production (acedido Jan. 28, 2021).
- [6] Observador, «Portugal com 3.º maior recuo homólogo da UE na produção industrial mas maior subida mensal», 2020. <https://observador.pt/2020/09/14/portugal-com-3-o-maior-recuo-homologo-da-ue-na-producao-industrial-mas-maior-subida-mensal/?fbclid=IwAR3Ja9nDQ3kb7Srje2DYQcH7qcO4CJkDM-Sx9jL0AsYsmTidYref93LOvU> (acedido Jan. 28, 2021).
- [7] «Estudo da Central de Balanços - Análise setorial da indústria metalomecânica Estrutura e dinâmica», *Relatório Banco de Portugal*, pp. 2013–2016, 2015.
- [8] «Estudo da Central de Balanços: Análise setorial da indústria metalomecânica», *Relatório Banco de Portugal*, p. 3, 2020.
- [9] C. Cardoso e V. Quelhas, «Metalurgia e Metalomecânica: número um das exportações», *Portugal global*, vol. 114, pp. 12–23, 2014.
- [10] B. Bhattacharyya e B. Doloi, *Modern machining technology*, 1ª Edição. Cambridge, Massachusetts, EUA: Academic Press, 2019.
- [11] V. Chiaverini, *Tecnologia Mecânica - Processos de Fabricação e Tratamento - Volume II*, 2ª Edição. Nova Iorque, EUA: McGraw-Hill, 1986.

- [12] M. P. Groover, *Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems*, 3ª Edição. Hoboken, New Jersey, EUA: John Wiley & Sons, Incorporated, 2007.
- [13] H. Tschätsch, *Applied Machining Technology.*, 8ª Edição. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.
- [14] S. Kalpakjian e S. R. Schmid, *Manufacturing engineering and technology*, 6ª Edição. Londres, Inglaterra: Pearson Education, 2009.
- [15] J. T. Black e R. A. Kohser, *Materials and Process in manufacturing*, 10ª Edição. Hoboken, New Jersey, EUA: John Wiley & Sons, Incorporated, 2008.
- [16] S. Cicero *et al.*, «Fatigue behaviour of structural steels with oxy-fuel, plasma and laser cut straight edges. Definition of Eurocode 3 FAT classes», *Engineering Structures*, vol. 111, pp. 152–161, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.engstruct.2015.12.004.
- [17] T. L. Pond e C. R. Martin, «Electrical characteristics of the oxyfuel flame while cutting steel», *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 112, pp. 1–11, 2020, doi: 10.1016/j.expthermflusci.2019.109985.
- [18] H. Geng, *Manufacturing engineering handbook*, 1ª Edição. Nova Iorque, EUA: McGraw-Hill, 2004.
- [19] J. P. Ramalho, «Oxicorte: Estudo da transferência de calor e modelamento por redes neurais artificiais de variáveis do processo», Dissertação de doutoramento em Engenharia Mecânica na Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2008.
- [20] C. S. Ramakrishna, K. S. Raghuram, e B. A. Ben, «Process Modelling and Simulation Analysis of CNC Oxy-Fuel Cutting Process on SA516 Grade 70 Carbon Steel», *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, n. 2, pp. 7818–7827, 2018, doi: 10.1016/j.matpr.2017.11.461.
- [21] N. R. Mandal, *Ship Construction and welding*, 1ª Edição., vol. 2. New Orleans, LA, EUA, 2017.
- [22] J. Ion, *Laser processing of Engineering Materials, Principles, Procedures and industrial application*, 1ª Edição. King's Lynn, Norfolk, Inglaterra: Butterworth-Heinemann, 2005.
- [23] K. Y. Bae, Y. S. Yang, M. S. Yi, e C. M. Hyun, «A study on prediction of the size of heat affected zone in oxy-ethylene flame cutting of steel plates», *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, vol. 17, n. 6, pp. 733–740, 2016, doi: 10.1007/s12541-016-0091-z.
- [24] Y. I. Mogul, I. Nasir, e P. Myler, «Investigation and optimization for depth of cut and surface roughness for control depth milling in Titanium Ti6AL4V with abrasive water jet cutting», *Materials Today: Proceedings*, vol. 28, pp. 604–610, 2019, doi: 10.1016/j.matpr.2019.12.229.

- [25] Z. Huda, *Nontraditional Machining Processes*, 1ª Edição. Springer-Verlag London, 2019.
- [26] J. Beddoes e M. J. Bibby, *Principles of metal manufacturing processes*, 1ª Edição. Amesterdão, Holanda: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2003.
- [27] J. Meijer, «Laser beam machining (LBM), state of the art and new opportunities», *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 149, n. 1–3, pp. 2–17, 2004, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2004.02.003.
- [28] A. N. Bakhtiyari, Z. Wang, L. Wang, e H. Zheng, «A review on applications of artificial intelligence in modeling and optimization of laser beam machining», *Optics and Laser Technology*, vol. 135, pp. 1–18, 2021, doi: 10.1016/j.optlastec.2020.106721.
- [29] L. Onday e M. Arch, *Process fundamentals of industrial laser welding and cutting*, 2ª Edição. Michigan, EUA: Rofin-Sinar Inc., 1999.
- [30] B. S. Yilbas, *The Laser Cutting Process Analysis and Applications*, 1ª Edição. Amesterdão, Holanda: Elsevier, 2018.
- [31] A. Wetzig *et al.*, «Fast laser cutting of thin metal», *Procedia Manufacturing*, vol. 29, pp. 369–374, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2019.02.150.
- [32] V. Senthil Kannan, K. Lenin, e P. Navneethakrishnan, «Machining parameters optimization in laser beam machining for micro elliptical profiles using TOPSIS method», *Materials Today: Proceedings*, vol. 21, pp. 727–730, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2019.06.747.
- [33] A. Rajeshkannan, M. Ali, R. Prakash, R. Prasad, A. K. Jeevanantham, e K. Jayaram, «Optimizing the process parameters in plasma arc cutting using taguchi approach for the case industry in fiji», *Materials Today: Proceedings*, vol. 24, pp. 1122–1131, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.04.425.
- [34] K. Salonitis e S. Vatosianos, «Experimental investigation of the plasma arc cutting process», *Procedia CIRP*, vol. 3, n. 1, pp. 287–292, 2012, doi: 10.1016/j.procir.2012.07.050.
- [35] P. Patel, S. Soni, N. Kotkunde, e N. Khanna, «Study the effect of process parameters in plasma arc cutting on Quard-400 material using analysis of variance», *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, n. 2, pp. 6023–6029, 2018, doi: 10.1016/j.matpr.2017.12.206.
- [36] E. G. Lima, «Corte a plasma», *Revista de Soldadura ABS*, vol. 9, pp. 18–26, 2009.
- [37] V. A. Nemchinsky e W. S. Severance, «What we know and what we do not know about plasma arc cutting», *Journal of Physics D: Applied Physics*, vol. 39, n. 22, pp. 423–438, 2006, doi: 10.1088/0022-3727/39/22/R01.
- [38] V. A. Nemchinsky e W. S. Severance, «Plasma arc cutting: Speed and cut quality», *Journal of Physics D: Applied Physics*, vol. 42, pp. 1–7, 2009, doi: 10.1088/0022-

3727/42/19/195204.

- [39] M. Gostimirović, D. Rodić, M. Sekulić, e A. Aleksić, «An experimental analysis of cutting quality in plasma arc machining», *Advanced Technologies & Materials*, vol. 45, n. 1, pp. 1–8, 2020, doi: 10.24867/atm-2020-1-001.
- [40] V. Nemchinsky, *Heat transfer in plasma arc cutting*, 1ª Edição. Fort Lauderdale, EUA: Springer International Publishing, 2017.
- [41] K. Weman, *Welding Processes Handbook*, 2ª Edição. Cambridge, EUA: Woodhead, 2012.
- [42] D. N. Sharma e J. R. Kumar, «Optimization of dross formation rate in plasma arc cutting process by response surface method», *Materials Today: Proceedings*, vol. 32, pp. 354–357, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.01.605.
- [43] D. Singh, Y. Shrivastava, e R. Kumar, «Identification of suitable machining zone during the plasma arc cutting of SS-304», *Materials Today: Proceedings*, vol. In press, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.07.598.
- [44] E. Sugawara e H. Nikaido, *Automation production systems and computer-integrated manufacturing*, 4ª Edição. Londres, Inglaterra: Pearson Education, 2014.
- [45] J. M. Rosário, *Automação industrial*, 1ª Edição. São Paulo, Brasil: Baraúna, 2009.
- [46] C. Monteiro, L. P. Ferreira, N. O. Fernandes, F. J. G. Silva, e I. Amaral, «Improving the machining process of the metalwork industry by upgrading operative sequences, standard manufacturing times and production procedure changes», *Procedia Manufacturing*, vol. 38, n. 2019, pp. 1713–1722, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2020.01.106.
- [47] A. F. G. Barbosa, «Projeto de uma máquina de corte duplo de espiral com limpeza», Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica no Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, Portugal, 2020.
- [48] C. M. Tavares, «Automatização de uma célula robotizada de corte plasma», Dissertação de Mestrado em Automação e Comunicações em Sistemas de Energia no Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2011.
- [49] J. A. R. Silva, «Desenvolvimento de controlador para equipamento de corte e furação de vigas», Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017.
- [50] HGG Group, «HGG-3d profiling», 2021. <https://hgg-group.com/> (acedido Fev. 17, 2021).
- [51] Messer, «Messer - cutting systems», 2021. <https://us.messer-cutting.com/products/pipe-and-tube-cutting/> (acedido Jan. 29, 2021).
- [52] Lansun, «Lansun - CNC Technology», 2011. <http://www.lansuncnc.com/> (acedido Jan. 29, 2021).

- [53] «FANUC». <https://www.fanuc.eu/pt/pt> (acedido Jan. 15, 2021).
- [54] «KUKA - Braços robóticos industriais», 2020. <https://www.kuka.com/pt-pt/produtos-serviços/sistemas-de-robô/robôs-industriais> (acedido Jan. 26, 2021).
- [55] «ABB - Sistemas robóticos», 2021. <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots> (acedido Jan. 28, 2021).
- [56] «Nederman - Sistemas de extração de fumos e poeiras». <https://www.nederman.com/pt-pt/products/capture-and-extraction-units> (acedido Jan. 29, 2021).
- [57] «RoboVent - Sistema de extração para o corte a plasma», 2021. <https://robovent.com/solutions/plasma-cutting/> (acedido Jan. 29, 2021).
- [58] M. Ayani, M. Ganebäck, e A. H. C. Ng, «Digital Twin: Applying emulation for machine reconditioning», *Procedia CIRP*, vol. 72, pp. 243–248, 2018, doi: 10.1016/j.procir.2018.03.139.
- [59] Y. Du, H. Cao, F. Liu, C. Li, e X. Chen, «An integrated method for evaluating the remanufacturability of used machine tool», *Journal of Cleaner Production*, vol. 20, n. 1, pp. 82–91, 2012, doi: 10.1016/j.jclepro.2011.08.016.
- [60] M. Matsumoto e Y. Umeda, «An analysis of remanufacturing practices in Japan», *Journal of Remanufacturing*, vol. 1, n. 1, pp. 1–11, 2011, doi: 10.1186/2210-4690-1-2.
- [61] L. Xiao, W. Liu, Q. Guo, L. Gao, G. Zhang, e X. Chen, «Comparative life cycle assessment of manufactured and remanufactured loading machines in China», *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 131, pp. 225–234, 2018, doi: 10.1016/j.resconrec.2017.12.021.
- [62] M. V. Jamieson, L. M. Lefsrud, F. Sattari, e J. R. Donald, «Sustainable leadership and management of complex engineering systems: A team based structured case study approach», *Education for Chemical Engineers*, vol. 35, pp. 37–46, 2021, doi: 10.1016/j.ece.2020.11.008.
- [63] SKANSKA, «4 R Guide - Reduce, Reuse, Recycle and Recover», 2012. <https://group.skanska.com/48dc13/siteassets/sustainability/environmental-responsibility/materials/skanska4rguide.pdf>.
- [64] K. H. Yu, Y. Zhang, D. Li, C. E. Montenegro-Marin, e P. M. Kumar, «Environmental planning based on reduce, reuse, recycle and recover using artificial intelligence», *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 86, pp. 1–9, 2021, doi: 10.1016/j.eiar.2020.106492.
- [65] CONFOIL, «4R Policy», 2021. <https://www.confoil.com.au/our-footprint> (acedido Jan. 26, 2021).

- [66] P. Lopes, F. J. G. Silva, R. D. S. G. Campilho, e F. de Almeida, «Designing a novel and greener truck asphalt container», *Procedia Manufacturing*, vol. 38, pp. 324–332, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2020.01.042.
- [67] M. K. Gupta *et al.*, «Environment and economic burden of sustainable cooling/lubrication methods in machining of Inconel-800», *Journal of Cleaner Production*, p. 39, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.125074.
- [68] P. Sabarinathan, V. E. Annamalai, e K. Rajkumar, «Sustainable application of grinding wheel waste as abrasive for abrasive water jet machining process», *Journal of Cleaner Production*, vol. 261, p. 10, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121225.
- [69] P. Li, X. Li, e F. Li, «A novel recycling and reuse method of iron scraps from machining process», *Journal of Cleaner Production*, vol. 266, pp. 1–11, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121732.
- [70] D. Figueiredo, F. J. G. Silva, R. D. S. G. Campilho, A. Silva, C. Pimentel, e J. C. O. Matias, «A new concept of automated manufacturing process for wire rope terminals», *Procedia Manufacturing*, vol. 51, pp. 431–437, 2020, doi: 10.1016/j.promfg.2020.10.061.
- [71] A. F. Castro, M. F. Silva, e F. J. G. Silva, «Designing a robotic welding cell for bus body frame using a sustainable way», *Procedia Manufacturing*, vol. 11, pp. 207–214, 2017, doi: 10.1016/j.promfg.2017.07.225.
- [72] C. Rosa, F. J. G. Silva, e L. P. Ferreira, «Improving the quality and productivity of steel wire-rope assembly lines for the automotive industry», *Procedia Manufacturing*, vol. 11, pp. 1035–1042, 2017, doi: 10.1016/j.promfg.2017.07.214.
- [73] F. J. G. Silva, G. Swertvaegher, R. D. S. G. Campilho, L. P. Ferreira, e J. C. Sá, «Robotized solution for handling complex automotive parts in inspection and packing», *Procedia Manufacturing*, vol. 51, pp. 156–163, 2020, doi: 10.1016/j.promfg.2020.10.023.
- [74] «Martifer Group», 2020. <https://martifer.com/pt> (acedido Jul. 19, 2021).
- [75] «Parker Hannifin Corporation», 2021. <https://www.parker.com/portal/site/PARKER/menuitem.223a4a3cce02eb6315731910237ad1ca/?vgnnextoid=6e48000b2875e210VgnVCM10000048021dacRCRD&vgnnextfmt=PT> (acedido Jul. 19, 2021).
- [76] «Bornemann Gewindetechnik», 2021. <https://www.bornemann-gewindetechnik.de/pt/> (acedido Jul. 25, 2021).
- [77] A. A. Santos e A. F. Silva, *Automação Óleo-Hidráulica: Princípios de Funcionamento*, 1ª Edição. Porto, Portugal: Publindústria, 2016.
- [78] A. A. Santos e A. F. Silva, *Automação Pneumática*, 3ª Edição. Porto, Portugal: Publindústria, 2016.

- [79] ESAB, *Manual de instalação, operação, e manutenção para a tocha de corte a plasma mecanizado PT-600*. Londres, Inglaterra: ESAB, 2000.
- [80] ESAB, «Manual de instruções SUPRAREX SXE-P8000.pdf». ESAB, Londres, Inglaterra.
- [81] Ministério da Economia e Inovação, «DI 103/2008», em *Diário da Republica*, Lisboa, Portugal, 2008, pp. 3765–3795.
- [82] Instituto Português da Qualidade, «Segurança e saúde do trabalho, valores-limite e índices biológicos de exposição profissional a agentes químicos NP 1796:2014», pp. 3–77, 2014.
- [83] IGUS, «Página principal da IGUS», 2021. <https://www.igus.pt/> (acedido Jul. 30, 2021).
- [84] SKF, «Página principal da SKF», 2021. <https://www.skf.com/pt> (acedido Ago. 05, 2021).
- [85] Tecnopower, «Página principal da Tecnopower», 2021. <https://www.tecnopower.es/> (acedido Ago. 05, 2021).
- [86] ISO, *Pinos paralelos DIN EN ISO 8735*, 2ª Edição. Vernier, Geneva, Switzerland, 1911.
- [87] N. Corporation, «Página principal da Nidec Corporation». <https://www.nidec.com/en/> (acedido Jul. 30, 2021).
- [88] M. S.p.A., «Página principal da Motovario S.p.A.», 2021. <https://www.motovario.com/eng/> (acedido Jul. 30, 2021).
- [89] Norelem, «Página principal da Norelem», 2021. <https://www.norelem.com/pt/pt/Home.html> (acedido Jul. 30, 2021).
- [90] S. Electric, «Página principal da Schneider Electric», 2021. <https://www.se.com/pt/pt/> (acedido Ago. 05, 2021).
- [91] Nippon Thompson, «Página principal da Nippon Thompson», 2019. <https://www.ikont.co.jp/eg/> (acedido Ago. 05, 2021).
- [92] Eles+Ganter, «Página principal da Eles+Ganter», 2021. <https://www.eles-ganter.com/en/www> (acedido Ago. 05, 2021).
- [93] Brauer, «Página principal da Brauer», 2018. <https://www.brauer.co.uk/> (acedido Ago. 31, 2021).
- [94] SCHUNK GmbH & Co., «Página principal da SCHUNK GmbH & Co.», 2021. https://schunk.com/de_en/homepage/ (acedido Ago. 31, 2021).
- [95] GCE Group, «Página principal da GCE Group», 2021. <https://www.gcegroup.com/en/> (acedido Ago. 31, 2021).

ANEXOS

7 ANEXOS

ANEXO 1 – Ficha técnica do braço robótico FANUC M16i

ANEXO 2 – Desenhos técnicos

M-16i

Basic Description

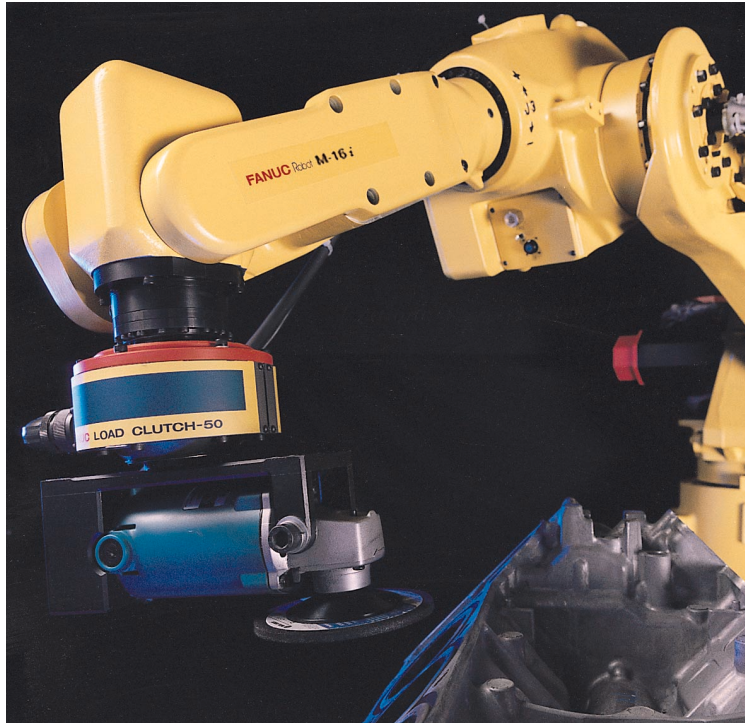
The FANUC M-16i and long-arm M-16iL robots are engineered for precision, high-speed operation, user-friendly setup and maximum reliability, supported by our extensive service and parts network. The M-16i is a six-axis, modular construction, electric servo-driven robot designed for a variety of manufacturing and system processes.

M-16i, the Solution for:

- Assembly
- Dispensing
- Material handling
- Machine load/unload
- Material removal
- Waterjet cutting

Benefits

- Large work envelope and load capacity allow robot operation in a wide range of high-speed, medium-payload manufacturing processes.
- “Double-jointed” arm increases work envelope and positioning flexibility.
- No robot modification required for upright, inverted, angle and wall mounting.
- Absolute serial encoders eliminate the need for calibration at power-up.
- Unique hollow RV speed reducers simplify cable routing.
- Small footprint facilitates placement in tight surroundings.
- Low arm mass and rigid design allow high-speed, precise positioning.



- Electrical and pneumatic services for tooling are internal to the arm to simplify integration.
- Fail-safe brakes on all axes increase safety, functionality and control.

Features

- 6 axes of motion
- 16kg payload capacity
- 0.08mm repeatability
- Axes speeds up to 450° per second

Reliability Features

- Sealed bearings and drives, and brushless AC motors minimize maintenance.
- Grease fittings on all lubrication points for quick and easy maintenance.

- Uses directly-coupled drives, which are more reliable than belts, pulleys or chains.
- All motors, cables and tooling services are engineered to prevent snagging and damage from chips, sprays and other hazards.
- Dust and water resistant design maximizes durability.
- Quick disconnect robot connecting cables.
- In-line wrist design minimizes complexity and eliminates bevel gear adjustments.

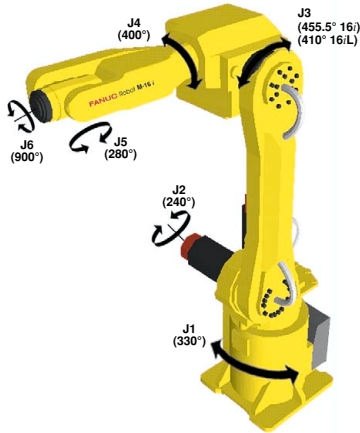
Options

- Axis 2 motor cover
- Severe dust and liquid protection package for die cast spray, waterjet cutting and other harsh environment applications (standard M-16i wrist is rated IP67 to withstand temporary immersion in liquids).

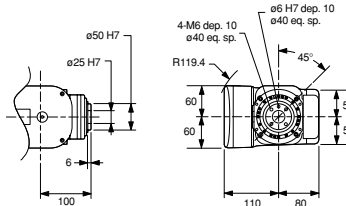
FANUC
Robotics

M-16i/iL Dimensions

Isometric



Wrist

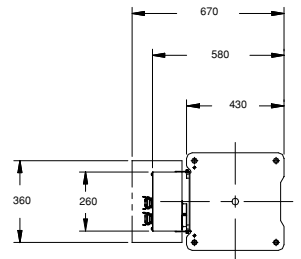


M-16i/iL Specifications

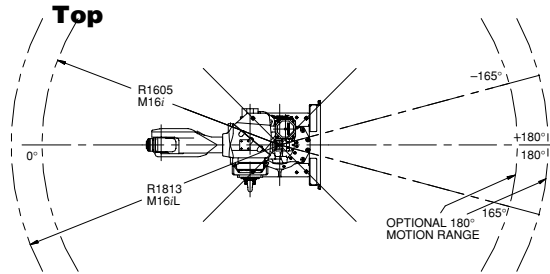
Items	M-16i	M-16iL
Axes	6	6
Payload (kg)	16	10
Reach (mm)	1605	1813
Repeatability (mm)	±0.08	±0.10
Interference radius (mm)	312	312
Motion range (degrees)	J1	330
	J2	240
	J3	455.5
	J4	400
	J5	280
	J6	900
Motion speed (degrees/sec.)	J1	140
	J2	140
	J3	140
	J4	330
	J5	330
	J6	450
Wrist moment (kgf m)	J4	3.6
	J5	3.2
	J6	1.6
Wrist inertia (kgfcm²)	J4	8.7
	J5	7.1
	J6	2.0
Mechanical brakes	All axes	All axes
Mechanical weight (kg)	270	270
Mounting method	Floor, ceiling, angle and wall	Floor, ceiling, angle and wall
Installation environment		
	Temperature °C	0 to 45
Humidity		
	Normally: 75% or less Short term (within a month): 95% or less No condensation	Normally: 75% or less Short term (within a month): 95% or less No condensation
Vibration (m/s²)	4.9 or less	4.9 or less
IP Rating(s)		
	Body IP54 std. (IP55 optional) Wrist & J3 arm IP67	Body IP54 std. (IP55 optional) Wrist & J3 arm IP67
Payload at axis 3 (kg)	20	12

Notes:
(1) Motion range is de-rated for wall and angle mount.

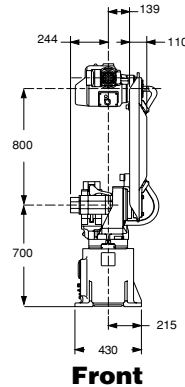
Footprint (remote)



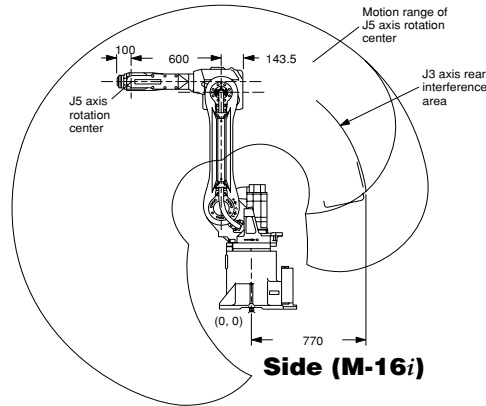
Top



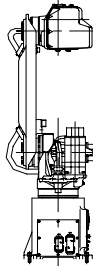
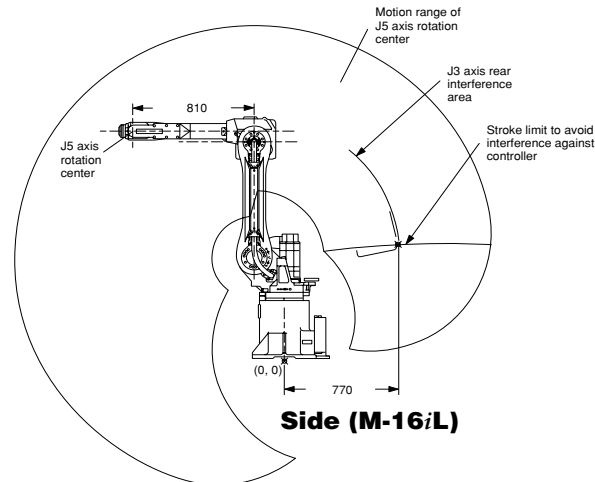
Front



Side (M-16i)



Side (M-16iL)



Back

Note: Dimensions shown in millimeters.

FANUC Robotics North America
3900 W. Hamlin Road
Rochester Hills, MI 48309-3253
(248) 377-7000
Fax (248) 276-4133

For sales or technical information, call:
1-800-47-ROBOT

marketing@fanucrobotics.com
www.fanucrobotics.com

Charlotte, NC
(704) 596-5121

Chicago, IL
(847) 898-6000

Cincinnati, OH
(513) 754-2400

Los Angeles, CA
(949) 595-2700

Toledo, OH
(419) 866-0788

Toronto, Canada
(905) 812-2300

Montréal, Québec
(450) 492-9001

Mexico City, Mexico
52 (55) 5611-5998

Aguaascalientes, Mexico
52 (449) 910-8000

Sao Paulo, Brazil
(55) (11) 3955-0599



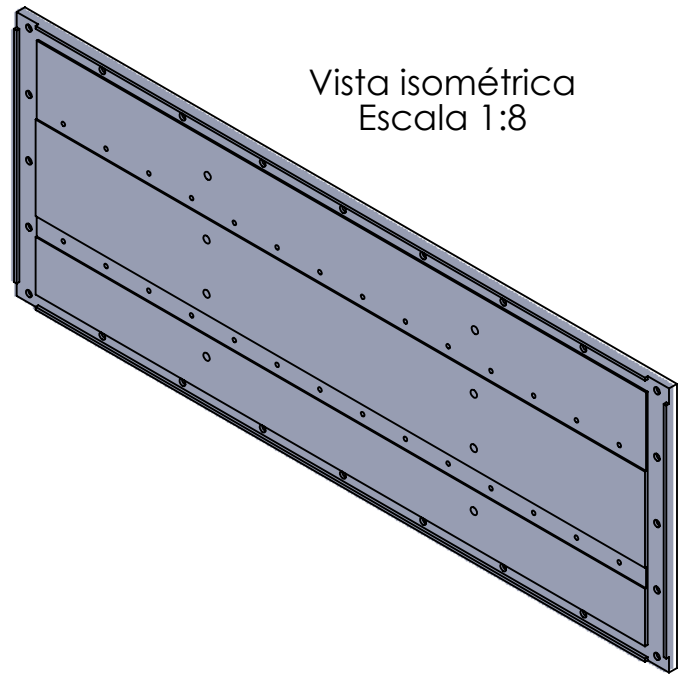
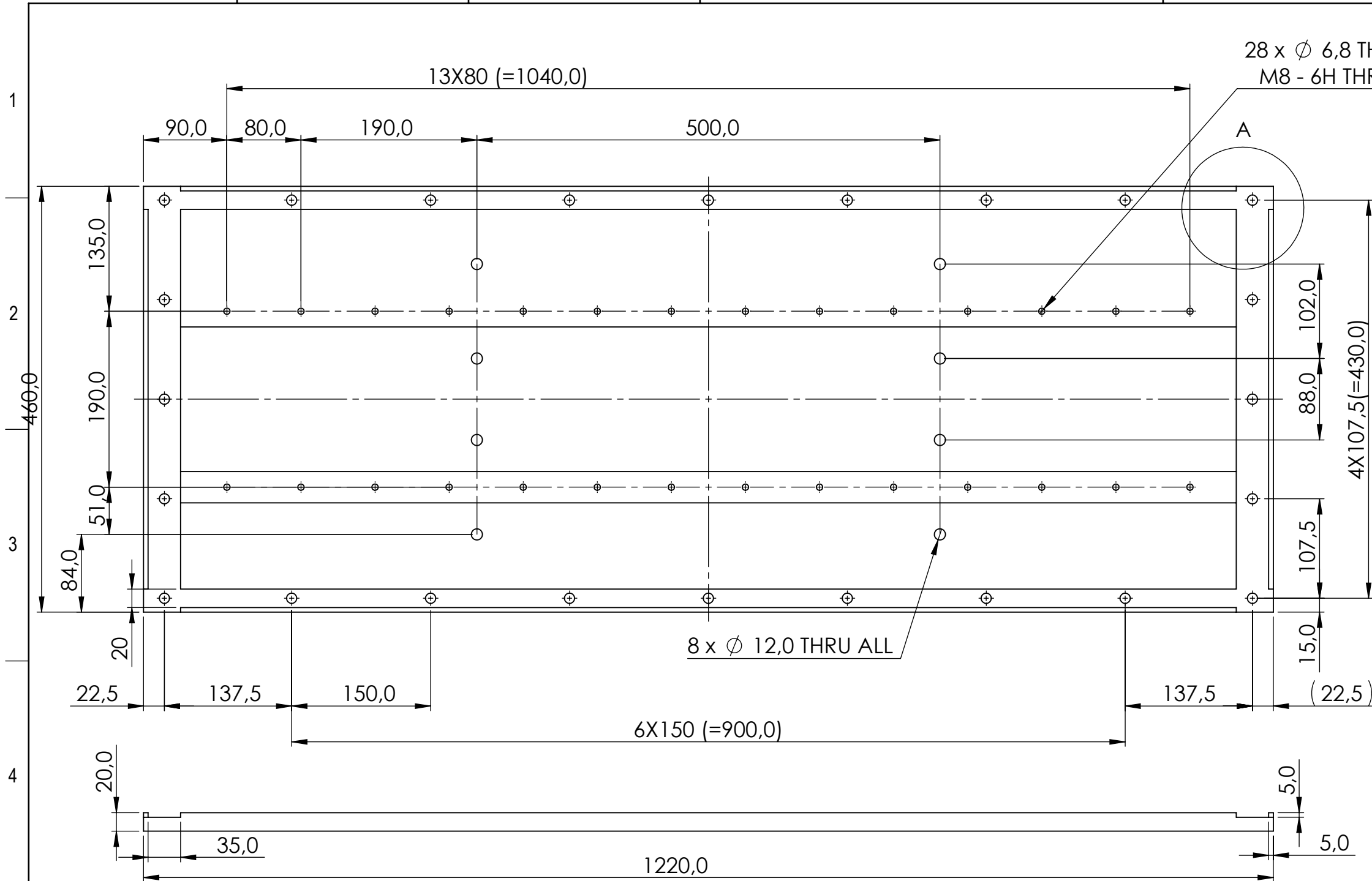
©2002 FANUC Robotics North America, Inc. All rights reserved. FANUC ROBOTICS LITHO IN U.S.A. FRNA-2/02



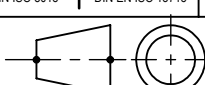
For further information contact Motion Controls Robotics at 419.334.5886

This drawing is property of MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS.
May not be disclosed or reproduced without previous permission.
Impresso em: / Printed on: 15/10/2021

DEP



QTY: 3

Por / By		Data / Date	Designação / Description		MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS			
Model / Proj	André Vidal	15/10/2021	Placa base					
Des / Drawn	André Vidal	15/10/2021						
Apr / Appr					Martifer - Construções Metalomecânicas, S.A. Zona Industrial - Apartado 17 3684-001 Oliveira de Frades Portugal			
Tolerâncias Gerais / General Tolerances		Escala / Scale	Ref. Cliente / Customer Ref.					
DIN ISO 2768-mH DIN ISO 8015	DIN EN ISO 13920-Class B (applicable to welded assemblies) DIN EN ISO 13715	1:5	001_001					
			Processo / Process		Rev: R00		Página / Sheet	A3
					SOLIDWORKS			
							1 / 1	

This drawing is property of MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS.
May not be disclosed or reproduced without previous permission.
Impresso em: / Printed on: 15/10/2021

DEP

1
2
3
4
5
6

A

B

C

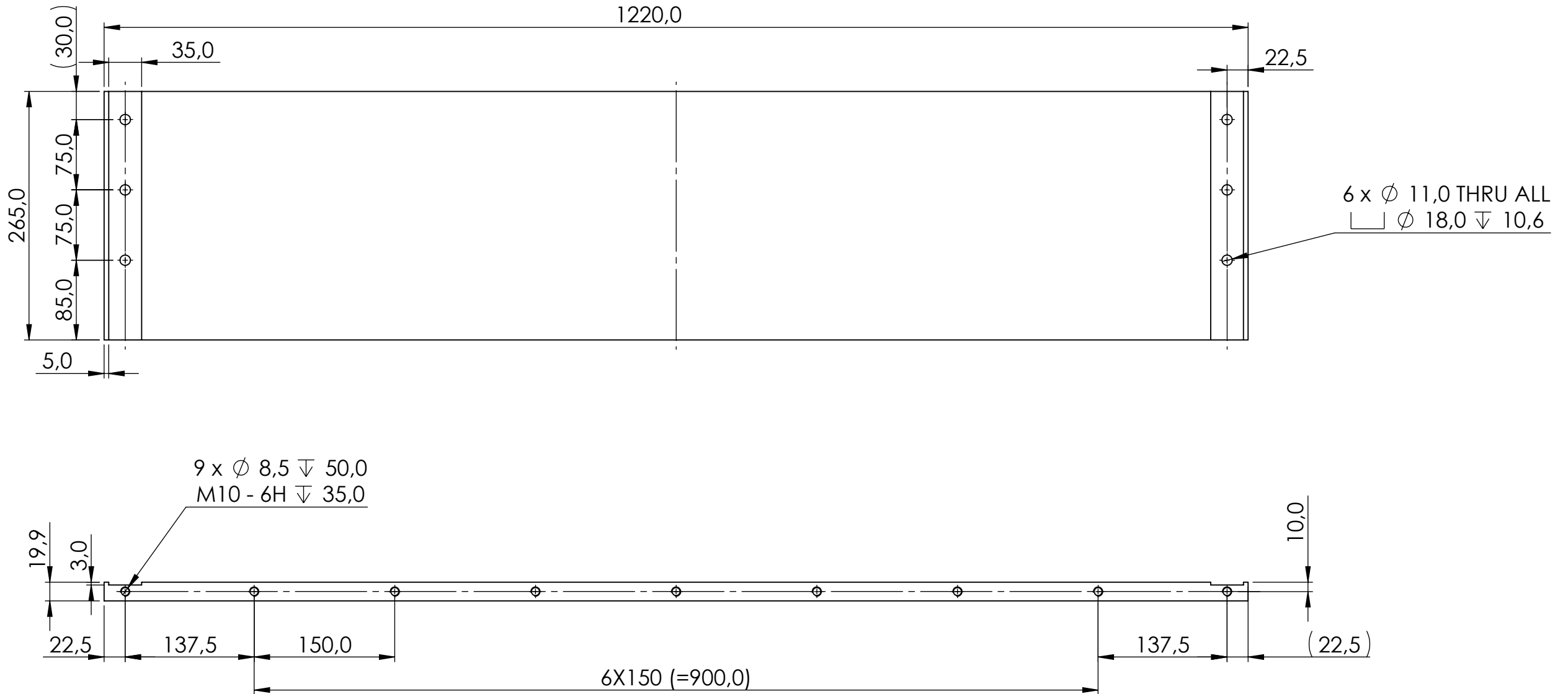
D

E

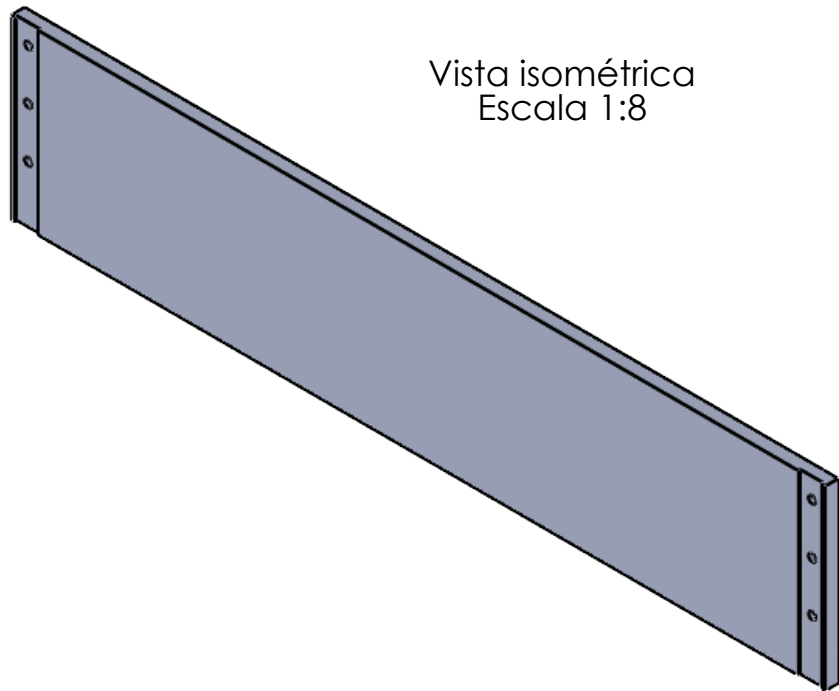
F

G

H



Vista isométrica
Escala 1:8

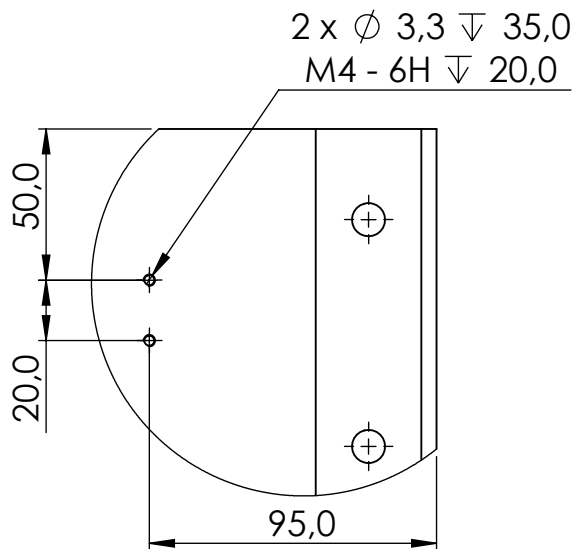
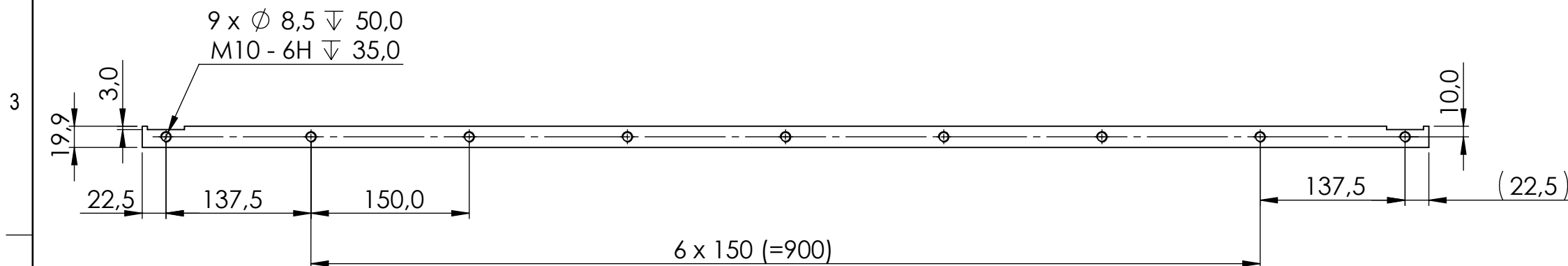
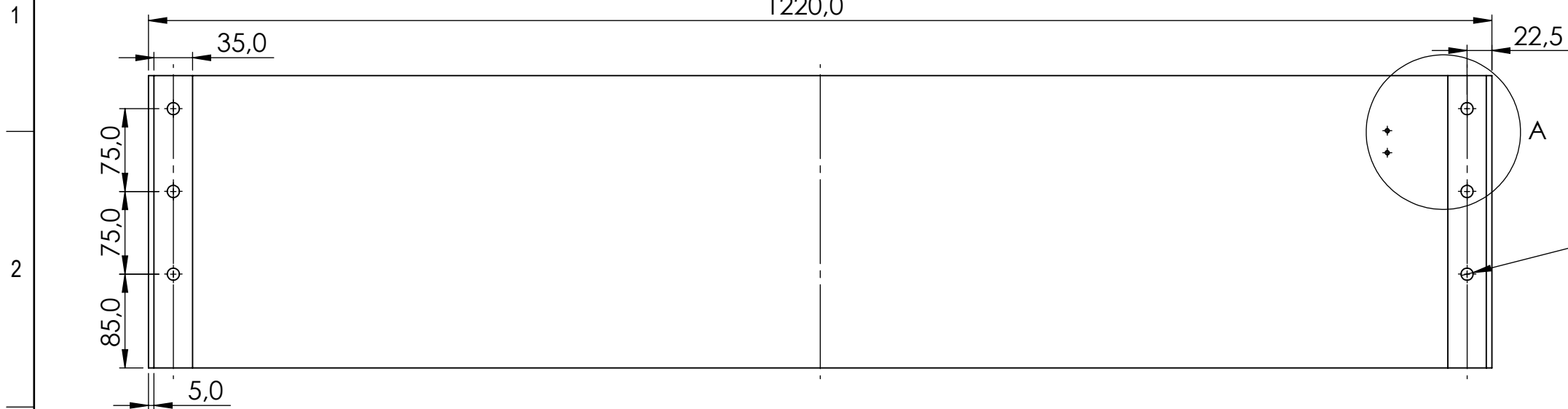


QTY:3

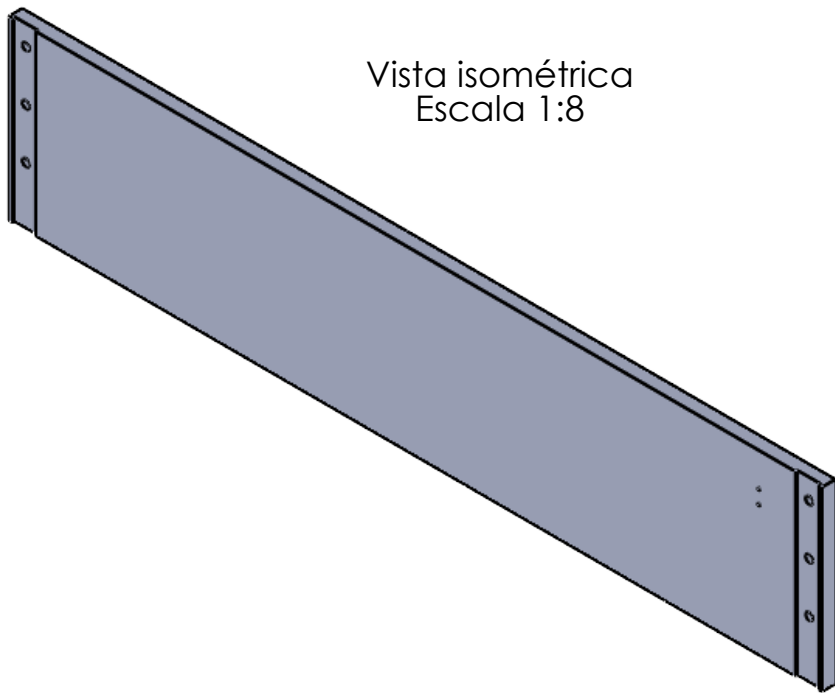
	Por / By	Data / Date	Designação / Description		MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS		
Model / Proj	André Vidal	15/10/2021	Placa lateral_1				
Des / Drawn	André Vidal	15/10/2021					
Apr / Appr							
Tolerâncias Gerais / General Tolerances		Esca / Scale	Ref. Cliente / Customer Ref.		Martifer - Construções Metalomecânicas, S.A. Zona Industrial - Apartado 17 3684-001 Oliveira de Frades Portugal		
DIN ISO 2768-mH DIN ISO 8015	DIN EN ISO 13920-Class B (aplicable to welded assemblies) DIN EN ISO 13715	1:5	001_002				
			Processo / Process		Rev: R00	Página / Sheet	A3
					SOLIDWORKS	1 / 1	

This drawing is property of MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS.
May not be disclosed or reproduced without previous permission.
Impresso em: / Printed on: 15/10/2021

DEP

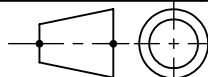


DETAIL A
SCALE 2 : 5



Vista isométrica
Escala 1:8

QTY: 3

	Por / By	Data / Date	Designação / Description	MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS		
Model / Proj	André Vidal	15/10/2021	Placa lateral_2			
Des / Drawn	André Vidal	15/10/2021				
Apr / Appr						
Tolerâncias Gerais / General Tolerances		Escala / Scale	Ref. Cliente / Customer Ref.	Martifer - Construções Metalomecânicas, S.A.		
DIN ISO 2768-mH	DIN EN ISO 13920-Class B (applicable to welded assemblies)	1:5	001_003	Zona Industrial - Apartado 17		
DIN ISO 8015	DIN EN ISO 13715			3684-001 Oliveira de Frades		
			Processo / Process	Portugal		
			Rev: R00	Página / Sheet	A3	
			SOLIDWORKS	1 / 1		

This drawing is property of MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS.
May not be disclosed or reproduced without previous permission.
Impresso em: / Printed on: 15/10/2021

DEP

A B C D E F G H

1

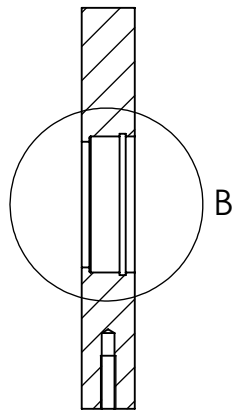
2

3

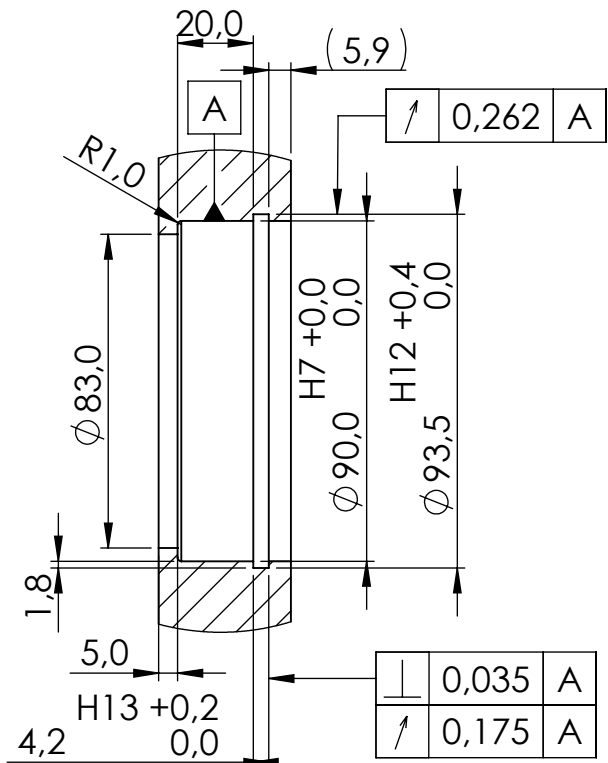
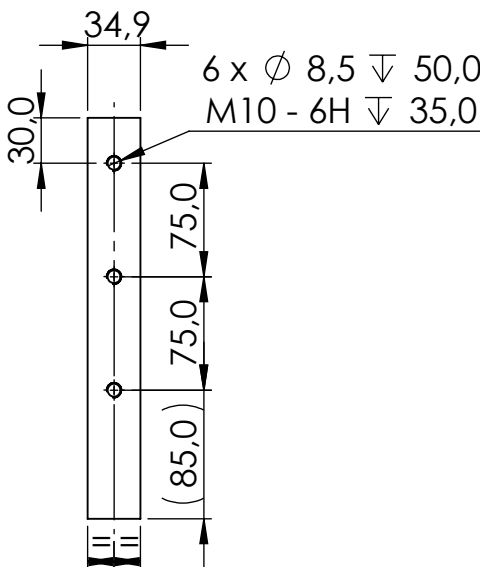
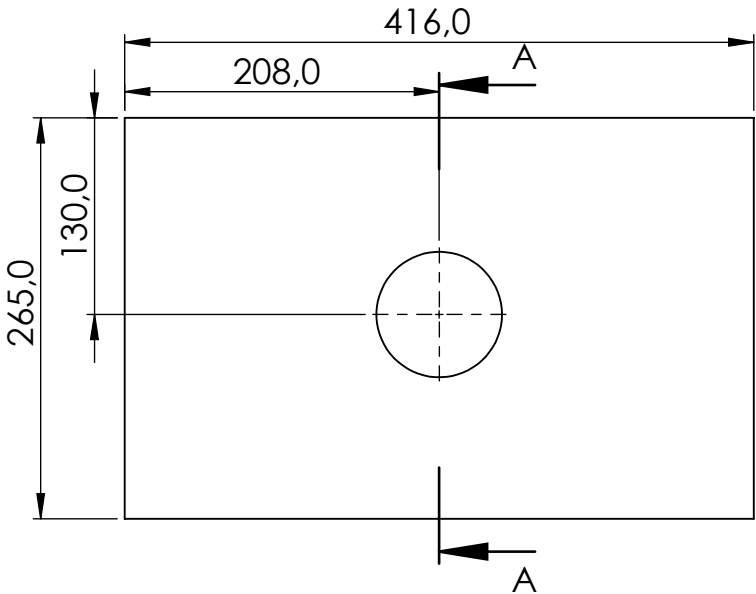
4

5

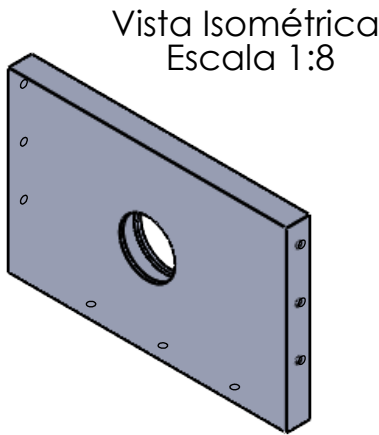
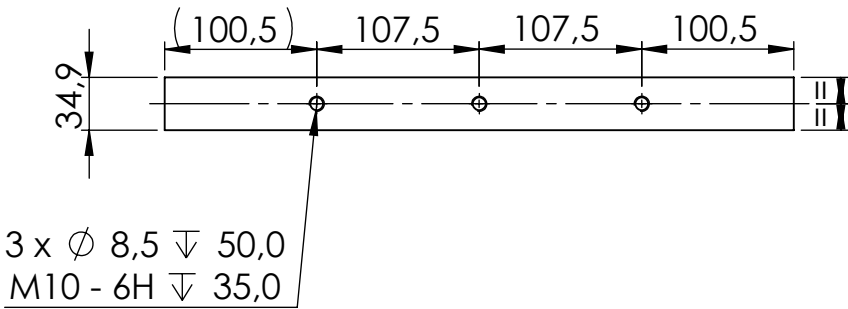
6



SECTION A-A

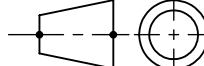


DETAIL B
SCALE 1 : 2



Vista Isométrica
Escala 1:8

QTY: 3

	Por / By	Data / Date	Designação / Description		MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS		
Model / Proj	André Vidal	15/10/2021	Placa de topo_1				
Des / Drawn	André Vidal	15/10/2021					
Apr / Appr							
Tolerâncias Gerais / General Tolerances		Escala / Scale	Ref. Cliente / Customer Ref.		Martifer - Construções Metalomecânicas, S.A. Zona Industrial - Apartado 17 3684-001 Oliveira de Frades Portugal		
DIN ISO 2768-mH	DIN EN ISO 13920-Class B (applicable to welded assemblies)	1:5	001_004				
DIN ISO 8015	DIN EN ISO 13715						
		Processo / Process		Rev: R00			Página / Sheet
				SOLIDWORKS		1 / 1	

This drawing is property of MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS.
May not be disclosed or reproduced without previous permission.
Impresso em: / Printed on: 15/10/2021

DEP

1
2
3
4
5
6

A

B

C

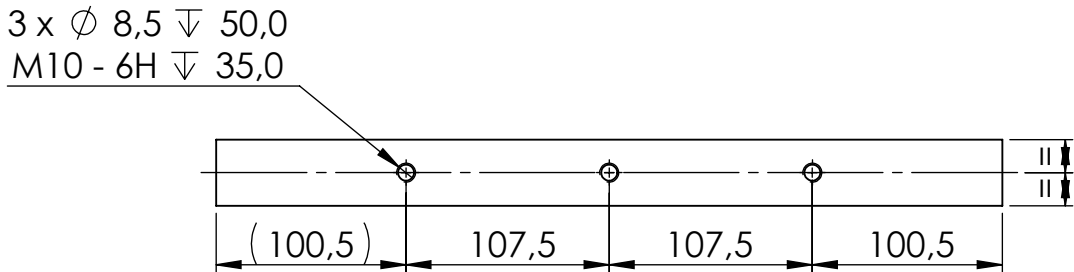
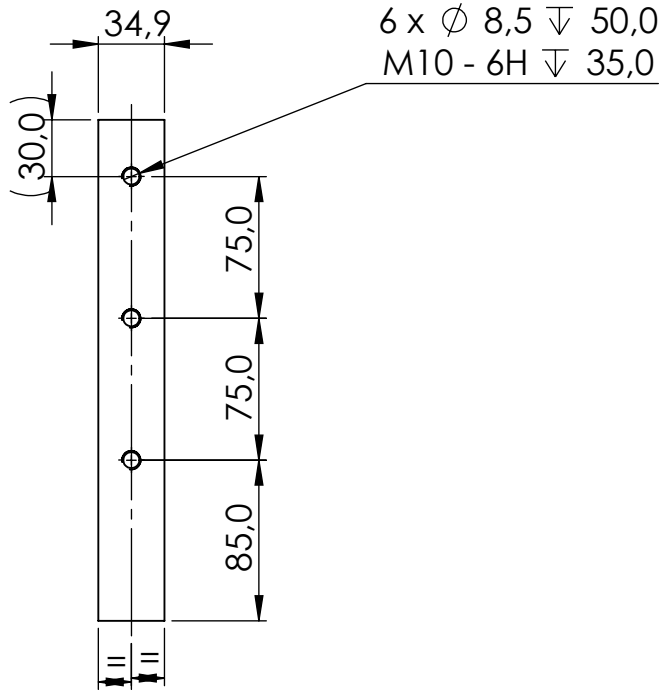
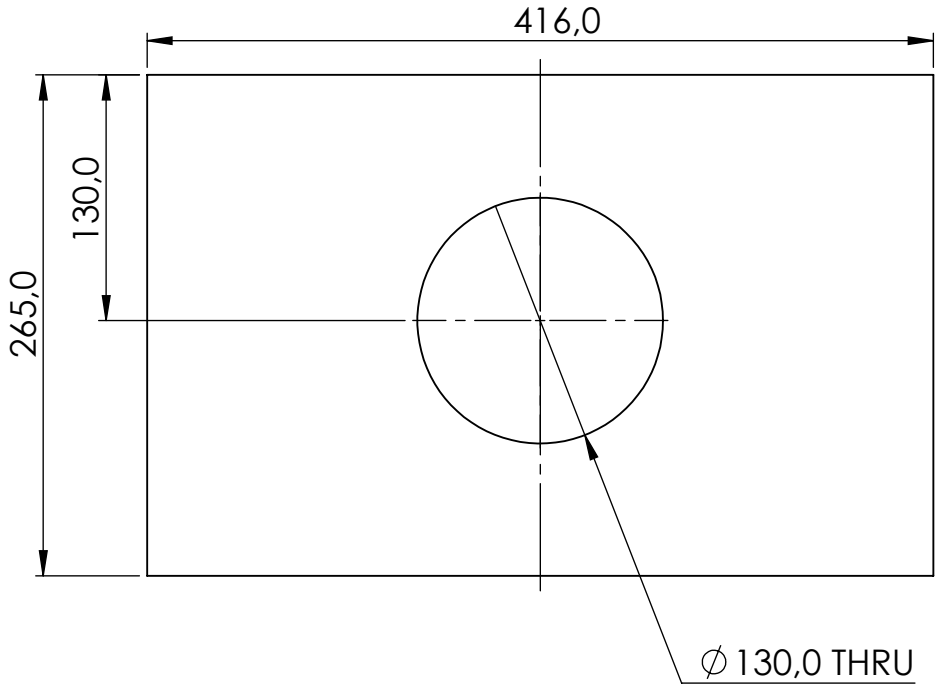
D

E

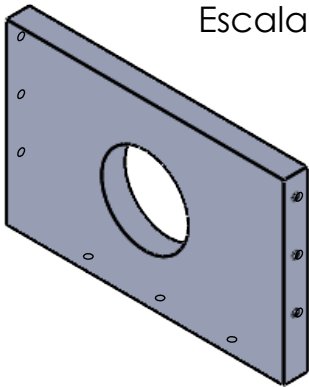
F

G

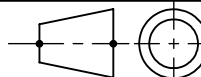
H



Vista isométrica
Escala 1:8



QTY: 3

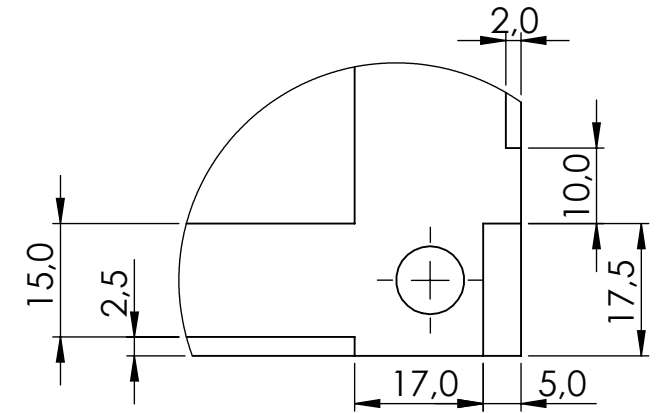
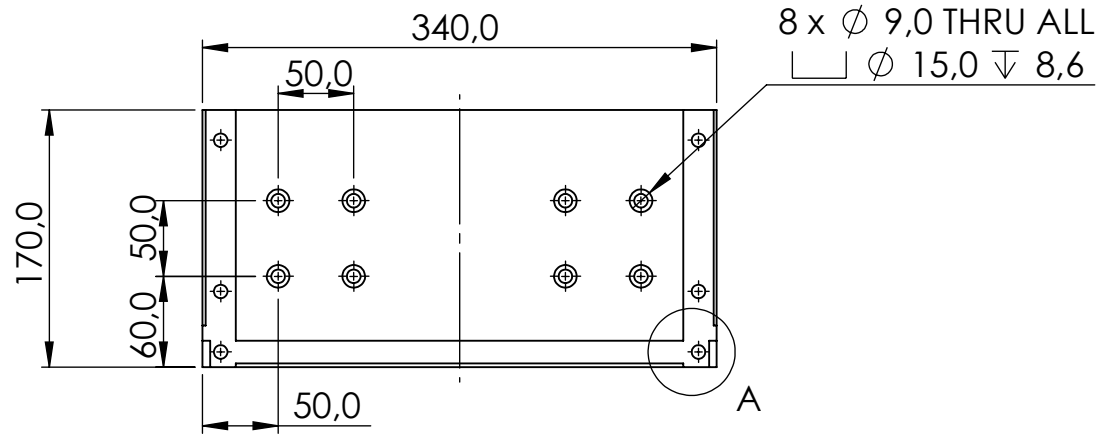
	Por / By	Data / Date	Designação / Description		MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS		
Model / Proj	André Vidal	15/10/2021	Placa de topo_2				
Des / Drawn	André Vidal	15/10/2021					
Apr / Appr							
Tolerâncias Gerais / General Tolerances		Esca / Scale	Ref. Cliente / Customer Ref.		Martifer - Construções Metalomecânicas, S.A.		
DIN ISO 2768-mH	DIN EN ISO 13920-Class B (applicable to welded assemblies)	1:4	001_005		Zona Industrial - Apartado 17		
DIN ISO 8015	DIN EN ISO 13715				3684-001 Oliveira de Frades		
			Processo / Process		Portugal		
					Rev: R00	Página / Sheet	A3
					SOLIDWORKS		

This drawing is property of MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS.
May not be disclosed or reproduced without previous permission.
Impresso em: / Printed on: 15/10/2021

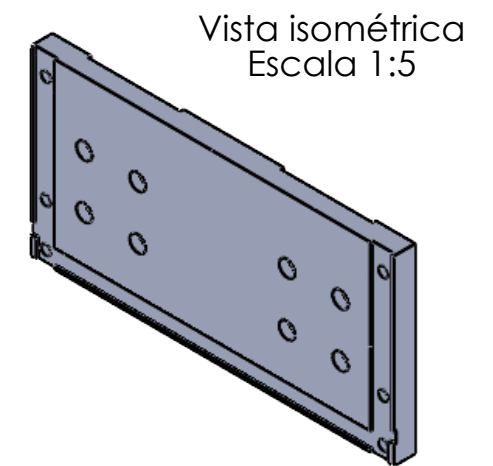
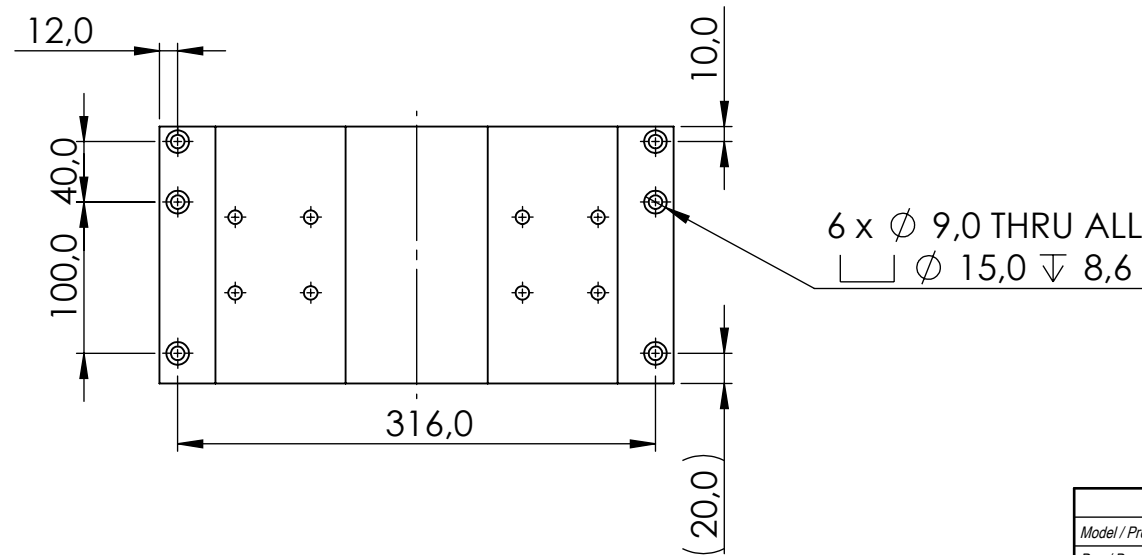
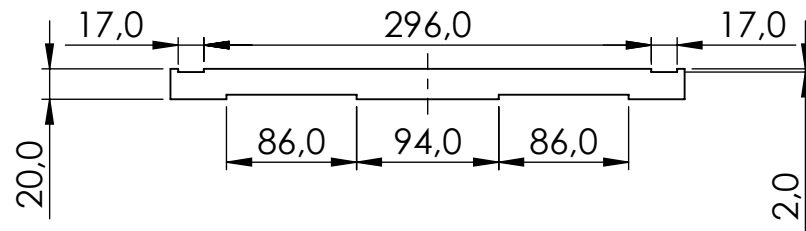
DEP

1
2
3
4
5
6

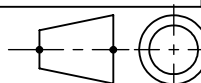
A B C D E F G H



DETAIL A
SCALE 1 : 1



QTY: 6

Por / By		Data / Date	Designação / Description	MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS			
Model / Proj	André Vidal	15/10/2021					
Des / Drawn	André Vidal	15/10/2021					
Apr / Appr							
Tolerâncias Gerais / General Tolerances		Escala / Scale	Ref. Cliente / Customer Ref.	Martifer - Construções Metalomecânicas, S.A. Zona Industrial - Apartado 17 3684-001 Oliveira de Frades Portugal			
DIN ISO 2768-mH DIN ISO 8015 DIN EN ISO 13920-Class B (applicable to welded assemblies) DIN EN ISO 13715	1:5	001_006					
			Processo / Process		Rev: R00 SOLIDWORKS	Página / Sheet 1 / 1	A3

This drawing is property of MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS.
May not be disclosed or reproduced without previous permission.
Impresso em: / Printed on: 15/10/2021

DEP

1

2

3

4

5

6

A

B

C

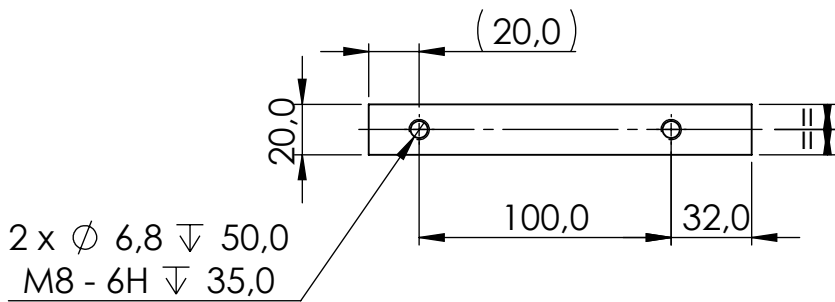
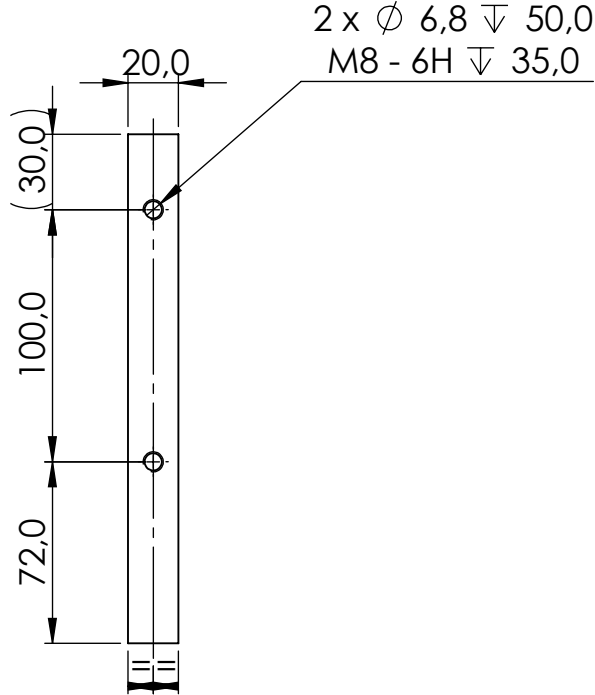
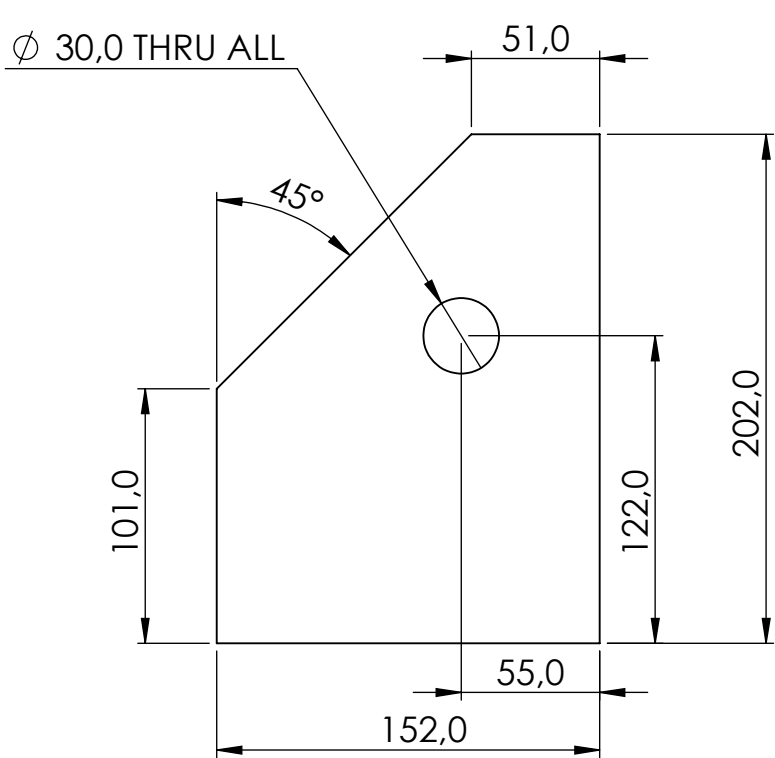
D

E

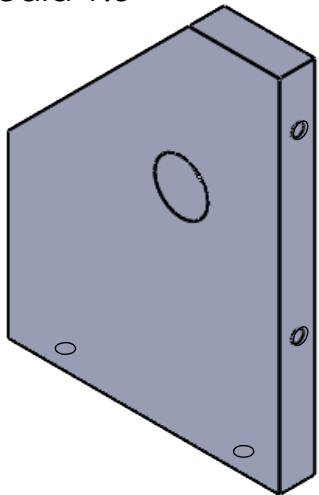
F

G

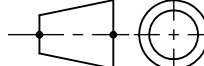
H



Vista isométrica
Escala 1:3



QTY: 6

	Por / By	Data / Date	Designação / Description		MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS		
Model / Proj	André Vidal	15/10/2021	Placa lateral do suporte da haste				
Des / Drawn	André Vidal	15/10/2021					
Apr / Appr							
Tolerâncias Gerais / General Tolerances		ESCALA / Scale	Ref. Cliente / Customer Ref.		Martifer - Construções Metalomecânicas, S.A. Zona Industrial - Apartado 17 3684-001 Oliveira de Frades Portugal		
DIN ISO 2768-mH	DIN EN ISO 13920-Class B (applicable to welded assemblies)	1:3	001_007				
DIN ISO 8015	DIN EN ISO 13715						
			Processo / Process		Rev: R00	Página / Sheet	A3
					SOLIDWORKS	1 / 1	

This drawing is property of MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS.
May not be disclosed or reproduced without previous permission.
Impresso em: / Printed on: 15/10/2021

DEP

1

2

3

4

5

6

A

B

C

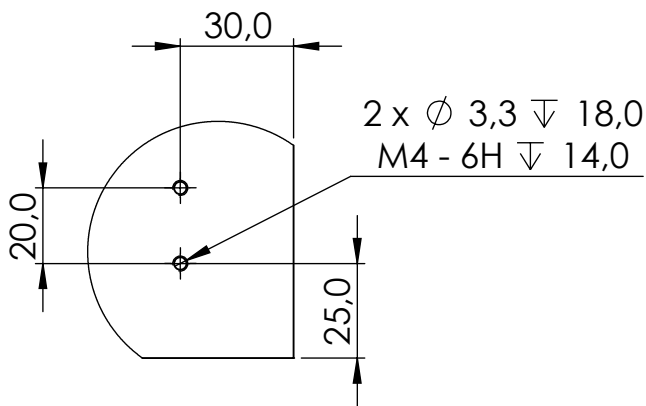
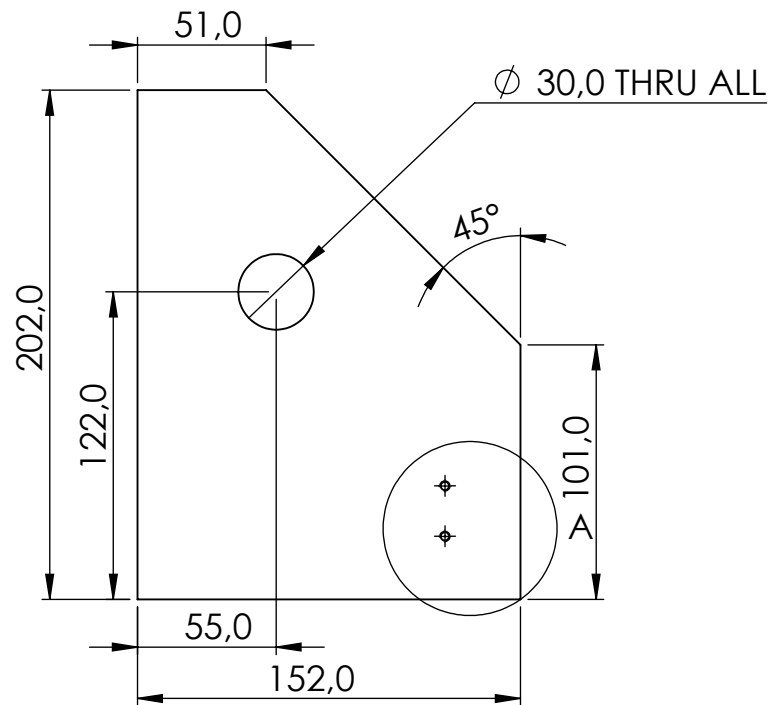
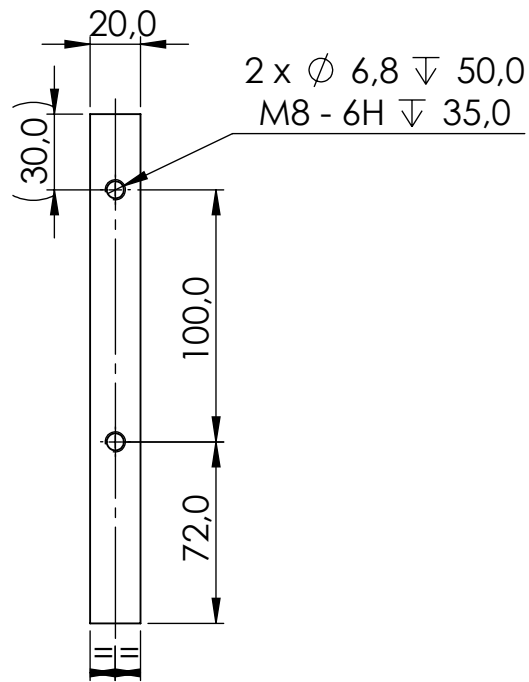
D

E

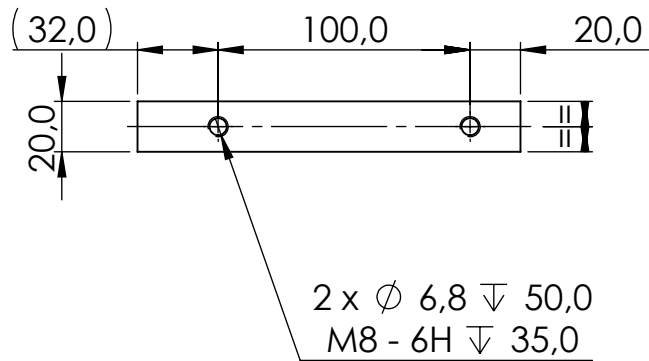
F

G

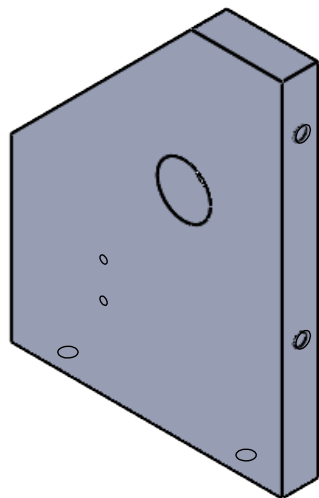
H



DETAIL A
SCALE 1 : 2



Vista isométrica
Escala 1:3



QTY: 3

	Por / By	Data / Date	Designação / Description	MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS		
Model / Proj	André Vidal	15/10/2021	Placa lateral do suporte da haste_2			
Des / Drawn	André Vidal	15/10/2021				
Apr / Appr						
Tolerâncias Gerais / General Tolerances		Escala / Scale	Ref. Cliente / Customer Ref.	Martifer - Construções Metalomecânicas, S.A. Zona Industrial - Apartado 17 3684-001 Oliveira de Frades Portugal		
DIN ISO 2768-mH DIN ISO 8015	DIN EN ISO 13920-Class B (applicable to welded assemblies) DIN EN ISO 13715	1:3	001_008			
			Processo / Process	Rev: R00	Página / Sheet	A3
				SOLIDWORKS	1 / 1	

This drawing is property of MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS.
May not be disclosed or reproduced without previous permission.
Impresso em: / Printed on: 15/10/2021

DEP

1

2

3

4

5

6

A

B

C

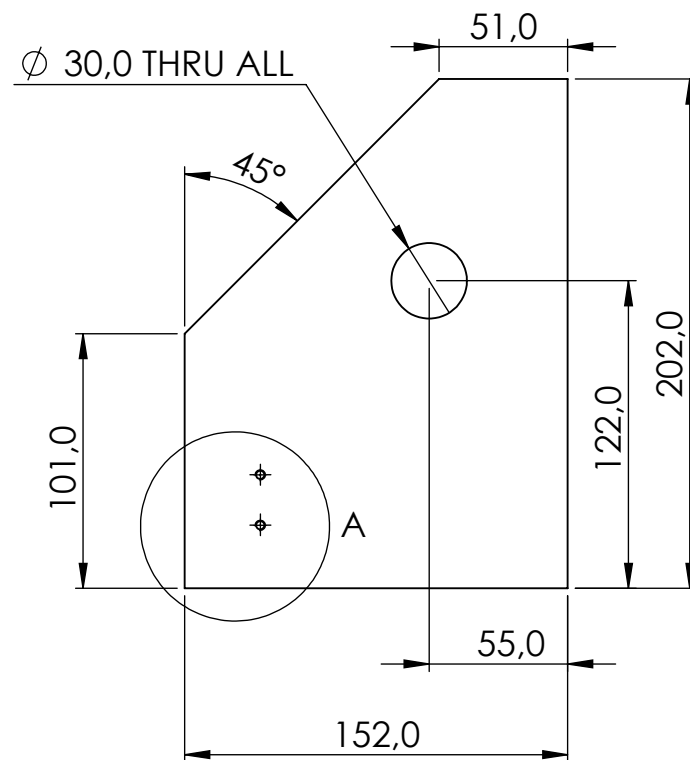
D

E

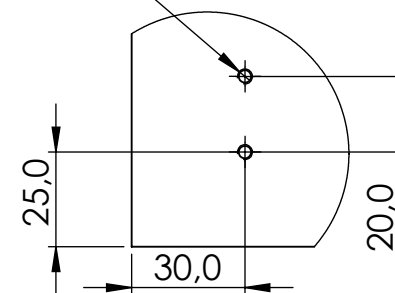
F

G

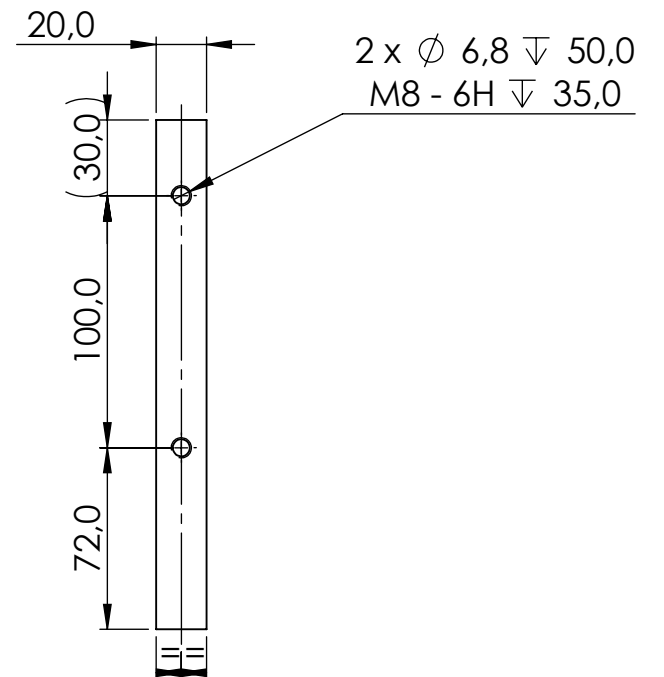
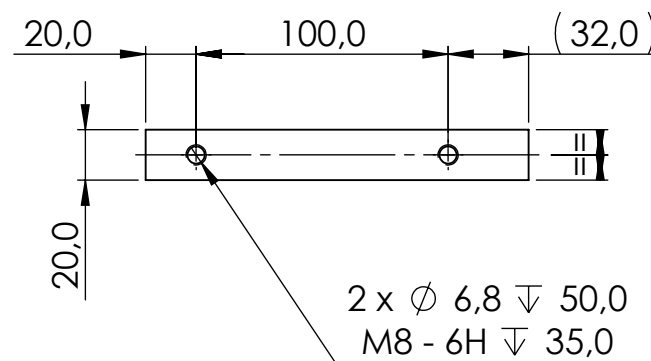
H



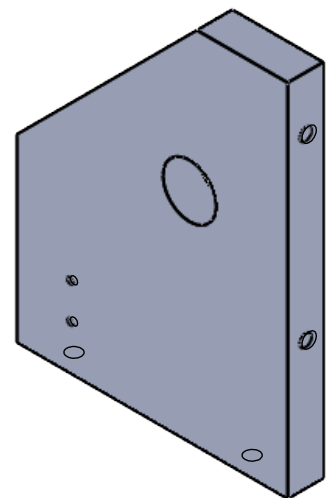
2 x Ø 3,3 ∇ 18,0
M4 - 6H ∇ 14,0



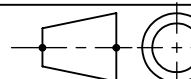
DETAIL A
SCALE 1 : 2



Vista isométrica
Escala 1:3



QTY: 3

	Por / By	Data / Date	Designação / Description		MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS		
Model / Proj	André Vidal	15/10/2021	Placa lateral do suporte da haste_3				
Des / Drawn	André Vidal	15/10/2021					
Apr / Appr							
Tolerâncias Gerais / General Tolerances		Escala /Scale	Ref. Cliente / Customer Ref.		Martifer - Construções Metalomecânicas, S.A. Zona Industrial - Apartado 17 3684-001 Oliveira de Frades Portugal		
DIN ISO 2768-mH DIN EN ISO 13920-Class B (aplicable to welded assemblies)	1:3	001_009					
DIN ISO 8015	DIN EN ISO 13715	Processo / Process		Rev: R00 SOLIDWORKS	Página / Sheet 1 / 1	A3	
							

This drawing is property of MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS.
May not be disclosed or reproduced without previous permission.
Impresso em: / Printed on: 15/10/2021

DEP

A B C D E F G H

1

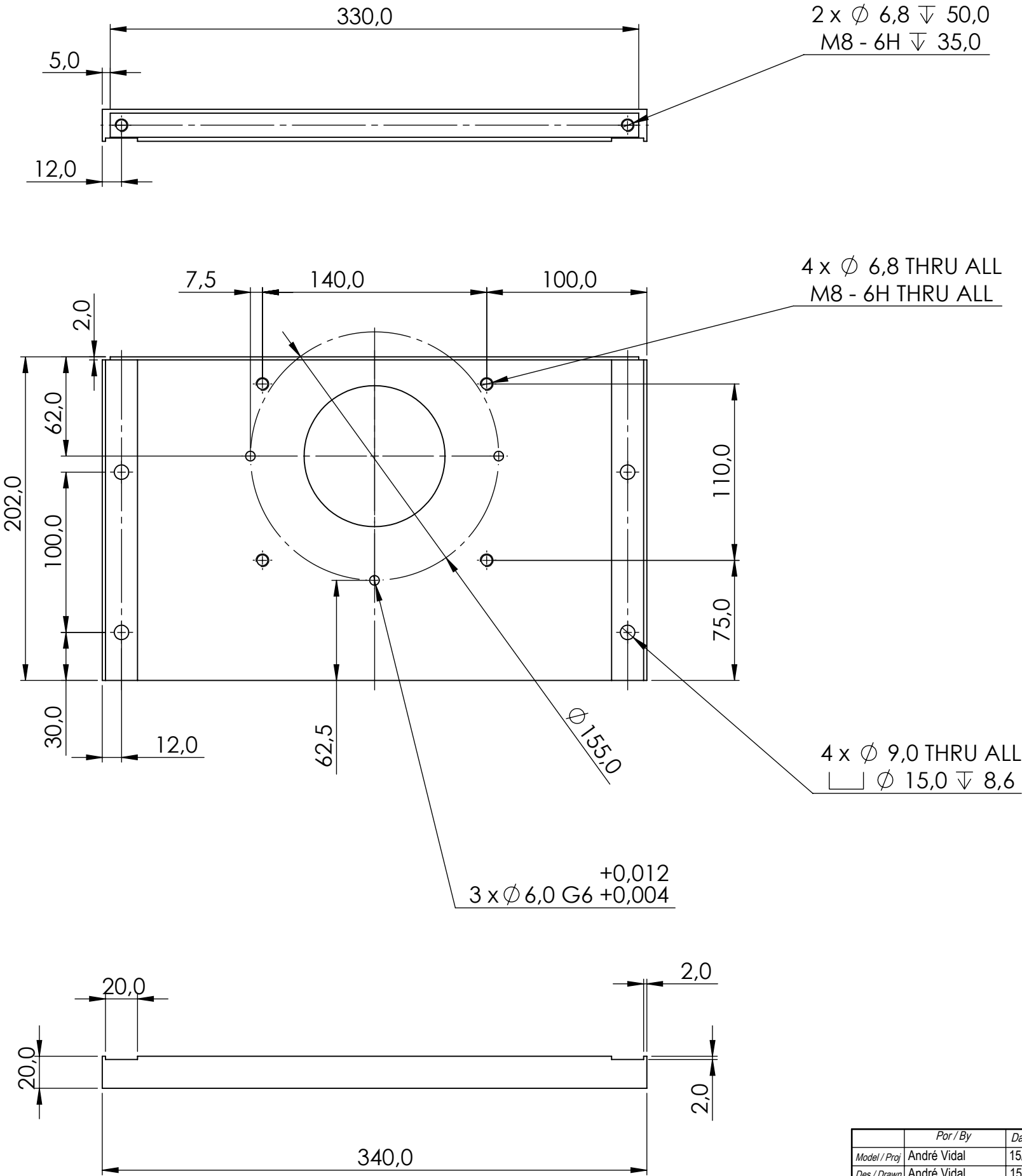
2

3

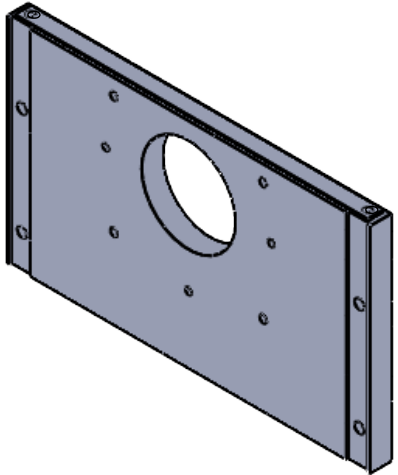
4

5

6



Vista isométrica
Escala 1:5



QTY: 6

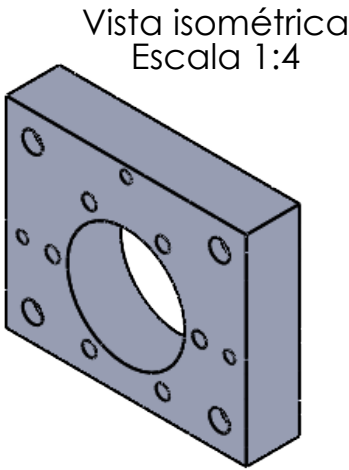
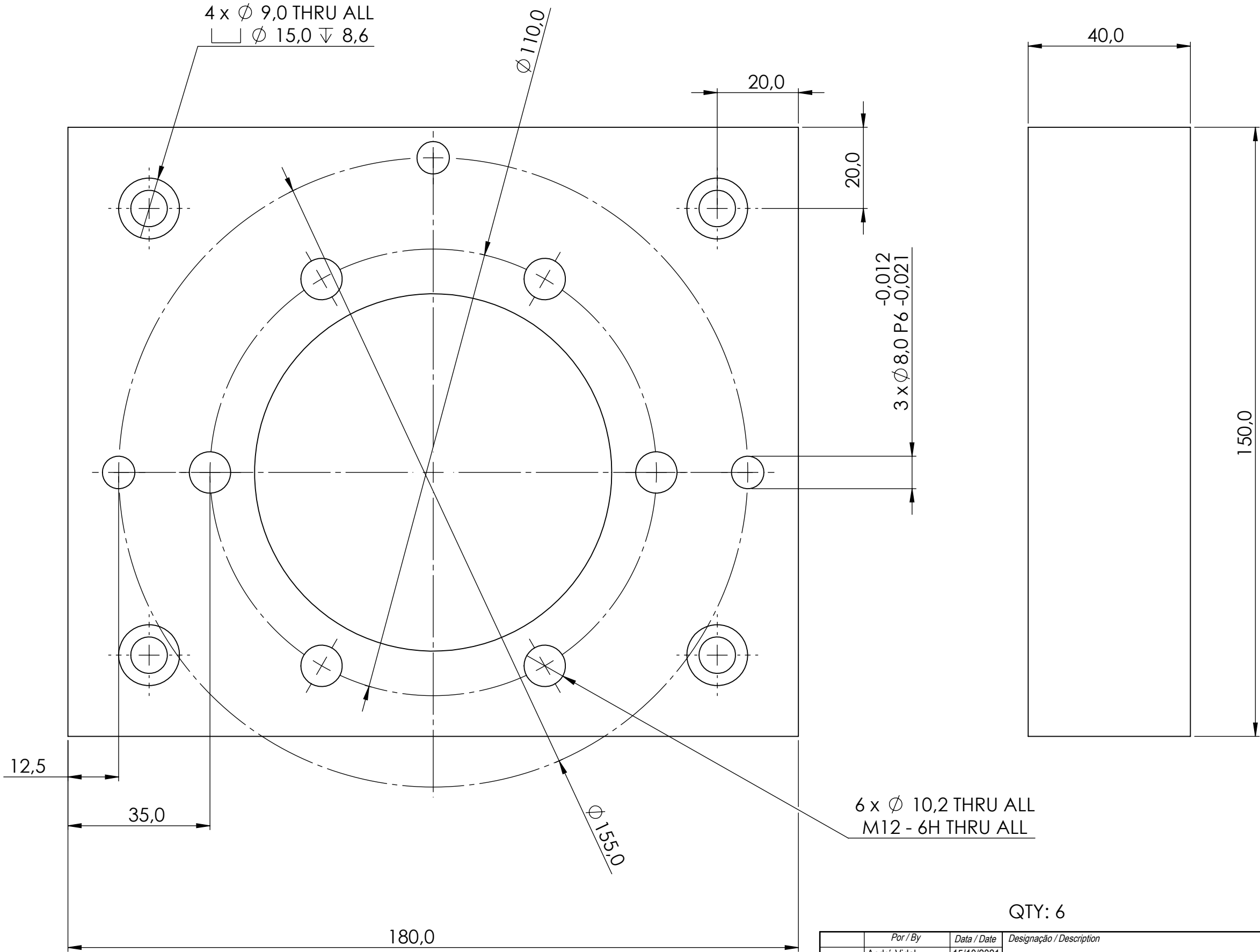
	Por / By	Data / Date	Designação / Description	MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS		
Model / Proj	André Vidal	15/10/2021	Placa de topo do suporte da haste			
Des / Drawn	André Vidal	15/10/2021				
Apr / Appr						
Tolerâncias Gerais / General Tolerances		Esca / Scale	Ref. Cliente / Customer Ref.	Martifer - Construções Metalomecânicas, S.A.		
DIN ISO 2768-mH	DIN EN ISO 13920-Class B (applies to welded assemblies)	1:3	001_010	Zona Industrial - Apartado 17		
DIN ISO 8015	DIN EN ISO 13715			3684-001 Oliveira de Frades		
			Processo / Process	Portugal		
				Rev: R00	Página / Sheet	A3
				SOLIDWORKS		

This drawing is property of MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS.
May not be disclosed or reproduced without previous permission.
Impresso em: / Printed on: 15/10/2021

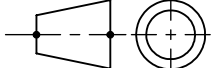
DEP

1
2
3
4
5
6

A B C D E F G H



QTY: 6

	Por / By	Data / Date	Designação / Description		MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS		
Model / Proj	André Vidal	15/10/2021	Calço da fêmea				
Des / Drawn	André Vidal	15/10/2021					
Apr / Appr							
Tolerâncias Gerais / General Tolerances		Escala /Scale	Ref. Cliente / Customer Ref.		Martifer - Construções Metalomecânicas, S.A. Zona Industrial - Apartado 17 3684-001 Oliveira de Frades Portugal		
DIN ISO 2768-mH DIN EN ISO 13920-Class B (applicable to welded assemblies)	1:1	001_011					
DIN ISO 8015 DIN EN ISO 13715							
			Processo / Process		Rev: R00 SOLIDWORKS	Página / Sheet 1 / 1	A3

This drawing is property of MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS.
May not be disclosed or reproduced without previous permission.
Impresso em: / Printed on: 15/10/2021

DEP

A

B

C

D

E

F

G

H

1

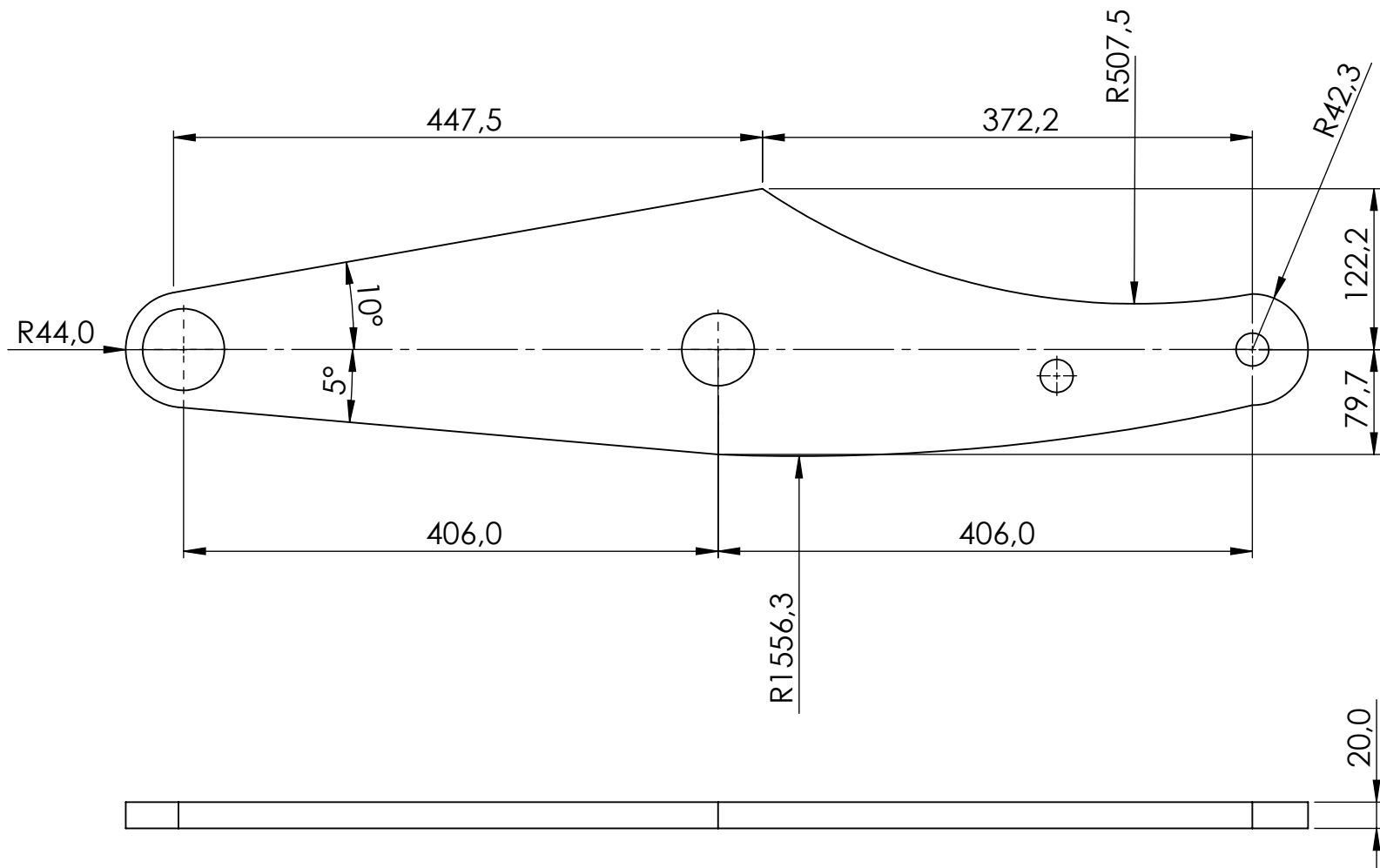
2

3

4

5

6



Ø 62,0 THRU

Ø 55,0 THRU
Ø 65,0 ± 2,5

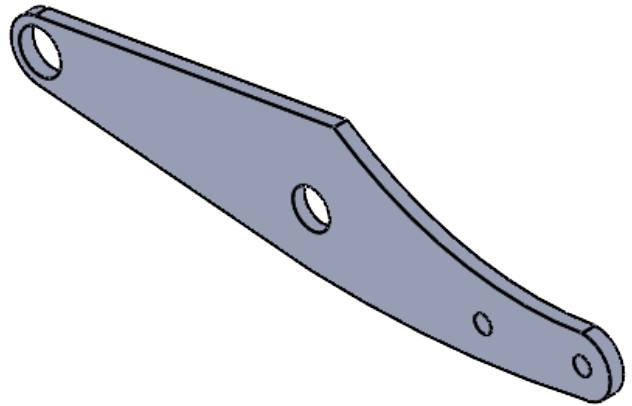
2 x Ø 25,0 THRU

148,7

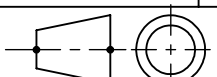
20,0

20,0

Vista isométrica
Escala 1: 8



QTY: 3

Por / By		Data / Date	Designação / Description		MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS		
Model / Proj	André Vidal	15/10/2021	Haste interior esquerda				
Des / Drawn	André Vidal	15/10/2021					
Apr / Appr					Martifer - Construções Metalomecânicas, S.A. Zona Industrial - Apartado 17 3684-001 Oliveira de Frades Portugal		
Tolerâncias Gerais / General Tolerances		Escala / Scale	Ref. Cliente / Customer Ref.				
DIN ISO 2768-mH DIN ISO 8015	DIN EN ISO 13920-Class B (applicable to welded assemblies) DIN EN ISO 13715	1:5	001_012				
			Processo / Process		Rev: R00	Página / Sheet	A3
					SOLIDWORKS	1 / 1	

This drawing is property of MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS.
May not be disclosed or reproduced without previous permission.
Impresso em: / Printed on: 15/10/2021

DEP

1

2

3

4

5

6

A

B

C

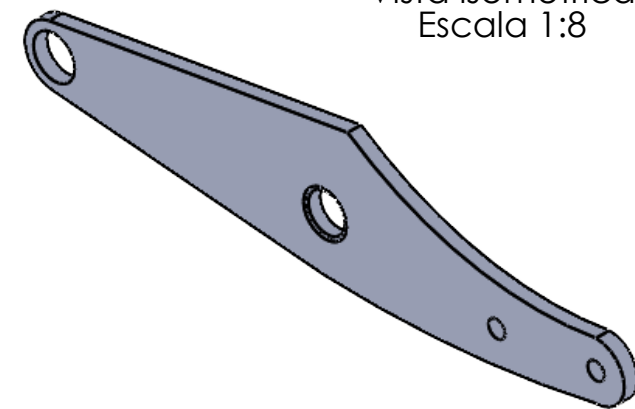
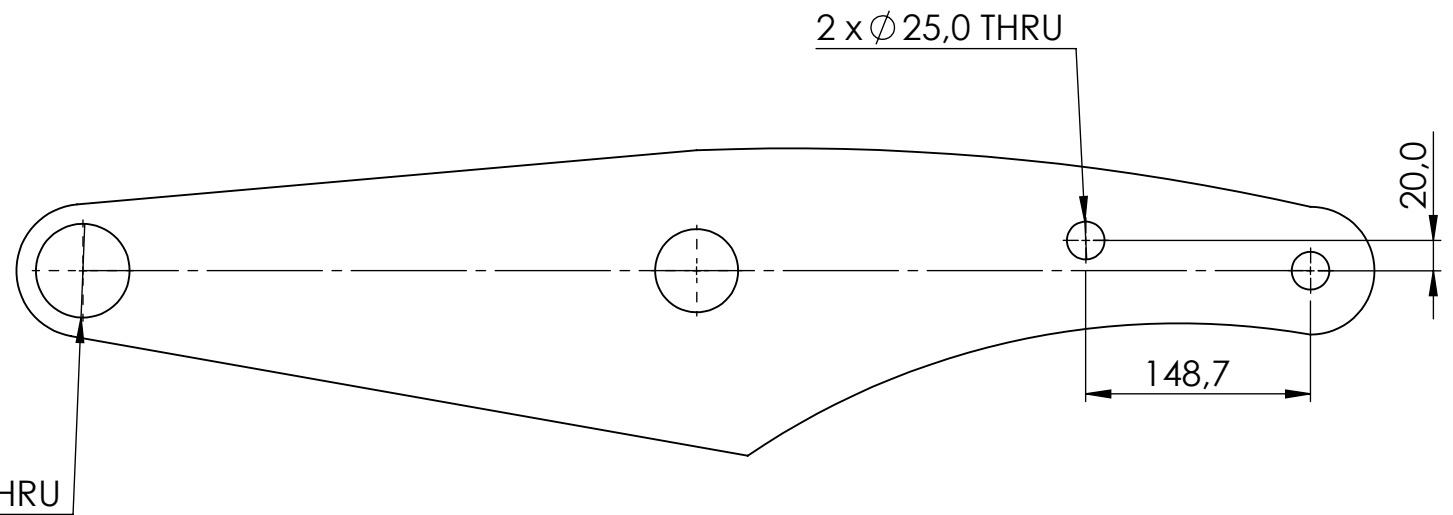
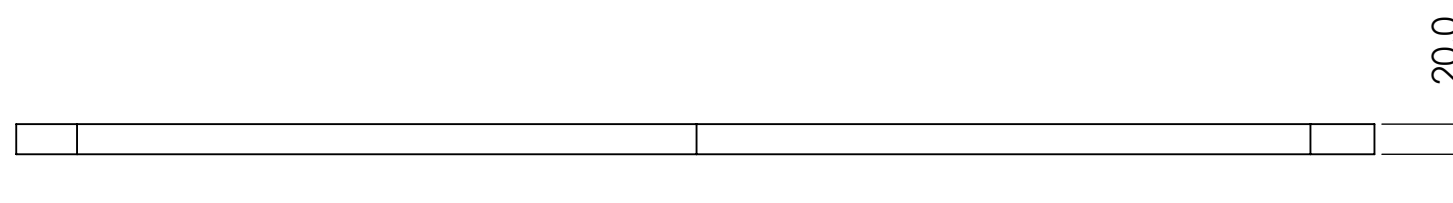
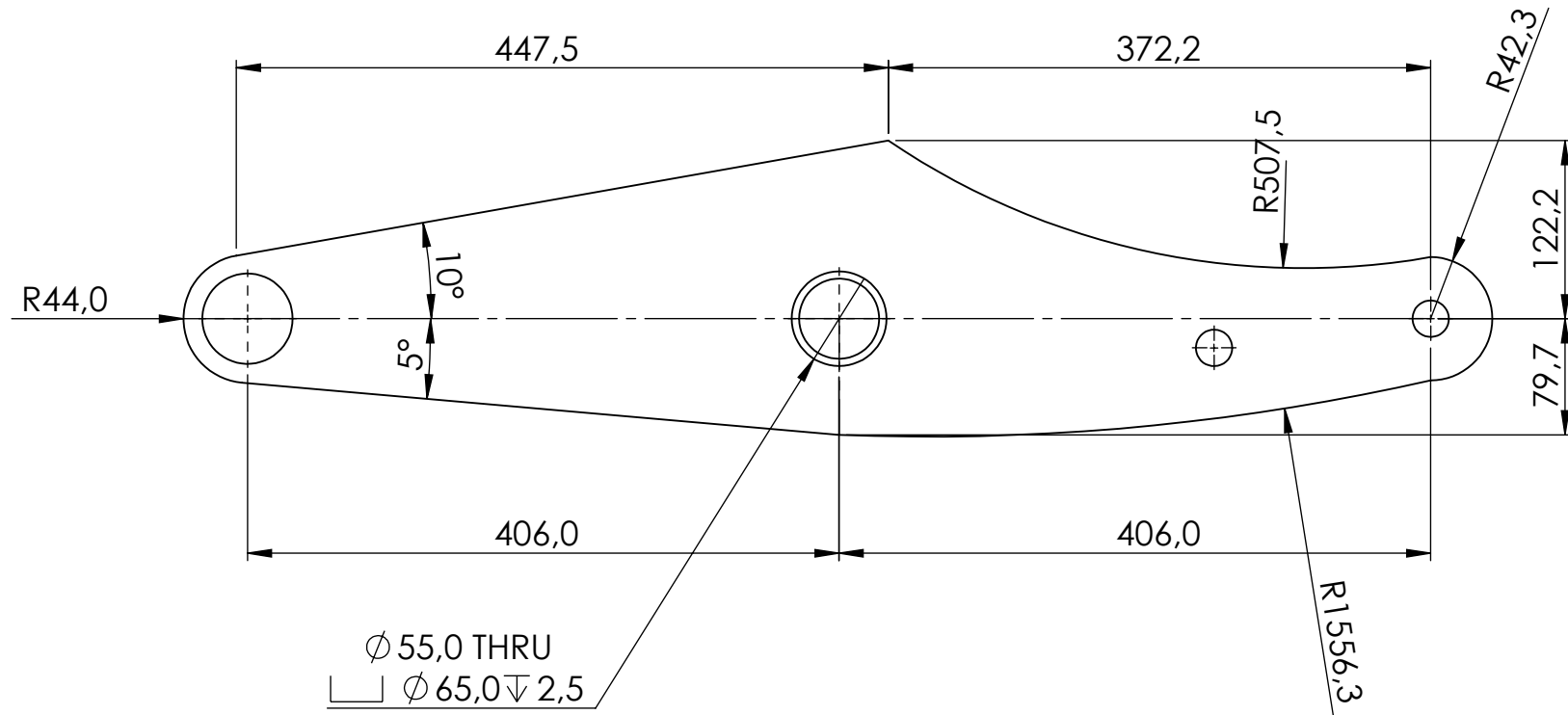
D

E

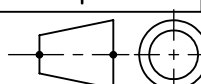
F

G

H



QTY: 3

Por / By		Data / Date	Designação / Description		MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS	
Model / Proj	André Vidal	15/10/2021	Haste interior direita			
Des / Drawn	André Vidal	15/10/2021				
Apr / Appr						
Tolerâncias Gerais / General Tolerances		Escola / Scale	Ref. Cliente / Customer Ref.		Martifer - Construções Metalomecânicas, S.A.	
DIN ISO 2768-mH	DIN EN ISO 13920-Class B (applicable to welded assemblies)	1:5	001_013		Zona Industrial - Apartado 17	
DIN ISO 8015	DIN EN ISO 13715				3684-001 Oliveira de Frades	
		Processo / Process		Portugal		
				Rev: R00	Página / Sheet	A3
				SOLIDWORKS	1 / 1	

This drawing is property of MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS.
May not be disclosed or reproduced without previous permission.
Impresso em: / Printed on: 15/10/2021

DEP

1

2

3

4

5

6

A

B

C

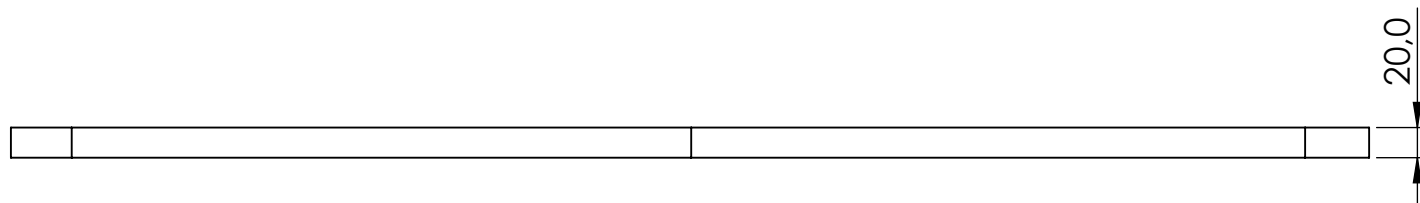
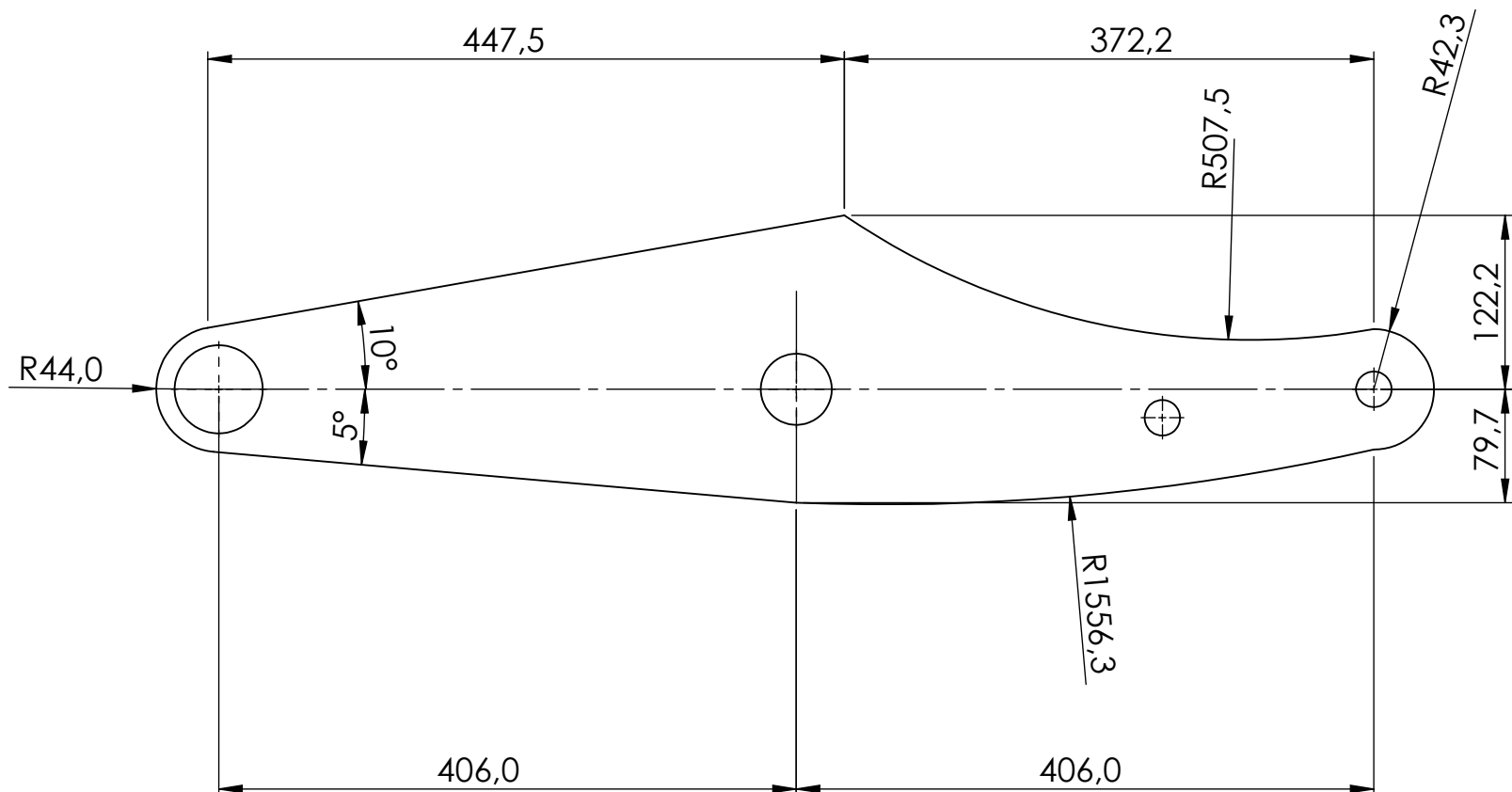
D

E

F

G

H



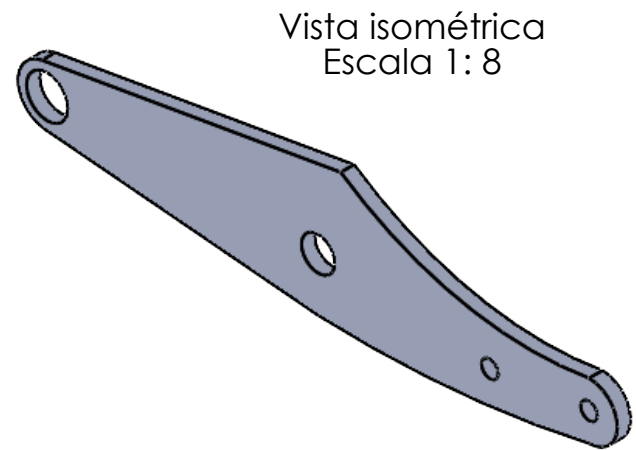
$\phi 62,0$ THRU

$\phi 50,0$ THRU

2 x $\phi 25,0$ THRU

	Por / By	Data / Date	Designação / Description
Model / Proj	André Vidal	15/10/2021	Haste exterior
Des / Drawn	André Vidal	15/10/2021	
Apr / Appr			
Tolerâncias Gerais / General Tolerances		Escala / Scale	Ref. Cliente / Customer Ref.
DIN ISO 2768-mH	DIN EN ISO 13920-Class B (applied to vertical assemblies)	1:5	001_014
DIN ISO 8015	DIN EN ISO 13715		
		Processo / Process	

QTY: 6



MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS		
Martifer - Construções Metalomecânicas, S.A. Zona Industrial - Apartado 17 3684-001 Oliveira de Frades Portugal		
Rev: R00	Página / Sheet	A3
SOLIDWORKS	1 / 1	

This drawing is property of MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS.
May not be disclosed or reproduced without previous permission.
Impresso em: / Printed on: 15/10/2021

DEP

1

2

3

4

5

6

A

B

C

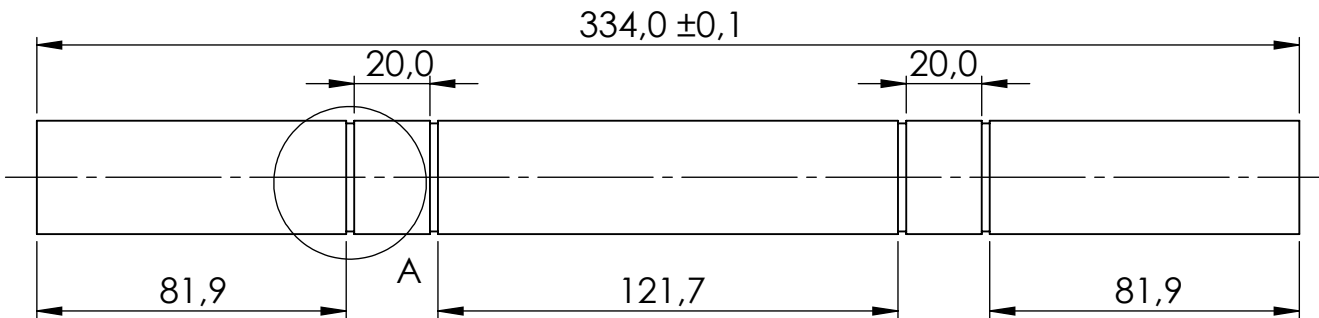
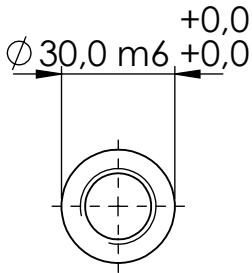
D

E

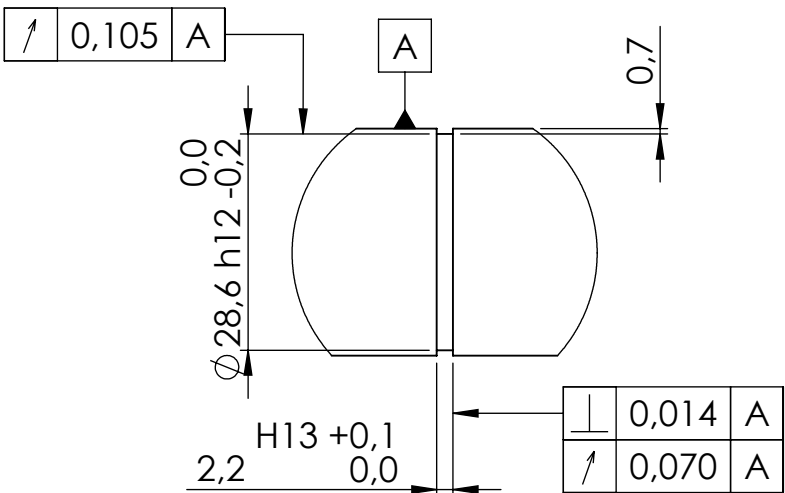
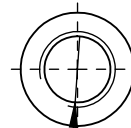
F

G

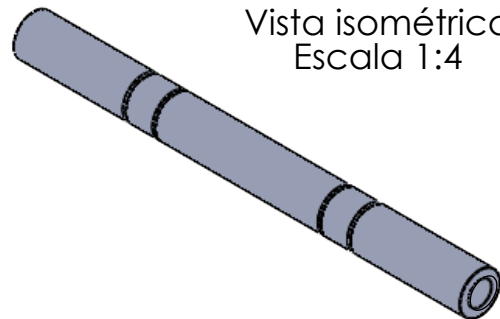
H



2 x Ø 17,5 ∇ 80,0
M20 - 6H ∇ 70,0

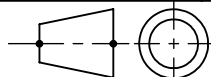


DETAIL A
SCALE 1 : 1



Vista isométrica
Escala 1:4

QTY: 3

	Por / By	Data / Date	Designação / Description		MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS		
Model / Proj	André Vidal	15/10/2021	Veio de suporte das hastes interiores				
Des / Drawn	André Vidal	15/10/2021					
Apr / Appr							
Tolerâncias Gerais / General Tolerances		Escala /Scale	Ref. Cliente / Customer Ref.		Martifer - Construções Metalomecânicas, S.A. Zona Industrial - Apartado 17 3684-001 Oliveira de Frades Portugal		
DIN ISO 2768-mH	DIN EN ISO 13920-Class B (applicable to welded assemblies)	1:2	001_015				
DIN ISO 8015	DIN EN ISO 13715						
		Processo / Process		Rev: R00			Página / Sheet
				SOLIDWORKS		1 / 1	

This drawing is property of MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS.
May not be disclosed or reproduced without previous permission.
Impresso em: / Printed on: 15/10/2021

DEP

1

2

3

4

5

6

A

B

C

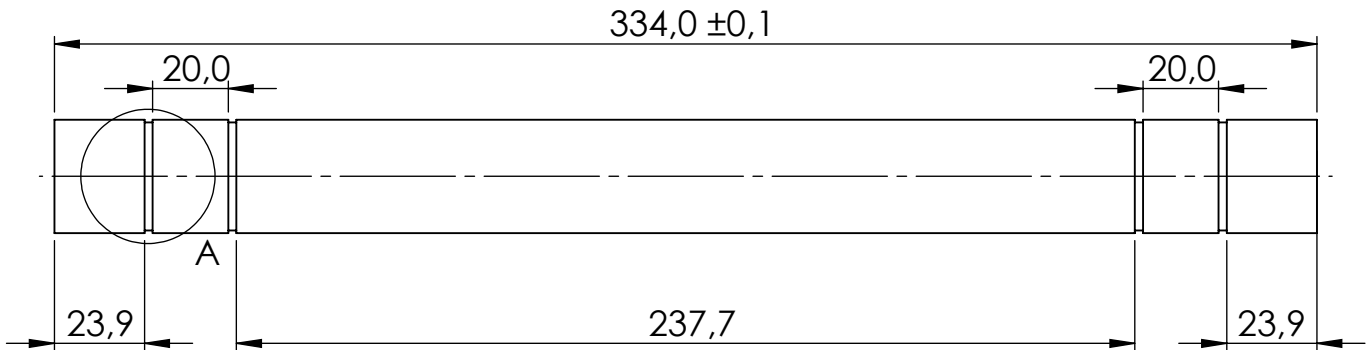
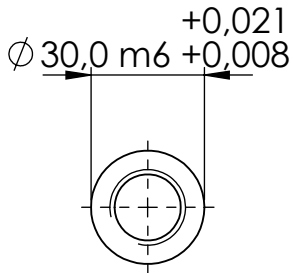
D

E

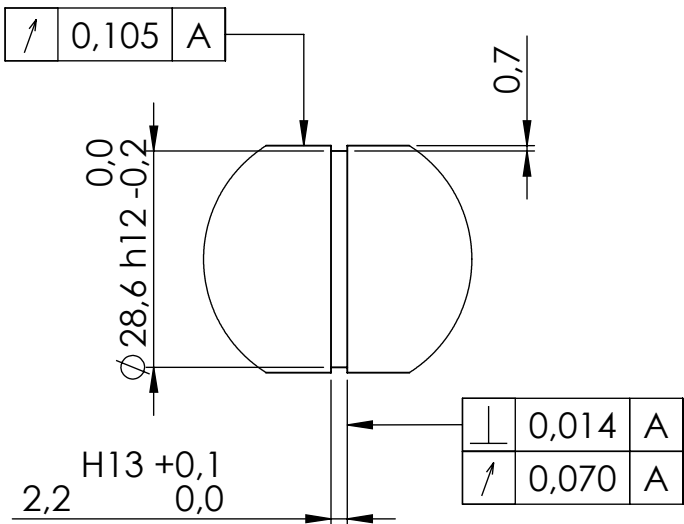
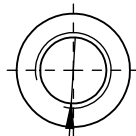
F

G

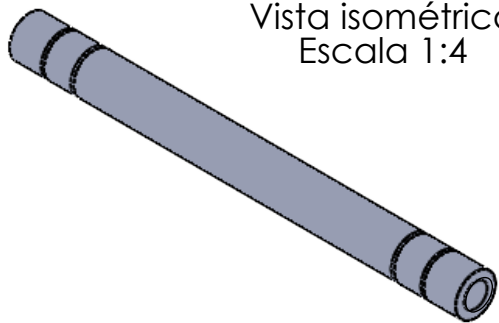
H



2 x Ø 17,5 ∇ 80,0
M20 - 6H ∇ 70,0

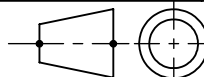


DETAIL A
SCALE 1 : 1



Vista isométrica
Escala 1:4

QTY: 3

	Por / By	Data / Date	Designação / Description		MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS		
Model / Proj	André Vidal	15/10/2021	Veio de suporte das hastes exteriores				
Des / Drawn	André Vidal	15/10/2021					
Apr / Appr					Martifer - Construções Metalomecânicas, S.A. Zona Industrial - Apartado 17 3684-001 Oliveira de Frades Portugal		
Tolerâncias Gerais / General Tolerances		Escala /Scale	Ref. Cliente / Customer Ref.				
DIN ISO 2768-mH DIN ISO 8015	DIN EN ISO 13920-Class B (applicable to welded assemblies) DIN EN ISO 13715	1:2	001_016				
			Processo / Process		Rev: R00	Página / Sheet	A3
					SOLIDWORKS		

This drawing is property of MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS.
May not be disclosed or reproduced without previous permission.
Impresso em: / Printed on: 15/10/2021

DEP

1

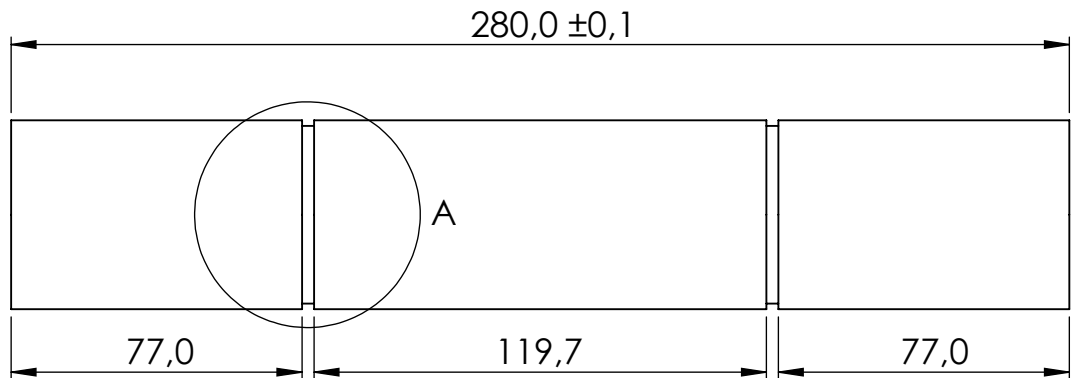
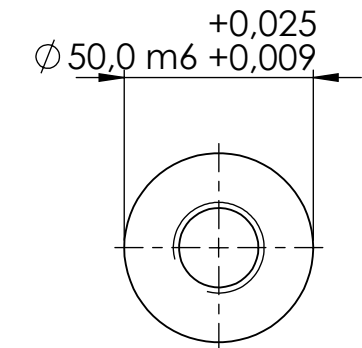
2

3

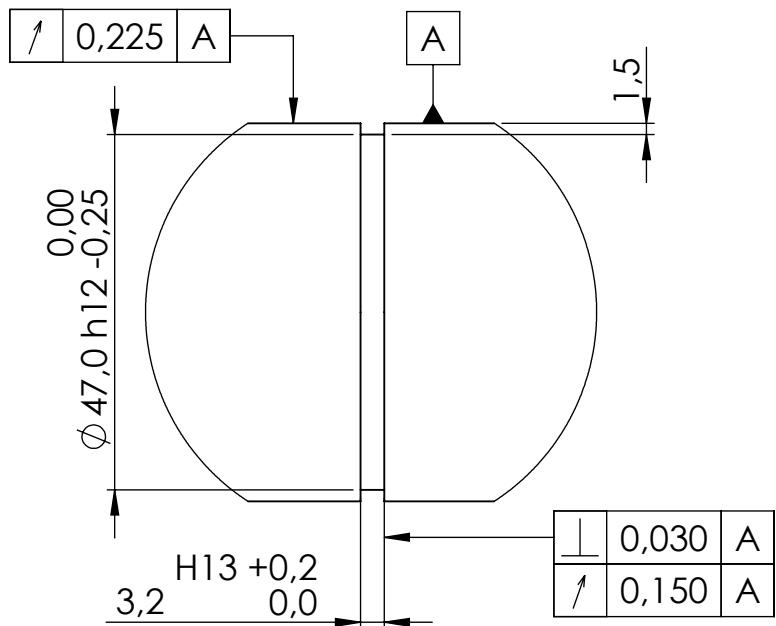
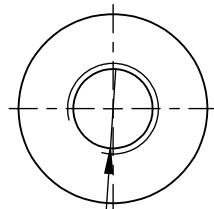
4

5

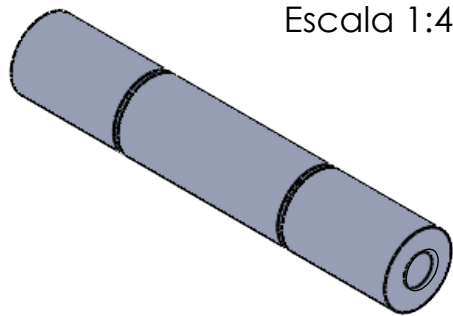
6



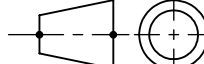
2 x $\varnothing$ 21,0 ∇ 80,0
M24 - 6H ∇ 70,0



DETAIL A
SCALE 1 : 1



QTY: 3

	Por / By	Data / Date	Designação / Description		MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS		
Model / Proj	André Vidal	15/10/2021	Veio central				
Des / Drawn	André Vidal	15/10/2021					
Apr / Appr							
Tolerâncias Gerais / General Tolerances		Esca / Scale	Ref. Cliente / Customer Ref.		Martifer - Construções Metalomecânicas, S.A. Zona Industrial - Apartado 17 3684-001 Oliveira de Frades Portugal		
DIN ISO 2768-mH	DIN EN ISO 13920-Class B (applicable to welded assemblies)	1:2	001_017				
DIN ISO 8015	DIN EN ISO 13715						
			Processo / Process		Rev: R00	Página / Sheet	A3
					SOLIDWORKS		

This drawing is property of MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS.
May not be disclosed or reproduced without previous permission.
Impresso em: / Printed on: 15/10/2021

DEP

1

2

3

4

5

6

A

B

C

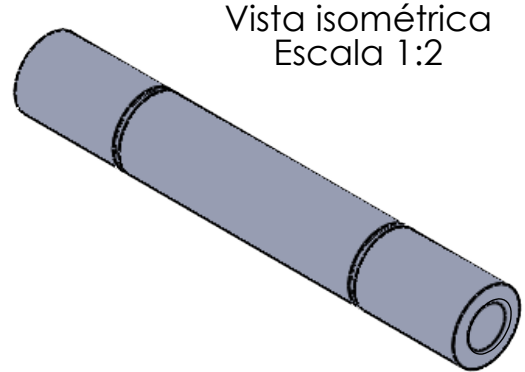
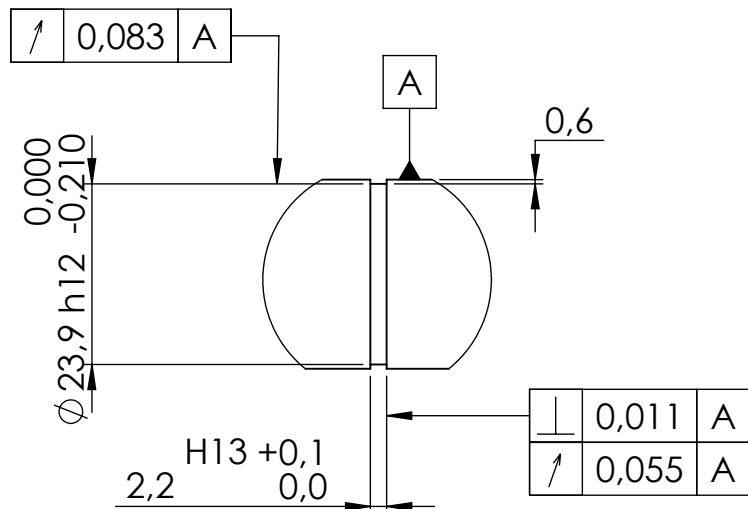
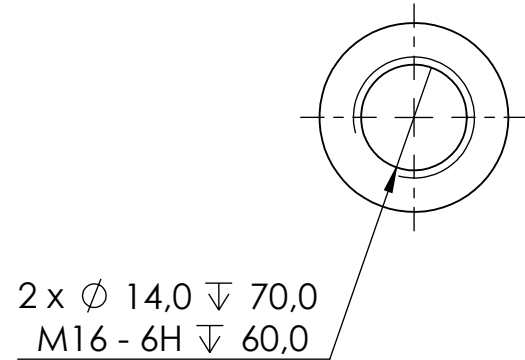
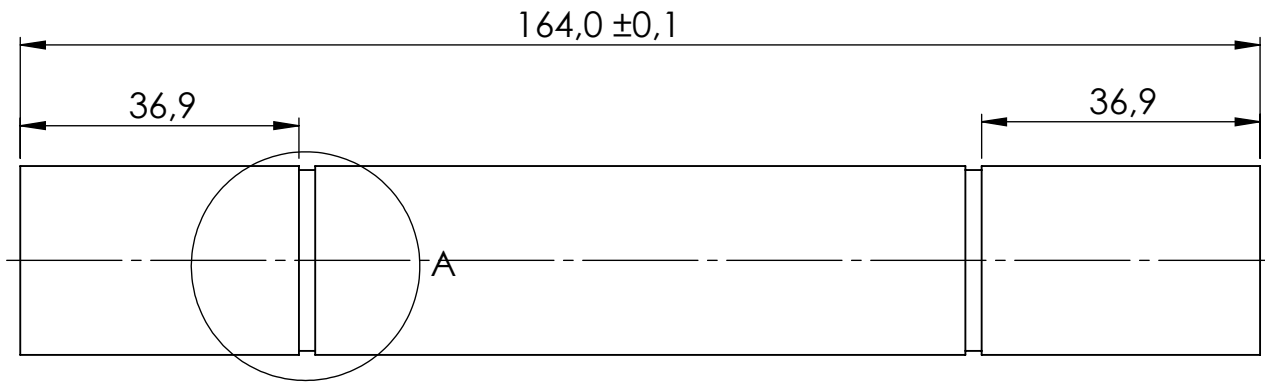
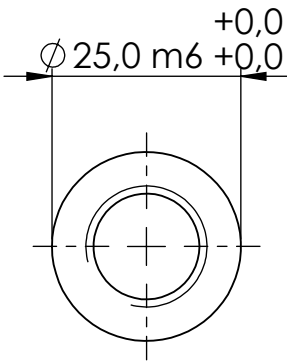
D

E

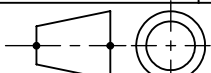
F

G

H



QTY: 3

	Por / By	Data / Date	Designação / Description		MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS				
Model / Proj	André Vidal	15/10/2021	Veio superior_1						
Des / Drawn	André Vidal	15/10/2021							
Apr / Appr									
Tolerâncias Gerais / General Tolerances			Esca / Scale	Ref. Cliente / Customer Ref.		Martifer - Construções Metalomecânicas, S.A. Zona Industrial - Apartado 17 3684-001 Oliveira de Frades Portugal			
DIN ISO 2768-mH		DIN EN ISO 13920-Class B (applicable to welded assemblies)	1:1	001_018					
DIN ISO 8015		DIN EN ISO 13715							
			Processo / Process		Rev: R00		Página / Sheet		A3
					SOLIDWORKS		1 / 1		

This drawing is property of MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS.
May not be disclosed or reproduced without previous permission.
Impresso em: / Printed on: 15/10/2021

DEP

1

2

3

4

5

6

A

B

C

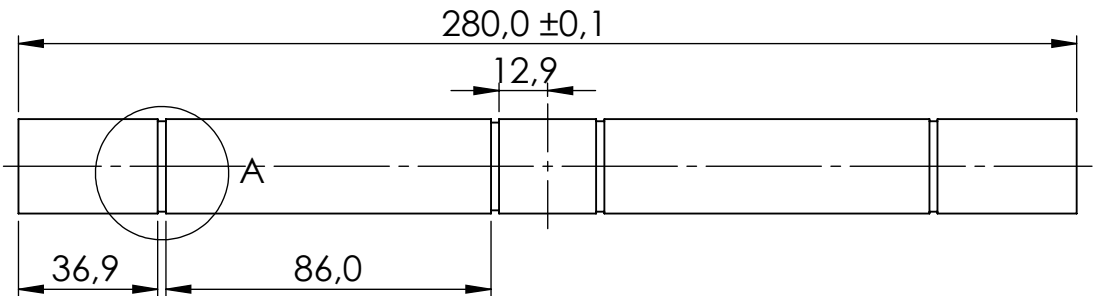
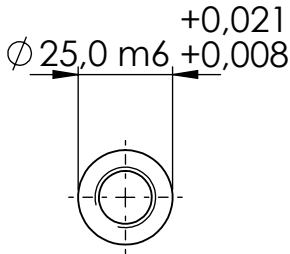
D

E

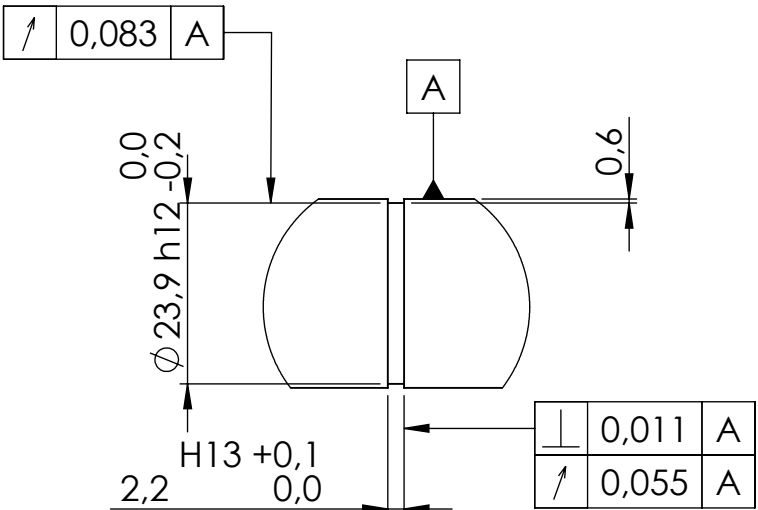
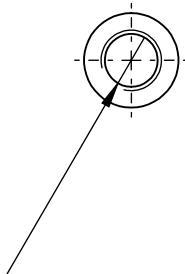
F

G

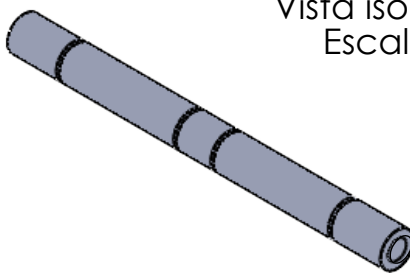
H



2 x Ø 14,0 ∇ 70,0
M16 - 6H ∇ 60,0



DETAIL A
SCALE 1 : 1



Vista isométrica
Escala 1:4

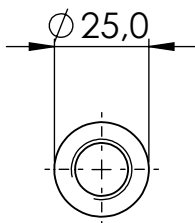
QTY: 3

	Por / By	Data / Date	Designação / Description		MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS		
Model / Proj	André Vidal	15/10/2021	Veio superior_2				
Des / Drawn	André Vidal	15/10/2021					
Apr / Appr							
Tolerâncias Gerais / General Tolerances		Esca / Scale	Ref. Cliente / Customer Ref.		Martifer - Construções Metalomecânicas, S.A.		
DIN ISO 2768-mH DIN EN ISO 13920-Class B (applies to welded assemblies) DIN ISO 8015 DIN EN ISO 13715		1:2	001_019		Zona Industrial - Apartado 17 3684-001 Oliveira de Frades Portugal		
			Processo / Process		Rev: R00	Página / Sheet	A3
					SOLIDWORKS	1 / 1	

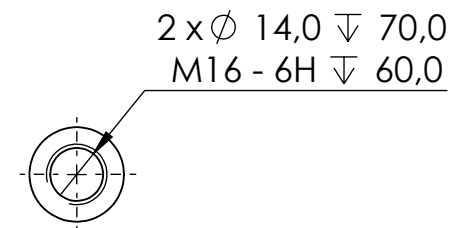
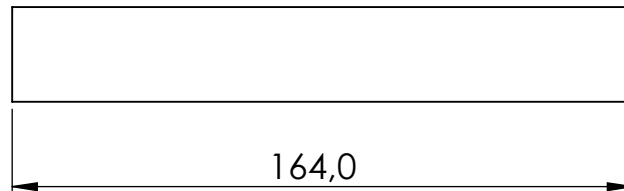
This drawing is property of MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS.
May not be disclosed or reproduced without previous permission.
Impresso em: / Printed on: 15/10/2021

DEP

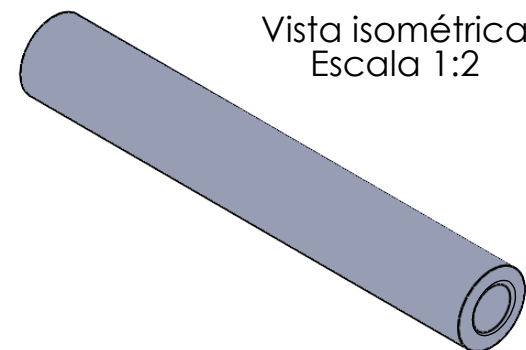
1



2



3



QTY: 3

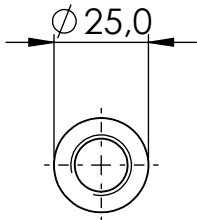
4

	Por / By	Data / Date	Designação / Description	MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS		
Model / Proj	André Vidal	15/10/2021	Reforço das hastes interiores			
Des / Drawn	André Vidal	15/10/2021		Martifer - Construções Metalomecânicas, S.A. Zona Industrial - Apartado 17 3684-001 Oliveira de Frades Portugal		
Apr / Appr						
Tolerâncias Gerais / General Tolerances		Escala / Scale	Ref. Cliente / Customer Ref.	Rev: R00		
DIN ISO 2768-mH	DIN EN ISO 13920-Class B (applicable to welded assemblies)	1:2	001_020			
DIN ISO 8015	DIN EN ISO 13715			SOLIDWORKS	Página / Sheet	A4
			Processo / Process	1 / 1		

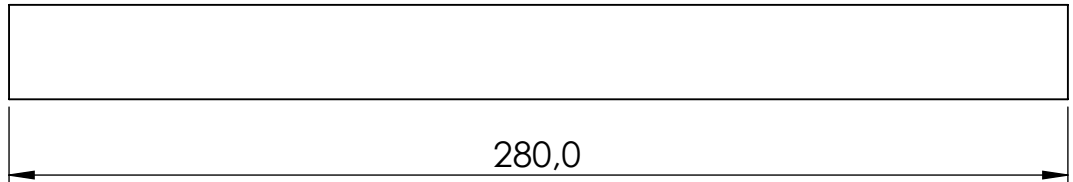
This drawing is property of MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS.
May not be disclosed or reproduced without previous permission.
Impresso em: / Printed on: 15/10/2021

DEP

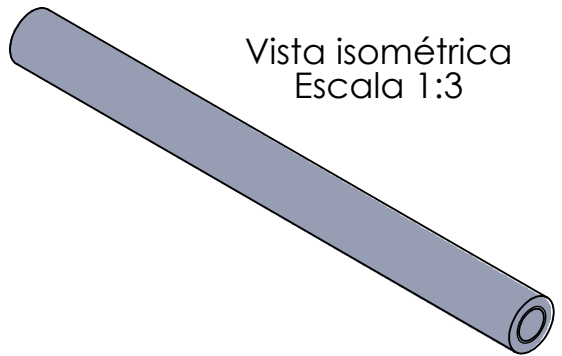
1



2

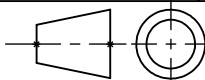


3



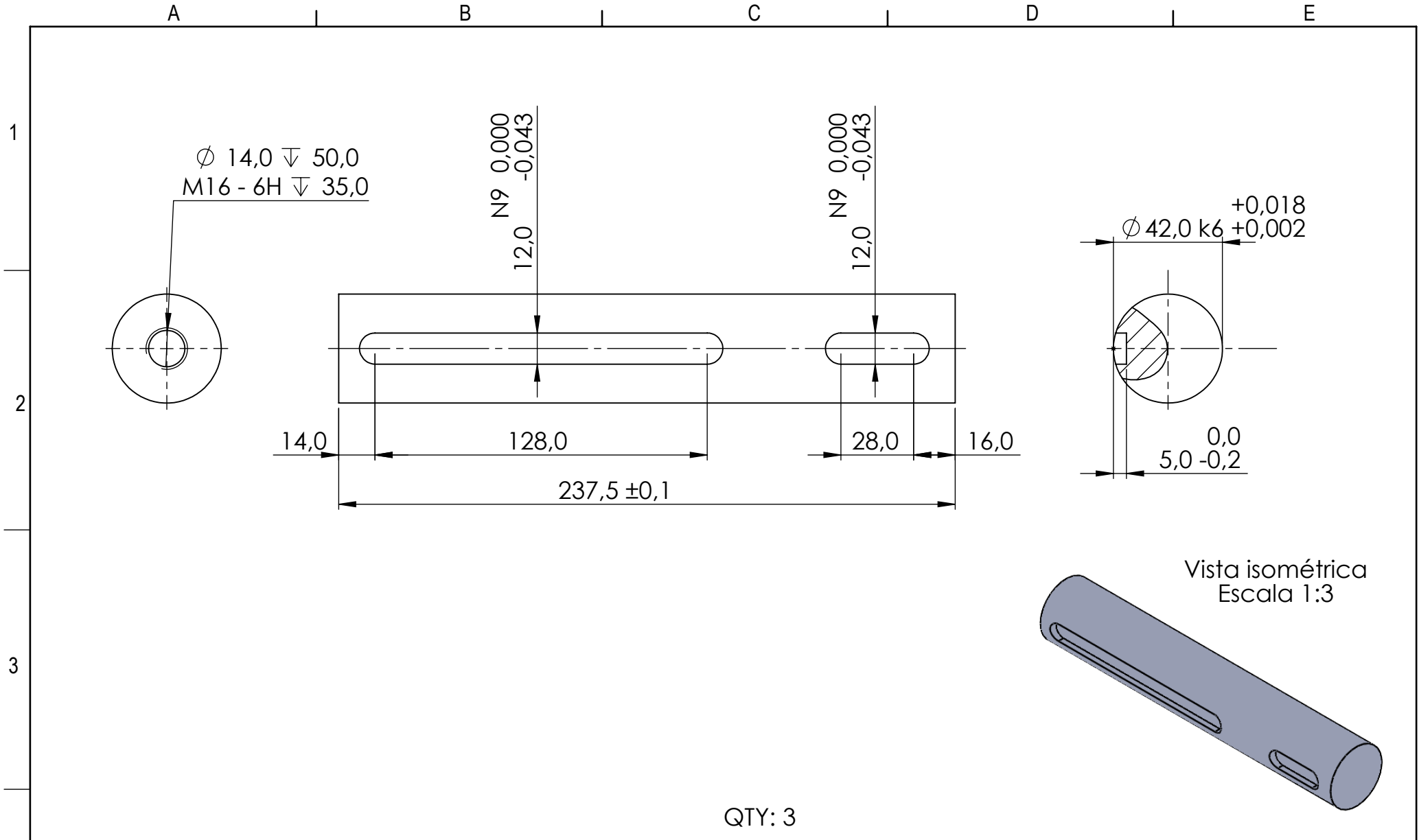
4

QTY: 3

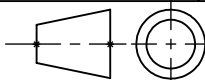
	Por / By	Data / Date	Designação / Description	MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS Martifer - Construções Metalomecânicas, S.A. Zona Industrial - Apartado 17 3684-001 Oliveira de Frades Portugal		
Model / Proj	André Vidal	15/10/2021	Reforço das hastes exteriores			
Des / Drawn	André Vidal	15/10/2021				
Apr / Appr						
Tolerâncias Gerais / General Tolerances		Escala / Scale	Ref. Cliente / Customer Ref.	Rev: R00 SOLIDWORKS Página / Sheet 1 / 1 A4		
DIN ISO 2768-mH	DIN EN ISO 13920-Class B (applicable to welded assemblies)	1:2	001_021			
DIN ISO 8015	DIN EN ISO 13715					
			Processo / Process			

This drawing is property of MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS.
May not be disclosed or reproduced without previous permission.
Impresso em: / Printed on: 15/10/2021

DEP



QTY: 3

Por / By		Data / Date	Designação / Description		MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS Martifer - Construções Metalomecânicas, S.A. Zona Industrial - Apartado 17 3684-001 Oliveira de Frades Portugal		
Model / Proj	André Vidal	15/10/2021	Veio de acionamento				
Des / Drawn	André Vidal	15/10/2021					
Apr / Appr							
Tolerâncias Gerais / General Tolerances		Escala / Scale	Ref. Cliente / Customer Ref.		Rev: R00 SOLIDWORKS Página / Sheet 1 / 1 A4		
DIN ISO 2768-mH	DIN EN ISO 13920-Class B (applicable to welded assemblies)	1:2	001_022				
DIN ISO 8015	DIN EN ISO 13715						
			Processo / Process				

DEP

A

B

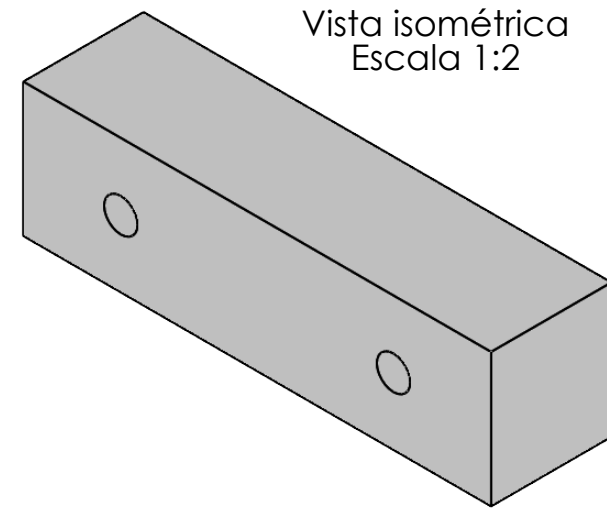
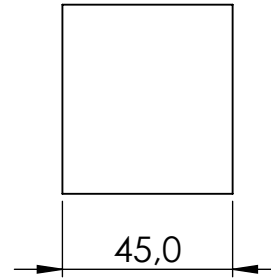
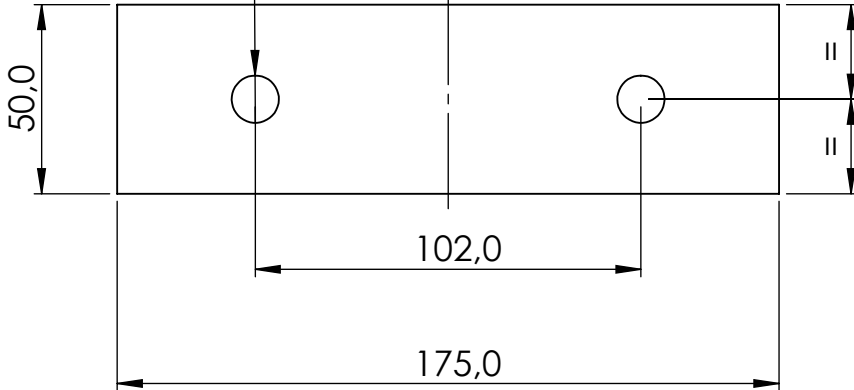
C

D

E

1

2 x ϕ 12,5 THRU ALL

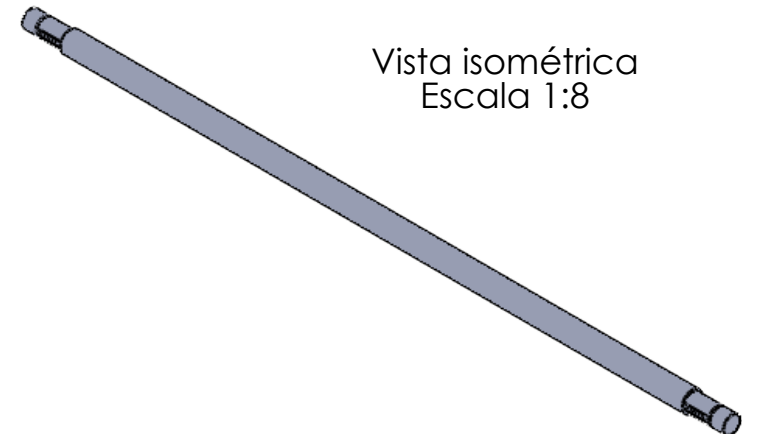


Vista isométrica
Escala 1:2

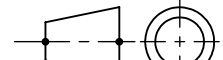
QTY: 12

	Por / By	Data / Date	Designação / Description	MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS Martifer - Construções Metalomecânicas, S.A. Zona Industrial - Apartado 17 3684-001 Oliveira de Frades Portugal		
Model / Proj	André Vidal	15/10/2021	Calço do mancal			
Des / Drawn	André Vidal	15/10/2021				
Apr / Appr						
Tolerâncias Gerais / General Tolerances		Escala / Scale	Ref. Cliente / Customer Ref.			
DIN ISO 2768-mH	DIN EN ISO 13920-Class B (applicable to welded assemblies)	1:2	001_023			
DIN ISO 8015	DIN EN ISO 13715					
			Processo / Process	Rev: R00	Página / Sheet	A4
				SOLIDWORKS		

This drawing is property of MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS.
May not be disclosed or reproduced without previous permission.
Impresso em: / Printed on: 15/10/2021

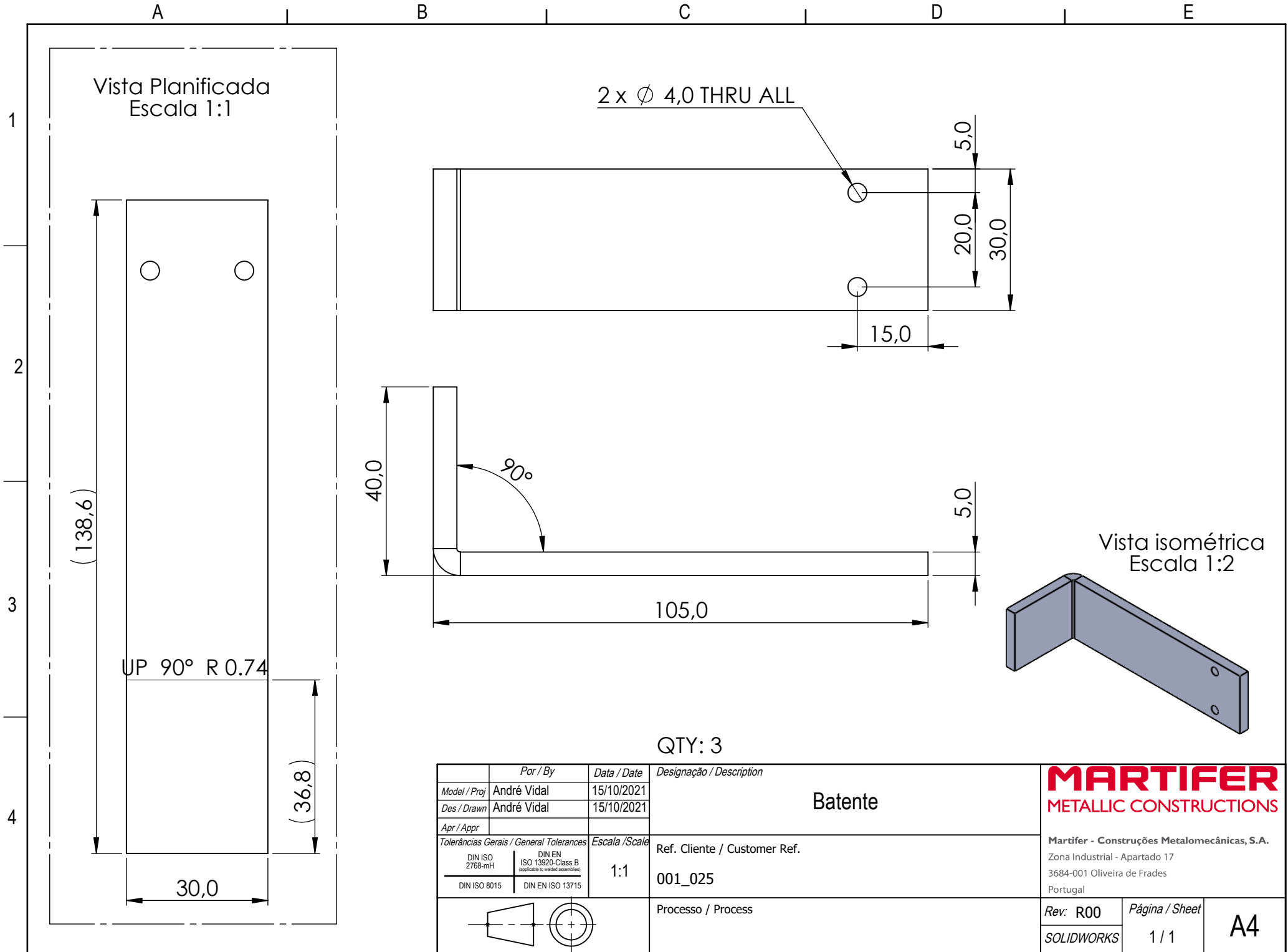


DETAIL B
SCALE 2 : 1

Por / By		Data / Date	Designação / Description	MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS	
Model / Proj	André Vidal	16/10/2021			
Des / Drawn	André Vidal	16/10/2021			
Apr / Appr					
Tolerâncias Gerais / General Tolerances		Escala / Scale	Ref. Cliente / Customer Ref.	Martifer - Construções Metalomecânicas, S.A.	
DIN ISO 2768-mH	DIN EN ISO 13820-Class B (applicable to welded assemblies)	1:1	001_024	Zona Industrial - Apartado 17	
DIN ISO 8015	DIN EN ISO 13715			3684-001 Oliveira de Frades	
			Processo / Process	Portugal	
			Rev: R00	Página / Sheet	A3
			SOLIDWORKS	1 / 1	

This drawing is property of MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS.
May not be disclosed or reproduced without previous permission.
Impresso em: / Printed on: 15/10/2021

DEP



This drawing is property of MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS.
May not be disclosed or reproduced without previous permission.
Impresso em: / Printed on: 16/10/2021

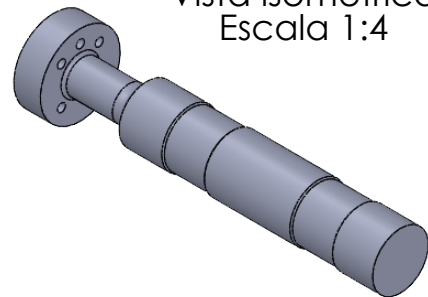
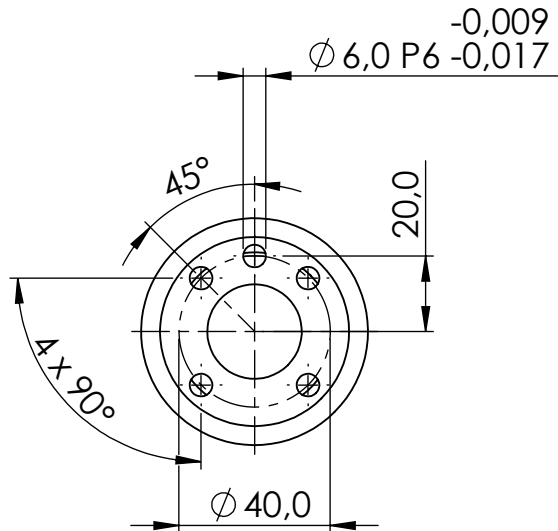
DEP

1

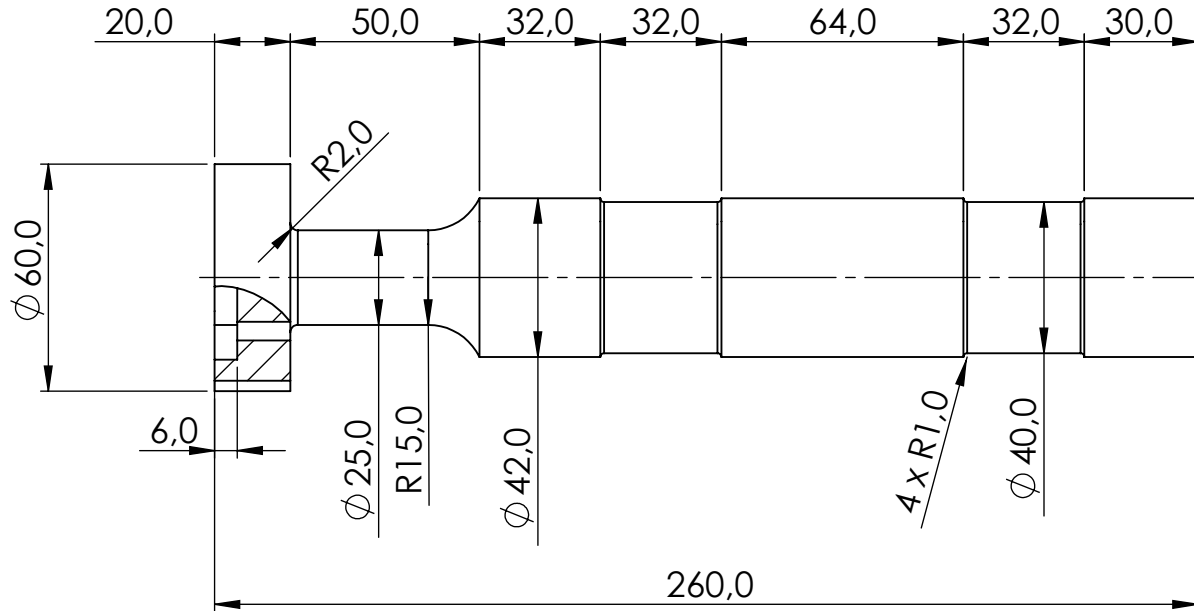
2

3

4



Vista isométrica
Escala 1:4



	Por / By	Data / Date	Designação / Description	MARTIFER METALLIC CONSTRUCTIONS		
Model / Proj	André Vidal	16/10/2021	Veio de fixação do sistema de corte			
Des / Drawn	André Vidal	16/10/2021		Martifer - Construções Metalomecânicas, S.A. Zona Industrial - Apartado 17 3684-001 Oliveira de Frades Portugal		
Apr / Appr						
Tolerâncias Gerais / General Tolerances		Escala / Scale	Ref. Cliente / Customer Ref.	Rev: R00		
DIN ISO 2768-mH DIN ISO 8015		DIN EN ISO 13920-Class B (applicable to welded assemblies) DIN EN ISO 13715	002_001			
			Processo / Process	SOLIDWORKS	Página / Sheet 1 / 1	A4