



Projeto de equipamento de dobragem tridimensional de arame

LUCIANO MIGUEL COELHO BARBOSA

julho de 2021

PROJETO DE EQUIPAMENTO DE DOBRAGEM TRIDIMENSIONAL DE ARAME

Luciano Miguel Coelho Barbosa

1150510

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento Engenharia Mecânica

PROJETO DE EQUIPAMENTO DE DOBRAGEM TRIDIMENSIONAL DE ARAME

Luciano Miguel Coelho Barbosa

1150510

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.

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento Engenharia Mecânica



JÚRI

Presidente

Mestre/Especialista José Carlos Vieira De Sá

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Coorientador

Doutor Francisco José Gomes da Silva

Professor Coordenador, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Arguente

Doutor José Joaquim da Mota Machado

Professor Auxiliar Convidado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador na Fico Cables Engenheiro Paulo Rebelo, por toda a orientação ao longo deste trabalho.

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

A toda a minha família, em especial à minha mãe, pelo apoio incondicional ao longo do meu percurso académico e pessoal.

PALAVRAS-CHAVE

Indústria Automóvel, Arames estruturais de bancos, Equipamento de conformação de arame, Produtividade, Projeto mecânico.

RESUMO

A indústria automóvel é dos setores industriais mais exigentes do mercado mundial. Esta exigência advém do elevado nível de competitividade existente no setor, o que gera a necessidade da procura constante de um maior grau de eficiência, e uma maior produtividade e qualidade, para que se consiga continuar sempre a responder às exigências dos clientes. Num setor onde os principais pilares são a qualidade e a flexibilidade, é necessário um especial cuidado com produtividade, pois esta muitas vezes acaba por ser sacrificada para que se possa continuar a garantir a qualidade. Assim surge a necessidade de inovar nos processos de produção, o que pode ser feito através do aumento do grau de automatização dos processos de fabrico. O elevado grau de automatização reduz a necessidade de mão-de-obra, que é um recurso que não garante sempre o mesmo nível de qualidade, nem de custo, uma vez que a produtividade da mão-de-obra é variável.

Este trabalho teve como objetivo criar um novo conceito de equipamento capaz de produzir arames dobrados tridimensionalmente para a estrutura de bancos de carros. Neste sentido, foi criado um equipamento que recorre a carros deslizantes, com motores elétricos que são capazes de realizar a dobragem e a rotação axial dos arames. Além disto, numa zona inicial, o equipamento é capaz de realizar o desbobinamento, o endireitamento e corte do arame a ser dobrado. Através do conceito desenvolvido foi possível remover a necessidade de um equipamento que servia unicamente para endireitar e cortar o arame, bem como a necessidade de alguém que faça o transporte dos arames cortados para o equipamento que os dobraria. Conseguiu-se ainda uma fonte energética mais eficiente do que o utilizado no equipamento inicial.

KEYWORDS

Automotive industry, Structural seat wires, Wire forming equipment, Productivity, Mechanical design.

ABSTRACT

The automotive industry is one of the most demanding industrial sectors in the world market. This requirement comes from the high level of competitiveness existing in the sector, which generates the need to constantly seek a greater degree of efficiency, greater productivity, and quality, so that can always continue to respond to the demands of customers. In an industry where the main pillars are quality and flexibility, special care is needed with productivity, as it often ends up being sacrificed to guarantee quality assurance. Thus, the need arises to innovate in production processes, which can be done by increasing the degree of automation of manufacturing processes. The high degree of automation reduces the need for labor, which is a resource that cannot always guarantee the same level of quality or cost, as labor productivity varies.

This work aimed to create a new concept of equipment capable of producing three-dimensionally bent wires. In this sense, an equipment was created that uses sliding carriages, with electric motors that are capable of bending and axial rotation of the wires. Furthermore, in an initial zone, the equipment is capable of unwinding, straightening, and cutting the wire to be bent. Through the developed concept, it was possible to remove the need for equipment that served only to straighten and cut the wire, as well as the need for someone to transport the cut wires to the equipment that would bend them. It was also possible to use the energy resource more efficiently than that used in the initial equipment.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

3D	Três dimensões
AGV's	<i>Automatic Guided Vehicle</i>
APCER	Associação Portuguesa de Certificação
AVSQ	<i>Associazione Nazionale dei Valutatori di Sistemi Qualità</i>
CNC	Comando Numérico Computadorizado
COTEC	Associação Empresarial para a Inovação
EUA	Estados Unidos da América
IA	Inteligência Artificial
IATF	<i>International Automotive Task Force</i>
IOT	<i>Internet of Things</i>
IQNet	<i>The International Certification Network</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
PIB	Produto Interno Bruto
PLC	Power Line Communication
QS	<i>Quality System</i>
TIG	<i>Tungsten Inert Gas</i>
TSS	<i>Torque Superposed Spatial</i>
VDA	<i>Verband der Automobilindustrie</i>

Lista de Unidades

kg	Quilograma
m	Metros
m/s^2	Metro por segundo quadrado
m/s	Metro por segundo
mm	Milímetros
N	Newton
rpm	Rotações por minuto
Rpm	Rotações por minuto
s	Segundos
$un.$	Unidade

Lista de Símbolos

α	Aceleração
ω	Aceleração angular
g	Aceleração gravítica
T_1	Binário de atrito
T	Binário máximo
T_2	Binário necessário
μ	Coefficiente de atrito do guia
η	Eficiência
F_{a4}	Força durante a aceleração regressiva
F_{a6}	Força durante a desaceleração da regressão

F_{a3}	Força durante a desaceleração do avanço
F_{a5}	Força durante a regressão uniforme
F_{a1}	Força durante aceleração
F_{a2}	Força durante o avanço uniforme
J	Inercia
J_s	Inercia do eixo
m	Massa
MA	Momento em A
MB	Momento em B
MC	Momento em C
MD	Momento em D
Ph	Passo do fuso
f	Resistência de atrito do guia
Σ	Somatório
t1	Tempo de aceleração
v	Velocidade
v_{max}	Velocidade máxima

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Carros de passageiros novos registados na União Europeia [3]	7
Figura 2 - Os cinco pilares da competitividade de Porter [8]	9
Figura 3 - Tecnologias associadas à indústria 4.0 [9].....	10
Figura 4 - Yoyo, carro elétrico impresso [11]	11
Figura 5 - Cabos de comando existentes num veículo automóvel [13].....	12
Figura 6 - Estrutura do banco [14].....	13
Figura 7 - Cabeçote de dobragem de arame com três eixos [16].....	15
Figura 8 - Máquina de conformação de arame com cabeçote duplo [17]	16
Figura 9 - Sistema de endireitamento e alimentação de arame [18]	16
Figura 10 - Modelos de endireitamento de arame com planos [19].....	17
Figura 11 - Modelo de endireitamento de arame por rotação [20]	17
Figura 12 - Desbobinador motorizado [21]	17
Figura 13 - Interface para programação [22]	18
Figura 14 - Dobradora bidimensional de arame [18]	18
Figura 15 - Dobradora tridimensional de arame [22].....	19
Figura 16 - Triagem laboratorial automática [30]	22
Figura 17 - Automatização pneumática [32]	23
Figura 18 – Linha de montagem [33].....	24
Figura 19 – Linha de embalagem [34]	24
Figura 20 – Sistema de armazenamento de recorre ao uso de AGV's [35]	24
Figura 21 - Transportadora de rolos [36].....	24
Figura 22 - Mesa vibratória [37]	25
Figura 23 - Sistema de etiquetagem [38]	25
Figura 24 - Produção do Model 3 [41].....	26
Figura 25 - Produção ID.3 [42]	26
Figura 26 - Manipulador de pneus [43]	26
Figura 27 – Robô de soldadura [44]	26

Figura 28 - Impressora 3D [47]	27
Figura 29 - Braço robótico [48].....	27
Figura 30 - Sistema de coordenadas polares esquemático [49].....	27
Figura 31 - Braço de coordenadas de revolução [51]	27
Figura 32 - a) Sophia, primeiro robô a obter uma cidadania [52] b) Spot cão robô com IA [53]	28
Figura 33 – Matriz de informação de profundidade da cena utilizado no estudo referido [39]	29
Figura 34 - Presença global do grupo Ficosa [55]	33
Figura 35 - Equipamento inicial	34
Figura 36 - Alimentador	35
Figura 37 - Transporte do alimentador para o transfer.....	35
Figura 38 - Todas estações de dobragem	35
Figura 39 - Armazenagem.....	35
Figura 40 – <i>Transfer</i>	36
Figura 41 - Pinça de posicionamento e dobrador.....	36
Figura 42 - Sistema de rotação axial.....	36
Figura 43 - Sistema de alimentação	37
Figura 44 - Indentado	37
Figura 45 - Recolha das peças.....	37
Figura 46 - Equipamento de segurança	38
Figura 47 - Fluxograma da produção do arame.....	38
Figura 48 - Corte por abrasão	39
Figura 49 - Guilhotina de corte manual.....	39
Figura 50 - Alimentação com uma roldana tracionadora.....	40
Figura 51 - Alimentação com quatro roldanas tracionadoras	40
Figura 52 - Dobrador com sistema deslizante	40
Figura 53 - Dobrador de braço	40
Figura 54 - Sistema de rotação axial.....	41
Figura 55 - Sistema de recolha	41
Figura 56 - Conjunto geral	42
Figura 57 - Desbobinador	42

Figura 58 - Endireitador	42
Figura 59 - Tracionador	44
Figura 60 - Sistema de corte	44
Figura 61 - Carro do sistema de rotação	44
Figura 62 - Braço de rotação	44
Figura 63 - Carro de dobragem 1.....	44
Figura 64 - Carro de dobragem 2.....	44
Figura 65 - Rotação axial	46
Figura 66 - Distância dos patins ao centro de massa no plano Z-Y.....	46
Figura 67 - Distância dos patins ao centro de massa no plano Z-X	47
Figura 68 - Cargas suportadas pelos patins KWVE20-B.....	48
Figura 69 – Perfil retangular 40x80 6 mm 1550 mm	62
Figura 70 - Peça lb-tra_cor-02	62
Figura 71 - Peça lb-cort-1	62
Figura 72 – Estrutura da tração e corte.....	62
Figura 73 - Peça lb-tra-3	63
Figura 74 – Perfil retangular 40x80 6 mm 247 mm furado	63
Figura 75 - Peça lb-bra-10.....	63
Figura 76 – Estrutura da rotação axial.....	64
Figura 77 – Peça lb-bra-1.....	64
Figura 78 – Perfil retangular 40x80 6 mm 1400 mm	65
Figura 79 - Peça lb-do-8.....	65
Figura 80 – Peça lb-do-4	65
Figura 81 - Perfil retangular 50x25 2,5 mm 600 mm furado	66
Figura 82 - Peça lb-r-01.....	66
Figura 83 - Peça lb-pr-13	66
Figura 84 - Base de todo o equipamento	67
Figura 85 – Vista explodida do tracionador.....	68
Figura 86 – Vista explodida cortador.....	68
Figura 87 – Sistema de tração e corte montados na estrutura principal	69

Figura 88 - Carro do sistema de rotação axial	69
Figura 89 - Braço de rotação	70
Figura 90 – Sistema de rotação axial montado na estrutura principal.....	70
Figura 91 – Carro do sistema de dobragem	71
Figura 92 – Sistema de dobragem montado na estrutura principal.....	71
Figura 93 - Vista explodida da proteção	72
Figura 94 - Parâmetros da alimentação	72
Figura 95 - Sistema de proteção.....	73
Figura 96 - Sensor de segurança.....	74
Figura 97 - Sensor de segurança com botão de emergência.....	74

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Estado da Arte	19
Tabela 2 - Síntese das funções dos subconjuntos	43
Tabela 3 - Peças normalizadas do sistema de alimentação e corte	50
Tabela 4 - Peças normalizadas do sistema de rotação axial	52
Tabela 5 - Peças normalizadas do sistema de dobração	55
Tabela 6 - Peças normalizadas do sistema de recolha	57
Tabela 7 - Peças normalizadas do sistema de proteção	58
Tabela 8 - Análise ao cumprimento dos objetivos propostos para o projeto	77
Tabela 9 - Lista de peças não normalizadas alimentação e corte	91
Tabela 10 - Lista de peças não normalizadas rotação axial	93
Tabela 11 - Lista de peças não normalizadas dobrador	95
Tabela 12 - Lista de peças não normalizadas recolha	97
Tabela 13 - Lista de peças não normalizadas peças extra para a estrutura	99

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Contextualização	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Metodologia	2
1.4	Organização do relatório.....	2
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1	Indústria automóvel	7
2.1.1	Requisitos de qualidade.....	8
2.1.2	Requisitos de competitividade.....	8
2.1.3	Paradigmas de produção	9
2.2	Fabrico de cabos para a indústria automóvel.....	12
2.2.1	Contextualização dos cabos no automóvel.....	12
2.2.2	Funções e requisitos dos cabos metálicos	13
2.2.3	Requisitos de qualidade.....	14
2.2.4	Produção de cabos metálicos	14
2.2.5	Equipamentos disponíveis no mercado	15
2.2.6	Estado da arte no projeto de cabos metálicos.....	19
2.3	Automatização de sistemas de produção e montagem.....	21
2.3.1	Soluções baseadas na automação	22
2.3.2	Soluções baseadas na robótica	25
2.3.3	Recentes desenvolvimentos na automatização de processos	28
3	DESENVOLVIMENTO	33
3.1	Introdução ao trabalho prático desenvolvido.....	33

3.1.1	Caracterização da empresa	33
3.1.2	Objetivos do trabalho prático	34
3.1.3	Requisitos iniciais	34
3.2	Equipamento inicial.....	34
3.2.1	Estudo do equipamento existente	35
3.2.2	Funcionalidades.....	37
3.2.3	Segurança	38
3.2.4	Cadência	38
3.3	Anteprojeto	39
3.3.1	Tempestade de ideias.....	39
3.4	Projeto final.....	41
3.4.1	Representação geral do sistema	41
3.4.2	Estrutura.....	42
3.4.3	Sistema de comando	44
3.4.4	Dimensionamento de componentes	45
3.4.4.1	Dimensionamento de elementos de guiamento linear	45
3.4.4.2	Dimensionamento de fuso de esferas	48
3.4.4.3	Dimensionamento de motores	49
3.4.5	Lista de componentes normalizados	50
3.4.5.1	Alimentação e corte.....	50
3.4.5.2	Rotação axial.....	52
3.4.5.3	Dobrador.....	55
3.4.5.4	Recolha	57
3.4.5.5	Proteção.....	57
3.4.6	Instruções para a construção do equipamento.....	61
3.4.6.1	Processos de fabrico	61
3.4.6.1.1	Alimentação e corte	61
3.4.6.1.2	Rotação axial	63
3.4.6.1.3	Dobrador	64

3.4.6.1.4	Recolha.....	65
3.4.6.1.5	Proteção.....	66
3.4.6.1.6	Peças adicionais para posicionamento	66
3.4.6.2	Vistas explodidas	67
3.4.7	Projeto elétrico.....	72
3.4.8	Segurança.....	73
4	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	77
4.1	CONCLUSÕES.....	77
4.2	PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	78
5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	81
6	ANEXOS.....	89
6.1	Patins KWVE20-B.....	89
6.2	Alimentação e corte	91
6.3	Rotação axial	93
6.4	Dobrador	95
6.5	Recolha.....	97
6.6	Peças extra para a estrutura	99
6.7	Gabinete elétrico.....	101
6.8	Lista de peças do sistema elétrico.....	103

INTRODUÇÃO

- 1.1 Contextualização
- 1.2 Objetivos
- 1.3 Metodologia
- 1.4 Organização do relatório

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A indústria de componentes para automóveis encontra-se constantemente pressionada com a necessidade de cumprir prazos apertados, sem que isso tenha implicações na qualidade do produto final. Esta pressão faz com que o grau de automatização das empresas que atuam nesta área seja muito elevado, pois este é uma das poucas, ou até mesmo única, forma de conseguir aumentar a produção sem reduzir a qualidade da produção. Devido ao facto de o custo de mão-de-obra não qualificada em Portugal ser baixo, é comum que alguns processos tenham um baixo grau de automação, mas isso faz com que seja mais difícil garantir a qualidade do produto.

A nível nacional, a visão das empresas ainda é de curta duração. Por este motivo, estas normalmente não veem a automação como um investimento interessante devido aos elevados valores que são necessários a curto prazo e ao retorno de longo prazo. No entanto, empresas maiores, normalmente multinacionais, já têm uma maior capacidade de olhar para o investimento como uma necessidade a longo prazo, podendo assim prever com rigor qual o período necessário para que haja o retorno do investimento inicial.

Tendo em conta o quadro atual da indústria automóvel, aparece a necessidade de substituir equipamentos que já não têm a capacidade de garantir a produtividade e eficiência necessária para que as empresas continuem a ser competitivas. Por este motivo, apareceu a necessidade da realização de um trabalho para o desenvolvimento de uma máquina capaz de desbobinar, cortar e dobrar arame, que permita a substituição da que é utilizada atualmente.

O equipamento que é utilizado atualmente tem como um dos seus maiores problemas o facto não conseguir desbobinar, endireitar e cortar o arame que necessita para a produção. Por esse motivo, atualmente são necessárias duas máquinas, uma para dobrar e a segunda para realizar as outras atividades, além de ser necessário um operador para fazer o transporte dos arames cortados entre máquinas.

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é a realização do projeto mecânico de um equipamento capaz de substituir ambos os equipamentos utilizados atualmente, assim o equipamento além de dobrar tem de ter a capacidade de desbobinar, endireitar e cortar o arame.

Para além deste objetivo, é necessário também que o equipamento seja capaz de produzir com a mesma cadência do equipamento que é atualmente utilizado, mas com uma maior eficiência energética. Outra necessidade é a garantia da segurança para o operador que tiver de fazer alguma manipulação da mesma. Os níveis de qualidade das peças tem de cumprir os padrões requeridos e a fiabilidade tem de ser elevada. Após a produção dos arames, o equipamento tem de conseguir armazená-los.

1.3 Metodologia

A elaboração do presente trabalho seguiu a metodologia que seguidamente se descreve:

- Estudo do equipamento utilizado atualmente;
- Revisão bibliográfica sobre os assuntos envolvidos neste trabalho;
- Estudo de possíveis soluções para a produção dos arames;
- Divisão do trabalho em subconjuntos;
- Escolha das melhores soluções para cada subconjunto necessário;
- Desenvolvimento das soluções escolhidas.

1.4 Organização do relatório

O presente relatório encontra-se dividido em quatro capítulos, que são descritos de seguida:

Introdução - é feito um enquadramento geral do projeto, permitindo ao leitor conhecer os objetivos definidos para o desenvolvimento do projeto. A metodologia adotada também é descrita neste capítulo.

Revisão bibliográfica - é feita uma contextualização teórica dos conceitos fundamentais da dissertação. Tais como a otimização e automatização de processos de produção e novas formas de produção.

Desenvolvimento – capítulo que contém o trabalho realizado para conseguir cumprir os objetivos. Apresentando para isso todas as ideias que têm como objetivo solucionar o problema apresentado, sendo estas ideias complementadas com uma análise crítica. Durante o desenvolvimento, dividiu-se o projeto em subconjuntos de menores,

desenvolvendo cada um de forma individual. Neste capítulo, também foram realizados os dimensionamentos das peças normalizadas.

Conclusão - é apresentada a análise final de todo o trabalho desenvolvido e são apresentadas as principais conclusões do projeto.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- 2.1 Indústria automóvel
- 2.2 Fabrico de cabos para a indústria automóvel
- 2.3 Automatização de sistemas de produção e montagem

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Indústria automóvel

A indústria automóvel está presente diariamente na vida de todos os portugueses. Esta afirmação pode ser confirmada recorrendo aos dados da Pordata [1], que dizem que no ano de 2017, a cada mil habitantes, existiam 491,2 carros, e que na europa esta proporção era ainda é maior. Com estes dados é impossível negar o impacto que esta indústria tem. Porém, atualmente esta indústria encontra-se num ponto de saturação na europa, pois o número de vendas de carros novos na europa está a contrair, como se pode ver na Figura 1. Além disso, a capacidade de produção excede significativamente a procura atual. O estado do mercado atual está a criar a necessidade de que fornecedores e construtores se restructurem [2].

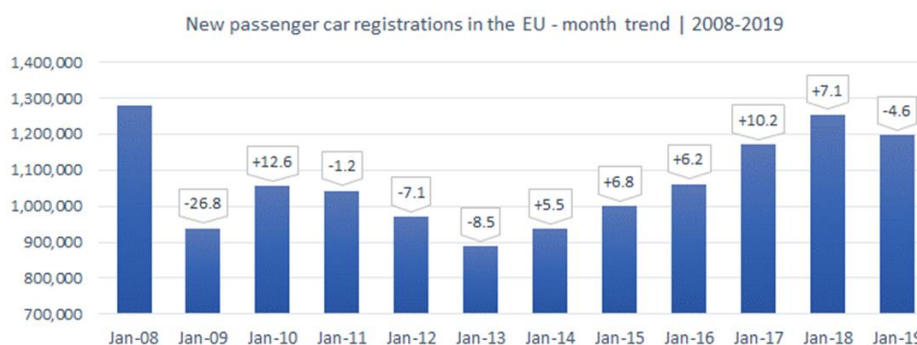


Figura 1 - Carros de passageiros novos registados na União Europeia [3]

Em Portugal, a indústria automóvel tem uma elevada importância económica. Segundo um estudo da Mobinov [3] as receitas geradas por este setor representam 5,6% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional, 20% das exportações de bens transacionáveis, 27% dos empregos gerados na indústria transformadora no entre 2013 e 2018.

Com a saturação do mercado europeu, e com a elevada importância que este setor tem para a economia nacional, várias são as empresas que tem vindo a se reestruturar para manter a sua competitividade.

Uma forma muito eficiente de aumentar a competitividade de uma empresa é a automatização dos processos que têm baixo valor acrescentado. Um exemplo de processo de baixo valor acrescentado, é a alimentação manual de uma máquina de dobragem, com arame endireitado e cortado previamente por uma outra máquina. Outra forma de aumentar a competitividade é conseguindo garantir a qualidade de

todos os produtos produzidos, através de aplicação de normas e da padronização de processos [4].

2.1.1 Requisitos de qualidade

Os requisitos de qualidade nesta indústria são bastante grandes, e as marcas, para garantirem a qualidade, começaram por criar as suas próprias referências normativas. No entanto, estas referências não eram reconhecidas mutuamente, o que fazia com que empresas de componentes precisassem de múltiplas certificações internacionais, dependendo do mercado em que estas estivessem inseridas. Exemplo de algumas referências normativas são: AVSQ (Itália), EAQF (França), VDA 6.1 (Alemanha) e QS-9000 (EUA). Com o objetivo de simplificar a normalização dos fornecedores internacionais, em 1995 deu-se início ao esforço de criação de um modelo normativo que fosse reconhecido pelos diferentes fabricantes automóveis [5].

Este esforço foi realizado pela *International Automotive Task Force* (IATF) criando, em 1999, a Especificação Técnica ISO/TS 16949, que foi submetida para aprovação e publicação. A IATF é a representante de um grupo internacional de fabricantes de veículos automóveis conhecidos e respetivas associações [5].

A norma criada pela IATF tem como base a norma ISO 9001:1994, estabelecendo os requisitos do sistema de qualidade para as empresas da indústria automóvel. Os requisitos funcionam como guiões para a conceção e desenvolvimento, produção e fornecimento do serviço às atividades de medição, monitorização, competência, consciencialização, formação de colaboradores, análise e melhoria. Em 2002, a IATF, após a revisão da norma ISO 9001, fez adaptações à norma ISO/TS 16949:2002 [5].

A certificação desta norma em Portugal pode ser obtida através da APCER [6], que trabalhando em conjunto com a rede de organismos certificadores, IQNet, potenciam a partilha de experiência e o suporte do processo de auditoria aos sistemas de gestão de qualidade. Esta certificação leva a que a indústria de fornecimento de componentes para automóveis esteja submetida a pressões de várias ordens [5].

2.1.2 Requisitos de competitividade

A estratégia competitiva deve crescer através do conhecimento sofisticado da indústria e de como ela mudará ao longo do tempo. Segundo Porter [7] em qualquer indústria, doméstica ou internacional, a competitividade está assente em cinco pilares (Figura 2), sendo estes a entrada de novos concorrentes, produtos ou serviços substitutos, o poder de negociação dos fornecedores, o poder de negociação dos compradores e, por último, a rivalidade entre os concorrentes existentes.



Figura 2 - Os cinco pilares da competitividade de Porter [8]

Estes cinco pilares podem ter forças diferentes dependendo do setor industrial, sendo que a força de cada um vai determinar a rentabilidade a longo prazo da indústria. A pressão existente em cada um dos pilares vai determinar o quão fácil pode ser ter lucro no ramo em que atua. Na indústria automóvel, a pressão existente em cada um dos pilares é elevada, o que faz com que poucas sejam as empresas que conseguem ter lucros muito elevados [7].

Cada um dos pilares tem a sua forma de fazer diminuir a margem de lucro de uma empresa. A entrada de novos concorrentes no mercado leva à diminuição do potencial de lucro, pois isto significa a entrada de novas capacidades e a divisão do mercado existente, fazendo com as margens de lucro baixem. Compradores e fornecedores com poder de negociação vão querer ficar com parte dos lucros para eles, fazendo com que o produto seja vendido mais barato, no caso dos compradores, ou fazendo com que a margem de lucro da empresa seja menor, no caso dos fornecedores. A rivalidade feroz leva à diminuição dos lucros, pois esta conduz ao aumento dos custos da concorrência (anúncios, promoções, pesquisa e desenvolvimento). A rivalidade também faz com que parte do lucro seja passado para os clientes, ou seja, pela redução de preços. A existência de produtos de substituição próximos também leva a uma diminuição do lucro através da diminuição dos preços [7].

2.1.3 Paradigmas de produção

A indústria 4.0 apresenta-se atualmente como sendo um novo paradigma tecnológico, que traz consigo uma estratégia, que implica a aplicação de processos mais flexíveis e especializados. Este termo foi proposto pelo governo alemão, fazendo parte de um

plano de ação estratégica de alta tecnologia, para identificar a quarta revolução industrial.

A indústria 4.0 pode ser definida como a transformação de toda a produção industrial através da fusão da *internet* e das tecnologias de comunicação e informação com os processos de produção tradicionais (conceito conhecido como *Internet of Things* ou IOT) [9]. Na Europa, vários países desenvolveram políticas financeiras para ajudar as iniciativas de implementação da indústria 4.0. Por exemplo, na Alemanha foi criada, em 2010, uma plataforma, com mil milhões de euros para projetos privados e centros de pesquisa para atribuir benefícios para investimentos em *start-ups* de tecnologia.

O objetivo de todas as iniciativas governamentais associadas à indústria 4.0, é o desenvolvimento de uma nova geração de fábricas inteligentes fundamentadas na digitalização dos processos. As fábricas inteligentes na era 4.0 distinguem-se pelo aumento da flexibilidade da produção e pelas máquinas reconfiguráveis em tempo real, o que permitirá a produção de pequenos lotes únicos [9].

Este novo conceito de indústria vem associado a algumas tecnologias que anteriormente não eram utilizadas na indústria tradicional (Figura 3).

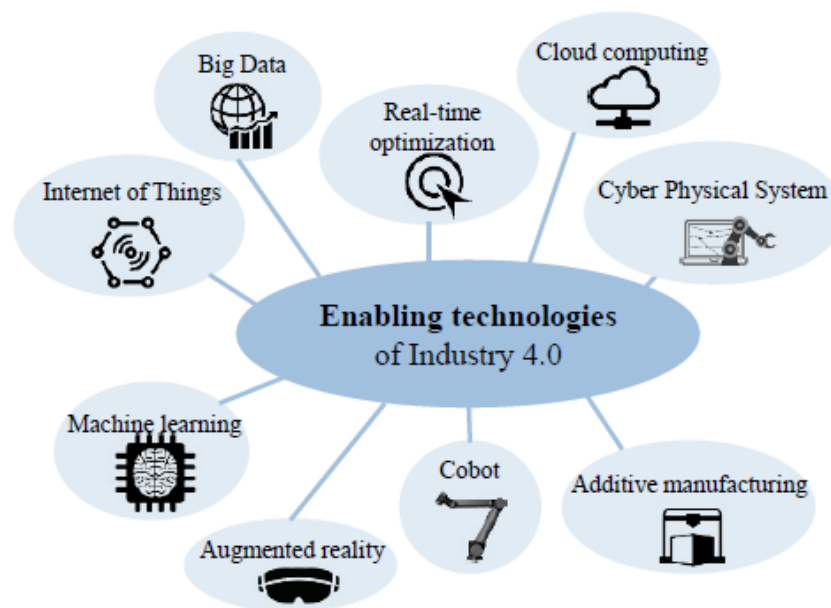


Figura 3 - Tecnologias associadas à indústria 4.0 [9]

A internet das coisas (*internet of things*) é uma rede mundial de objetos interconectados, endereçáveis exclusivamente, com base em protocolos de comunicação padrão. Esta definição sugere a presença de vários objetos ou máquinas capazes de cooperarem e interagirem com um único propósito. Esta interação vai gerar uma grande quantidade de informação de diferentes tipos, e o conjunto de toda a informação é chamado de *Big Data*. A informação recolhida tem de ser analisada oportunamente, tornando os sistemas de decisão em tempo real interessantes e necessários nesta nova indústria [9].

Para fazer a análise da enorme base de dados e guardar toda a informação, é necessária uma rede de computadores que forneça os recursos necessários a partir do acesso remoto pelos utilizadores. O sistema em rede com capacidade de obtenção de dados em tempo real é chamado de *Cyber Physical System*, e é utilizado para fazer a ligação entre a parte física e a parte computacional. O *machine learning* é uma forma de tirar proveito de todos os dados que são gerados pois, através da aplicação de algoritmos de inteligência artificial (IA), a máquina é capaz de aprender, permitindo assim que esta faça previsões tendo como base resultados de decisões anteriores, com isto as decisões autónomas ficam cada vez mais assertivas [9].

Com todo o *software* analisado, existem três categorias de *hardware* que aparecem como facilitadores da indústria 4.0. O primeiro deles são os *cobots*, robôs colaborativos que representam uma nova geração de robôs, e que conseguem cooperar ativamente com os trabalhadores. Em seguida aparece a realidade virtual, que permite melhorar o ambiente circundante de um ser humano através de objetos virtuais. Quando esta tecnologia é operada em tempo real, permite que as pessoas interajam com objetos reais e virtuais que podem ser alinhados e referenciados entre si. Por último, aparece a manufatura aditiva, que permite a criação de objetos tridimensionais através do empilhamento de camada de material. Esta tecnologia permite o fabrico de formas complexas sem a utilização de ferramentas de corte, diminui os desperdícios, além de promover a produção de bens personalizados [10].



Figura 4 - Yoyo, carro elétrico impresso [11]

Atualmente, a manufatura aditiva está a tornar-se uma tecnologia acessível, sendo já possível que qualquer pessoa tenha uma impressora 3D em casa. Com este avanço começaram a aparecer empresas que apresentavam soluções diferentes, podendo parecer por vezes inusitadas. Na Figura 4 é possível ver um carro que foi impresso. Este

projeto começou a ser desenvolvido em 2018, e o objetivo era criar um carro elétrico “low cost”. Atualmente este encontrasse numa plataforma de crowdfunding para arrecadar dinheiro para começar a produção deste veículo [11].

A aplicação deste conceito tem impacto na inovação tecnológica, o que tem como consequência o aumento da competitividade. Apesar disso, a simples aplicação de uma nova tecnologia não traz consigo uma melhoria da competitividade. As empresas que adotarem este conceito devem ter capacidade de formular novas estratégias industriais.

Em Portugal, a capacidade de inovação tem tido uma evolução positiva. No entanto, o compromisso entre o presente e o futuro ainda não é o desejado, pois o foco do esforço da inovação ainda está direcionado no melhoramento dos processos e produtos, em vez de ter como foco na antecipação da dinâmica do mercado futuro. Para que isto aconteça é preciso criar uma cultura de colaboração entre empresas e criar uma maior aproximação entre o sistema científico e tecnológico com o tecido empresarial. Isto são algumas das ideias que pode tirar da entrevista de Jorge Portugal, diretor-geral da COTEC Portugal para a ItInsight [12].

2.2 Fabrico de cabos para a indústria automóvel

2.2.1 Contextualização dos cabos no automóvel

Num automóvel existem várias categorias de cabos espalhados por todo o veículo. Estes aparecem em sistemas de segurança, como por exemplo, no sistema de travagem e sistemas de conforto, como por exemplo na estrutura metálica dos bancos do carro. Isto acontece devido à grande versatilidade e variedade de cabos que existem. Os diferentes cabos de comando existentes num carro podem ser encontrados nas zonas assinaladas na Figura 5.



Figura 5 - Cabos de comando existentes num veículo automóvel [13]

Além dos cabos mostrados na Figura 5, existem ainda os arames utilizados na estrutura metálica dos bancos, que têm outra função, enquanto os cabos anteriormente referidos são utilizados para fazer a interação entre a parte que o utilizador tem acesso, com o mecanismo que realiza o que o utilizador deseja. Já os arames utilizados nos bancos, que são o foco deste estudo, têm uma função estrutural, e permitem a sustentação do utilizador no banco. Estes cabos podem ser encontrados tanto no acento, como no encosto das costas, isto pode ser visto na Figura 6.



Figura 6 - Estrutura do banco [14]

2.2.2 Funções e requisitos dos cabos metálicos

Os arames utilizados nos bancos têm como principal função a garantia da flexibilidade do banco, com o objetivo de obter de um nível de conforto apropriado para o condutor. Por outro lado, os cabos que se encontram conectados com o pedal do acelerador têm como principal função acionar sistema de admissão de combustível do motor, ou seja, quando se pressiona o pedal, o cabo vai transmitir esse movimento para a borboleta de admissão do sistema motriz, abrindo-a, permitindo a entrada de combustível para o motor. Estas são apenas algumas das funções que os cabos têm no automóvel.

Mesmo existindo uma grande variedade de cabos e com funcionalidades diferentes, os seus requisitos são em todos os casos bastante semelhantes. Os requisitos são os seguintes:

- Resistência elevada para suportar todos os esforços a que estejam sujeitos;
- O tubo onde circula o cabo metálico deverá estar bem lubricado, para que atrito existente seja o mínimo possível, na circulação do cabo (não se aplica aos dos bancos);
- A zona de fixação do cabo deve cumprir uma série de testes definidos pelo cliente;
- A resistência à fadiga deve ser elevada, uma vez que estes realizam trabalhos cíclicos.

2.2.3 Requisitos de qualidade

As cargas aplicadas a este tipo de arame são cíclicas e, como tal estes necessitam de uma resistência à fadiga elevada, pois estes componentes sofrem com a aplicação de inúmeras cargas cíclicas ao longo da vida útil. A estrutura criada pelos arames é a responsável por manter a integridade do banco. Porém, os pontos de ligação destes com a estrutura do banco vão ser pontos de concentração de tensões. Por este motivo, estes também vão necessitar de uma elevada resistência mecânica.

Além disto, também é necessário garantir a leveza do banco, sendo este um requisito transversal a todos os géneros de veículos. Esta exigência aparece devido ao facto de que peso excessivo leva a uma diminuição da relação peso/potência, levando assim a um maior consumo e a uma menor eficiência do veículo como um todo. Apesar de ter de cumprir todas estas exigências, ainda é necessário que também exista um compromisso nas formas utilizadas nos arames, pois estes necessitam de ser produzidos em quantidades muito elevadas e para isso, é necessário que seja possível automatizar o processo de produção dos mesmos, sem que como isso se perca a tolerância geométrica necessária para realizar a ligação destes com a estrutura.

2.2.4 Produção de cabos metálicos

Como já foi referido anteriormente, os arames que serão foco deste estudo são os dos bancos. Estes são compostos por aço revestido com plástico e tem um diâmetro total de 1,8 mm. Este arame é obtido por conformação plástica. Este método de produção está a expandir-se por todo o mundo, pois este processo permite uma elevada flexibilidade e um alto nível de qualidade. Devido a estas qualidades, o processo tem-se tornado indispensável para a produção de elementos para várias indústrias, tais como componentes automóveis, eletrodomésticos, mobiliário de interior e de exterior, equipamentos para lojas e supermercados, entre outros [15].

As máquinas de conformação de arame conseguem operar em múltiplos eixos, permitindo desta forma conformar arames tanto em duas dimensões como em três dimensões, sendo que máquinas mais complexas podem ter capacidade de operar simultaneamente em múltiplos eixos.

Durante a produção dos arames, é necessário alimentar a conformadora, necessitando para isso de sistemas de alimentação. A alimentação pode ser feita de múltiplas formas, ou com o arame cortado e endireitado previamente ou diretamente das bobines. Em sistemas em que o arame vem previamente cortado, este é dispensado e posicionado automaticamente para posteriormente fazer a conformação. Para a alimentação feita diretamente pela bobine, existem dois modos de atuação, e em ambos é necessário começar pelo endireitamento, seguido de cortar e conformar, ou conformar e depois cortar. Apesar da diferença geralmente consegue-se obter as mesmas peças.

A parte da dobragem (Figura 7) é feita sempre recorrendo ao mesmo princípio, segundo o qual se aplica uma força numa extremidade do arame, provocando uma deformação plástica no arame, fazendo com que o mesmo fique com a forma da matriz contra o qual está a ser comprimido, ou seja, a matriz vai dar o raio de encurvadura final do arame [16].



Figura 7 - Cabeçote de dobragem de arame com três eixos [16]

2.2.5 Equipamentos disponíveis no mercado

Como dito anteriormente, para a realização da conformação de arames são utilizadas máquinas capazes de operar em múltiplos eixos. Desta forma é possível produzir arames conformados bidimensionais e tridimensionais.

Estas máquinas são constituídas por quatro grupos funcionais diferentes. Um destes grupos são os cabeçotes, que são os responsáveis pela conformação do arame. Outro grupo é o sistema de alimentação que, como o nome diz, alimenta a máquina, fornecendo o arame para que este possa ser conformado. Para que seja possível fazer a alimentação com arame direito, é necessário um sistema de endireitamento do mesmo, sendo este o terceiro grupo. O quarto grupo é o desbobinador, que permite desenrolar o arame que é fornecido em bobines.

O cabeçote das máquinas de conformação de arame pode ser mudado, dependendo do formato final que se pretende obter, dando assim uma maior flexibilidade a produção, assim como uma maior variedade de formatos que se pode obter. Como se pode ver na Figura 8.



Figura 8 - Máquina de conformação de arame com cabeçote duplo [17]

Existem duas formas diferentes de fazer a alimentação: a alimentação elétrica, feita recorrendo a servomotores, e a pneumática. Na Figura 9 pode-se observar um sistema de alimentação e endireitamento juntamente com sistema para endireitar.



Figura 9 - Sistema de endireitamento e alimentação de arame [18]

Existem quatro formas diferentes de fazer o endireitamento do arame no mercado. O modelo mais utilizado é o que recorre a dois planos, e é adequado para arames com baixa tensão de cedência. Existe ainda outra forma que recorre a múltiplos planos para fazer o endireitamento, utilizando para isso quatro planos, este modelo pode ser visto na Figura 10. Este sistema é adequado para materiais com tensões de tração elevadas e quando o endireitamento é crítico [19]. Quando o arame tem uma forma diferente, é

utilizado um modelo de endireitamento que aplica força de forma uniforme em todo o arame, permitindo desta forma endireitar arame em “D”, oval, quadrado, triangular e retangular. Existe ainda o modelo rotacional, que endireita o arame através da rotação de elementos à volta do mesmo [20]. Este modelo pode ser visto na Figura 11.

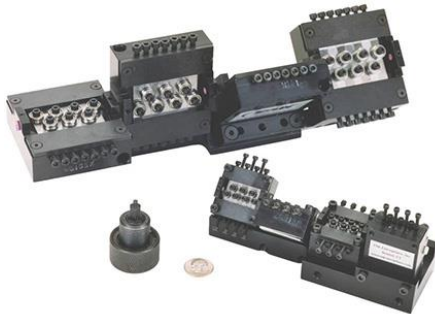


Figura 10 - Modelos de endireitamento de arame com planos [19]



Figura 11 - Modelo de endireitamento de arame por rotação [20]

Os sistemas para desbobinar existentes nos conformadores, têm como função alojar as bobines de arame, necessárias para a alimentação da máquina. À medida que o sistema de alimentação puxa o arame, a bobine vai sendo desbobinada. Estes sistemas podem ser simples ou motorizados, a escolha de qual deve ser aplicado na máquina depende essencialmente da massa da bobine. Na Figura 12 é possível ver um desbobinador motorizado.



Figura 12 - Desbobinador motorizado [21]

Com o passar dos anos, a automatização deste tipo de máquinas foi aumentando. Atualmente, estas já se encontram completamente automatizadas, assim para que a flexibilidade destas seja ainda maior, as máquinas passaram a ter uma interface (ecrã

digital), como se pode ver na Figura 13, este ecrã permite programar novas geometrias diretamente na máquina.



Figura 13 - Interface para programação [22]

Como dito anteriormente, com os conformadores de arame podem-se obter arames bidimensionais e tridimensionais. Para conseguir produzir estas duas formas de arame, existem dois tipos de máquinas: as que conseguem rodar em torno do eixo do arame, permitindo produzir os arames tridimensionais, e os que não conseguem rodar, produzindo os bidimensionais. Na Figura 14 e na Figura 15 é possível ver uma dobradora bidimensional e tridimensional, respetivamente.

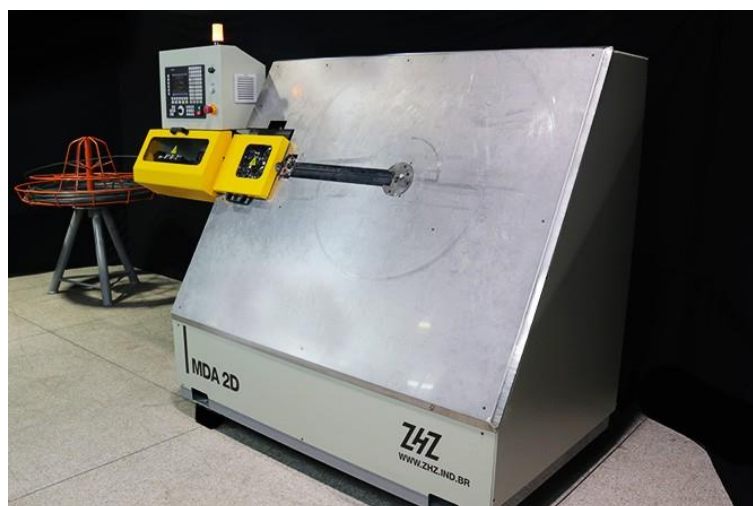


Figura 14 - Dobradora bidimensional de arame [18]



Figura 15 - Dobradora tridimensional de arame [22]

2.2.6 Estado da arte no projeto de cabos metálicos

A produção de arames dobrados é um tema que tem muito pouca informação disponível para estudo. Por esse motivo optou-se por fazer um estado da arte, como se pode ver na Tabela 1, mais abrangente, não estudando apenas o processo em si, mas também fazendo uma análise de trabalhos realizados para a otimização de processos que se possam assemelhar de alguma forma, com o abordado neste trabalho.

Tabela 1 - Estado da Arte

Referências bibliográficas	Descrição do Trabalho
<p>Establishing standard methodologies to improve the production rate of assembly lines used for low added-value products [23]</p>	<p>Este estudo procurou melhorar o processo de montagem de arames de assentos. Para cumprir esse objetivo foi realizada uma análise dos tempos de produção, com o objetivo de identificar os tempos de não produção, para que se pudesse fazer a eliminação destes, e permitindo assim uma otimização. Com este estudo conseguiu-se aumentar a produção em 43% na linha de montagem. Com isto a taxa de ocupação foi reduzida em 30%, possibilitando assim a eliminação de um segundo turno e a diminuição do primeiro turno em 17%.</p>

A novel concept of bent wires sorting operation between workstations in the production of automotive parts [24]

Este trabalho, teve como principal objetivo o desenvolvimento de um sistema capaz de recolher de forma organizada os arames dobrados, sem a redução da produtividade do equipamento que fazia a dobra. Para isso foi utilizado um recipiente em v, que fazia a recolha destes e o transporte até ao tapete que leva os arames para o armazenamento final, arrumando-os de forma organizada automaticamente. Concluiu-se que para cumprir o objetivo era necessária uma solução composta por três subsistemas. Esta solução permitiu a redução do ciclo de produção em cerca de 1,5 s.

The new TSS bending process: 3D bending of profiles with arbitrary cross-sections [25]

Este trabalho teve como principal objetivo estudar um novo sistema de dobra de tridimensional, chamado de torque sobreposto espacial (*Torque Superposed Spatial*). Este sistema permite uma maior flexibilidade e eficiência, principalmente na produção de pequenos lotes. Este sistema tem a capacidade fazer dobra com elevada precisão, pois é possível compensar o retorno elástico, além de também permitir a dobra de perfis assimétricos.

Improving the quality and productivity of steel wire-
rope assembly lines for
the automotive industry
[26]

Neste trabalho, o principal objetivo era a otimização do processo de produção de uma linha de montagem de cabos para as portas de um carro. Esta otimização vem da necessidade de aumentar a produção para poder satisfazer o aumento da demanda. Pode-se concluir que o principal objetivo deste trabalho cumprido, para isso passou-se por duas fases. A primeira começou por atualizar o equipamento, a segunda passou pela redução de desperdícios. Na primeira fase o aumento da produção foi de quase 24%, já a segunda permitiu aumentar a produção em 14%. Estas melhorias representam em um aumento de produção de 41%.

Closed loop control of
the 3D bending process
[27]

Neste trabalho, é estudado o processo de endireitamento do arame antes da dobra final, sendo aplicável a qualquer aplicação. Este estudo aparece devido ao facto de as propriedades mecânicas do arame terem influência na estabilidade estrutural do produto obtido através da dobragem tridimensional. Assim, para que se possa ter uma melhor estabilidade, foi estudada qual a tensão nos rolos para que a estabilidade seja melhorada. Foi possível verificar que, após o cálculo da tensão apropriada, a estabilidade e retidão do arame eram melhoradas, podendo assim garantir uma melhor qualidade do produto. Esta verificação foi obtida através de um segundo ensaio com a tensão dos rolos calculados previamente.

2.3 Automatização de sistemas de produção e montagem

O ser humano desde sempre que se preocupa em poupar energia durante as suas atividades diárias. A muito tempo o ser humano mostra a sua criatividade, através da criação da roda e a utilização da força animal para se poupar da fadiga. Com o tempo, novas formas de energia foram aparecendo, substituindo as antigas de forma total ou parcial. No entanto, só no século XVIII, durante a Revolução Industrial é que a automação ganhou alguma notoriedade, através de processos semiautomáticos [28].

Atualmente ouve-se falar com frequência sobre automatização. Esta palavra tem origem do latim, e significa mover-se de forma autónoma. Mesmo o significado simples consegue definir com precisão o que a automação pretende ser. Resumidamente, automação é a aplicação de procedimentos mecânicos ou computadorizados, tendo como meta tornar o processo mais eficiente, aumentar a produtividade, reduzir o gasto de energia, aumentar a segurança e facilitar a monitorização do processo, tornando-o autónomo. No contexto em causa, quando se fala na redução do gasto de energia, entende-se este como sendo os gastos associados aos trabalhadores especializados em atividades que acrescentam pouco valor ao produto final, o tempo gasto para a produção do mesmo, possíveis desperdícios na produção, entre outros aspetos [29].

No momento atual, praticamente todas as áreas industriais já automatizaram algum processo de produção, apesar de por vezes se pensar em automatização apenas em indústrias mais pesadas, como a indústria automóvel. No entanto isso é uma falácia pois, é possível ver sistemas automatizados na medicina laboratorial, como se pode ver na Figura 16.



Figura 16 - Triagem laboratorial automática [30]

Isto acontece, porque a automatização atualmente pode ser considerado um processo criado à medida, que permite fazer a padronização da qualidade de um produto e a sua repetibilidade ao longo do tempo, podendo assim suprir qualquer necessidade existente independentemente da área industrial a que será aplicada [29].

Com a padronização e a redução da energia necessária para a produção do produto, consegue-se aumentar a competitividade, em mercados com elevado nível competitivo, ou aumentar a margem de lucro caso não exista concorrência com o mesmo nível de automatização. Isto é possível pois, a padronização e a redução da energia necessária permitem reduzir o custo de transformação da matéria base para o produto final [31].

A monitorização feita ao longo do processo permite a criação de um sistema integrado de monitorização remota, transformando a fábrica numa fábrica inteligente. Esta transformação coloca a fábrica dentro da mais recente revolução industrial, a indústria 4.0, que é caracterizada não só pela inteligência da mesma, como também pela facilidade de monitorizar tudo o que está a acontecer, mesmo que à distância.

2.3.1 Soluções baseadas na automação

A palavra “automação” atualmente vem sempre associada a computadores que vieram substituir o trabalho humano, em prol da segurança, da qualidade e da redução de custos. Com as mudanças de requisitos que ocorreram ao longo do tempo, os sistemas de automação tornaram-se cada vez mais complexos, o que levou a um aumento considerável de protocolos usados e da diversidade de implementações que são possíveis fazer, na Figura 17 é possível ver uma implementação pneumática [28].



Figura 17 - Automação pneumática [32]

No entanto, existem características que são comuns à maioria dos sistemas baseados na automação:

- Acionamento: dá ao sistema a energia necessária para atingir o seu objetivo; por exemplo: motores, pistões hidráulicos, entre outros;
- Sensorização: mede o desempenho ou alguma propriedade particular de um componente;
- Controlo: utiliza a informação dos sensores para regular e controlar os dispositivos; por exemplo: aciona motores, válvulas entre outros;
- Comparador: permite comparar valores medidos com valores preestabelecidos, servindo para a tomada de decisão de quando e como atuar, por exemplo: termostato e sistemas de *software*;
- Programas: contêm as informações do processo e permitindo controlar as interações entre os diversos componentes.

O facto de ser possível fazer sistemas à medida levou a que empresas que tinham requisitos de qualidade e prazos de entrega apertados comesçassem a automatizar os processos, pois esta é uma boa solução para os problemas que estavam a encarar. Normalmente as linhas de montagem e embalagem são altamente automatizadas, fazendo com estes sejam o exemplo mais comum quando se fala de automação. Na Figura 18 é possível ver uma linha de montagem, já na Figura 19 é possível ver uma linha de embalagem, podendo ainda se ver que o produto encontra-se em constante movimento, e para isso existem alguns sistemas de transporte que foram criados.



Figura 18 – Linha de montagem [33]



Figura 19 – Linha de embalagem [34]

Existem sistemas de transporte cujo objetivo é fazer a interligação de zonas da fábrica sem que para isso seja necessário a interação humana. Exemplo deste tipo de transporte são os *Automatic Guided Vehicle* (AGV's), como os que se podem ver na Figura 20. Além desta forma de transporte, também existem transportadores cujo objetivo é deslocar o produto ao longo de uma linha de montagem. Estes têm uma grande adaptabilidade pois podem ser projetados em função do formato e da massa do que vão transportar. Os transportadores são essenciais para a realização de soluções baseadas em automação, estes podem ser de tela, rolos (Figura 21), correntes ou de parafuso sem fim.

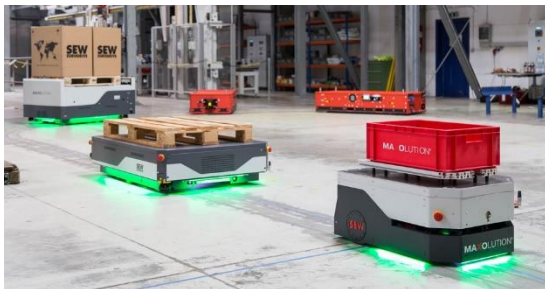


Figura 20 – Sistema de armazenamento de recorre ao uso de AGV's [35]



Figura 21 - Transportadora de rolos [36]

A geometria dos produtos a manipular por vezes representa uma dificuldade no processamento. Com a automação, é possível criar equipamentos feitos à medida, capazes de lidar com a dificuldade de manipulação. Exemplo da capacidade de criar um modelo feito à medida é a indústria farmacêutica, que faz a separação e embalagem de forma automática, mesmo sendo o produto de dimensões reduzidas. Para superar este problema, normalmente são utilizadas mesas vibratórias, que

conseguem fazer a separação e a orientação dos comprimidos, como se pode ver na Figura 22.



Figura 22 - Mesa vibratória [37]



Figura 23 - Sistema de etiquetagem [38]

Um outro processo de produção que também é automatizado na indústria alimentar é o processo de etiquetagem. A automatização deste processo permite o aumento da cadência, assim como também permite a colocação de datas de produção nos produtos na linha. Na Figura 23 pode-se ver um exemplo de um sistema de etiquetagem.

2.3.2 Soluções baseadas na robótica

A indústria transformadora tem vindo a adotar soluções de automação com robôs para aumentar a produção da empresa. Estes robôs são a solução perfeita para aprimorar a automação da produção, pois estes servem como um complemento à força humana na montagem e produção de processos com um elevado grau de repetibilidade, no posicionamento de precisão, com elevado peso e fadiga [39].

Atualmente os robôs não são apenas utilizados na indústria, existindo já várias aplicações para os mesmos. Algumas das aplicações são as seguintes áreas [40]:

- Industrial, em braços robóticos;
- Doméstica, em aspiradores;
- Hospitalar, para ajuda médica;

- Para trabalhos perigosos ou zonas de risco, como, por exemplo para desarmar bombas, entrar em locais radioativos, salvar pessoas em catástrofes, entre outros;
- Para pesquisar o fundo do mar.

Atualmente, na indústria automóvel, a automação através da utilização de robôs é já uma obrigação para que se possa manter a competitividade. Por esse motivo, quando se olha para uma empresa neste ramo o que se observa na grande maioria são robôs. A afirmação anterior pode ser corroborada com a Figura 24 e a Figura 25. No caso da Figura 24 trata-se da linha de montagem da Tesla para o Model 3. Esta linha de

montagem, tinha como objetivo fazer a automatização total do processo de produção, apesar de ter chegado perto em alguns momentos, eles tiveram de retroceder em alguns processos. Isso deveu-se ao facto de alguns processos serem muito complexos para automatizar através de robôs, apesar da execução manual ser simples. Mesmo não tendo conseguido, é possível tomar esta tentativa como um exemplo do que será o futuro da produção automóvel [41].



Figura 24 - Produção do Model 3 [41]



Figura 25 - Produção ID.3 [42]

Este método tem uma grande flexibilidade, e é possível dizer que este é o método que mais se aproxima da automação programável. Esta flexibilidade é resultado do elevado número de eixos que estes robôs têm, permitindo assim que estes realizem processos que anteriormente apenas pessoas eram capazes. Por este motivo, a robotização pode ser vista a realizar diversas tarefas, como se pode ver na Figura 26 e na Figura 27.



Figura 26 - Manipulador de pneus [43]



Figura 27 – Robô de soldadura [44]

Os robôs permitem que as empresas agilizem processos, reduzindo gastos e eliminando postos de trabalho. O robô industrial, aos olhos do sistema de normalização ISO, é um “*manipulador multipropósito controlado automaticamente, reprogramável, programável normalmente em três a seis eixos*”.

Estas formas de automação operam em sistemas de coordenadas distintas, dependendo do que se pretende fazer. Sistemas de coordenadas podem ter vantagens uns sobre os outros. É possível verificar, que existem quatro sistema de coordenadas diferentes. O sistema de coordenadas cartesianas tem três eixos principais,

perpendiculares entre si, em o movimento de cada eixo é linear. Este sistema de coordenadas está presente em impressoras 3D e em sistemas de comando numérico computadorizado (CNC). Na Figura 28 é possível observar um equipamento que utiliza este sistema de coordenadas [45]. Outro sistema é o de coordenadas cilíndricas. Estes combinam movimentos lineares com rotacionais. O sistema de coordenadas referido anteriormente está presente em alguns modelos de garras mecânicas. Na Figura 29 encontra-se um equipamento que utiliza este sistema de coordenadas [46].



Figura 28 - Impressora 3D [47]

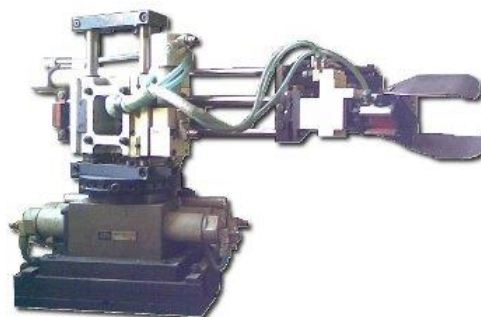


Figura 29 - Braço robótico [48]

Outros sistemas de coordenadas existentes são o polar ou esférico. Os braços mecânicos que utilizam este sistema de coordenadas possuem dois movimentos rotacionais, sendo estes na cintura e no ombro, possuindo ainda um terceiro movimento que é linear e se encontra no braço. Na Figura 30 encontra-se um equipamento que utiliza este sistema de coordenadas [49]. Por fim, existe o sistema de coordenadas de revolução. Este sistema possui juntas e movimentos que se assemelham aos dos braços humanos. Na Figura 31 é possível observar um equipamento que utiliza este sistema de coordenadas [50].

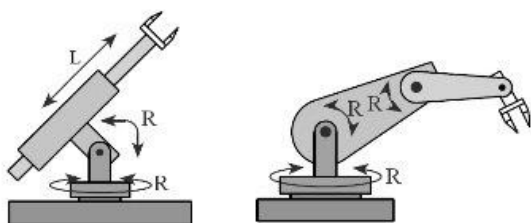


Figura 30 - Sistema de coordenadas polares esquemático [49]



Figura 31 - Braço de coordenadas de revolução [51]

Os movimentos que estes robôs apresentam são obtidos através da aplicação de atuadores, que podem recorrer a tecnologias diferentes para a realização do movimento. Existem os atuadores elétricos, que são os mais atrativos pois apresentam um custo baixo e são silenciosos. Existem também os atuadores hidráulicos,

caracterizados pela elevada precisão, velocidade de resposta elevada e capacidade de suportar cargas elevadas. No entanto estes precisam de equipamento periférico que necessitam de manutenção frequente. Por fim, existem os atuadores pneumáticos, caracterizados pela sua simplicidade e pelo baixo preço, porém a sua precisão é reduzida.

O controlo destes atuadores pode ser feito de formas distintas. Uma é recorrendo a programas de coordenadas com velocidade definida, que trabalham de forma rotineira com elevado grau de precisão. Outra forma é recorrendo a câmaras, que fazem a leitura posicional de objetos. A leitura é processada computacionalmente, e com o resultado deste processamento é calculada a trajetória que o robô deverá recorrer para realizar a atividade. Estes sistemas são muito flexíveis e possibilitam a realização de operações complexas.

2.3.3 Recentes desenvolvimentos na automatização de processos

Nos últimos anos tem-se visto uma grande evolução na capacidade de informação em grandes volumes. Com este avanço começou-se a ouvir falar cada vez mais de IA, ao ponto que atualmente já existe um robô com IA que tem uma cidadania, o seu nome é Sophia (Figura 32-a). A acessibilidade a esta tecnologia está a chegar a um ponto em que o consumidor comum já pode começar a pensar em ter um robô em casa. Por exemplo, a Boston Dynamics já anunciou o seu primeiro produto, o SpotMini (Figura 32-b), que é cão robô com IA. Esta tecnologia permite a resolução de problemas de forma eficiente.

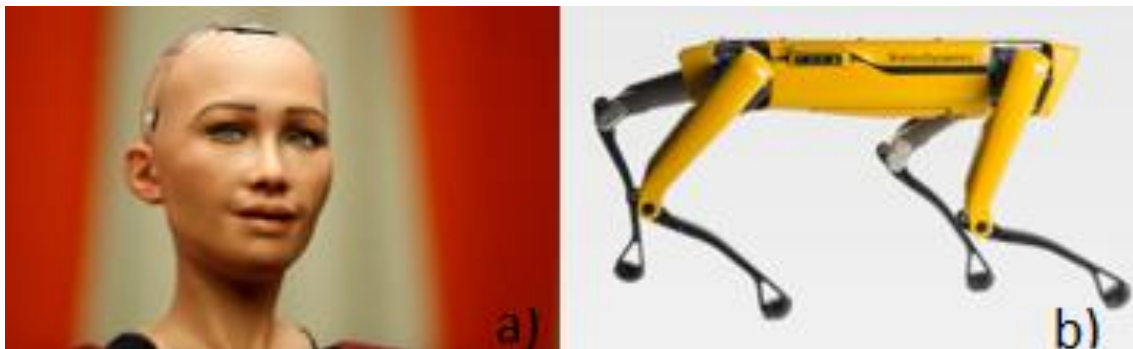


Figura 32 - a) Sophia, primeiro robô a obter uma cidadania [52] b) Spot cão robô com IA [53]

Um problema que a IA pode resolver é a deteção automática de colisões e a adaptação instantânea da trajetória para evitar colisões. Atualmente, a colisão é resolvida através de sensores de força, que forçam a paragem do braço assim que a força predefinida seja aplicada, só voltando a movimentar-se após o desaparecimento desta força. Porém, esta solução não é uma opção para processos frágeis, como por exemplo a embalagem de alimentos, manuseamento de copos, entre outros. Este problema torna-se mais sério quando aparecem pessoas em possíveis cenários de colisão. Na

prática, a força é limitada após detetar contacto para evitar causar danos físicos aos humanos durante o trabalho colaborativo. Porém, mesmo estas forças sendo seguras quando exercidas de forma continuada podem levar a elevados níveis de stress [39].

A criação de caminhos seguros com deteção e prevenção de colisões é um tópico importante de trabalho, que vem sendo tratado por vários pesquisadores. Esses trabalhos levaram ao aparecimento de vários métodos de colaboração sem contacto baseados, por exemplo, em comandos dados por gestos e por voz, numa comunicação direta homem-máquina. O trabalhador deve conseguir prever possíveis cenários de risco antecipadamente. Porém isso leva a um aumento do cansaço do trabalhador, que começa a preocupar-se mais com colisões do que na produção. Este processo permite tirar proveito da força do robô, mas não permite a utilização das capacidades colaborativas do trabalhador [39].

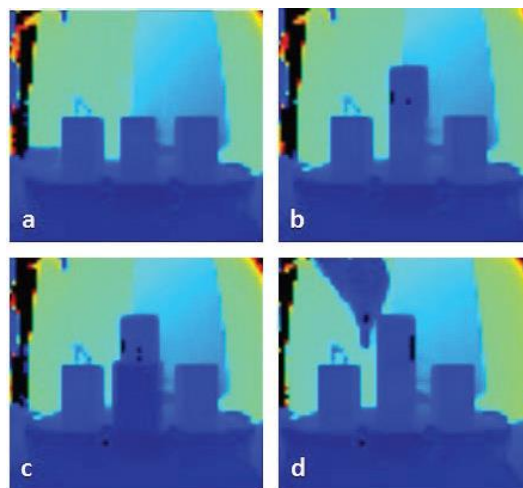


Figura 33 – Matriz de informação de profundidade da cena utilizado no estudo referido [39]

Para que a capacidade colaborativa do trabalhador seja utilizada o robô deve conseguir ver o que o rodeia, e com a análise do que o rodeia este tem de conseguir tomar decisões. Para que o robô tivesse visão, no trabalho [39] foram utilizados sensores de visão 3D. Estes sensores davam ao robô a visão do mundo que o rodeia, faltando a partir desse momento, um sistema que processasse a informação dos sensores e conseguisse detetar colisões em potencial e fornecer uma rápida mudança na trajetória para as evitar, tanto em obstáculos estáticos como em obstáculos em movimento. Para processar a informação de forma a atingir o objetivo, foi utilizada uma matriz, e sempre que existe uma mudança no cenário esta era atualizada, e a trajetória recalculada para que não existam colisões durante a trajetória.

Um outro avanço recente no mundo da automatização são os sistemas que recorrem a utilização de guias lineares. Este género de sistema consiste na aplicação de movimento a partes da máquina que normalmente costumam ser estáticas. Num estudo recente, guias lineares são utilizadas como forma de atribuir movimentação a todo o sistema de manipulação de cabos. O estudo referido veio da necessidade de

aumentar a produtividade um equipamento já existente. A máquina em questão tinha 4,5 m, no entanto só era capaz de manipular cabos em 25 mm. Com estes valores é possível afirmar que apenas 8% de todo o equipamento estava a ser utilizado de forma ativa, pois o restante só servia para fazer o transporte dos cabos até a área de manipulação [54].

Com a implementação de guias lineares juntamente com cilindros permitiu que a zona de manipulação tivesse a capacidade de se deslocar ao longo da máquina, com isso é possível aumentar a área de manipulação de 25 mm para 100 mm, isso significa passar de um aproveitamento de 8% para 34%. Este conceito é extremamente flexível, uma vez que apenas é necessária a aplicação de guias lineares na parte pretendida, juntamente com um cilindro que ficará preso a uma zona imóvel do sistema. Assim, dependendo do sistema podemos colocar cilindro mais curtos ou mais longos, com uma carga admissível maior ou menor, isto tudo dependente apenas do sistema que se quer adaptar o sistema [54].

DESENVOLVIMENTO

- 3.1 Introdução ao trabalho prático desenvolvido
- 3.2 Equipamento inicial
- 3.3 Anteprojeto
- 3.4 Projeto final

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Introdução ao trabalho prático desenvolvido

3.1.1 Caracterização da empresa

A empresa que acolheu este projeto pertence ao grupo Ficosa (Ficosa Intenational, S.A.). Este grupo iniciou em Barcelona, Espanha, no ano de 1949, quando Josep Maria Pujol e Josep Maria Tarragó fundaram a Pujol y Tarragó S.L., uma pequena empresa que produzia cabos mecânicos para o mercado de pós-venda de automóveis. O nome que o grupo tem atualmente é fruto da renomeação que ocorreu em 1987. Atualmente, a empresa é o fornecedor oficial e parceiro tecnológico de muitas empresas produtoras de veículos por todo o mundo. Para isso, a Ficosa conta com centros de produção, centros de engenharia e escritórios comerciais em dezasseis países na Europa, nas Américas, na África e na Ásia (Figura 34).



Figura 34 - Presença global do grupo Ficosa [55]

A internacionalização do grupo começou no ano de 1970, quando se estabelecem no Porto, Portugal. Esta primeira internacionalização tinha como objetivo cobrir e servir toda a Península Ibérica. Em 1993, a Ficosa Portugal passa a ser conhecida como FicoCables.

A empresa apresenta duas áreas de negócios, sendo uma delas designada por Sistemas de portas e assentos e a outra por Sistemas de conforto, ou seja, produz cabos que são utilizados para a transmissão de movimento, e arrames que são utilizados nos sistemas de conforto para dar sustentação e forma aos bancos. Todos estes produtos são

projetados para integrar diferentes soluções, como por exemplo, sistemas de elevação de janelas, travão de mão, sistemas de inclinação de bancos, entre outros.

3.1.2 Objetivos do trabalho prático

O principal objetivo deste trabalho é projetar uma máquina capaz de fazer a dobragem de três modelos de arame diferentes, capaz de substituir a máquina utilizada atualmente que realiza o mesmo trabalho.

O equipamento projetado tem de ter uma maior eficiência energética e retirar a necessidade de uma pessoa para fazer o transporte do arame pré-cortados para a máquina que fará a dobragem. Para isso a máquina, além de dobrar o arame nos diferentes formatos, deve também ser capaz de desbobinar e endireitar o arame, operações que a atual não tem capacidade de realizar. Estes requisitos têm de ser cumpridos mantendo os padrões de qualidade exigidos.

3.1.3 Requisitos iniciais

Os requisitos do equipamento a projetar, são:

- Produzir pelo menos o mesmo com a mesma cadência do equipamento utilizado atualmente (2000 peças por minuto);
- Ser capaz de desbobinar o arame;
- Ser capaz de endireitar o arame;
- Ter uma maior eficiência energética do que a utilizada atualmente;
- Capacidade de armazenar as peças produzidas de forma organizada.

3.2 Equipamento inicial

Na Figura 35 pode-se ver uma imagem do equipamento utilizado atualmente.



Figura 35 - Equipamento inicial

3.2.1 Estudo do equipamento existente

Nas figuras que se seguem (Figura 36 a Figura 39), pretende-se demonstrar os passos que são necessários para a partir do arame pré cortado e endireitado chegar ao arame dobrado. O arame é colocado já cortado no alimentador, que faz o transporte do arame até à pinça do *transfer*. O *transfer* faz o transporte do arame ao longo de todo o equipamento recorrendo a uma pinça, passando em cada estação para fazer a dobragem. Após ter passado por todas as estações, o *transfer* larga o arame na zona de armazenamento.



Figura 36 - Alimentador

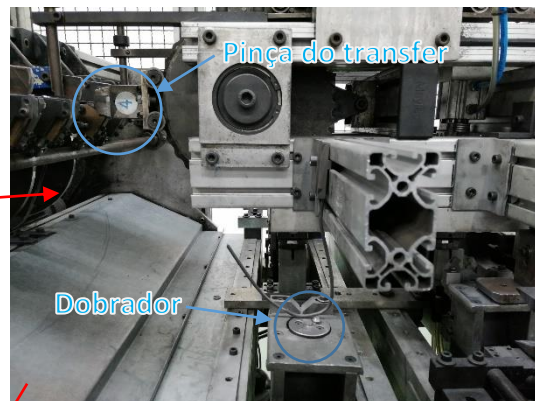


Figura 37 - Transporte do alimentador para o transfer

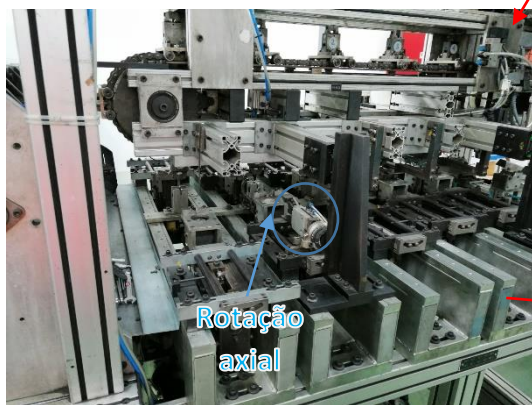


Figura 38 - Todas estações de dobragem

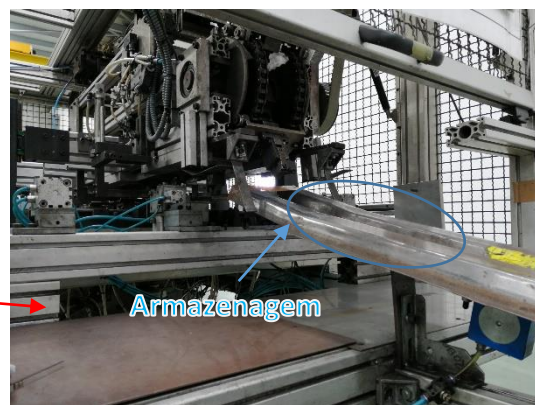


Figura 39 - Armazenagem

O equipamento atual é maioritariamente pneumático, tendo apenas uma parte que é elétrica. A parte elétrica existente na máquina é o *transfer*, que faz a movimentação das pinças que seguram o arame durante a dobragem através de uma corrente. Na Figura 40 é possível ver a referida corrente.



Figura 40 – Transfer

A primeira parte do equipamento é um armazenamento junto da alimentação, pois este não tem a capacidade de cortar o material. Este armazenamento é seguido de um sistema de alimentação, que é capaz de retirar um arame de cada vez, e fazer o transporte deste até ao *transfer*.

Em cada estação tem duas pinças (Figura 41), uma de cada lado da pinça do *transfer*, que garantem o posicionamento do arame durante a dobragem.

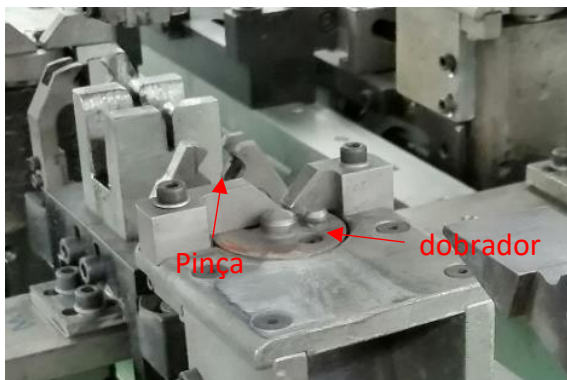


Figura 41 - Pinça de posicionamento e dobrador

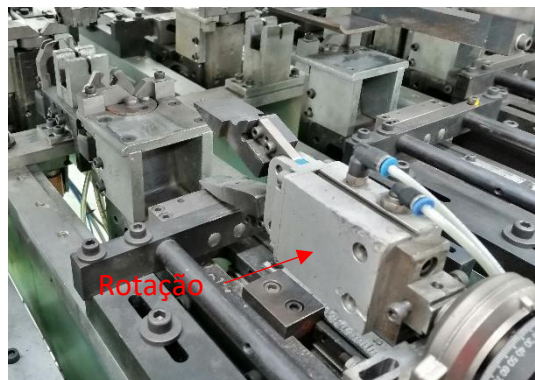


Figura 42 - Sistema de rotação axial

Assim que o arame se encontra corretamente posicionado, na estação, existe um atuador pneumático rotativo que faz a dobragem. De seguida, as pinças de posicionamento abrem e o *transfer* transporta o arame até a estação seguinte.

Para fazer a rotação axial, existe uma pinça acoplada a um atuador rotativo (Figura 42). A pinça agarra a ponta do arame e o atuador rotativo faz a rotação até ao ângulo necessário. Após todas as dobragens feitas, o *transfer* é responsável por transportar o arame ao longo de todo o processo, e de seguida largá-lo na zona de recolha.

3.2.2 Funcionalidades

A alimentação de arame é feita através de um sistema rotativo (Figura 43), enquanto este sistema rotaciona ele consegue “agarrar” um arame utilizando para isso o indentado (Figura 44). Este indentado é um pequeno ressalto na peça que é rotacionada pelo sistema de alimentação que consegue segurar apenas um arame de cada vez.



Figura 43 - Sistema de alimentação



Figura 44 - Indentado

Para fazer a dobragem é utilizado um atuador rotativo (Figura 41), com um cabeçote à medida, e cuja operação proporciona a deformação plástica do material. Já a rotação axial é feita com uma garra angular (Figura 42) acoplada a um atuador rotativo. Todas as etapas de dobragem são feitas da mesma forma, já a rotação axial é realizada apenas nas estações que necessitam.

Por fim, o armazenamento é feito através de um sistema de calhas (Figura 45), nas quais os arames já dobrados escorregam ao longo da calha, onde se acumulam de forma organizada.



Figura 45 - Recolha das peças

3.2.3 Segurança

O equipamento tem uma estrutura que impede o acesso físico às partes móveis da mesma enquanto esta está em funcionamento. Caso seja necessário manipular as partes móveis do equipamento, este encontra-se equipado com um sistema de portas para permitir esse acesso. Estas portas estão equipadas com sensores de segurança e quando estes são ativados todo o equipamento fica parado para evitar acidentes. Além disso, o equipamento ainda tem um botão de emergência. Tudo isto pode ser visto na Figura 46.



Figura 46 - Equipamento de segurança

3.2.4 Cadência

Este equipamento é capaz de produzir três modelos diferentes de arame. Todos os modelos de arame têm a mesma cadência de produção, que é de 2000 peças por minuto. Na Figura 47 pode-se ver um fluxograma de todo o processo de produção.



Figura 47 - Fluxograma da produção do arame

Como é possível ver, o tempo demorado em cada estação para a realização da dobragem é sempre o mesmo. Isto deve-se ao facto de o *transfer* fazer a movimentação de todas as estações em simultâneo. Assim, o processo mais lento (*Bottleneck*) vai fazer com que o tempo em todos os postos seja igual. O posto que limita todo o processo de produção é o primeiro, que faz a dobragem dos ganchos presentes nas extremidades dos arames.

3.3 Anteprojeto

3.3.1 Tempestade de ideias

Refere-se inicialmente que todo o projeto foi desenhado em ambiente Solidworks. A primeira escolha feita no projeto do equipamento foi a divisão do problema em subconjuntos de menor dimensão, a junção destes subconjuntos resulta na solução final.

Para o desbobinador e endireitador, optou-se por utilizar uma solução já existente na empresa, pelo que não foi necessário realizar o projeto destes subconjuntos, todos os restantes subconjuntos serão projetados.

Um dos subconjuntos foi o corte do arame. O corte de arame pode ser feito por abrasão (Figura 48) através de um disco de corte ou com um sistema de guilhotina (Figura 49). No projeto apeteu-se pelo sistema de guilhotina. Este processo foi escolhido pela simplicidade e pelo facto de o material a cortar ter menos de 2 mm.



Figura 48 - Corte por abrasão



Figura 49 - Guilhotina de corte manual

Para fazer a alimentação começou-se por fazer um sistema com apenas duas roldanas, sendo que apenas uma tracionava o arame (Figura 50). No entanto, esta solução apresenta um grave problema decorrente do deslizamento do arame, observado por experiência pratica de problemas anteriores. Para evitar este optou-se por um sistema com quatro roldanas (Figura 51), sendo que todas elas tracionam o arame. Com esta solução evita-se o deslizamento quase na totalidade.

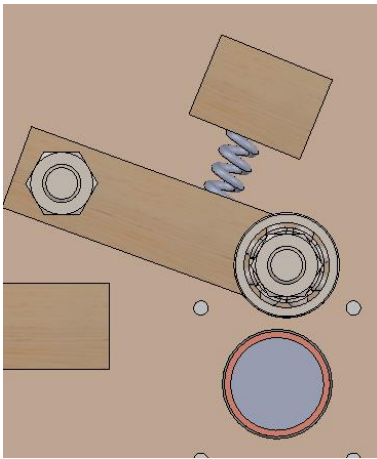


Figura 50 - Alimentação com uma roldana tracionadora

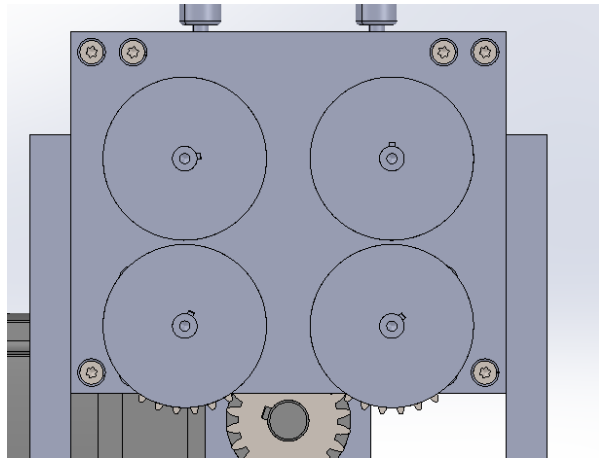


Figura 51 - Alimentação com quatro roldanas tracionadoras

Para fazer o dobramento do arame foram equacionados essencialmente dois métodos, um que recorre à utilização de um sistema deslizante (Figura 52) e outro que opera através de um braço com a capacidade de dobrar o arame (Figura 53). O sistema que foi escolhido foi o deslizante, essa escolha decorreu do facto de este ser mecanicamente mais simples e pelo facto deste permitir dobrar as duas extremidades do arame em simultâneo, coisa que o segundo sistema não é capaz.

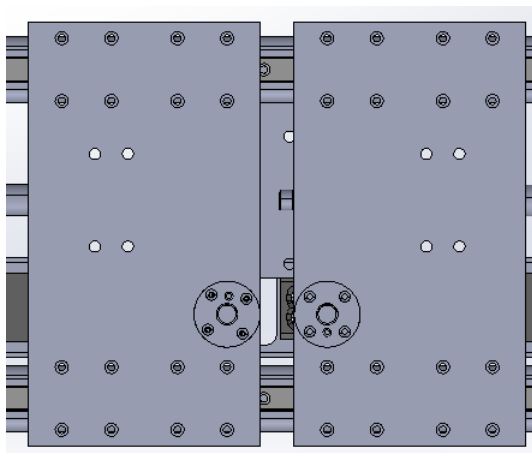


Figura 52 - Dobrador com sistema deslizante

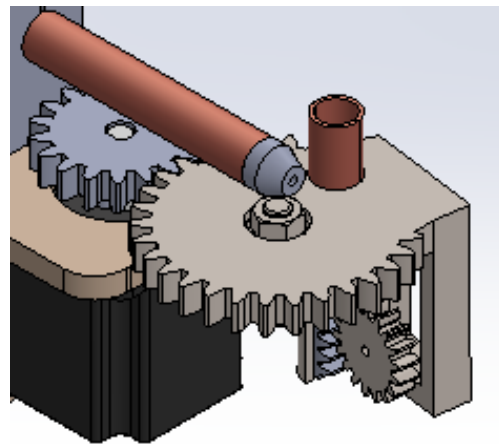


Figura 53 - Dobrador de braço

Para fazer a rotação apenas foi equacionado um método, pois o sistema de dobragem já tinha sido escolhido e não se conseguiu chegar a mais nenhuma solução de fosse compatível com a dobragem. O sistema equacionado foi um que recorre a um carro deslizante que transporta um braço que tem a capacidade de agarrar o arame, este braço está acoplado a um servomotor que fará a rotação axial do braço. Na empresa já existia um sistema semelhante ao escolhido, esse sistema pode ser visto na Figura 54.



Figura 54 - Sistema de rotação axial

Para o sistema de recolha optou-se por um do mesmo género do que tem no equipamento pré-existente. O sistema recorre a calhas pelas quais os arames depois de dobrados deslizam e ficaram armazenados.

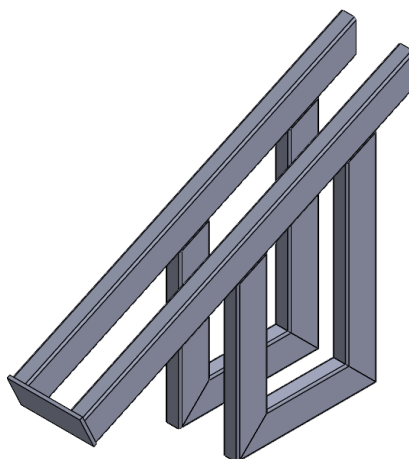


Figura 55 - Sistema de recolha

3.4 Projeto final

3.4.1 Representação geral do sistema

A representação geral do projeto é apresentada na Figura 56. O projeto tem como base o aço S235.

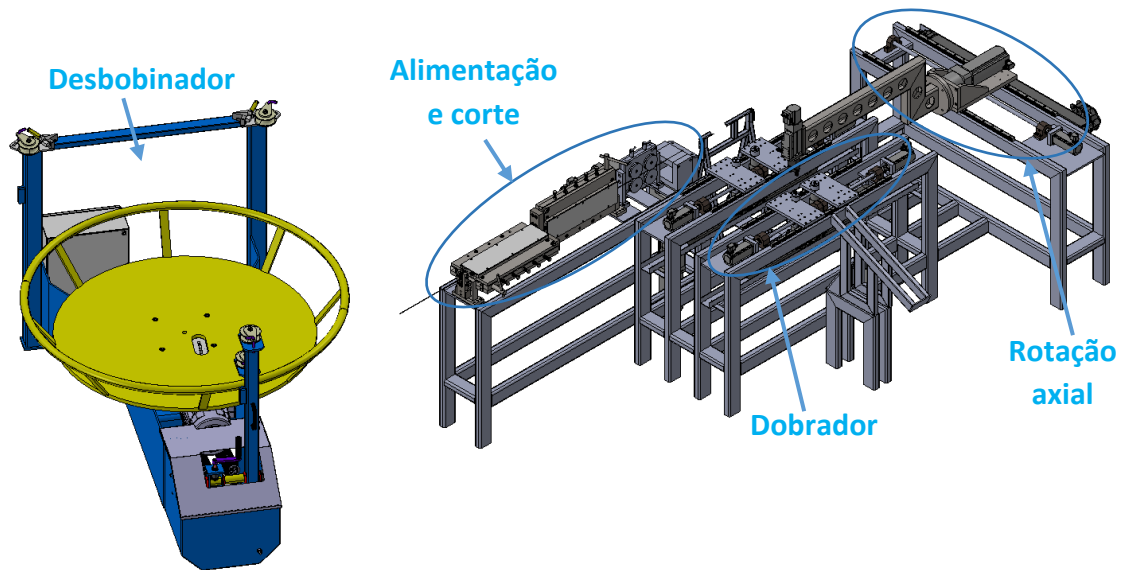


Figura 56 - Conjunto geral

A Figura 57 e a Figura 58 representam duas partes da máquina que são de projetos anteriores da empresa e que foram utilizados neste projeto: o desbobinador e o endireitador, respectivamente. No desbobinador foi necessário adicionar um botão de emergência. Por outro lado, o endireitador foi utilizado sem qualquer tipo de alteração.

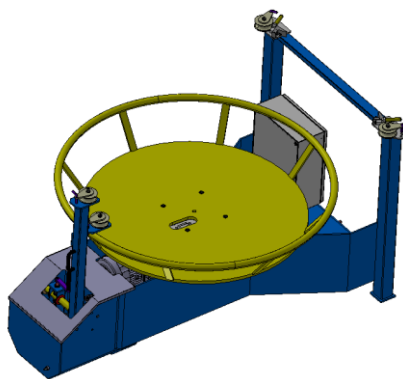


Figura 57 - Desbobinador

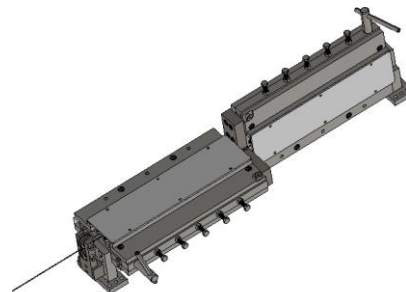


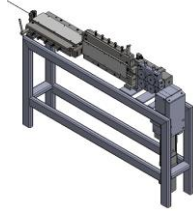



Figura 58 - Endireitador

O desbobinador vai realizar o desenrolar o arame ao mesmo ritmo que o tracionador, traciona o mesmo. O endireitador tem vai endireitar o arame, para isso são utilizados dois planos para que este fique o mais direito possível.

3.4.2 Estrutura

Na Tabela 2 encontra-se um resumo dos subconjuntos existentes no equipamento, que podem ser vistos na Figura 56, assim como as principais funções de cada um deles.

Tabela 2 - Síntese das funções dos subconjuntos

Conjunto	Imagem	Função
Alimentação e corte		Este subconjunto permite tracionar e cortar o arame.
Dobrador		O subconjunto tem a capacidade de realizar a dobragem dos dois lados do arame em simultâneo.
Rotação axial		O subconjunto é capaz de realizar a rotação axial do arame, assim como o transporte do arame entre estações.
Proteção		Este subsistema limita do acesso ao equipamento enquanto este está em funcionamento, neste subsistema é montada a iluminação.

Como dito anteriormente, o projeto foi dividido em subconjuntos, e estes também estão divididos em subconjuntos. Na Figura 59 pode-se ver o tracionador, e na Figura 60 o sistema de corte, que são dois subsistemas do sistema de alimentação e corte.

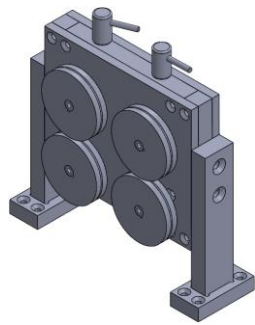


Figura 59 - Tracionador

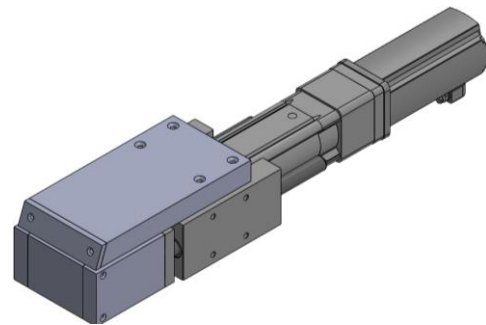


Figura 60 - Sistema de corte

O sistema de rotação axial também está dividido em outros dois subsistemas, nomeadamente o carro do sistema de rotação axial, que se pode ver na Figura 61, e o braço de rotação, que está representado na Figura 62.

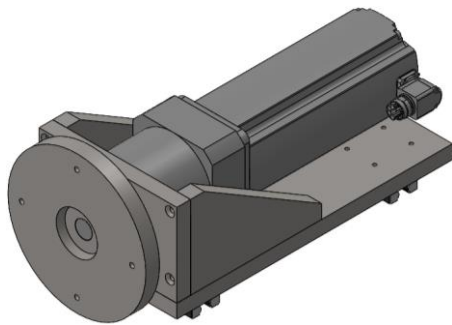


Figura 61 - Carro do sistema de rotação

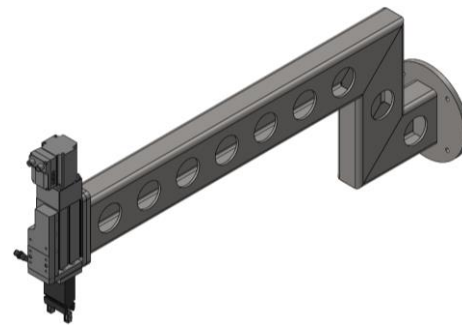


Figura 62 - Braço de rotação

Por fim, o sistema de dobragem também é dividido em subconjuntos, que realizam a dobragem. Neste caso, os dois subconjuntos que o compõem são simétricos e podem ser vistos na Figura 63 e na Figura 64.

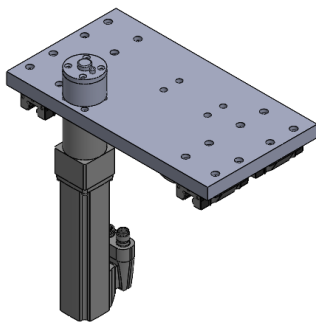


Figura 63 - Carro de dobragem 1

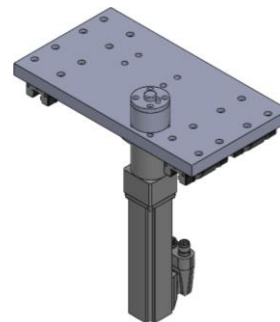


Figura 64 - Carro de dobragem 2

3.4.3 Sistema de comando

A automatização da máquina é feita recorrendo a PLC's programáveis. Estes conseguem absorver informações sobre o estado do equipamento recorrendo a

sensores, *encoders*, entre outros. Esta informação é processada pelo computador e depois são enviados os comandos para os motores e atuadores.

A máquina começa por desbobinar, ligando o motor do desbobinador. Este é ligado em simultâneo com o motor de vai tracionar o arame. Quando já foi desbobinado e endireitado o comprimento de arame necessário, os dois motores são desligados. O mecanismo que vai detetar qual o comprimento de arame que foi desenrolado é o *encoder* que o motor do tracionador possui.

Tendo já o arame desenrolado duas, garras angulares vão agarrar este para que o braço de rotação axial o possa agarrar na posição correta. O braço será movimentado utilizando um motor que tem um *encoder* através do qual se pode obter a posição do braço. Após o braço chegar ao alimentador, a garra paralela do braço é ativada para agarrar o arame. Logo após o arame ser agarrado por este, as garras angulares são abertas.

O braço de rotação é levado até a primeira estação, e um atuador linear é ativado para colocar o arame na altura do dobrador. O dobrador é posicionado por um fuso de esferas que está acoplado a um servomotor com *encoder*, através do qual se obtém o posicionamento dos carros de dobragem. São feitas todas as dobragens do primeiro estágio, e o atuador linear do braço é ativado para retirar o arame do dobrador.

Seguidamente o braço de rotação movimenta-se até à segunda estação, onde o processo da primeira se volta a repetir. Quando todas as dobragens estão feitas, o braço retira o arame e leva-o até ao armazenamento onde o larga. No armazenamento existe um sensor que permite saber quando este está cheio.

Todos os sensores e atuadores que foram falados ao longo do capítulo, são apresentados de forma dividida por subsistemas, em capítulos posteriores.

3.4.4 Dimensionamento de componentes

3.4.4.1 Dimensionamento de elementos de guiamento linear

As guias lineares do sistema de rotação axial vão ter de suportar uma maior carga do que as guias lineares do sistema de dobragem, por esse motivo o dimensionamento foi feito acima do sistema de rotação axial (Figura 65).

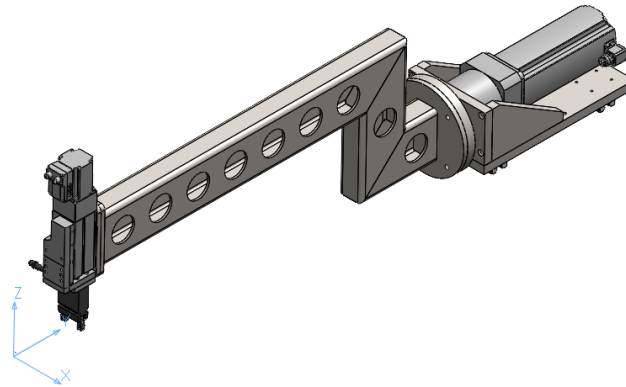


Figura 65 - Rotação axial

A massa total do conjunto é 50,5 kg, esta massa foi obtida no Solidworks aplicado o material de construção de cada peça, no caso aço para todas as peças desenhadas, já as peças que são normalizadas, tem definido as suas propriedades a massa. Como o Solidworks tem ferramentas que nos conseguimos dar o centro de massa. Assim sendo a força aplicada segundo Y, podem ser simplificadas a uma única força no centro de massa e utilizando essa força é possível calcular os momentos aplicados nos patins.

Cálculo da força segundo Y:

$$\text{Força em } Y = m \times g \times 1,05$$

$$\text{Força em } Y = 50,5 \times 9,81 \times 1,05 = 500N$$

Cálculo dos momentos instalados nos quatros patins:

Plano Z-Y (Figura 66):

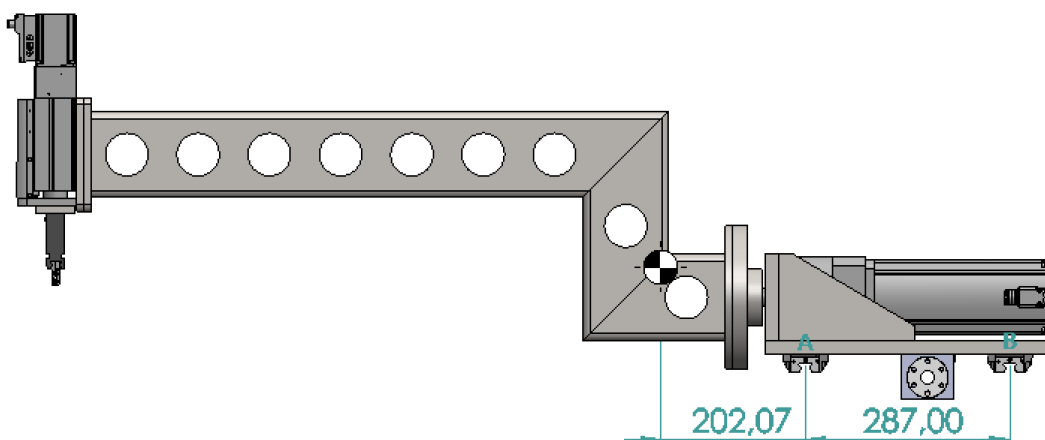


Figura 66 - Distância dos patins ao centro de massa no plano Z-Y

$$\Sigma MA = \frac{500 \times 202,07 \times 10^{-3}}{2} = 50,5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\Sigma MB = \frac{500 \times (202,07 + 287) \times 10^{-3}}{2} = 122,3 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Plano Z-X (Figura 67):

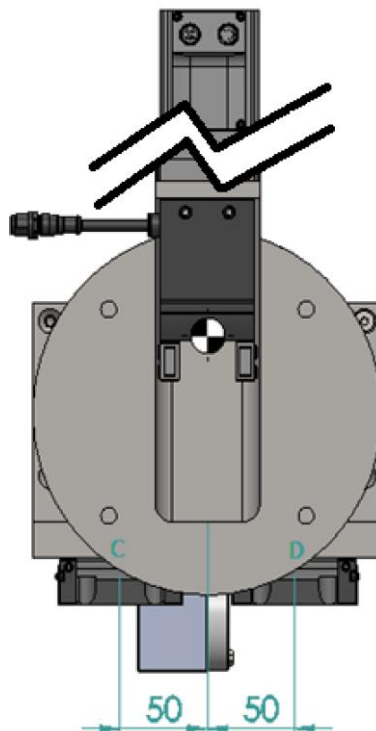


Figura 67 - Distância dos patins ao centro de massa no plano Z-X

$$\Sigma MC = \frac{500 \times -50 \times 10^{-3}}{2} = -12,5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\Sigma MD = \frac{500 \times -50 \times 10^{-3}}{2} = 12,5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Uma vez que já se obteve a carga vertical e os momentos criados em ambos os planos, tornou-se possível escolher os patins e a guia linear que mais se adequam. Foi escolhido o sistema KUVE20-B da *Schaeffler*, *no anexo (6.1) pode-se ver a ficha técnica*, esta marca foi escolhida por indicação do engenheiro que me orientava na empresa. Na Figura 68 pode-se ver que este conjunto está apto para suportar cargas superiores às que ocorrem no presente caso.

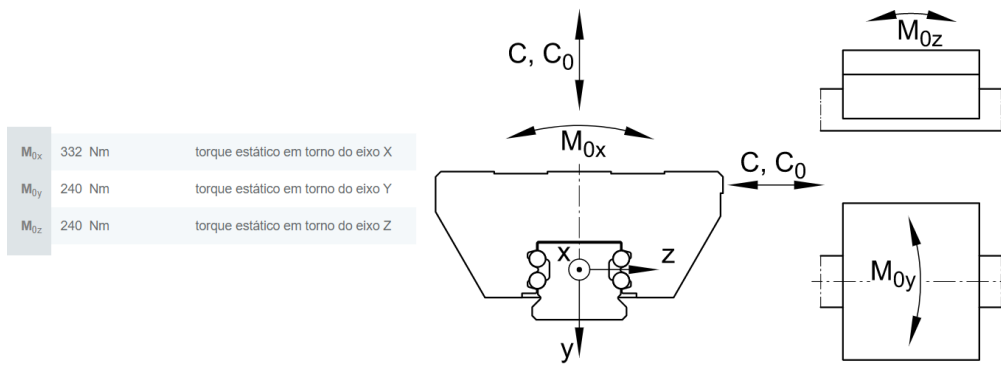


Figura 68 - Cargas suportadas pelos patins KWVE20-B

3.4.4.2 Dimensionamento de fuso de esferas

No projeto mecânico do equipamento foi necessária a utilização de fusos de esferas. O dimensionamento destes é feito em várias etapas seguindo o catálogo da THK [56]. Ao longo do projeto existem dois sistemas que utilizam fusos de esferas, o sistema de rotação axial e o sistema de dobragem, este último utiliza dois iguais em cada estação. Para começar a dimensionar os fusos optou-se por calcular inicialmente qual o passo do fuso.

A velocidade nominal do motor que faz a propulsão do fuso é de 3000 rpm e, tendo uma velocidade linear de 1m/s, o avanço do fuso será obtido da seguinte maneira:

$$\frac{v \times 1000 \times 60}{rpm} = \frac{1 \times 1000 \times 60}{3000} = 20 \text{ mm}$$

Assim é necessário selecionar um avanço de 20 mm no mínimo. Os fusos de esferas que tem avanço de pelo menos 20 mm, tem todos um diâmetro igual ou superior a 20 mm, por esse motivo o fuso terá no mínimo 20 mm de diâmetro.

Após esta análise, foi feito o cálculo da força máxima que seria aplicada no fuso, começando por calcular para o fuso que trabalharia com a maior carga, que no caso seria o do braço de rotação.

Dados para o cálculo da força:

Resistência da superfície do guia $f = 15 \text{ N}$ (sem carga)

Massa total $m = 49 \text{ kg}$

Coeficiente de atrito do guia $\mu = 0,003$

Velocidade máxima $V_{max} = 1 \text{ m/s}$

$$\text{Aceleração gravítica} \quad g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Tempo de aceleração} \quad t_1 = 0,15 \text{ s}$$

A aceleração é calculada da seguinte forma:

$$\alpha = \frac{V_{max}}{t_1} = 6,67 \text{ m/s}^2$$

A força é calculada como se apresenta de seguida. Durante a aceleração de avanço:

$$F_{a1} = \mu \times m \times g + f + m \times \alpha = 344 \text{ N}$$

Durante movimento uniforme de avanço:

$$F_{a2} = \mu \times m \times g + f = 17 \text{ N}$$

Durante a desaceleração de avanço:

$$F_{a3} = \mu \times m \times g + f - m \times \alpha = -311 \text{ N}$$

Durante a aceleração regressiva:

$$F_{a4} = -\mu \times m \times g - f - m \times \alpha = -344 \text{ N}$$

Durante movimento regressivo uniforme:

$$F_{a5} = -\mu \times m \times g - f = -17 \text{ N}$$

Durante a desaceleração regressiva:

$$F_{a6} = -\mu \times m \times g - f + m \times \alpha = 311 \text{ N}$$

Todas as fórmulas utilizadas encontram-se no catálogo que foi utilizado como guia de dimensionamento.

Portanto, a carga axial máxima aplicada no fuso de esferas é a $F_{a1}=344 \text{ N}$. Este valor é muito inferior a carga máxima que um fuso de 40 mm de diâmetro admite. Como a carga do outro fuso de esferas é menor, então optou-se por utilizar fusos do mesmo diâmetro, tanto para o braço de rotação como para o transporte do dobrador.

3.4.4.3 Dimensionamento de motores

O motor do transporte do braço de rotação e do dobrador, serão dimensionados pelo pior caso que continua a ser o braço de rotação. O dimensionamento é feito seguindo o catálogo da THK que foi utilizado para o dimensionamento do fuso de esferas, pois este além de ter o método de dimensionamento do fuso também tem o método de dimensionamento do servomotor necessário para fazer a movimentação do fuso, assim o dimensionamento foi realizado da seguinte forma. Começa-se por calcular o torque de atrito (T_1). Para tal, é necessário saber a força de atrito (F_{a2}), o passo do fuso (Ph) e a eficiência ($\eta = 0,9$).

$$T_1 = \frac{F_{a2} \times Ph}{2\pi \times \eta} = 0,06 N \cdot m$$

Em seguida é necessário obter o momento de inércia do eixo (J_s). Para este efeito, obtém-se no catálogo o momento de inércia do eixo por unidade de comprimento. Assim, tem-se:

$$J_s = 0,81 \times 1,07 \times 10^{-4} = 0,87 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$J = m \left(\frac{Ph}{2 \times \pi} \right)^2 \times 10^{-6} + J_s = 8,8 * 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

A aceleração angular é obtida da seguinte forma:

$$\omega = \frac{2\pi \times rpm}{60 \times t_1} = 2095 \text{ rad/s}^2$$

Com base nos dados calculados acima, o binário necessário para acelerar é calculado da seguinte forma:

$$T_2 = J \times \omega = 1,2 N \cdot m$$

Assim, o binário máximo necessário para o motor é o seguinte:

$$T = T_1 + T_2 = 1,3 N \cdot m$$

Foram utilizados servomotores, da FESTO que compram os requisitos necessários.

3.4.5 Lista de componentes normalizados

A lista de peça normalizadas será dividido por subconjuntos, podendo ser vistas nos próximos capítulos.

3.4.5.1 Alimentação e corte

Para a realização do sistema de alimentação e corte foram utilizados vários componentes normalizados, que se encontram enunciados na Tabela 3.

Tabela 3 - Peças normalizadas do sistema de alimentação e corte

Componente	Quantidade	Fornecedor
Servomotor EMMT-AS-100-S-HS-RMB	2 un.	Festo
Unidade de engrenagem EMGA-80-A-G5-100	1 un.	Festo

Unidade guia EAGF-V2-KF-80-100	1 un.	Festo
Conjunto de montagem de motor EAMM-A-D80-100	1 un.	Festo
Cilindro elétrico ESBF-BS-80-100-15P	1 un.	Festo
Tubo 40x80-6 mm	9,50 m (10 m)	Chagas
Roda dentada ISO Spur gear 2,75M 29T 20PA	4 un.	SKF
Roda dentada ISO Spur gear 2,75M 20T 20PA	1 un.	SKF
Rolamento ISO 15 RBB – 4917 Diâmetro Interno 17mm, externo 30 mm largura 13 mm	4 un.	Rolisa
Chaveta ISO 2491 5x3-10-A	4 un.	WURTH
Parafuso ISO 14581 M6x25x25-N	12 un.	WURTH
Parafuso ISO 14581 M6x30x30-N	10 un.	WURTH
Parafuso ISO 14581 M6x40x40-N	10 un.	WURTH
Parafuso ISO 14581 M8x35x35-N	4 un.	WURTH

Parafuso ISO 4762 M6x16-16N	2 un.	WURTH
Parafuso ISO 4762 M10x25-25N	4 un.	WURTH
Parafuso ISO 10642 M4x30N	4 un.	WURTH
Parafuso ISO 10642 M6x20-20N	4 un.	WURTH
Parafuso ISO 10642 M6x40-24N	4 un.	WURTH
Parafuso ISO 10642 M8x40-40N	8 un.	WURTH
Parafuso ISO 10642 M8x60-28N	4 un.	WURTH
Parafuso ISO 4015 M8x30x22-N	8 un.	WURTH

3.4.5.2 Rotação axial

Para a realização do sistema de rotação axial foram utilizados vários componentes normalizados, que se encontram descritos na Tabela 4.

Tabela 4 - Peças normalizadas do sistema de rotação axial

Componente	Quantidades	Fornecedor
Unidade miniguia EGSS-BS-KF-60-50-12P-ST-M-H1-PLK-AA	1 un.	Festo
Garra paralela EHPS-16-A-LK	1 un.	Festo

Unidade da engrenagem EMGA-120-P-G5-SAS-100	1 un.	Festo
Servomotor EMMT-AS-100-M-HS-RMB	1 un.	Festo
Servomotor EMMT-AS-60-SB	1 un.	Festo
Acoplamento rápido EAMC-30-32-10-14	1 un.	Festo
Sensor de proximidade SIEF-M8B-NS-K-L	3 un.	Festo
Fuso de esferas 1070mm BASA_20x20Rx3_5	1 un.	Bosch
Porca de esferas R150217065	1 un.	Bosch
SEB-F R159111220	1 un.	Bosch
SEB-L R159161220	1 un.	Bosch
MGS R150610020	1 un.	Bosch
Guia linear TKVD20-G2/1000-20/20	2 un.	Schaeffler
Patins KWVE20-B-V1-G2	4 un.	Schaeffler
Calha articulada E2.26.038.048.0	1 un.	Igus

Tubo 40x80-6 mm	9,31 m (10 m)	Chagas
Tubo 40x120-5 mm	1,33 m (2 m)	Chagas
Sensor de proximidade SIEF-M8B-NS-K-L	3 un.	Festo
Porca ISO 4032 M5-W-N	16 un.	WURTH
Porca ISO 4032 M6-W-N	2 un.	WURTH
Porca ISO 4032 M8-W-N	2 un.	WURTH
Parafuso ISO 4015 M4x25-14-N	6 un.	WURTH
Parafuso ISO 4015 M8x30x22-N	4 un.	WURTH
Parafuso ISO 4762 M4x26-26N	4 un.	WURTH
Parafuso ISO 4762 M5x16-16N	4 un.	WURTH
Parafuso ISO 4762 M5x25-25N	16 un.	WURTH
Parafuso ISO 4762 M5x30-22N	16 un.	WURTH
Parafuso ISO 4762 M6x12-12N	2 un.	WURTH
Parafuso ISO 4762 M8x45-28N	6 un.	WURTH

Parafuso ISO 4762 M8x70-28N	4 un.	WURTH
Parafuso ISO 10642 M3x16-16N	2 un.	WURTH
Parafuso ISO 10642 M4x16-16N	8 un.	WURTH
Parafuso ISO 10642 M6x16-16N	2 un.	WURTH
Parafuso ISO 10642 M6x30-30N	13 un.	WURTH
Parafuso ISO 10642 M8x35-35N	4 un.	WURTH

3.4.5.3 Dobrador

Para a realização do sistema de dobragem foram utilizados vários componentes normalizados, que se encontram descritos na Tabela 5.

Tabela 5 - Peças normalizadas do sistema de dobração

Componente	Quantidade	Fornecedor
Servomotor EMMT-AS-60-SB	2 un.	Festo
Servomotor EMME-AS-40-M-LV-AMB	2 un.	Festo
Unidade de engrenagem EMGA-40-P-G3-EAS-40	2 un.	Festo
Acoplador rápido EAMC-30-32-10-14	2 un.	Festo

Sensor de proximidade SIEF-M8B-NS-K-L	4 un.	Festo
Fuso de esferas 420 mm BASA_20x20Rx3_5	2 un.	Bosch
Porca de esferas R150217065	2 un.	Bosch
SEB-F R159111220	2 un.	Bosch
SEB-L R159161220	2 un.	Bosch
MGS R150610020	2 un.	Bosch
Guia linear TKVD15-B-G2/700-20/20	2 un.	Schaeffler
Patins KWVE15-B-V1-G2	8 un.	Schaeffler
Calha articulada 0.598m 2400.02.055.0 + 2020.2PZ+	2 un.	Igus
Tubo 40x80	9,40 m (10 m)	Chagas
Parafuso ISO 10643 M3x20	8 un.	WURTH
Parafuso ISO 10643 M6x16	4 un.	WURTH
Parafuso ISO 4762 M3x20	8 un.	WURTH

Parafuso ISO 4762 M4x20	46 un.	WURTH
Parafuso ISO 4762 M4x25	8 un.	WURTH
Parafuso ISO 4762 M8x35	12 un.	WURTH
Parafuso ISO 4762 M8x65	8 un.	WURTH
Porca sextavada ISO 4032 M4	14 un.	WURTH
Porca sextavada ISO 4032 M6	4 un.	WURTH

3.4.5.4 Recolha

Para a realização do sistema de recolha foram utilizados vários componentes normalizados, que se encontram descritos na Tabela 6.

Tabela 6 - Peças normalizadas do sistema de recolha

Componente	Quantidade	Fornecedor
Tubo 40x80-2,5 mm	9,40 m (10 m)	Chagas
Sensor de proximidade SIEF-M8B-NS-K-L	1	Festo

3.4.5.5 Proteção

Os componentes normalizados que foram utilizados no sistema de proteção, encontram-se descritos na Tabela 7.

Tabela 7 - Peças normalizadas do sistema de proteção

Componente	Quantidade	Fornecedor
45mm corner cube kit 3S	6 un.	Bosch
45mm corner cube kit 2S	20 un.	Bosch
M12x58 leveling foot	9 un.	Bosch
Outside corner connector	76 un.	Bosch
Inside corner connector	4 un.	Bosch
Wire mesh frame profile	60 m	Bosch
Profile 45x45, M12/M12 130 mm	1 un.	Bosch
Profile 45x45, M12/M12 245 mm	1 un.	Bosch
Profile 45x45, M12/M12 300 mm	4 un.	Bosch
Profile 45x45, M12/M12 485 mm	2 un.	Bosch
Profile 45x45, M12/M12 500 mm	4 un.	Bosch
Profile 45x45, M12/M12 530 mm	1 un.	Bosch
Profile 45x45, M12/M12 625 mm	2 un.	Bosch
Profile 45x45, M12/M12 635 mm	4 un.	Bosch

Profile 45x45, M12/M12 1200 mm	1 un.	Bosch
Profile 45x45, M12/M12 1290 mm	1 un.	Bosch
Profile 45x45, M12/M12 1580 mm	1 un.	Bosch
Profile 45x45, M12/M12 1705 mm	1 un.	Bosch
Profile 45x45, M12/M12 1805 mm	2 un.	Bosch
Profile 45x45, M12/M12 2000 mm	6 un.	Bosch
Profile 45x45, M12/M12 2280 mm	1 un.	Bosch
Profile 45x45 D9.8/D9.8 245 mm	1 un.	Bosch
Profile 45x45 D9.8/D9.8 530 mm	1 un.	Bosch
Profile 45x45, D9.8/D9.8 700 mm	1 un.	Bosch
Profile 45x45, D9.8/D9.8 735 mm	1 un.	Bosch
Profile 45x45, D9.8/D9.8 760 mm	1 un.	Bosch
Profile 45x45, D9.8/D9.8 845 mm	2 un.	Bosch

Profile 45x45, D9.8/D9.8 1075 mm	1 un.	Bosch
Profile 45x45, D9.8/D9.8 1580 mm	3 un.	Bosch
Profile 45x45, D9.8/D9.8 1905 mm	1 un.	Bosch
Profile 45x45, D9.8/D9.8 2280 mm	3 un.	Bosch
Profile 45x45 M12-D9.8-D9.8VS/M12-D9.8-D9.8VS 130 mm	1 un.	Bosch
Profile 45x45 M12-D9.8-D9.8VS/M12-D9.8-D9.8VS 160 mm	1 un.	Bosch
Profile 45x45 M12-D9.8-D9.8VS/M12-D9.8-D9.8VS 400 mm	3 un.	Bosch
Profile 45x45 M12-D9.8-D9.8VS/M12-D9.8-D9.8VS 600 mm	1 un.	Bosch
Profile 45x45 M12-D9.8-D9.8VS/M12-D9.8-D9.8VS 735 mm	1 un.	Bosch
Profile 45x45SD 1580 mm	2 un.	Bosch
Quick conector 3842541412	37 un.	Bosch
Clean room hinge 45-series to 45-series	10 un.	Bosch
Profile slider	6 un.	Bosch
Sensor de segurança PSEN ml b 1.1 unit	5 un.	Pilz

Sensor de segurança PSEN sg2c-3LBE unit	1 un.	pilz
Iluminação 96515	1 un.	Tasco
Wire mesh	14,5 m ²	
Parafuso ISO 4762 M5x40-22N	20 un.	WURTH
Parafuso ISO 4762 M5x25-25N	8 un.	WURTH
Porca ISO 4032 M5-W-N	4 un.	WURTH

3.4.6 Instruções para a construção do equipamento

3.4.6.1 Processos de fabrico

A parte estrutural de toda a máquina é soldada, e nesta existem múltiplos furos, roscados e não roscados, para posteriormente aparafusar todos os equipamentos dos subsistemas.

Será necessário por isso um equipamento de soldadura com capacidade de soldar aço, a máquina para a soldagem pode ser uma TIG (*Tungsten Inert Gas*). As peças que serão soldadas são previamente cortadas à medida através de uma serra de esquadria, para conseguir fazer os cortes em ângulo. Os furos que varias peças tem são feitos recorrendo a uma furadeira de bancada, para os furos roscados é necessária a utilização de machos de roscas.

Todos os subsistemas que são posteriormente montados na estrutura são compostos por algumas peças, que além dos processos falados anteriormente, necessitaram de maquinagem. Todos os processos de fabrico necessários para a obtenção de cada peça serão apresentados no decorrer da tese. A montagem de todos os subsistemas é feita por aparafusamento.

3.4.6.1.1 Alimentação e corte

A alimentação e corte tem como base um sistema metálico, composto por tubos e chapas, que necessitam de ser cortados e furados. Para realizar os cortes necessário

dos tubos é necessária uma serra circular. Com este equipamento é possível obter o tubo com as diferentes dimensões. As chapas metálicas têm um desenho de baixa complexidade e tamanho reduzido, pelo que podem ser obtidas através de uma serra circular. No entanto, estas são furadas após o corte, o que pode ser realizado através de uma furadeira vertical. Na Figura 69 apresenta-se um exemplo de um perfil retangular que necessita de ser cortado e na Figura 70 uma chapa que necessita do corte e da furação.

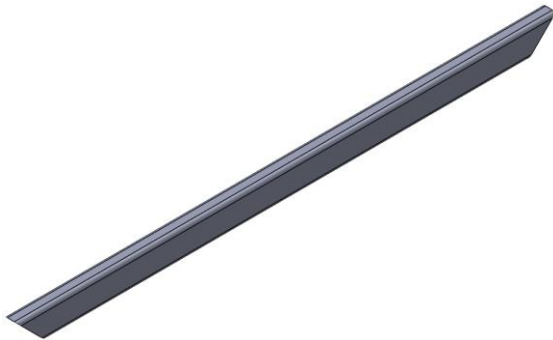


Figura 69 – Perfil retangular 40x80 6 mm 1550 mm

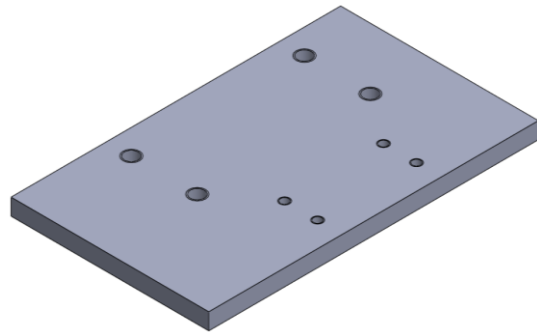


Figura 70 - Peça lb-tra_cor-02

A estrutura metálica também é composta por uma pequena peça que tem de ser obtida por maquinaria, como se pode ver na Figura 71. Após a obtenção de todas as peças da base estas serão soldadas, obtendo-se assim a base completa do equipamento (Figura 72).

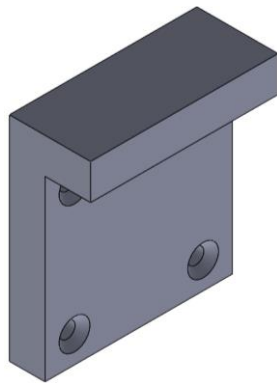


Figura 71 - Peça lb-cort-1



Figura 72 – Estrutura da tração e corte

Neste capítulo não serão apresentadas todas as peças da estrutura. No caso das peças não apresentadas, encontram-se em anexo (6.2) os desenhos de definição, onde são descritos os processos de fabrico respetivos.

Além da estrutura metálica existem peças que compõem os elementos que serão instalados nesta. Estes elementos serão maioritariamente obtidos utilizando os mesmos processos dos utilizados para a estrutura metálica. As peças que não recorrem

aos mesmos processos são obtidas por torneamento. Na Figura 73 pode-se ver uma peça que é necessário recorrer a esse processo para a obter.



Figura 73 - Peça lb-tra-3

3.4.6.1.2 Rotação axial

A rotação axial tem uma base que é feita com uma estrutura metálica, composta por tubos e chapas. Os tubos e as chapas necessitam de ser cortados à medida, e alguns destes necessitam ainda de ser furados. Para a realização destes processos seriam utilizados o mesmo tipo de equipamentos que os utilizados para obter as peças do conjunto de alimentação e corte. Alguns exemplos de peças que necessitam destes dois processos encontram-se representados na Figura 74 e na Figura 75.

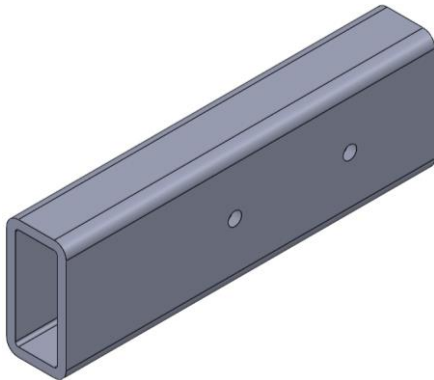


Figura 74 – Perfil retangular 40x80 6 mm 247 mm furado

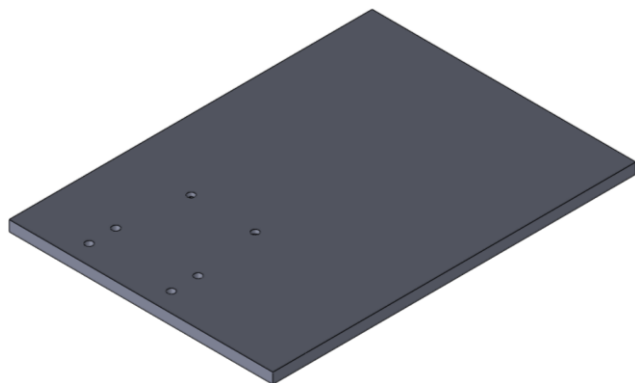


Figura 75 - Peça lb-bra-10

Após obter todas as peças que são necessárias para a produção da base do conjunto axial, é necessário soldá-las nas devidas posições de forma a obter a estrutura da base, representada na Figura 76. Nesta base são montados todos os componentes mecânicos que compõem o sistema de rotação axial.

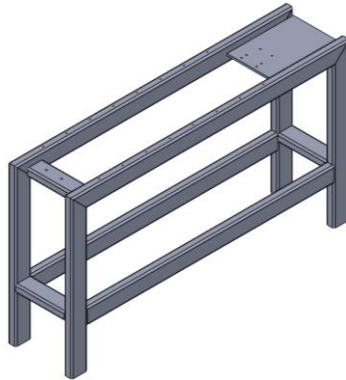


Figura 76 – Estrutura da rotação axial

As peças que compõem o carro que faz a rotação, que vai transportar o equipamento que é capaz de realizar a rotação axial, são obtidas utilizando os mesmos processos de fabrico que para a produção das peças da base. Após a obtenção destas, as peças são montadas através de ligações aparafusadas. Já o braço que é responsável pelo equipamento que vai agarrar o arame, além de necessitar dos processos descritos anteriormente, necessitará também de maquinagem. A maquinagem é necessária para obter peças como a apresentada na Figura 77. Essa necessidade decorre da complexidade geométrica destes componentes, que não é possível atingir com os processos anteriormente referidos.

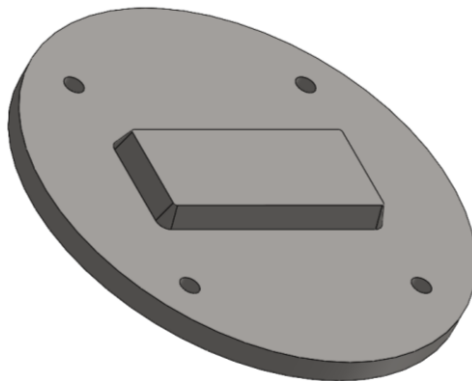


Figura 77 – Peça lb-bra-1

Tal como nos capítulos anteriores nem todas as peças foram apresentadas aqui. No caso, todas as peças que não foram apresentadas, encontram-se em anexo (6.3) os desenhos de definição, onde são descritos os processos de fabrico respetivos.

3.4.6.1.3 Dobrador

O dobrador tem uma base que é feita com uma estrutura metálica, composta por tubos e chapas. Os tubos necessitam de ser cortados à medida, e alguns deles ainda necessitam de ser furados. Tanto os cortes como os furos serão feitos utilizando o mesmo tipo de equipamento que foi utilizado para os sistemas de alimentação e corte. Na Figura 78 pode-se ver uma peça que necessita dos dois processos de fabrico. As

chapas também serão cortadas e furadas utilizando os mesmos processos das chapas do sistema de alimentação e corte. Na Figura 79 pode-se ver uma peça que necessita de ambos os processos de fabrico.

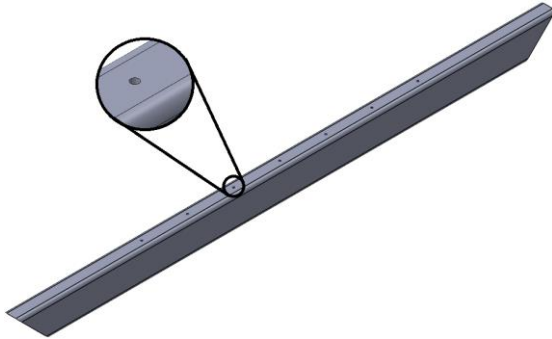


Figura 78 – Perfil retangular 40x80 6 mm 1400 mm

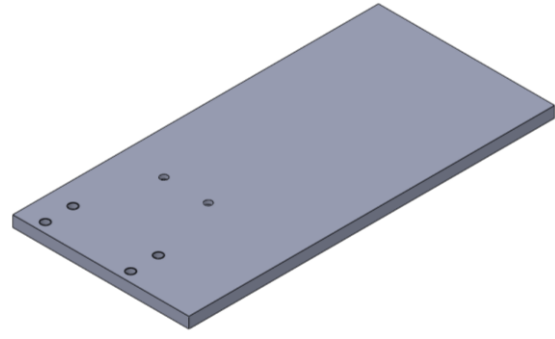


Figura 79 - Peça lb-do-8

Após se obter as peças anteriores é necessário soldá-las nas devidas posições para se obter a estrutura de todo o dobrador. O processo de soldadura será o mesmo do utilizado para obter a estrutura da alimentação e corte.

Algumas peças necessárias serão obtidas por maquinagem. Na Figura 80 pode-se ver uma delas, cuja complexidade da geometria leva à necessidade.

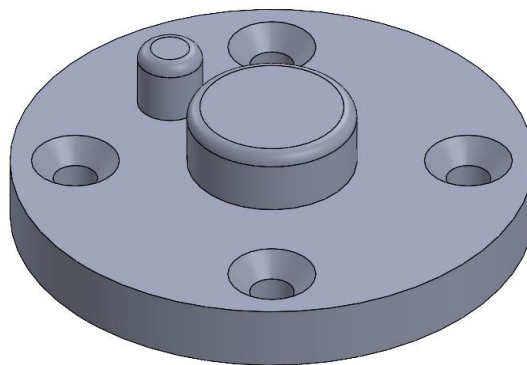


Figura 80 – Peça lb-do-4

Tal como nos capítulos anteriores nem todas as peças foram apresentadas aqui. No caso, todas as peças que não foram apresentadas, encontram-se em anexo (6.4) os desenhos de definição, onde são descritos os processos de fabrico respetivos.

3.4.6.1.4 Recolha

A recolha é uma das partes com construção mais simples. Praticamente todo o subsistema é composto por tubos cortados, tendo apenas além dos tubos uma pequena chapa. Um dos tubos tem um furo para a colocação de um único sensor que serve para detetar quando o sistema de recolha está cheio dos arames já dobrados.

Pode-se ver na Figura 81 e na Figura 82 o único tubo que além de cortado, tem um furo, e a única chapa que é necessária para este subconjunto.

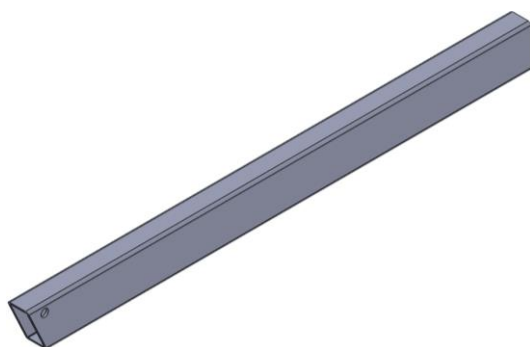


Figura 81 - Perfil retangular 50x25 2,5 mm 600 mm furado

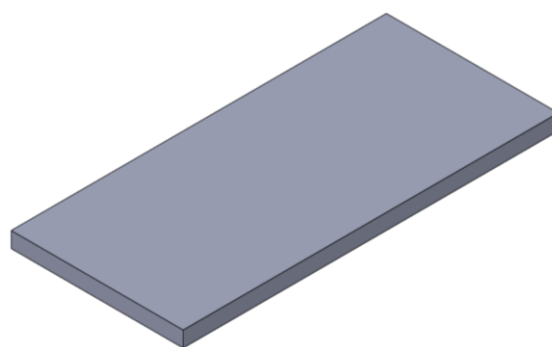


Figura 82 - Peça lb-r-01

Tal como nos capítulos anteriores nem todas as peças foram apresentadas aqui. No caso, todas as peças que não foram apresentadas, encontram-se em anexo (6.5) os desenhos de definição, onde são descritos os processos de fabrico respetivos.

3.4.6.1.5 Proteção

O sistema de proteção é quase todo composto por elementos normalizados. No entanto, este ainda tem algumas peças que devem ser fabricadas. Estas peças são suportes para sensores que são obtidos por maquiagem. Na Figura 83 é possível ver um destes suportes.

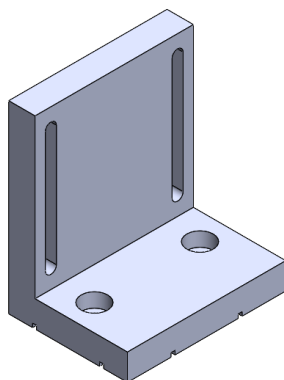


Figura 83 - Peça lb-pr-13

3.4.6.1.6 Peças adicionais para posicionamento

Para realizar o posicionamento das bases dos vários subsistemas, são necessários alguns perfis extra, estes perfis são soldados as bases em diferentes pontos para assim realizar o posicionamento final de uma base em relação a outra. Na Figura 84 pode-se ver o posicionamento final de cada uma das bases já soldadas umas às outras. Além

disto também o sistema de recolha é soldado a esta estrutura, este também se encontra na mesma figura.

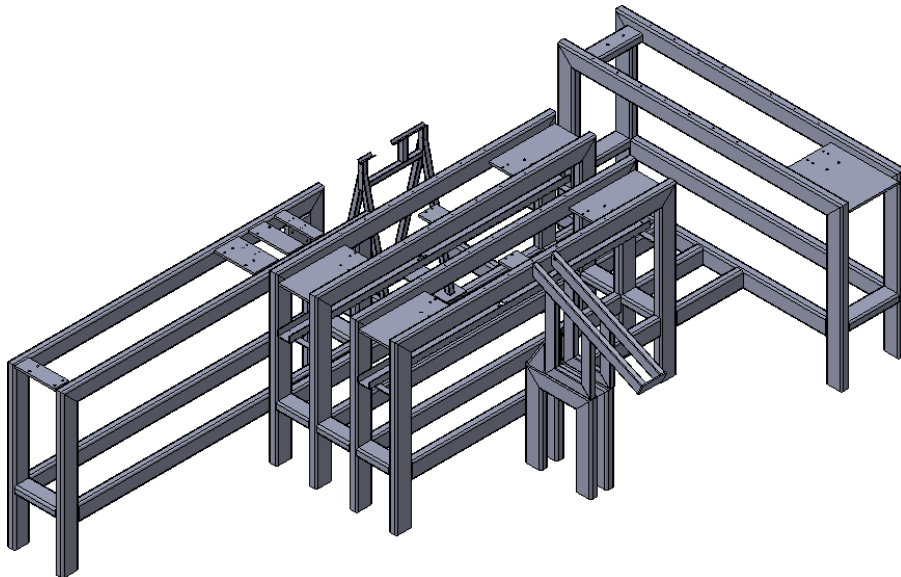


Figura 84 - Base de todo o equipamento

Tal como nos capítulos anteriores nem todas as peças foram apresentadas aqui. No caso, todas as peças que não foram apresentadas, encontram-se em anexo (6.6) os desenhos de definição, onde são descritos os processos de fabrico respetivos.

3.4.6.2 Vistas explodidas

O endireitador e o desbobinador já se encontram projetados pela empresa, pelo que a sequência de montagem já está definida pela própria empresa.

A vista explodida do tracionador pode ser vista na Figura 85.

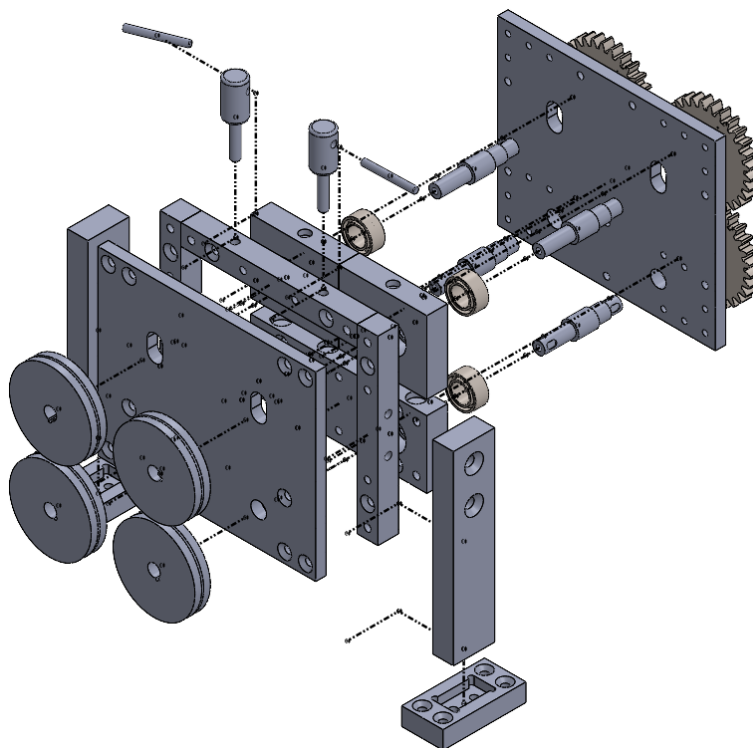


Figura 85 – Vista explodida do tracionador

A vista explodida do sistema de corte pode ser vista na Figura 86.

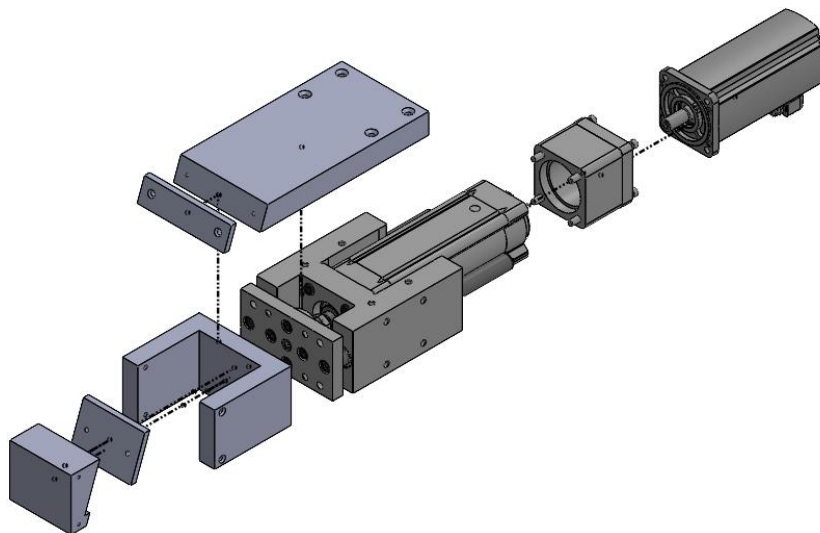


Figura 86 – Vista explodida cortador

Após o tracionado e o cortador estarem montados, podem ser colocados na estrutura de toda a máquina, de forma a produzir o resultado apresentado na Figura 87.

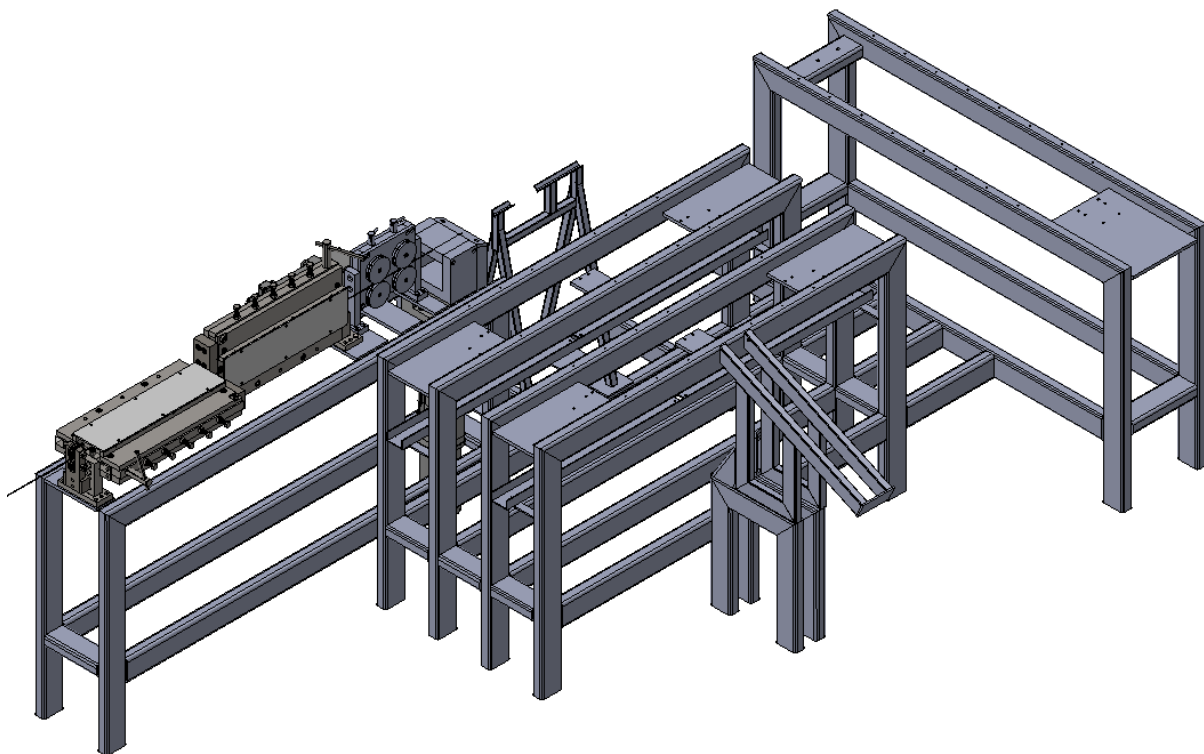


Figura 87 – Sistema de tração e corte montados na estrutura principal

A vista explodida do carro do sistema de rotação pode ser vista na Figura 88.

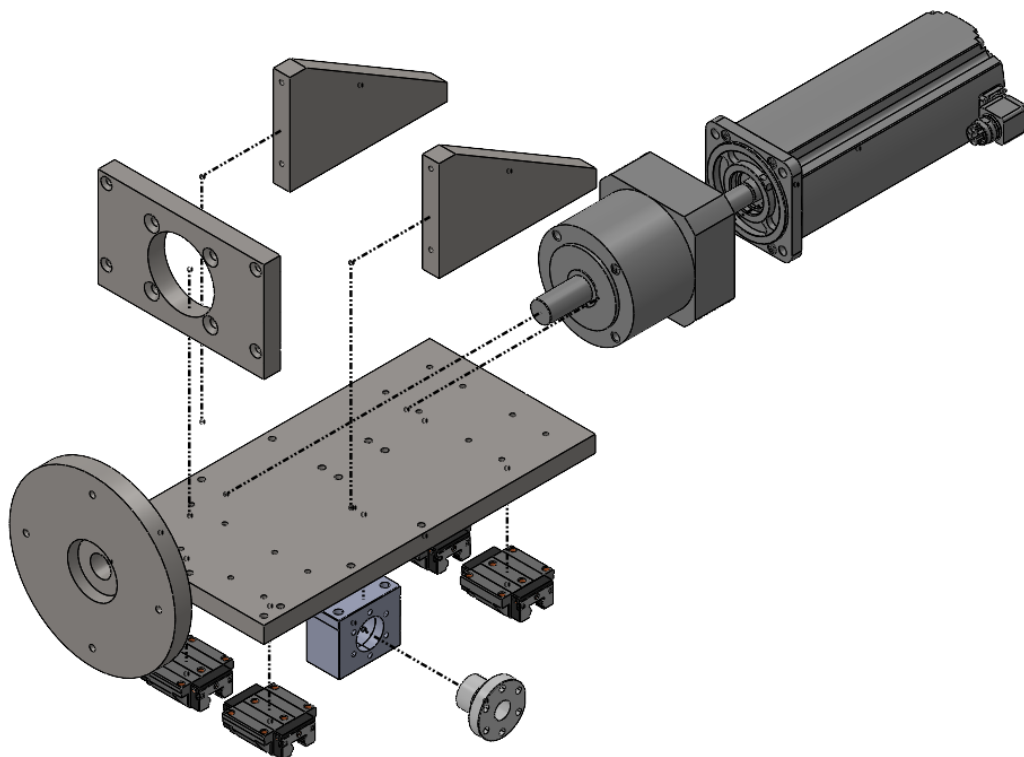


Figura 88 - Carro do sistema de rotação axial

Na Figura 89 pode ser ver a vista explodida do braço de rotação.

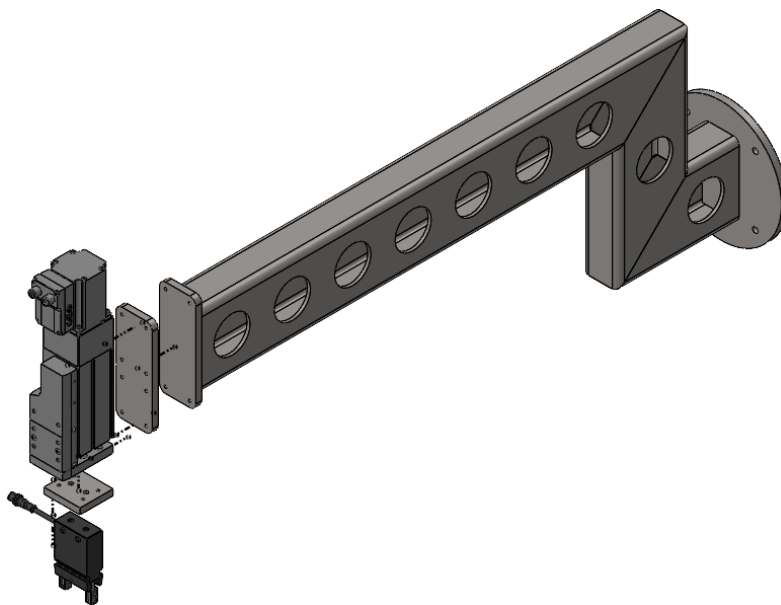


Figura 89 - Braço de rotação

Após ter estas partes todas montadas a máquina tomar a forma representada na Figura 90.

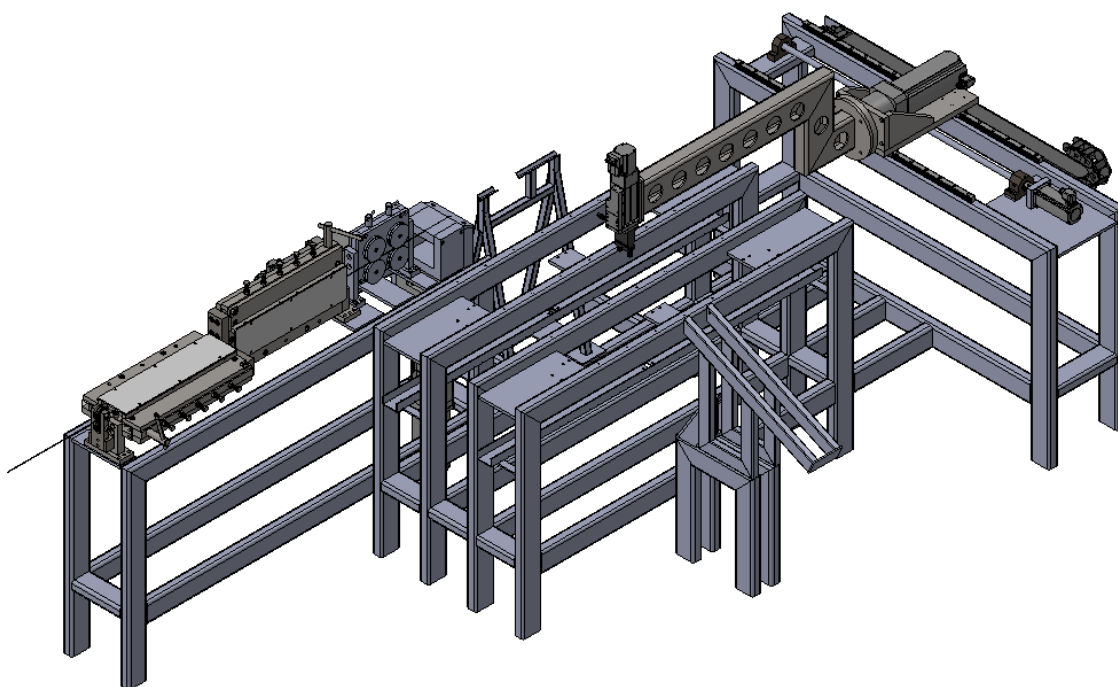


Figura 90 – Sistema de rotação axial montado na estrutura principal

Para fazer o carro do sistema de dobragem são necessários quatro carros para o sistema de rotação. O motor elétrico destes sistemas tem de ser colocado com eles já

montados na estrutura, assim como os fusos de esferas e os suportes dos mesmos. A vista explodida do carro do sistema de dobragem é apresentada na Figura 91.

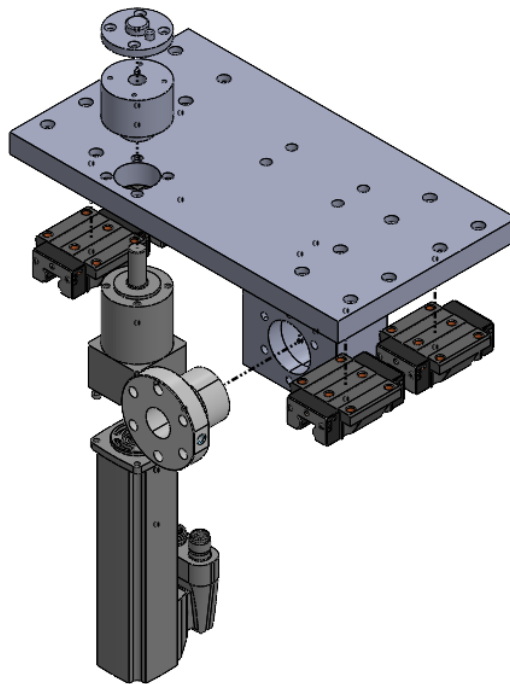


Figura 91 – Carro do sistema de dobragem

Após estes carros serem montados, a máquina apresenta-se como indicado na Figura 92.

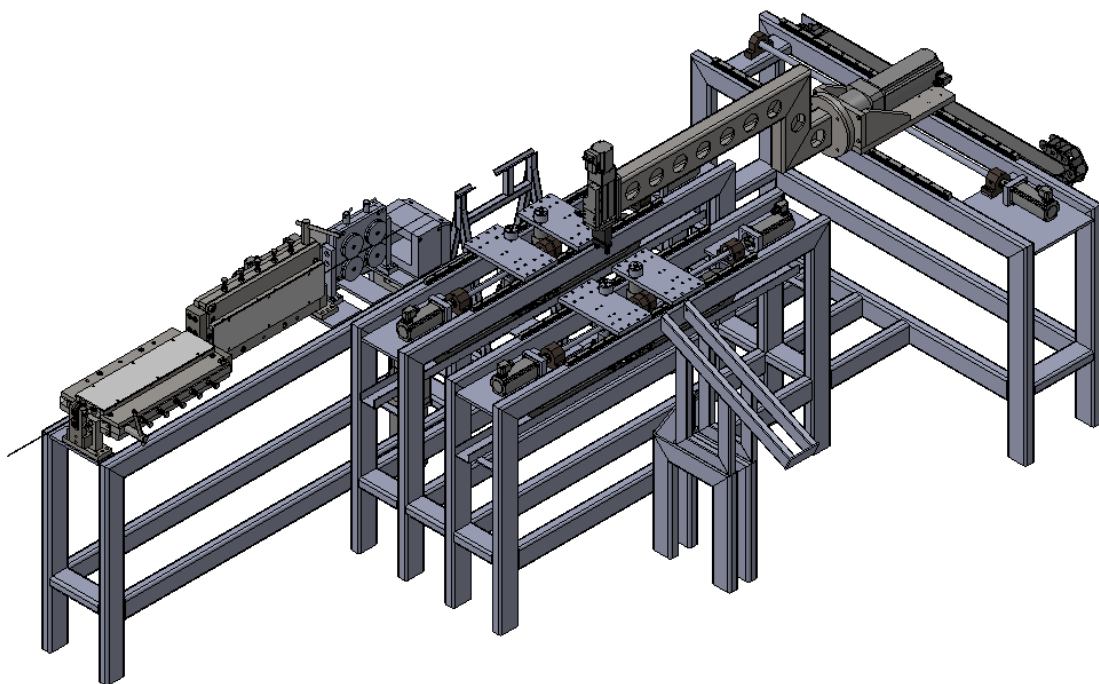


Figura 92 – Sistema de dobragem montado na estrutura principal

O sistema de proteção será a última parte a ser montada. Este sistema tem de ser montado a volta do equipamento com este no local onde vai ficar.

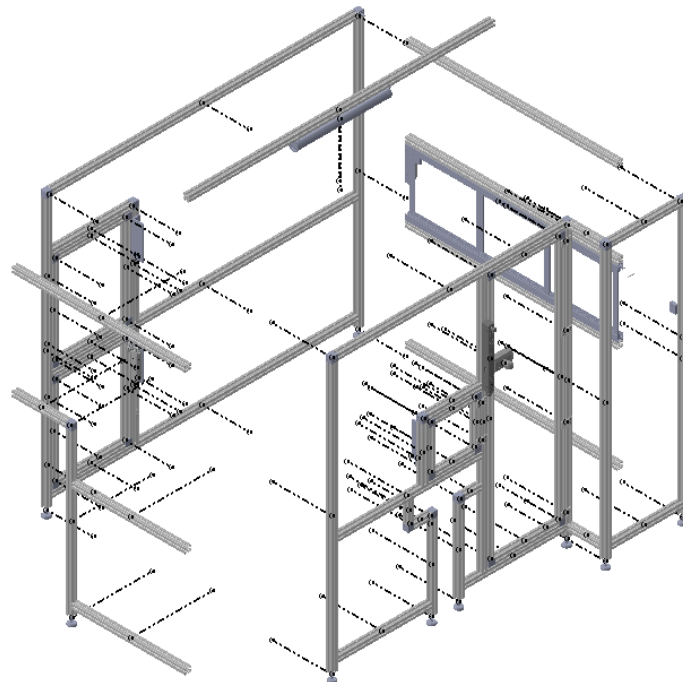


Figura 93 - Vista explodida da proteção

3.4.7 Projeto elétrico

O projeto elétrico do equipamento em estudo foi subcontratado a uma empresa externa, pelo que neste capítulo vai ser feita uma descrição do mesmo, embora de forma resumida devido a questão de confidencialidade. A Figura 94 mostra quais são os parâmetros de alimentação da máquina. Os parâmetros alimentam os módulos de alimentação e a fonte de alimentação. O quadro elétrico pode ser visto no Anexo 6.7.

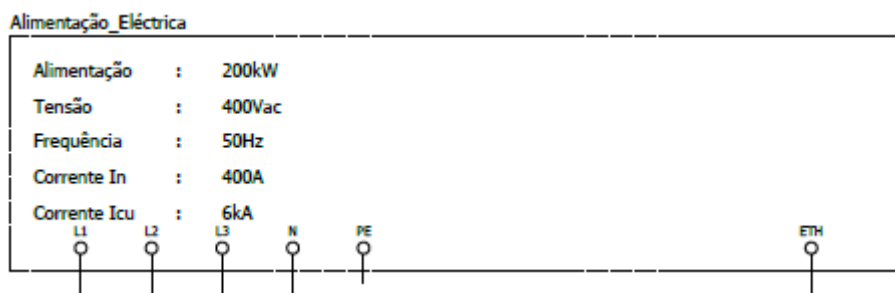


Figura 94 - Parâmetros da alimentação

Os múltiplos atuadores existentes no projeto são ligados aos módulos de alimentação, enquanto os sensores e o sistema de comando são alimentados através da fonte de alimentação. Os módulos de alimentação são capazes de ligar e desligar os servomotores, pois os servomotores têm a capacidade de receber e enviar informações para o sistema de comando através de ligações *ethernet*.

Em relação à fonte de alimentação, esta realiza a alimentação dos sensores e do sistema de comando como dito anteriormente. Porém, esta alimentação não é feita de forma direta, pois a fonte a alimentação é ligada inicialmente a um divisor de corrente que irá alimentar os blocos de alimentação. Destes blocos de alimentação, saem as ligações que irão alimentar os componentes referidos.

Em anexo (6.8) são apresentadas as listas de peças de todos os componentes necessários para realizar os sistemas elétricos e o sistema de comando.

3.4.8 Segurança

A segurança é feita majoritariamente através de barreiras físicas como se pode ver na imagem seguinte (Figura 95). O objetivo da barreira física é que esta impossibilite a aproximação do operador às partes móveis da máquina, enquanto esta está em funcionamento. A barreira é composta por perfis *Bosch*, que são ligados por componentes normalizados da *Bosch*, e por uma malha metálica.



Figura 95 - Sistema de proteção

Para que não exista manipulação da máquina com esta em movimento, são necessários sensores de segurança (Figura 96) nas portas de acesso existentes. Estes sensores impedem a abertura das mesmas enquanto a máquina estiver em funcionamento, ou seja, a menos que o equipamento esteja parado não é possível abrir nenhuma das aberturas. Além destes sensores são necessários botões de emergência (Figura 97) em pelo menos uma porta e no desbobinador.

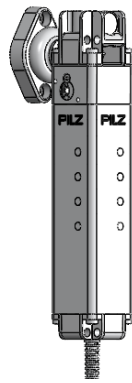


Figura 96 - Sensor de segurança



Figura 97 - Sensor de segurança com botão de emergência

CONCLUSÕES

- 4.1 CONCLUSÕES
- 4.2 PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS




4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 CONCLUSÕES

A automação de processos ocupa um lugar de destaque no setor automóvel. A automatização dos processos permite reduzir custos e aumentar a produtividade da produção.

O projeto do equipamento deverá assentar numa análise cuidadosa dos requisitos, funcionais, produtivos, de qualidade e de segurança, e que foram estipulados no início da dissertação. A análise do cumprimento ou incumprimento destes objetivos descreve-se na Tabela 8.

Tabela 8 - Análise ao cumprimento dos objetivos propostos para o projeto

Objetivo	Conclusões	Avaliação
Ser capaz de cortar e endireitar o arame.	O equipamento foi desenhado para permitir fazer esta tarefa.	
Ter pelo menos a mesma cadência que o equipamento preexistente.	O equipamento é promissor, no entanto a cadência não foi calculada, por esse motivo é uma incerteza. No entanto caso este objetivo não seja cumprido é possível espelhar o equipamento, pois este está preparado para ter uma segunda zona de dobragem.	
Sistema de proteção	O sistema de proteção foi desenvolvido de forma a impedir qualquer manipulação com o equipamento em movimento.	

O equipamento tem uma maior eficiência energética O equipamento foi desenvolvido de forma que a maior parte das partes moveis recorram a energia elétrica. Como a anterior é maioritariamente pneumática, logo equipamento é energeticamente mais eficiente.



Cumprimentos dos requisitos de qualidade das peças Como a imprecisão dos servomotores e dos fusos de esfera são muito baixos, é possível afirmar que os requisitos de qualidade serão cumpridos.



Em suma, pode-se concluir que no geral os objetivos traçados foram atingidos e as premissas iniciais foram validadas. Apenas não foi possível concluir se a cadência seria pelo menos a mesma, pois não foram calculados os tempos de cada passo do processo de produção.

4.2 PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

Numa indústria onde a competitividade é muito elevada, é de se esperar que sejam necessárias algumas melhorias no equipamento com o tempo.

Uma possível melhoria seria fazer com que a primeira dobragem fosse realizada em simultâneo com o corte. O equipamento começaria por fazer a primeira dobragem do arame, tracionaria o arame até ao fim, onde cortaria o arame e faria a primeira dobragem da outra extremidade, para depois este ir para o equipamento de rotação axial. Esta solução não foi abordada durante o projeto pois só foi cogitada após a finalização do projeto.

Um possível projeto futuro seria adicionar um outro sistema de dobragem, disposto de forma simétrica, pois este é o processo de produção mais lento do equipamento, e o sistema de alimentação tem capacidade para alimentar mais do que uma linha de dobragem.

Outro possível projeto futuro, que também só cogitado após a finalização do projeto, era a adição de um segundo braço de rotação axial. O primeiro braço agarra o arame no sistema de corte, leva-o até a primeira estação de dobragem, e realiza todas as rotações necessárias nesta estação. Após todas as dobragens desta estação, o arame fica na estação e o primeiro braço volta ao cortador para agarrar outro arame. Simultaneamente o segundo braço vai até a primeira estação, onde agarra o arame, e o leva para a segunda estação onde as restantes dobragens são feitas. No final, o segundo braço transporta o arame até ao sistema de armazenagem. Este segundo braço permitia assim a utilização das duas estações de dobragem em simultâneo.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES
DE INFORMAÇÃO**

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- [1] PORDATA, «Número de veículos ligeiros de passageiros por mil habitantes», 2017.
<https://www.pordata.pt/Europa/Número+de+veículos+ligeiros+de+passageiros+por+mil+habitantes-3078> (acedido Nov. 08, 2019).
- [2] C. Monteiro e N. Moutinho, «A Análise do Sector Automóvel em Portugal - O que influencia a venda de automóveis», XIV Encuentro AECA - Innovación y responsabilidad: desafíos y soluciones, 2010, Coimbra, Portugal.
- [3] Fleetmagazine, «janeiro 2019: mercado automóvel contrai na Europa mas há pelo menos um sinal positivo», *Fleetmagazine*, 2019.
<https://fleetmagazine.pt/2019/02/18/janeiro-2019-comercio-carros-europa/> (acedido Set. 20, 2011).
- [4] J. Tan, L. Yan, e K. C. Chan, «The impact of the logistics service standardization on firm value: Evidence from China», *North Am. J. Econ. Financ.*, n. January, 2019, doi: 10.1016/j.najef.2019.101134.
- [5] M. J. R. M. J. Costa, «Optimização Do Processo De Fabrico De Componentes Para a Indústria Automóvel», Tese Mestrado. Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2014.
- [6] APCER, «APCER», *APCER*, 2019. <https://www.apcergroup.com/pt/> (acedido Dez. 18, 2019).
- [7] M. E. Porter, [*Michael_E_Porter*]*_Competitive_Advantage_of_Natio(z-lib.org)*, vol. 1. New York: THE FREE PRESS, 1990.
- [8] Portal Administração, «Cinco Forças de Porter: Da análise à estratégia», *Portal Administração*, 2020. <https://www.portal-administracao.com/2015/05/as-cinco-forcas-de-porter.html> (acedido Jan. 08, 2020).
- [9] M. Bortolini, E. Ferrari, M. Gamberi, F. Pilati, e M. Faccio, «Assembly system design in the Industry 4.0 era: a general framework», *IFAC-PapersOnLine*, vol. 50, n. 1, pp. 5700–5705, 2017, doi: 10.1016/j.ifacol.2017.08.1121.
- [10] A. Haleem, M. Javaid, R. H. Khan, e R. Suman, «3D printing applications in bone tissue engineering», *J. Clin. Orthop. Trauma*, vol. 11, n. 1, pp. S118–S124, 2019, doi: 10.1016/j.jcot.2019.12.002.
- [11] P. Pinto, «Yoyo: “Papa reformas” elétrico impresso a 3D por apenas 7.995 euros», *pplware*, 2019, [Em linha]. Disponível em: <https://pplware.sapo.pt/motores/yoyo-papa-reformas-eletrico/>

- [12] ItInsight, «Indústria 4.0 – O paradigma das fábricas do futuro», *ItInsight*, 2019. <https://www.itinsight.pt/news/in-deep/industria-40--o-paradigma-das-fabricas-do-futuro> (acedido Nov. 12, 2019).
- [13] CABLE MANUFACTURING & ASSEMBLY, «Transportation Cables», *CABLE MANUFACTURING & ASSEMBLY*, 2019. <https://www.cmacable.com/industries/cabling-for-transportation/> (acedido Dez. 13, 2019).
- [14] Polimerica, «Sedili auto leggeri e smart», *Polimerica*, 2013. <https://www.polimerica.it/articolo.asp?id=11813> (acedido Dez. 10, 2019).
- [15] BLM, «CNC tube bending machines», *BLM*, 2019. <https://www.blmgroup.com/en/tube-bending> (acedido Dez. 12, 2019).
- [16] ZHZ Indústria, «Dobradeira de Arame MDA 12», *ZHZ Indústria*, 2019. <http://zhz.ind.br/pt/maquinas/dobradeira-de-arame-mda12> (acedido Dez. 12, 2019).
- [17] Numalliance, «Numalliance - Robomac», *Numalliance*, 2013. <https://www.youtube.com/watch?v=buDdEvbnvNs> (acedido Dez. 17, 2019).
- [18] ZHZ Indústria, «Dobradeira de Arame MDA8 2D», *ZHZ Indústria*, 2019. <http://zhz.ind.br/pt/maquinas/dobradeira-de-arame-mda8-2d> (acedido Dez. 12, 2019).
- [19] Novo Precision, «Precision Wire Straighteners & Lubricators», *Novo Precision*, 2019. <https://www.novoprecision.com/products/precision-wire-straighteners-lubricators/%0D> (acedido Dez. 23, 2019).
- [20] Novo Precision, «Rotary Wire Straighteners & Rotary Tube Straighteners», *Novo Precision*, 2019. <https://www.novoprecision.com/products/rotary-wire-straighteners-rotary-tube-straighteners/> (acedido Dez. 23, 2019).
- [21] Wafios, «Desbobinadores», *Wafios*, 2019. <https://www.wafios.com/nc/pt/linha-de-equipamentos/produto-grupo/desbobinadores/> (acedido Dez. 17, 2019).
- [22] ZHZ Indústria, «Dobradeira de Arame MDA 8», *ZHZ Indústria*, 2019. <http://zhz.ind.br/pt/maquinas/dobradeira-de-arame-mda8> (acedido Dez. 17, 2019).
- [23] C. Rosa, F. J. G. Silva, L. P. Ferreira, T. Pereira, e R. Gouveia, «Establishing Standard Methodologies to Improve the Production Rate of Assembly Lines Used for Low Added-Value Products», *Procedia Manuf.*, vol. 17, pp. 555–562, 2018, doi: 10.1016/j.promfg.2018.10.096.
- [24] A. J. A. Magalhães, F. J. G. Silva, e R. D. S. G. Campilho, «A novel concept of bent wires sorting operation between workstations in the production of automotive parts», *J. Brazilian Soc. Mech. Sci. Eng.*, vol. 41, n. 1, pp. 1–10, 2019, doi: 10.1007/s40430-018-1522-9.

- [25] S. Chatti, M. Hermes, A. E. Tekkaya, e M. Kleiner, «The new TSS bending process: 3D bending of profiles with arbitrary cross-sections», *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 59, n. 1, pp. 315–318, 2010, doi: 10.1016/j.cirp.2010.03.017.
- [26] 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 Manuf.*, vol. 11, n. June, pp. 1035–1042, 2017, doi: 10.1016/j.promfg.2017.07.214.
- [27] K. Kuzman, «Closed loop control of the 3D bending process», *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 52, n. 1, pp. 205–208, 2003, doi: 10.1016/S0007-8506(07)60566-6.
- [28] M. A. Branquinho, J. Seidl, L. C. de Moraes, T. B. Branquinho, e J. de A. Junior, *Segurança de Automação Industrial e SCADA*. Elsevier, 2014. [Em linha]. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com>
- [29] G. A. Campana e C. P. Oplustil, «Conceitos de automação na medicina laboratorial: revisão de literatura», *J. Bras. Patol. e Med. Lab.*, vol. 47, n. 2, pp. 119–127, 2011, doi: 10.1590/S1676-24442011000200005.
- [30] labnetwork, «Escolhendo uma solução de triagem laboratorial automática para a manufatura enxuta», *labnetwork*, 2019. <https://www.labnetwork.com.br/noticias/como-escolher-uma-solucao-de-triagem-laboratorial-automatica-para-a-manufatura-enxuta/> (acedido Dez. 12, 2019).
- [31] X. F. Shao, «What is the right production strategy for horizontally differentiated product: Standardization or mass customization?», *Int. J. Prod. Econ.*, 2019, doi: 10.1016/j.ijpe.2019.107527.
- [32] Grow Skills, «Curso Automação Pneumática Nível I», *Grow Skills*, 2019. <https://www.growskills.pt/formacao-automacao-pneumatica-1-nivel.html> (acedido Jan. 04, 2020).
- [33] New Tooling Automação, «Linhas de Montagem», *New Tooling Automação*, 2019. <http://www.newtooling.com.br/produto/linhas-de-montagem/> (acedido Dez. 19, 2019).
- [34] I. Heijboer, «Complete verpakingslijnen voor het hele snackgroentensegment», *Groenten nieuws*, 2018, [Em linha]. Disponível em: <https://www.groentennieuws.nl/article/176239/complete-verpakingslijnen-voor-het-hele-snackgroentensegment/>
- [35] SEW EURODRIVE, «AGV's MTS Series», *SEW EURODRIVE*, 2019. <https://www.sewcan.ca/english/portfolios/maxolution/agv%27s-mts-series-> (acedido Dez. 20, 2019).
- [36] Mano, «Rolos Livres», *Mano*, 2019. <http://www.mano.pt/transportadores-de-rolos/transportadores-de-rolos-livres/> (acedido Dez. 20, 2019).
- [37] RNA, «Tablet Feeding Systems», *RNA*, 2019. <https://www.rnaautomation.com/products/feeding-and-handling/bowl->

- feeders/tablet-feeding-systems/%0D (acedido Dez. 20, 2019).
- [38] Mecalux Logismarket, «Sistema de etiquetagem automático (Herma H211)», *Mecalux Logismarket*, 2019. <https://www.logismarket.pt/marque-tdi/sistema-de-etiquetagem-automatico-1/2066553140-p.html> (acedido Dez. 23, 2019).
- [39] R. Ahmad e P. Plapper, «Safe and Automated Assembly Process using Vision Assisted Robot Manipulator», *Procedia CIRP*, vol. 41, pp. 771–776, 2016, doi: 10.1016/j.procir.2015.12.129.
- [40] J. A. M. F. De Souza, *Automação Industrial e Robótica Automação e Robótica*.
- [41] F. Gomes, «Objetivo atingido. Tesla Model 3 produzido ao ritmo de 5000 unidades por semana», *Razão Automóvel*, 2019, [Em linha]. Disponível em: <https://www.razaoautomovel.com/2018/07/tesla-model-3-5000-unidades-por-semana>
- [42] J. Isaac, «Volkswagen inicia produção do ID.3 e acelera ofensiva elétrica», *Auto Mundo*, 2019, [Em linha]. Disponível em: <https://www.automundo.pt/noticias/volkswagen-inicia-producao-do-id-3-e-acelera-ofensiva-eletrica/%0D>
- [43] ATN, «Endmontage», *ATN*, 2019. <https://atngmbh.com/unternehmen/branchenloesungen/automotive/endmontage/> (acedido Dez. 23, 2019).
- [44] Direct Industry, «Célula robotizada de movimentação / de soldagem por arco», *Direct Industry*, 2019. <https://www.directindustry.com/pt/prod/forster-welding-systems-gmbh/product-21138-1739149.html> (acedido Dez. 23, 2019).
- [45] Linear Motion Tips, «When Do You Need a Gantry Robot?», *Linear Motion Tips*, 2019. <https://www.linearmotiontips.com/when-do-you-need-a-gantry-robot/> (acedido Dez. 24, 2019).
- [46] Robotpark Academy, «CYLINDRICAL ROBOTS», *Robotpark Academy*, 2015. <http://www.robotpark.com/academy/all-types-of-robots/stationary-robots/cylindrical-robots/> (acedido Dez. 24, 2019).
- [47] bq, «Witbox 2», *bq*, 2019. <https://www.bq.com/pt/witbox-2> (acedido Dez. 24, 2019).
- [48] All On Robots, «Cylindrical robot type», *All On Robots*, 2019. <http://www.allonrobots.com/cylindrical-robot.html> (acedido Dez. 24, 2019).
- [49] All On Robots, «Spherical robots», *All On Robots*, 2019. <http://www.allonrobots.com/spherical-robots.html> (acedido Dez. 25, 2019).
- [50] Toshiba Machine, «Vertical Articulated Robots», *Toshiba Machine*, 2017. <https://www.toshiba-machine.co.jp/en/product/robot/lineup/tv/index.html> (acedido Dez. 25, 2019).
- [51] Damatic, «Automatyzacja produkcji», *Damatic*, 2019.

- <https://www.damatic.pl/automatyzacja-produkcji/%0D> (acedido Dez. 25, 2019).
- [52] Correio Da Manhã, «Sophia é primeiro robô no mundo a obter cidadania», *Corr. Da Manhã*, 2017, [Em linha]. Disponível em: <https://www.cmjornal.pt/mundo/detalhe/sophia-e-primeiro-robo-no-mundo-a-obter-cidadania>
- [53] Boston Dynamics, «SPOT», *Boston Dynamics*, 2019. <https://www.bostondynamics.com/spot> (acedido Dez. 12, 2019).
- [54] P. R. Santos, F. J. G. Silva, R. D. S. G. Campilho, G. F. L. Pinto, e A. Baptista, «A novel concept of a conduit transport system», *Procedia Manuf.*, p. In press, 2019.
- [55] FICOSA, «Global Prsence», *FICOSA*, 2019.
- [56] THK, *Exemplos de seleção de fuso de esferas*. [Em linha]. Disponível em: https://tech.thk.com/pt/products/pdf/br_b15_069.pdf#1

ANEXOS

- 6.1 Patins KWVE20-B
- 6.2 Alimentação e corte
- 6.3 Rotação axial
- 6.4 Dobrador
- 6.5 Recolha
- 6.6 Peças extra para a estrutura
- 6.7 Gabinete elétrico
- 6.8 Lista de peças do sistema elétrico

6 ANEXOS

6.1 Patins KWVE20-B

6.2 Alimentação e corte

Tabela 9 - Lista de peças não normalizadas alimentação e corte

Nome da parte	Quantidade	Processo e fabrico
80x40-6 mm 1550mm	2	Corte
80x40-6 mm 200mm	2	Corte
80x40-6 mm 800mm	4	Corte
80x40-6 mm 1390mm	2	Corte
LB-TRA_COR-01	2	Corte e furação
LB-TRA_COR-02	1	Corte e furação
LB-TRA_COR-03	1	Corte e furação
LB-TRA_COR-04	1	Corte e furação
lb-cort-1	2	Corte e furação
Base tração	1	Corte e furação
Base tração movel 1	1	Corte e furação
lateral tração	2	Corte e furação
frente tração	1	Corte e furação
tração	1	Corte e furação
veio tração	4	Torneamento
rolo tração	4	Torneamento
tração 2	1	Corte e furação
lb-tra-1	2	Corte e furação
lb-tra-2	2	Maquinagem
lb-tra-3	2	Torneamento
lb-tra-4	2	Torneamento
Base tração movel 2	1	Maquinagem
lb-cort-2	1	Maquinagem
lb-cort-3	1	Maquinagem
lamina	1	Maquinagem
lb-cort-4	1	Maquinagem
lamina 2	1	Maquinagem
Estrutura	1	Soldadura

6.3 Rotação axial

Tabela 10 - Lista de peças não normalizadas rotação axial

Nome da parte	Quantidade	Processo e fabrico
40x80-6mm 1360mm	2	Corte e furação
40x80-6mm 802mm	4	Corte
40x80-6mm 247mm	2	Corte
40x80-6mm 1200mm	2	Corte
lb-bra-10	1	Corte e furação
40x80-6mm 247mm furado	1	Corte e furação
calha u 35x70	1	Furação
Braço	1	Soldadura
lb-bra-4	1	Corte e furação
lb-bra-2	1	Corte e furação
lb-bra-7	1	Corte e furação
lb-bra-5	1	Torneamento
lb-bra-8	2	Corte e furação
lb-bra-6	1	Corte e furação
lb-bra-9	1	Corte e furação
120X60 810mm	1	Corte e furação
120X60 320mm	1	Corte e furação
120x60 200mm	1	Corte e furação
lb-bra-1	1	Maquinagem
lb-bra-3	1	Maquinagem
Estrutura	1	Soldadura

6.4 Dobrador

Tabela 11 - Lista de peças não normalizadas dobrador

Nome da parte	Quantidade	Processo e fabrico
40x80-6mm 1400mm	4	Corte e furação
40x80-6mm 830.5mm	8	Corte
40x80-6mm 159mm	4	Corte
40x80-6mm 1240mm	4	Corte
lb-do-10	2	Corte e furação
lb-do-7	2	Corte e furação
lb-do-8	2	Corte e furação
lb-do-11	4	Corte
lb-do-15	4	Corte
30x60 1400mm	2	Furação
lb-do-9	4	Corte e furação
lb-do-1	2	Corte e furação
lb-do-2	2	Corte e furação
lb-do-3	4	Torneamento
lb-do-4	4	Maquinagem
Estrutura	1	Soldadura

6.5 Recolha

Tabela 12 - Lista de peças não normalizadas recolha

Nome da parte	Quantidade	Processo e fabrico
50x25-2.5 230mm	2	Corte
50x25-2.5 360mm	2	Corte
50x25-2.5 600mm	1	Corte
LB_R_01	1	Corte
50x25-2.5 300mm	2	Corte
50x25-2.5 600mm furado	1	Corte e furação

6.6 Peças extra para a estrutura

Tabela 13 - Lista de peças não normalizadas peças extra para a estrutura

Nome da parte	Quantidade	Processo e fabrico
80x40-60mm 1199.5mm	1	Corte
80x40-6mm 332mm	4	Corte
80x40-6mm 161mm	2	Corte
80x40-6mm 250.5mm	3	Corte
80x40-6mm 130mm	2	Corte
80x40-6mm 430mm	4	Corte
80x40-6mm 265mm	2	Corte
Suporte arrame com garra	1	Soldadura
Tubo 25x25 325	1	Corte
Tubo 25x25 125	2	Corte e furação
Tubo 25x25 100	1	Corte
Cantuneira 20x3 62.5	1	Corte
Cantuneira 20x3 162.5	1	Corte
Tubo 25x25 pes	4	Corte
chapa 330.5x100	2	Corte

6.7 Gabinete elétrico

6.8 Lista de peças do sistema elétrico