



**Samuel Filipe Maia
Ferreira**

**Automatização de operações à saída da máquina
de cravação**



**Samuel Filipe Maia
Ferreira**

Automatização de operações à saída da máquina de cravação

Relatório de Projeto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob orientação científica de José Paulo Oliveira Santos, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro, e de António Manuel Godinho Completo, Professor Associado c/ Agregação do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

Este trabalho teve o apoio financeiro dos projetos UIDB/00481/2020 e UIDP/00481/2020 - FCT - Fundação para Ciência e Tecnologia; e CENTRO-01-0145-FEDER-022083 - Programa Operacional Regional do Centro (Centro2020), no âmbito do Acordo de Parceria Portugal 2020, através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional.

O júri

Presidente

Prof. Doutor João Paulo Davim Tavares da Silva
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

Arguente

Doutora Ana Sofia dos Santos Conceição
Técnica Especialista da Renault Cacia, S.A.

Orientador

Prof. Doutor António Manuel Godinho Completo
Professor Associado c/ Agregação da Departamento de Engenharia Mecânica (co-orientador)

Agradecimentos / Acknowledgements

Agradeço antes de mais à minha família que me ajudou, não só ao longo deste projeto, mas ao longo de toda a minha vida. Pelos valores inculcados, pela paciência e pela dedicação que demonstraram o meu eterno agradecimento.

Aos meus orientadores agradeço a disponibilidade e a paciência demonstradas. Ao professor José Paulo Santos pela sua simpatia e quase imediata disponibilidade. Ao professor António Completo pela enorme paciência e apoio demonstrados ao longo deste projeto. Ao professor Manuel Raposo pelo seu bom humor perante os obstáculos e pela rápida aceitação de mais um pupilo na sua área.

À Silencor, empresa onde se realizou este projeto, pela oportunidade dada de se ter uma experiência no mundo empresarial, em particular ao Departamento de Métodos que pela amabilidade, interesse e abertura demonstradas, fazem com que este local seja um bom espaço de trabalho. Assim, o meu sincero agradecimento ao serralheiro de uma vida Sr. Francisco Coelho e ao projetista Sérgio Santos, por todo o apoio demonstrado.

Ao Daniel Coelho, Tiago Reis, Bruno Seabra, Luís Costeira, Guilherme Salgueiro, Luís Costa, Diogo Matos, Miguel Moreira, pelo companheirismo no curso e pelas gargalhadas passadas fora deste.

Por último, mas não menos especial, quero agradecer à minha namorada, Diana Santos, pelo apoio, carinho, preocupação e compreensão que me ajudaram a ultrapassar momentos mais desafiantes.

Palavras-chave

Projeto mecânico; projeto de automação; projeto elétrico; seleção de conceitos; viabilidade económica; chão de fábrica

Resumo

No presente relatório de projeto procedeu-se à concepção, projeto e construção de um sistema/equipamento de armazenamento, capaz de recolher e acumular de forma automática as peças à saída de uma máquina de cravação. Este equipamento foi concebido tendo em consideração vários requisitos/-restrições da instalação industrial em funcionamento na empresa e do seu processo produtivo, tais como: a limitada área e altura para a instalação do equipamento à saída da máquina de cravação, o volume de componentes a acumular de forma a respeitar a autonomia do tempo de trabalho da máquina de cravação e respetivo operador, a acessibilidade e segurança do operador para a retirada das caixas cheias de componentes e colocação de caixas vazias, assim como o custo e facilidade de fabricação do equipamento com recurso aos próprios meios de fabrico disponíveis na empresa. Procedeu-se numa fase inicial a uma geração de diferentes conceitos para o princípio de funcionamento do equipamento que permitisse a recolha e acumulação de forma automática das peças à saída da máquina de cravação. Estes conceitos foram materializados com recurso a esquemas e esboços de funcionamento. Cada conceito foi comparado com os restantes e pontuado segundo diferentes critérios de seleção, sendo que no final deste processo foi selecionado o conceito melhor classificado para o desenvolvimento mecânico e de automação. Após a seleção do conceito procedeu-se à modelação com recurso a um *software* de CAD dos diferentes módulos do equipamento tais como, o módulo de suporte de caixas, o módulo de estrutura de suporte e o módulo de proteção e segurança. Na sequência desta modulação procedeu-se à verificação/dimensionamento de alguns elementos estruturais tais como os veios e rolamentos. No final destas etapas elaborou-se a documentação técnica associada ao projeto mecânico tais como os desenhos de conjunto e desenhos de definição. Também foi desenvolvido o projeto elétrico e de automação do equipamento tendo sido dimensionados e selecionados os diferentes componentes a integrar no sistema elétrico. Além disso desenvolveu-se o esquema/sequência de automatização e foram selecionados os respetivos sensores e proteções por forma a tornar o equipamento o mais autónomo e seguro possível. Desenvolveu-se ainda uma análise económica ao equipamento integrando os custos de fabrico deste e potenciais ganhos económicos associados ao sistema de produção. Finalmente iniciou-se a construção do equipamento projetado na própria empresa, estando este ainda numa fase de protótipo. Nesta fase de construção procedeu-se à integração de várias melhorias por forma a incrementar a fiabilidade de funcionamento do equipamento e tornar o seu fabrico mais simples e económico.

Keywords

Mechanical project; automation project; electrical project; concept selection; economic viability; factory floor

Abstract

In this project report we proceeded to the conception, design and construction of an automatic storage system/equipment, capable of automatically picking up and storing the pieces coming out of a crimping machine. This equipment was designed taking into consideration the various requirements/-restrictions of the industrial installation in operation in the company and its production process such as the limited area and height for the installation of the equipment at the exit of the crimping machine, the volume of components to be accumulated in such a way as to respect the autonomy of the working time of the driving machine and its operator, the accessibility and safety of the operator for the removal of full boxes of components and the placement of empty boxes, as well as the cost and ease of manufacturing the equipment using the company's own manufacturing resources. In an initial phase, different concepts were generated for the operating principle of the equipment that would allow the automatic collection and accumulation of pieces on leaving the crimping machine. These concepts were materialised using schematics and working sketches. Each concept was compared with the others and scored according to different selection criteria, and at the end of this process the best ranked concept for mechanical and automation development was selected. After selecting the concept, the modelling was carried out, using a CAD software, of the different equipment modules such as the housing support module, the support structure module and the protection and safety module. Following this modulation, some structural elements, such as shafts and bearings, were checked and sized. At the end of these stages, the technical documentation associated to the mechanical project was prepared, such as the assembly drawings and definition drawings. The electrical and automation project of the equipment was also developed and the different components to be integrated in the electrical system were sized and selected. In addition, the automation scheme/sequence was developed and the respective sensors and protections were selected in order to make the equipment as autonomous and safe as possible. An economic analysis of the equipment was also carried out, integrating its manufacturing costs and potential economic gains associated with the production system. Finally, the construction of the equipment designed in the company itself began, which is still at the prototype stage. In this construction phase, several improvements were integrated in order to increase the reliability of the equipment's operation and to make its manufacture simpler and more economical.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Contextualização e caracterização do problema	1
1.2	Motivação	2
1.3	Organização do documento	2
2	A Empresa	3
2.1	Grupo SACIA	3
2.2	Silencor	4
2.3	Máquina de Cravação	5
3	Geração e seleção de conceitos	11
3.1	Geração de conceitos	11
3.2	Seleção de conceito	14
4	Processos Tecnológicos	17
4.1	Maquinagem	17
4.2	Fresagem	18
4.3	Corte a Laser	19
4.4	FDM	22
5	Desenvolvimento de Projeto Mecânico	25
5.1	Introdução	25
5.2	Projeto e modelação	25
5.2.1	Módulo - suporte de caixas	25
5.2.2	Módulo - sistema de transmissão de movimento linear	25
5.2.3	Módulo - estrutura de suporte	31
5.2.4	Módulo - acionamento	35
5.2.5	Módulo - interface máquina-armazém	36
5.2.6	Módulo - proteção e segurança	38
5.3	Dimensionamento e verificação	41
5.3.1	Veios de acionamento	41
5.3.2	Rolamentos	45
5.3.3	Potência motor de acionamento	49
5.3.4	Chavetas	50
5.4	Documentação técnica	51
5.4.1	Desenhos de conjunto	52
5.4.2	Desenhos de montagem	53

5.4.3	Desenhos de definição	53
6	Desenvolvimento de Projeto Elétrico e Automação	55
6.1	Projeto Elétrico	55
6.1.1	Módulo de potência	55
6.1.2	Módulo de elementos elétricos	57
6.2	Projeto Automação	60
6.2.1	Módulo de Controlo	60
6.2.2	Módulo de Feedback	61
7	Análise Tecno-Económica	65
7.1	Orçamentação	65
7.2	Ganhos possíveis	66
7.2.1	Ganho Efetivo	66
7.2.2	Ganho Personalizado	68
7.3	Viabilidade de Projeto	68
8	Construção do equipamento	71
8.1	Módulo - estrutura de suporte	71
8.2	Módulo - apoio das correntes principais	72
8.3	Módulo - acionamento	74
8.4	Módulo - interface máquina-armazém	76
9	Conclusões e Trabalhos Futuros	77
9.1	Conclusões	77
9.2	Trabalhos futuros	78
	Bibliografia	78
A	Projeto elétrico e pneumático	85
B	Documentação técnica elementos elétricos - fonte EDR-120	99
C	Grafcet's	105
D	Desenhos de Conjunto	111
E	Desenhos de Montagem	113
F	Desenhos de Definição	115

Lista de Tabelas

3.1	Tabela de seleção e pontuação de conceitos	15
5.1	Dimensionamento de chavetas	51
7.1	Custo de Material	66
7.2	Valores de OEE calculados	67
7.3	Tabela resumo de custos e ganhos	69

Lista de Figuras

2.1	Distribuição do grupo SACIA	3
2.2	<i>Layout</i> da empresa Silencor. Adaptado [1]	4
2.3	Esquema de produção de peças	5
2.4	Evolução do material na empresa. Adaptado [2]	5
2.5	Descrição do processo da máquina de cravação	6
2.6	Local de colocação de peças para cravamento	6
2.7	Exemplo de peça obtida na máquina de cravação	7
2.8	HMI da máquina de cravação	8
2.9	Movimento para trocar caixas	8
2.10	Máquina de cravação - Local de saída de peças	9
2.11	Folha de dados preenchida da máquina de cravação	9
3.1	Representação esquemática de potenciais soluções (a) vista superior e (b) frontal): Conceito A - Armazém vertical	11
3.2	Representação esquemática de potenciais soluções (a) vista superior e (b) frontal): Conceito B - Armazém rotativo vertical	12
3.3	Representação esquemática de potenciais soluções (a) vista superior e (b) frontal): Conceito C - Armazém rotativo horizontal	13
3.4	Representação esquemática de potenciais soluções (vista superior): Conceito D - Plataforma horizontal por ação da gravidade	13
3.5	Representação esquemática de potenciais soluções (vista superior): Conceito E - Plataforma horizontal com roletes motorizados.	14
4.1	Exemplos de torno	18
4.2	Bucha com 4 grampos [3]	18
4.3	Ponto fixo [4]	18
4.4	Torneamento cilíndrico [5]	18
4.5	Ferramenta de corte [6]	18
4.6	Operação de roscagem [7]	19
4.7	Oper. de sangramento [8]	19
4.8	Fresagem frontal [9]	19
4.9	Fresagem cilíndrica [10]	19
4.10	Esquema de fresa vertical. Adaptado [11]	20
4.11	Esquema de funcionamento da tecnologia de corte a laser [12]	20
4.12	Tecnologia de corte a laser - Ponto focal. Adaptado [13]	21
4.13	Tecnologia de corte a laser - Corte de chapa. Adaptado [14]	21
4.14	Esquema de impressão 3D - FDM. Adaptado [15]	22

4.15	Máquina de FDM. Adaptado [16]	23
5.1	Suporte de caixas	26
5.2	Solução para manter horizontalidade das caixas. Adaptado [17]	26
5.3	Solução técnica para manter horizontalidade das caixas - Elementos fundamentais	27
5.4	Solução técnica para manter horizontalidade das caixas - Explicação	27
5.5	Acessório de Corrente WSK-2 [18]	28
5.6	Correntes com acessórios WSK-2	28
5.7	Sistema de ligação entre correntes	29
5.8	Momento fletor criado pelo peso da caixa	29
5.9	Sistema auxiliar de guias	30
5.10	Sistema auxiliar de guias - Furos rasgados	31
5.11	Detalhe de construção mecânica - Perfil das guias	31
5.12	Módulo - sistema de transmissão de movimento linear	32
5.13	Estrutura de apoio	33
5.14	Placa de apoio	33
5.15	Sistema de apoio	34
5.16	Peça de reforço	34
5.17	Detalhe de construção mecânica - Reforço placa central	35
5.18	Sistema de acionamento	35
5.19	Acoplamento Rotex. Adaptado [19]	36
5.20	Sistema de acionamento - Detalhado	36
5.21	Sistema Portinhola - Esquemático	37
5.22	Detalhe construção mecânica - Veio	37
5.23	Detalhe de construção mecânica - Peça fixadora	38
5.24	Módulo proteção e segurança	39
5.25	Módulo de proteção e segurança: (a) Portas abertas; (b) Portas fechadas	39
5.26	Detalhes de construção mecânica - Funcionamento das portas	40
5.27	Detalhes de construção mecânica - Funcionamento das portas II	40
5.28	Detalhes de construção mecânica - Colocação e retirada do rolamento	41
5.29	Detalhes de construção mecânica - Chapa frontal	41
5.30	Círculo de Mohr	43
5.31	Detalhe de construção - Veio acoplamento das caixas	43
5.32	Distância para o cálculo do momento fletor	44
5.33	Detalhe de construção - Apoios frontais	46
5.34	Esquema estrutural	46
5.35	Suporte correntes frontais: (a) Mancal; (b) Rolamento 4305 BBT VH [20]	47
5.36	Solução de apoio de veios	48
5.37	Chumaceira - SY25TF [21]	48
5.38	Motor e Redutor: (a) UM1A 63M2-4 [22]; (b) PSFBQ50B11C0-MB30 [23]	50
5.39	Elementos de ligação - chaveta [24]	51
5.40	Vistas principais do sistema de troca de caixas com atravancamento em milímetros	52
6.1	Montagem dos principais componentes do quadro elétrico	56
6.2	Esquema de arranque em estrela. Adaptado [25]	56

6.3	Placa do motor UM1A 63M2-4	57
6.4	Fonte de Alimentação EDR-120-24 [26]	57
6.5	Autômato Vipa M13-CCF0000 [27]	58
6.6	Sensores: (a) NAB112KC-DN2 [28]; (b) XCMD2110L1 [29]	59
6.7	Sensor indutivo SME-8M-DS-24V-K-0,3-M8D [30]	59
6.8	Conjunto: (a) Sensor fotoelétrico [31]; (b) Espelho para sensor [32]	59
6.9	Fluxogramas de controlo	60
6.10	Máquina de cravação - Mecanismo de feedback	62
8.1	Implementação - estrutura de suporte	71
8.2	Chumaceira - vista em corte. Adptado [21]	72
8.3	Desalinhamento da corrente principal traseira	72
8.4	Solução técnica de apoio das rodas traseiras	73
8.5	Solução técnica de apoio das rodas dianteiras	74
8.6	Colocação da placa exterior	74
8.7	Esquema de acionamento	74
8.8	Solução técnica de acionamento - pinhão duplo	75
8.9	Solução técnica de acionamento - alteração da posição do motor	75
8.10	Módulo - interface máquina-armazém	76

Capítulo 1

Introdução

1.1 Contextualização e caracterização do problema

Este projecto teve como objetivo o desenvolvimento e fabrico de um sistema automatizado de armazenamento de peças a instalar à saída da máquina de cravação, por forma a garantir o contínuo trabalho da mesma. Assim, nesta parte, apresentou-se e descreveu-se o problema que surgiu na empresa, o qual foi proposta a sua resolução à Universidade de Aveiro. Assim, visto tratar-se de um projeto que envolvia construção mecânica e automação, decidi pela escolha do mesmo, por envolver as áreas que mais me interessam. A empresa Silencor demonstrou o seu interesse em obter uma solução que lhes permitisse uma melhor eficiência, tendo sido este o grande objetivo deste projeto.

Conforme foi possível apurar pela explicação do funcionamento da máquina de cravação, a questão principal a resolver era a automatização da troca de caixas cheias por vazias à saída desta. Inicialmente era necessário que um operário saísse do seu local, onde alimentava a máquina de cravação com peças para serem cravadas, para o local onde estas seriam libertadas, a cada lote de 48 peças, tal como foi referido por parte da empresa.

Com efeito, foi necessário pensar numa solução que passasse pela construção mecânica de um dispositivo ou de uma outra máquina, que fosse capaz de auxiliar a máquina de cravação e que permitisse a troca automática das caixas. Uma condicionante deste projeto era que fosse possível trocar 3 caixas cheias por 3 vazias, sem que a máquina parasse. Tal trabalho seria feito posteriormente por um operário que conduzia um comboio logístico pela empresa. Assim, a máquina de cravação nunca pararia de funcionar, aumentando assim a sua rentabilidade.

Uma outra condicionante deste projeto foi a limitação em termos de chão de fábrica disponível, que é à volta de 1 m^2 . Por último, tudo isto teria que ser feito de maneira a respeitar o bocal por onde saem as peças que tem 910 mm de altura.

Todas estas limitações, excetuando a altura máxima, foram referidas por parte da empresa, quando submeteram este projeto, tal como se pode observar na lista de propostas de temas do DEM de 2020.

1.2 Motivação

A motivação para a realização deste projeto derivou do facto de que uma área como a engenharia mecânica, permitir reunir conhecimentos de áreas bastante distintas, como a de construção mecânica e a de automação. Desta forma, alguém que possua este tipo de conhecimentos, pode ser bastante útil numa empresa que pretenda rentabilizar e otimizar a sua área de trabalho, ou seja, o seu chão de fábrica, como é o caso deste projeto.

Desta forma, este projeto permitiu uma oportunidade única para conciliar conhecimentos de diferente áreas. Além disso, permitiu utilizar conhecimentos relacionados com a construção mecânica de um sistema, projectando e dimensionando os principais componentes mecânicos ao mesmo tempo que permitiu aplicar os conhecimentos relacionados com a automatização do mesmo, de maneira a tornar todo este sistema funcional, simples de utilizar e obviamente economicamente viável. Assim, como principal motivação deste projeto esteve a concepção e desenvolvimento de um sistema, que permitisse a rentabilização e automatização das operações à saída da máquina de cravação, com o intuito de fazer com que esta empresa fosse mais rentável e assim, pudesse ser mais competitiva no mercado nacional e internacional.

1.3 Organização do documento

Este documento encontra-se organizado em 10 capítulos. No primeiro capítulo foi feita uma introdução ao projeto. De seguida, no capítulo 2, apresentou-se a empresa, o grupo a que esta pertence, e onde se encontra a máquina de cravação. Além disso, ainda neste capítulo, foi explicado o funcionamento desta mesma máquina. No capítulo 3, mostrou-se o estudo, feito numa fase inicial, sobre possíveis soluções, assim como, a seleção da solução que se iria desenvolver, tendo em conta as necessidades técnicas. No capítulo 4 foram apresentados os principais processos tecnológicos usados neste projeto.

Relativamente ao capítulo 5, foi neste capítulo que se apresentou o projeto mecânico. Este foi dividido em módulos, sendo referido as diferentes soluções técnicas para cada um dos mesmos. Além disso, é ainda feito o dimensionamento e verificação dos principais elementos mecânicos. No capítulo 6, apresentou-se o projeto elétrico e os principais elementos escolhidos. Além disso, este capítulo possui a parte de automação deste projeto, sendo ainda descritos os programas criados.

No capítulo 7 foi feita uma análise, onde verificando-se os custos e os ganhos que a implementação deste projeto poderia arrecadar, se averiguou a viabilidade do mesmo. A seguir, no capítulo 8 foi mostrada a construção mecânica efetiva, até à data da escrita deste documento, e por fim, no capítulo 9 foi feito um balanceamento sobre possíveis elações a retirar deste projeto, assim como de possíveis trabalhos futuros.

Capítulo 2

A Empresa

2.1 Grupo SACIA

O grupo SACIA surgiu em 1990, em Viseu, tendo inicialmente sido criado como um gestor de produtos metalúrgicos ligeiros. É neste grupo que se encontra a empresa Silencor. Ao longo do tempo, adquiriu experiência que lhe permitiu desenvolver projetos na área da indústria automóvel. Este grupo foi fundado a partir da empresa Silencor, que tinha surgido em 1982 e que se dedicava ao fabrico de estruturas metálicas para a construção civil. No entanto, rapidamente se expandiu para outras áreas como a indústria automóvel e a termo industria, tendo atualmente toda a sua produção realizada em Águeda. Por último, ainda presente neste grupo, surge a Silchapa, em 2007, com a principal finalidade de abastecer o material necessário para as estampagens, como por exemplo os rolos de chapas de metal, [2].



Figura 2.1: Distribuição do grupo SACIA

Este grupo tem como principais clientes e parceiros a Vulcano, a Bosch e a PSA, com os quais já trabalham há vários anos. É de salientar que quase toda a sua produção é exportada para Vigo, Espanha, para este último grupo francês. Entre as principais tecnologias que dispõe, destacam-se a estampagem em prensas até 800 *Tn*, a soldadura de acordo com a norma europeia, ferramentas progressivas, montagens e lavagem por ultrassons. Entre alguns dos prémios que este grupo já recebeu, destaca-se o prémio

anual de melhor empresa, ganho por 4 ocasiões, distribuída pela PSA [2].

2.2 Silencor

A empresa Silencor, como referido anteriormente, realiza a produção e montagem de peças. Trabalha em turnos de 8 horas, durante 5 dias por semana, contabilizando um número de trabalhadores superior a 250. Nesta fábrica existem 3 departamentos de produção, sendo eles a Estampagem (C), a Soldadura (B) e a Montagem (A), tal como se pode ver na figura 2.2. É importante referir que a soldadura está situada no andar inferior do pavilhão, enquanto que por cima se encontra o departamento de montagem. Por último, como as peças produzidas necessitam de ser transportadas em caixas, tem de existir um local para estas serem colocadas quando estas chegam vazias, (D).

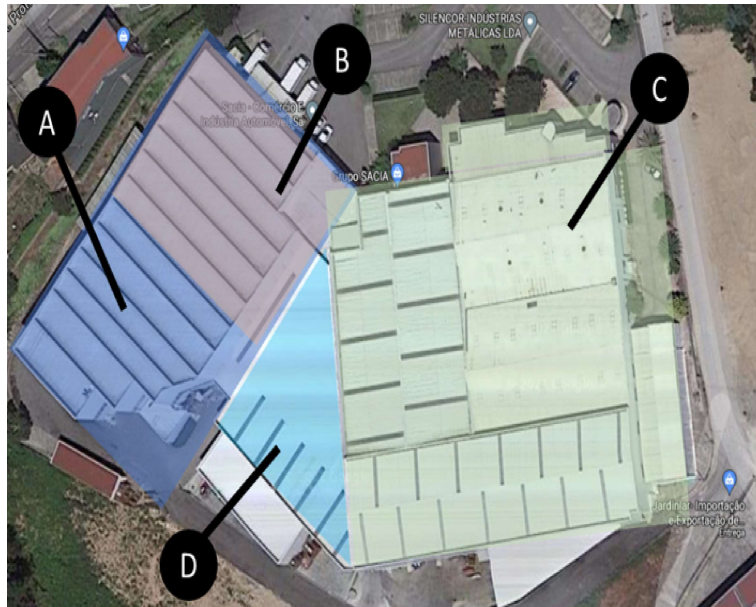


Figura 2.2: *Layout* da empresa Silencor. Adaptado [1]

Relativamente ao tipo de peças produzidas, existem mais de 2000 referências diferentes de peças, o que mostra a grande diversidade e capacidade de produção desta empresa. É importante realçar que o departamento de Estampagem é o mais requisitado de todos, sendo que é aqui que se inicia a produção das peças. De seguida, estas podem seguir para o departamento de Soldadura ou mesmo de Montagem, dependendo do pretendido por parte dos clientes. Relativamente à matéria prima utilizada, pode-se constatar que 99% da mesma é chapa de alumínio que é adquirida em rolos de 6 a 12 toneladas.

Uma imagem demonstrativa do processo de produção desta empresa pode ser a 2.3, onde se mostra a matéria-prima inicialmente passa por um controlo de qualidade, *A*, para verificar as condições da mesma. De seguida, vai para o Departamento de Estampagem onde se inicia a produção das peças. É importante referir que ao longo de todo o processo são feitos dois tipos de controlo de qualidade: um habitual, antes de uma dada matéria-prima entrar para um processo; e outro denominado de “volante”, que é efetuado regularmente com base num dado intervalo de tempo, representado com a designação *B*.

Neste último, o operário apanha uma determinada amostra de peças da sua produção e realiza testes para testar a qualidade das mesmas. Tais testes podem ser, por exemplo, para testar a dureza do material, assim como a precisão de furos ou soldas.

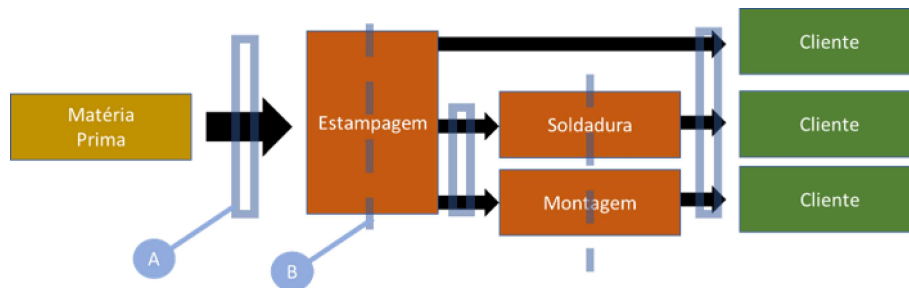


Figura 2.3: Esquema de produção de peças

Após a estampagem, as peças podem seguir como produto acabado para o cliente, ou podem servir de matéria-prima para outros processos como a Soldadura e a Montagem. No entanto, estas passam antes por diversos controlos de qualidade. Para se ter uma melhor noção do tipo de peças produzidas pode-se analisar a figura 2.4, onde se verifica que a partir de rolos de alumínio se pode obter diversas peças diferentes.

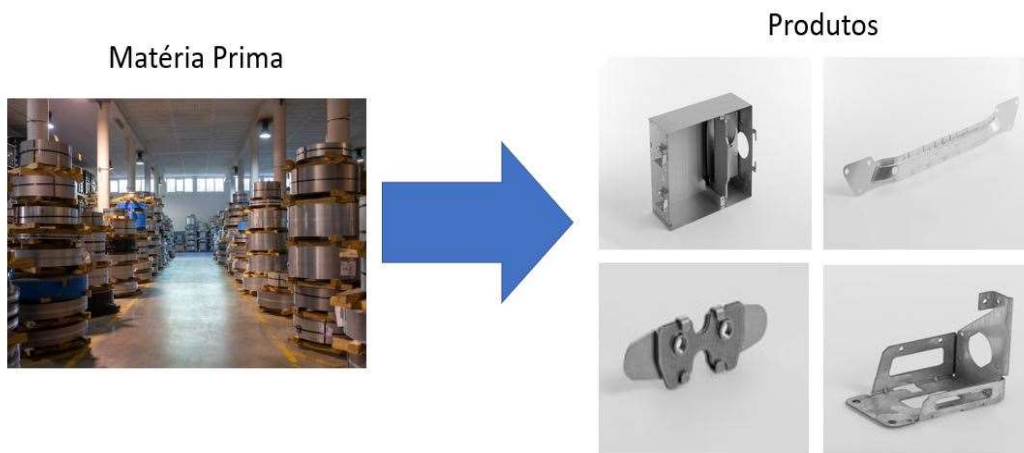


Figura 2.4: Evolução do material na empresa. Adaptado [2]

Quanto ao *stock*, este é guardado maioritariamente no armazém de Montagens, sendo aí que se encontra a máquina de cravação. Esta produz diversos tipos de peças diferentes, ocupando uma posição central neste armazém.

2.3 Máquina de Cravação

Como referido anteriormente, é no departamento de Montagens que se encontra a máquina de cravação. O objetivo deste projeto é a automatização das operações à sua saída. Para se possuir uma melhor ideia do que a máquina faz, apresenta-se a figura 2.5.

Este processo permite criar diversos lotes de peças diferentes, em que cada lote pode ter entre centenas a milhares de peças produzidas. Para isso, o operário inicialmente ape-

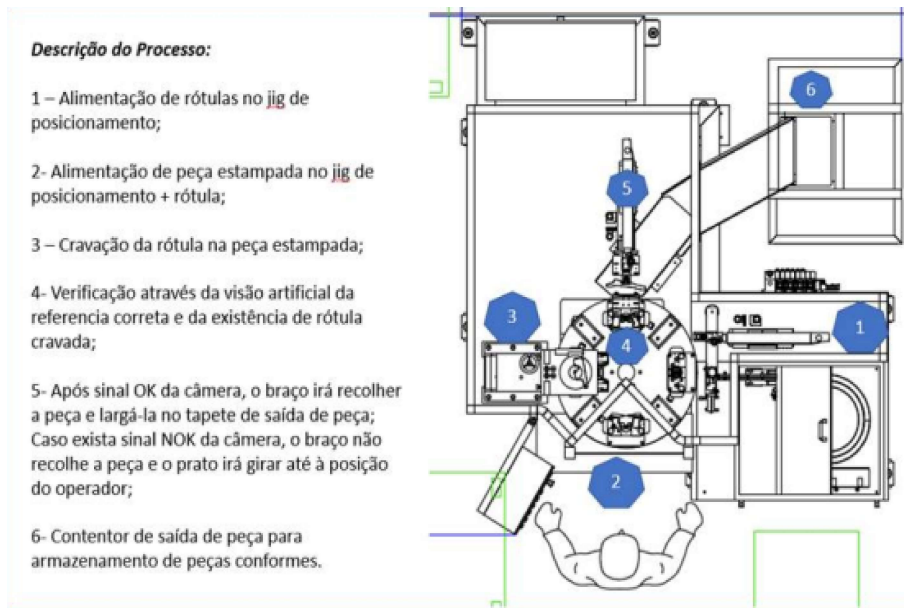


Figura 2.5: Descrição do processo da máquina de cravação

nas tem que inserir um código no HMI (*Human Machine Interface*) da própria máquina, correspondente ao tipo de peças que pretende realizar.

Inicialmente, o operário organiza as peças que vai colocar na máquina e coloca as rótulas no *jig* de posicionamento, tal como se pode observar na imagem 2.6. Tal organização permite-lhe uma maior eficiência, aquando da sua colocação. De seguida, e após colocar o código do lote de peças que deseja produzir, o prato principal roda passando uma rótula da posição 1 para 2, como se pode observar na figura 2.5, onde é colocada uma peça no *jig* com a rótula. Depois, após o prato rodar para a posição 3, dá-se a cravação da rótula na peça estampada.



Figura 2.6: Local de colocação de peças para cravamento

Após a cravação da rótula, dá-se uma nova rotação do prato para uma posição onde irão ocorrer duas operações. Verifica-se através de visão artificial, que a peça colocada inicialmente na posição 2 está de acordo com a referência correta e verifica-se ainda a existência da rótula na peça estampada. Deste modo, caso se verifiquem todas as condições um braço robótico recolhe a peça e larga-a sobre o tapete rolante, que está continuamente ligado. No entanto, caso não se verifiquem as condições necessárias a peça permanece no prato, sendo que o braço nem sequer se move. Por último, a peça desloca-se no tapete rolante para o contentor de peças, na posição 6. Porém caso, tenha permanecido no prato, por não se tratar da peça correspondente à referência ou por faltar uma rótula, esta irá rodar novamente para a posição 1, sendo que desta vez não lhe é colocada uma rótula e de seguida para a posição 2, onde o operário observa que esta peça possui algum defeito e a retira de circulação.

Um exemplo de peça obtida nesta máquina pode ser observado na figura 2.7. Deste modo pode-se verificar que a peça da direita ainda não passou pela processo de cravação, que irá produzir uma peça semelhante à da esquerda. No meio da imagem tem-se um exemplo de rótula que é aplicado.



Figura 2.7: Exemplo de peça obtida na máquina de cravação

Destaca-se que todo este processo, permite a realização de várias etapas simultaneamente, permitindo assim, uma grande poupança no tempo de produção. Desse modo, caso todas as condições das peças se verifiquem, é possível libertar uma peça a cada 4 segundos.

Toda a informação sobre as peças produzidas com ou sem defeitos, pode ser visualizada no HMI da própria máquina, como se pode observar na figura 2.8 que, além de permitir a colocação dos códigos dos respectivos lotes, auxilia o operário sobre o momento de troca de caixas, que no caso específico desta máquina é realizado quando se conclui um lote de 48 peças. Salienta-se que uma caixa, denominada por "BAC", cheia de peças, possui um peso não superior a 12,5 Kg, sendo que é uma política da empresa, para que um operário possa trabalhar de maneira segura e confortável.

Quando se completa um lote, a máquina de cravação fica bloqueada, até que o operário pressione um botão da consola HMI, confirmando que já efetuou a troca de caixas. Para realizar esta operação, o operário tem que se deslocar desde a posição 1, até à posição 6, de acordo com a imagem 2.5, o que se traduz num movimento como o da figura 2.9.

Existem ainda nesta máquina umas barreiras de segurança, que podem ser observadas na figura 2.6, e que são interrompidas pelo operário para colocar uma nova peça. Desse



Figura 2.8: HMI da máquina de cravação

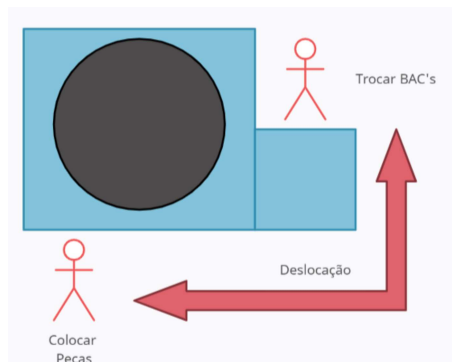


Figura 2.9: Movimento para trocar caixas

modo, é enviada essa informação ao autómato da máquina, que não permite que o prato rode aquando dessa operação. Por fim, os lotes completos são guardados num armazém deslizando horizontal, como se pode ver na figura 2.10.

Toda a informação como o número de peças produzidas, o número de lotes completos, o número de peças com defeitos ou tempo de fabrico são transmitidas pelo autómato ao HMI. É a partir deste último dispositivo que o operário observa e retira a informação que necessita de transmitir. Assim, de seguida, insere essa informação numa folha de papel, tal como se pode observar na figura 2.11. Neste caso é possível verificar que é necessário inserir o número do operário, a data, hora inicial e final em que se esteve a produzir e a quantidade de peças que efetivamente se realizou. De seguida, através de um dos computadores presentes no chão de fábrica, insere-se manualmente esta informação na rede interna da empresa, sendo possível posteriormente ser acedida, de maneira a verificar se tudo correu como previsto ou se houve algum contratempo.

Quanto ao autómato da máquina de cravação, este é o modelo Simatic S7-300 da



Figura 2.10: Máquina de cravação - Local de saída de peças

MAQUINA	Nº OPER.	DATA	INICIO	FINAL	PROD.	REJEIT.	OBS.
767	478	26.11.20	10:30	10:35	TPM		
			10:35	12:00	193		
			12:30	15:25	1487		
767	918	30.11.20	9:50	9:55	TPM		
767	918	30.11.20	9:55	10:05	Organização do Espaço		
767	918	30.11.20	10:05	10:10	10		
767	918	30.11.20	10:20	12:30	950		
767	422	30/11/20	16:30	16:40	TPM		
767	422	30/11/20	16:40	18:00	720		
767	422	30/11/20	18:15	21:00	1056		
767	422	30/11/20	21:35	01:50	1278		

Figura 2.11: Folha de dados preenchida da máquina de cravação

Siemens e encontra-se no quadro eléctrico da própria máquina.

Capítulo 3

Geração e seleção de conceitos

3.1 Geração de conceitos

Num projeto tão específico como este, que envolve não só a temática de construção mecânica, como a de automação, foi necessário numa fase inicial estudar possíveis soluções. Deste modo, inicialmente elaborou-se alguns conceitos com o intuito de se verificar qual seria o que melhor corresponderia aos diversos requisitos impostos. Assim, numa fase inicial deste projeto, e após uma visita à empresa Silencor, onde se retirou as dimensões do local de saída de peças da máquina de cravação, elaborou-se um desenho em CAD dessa mesma zona, para se proceder a um estudo mais aprofundado de possíveis soluções.

Inicialmente pensou-se em fazer uma variante de um armazém vertical. Tal armazém, denominado por conceito "A", tal como se pode verificar a figura 3.1, seria colocado por baixo do local de saída de peças da máquina de cravação, (1). Este armazém, teria o local de colocação de caixas vazias, (2), à sua direita. No entanto, para estas não caírem todas ao mesmo tempo, teria que se colocar um sistema de trinque, (3), com um ou dois motores elétricos, por exemplo. De seguida, após uma caixa vazia cair na plataforma horizontal, um cilindro, (4), colocado horizontalmente iria puxar essa caixa e colocava-a por baixo do tapete. Ao mesmo tempo que essa caixa era puxada, esta empurrava a última caixa cheia, (5), fazendo com que esta caísse sobre uma plataforma, (6), que ia descendo gradualmente, com o auxílio de um cilindro colocado na vertical.

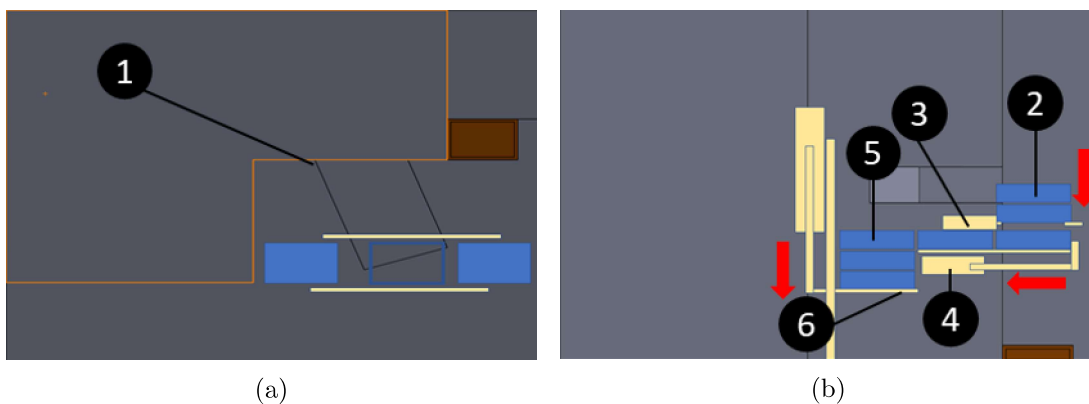


Figura 3.1: Representação esquemática de potenciais soluções (a) vista superior e (b) frontal): Conceito A - Armazém vertical

Uma outra solução, que até tinha sido sugerido pela empresa Silencor, no início deste projeto, foi um armazém vertical rotativo do tipo “kardex”, que se denominou por conceito "B". Aqui pensou-se em tentar colocar o armazém por baixo do tapete rolante, ou seja, o armazém não poderia ter uma altura maior que 910 *mm*. No entanto, após alguma reflexão verificou-se que seria uma solução de difícil execução face a essa condicionante. Desse modo, tal como se pode ver a imagem 3.2, optou-se por analisar um armazém rotativo vertical mais alto que o próprio tapete, (1). No entanto, isto implicaria que o armazém teria que ficar ligeiramente deslocado da parte final do local de saída de peças, ou seja, as peças poderiam cair fora da caixa, (2). Assim, teria que se desenvolver um mecanismo para colocar e retirar as caixas, (3), que seriam colocadas por baixo do tapete, (4), para apanhar as peças que caem. Tal mecanismo poderia ser desenvolvido com base num cilindro pneumático, ou mesmo num motor e parafuso sem fim. Além disso, o próprio armazém teria que ter umas ranhuras na sua plataforma que permitissem retirar e colocar as caixas por parte deste mecanismo.

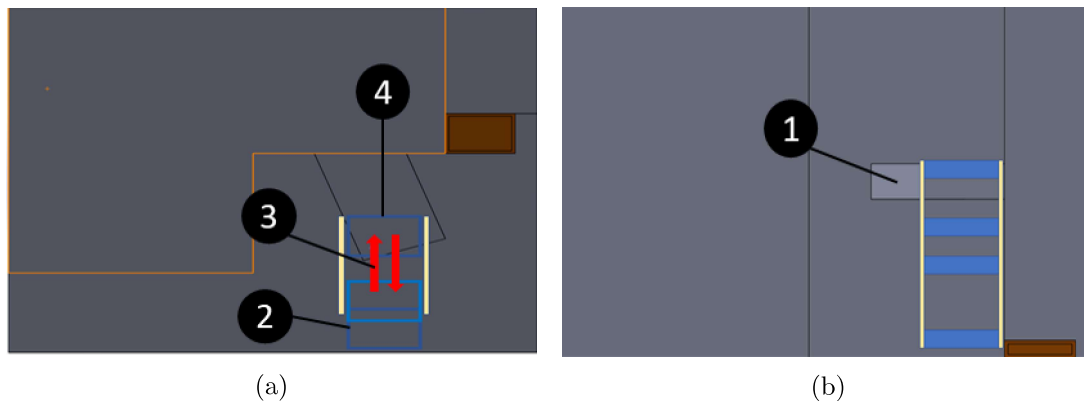


Figura 3.2: Representação esquemática de potenciais soluções (a) vista superior e (b) frontal: Conceito B - Armazém rotativo vertical

De modo a tentar colocar esta máquina por baixo do tapete de saída de peças, pensou-se numa solução do tipo “kardex”, mas cuja altura não fosse uma condicionante. Deste modo, considerou-se uma variante para um armazém rotativo horizontal, conceito "C", tal como se pode ver um esquema do mesmo na figura 3.3. Este armazém utilizaria umas guias e correntes, (1), para transportar e manter as caixas, (2), na horizontal. Para movimentar as correntes teria ainda umas rodas dentadas, (3). Todo este sistema seria movimentado por um motor e redutor, ou seja, não necessitaria de sistemas auxiliares, como as opções referidas anteriormente.

Após a visita à empresa, verificou-se que esta já possuía sistemas de armazenamento horizontais, pelo que se procedeu à realização do estudo desta opção. Tal sistema, conceito "D", tal como se pode verificar na figura 3.4, iria utilizar um sistema de alimentação de caixas, (1), que iria ser colocado na sua direita, tal como a solução do Armazém vertical, conceito "A". Além disso, teria que ser aplicado um novo sistema de trinque, (2), para garantir que a nova caixa vazia, ficasse por baixo do tapete. A movimentação das caixas, esquematizada pelas setas da figura, seria realizado por ação da gravidade. Assim as caixas iriam deslizar sobre roletes, que se encontravam na diagonal, uns em relação aos outros, permitindo assim este movimento.

Uma última opção que se estudou, foi a utilização de uma plataforma horizontal onde

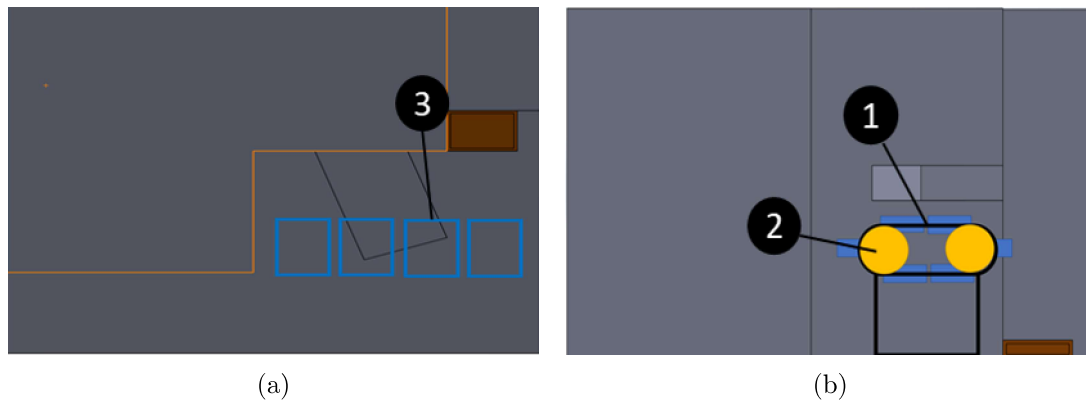


Figura 3.3: Representação esquemática de potenciais soluções (a) vista superior e (b) frontal: Conceito C - Armazém rotativo horizontal

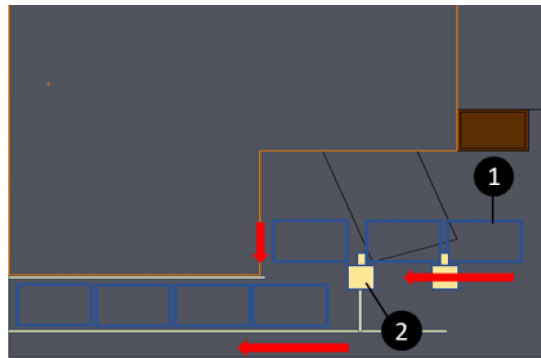


Figura 3.4: Representação esquemática de potenciais soluções (vista superior): Conceito D - Plataforma horizontal por ação da gravidade

se colocavam todas as caixas, tal como se pode ver a figura 3.5. Esta opção, denominada por conceito "E", permitia a colocação de 7 caixas, e a movimentação das mesmas teria que ser feita com base em rolos motorizados, ou com recurso a vários motores, por exemplo. É de notar que esta solução permite 7 e não 8 caixas, pois é necessário um espaço vazio inicial, (1), para se poder começar a movimentar ordenadamente as caixas. Assim, a caixa (A), irá para o espaço vazio, enquanto que a caixa (B), vai ocupar o espaço antigo da caixa (A). Esta troca só terminava quando todas as caixas estivessem num novo lugar, e no final, após todas estarem cheias teriam que ser trocadas por um operário.

Assim, elaborou-se um total de 5 soluções distintas que permitiam automatizar as operações à saída da máquina de cravação de maneira diferente. Dentro deste lote de soluções umas eram mais fáceis de implementar que outras, tal como existiam soluções mais económicas que outras. Deste modo foi necessário escolher o conceito que melhor se adequa às condições impostas, para que este possa desenvolver

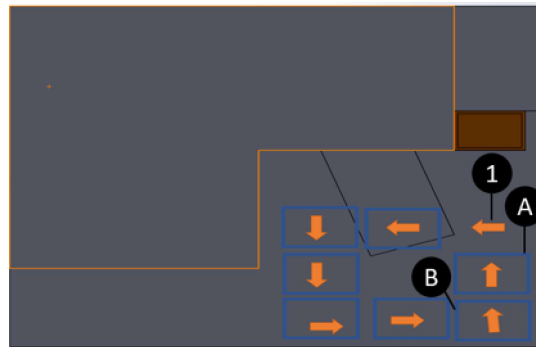


Figura 3.5: Representação esquemática de potenciais soluções (vista superior): Conceito E - Plataforma horizontal com roletes motorizados.

3.2 Seleção de conceito

Após a geração de conceitos foi necessário definir e analisar qual é que seria o melhor, ou seja, qual é que seria aquele que melhor definiria os requisitos deste projeto. Para auxiliar esta decisão, elaborou-se uma lista de critérios, que permitiram verificar as forças e fraquezas dos diversos conceitos, [24].

Como o objetivo deste trabalho era o desenvolvimento de um sistema de armazenamento de peças, que trabalhasse continuamente, definiu-se como um dos critérios, a autonomia. Assim, quanto mais tempo a máquina pudesse trabalhar sem que fosse necessário trocar as suas caixas cheias por vazias, melhor seria a sua autonomia. Outro critério, que até foi imposto pela empresa, estava relacionado com a área ocupada deste sistema, que deveria ser a menor possível. Estes critérios, por serem cruciais e impostos pela empresa, como objetivos deste projeto, foram também definidos como tendo um peso elevado.

A facilidade de fabrico foi outro critério que se definiu, visto se ter ponderado que quanto mais complexo o projeto, mais difícil a sua construção e maior o seu custo. Por último, estipulou-se que a viabilidade do projeto, seria também um critério. Dessa forma, e apesar de ser o critério com menos peso, este foi estipulado, com base na resposta por parte da empresa, quando lhe foram apresentados os diversos conceitos. Dessa discussão, verificou-se quais os projetos que empresa mais estaria interessada em desenvolver, tendo-se elaborado a tabela 3.1.

Assim, pode-se verificar o peso de cada critério e a pontuação para cada um dos conceitos. A avaliação foi feita de 1 a 5, sendo 1 "muito pior" e 5 "muito melhor", relativamente aos diferentes conceitos (A, B, C, D e E).

Pode-se observar, por exemplo, que o conceito A, o armazém vertical, apesar de ser um conceito que permitia ter uma boa autonomia e que não ocupava muito espaço, comparativamente com os outros conceitos, apresenta um desenvolvimento mais complexo. Além disso, pode-se observar que o conceito D, a plataforma horizontal por ação de gravidade, apesar de possuir uma excelente autonomia e facilidade de fabrico, ocupa uma grande área, algo que é refletido na sua nota. Algo semelhante também ocorre com o conceito E, a plataforma horizontal com roletes motorizados.

Deste modo, concluiu-se que a melhor solução para se desenvolver seria o conceito C, ou seja, o armazém rotativo horizontal. Este possuía uma boa autonomia, e apesar de

Tabela 3.1: Tabela de seleção e pontuação de conceitos

Conceitos											
Critério seleção	Peso	A		B		C		D		E	
		Pon.	Peso	Pon.	Peso	Pon.	Peso	Pon.	Peso	Pon.	Peso
Autonom.	35%	4	1,4	4	1,4	4	1,4	5	1,75	5	1,75
Facilida. fabrico	20%	1	0,2	2	0,4	3	0,6	5	1	4	0,8
Área ocupada	35%	4	1,4	5	1,75	5	1,75	1	0,35	2	0,7
Viabilid.	10%	3	0,3	5	0,5	4	0,4	1	0,1	1	0,1
Total		3,3		4,05		4,15		3,2		3,35	
Ranking		4 ^o		2 ^o		1 ^o		5 ^o		3 ^o	

existirem conceitos com maior facilidade de fabrico, este possuía uma área ocupada muito menor que os restantes e foi uma das soluções que mais interessou à empresa Silencor.

Capítulo 4

Processos Tecnológicos

Relativamente aos diversos processos de concepção de peças é importante realçar que existem diversas maneiras de produzir peças, no entanto para este projeto destacam-se a maquinagem, a fresagem, o corte a laser e a impressão 3D. Estes processos foram escolhidos visto a empresa possuir todas estas tecnologias, excetuando a impressão 3D, o que possibilitava uma substituição de peças mais rápida, caso fosse necessário concebê-las de novo. Relativamente à impressão 3D, a escolha desta tecnologia deveu-se ao facto de ser uma solução mais económica, para a realização de umas dadas peças com uma geometria bastante complexa. Assim, de seguida apresentam-se estas tecnologias mais aprofundadamente.

4.1 Maquinagem

O torneamento utiliza uma ferramenta que penetra na peça e que se encontra num movimento rotativo ao longo de um eixo, [33]. Deste modo, dá-se o corte contínuo e regular do material. Atualmente, o torno paralelo, figura 4.1a, é o mais utilizado na indústria, [34], e o seu eixo está colocado horizontalmente. Entre os seus principais componentes destacam-se o barramento, figura 4.1b (1), que é construído a partir de ferro fundido, constituindo assim um conjunto indeformável, visto possuir diversas nervuras de reforço. Neste componente são acoplados outros dois elementos, também em ferro fundido, denominados por cabeçote fixo, (3), e cabeçote móvel, (4). Relativamente ao primeiro, este é um elemento maciço que permite regular a velocidade e que possui duas chumaceiras onde roda a árvore de cabeçote. Esta, por sua vez, é um elemento, que permite um movimento de rotação contínuo da peça a maquinar, que se encontra acoplada a esta através de uma bucha de fixação, figura 4.2, com 3 ou 4 grampos.

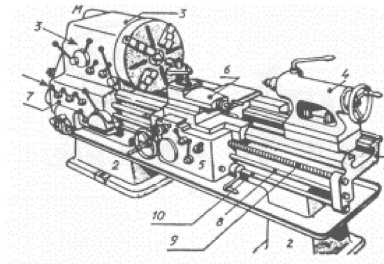
Quanto ao cabeçote móvel, este permite apoiar a outra extremidade da peça a ser maquinada, sendo movimentado manualmente na direção da mesma. Este permite que lhe sejam acoplados elementos que vão estar em contacto com as peças, como por exemplo um ponto fixo, figura 4.3.

É o conjunto carro principal e porta ferramentas, que permite o movimento longitudinal e transversal da ferramenta, figura 4.4. Este avanço, pode ser realizado de maneira automática ou manual, [34]. Relativamente às ferramentas estas são realizadas em diversos materiais tais como aços ao carbono, aços especiais ou carbonetos duros [37].

Entre as diversas operações possíveis de realizar por torneamento, para este trabalho,



(a) Torno industrial [35]



(b) Esquema genérico de um torno [36]

Figura 4.1: Exemplos de torno



Figura 4.2: Bucha com 4 grampos [3]



Figura 4.3: Ponto fixo [4]

destaca-se o torneamento cilíndrico exterior, o sangramento e a roscagem. Relativamente à primeira operação, e depois de ter a peça que irá ser maquinada já em movimento de rotação, uma ferramenta com um movimento de avanço, em que se desloca longitudinalmente e paralelamente em relação à peça, tem ainda um movimento de penetração tal como se pode ver na figura 4.4. Desta forma, a peça adquire as dimensões e formato desejados, [37].

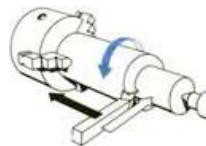


Figura 4.4: Torneamento cilíndrico [5]



Figura 4.5: Ferramenta de corte [6]

Quanto à roscagem, que neste projeto é exterior, o movimento helicoidal que permite esta operação é possível com dois movimentos, sendo estes um movimento de translação da ferramenta e de rotação da peça, [37], tal como se pode verificar na figura 4.6. Assim, de modo a definir o passo da rosca é necessário configurar estes 2 parâmetros.

Relativamente à operação de sangramento, esta permite seccionar o veio, ou ainda realizar alguns detalhes, tais como ranhuras. Assim, esta operação permite que a ferramenta de corte penetre lentamente na peça, tendo-se o cuidado de ir alargando a ranhura de modo a não entalar a lâmina, [37], tal como se pode observar na figura 4.7.

4.2 Fresagem

Relativamente à fresagem, esta também consiste na retirada de material, no entanto, é com base numa ferramenta rotativa, tal como se pode observar na figura 4.8. A máquina



Figura 4.6: Operação de roscagem [7] Figura 4.7: Oper. de sangramento [8]

onde se costuma realizar esta operação é a fresadora, que permite ainda a realização de outras operações como furação e mandrilagem. A operação de fresagem permite a obtenção de superfícies planas com certos detalhes geométricos, impossíveis de serem obtidos por torneamento. Existem ainda vários tipos de operações de fresagem dependentes do tipo de máquina a utilizar, [38].

Assim como acontece no torneamento, quando se pretende retirar bastante material, recorre-se ao desbaste da peça e de seguida a um acabamento. Além disso, existem diferentes tipos de fresagem, que são definidos pela relação entre o eixo de rotação da ferramenta e a superfície de trabalho da peça. Assim, tal como se pode ver na figura 4.8, existe a fresagem frontal, em que o eixo de rotação está perpendicular à superfície de trabalho e a fresagem cilíndrica, em que o eixo está paralelo à superfície de trabalho, tal como se pode verificar na figura 4.9, [38].

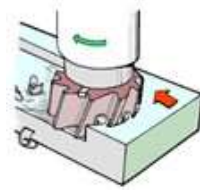


Figura 4.8: Fresagem frontal [9]

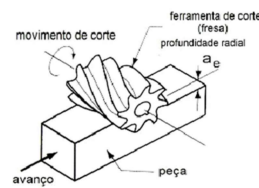


Figura 4.9: Fresagem cilíndrica [10]

Quanto ao tipo de fresadoras existentes, apesar de haver detalhes construtivos semelhantes, estas podem ser divididas consoante a posição da árvore principal. Assim, caso esta seja somente vertical, trata-se de uma fresadora vertical, da mesma forma que se tiver apenas na posição horizontal se trata de uma fresadora horizontal. Por último, caso possa ocupar qualquer orientação trata-se de uma fresadora universal, [38].

Na figura 4.10, pode-se observar uma fresadora vertical de fresagem frontal, onde se verifica que a ferramenta trabalha no eixo de Z e que está acoplada ao cabeçote principal, (1), que por sua vez se encontra fixo na coluna da máquina, (6). A peça, encontra-se sobre a mesa, (2), que é suportada pelo carro transversal, (3). É este componente que permite o movimento da peça no plano XY. O movimento vertical, no eixo Z, é dado pela consola, (4), que por sua vez é suportada pela base da máquina, (5), [38].

4.3 Corte a Laser

Relativamente à tecnologia de corte a laser (*“Light amplification by stimulated emission of radiation”*), esta em português pode ser definida como amplificação da luz por emissão estimulada de radiação. Este processo, consiste na excitação de eletrões de um determinado átomo, usando para isso um veículo ativo, que é um material que converte energia

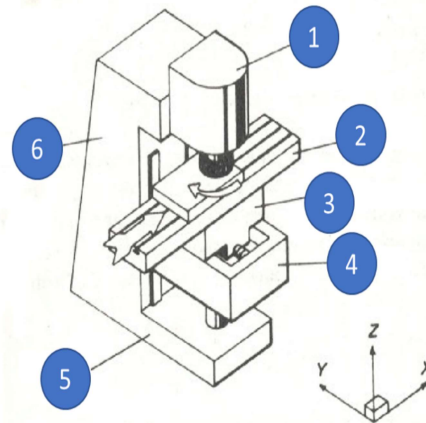


Figura 4.10: Esquema de fresa vertical. Adaptado [11]

elétrica em energia de radiação. Assim, pode ser criado um feixe de luz com elevada energia sob a forma de calor, que pode ser capaz de fundir e vaporizar o material, de um dado ponto, em que este feixe seja focado. Deste modo, é possível cortar vários tipos de materiais, [39].

Atualmente na indústria o tipo mais comum de laser utiliza o dióxido de carbono (CO_2) como veículo ativo, apesar de outros gases como hélio (He) e nitrogênio (N_2) lhe serem adicionados. No entanto, esta tecnologia tem como uma enorme desvantagem o facto de alterar as propriedades do material, na região de corte,[39].

Resumidamente, e tal como se pode observar na figura 4.11, o gás CO_2 vai circular no interior de uma câmara de maneira contínua, e ao ser estimulado por dois elétrodos de alta tensão, a energia deste gás, vai ser aumentada. Assim, os eletrões do mesmo, vão ficar excitados e posteriormente, ao perderem essa energia e ao voltarem ao nível energético original, vão libertar energia sob a forma de luz. Essa luz é depois conduzida a partir de espelhos, sendo concentrada na parte final da máquina, tal como se pode observar na imagem 4.12, num único ponto, o foco, (3), [39]. Além disso, pode-se observar nessa imagem que até nessa zona o feixe de luz se encontra sob a pressão dos gases, (1), para poder vaporizar o material da peça em questão, (2).

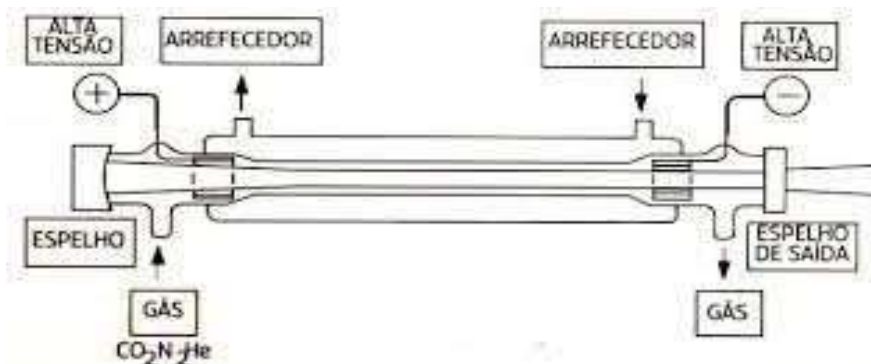


Figura 4.11: Esquema de funcionamento da tecnologia de corte a laser [12]

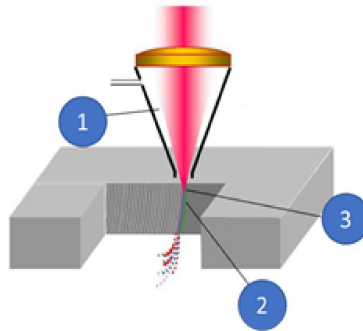


Figura 4.12: Tecnologia de corte a laser - Ponto focal. Adaptado [13]

Como esta tecnologia envolve o manuseamento de um feixe de alta energia a grandes velocidades, normalmente utilizam-se mesas móveis, onde o cabeçote, por onde sai o laser, se move com base num sistema *CAD*. Na figura, 4.13, pode-se ver que o cabeçote, (1), que corta o material que normalmente se encontra sob a forma de chapas, (2). Além disso, este material encontra-se sob uma base com diversos pontos, (3). Tal acontece, para que a chapa e posteriormente as peças a que esta der origem fiquem o mais estáveis possíveis sob esse plano, e ao mesmo tempo, fazendo com que o laser não danifique demasiado essa mesma base.

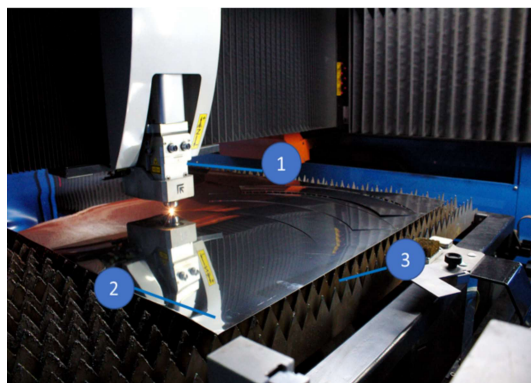


Figura 4.13: Tecnologia de corte a laser - Corte de chapa. Adaptado [14]

É importante referir que o material vaporizado é retirado com o auxílio de um gás, libertado pelo cabeçote, que tem que ser escolhido consoante o tipo de corte desejado, [39].

No entanto, e apesar desta tecnologia envolver grandes quantidades de energia, esta não permite o corte de qualquer tipo de material. Tal acontece, pois, o material comporta-se de maneira diferente, quando submetidos a tais quantidades de energia. No entanto, para este projeto destacam-se os seguintes:

- Aços não ligados – Podem ser facilmente cortados e a qualidade de corte é boa sem a formação de rebarbas;
- Alumínio – A espessura máxima encontra-se entre 4 mm e 6 mm, face a este material

refletir a luz. Além disso, como é um bom condutor térmico, a concentração de calor é dificultada.

4.4 FDM

Contrariamente aos processos anteriores, que permitem o fabrico de peças por manufatura subtrativa, existem outros processos que permitem a fabricação de peças por manufatura aditiva, que são definidos, segundo a designação ISO/ASTM 52900, como processos de fabrico com base na junção de materiais a partir de modelos 3D, normalmente camada a camada. De entre os diversos processos deste tipo de tecnologia, destaca-se o FDM, "*Fused Deposition Modelling*", que é o processo mais utilizado neste tipo de equipamentos, [40], e é o processo utilizado neste projeto.

O processo FDM, consiste na deposição de material polimérico fundido, camada a camada, criando um objeto tridimensional com a geometria desejada, [40]. Este processo utiliza um bico extrusor que possui uma fonte de calor responsável por aquecer e alterar o estado físico do material a extrudir, que vem na forma de uma bobina de filamento. Quando o material volta a solidificar, depois de ser extrudido, serve de base para a camada seguinte. Importa referir que pela cabeça extrusora, também denominada por cabeçote extrusor, pode sair mais do que um tipo de filamento, de maneira a dar maior resistência à peça produzida, [41]. Este processo, pode ser visualizado na figura 4.14, onde se pode verificar um cabeçote extrusor, (1), o filamento, (2), e o material extrudido, (3).

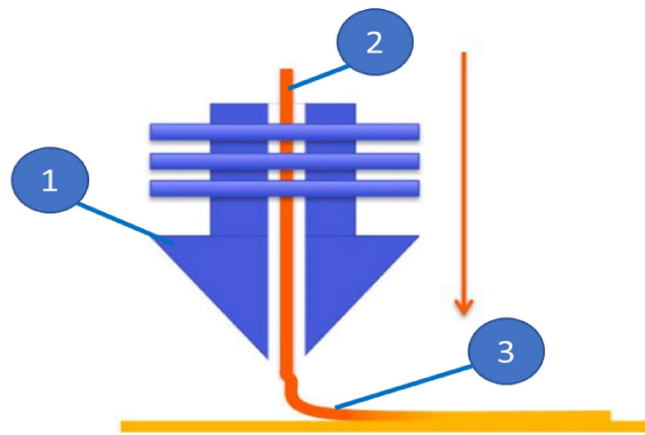


Figura 4.14: Esquema de impressão 3D - FDM. Adaptado [15]

Quanto à estrutura da máquina, tal como se pode ver na figura 4.15, os principais componentes são a plataforma, (1), onde é colocado o material, e que se movimentam no eixo Z, enquanto que o cabeçote, (2), se movimentam no plano XY, e pode possuir dois bicos extrusores que permite a adição de material de suporte, que como referido anteriormente, é armazenado em bobines, (3), [41].

A máquina em si, não possui qualquer software com CAD/CAM, no entanto, esta é ligada diretamente a um computador que será responsável por calcular cada uma das rotas, que o cabeçote terá que realizar, de modo a conceber cada uma das camadas. Após o processo de deposição de uma dada camada ter sido concluído, a plataforma

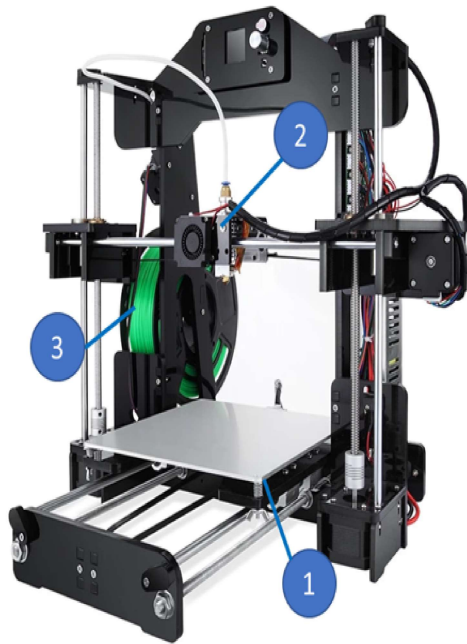


Figura 4.15: Máquina de FDM. Adaptado [16]

desce a distância equivalente à espessura de uma camada e o cabeçote inicia a deposição novamente, [41].

Capítulo 5

Desenvolvimento de Projeto Mecânico

5.1 Introdução

Neste capítulo será apresentada toda a parte relacionada com o projeto e modelação dos componentes. Além disso, visto o equipamento estar organizado em módulos, serão apresentadas as diferentes soluções técnicas para cada um. É realizado o dimensionamento e verificação dos principais elementos mecânicos e por último apresenta-se a documentação técnica do sistema final.

5.2 Projeto e modelação

5.2.1 Módulo - suporte de caixas

De maneira a suportar as caixas, onde iriam ser depositadas as peças desenvolveram-se uns tabuleiros, tal como se apresentam na figura 5.1. Estes foram realizados, recorrendo à tecnologia de corte a laser, onde se cortou uma chapa de 2 *mm* de espessura. De seguida, estes foram quinados para se obter o formato apresentado na imagem. Além disso, estes tabuleiros foram concebidos de modo a que a caixa entrasse a deslizar sobre os mesmos, de maneira a facilitar a colocação e remoção desta. De maneira a suportar estes tabuleiros, colocou-se uma barra aparafusada aos mesmos, que no seu centro seria soldada a um veio, que se denominou por veio frontal.

5.2.2 Módulo - sistema de transmissão de movimento linear

Uma das condicionantes deste projeto era o facto de ser necessário garantir que os tabuleiros estivessem sempre na posição horizontal. Na zona linear da corrente que unia as rodas dentadas, conseguia garantir-se tal condição. No entanto, na zona de raio destas, tal condição não se verificava. Assim, e após um estudo de possíveis soluções técnicas, deparou-se com uma solução composta por duas correntes descentradas, acopladas a rodas dentadas, e ligadas entre si por um sistema que permitia a horizontalidade permanente das caixas, [17]. Tal sistema, pode ser visualizado na figura 5.2.

Tal como se pode observar, na figura 5.2, existem duas correntes, (1) e (2), que estão ligadas entre si por um sistema, (3), e que permite que estas trabalhem em con-

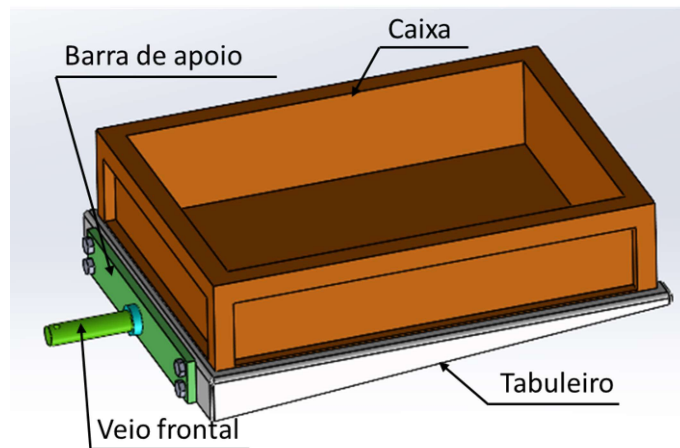


Figura 5.1: Suporte de caixas

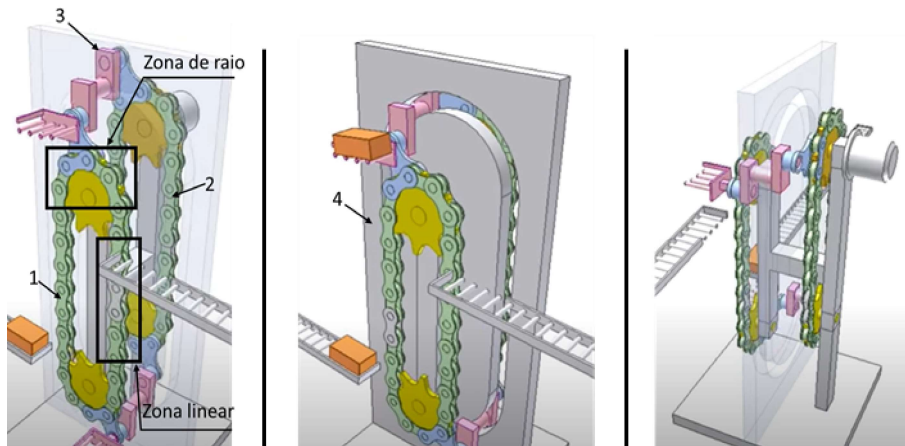


Figura 5.2: Solução para manter horizontalidade das caixas. Adaptado [17]

junto. Além disso, pode-se verificar que existe uma guia entre as correntes (4). Esta além de também auxiliar a manter a horizontalidade, permite absorver alguns esforços derivados da carga das caixas, que provocam um momento fletor. Assim, esta solução técnica, consegue garantir que a caixa na zona de raio das rodas dentadas se mantém horizontalmente.

Após um estudo mais aprofundado deste sistema verificou-se que os elementos fundamentais para este sistema funcionar poderiam ser concebidos utilizando-se uns veios e umas placas, tal como se pode ver na figura 5.3. Dois dos veios, (1), iriam ligar cada qual a uns acessórios de uma corrente, enquanto que um terceiro veio, (2), iria conectar todo este sistema.

Após algumas simulações no software *Solidworks*, constatou-se que para o sistema de ligação entre correntes funcionar, os veios que possui, teriam que estar todos no mesmo plano. Tal seria garantido, desde que os veios, conectados às correntes, fossem tangentes à trajetória de cada uma delas e estivessem sempre a uma distância horizontal igual à distância entre os centros dos veios. Deste modo, analisando a figura 5.4, pode-se verificar que existem duas linhas (1) e (2), que servem para simular a trajetória das correntes, e

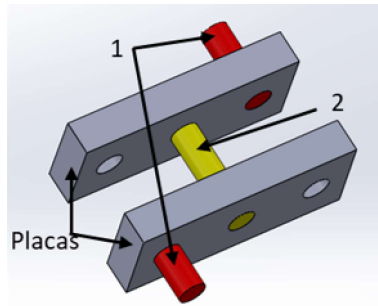


Figura 5.3: Solução técnica para manter horizontalidade das caixas - Elementos fundamentais

que além disso, existe um plano (3) o qual atravessa todos os veios deste sistema. Os veios (4) e (6) conectados cada qual a uma corrente, necessitam de um veio adicional, (5) que une o movimento das mesmas. Assim, pode-se verificar que da posição A, para a posição B e depois na posição C, este sistema está sempre na horizontal, pois está sempre tangente às trajetórias das correntes e garante sempre a distância horizontal, entre os eixos dos veios (4) e (6). É também este veio que irá atravessar as guias, discutidas anteriormente. Ora, tal como se pode constatar nesta figura, é possível manter-se a horizontalidade deste sistema se todos os veios tiverem o seu plano paralelo ao plano (3).

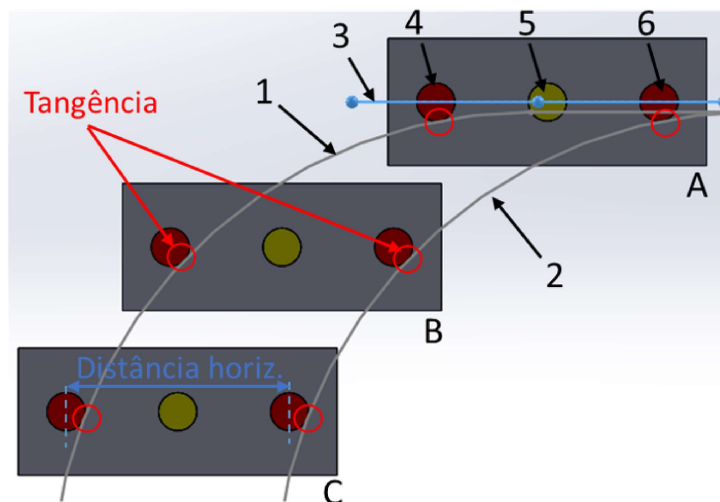


Figura 5.4: Solução técnica para manter horizontalidade das caixas - Explicação

Após o estudo de um sistema capaz de manter a horizontalidade das caixas na zona de raio das rodas dentadas, procedeu-se à escolha de correntes e de elos de ligação, capazes de suportar a carga que lhe iria imposta. Para tal, recorreu-se ao catálogo da Fossati, Harker, [42], onde se escolheu uns acessórios que fossem compatíveis com a corrente pretendida e com as forças a que iriam estar sujeitos. Assim, optou-se pelo acessório WSK-2, tal como se pode ver na imagem 5.5, para uma corrente 16B-1 com um passo de 1", que foi escolhida com base num catálogo da Renold, [43]. Esta corrente foi escolhida, visto tratar-se de uma corrente bastante robusta, que permite realizar o

movimento pretendido com a carga que lhe irá ser imposta. Neste caso, verificou-se, recorrendo ao software *Solidworks*, que a carga máxima que teria suportar, caso tivesse todas as caixas cheias seria à volta de 150 kg , pelo que se pôde usar esta corrente, que permite até 600 kg .



Figura 5.5: Acessório de Corrente WSK-2 [18]

Relativamente ao número de elos da corrente e às rodas, estes foram obtidos de maneira iterativa, recorrendo a simulações de movimento no software *Solidworks*. Nesse estudo de movimento, verificou-se se os tabuleiros ao movimentar-se não colidiam entre si. Além disso, tentou reduzir-se ao máximo o tamanho do entre eixos entre as rodas dentadas. Por último, as rodas escolhidas foram também selecionadas de um catálogo da Harker, [44]. Deste modo, obteve-se a figura 5.6, onde se pode verificar que a corrente possui os acessórios WSK-2, (1), de 14 em 14 elos (7 elos interiores e 7 elos exteriores), podendo assim colocar-se a peça (2) que irá ter acoplada a si o veio de ligação às caixas. Os discos, (3), possuem um diâmetro primitivo de 307 mm , e uma distância de entre-eixos de 584 mm , e neste projeto serão denominados por rodas principais.

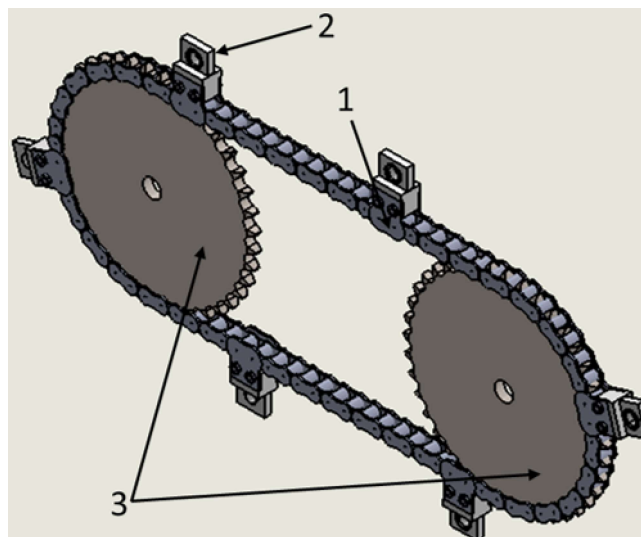


Figura 5.6: Correntes com acessórios WSK-2

Posteriormente, após o pedido de cotação, verificou-se que uma corrente tão específica como esta, necessita de ser feita à medida. Além disso, é importante realçar que são necessárias 2 correntes deste tipo para o projeto da máquina principal.

Quanto ao sistema que permite unir as correntes, teve que se optar por uma solução exequível e que fosse desmontável. Deste modo, chegou-se à solução apresentada na figura

5.7, após o dimensionamento dos veios (1), (2) e (3). É de notar que este sistema possui diversos casquilhos e anéis elásticos para não permitir o movimento axial dos diversos componentes. Além disso, é importante realçar que as placas, além de serem maquinadas para garantir a precisão necessária, possuem furos passantes para cavilhas elásticas de maneira a bloquear igualmente o movimento axial dos veios. Por último é possível notar numa roda de metal, que irá ser utilizada para deslizar sobre umas guias que irão ser abordadas posteriormente.

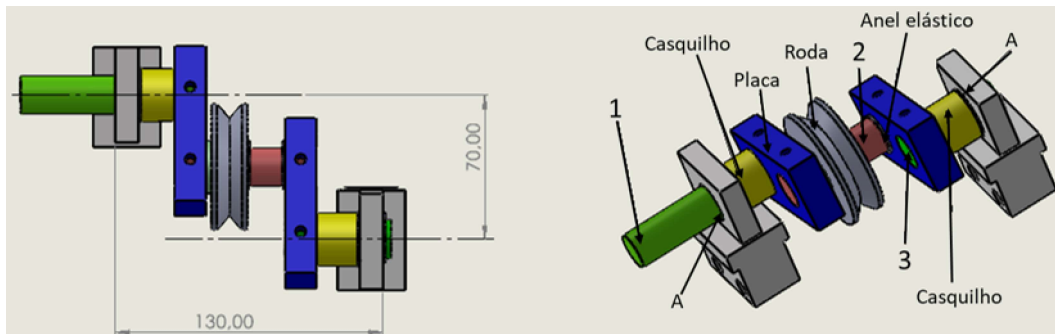


Figura 5.7: Sistema de ligação entre correntes

É na extremidade do veio (1) que irão estar fixos os suportes das caixas. Além disso, neste sistema foram colocados uns casquilhos de bronze, (A), pois os acessórios WSK-2 terão que rodar ao acompanharem o movimento da corrente, e como tal precisam de movimentar-se radialmente ao longo do veio respetivo. Deste modo, garante-se que todas as peças, excluindo os acessórios, se mantém horizontalmente. É importante referir ainda que serão necessários 6 sistemas iguais a este para esta máquina, visto ser necessário 1 por cada caixa.

No que concerne ao sistema que permite que as caixas se mantenham na horizontalidade, colocou-se um sistema auxiliar com guias, para garantir não só essa mesma horizontalidade, mas para garantir que face à carga colocada em cada caixa, as correntes não se desacoplavam das rodas. Tal situação pode-se ver na figura 5.8, onde face a uma carga (1) criada pelas peças colocadas no interior da caixa, irá surgir um momento fletor (2) que poderia fazer com que as correntes saíssem do seu local designado.

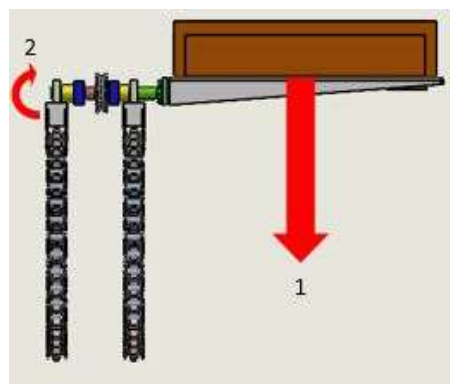


Figura 5.8: Momento fletor criado pelo peso da caixa

Assim, decidiu-se colocar um sistema de guias entre cada uma das correntes. Estas

eram para ser inicialmente maquinadas, no entanto, após os pedidos de orçamentação verificou-se que uma opção mais económica seria a produção aditiva, ou seja, a impressão 3D, de um material polimérico, nomeadamente Nylon12, [45]. Nestas guias, iria deslizar uma roda de metal, tal como referido anteriormente, e que seria comprada a um fornecedor, em vez de ser maquinada, por ser uma solução muito mais económica. Tais guias podem ser visualizadas na figura 5.9.

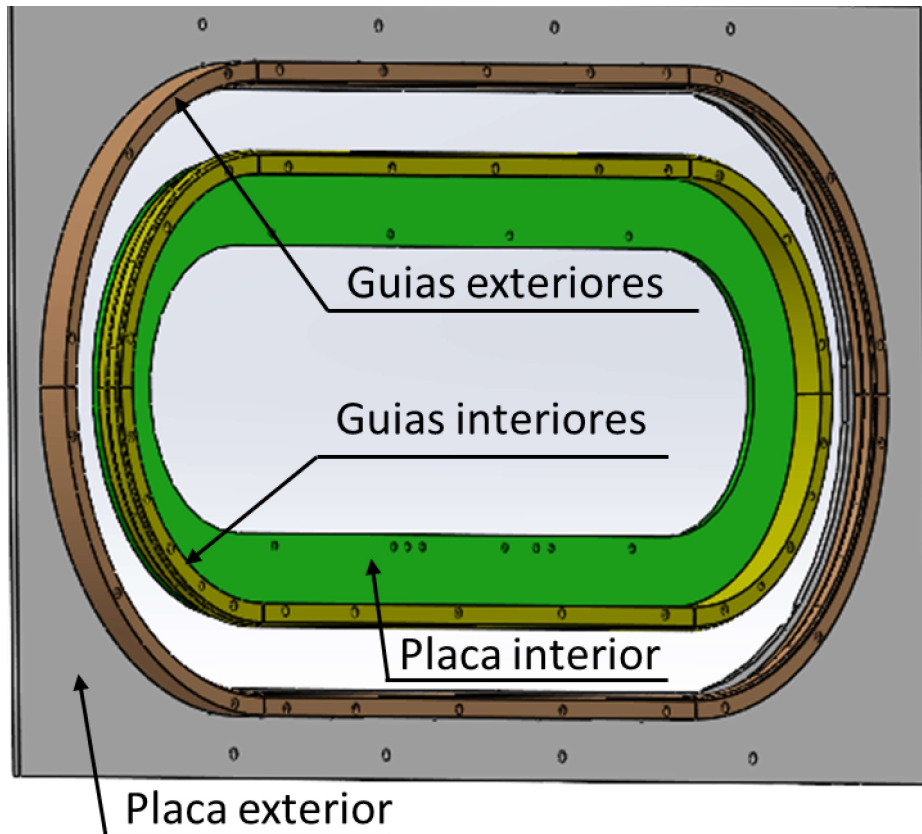


Figura 5.9: Sistema auxiliar de guias

Relativamente à fixação das guias, optou-se numa fase inicial pela utilização de uma chapa de alumínio de 6mm que seria cortada por um laser. Desta placa seriam cortadas duas peças, uma placa exterior e outra interior. No entanto, face à empresa Silencor possuir um laser que permite cortar chapas, optou-se pela sua utilização, visto tornar o projeto mais económico, pois não existe a necessidade de recorrer a serviços externos para adquirir estas peças. No entanto, a empresa apenas conseguiu garantir que o corte ficava sem saliências, para a espessura pretendida, se fosse feito em chapa de aço. Assim, de modo a prevenir esse tipo de contrariedades adquiriu-se uma chapa em aço, do qual se obteve as peças pretendidas.

Uma condicionante destas guias, é que o facto de serem feitas a partir de um material polimérico, logo estão mais expostas ao desgaste. Deste modo, realizou-se uma série de furos rasgados, na peça placa exterior, que permitia regular a altura das guias exteriores, recorrendo uma vez mais à tecnologia de corte a laser. Tal regulação era feita a partir de parafusos, anilhas e porcas. No entanto, em algumas zonas críticas da máquina teve

que se realizar um desbaste, recorrendo à tecnologia de fresagem, para que as porcas lá colocadas, não obstruíssem o movimento de troca de caixas. Assim, obteve-se a figura 5.10, com alguns desbastes e furos rasgados. A operação de desbaste retirou 4mm de espessura da chapa.

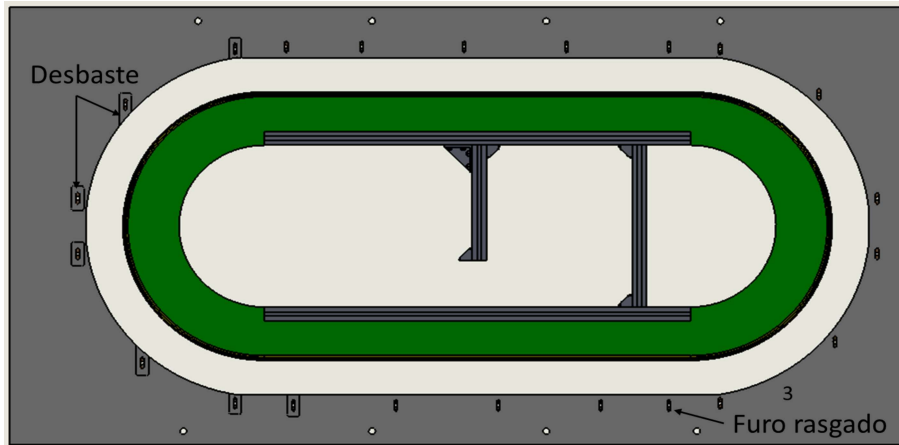


Figura 5.10: Sistema auxiliar de guias - Furos rasgados

Quanto ao perfil das próprias guias, este foi desenvolvido com o intuito da roda de metal lá circular sem de lá poder sair, caso ocorresse algum esforço, como referido anteriormente. Deste modo, pode-se visualizar este conjunto na figura 5.11.

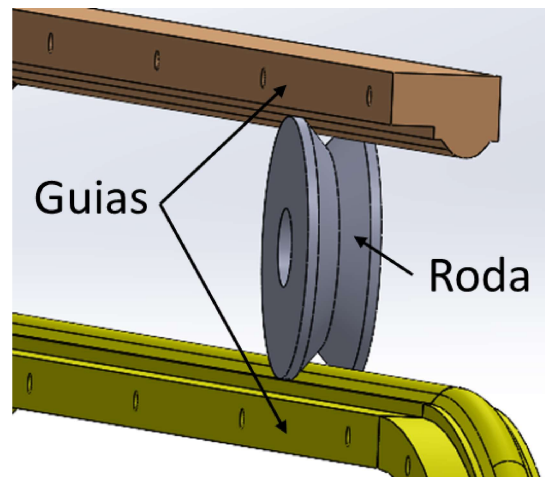


Figura 5.11: Detalhe de construção mecânica - Perfil das guias

5.2.3 Módulo - estrutura de suporte

No que concerne a qualquer projeto, estes requerem estruturas de apoio, que permitam fixar os seus componentes. A complexidade da estrutura e o tipo de estrutura podem variar consoante a necessidade, mas geralmente regem-se por dois princípios, a simplicidade e a economia. Deste modo, após se possuir uma boa noção dos principais componentes desta máquina, teve que se criar uma estrutura que os pudesse suportar.

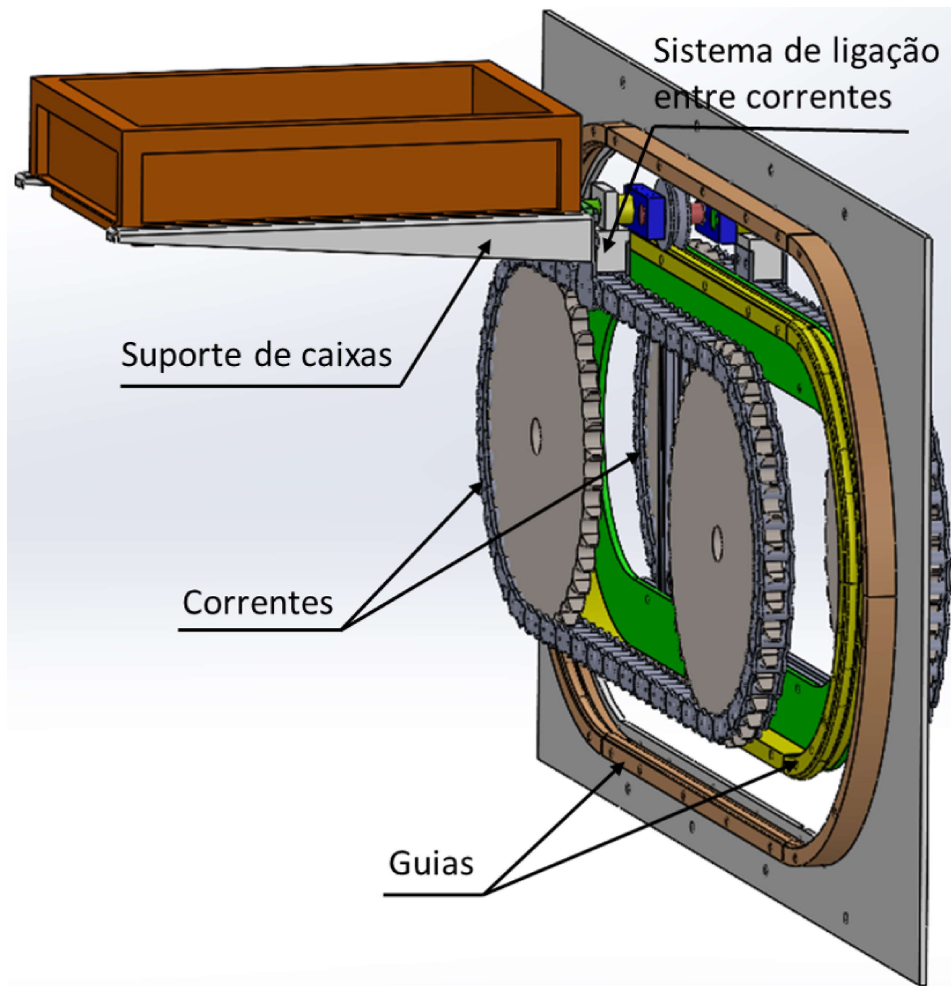


Figura 5.12: Módulo - sistema de transmissão de movimento linear

Elementos de ligação rápidos - Bosch

Neste projeto, a estrutura de apoio foi realizada, com base em elementos de ligação da Bosch, Rexroth, [46]. Deste modo, escolheu-se barras de perfil em alumínio, tal como se pode verificar na figura 5.13. Os perfis utilizados foram 20x20L, 40x40L e 40x80L. De modo a fixar este tipo de perfis, recorreu-se a uns esquadros, também deste catálogo. Deste modo, obteve-se uma estrutura que é relativamente fácil de construir, leve e económica. Na figura, pode-se ver ainda umas placas, de maneira a reforçar esta estrutura. Tal acontece, pois a carga que esta estrutura teria que suportar encontra-se principalmente nas caixas com peças. Esta carga iria criar um momento fletor que poderia danificar esta mesma estrutura. As placas, foram realizadas recorrendo à tecnologia de corte laser, onde se cortou uma chapa de 3mm de espessura.

Placa Central

A utilização da estrutura de apoio em alumínio, não é suficiente para apoiar todos os elementos da máquina principal. Tal acontece, pois é necessário apoiar elementos como ambas as correntes principais, com as respetivas chumaceiras, e o redutor.

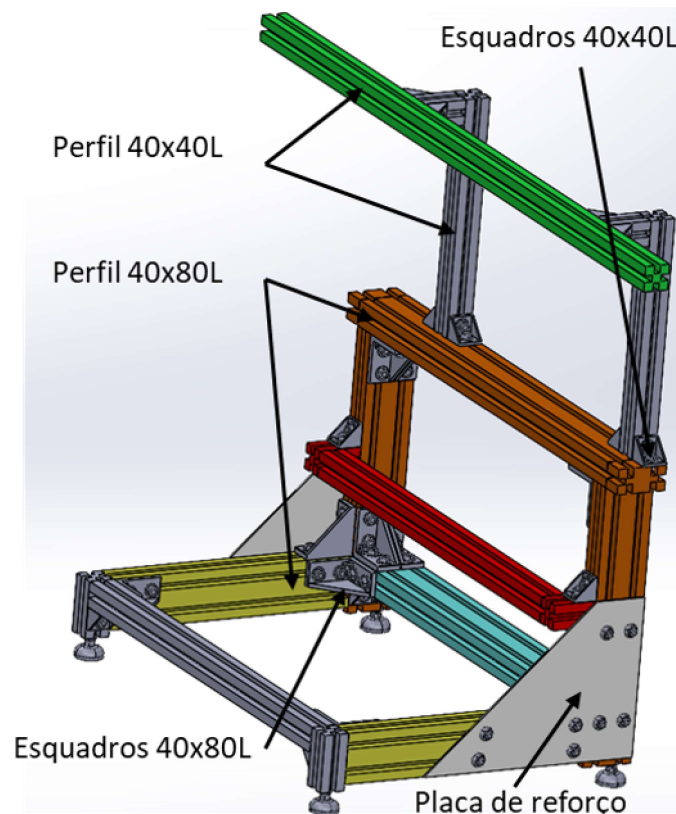


Figura 5.13: Estrutura de apoio

Deste modo, uma solução relativamente simples passou pela utilização de uma chapa em aço, com 8mm de espessura que passava pelo centro das rodas dentadas principais. Tal chapa pode ser visualizada na figura 5.14.

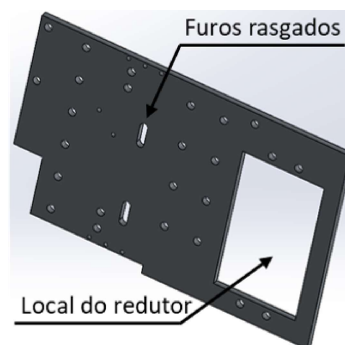


Figura 5.14: Placa de apoio

Na imagem 5.15, pode-se observar que a estrutura de alumínio, apenas apoia uma das correntes, visto apenas suportar um par de chumaceiras. Assim, para apoiar o segundo par, colocou-se um tubo em perfil de alumínio 40x40L, responsável por suportar uns mancais que foram maquinados, e que no seu interior possuem rolamentos. Este tubo, foi fixo à placa a partir de diversos parafusos cabeça de martelo M8, [47]. Além disso, pode-se observar que o redutor, está assente numa chapa que por sua vez está fixa na

chapa de 8mm.

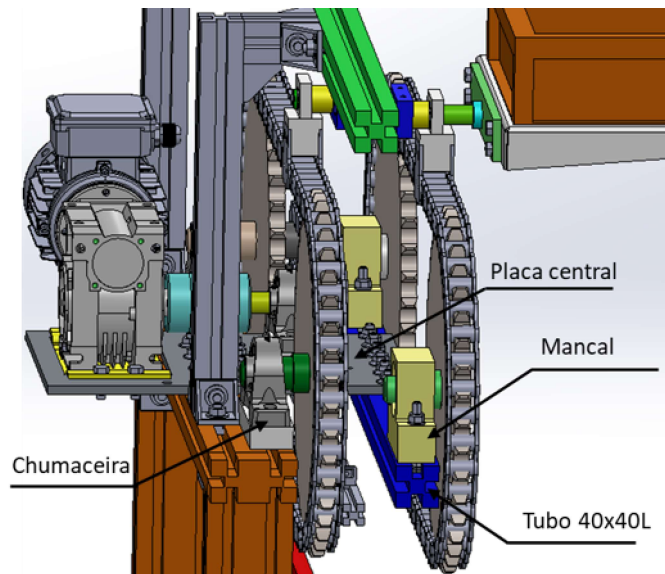


Figura 5.15: Sistema de apoio

Relativamente à chapa de 8mm, figura 5.14, esta foi obtida com o recurso à tecnologia de corte a Laser, que a empresa dispunha. É importante referir, que nesta imagem se pode observar o local onde a chapa com o redutor será colocada, e da existência de uns rasgos. Estes últimos servem para se poder deslocar ligeiramente a chumaceira, tal como se pode ver na figura 5.14, de modo a pode-se esticar a corrente que provém do redutor.

As correntes principais, também precisam de ser afinadas, pois precisam de trabalhar o mais esticadas possíveis, sem comprometer o seu correto funcionamento, para garantir a horizontalidade das caixas. Tal correção, é realizada deslocando as chumaceiras ou mancais, que se encontram suportadas pelos perfis de alumínio. tal como se pode observar na figura 5.15.

De maneira a tornar esta placa mais robusta, decidiu-se colocar umas peças auxiliares tal como se pode ver na figura 5.16.

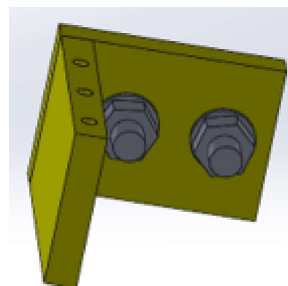


Figura 5.16: Peça de reforço

Estas primeiramente foram pensadas para serem feitas com recurso à tecnologia de maquinação, no entanto, após a fase de orçamentação, optou-se pela sua realização através do processo de soldadura. É possível verificar, que estes reforços possuem 3 furos

no seu topo, que são furos roscados. Além disso, possuem lateralmente furos passantes, para parafusos M8, tal como se pode verificar nessa mesma figura.

Pela figura 5.17, pode-se observar que estes reforços, irão conectar-se ao perfil de alumínio lateralmente, e no seu topo, irão ser comprimidos contra a placa central, através dos furos roscados, que assim garantem maior estabilidade desta placa.

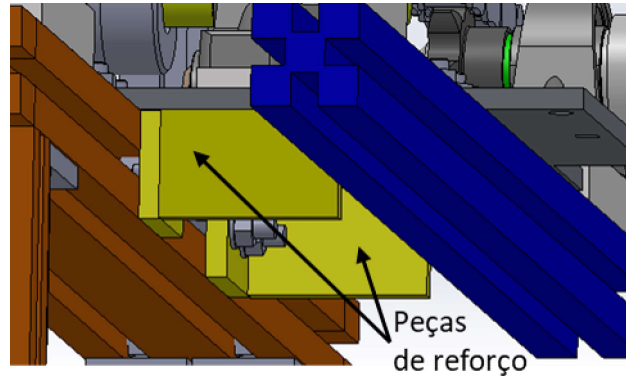


Figura 5.17: Detalhe de construção mecânica - Reforço placa central

5.2.4 Módulo - acionamento

Após o dimensionamento do motor e do redutor a utilizar é necessário avaliar como é que se vai transmitir o movimento e o binário, aos diferentes componentes. Assim, optou-se pela utilização de uma corrente secundária que passaria pelo meio das correntes principais, tal como se pode ver na figura 5.18.

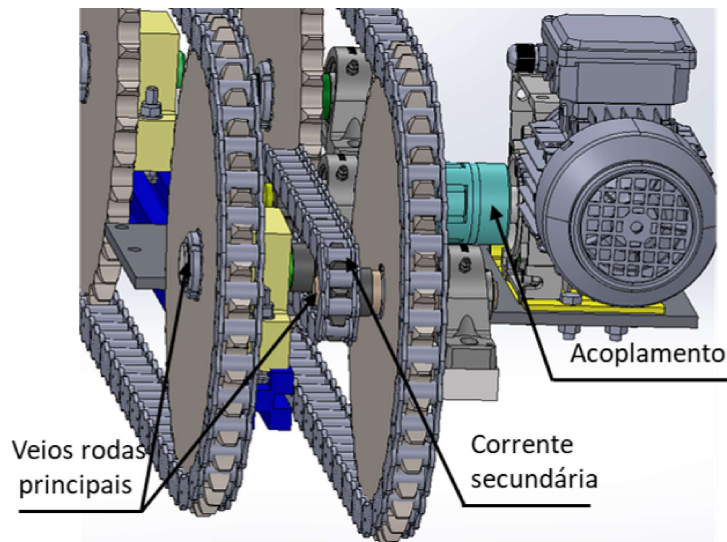


Figura 5.18: Sistema de acionamento

Tal como se pode observar, na figura 5.18, a corrente secundária, está entre as correntes principais. Além disso, é de notar que para transmitir o movimento entre o redutor e essa mesma corrente foi utilizado um acoplamento do tipo rotex. Este tipo de acoplamentos, tal como se pode verificar na figura 5.19, possui duas metades, (1) e (2), que

necessitam de ser maquinadas para que se possa colocar um veio com uma chaveta e um elastômero, (3).



Figura 5.19: Acoplamento Rotex. Adaptado [19]

Relativamente à escolha do acoplamento é importante referir que este, por necessitar de ser maquinado, é preciso ter em conta os diâmetros dos veios que lhe irão ser acoplados. Além disso, um outro fator importante é o binário que o acoplamento permite transmitir. Neste caso, o acoplamento escolhido é do tipo GEB 24-32 em ferro fundido, e o elastômero é do tipo *92 Shore A*, que permite um torque máximo de $70 [N.m]$, que é mais do que suficiente para este movimento, [19].

Quanto à corrente secundária, esta tal como se pode ver na figura 5.20, é uma corrente Renold SD12B-1, [43]. Nesta são acoplados uns carretos simples de passo $3/4''$ e 9 dentes, [42], que vão permitir a transmissão de movimento aos veios das rodas principais, através de chavetas. Deste modo, pode-se movimentar as correntes principais simultaneamente.

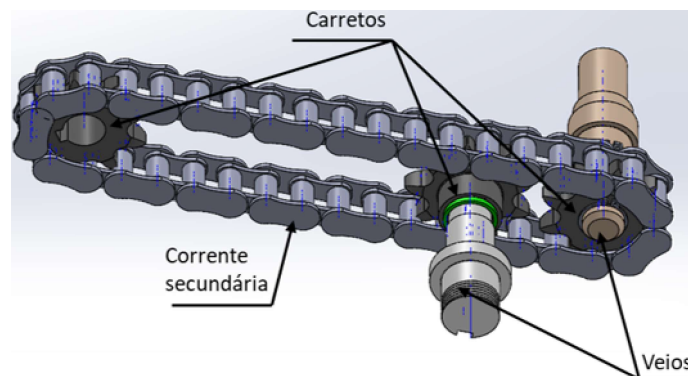


Figura 5.20: Sistema de acionamento - Detalhado

5.2.5 Módulo - interface máquina-armazém

Como foi sendo referido ao longo deste documento, inicialmente pensou-se apenas em realizar a máquina principal. No entanto, face ao material disponível, como é o caso do motor, e após a discussão de algumas soluções com a empresa Silencor, com o intuito de melhorar a produtividade das operações à saída da máquina de cravação, optou-se pela criação de um sistema auxiliar, denominado por interface máquina-armazém.

A realização deste sistema foi realizada principalmente por dois motivos. Primeiramente, face ao motor disponível, este não permitia a troca das caixas entre a queda de peças, ou seja, as peças iriam cair fora do seu local designado, quando se desse a troca de caixas. O segundo motivo, foi para tornar mais eficiente a produção de peças. Tal

acontece pois de maneira a tornar mais segura a realização do movimento de rotação de peças, colocou-se umas barreira físicas que o operário teria que abrir para aceder a esta máquina, caso pretendesse trocar as caixas. Uma vez abertas estas barreiras, o motor não pode ser ligado. No entanto, para não parar a produção de peças, este módulo, tal como se pode ver na figura 5.21, não irá permitir a queda de peças. Apenas quando o operário estiver em segurança e as barreiras fechadas, é que o motor vai ser ligado, e após a conclusão do movimento de rotação, a porta abre, permitindo a saída das peças para a nova caixa.

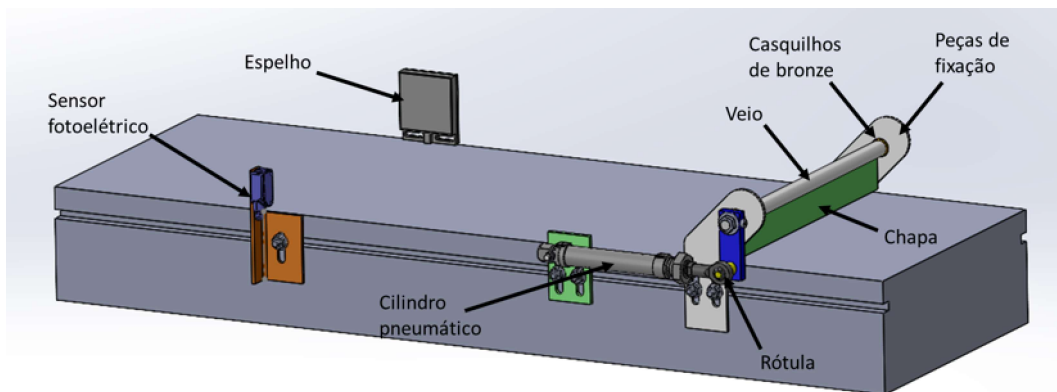


Figura 5.21: Sistema Portinhola - Esquemático

Este sistema, foi concebido, com base num sistema semelhante que a empresa já dispunha numa outra máquina. Assim, e tendo em atenção que os esforços a serem realizados seriam semelhantes, e aproveitando a unidade de tratamento de ar da própria máquina de cravação, desenvolveu-se o sistema pneumático da figura 5.21. O cilindro, é o 16-50-PPS-A, que permite até 10 *bar* de pressão e tem um curso de 50 *mm*, [48]. Este cilindro, na sua ponta tem uma rótula SGS-M6, que permite segurar uma placa, que por sua vez irá estar conectada a um veio. Este, roda sobre uns casquilhos de bronze e foi soldado a uma chapa de 2 *mm*, obtida pela tecnologia de corte por Laser. Além disso, é roscado nas extremidades, tal como se pode ver na imagem 5.22, de maneira a ser fixo axialmente, com o auxílio de umas porcas M8.

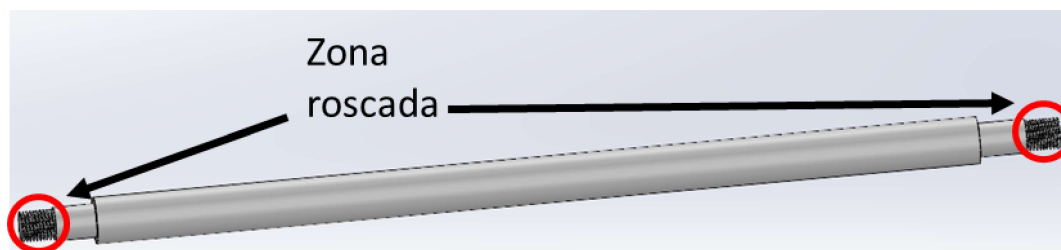


Figura 5.22: Detalhe construção mecânica - Veio

De modo a fixar este sistema verticalmente, é importante realçar que o tapete rolante que liberta as peças, se encontra sobre um perfil de alumínio. Desse modo, desenvolveu-se, recorrendo-se uma vez mais à tecnologia de corte por Laser, umas peças com ranhuras, que permitissem regular a altura deste sistema. Tais peças, tal como se pode verificar na

figura 5.23, fixam o veio e o cilindro.

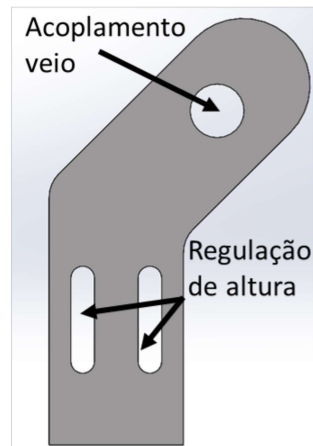


Figura 5.23: Detalhe de construção mecânica - Peça fixadora

5.2.6 Módulo - proteção e segurança

Quando se constrói uma máquina, o fabricante deve detetar e avaliar os possíveis perigos que esta apresenta para o operário. Desse modo, com base numa avaliação desses mesmos riscos, o fabricante deve eliminar ou reduzir ao máximo os mesmos, com medidas construtivas adequadas, [49].

No caso deste sistema, o principal perigo deste é quando se dá a troca de caixas. Tal acontece, pois caso o motor começasse a o movimento de troca de caixas quando o operário estivesse a trocá-las, apesar da velocidade desse movimento ser relativamente baixa, o operário poderia magoar-se. Desse modo, recorreu-se a uma barreira física, tal como se pode observar na figura 5.24, e que apenas permite o contacto entre o operário e a máquina principal, a partir de uma zona realizada para o efeito.

Relativamente a esta estrutura de segurança, esta foi realizada com tubo em aço de perfil 30x30x2, e coberta com rede para impedir que o operário aceda à máquina por locais indesejáveis. O local de acesso poderá somente ser feito pela zona frontal, que possui uma distância de 500 *mm* entre essas portas e a lateral da caixa mais próxima. Tal distância foi colocada pois a estrutura possui apenas uma altura de cerca de 1 *m*.

Como se pode observar pela figura 5.24 e face à pequena estatura desta estrutura, teve que se colocar um esquadro adicional, para impedir que o operário acesse à máquina lateralmente, tendo este uma altura de cerca 1700 *mm*. Importa ainda referir, que de maneira a aceder ao quadro elétrico, se deixou um espaço, de maneira a este pudesse ser facilmente acedido.

Para aceder ao interior o operário terá que abrir as portas, realizadas em tubo de 20x20x2 e que também foram cobertas de rede, tal como se pode observar nas figuras 5.25a e 5.25. Estas portas, depois de abertas permitem ter entre elas uma distância de 700 *mm*, por onde o operário pode passar com as caixas de maneira folgada. É importante referir que estas portas não vão sofrer grandes esforços.

Quanto ao movimento destas portas na parte inferior das mesmas, tal como se pode observar na figura 5.26, foi colocada uma barra em aço com perfil 30x5, onde foi soldado

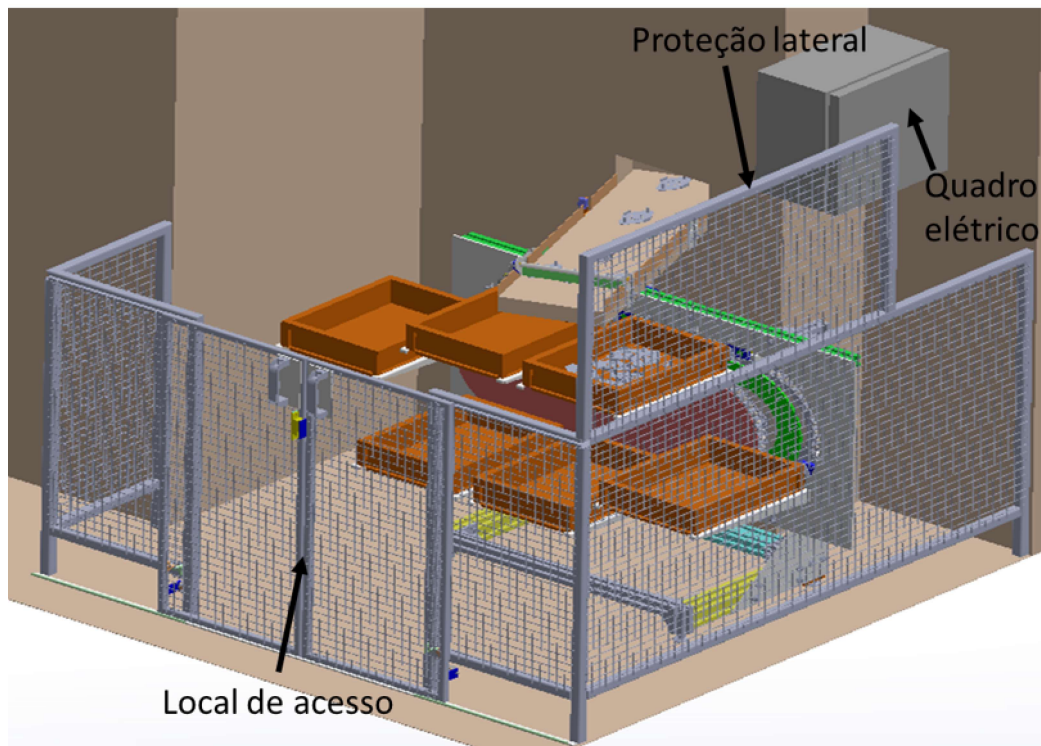


Figura 5.24: Módulo proteção e segurança

um varão com diâmetro de 8 mm . É importante realçar que o varão apenas serve para guiar as portas, no entanto, no local onde é suposto o operário passar, não se colocou este elemento para não dificultar esta passagem.

Quanto ao deslizamento da porta sobre a barra, é realizado com base em rolamentos, que a empresa Silencor dispunha e que possuem um diâmetro exterior de 27 mm . Estes estão fixos no perfil com base em rasgos, realizados no mesmo e por um furo passante. Nesse furo colocou-se um parafuso M8, de maneira a fixar o rolamento. Tal parafuso foi soldado na outra ponta.

Quanto ao sensor para garantir que a porta se encontrava fechada, este foi fixo no perfil de $30 \times 30 \times 2$, enquanto que o seu batente, se colocou na porta deslizante. Por último, para impedir que a porta se deslocasse mais do que seria suposto, foram colocados dois batentes, que foram aparafusados ao perfil de $30 \times 30 \times 2$.

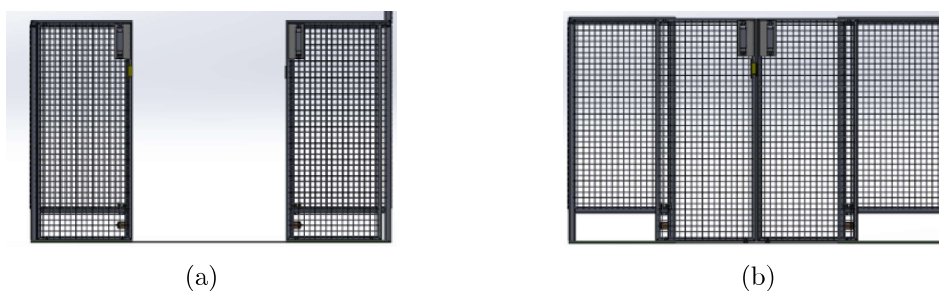


Figura 5.25: Módulo de proteção e segurança: (a) Portas abertas; (b) Portas fechadas

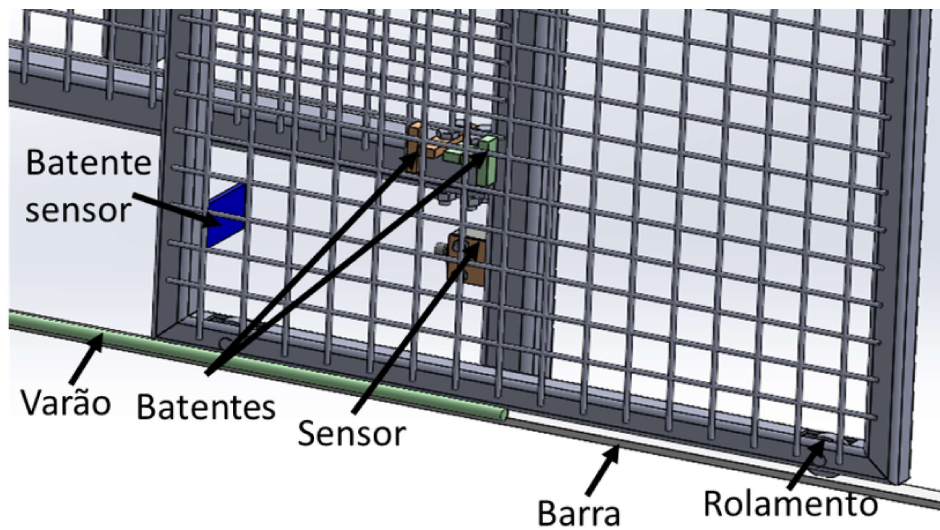


Figura 5.26: Detalhes de construção mecânica - Funcionamento das portas

Na parte superior destas portas, tal como se pode observar na figura 5.27, de maneira a que estas deslizassem foram realizado uns rasgos, no perfil de 30x30x2, para se poder colocar um rolamento no seu interior. Além disso, é possível verificar que para abrir as portas foram colocados dois puxadores, e de modo a garantir que a porta quando estava fechada não se abria, através de vibrações por exemplo, foi colocado um íman.

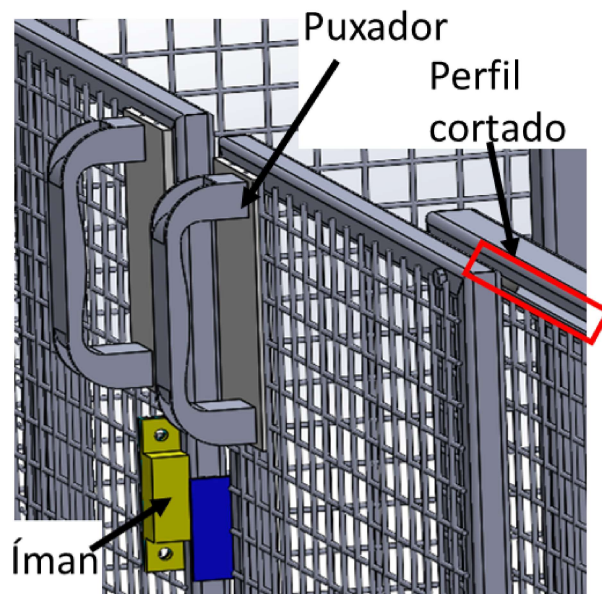


Figura 5.27: Detalhes de construção mecânica - Funcionamento das portas II

Para retirar a porta do sítio, caso se pretenda substituir algum elemento, ou colocar uma porta nova, tal como se pode ver na figura 5.28, existe uma abertura no perfil de 30x30x2, que permite que o rolamento, saia. No entanto, casos se pretenda retirar a porta totalmente, terá que se desapertar os batentes da zona inferior.

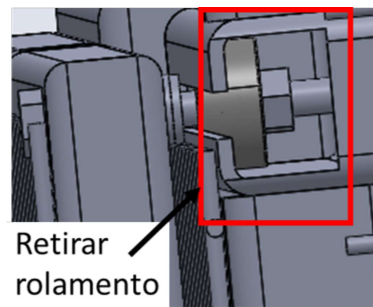


Figura 5.28: Detalhes de construção mecânica - Colocação e retirada do rolamento

Relativamente à segurança da máquina principal, por esta possuir rodas dentadas de razoável dimensão, decidiu-se colocar uma chapa de 2 *mm*, de maneira a impedir que um operário, por qualquer motivo, colocasse uma mão ou um braço pelo interior desta. Esta chapa pode ser visualizada na figura 5.29.

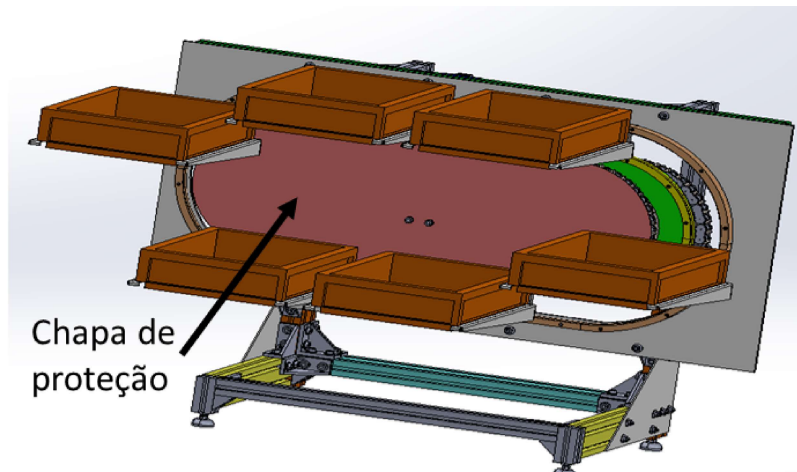


Figura 5.29: Detalhes de construção mecânica - Chapa frontal

5.3 Dimensionamento e verificação

5.3.1 Veios de acionamento

Um veio é um elemento mecânico, onde se podem acoplar outros elementos rotativos que permitem transmitir potência. O projeto de um veio, é normalmente um processo iterativo, visto que a sua geometria depende de soluções construtivas e de diversos elementos de fixação, como estrias e chavetas, [24].

No dimensionamento de qualquer elemento, é necessário verificar se este é capaz de suportar cargas perpendiculares ao seu eixo principal. Tais cargas, vão criar nesse

elemento uma força de corte e um momento fletor. Relativamente às forças de corte, estas surgem, sempre que aparecem novas forças perpendiculares ao longo do veio, enquanto os momentos fletores variam consoante a distância do ponto de aplicação da força externa. O diâmetro mínimo de um veio, a secção crítica, pode assim ser assim dimensionada, com base no local do veio, onde estas duas cargas alcancem o seu valor máximo, [24].

Relativamente ao momento fletor, este pode ser utilizado para calcular a tensão normal, σ_b , no veio, recorrendo à expressão 5.1, onde M representa o momento fletor, I o momento de inércia da área de secção e y a distância ao eixo neutro da secção, ou seja, é igual ao raio do próprio veio.

$$\sigma_b = \frac{M}{I} \cdot y \quad (5.1)$$

Relativamente às tensões de corte, τ_{xy} , como referido anteriormente, estas dependem das forças perpendiculares ao eixo do veio aplicadas ao longo do mesmo e podem ser obtidas com base na fórmula 5.2.

$$\tau_{xy} = \frac{V \cdot Q}{I \cdot b} \cdot y \quad (5.2)$$

Por último, relativamente aos esforços de torção estes são criados por momentos de torção, ao longo do veio. Tal momento origina tensões de corte, τ_{tr} , em que o seu valor varia de modo linear desde o seu centro, em que o valor é zero, até ao seu valor máximo na periferia. Desse modo, a tensão de corte pode ser dada pela expressão 5.3, em que M_t é o momento torsor aplicado, r é o raio da secção e I_p representa o momento de inércia polar.

$$\tau_{tr} = \frac{M_t \cdot r}{I_p} \quad (5.3)$$

Após se obter as tensões anteriores, é necessário compreender que estas foram obtidas, como se a estrutura apenas tivesse uma dessas cargas aplicadas. Na verdade, uma estrutura pode ter vários tipos de solicitações mecânicas, onde se torna necessário realizar um estudo das diversas tensões desenvolvidas. Assim, pode-se utilizar o princípio da sobreposição de efeitos, onde inicialmente se dá um estudo individual das diversas tensões desenvolvidas numa dada seção, e posteriormente se dá a sua combinação através da soma ou subtração de tensões, [24].

A lei de transformação do tensor tensão (Cauchy) pode ser representado graficamente pelo Círculo de Mohr, figura 5.30. Este método permite que seja possível representar de várias formas, o estado de tensão num determinado ponto de uma estrutura, dependente da orientação do plano ou do referencial escolhido. No entanto, existem planos onde se verificou que as tensões normais seriam máximas ou mínimas, enquanto que as de torção seriam nulas. Estas tensões normais denominaram-se como tensão principal de tração, σ_1 , para máxima, e como tensão principal de compressão, σ_2 , para a mínima.

Desta forma, e com base na equação 5.4, calculou-se estas tensões normais.

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (5.4)$$

Por fim, para avaliar as propriedades físicas de um material, realizam-se ensaios uniaxiais de tração ou compressão. Tais ensaios permitem verificar se um dado material

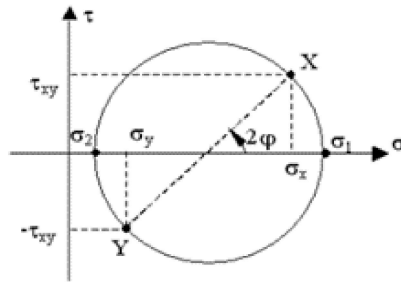


Figura 5.30: Círculo de Mohr

estará ou não em risco de cedência. No entanto, para garantir a segurança e longevidade destes elementos, por estarem expostas a um estado complexo de tensão, desenvolveram-se teorias de cedência para materiais isotrópicos, que relacionam a tensão de cedência, σ_y do mesmo com a tensão a que irá estar sujeito, σ_{y1} , [24].

Deste modo, surgiu o critério de von Mises que com base na equação 5.5, para um estado plano de tensão, relaciona esse mesmo estado complexo de tensão, com os valores obtidos nos ensaios de tração uniaxial. Além disso, para se obter um coeficiente de segurança, γ , recorre-se à equação 5.6.

$$\sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 + \sigma_2^2} = \sigma_{y1} < \sigma_y \quad (5.5)$$

$$\gamma = \frac{\sigma_y}{\sigma_{y1}} \quad (5.6)$$

No caso específico deste projeto, houve a necessidade de dimensionar veios, que permitissem aguentar com a carga que iria ser colocada nas caixas, tal como se pode ver na figura 5.8. Entre os principais veios, a serem dimensionados, destaca-se o veio que irá estar acoplado diretamente a cada uma das plataformas que suportam as caixas. Tal veio, (1), pode ser visualizado na figura 5.31.

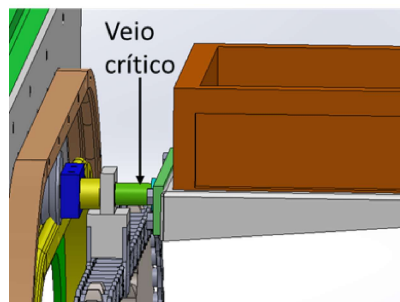


Figura 5.31: Detalhe de construção - Veio acoplamento das caixas

De seguida, para calcular o diâmetro mínimo desta secção, aplicou-se a equação 5.1. É importante referir que este cálculo é um processo iterativo, onde se tem que inicialmente fornecer um diâmetro da secção, e só depois verificar o coeficiente de segurança. No entanto, antes de calcular a tensão normal, foi necessário calcular o momento fletor. Para tal, foi necessário saber a distância entre a carga aplicada, que foi colocada no centro

geométrico da caixa, como se pode ver na figura 5.32, e a parte final do veio em questão. Desse modo, obteve-se o momento fletor de 75 [N.m], sobredimensionando a distância para 300[mm] e a carga aplicada. Este último parâmetro, apesar de a caixa só suportar no máximo 12,5 Kg colocou-se o dobro do peso, tal como se pode verificar na expressão 5.7. Este sobredimensionamento que se faz no cálculo estático, está relacionado com as forças de inércia, ou seja, com as forças associadas às massas e acelerações do sistema, que não são possíveis de estimar. Assim, considerou-se que no máximo estas forças seriam o dobro.

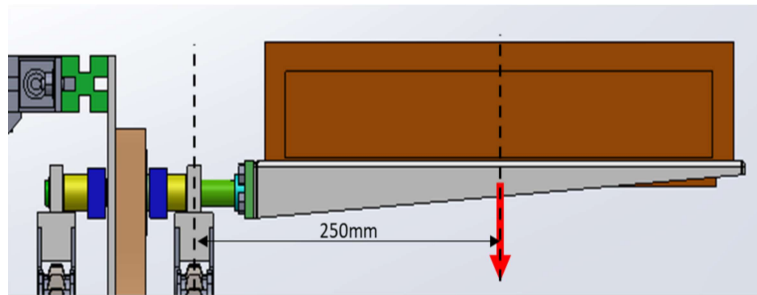


Figura 5.32: Distância para o cálculo do momento fletor

Ainda antes de se calcular a tensão normal, teve que se calcular o momento de inércia, I , de acordo com a fórmula 5.8.

$$M_{fletor} = F \cdot d = 250 \cdot 0.3 = 75[N.m] \quad (5.7)$$

$$I = \frac{\pi \cdot r_0^4}{4} = 5,15 \cdot 10^{-9}[m^4] \quad (5.8)$$

Assim, e recorrendo à equação 5.1, obteve-se o valor para a tensão normal de 131 [MPa], para um raio de 18mm.

$$\sigma_b = \frac{75}{5,15 \cdot 10^{-9}} \cdot 0,009 = 131[MPa] \quad (5.9)$$

Relativamente às tensões de corte, τ_{xy} , estas foram desprezadas, pois eram insignificantes, tendo-se verificado que eram cerca de 100 vezes inferiores às tensões normais.

Assim, os últimos esforços a ser calculados seriam os de torção. No entanto, estes foram desprezados pois este veio apenas serve de apoio, ou seja, não apresenta movimento de rotação. Além disso, é importante referir que a maioria do tempo, estes veios vai encontrar-se estático, pois apenas vai ter que se deslocar no movimento de troca de caixas, que se dá a cada 3min ao longo de 4 segundos. Assim, com base neste comportamento admitiu-se que os veios teriam um comportamento estático, desprezando-se estes esforços.

Quanto ao princípio de sobreposição de efeitos e utilizando a fórmula 5.4, calculou-se a tensão principal de tração, σ_1 , que é igual ao valor da tensão normal, visto ser a única tensão aplicada, o que faz também com que a tensão principal de compressão, σ_2 , seja nula. É importante referir que por não se considerar a existência de tensões normais segundo o eixo de x, esta tensão, σ_x , foi considerada nula.

$$\sigma_1 = \frac{0 + 131}{2} + \sqrt{\left(\frac{0 + 131}{2}\right)^2 + 0} = 131[MPa] \quad (5.10)$$

Após o cálculo das tensões principais, verificou-se através do critério de von Mises, equação 5.5, que a tensão de cedência do veio, σ_{y1} seria de 131 MPa. Desse modo, e escolhendo o material Ck45 com tempera e revenido, que possui uma tensão de cedência de 430 [MPa], para diâmetros entre 16mm e 40mm, [24], pode-se obter o coeficiente de segurança, de acordo com a equação 5.6.

$$\gamma = \frac{430}{131} = 3,28 \quad (5.11)$$

Deste modo, pode-se concluir que para este diâmetro e para este tipo de material pretendido, que os veios mais críticos vão aguentar as tensões que lhes irão ser impostas.

5.3.2 Rolamentos

Um rolamento é um componente, cuja utilização permite a movimentação relativa de outros elementos mecânicos, evitando a fricção das superfícies em contacto. Assim, as perdas mecânicas são reduzidas. Entre as principais vantagens de utilização destes elementos destacam-se a baixa necessidade de lubrificação, o baixo custo de aquisição, e o facto de serem facilmente permutáveis, sem serem necessários grandes ajustes, [24].

É importante referir que uma vez mais se procedeu apenas ao dimensionamento estático, visto a máquina que troca as caixas se encontrar maioritariamente do tempo parada, apenas se movimentando em intervalos curtos de tempo, ocasionalmente. Assim, para o dimensionamento de rolamentos de esferas, calculou-se inicialmente a capacidade de carga estática, C_0 , com base nas expressões 5.12 e 5.13, [24]. Deste modo, pode-se observar que para o cálculo de C_0 , é necessário calcular a carga estática equivalente, P_0 , que por sua vez é obtida com base na carga radial, F_r , e na carga axial, F_a , a que o rolamento irá estar sujeito. Além disso, é necessário verificar que tipo de rolamento é o pretendido, pois o fator radial, X_0 , e axial, Y_0 dependem do mesmo. Além disso, o fator de segurança, f_s , é escolhido com base no tipo de segurança que se pretende obter.

$$C_0 = f_s \cdot P_0 \quad (5.12) \quad P_0 = X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a \quad (5.13)$$

É de notar que caso o valor da carga estática equivalente seja inferior ao valor da carga radial, então passa-se a admitir para efeitos de cálculo que a carga estática equivalente é dada pela expressão, 5.14.

$$P_0 = F_r \quad (5.14)$$

Neste projeto, os rolamentos mais críticos são os frontais. Tal acontece pois estes tem que servir de apoio à carga suportada pela corrente frontal, que é composta pelo peso das caixas e de outros elementos como veios e chapas. Assim, como se pode ver na figura 5.33, a utilização de uma roda permitirá absorver alguns esforços permitindo assim que os apoios frontais não suportem cargas tão elevadas.

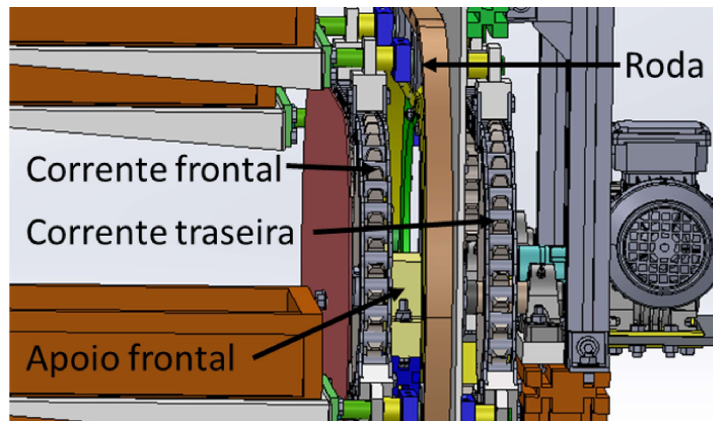


Figura 5.33: Detalhe de construção - Apoios frontais

De seguida, elaborou-se um esquema estrutural, figura 5.34, de maneira a poder-se calcular a força de reação que iria ser obtida pela corrente frontal, ou seja, R_1 . Além disso, considerou-se que R_2 , que corresponde à roda que se movimenta nas guias, seria um apoio rígido, pelo que a reação na corrente traseira seria nula. Relativamente ao local A, este corresponde ao centro de massa das caixas.

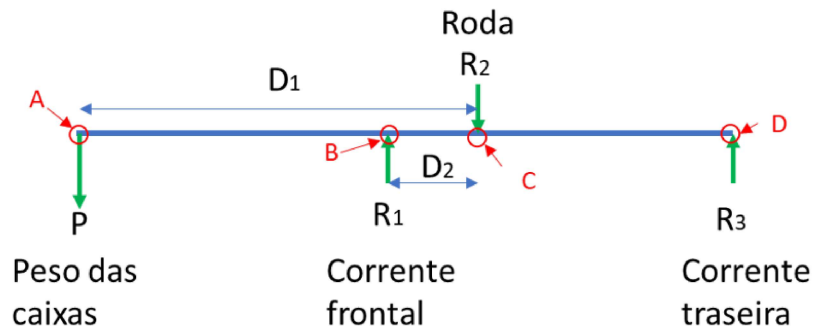


Figura 5.34: Esquema estrutural

Assim, efetuando-se um somatório de momentos em C, pode-se obter uma relação para o valor de R_1 .

$$\sum M_C = 0 \Leftrightarrow P \cdot D_1 - R_1 \cdot D_2 = 0 \Leftrightarrow R_1 = \frac{P \cdot D_1}{D_2} \Leftrightarrow R_1 = \frac{P \cdot 300}{20} \quad (5.15)$$

No entanto, para se poder obter o valor efetivo de R_1 , é necessário primeiro saber o valor de P . Para este parâmetro considerou-se o peso de 4 caixas cheias, além disso, com o recurso do software *Solidworks*, verificou-se que o peso de outros elementos, totalizava um peso aproximado de 100kg. Desse modo, usando a expressão 5.16, calculou-se a força provocada pelo peso das caixas.

$$P = massa \cdot g = 100 \cdot 10 = 1000N = 1[kN] \quad (5.16)$$

Assim obteve-se o valor para a força de R_1 de 15 [kN]. Para o dimensionamento estático deste sistema, considerou-se que essa reação seria a força radial, F_r , a que estes rolamentos estariam sujeitos. Além disso, disso, desprezou-se a existência de cargas axiais, por não se verificarem. Assim procedeu-se ao cálculo da carga estática, C_0 , com base nas equações 5.12, 5.13 e 5.14.

Para o cálculo da carga estática equivalente, P_0 , escolheu-se os rolamentos rígidos de esferas com 0° de contacto angular, tendo-se obtido os valores para o fator radial de 0,6 e para o fator axial de 0,5, [24].

$$P_0 = X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a = 0.6 \cdot 15 + 0.5 \cdot 0 = 9[kN] \quad (5.17)$$

$$P_0 = F_r = 15[kN] \quad (5.18)$$

Como se pode verificar, visto o valor da carga estática equivalente ser superior utilizando a expressão 5.14, utilizou-se este valor para o cálculo da equação 5.12, tendo-se escolhido um coeficiente de segurança, f_s , de exigência normal, [24].

$$C_0 = f_s \cdot P_0 = 1.4 \cdot 15 = 21[kN] \quad (5.19)$$

Quanto a alternativas para apoiar os veios, optou-se por soluções diferentes, consoante as necessidades. Assim, para suportar a corrente frontal, por estar terem que suportar uma carga extremamente elevada, optou-se por se adquirir uns rolamentos rígidos de esferas de dupla carreira, que seriam inseridos num mancal maquinado com recurso à tecnologia de Fresagem. Este, tal como se pode verificar na figura 5.35a, iria fixar o rolamento axialmente, por um lado com um freio interior, e pelo outro, por uma aba maquinada nesse suporte. Além disso, seria colocado um freio externo no veio, de maneira a fixar o movimento axial deste em relação ao rolamento.



Figura 5.35: Suporte correntes frontais: (a) Mancal; (b) Rolamento 4305 BBT VH [20]

Relativamente ao rolamento escolhido, este foi o rolamento 4305 BBT VH, que possui um valor de C_0 igual a 22 [kN], ou seja, superior ao valor de 21 [kN] que tinha dimensionado anteriormente.

No entanto, após se discutir esta possibilidade com a empresa Silencor, estudou-se a possibilidade de colocar chumaceiras em vez de se ter que adquirir estes rolamentos e maquinar o mancal. Tal aconteceu, devido a duas razões. Primeiro, pois sendo uma solução que existe no mercado, é mais simples a sua substituição pois basta adquirir o

produto. Além disso, trata-se de uma solução mais económica do que se se tivesse que maquinar mancais por completo, pois além desse custo, que por si só já seria elevado, ainda se teria que adquirir materiais como rolamentos e freios exteriores e interiores. Deste modo, apenas se teria que maquinar uns suportes, tal como se pode ver na figura 5.36. Infelizmente, para o diâmetro de 25mm do veio, e para a carga pretendida, não existiam chumaceiras capazes de suportar tal carga de 21[kN]. Assim, a solução final, para os suportes frontais passaram pela maquinação efetiva dos mancais.

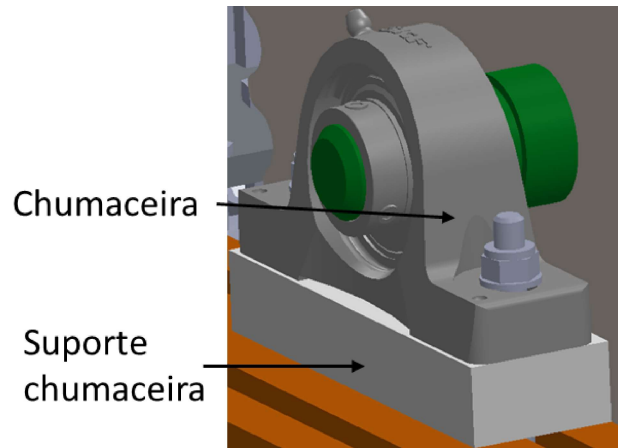


Figura 5.36: Solução de apoio de veios

Relativamente ao apoio da corrente traseira, por estas não terem que suportar grande carga, colocou-se umas chumaceiras genéricas, capazes de suportar o peso das rodas e da própria corrente. Deste modo, seguindo o raciocínio anterior, e com o recurso ao *software Solidworks*, calculou-se uma carga de 500 N. Essa carga, que seria a carga radial, iria ser igual à carga estática equivalente, P_0 . Por último, usando um coeficiente de segurança de exigência elevada, com um valor de 2.5, obteve-se um valor de carga estática, C_0 de 1250 N.

Assim, escolheu-se com base no catálogo da SKF umas chumaceiras, tal como se pode verificar na figura 5.37, com valor de carga estático superior ao calculado e para o diâmetro interior de 25mm. Assim, as chumaceiras escolhidas suportam uma carga estática de 7.8 [kN], [21]. Além disso, optou-se por escolher uma chumaceira para suportar o veio do redutor, que possui um diâmetro de 20mm, da mesma gama que as anteriores, [50], por se tratar de uma chumaceira relativamente baixo custo e por ter que suportar, em termos de carga radial, relativamente pouca.



Figura 5.37: Chumaceira - SY25TF [21]

5.3.3 Potência motor de acionamento

O movimento neste sistema é obtido a partir de um motor e um redutor. Inicialmente, calculou-se o binário e a velocidade de rotação necessários para este sistema, para o estudo das possíveis soluções que garantissem tais condições, que passaram pela utilização de um moto-redutor, um motor monofásico com um redutor e um motor trifásico com um redutor também. Assim, de seguida demonstra-se como é que foram verificadas as condições mínimas de funcionamento.

É importante referir que inicialmente se pensou em não realizar o módulo de interface máquina-armazém, de maneira a simplificar este projeto. Desse modo, o movimento de troca de caixas, tinha que ser realizado entre o tempo de queda de cada uma das peças, ou seja, em 4 segundos. Assim, apresentam-se os cálculos seguintes para um tempo de arranque e paragem de 1s e de um movimento linear de 2s. Além disso, a distância que as caixas teriam que percorrer é de 350mm.

Assim, para o cálculo da aceleração deste sistema, desprezou-se a distância percorrida na aceleração, ou seja, considerou-se que se teria que se percorrer todo o percurso à velocidade máxima, pelo que se obteve uma velocidade de 0.175 [m/s]. De seguida, com base na equação 5.20, obteve-se o seguinte valor para a aceleração.

$$a = \frac{v_f - v_i}{\Delta t} = \frac{0.175 - 0}{1} = 0.175[m/s^2] \quad (5.20)$$

Para o cálculo do binário, B , teve que inicialmente se calcular a força, F , que o sistema iria ter que suportar, com base na equação 5.22, em que a força, F , é dada pela equação 5.21, e a distância normal, b , corresponde ao raio primitivo da roda principal. Uma vez mais, m , corresponde ao sobredimensionamento que se fez anteriormente, em que se considerou a massa de 4 caixas cheias e as forças de inércia, que não são possíveis de estimar.

$$F = m \cdot a = 100 \cdot 0.175 = 17,5[N] \quad (5.21)$$

$$B = F \cdot b = 17.5 \cdot 0.154 = 2.7[N.m] \quad (5.22)$$

Assim, chegou-se a um valor de binário de 2.7 [N.m]. No entanto, ainda era necessário calcular a velocidade de rotação máxima desta máquina, que permitisse obter a velocidade linear pretendida. Esta foi obtida pela equação 5.20, em que com base no raio primitivo da roda dentada, R_p , e na velocidade linear, v , se obtém a velocidade de rotação, N , [24].

$$N = \frac{v \cdot 30}{\pi \cdot R_p} = \frac{0.175 \cdot 30}{\pi \cdot 0.154} = 10.85[rpm] \quad (5.23)$$

Deste modo, obteve-se a velocidade de rotação mínima de 10.85 [rpm], necessária para realizar este movimento linear, no tempo desejado de 2s. Assim, com estas duas condições, o binário e a velocidade de rotação desejados, estudou-se as possíveis soluções de movimentação para esta máquina. No entanto, verificou-se que uma solução economicamente mais viável passaria pela disponibilização de um motor, por parte da empresa, em que apenas se teria que adquirir um redutor. No entanto, as condições de funcionamento deste motor, como o tempo de arranque, não permitiam a troca de caixas no tempo desejado. Assim, fez sentido criar o módulo interface máquina-armazém, que

permitisse bloquear a queda de peças da máquina de cravação, aquando se desse a troca de caixas.

O motor trifásico fornecido, figura 5.38, permite ter uma velocidade de rotação de 1400 [rpm], [51], o que é algo substancialmente acima da velocidade de rotação desejada. Deste modo, teve que se adquirir um redutor que pudesse fornecer uma velocidade de rotação mais perto da desejada. Assim, o redutor escolhido permitiu obter uma redução de 1:100, ou seja, a velocidade de saída deste redutor seria de 14 [rpm] [52]. De seguida, verificou-se se o binário disponibilizado permitia movimentar esta máquina.

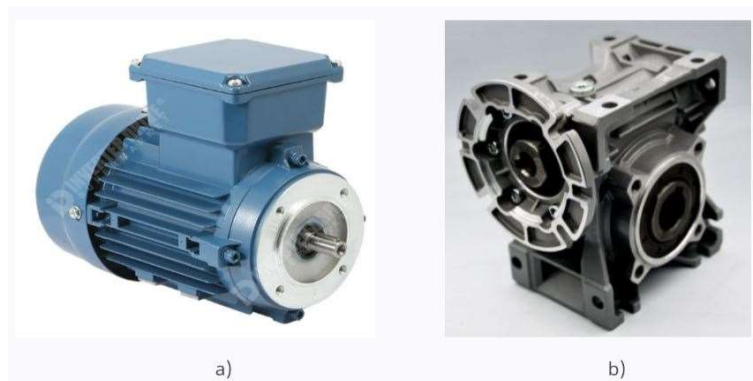


Figura 5.38: Motor e Redutor: (a) UM1A 63M2-4 [22]; (b) PSFBQ50B11C0-MB30 [23]

Assim, com base na velocidade de rotação de 14 [rpm], obteve-se uma velocidade linear de 0.225 [m/s], reorganizando a equação 5.23. De seguida, calculou-se a aceleração, com base no tempo de arranque do motor de 2.2s, tendo-se obtido o valor de 0.1 [m/s²]. Assim, obteve-se a força de 10.2 [N] e o respetivo binário de 1.57 [N.m].

Analisando assim o binário necessário, pode-se auferir que o redutor, que permite até 51 [N.m], será capaz de realizar este movimento, [52].

5.3.4 Chavetas

As chavetas são o componente geralmente utilizado para transmitir binário entre veios e engrenagens, figura 5.39. O dimensionamento destes elementos está relacionado com a força tangencial a que estes vão estar sujeitos. Assim, verifica-se a resistência ao corte do material da chaveta, τ_a , devido à força na secção horizontal da chaveta e a resistência à compressão-esmagamento, σ_d , pois esta força tende a esmagar a chaveta contra o cubo da própria roda,[24].

Deste modo, utiliza-se as fórmulas 5.24 e 5.25, para verificar se a tensão de corte é inferior a 70 [MPa], enquanto que no caso da tensão de esmagamento esta tem que ser inferior a 130 [MPa], para uma ligação fixa e para um cubo em aço, [24].

$$\tau_a = \frac{F_t}{L \cdot b} = \frac{2 \cdot M_t}{L \cdot b \cdot d} < 70[MPa] \quad (5.24)$$

$$\sigma_d = \frac{F_t}{L \cdot (h - t_1)} = \frac{2 \cdot M_t}{L \cdot d \cdot (h - t_1)} < 130[MPa] \quad (5.25)$$

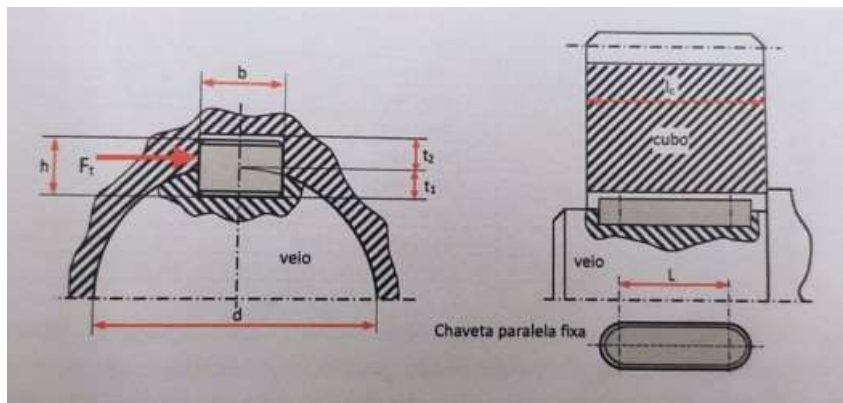


Figura 5.39: Elementos de ligação - chaveta [24]

Este projeto, possui elementos como veios e engrenagens e uma maneira de passar o binário entre os mesmos é através de elementos como as chavetas. No caso dos veios que suportam as rodas principais, como estas já possuíam um diâmetro de furo de 30[mm], os veios tiveram que ser maquinados para acomodar essa mesma dimensão.

Utilizando as equações 5.24 e 5.25, e sabendo que o processo de troca de caixas necessita de um binário de 1600 [N*mm], verificou-se se as chavetas estavam bem dimensionadas.

$$\tau_a = \frac{2 \cdot M_t}{L \cdot b \cdot d} = \frac{2 \cdot 1600}{4 \cdot 8 \cdot 30} = 3.33[MPa] < 70[MPa] \quad (5.26)$$

$$\sigma_d = \frac{2 \cdot M_t}{L \cdot d \cdot (h - t_1)} = \frac{2 \cdot 1600}{4 \cdot 30 \cdot (7 - 4)} = 8.88[MPa] < 130[MPa] \quad (5.27)$$

Como se pode verificar, as chavetas foram bem dimensionadas. É importante referir que as restantes chavetas do projeto seguiram a mesma linha de raciocínio, tendo-se variado ligeiramente o diâmetro do veio, ou o comprimento da chaveta. No entanto, todas foram corretamente dimensionadas, tal como se pode observar na tabela 5.1.

Tabela 5.1: Dimensionamento de chavetas

Chaveta tipo Lxbxh	ØVeio [mm]	τ_a [MPa]	σ_d [MPa]
4x8x7	22	4.54	12.12
7x6x6	20	3.81	11.43
7x8x7	25	2.29	6.1

5.4 Documentação técnica

Todo este projeto necessita de ser devidamente documentado visto ser necessário produzir e montar todos os seus componentes. Assim, de seguida, apresenta-se essa mesma documentação técnica.

5.4.1 Desenhos de conjunto

O projeto final pode ser visualizado na figuras 5.40, onde se pode verificar que esta máquina possui 1230mm de comprimento por 885mm de altura, sendo possível aumentar esta medida. Além disso possui uma profundidade de 813mm. No entanto, para se visualizar em maior pormenor, estes desenhos encontram-se no apêndice D.

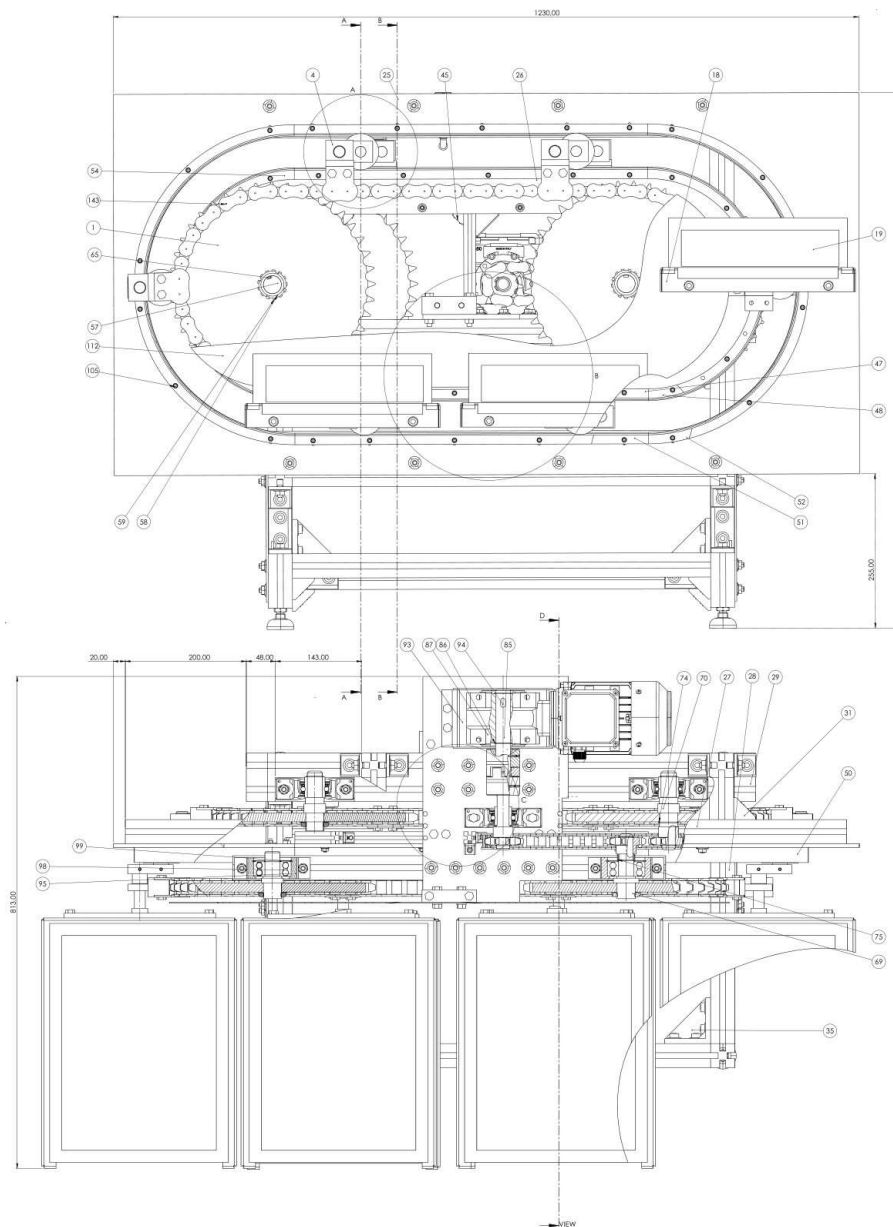


Figura 5.40: Vistas principais do sistema de troca de caixas com atravancamento em milímetros

5.4.2 Desenhos de montagem

Relativamente a estes desenhos, estes permitem mostrar a sequência de montagem. Além disso, permitem também ver mais facilmente como é que alguns elementos são acoplados. No apêndice E é possível visualizar este tipo de desenhos.

5.4.3 Desenhos de definição

Os desenhos de definição são representações individuais dos diferentes componentes de um projeto. Assim, no no apêndice F é possível verificar alguns exemplos de peças fabricadas para este projeto, com as devidas cotas e toleranciamento.

Capítulo 6

Desenvolvimento de Projeto Elétrico e Automação

6.1 Projeto Elétrico

A realização do projeto elétrico, permitiu interligar diversos componentes que tanto conferem proteção elétrica como permitem realizar os movimentos necessários, como o movimento rotativo da máquina principal e o movimento do módulo de interface máquina-armazém.

No entanto, a elaboração do quadro elétrico final, estaria dependente da construção mecânica, ou seja, seria a última parte a ser realizada. Assim, elaborou-se um quadro com os principais elementos elétricos, tal como se pode ver na figura 6.1, de modo a poder-se simular o funcionamento dos mesmos. Posteriormente, depois de se ter concluído a construção mecânica, o quadro elétrico final iria ser montado com os diversos elementos à exceção dos diversos sensores e do motor, recorrendo-se a calhas e elementos de fixação. Deste modo, os componentes ficariam protegidos e com uma organização otimizada. Relativamente aos diversos fios utilizados, todos seriam devidamente identificados.

Quanto à posição do quadro, tal como referido anteriormente resolveu-se fixar este junto ao quadro da máquina de cravação, de modo a ficar devidamente arrumado e facilmente acessível. Quanto aos botões utilizados, estes, de maneira a ficarem também igualmente acessíveis, seriam colocados na porta do quadro. Assim, o operário não necessita de aceder ao interior do quadro para desligar ou ligar este sistema. Destaca-se que se decidiu pela colocação de um botão, que permite informar que o operário retirou as caixas cheias, perto do local onde o operário iria retirar as mesmas. Tal aconteceria para maior comodidade do operário, visto ser necessário pressionar este botão cada vez que este efetua a troca as caixas. Por último, o esquema elétrico deste projeto pode ser visualizado no apêndice A.

6.1.1 Módulo de potência

Relativamente ao motor, tal como referido anteriormente, optou-se por aproveitar um motor que a própria empresa já dispunha e que permitia ter as características desejadas, como o binário e a velocidade, que eram relativamente baixos. Este motor é um motor elétrico trifásico em alumínio.

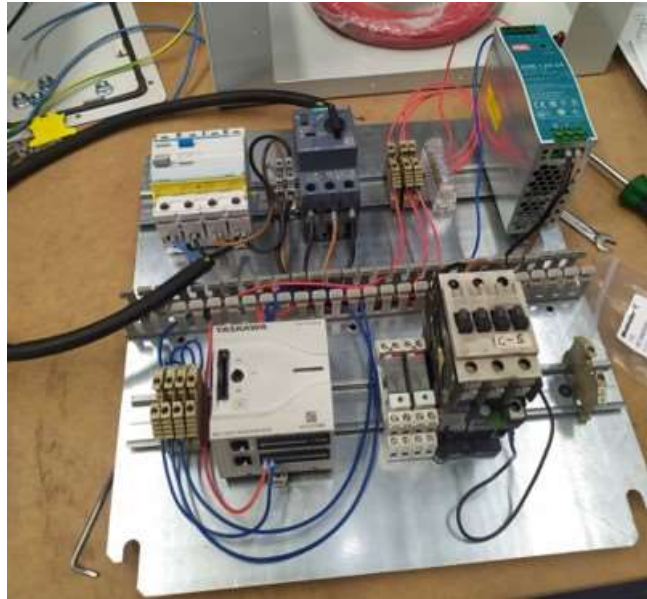


Figura 6.1: Montagem dos principais componentes do quadro elétrico

O motor utilizado é do tipo UM1A 63M2-4, figura 5.38, [51], e foi adquirido à empresa Universal Motors. Este foi acoplado a um redutor de engrenagens, do tipo PSFBQ50B11C0-MB30, também dessa mesma empresa, com um rácio de 1:100, tal como referido anteriormente.

Quanto ao arranque do motor, este é feito em estrela. Uma melhor compreensão do mesmo pode ser feita através do esquema da figura 6.2, onde se pode verificar que entre cada uma das fases se tem 380V. Assim, visto a tensão trifásica em Portugal ser aproximadamente 400V, este arranque seria a única maneira de suportar a corrente.

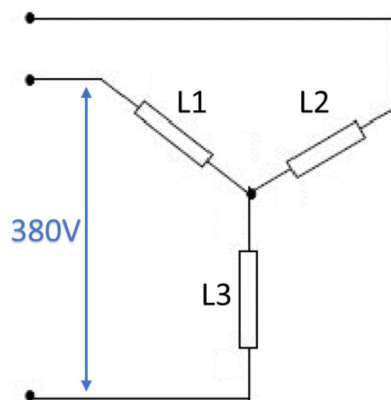


Figura 6.2: Esquema de arranque em estrela. Adaptado [25]

Deste modo, para o arranque escolhido, pode-se observar que de acordo com a placa do próprio motor, figura 6.3, este irá consumir 0,58A de corrente.



Placa de especificações do motor Universal Motors. O modelo é MOT UM1A 63M2-4, com uma massa de 4,4 kg. A placa contém uma tabela de dados elétricos para diferentes configurações de tensão e frequência.

Is.cl. F		IP 55	IM 3601	S1	
V	Hz	min-1	kW	A	COSφ
Δ 220-240	50	1370	0.18	1.01	0.69
Y 380-415	50	1370	0.18	0.58	0.69
Δ 250-280	60	1645	0.22	1.01	0.71
Y 440-480	60	1645	0.22	0.58	0.71

Adicionalmente, a placa indica o código IEC60034-1, o fabricante (UM) Equipamentos Electromecânicos S.A.-Portugal, o número de série N.1911-137 0257, o ano 2019 e o número de identificação 6201.

Figura 6.3: Placa do motor UM1A 63M2-4

6.1.2 Módulo de elementos elétricos

Fonte de alimentação

Como se utilizou um número relativamente baixo de elementos neste projeto elétrico, decidiu-se pela alimentação de todos a partir de uma única fonte de corrente contínua. No entanto, relativamente ao motor, por se tratar de um motor trifásico, este é alimentado diretamente das linhas de tensão existentes no chão de fabrica.

O consumo total dos elementos elétricos foi calculado em cerca de $1150mA$, pelo que se estudou a possibilidade de se colocar uma fonte de alimentação com $2A$ ou $3A$. No entanto, após se realizar o pedido de orçamento para este tipo de fontes, verificou-se que o preço era bastante semelhante. Além disso, visto um fornecedor ter para entrega imediata, optou-se por uma fonte de $5A$. Assim, a fonte escolhida, denominada EDR-120-24, figura 6.4, possui $120W$ de potência e as suas especificações técnicas podem ser visualizadas no apêndice 6.4.



Figura 6.4: Fonte de Alimentação EDR-120-24 [26]

PLC Vipa M13-CCF0000

Para se poder controlar todo este projeto, escolheu-se pela utilização de um autómato. Além disso, outra razão de utilização deste tipo de componente foi pela sua maneira

simples de programação em Ladder. Para tal, esta gama de componentes, recorre ao software da TIA-Portal da Siemens, [53], que reúne num único local todos os pacotes necessários para os programar. Relativamente ao hardware, este possui diversas entradas e saídas, assim como locais destinados para a sua alimentação.

Neste projeto específico, face à utilização de um número reduzido de sinais e por se tratar de uma solução económica optou-se pelo Vipa M13-CCF0000, tal como se visualizado na figura 6.5. Este é uma variante da marca VIPA, de dimensões reduzidas [54], e possui 16 entradas digitais, 12 saídas digitais e 2 canais analógicos. A alimentação é realizada a partir de uma fonte de 24V DC. Além disso, este componente possui dois canais Ethernet por onde se pode comunicar com este dispositivo, quer se pretenda programar ou controlar remotamente.



Figura 6.5: Autómato Vipa M13-CCF0000 [27]

Sensores

Os sensores são dispositivos muito utilizados na automação industrial e permitem transformar variáveis físicas como posição, velocidade ou temperatura em variáveis que podem ser facilmente monitorizadas, através de por exemplo, corrente elétrica, [55]. Estes podem ser sensores discretos, que produzem sinais de saída binários ou sensores de medição, que permitem reproduzir a amplitude de um dado sinal de entrada e transformar num sinal de saída diretamente proporcional.

Relativamente aos sensores discretos, estes podem ser divididos em sensores de contacto mecânico e em sensores de proximidade. Tal como o nome indica, nos primeiros o objeto é detetado com base numa força que é aplicada no sensor, enquanto nos segundos basta verificar-se a aproximação do dado objeto, para este ser detetado. Relativamente a este grupo de sensores, existem, entre outros, sensores indutivos que detetam alterações no campo magnético, por exemplo através da aproximação de um objeto metálico, e sensores fotoelétricos que detetam variações de luz infravermelha recebida, [55].

Neste projeto, optou-se pela utilização de um sensor de contacto mecânico para se poder verificar se a caixa já se encontrava por baixo do tapete rolante, e desse modo desligava-se o motor. O sensor escolhido para esse efeito pode ser visualizado na figura 6.6, e é denominado por NAB112KC-DN2. Além disso, para se detetar se as portas se encontram fechadas, foram utilizados dois sensores mecânicos do tipo XCMD2110L1, figura 6.6, que possuem, contrariamente ao anterior, 2 contactos. Tal acontece, pois de modo a tornar este projeto mais seguro decidiu-se que se algum destes sensores fosse ativo, que o motor deveria desligar, tal como se pode verificar no esquema elétrico do apêndice A. Quanto ao segundo contacto este seria necessário para informar o autómato

da abertura das portas.

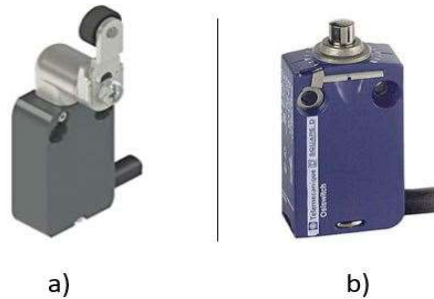


Figura 6.6: Sensores: (a) NAB112KC-DN2 [28]; (b) XCMD2110L1 [29]

Pela utilização de uma componente pneumática neste projeto, nomeadamente no cilindro pneumático que abre e fecha a portinhola, para verificar se o cilindro tinha atingido o fim de curso, utilizou-se dois sensores indutivos, tal como se pode ver na figura 6.7. Estes sensores são denominados SME-8M-DS-24V-K-0,3-M8D.



Figura 6.7: Sensor indutivo SME-8M-DS-24V-K-0,3-M8D [30]

Foi utilizado ainda um sensor fotoelétrico, com o objetivo de detetar as peças metálicas que passavam no tapete rolante. Deste modo, este sensor emite e recebe uma luz infravermelha utilizando um espelho refletor. Tais elementos podem ser vistos na figura 6.8. O sensor escolhido, denominado por 20QPLPQ7 foi escolhido por se tratar de uma opção simples e económica.

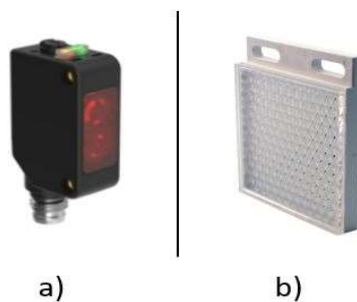


Figura 6.8: Conjunto: (a) Sensor fotoelétrico [31]; (b) Espelho para sensor [32]

6.2 Projeto Automação

6.2.1 Módulo de Controle

O módulo de controle, permite que todo este sistema trabalhe de maneira contínua e segura, recorrendo a sinais elétricos, e atuando em conformidade com os mesmos. Assim, garante-se que qualquer uma destas máquinas não é interrompida permitindo uma maior produtividade.

Relativamente a este projeto, é importante notar que este se focou na utilização de um autómato, para que o sistema funcione de modo automático. Posteriormente, na figura 6.9, apresentam-se os fluxogramas do controlo deste sistema, com este modo representado.

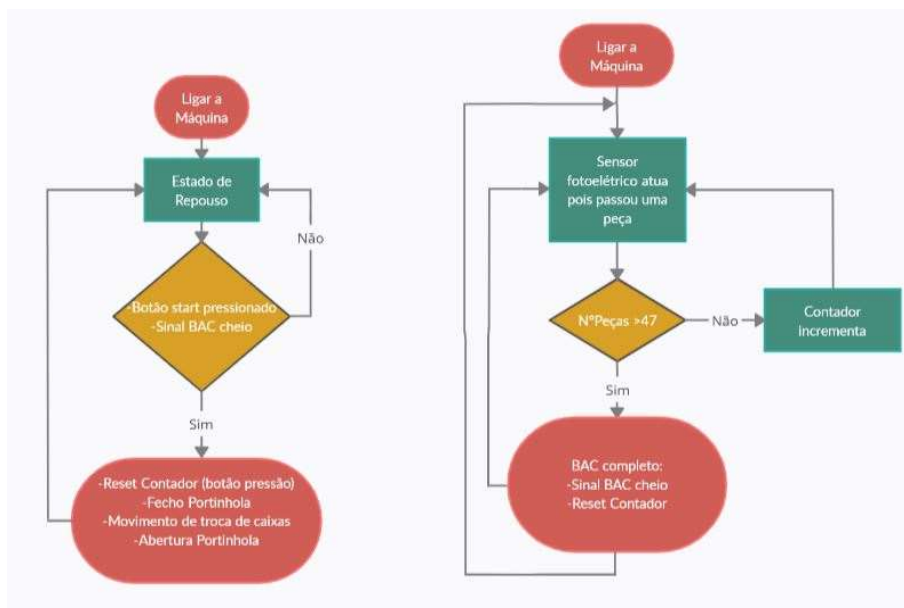


Figura 6.9: Fluxogramas de controlo

Tal como se pode ver pelos fluxogramas, a programação do autómato necessitou de duas funções distintas. É importante referir que após se ligar a máquina, algo que é feito por um botão rotativo colocado no quadro elétrico, este sistema fica ativo. Assim, pode começar a contagem de peças, como se pode verificar na figura 6.9. Neste caso, ao passar uma peça no tapete rolante, esta é detetada pelo sensor fotoelétrico, o que faz incrementar uma variável contadora. De seguida, verifica-se se o número de peças já atingiu o número de peças pretendidas no BAC, que neste caso são 48. Caso seja atingida o número de peças desejadas, esta função envia um sinal de que o BAC se encontra cheio e a variável contadora é colocada com o valor de 0.

Relativamente à segunda função, esta é necessária para fazer movimentar o sistema de maneira autónoma. Desse modo, inicialmente, após este sistema se encontrar ligado se a função encontra-se num estado de repouso, em que apenas passará para o estado seguinte se receber o sinal de BAC cheio ou se for pressionado um botão de pressão, colocado também no quadro elétrico. Desse modo, e de maneira a se garantir uma troca de caixas em segurança, este movimento inicia-se com o fecho do módulo máquina-armazém (fecho da

barreira física também denominada por "portinhola"), de maneira a não passarem mais peças para a caixa, que já se encontra com o número de peças pretendidas. De seguida, caso as portas não estejam abertas o motor troca as caixas, garantindo-se assim que este movimento não coloca em causa a segurança do operário. É importante referir que o movimento de rotação das caixas, apesar de breve, é imediatamente interrompido, caso alguma das portas seja aberta, conforme se pode ver no esquema elétrico no apêndice A. Para concluir o movimento de troca de caixas, a barreira deste módulo abre ("portinhola" abre), permitindo que as peças possam cair para o interior da nova caixa vazia. É importante referir que, caso se pretenda por algum motivo, que este sistema faça uma rotação de caixas, pressiona-se um botão de pressão, que além de iniciar este movimento coloca o contador com o valor 0.

Esta solução, de funções distintas, permite que se continue a produzir peças de maneira contínua, pois caso se esteja a dar a rotação de caixas, as peças não vão cair visto estarem impedidas pela barreira do módulo máquina-armazém. Além disso, se por esquecimento do operário as portas ficarem abertas e caso se tenha atingido o número de peças desejadas na caixa, esta barreira irá impedir que as peças entrem no BAC que já se encontra cheio. Uma melhor compreensão destes fluxogramas pode ser obtida, visualizando-se os "grafcets" no apêndice C.

6.2.2 Módulo de Feedback

Apesar das funções anteriores permitirem que todo o sistema, funcione de maneira automática, foi necessário desenvolver um mecanismo capaz de transmitir a informação à máquina de cravação, de que esta deveria parar quando fosse necessário.

Este mecanismo foi necessário, pois como a máquina de cravação estaria a funcionar continuamente, nada garantia que após as 6 caixas cheias, que a máquina de cravação não iria parar a sua produção. É importante referir que apenas se atingiria as 6 caixas cheias, caso por lapso do operário encarregue pela troca das mesmas, este não a tivesse efetuado, por algum motivo. Além disso, caso as portas da máquina principal estejam continuamente abertas, para garantir a segurança do operário, a máquina principal, não pode efetuar a troca de caixas. Apenas estaria fechada a barreira, no entanto as peças estariam a ser acumuladas no tapete. Uma vez mais, esta situação apenas aconteceria, caso o operário se esquecesse de fechar as portas quando saísse da máquina.

Assim e não tendo acesso ao programa do autómato da máquina de cravação, decidiu-se criar uma função adicional no autómato, que quando se verificasse uma das situações descritas acima, iria parar a máquina de cravação. No entanto, para parar a máquina de cravação teve que se colocar um relé auxiliar em série com a alimentação do motor elétrico responsável pela rotação do prato, que estando ativo, através do sinal do autómato, iria desligar a corrente desse motor, não permitindo a rotação do prato desta máquina. Deste modo, não iriam ser produzidas novas peças e não seria necessário corrigir o programa da máquina de cravação. Além disso, é importante referir, que a partir do momento que esse relé deixasse de receber os 24V, que este iria permitir novamente a passagem de corrente e o prato iria rodar, podendo-se continuar a produção de novas peças.

Relativamente à programação do autómato, os fluxogramas da figura 6.10 podem mostrar o funcionamento do mesmo. Sabendo que cada vez que se liga a máquina o contador do número de caixas começa com o valor zero, é possível observar que este só vai aumentar com o sinal de BAC cheio que se dá ao fim de 48 peças, ou seja, de um

lote. Quando este valor atingir o valor máximo de 6 caixas, é ativada uma saída do autômato que irá desligar a rotação do prato da máquina de cravação. Nesta etapa um operário terá que ir trocar as caixas, e após essa tarefa carrega no botão para demonstrar ao autômato que retirou todas as caixas cheias.

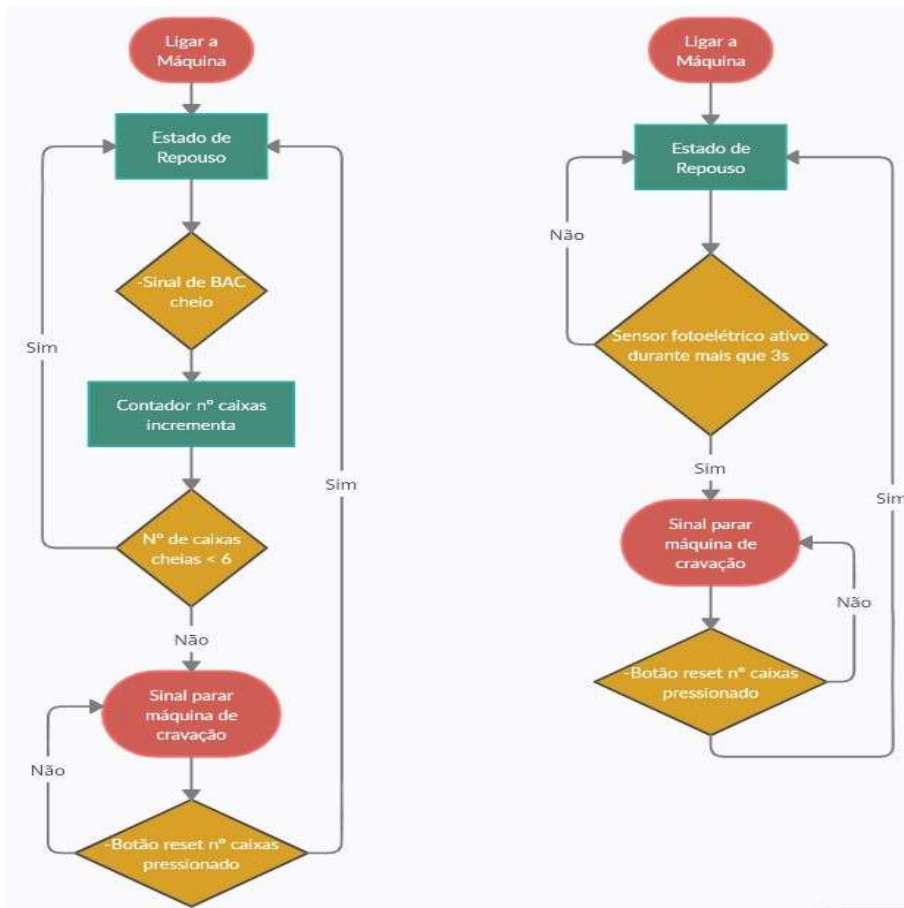


Figura 6.10: Máquina de cravação - Mecanismo de feedback

É importante referir que se implementou como regra de que quando o operário, responsável pelo ciclo logístico, vai retirar as caixas, mesmo que só estejam cheias 3 ou 4, este tem a obrigatoriedade de retirar todas as caixas cheias. De seguida, deverá carregar no botão, que coloca o contador de caixas cheias novamente a zero. Ao pressionar o botão, o autômato vai entender que foram retiradas todas as caixas cheias, mesmo que apenas só tivesse, por exemplo uma.

Quanto à situação do módulo de interface máquina-armazém se encontrar fechado, e o tapete ir acumulando peças. No caso extremo, as peças vão eventualmente interromper o feixe do sensor fotoelétrico, e como a produção de peças se dá a cada 4s, caso a mesma peça seja detetada durante 3s, é enviado um sinal para parar a máquina de cravação. Deste modo, um operário terá que ir verificar a situação deste sistema e perceber porque é que este não permitiu a abertura deste módulo. Neste caso específico, tal poderá ter acontecido pelas portas por onde o operário entra para trocar as caixas, se encontrarem abertas, por lapso.

Com o intuito de mostrar mais facilmente ao operário que alimenta a a máquina de cravação, de que se passou uma das situações, anteriormente descritas, decidiu-se pela colocação de uma luz sinalizadora, perto da zona de trabalho do mesmo. Assim, caso se verifique uma destas situações, o operário encarregue de alimentar a máquina de cravação poderá sair do seu local e ir verificar a situação.

Capítulo 7

Análise Tecno-Económica

7.1 Orçamentação

Para se estudar a viabilidade do projeto, teve que se fazer uma orçamentação inicial do custo da máquina. Para tal, foi necessário dividir as peças em grupos de acordo com o seu processo de fabrico ou modo de aquisição, e contactar diversos fornecedores com o intuito de se adquirir os componentes mais viáveis, do ponto de vista económico.

Custo de Projeto

É importante referir que a orçamentação foi realizada em duas fases, pois após a chegada da primeira fase de orçamentos, foram feitas alterações no projeto de maneira a torná-lo ainda mais económico. Assim sendo, de seguida apresentam-se já os valores finais estimados para o custo dos materiais. Desta forma, como referido anteriormente, elaborou-se diversos grupos de peças, de acordo com o seu método de fabrico ou de acordo com a maneira de como iriam ser obtidas.

Conforme se pode visualizar, na tabela 7.1, relativamente à maquinaria subtrativa, incluiu-se todas as peças a serem obtidas por torneamento e fresagem. Relativamente ao processo de FDM este foi utilizado para a realização das guias auxiliares poliméricas. Quanto à estrutura de suporte, com os diversos perfis de alumínio e conectores, esta foi definida como material de alumínio. É importante ainda referir que nas peças standard se incluem todos os artigos normalizados, tais como parafusos, rodas, casquilhos e o acoplamento do redutor, entre outros.

Relativamente ao projeto elétrico é importante referir que se colocou nesta categoria todos os dispositivos como sensores, componentes elétricos e pneumáticos e o dispositivo de controlo, o autómato Vipa M13-CCF0000. Assim, pode-se afirmar, de acordo com a tabela 7.1, que o custo total de material para todo este projeto é de 5525 €.

No entanto, e apesar do custo de materiais representar o maior custo deste projeto, é necessário contabilizar o tempo necessário para construir este projeto, para se poder ter um preço de mão-de-obra. Deste modo, estimou-se 1 semana para a montagem de todos os componentes. Tendo assim 5 dias úteis e um custo de operário de 12€/hora, calculou-se que este custo seria de 480€.

Assim, com base em todos os custos pode-se afirmar que o custo total deste projeto é de 6005€.

Tabela 7.1: Custo de Material

Processo/Compras	Empresa escolhida	Preço s/iva
Maquinação Subtrativa	Nanlito	1939 €
Impressão 3D (FDM)	Codi	1134 €
Material de Alumínio	OneProfile	414 €
Chapas e Barras	Ramada, Chapagueda, Portugal Alves	182 €
Peças Standard	Macafer, Alves e Loureiro, SDYM, Hansa F.	266 €
Correntes e Rodas Dent.	Harker	398 €
Projeto Elétrico	Santos e Quelhas, Prosistav, Fenixeletrical	1091 €
Redutor	Universal Motors	101 €
Total		5525

7.2 Ganhos possíveis

Para que este projeto pudesse ser aceite pela empresa, teve que se realizar um estudo sobre o possível retorno financeiro, que este iria possibilitar. Deste modo, dividiu-se os possíveis ganhos em duas grandes áreas, visto serem calculados de maneira distinta.

7.2.1 Ganho Efetivo

OEE

Para o cálculo deste tipo de ganho, considerou-se o conceito de Lean Manufacturing. Este é baseado numa abordagem sistemática para identificar e eliminar o desperdício através da melhoria contínua, [56]. Este conceito foi inicialmente criado pela Toyota Japão, com o intuito de otimizar a sua produção. De maneira a respeitar este conceito, um método de medição que é bastante utilizado é o OEE.

De maneira bastante simples, o conceito de OEE pode ser obtido pela definição da “Máquina Perfeita”: se durante um dado período de tempo não existirem perdas de nenhum tipo, isto é, se o equipamento esteve sempre apto a produzir quando necessário e produziu sempre produtos sem defeitos à primeira e à velocidade máxima, [57]. Desse modo, o OEE, além de ser um indicador de desempenho permite ainda:

- Planear a capacidade;
- Controlar o processo;
- Melhorar o processo;
- Calcular os custos de perdas de produção.

No entanto, para ser mais fácil parametrizar este método, o OEE pode ser calculado com base em 3 fatores, a partir da equação 7.2:

- Disponibilidade do equipamento para produzir;
- Eficiência demonstrada durante a produção;
- Qualidade do produto obtido.

$$OEE = Disponibilidade \cdot Velocidade \cdot Qualidade \quad (7.1)$$

Deste modo, o valor de qualquer um destes parâmetros nunca pode ser superior a 1, pois estes são calculados com base na fórmula 7.2. Neste caso, utilizou-se o exemplo para a qualidade, no entanto os restantes parâmetros são calculados de maneira similar. É de notar, que o facto de um parâmetro ser prático, implica que é o valor real deste, ou seja, que é medido ou visto no chão de fábrica. No entanto, relativamente ao teórico, este é calculado com base nas características da máquina, sendo normalmente superior ao prático.

$$Qualidade = \frac{Qualidade \ Prática}{Qualidade \ Teórica} \quad (7.2)$$

Neste caso, e de maneira aproximada, este sistema iria incidir sobre a velocidade de produção, tendo-se garantido que a Disponibilidade e a Qualidade não eram afetadas, e que os seus valores já eram máximos e iguais a 1.

Assim, incidindo-se sobre a velocidade de produção verificou-se que a capacidade de produção da máquina atualmente, num dia, era de 3777 peças, valor este obtido com base nas produções anteriores diárias. No entanto, após a utilização deste sistema estimou-se uma produção real de 4651 peças diárias. Como a produção teórica da máquina, caso não houvesse perdas de tempo por parte dos operários seria de 6903 peças o valor dos rácios aumentou de 0,54 para 0,67, chegando-se aos valores de OEE da tabela 7.2.

Tabela 7.2: Valores de OEE calculados

Oee atual	0,5472
Oee futura	0,6737

Posteriormente, com base em dados para os valores de OEE de cada máquina, calculados pela empresa em 2014, verificou-se que por cada 1% de OEE ganho, a empresa ganharia 211€ por ano. Ou seja, pode-se fazer mais peças, em menos tempo, o que possibilita maior número de vendas.

Deste modo chegou-se a um valor de ganho da máquina de 2745€.

Aumento de Cadência

O aumento da velocidade de produção possui outros benefícios tal como acontece em qualquer empresa. Tal acontece, caso a quantidade produzida seja a mesma, pois demora-se menos tempo para produzir as peças pretendidas. Assim, uma empresa consegue economizar recursos como eletricidade e mão de obra.

No caso da Silencor, contabilizou-se que para a mesma produção anual de 234233 peças, se poupavam 91,5 horas de produção com a utilização deste sistema. Deste modo, e de acordo com parâmetros internos da empresa, verificou-se que este aumento possibilitava um retorno de 1098€.

Assim, chegou-se ao valor final de ganho efetivo de 3843€.

7.2.2 Ganho Personalizado

O intuito inicial deste projeto foi retirar a necessidade de o operário se deslocar, cada vez que necessitava de trocar um BAC cheio. Tal situação, numa hora de trabalho produzia um desperdício de 14 minutos. É importante realçar que este valor foi obtido, de maneira experimental, tendo-se efetuado diversas medições no chão de fábrica.

É importante referir que se tomou em contabilização o número de dias úteis anuais de 235 dias. Além disso, teve-se em conta um tempo de trabalho diário útil de 7 horas, pois apesar dos turnos serem de 8 horas, existem sempre perdas de tempo, tal como paragens para a casa-de-banho ou verificação da qualidade das peças. Assim, inicialmente calculou-se primeiro o número de horas de trabalho anual recorrendo-se à fórmula 7.3.

$$N^\circ \text{ horas anual} = N^\circ \text{ Dias úteis} \cdot N^\circ \text{ horas diárias} \quad (7.3)$$

De seguida, calculou-se o custo anual, com base na equação 7.4.

$$\text{Custo Anual} = N^\circ \text{ horas anual} \cdot \text{Tempo gasto} \cdot \text{Custo Operário} \quad (7.4)$$

Tendo em conta o preço de um operário de 12,5€ por cada hora de trabalho, valor utilizado como referência por esta empresa, e após se contabilizar o número de horas anual, obteve-se um desperdício de 4798€. Deste modo, utilizando este sistema, o operário pode produzir outro tipo de peças, numa outra máquina. Assim, obtém-se retorno financeiro sobre o que o operário produz, em vez de se pagar para que este esteja a fazer movimentos desnecessários.

Um outro ponto importante a referir com este sistema, é que o aumento da velocidade de produção permite produzir mais peças anualmente. Assim, a disponibilidade da máquina de cravação aumenta, podendo-se posteriormente fazer contratos de maiores quantidades de peças.

7.3 Viabilidade de Projeto

Um projeto para ser economicamente viável, segundo as normas desta empresa para projetos com um custo inferior a 10 000€, necessita de ter um retorno financeiro em menos de um ano. Deste modo, calculou-se o mesmo, com base na fórmula 7.5 e com os valores da tabela 7.3, tendo-se obtido o valor de 8,3 meses para se obter retorno financeiro. Assim, estando o valor obtido dentro do aceitável, este projeto foi aprovado pela direção.

$$\text{Payback} = \frac{\text{Custo Total}}{\text{Ganho Total}} \cdot 12 \quad (7.5)$$

Tabela 7.3: Tabela resumo de custos e ganhos

	Tipo	Valor	Total
Ganho	Efetivo	3844€	8642€
	Personalizado	4798€	
Custos	Material	5525€	6005€
	Mão de obra	480€	
Retorno Financeiro			8,3 meses

Capítulo 8

Construção do equipamento

Neste capítulo será abordada a implementação da construção mecânica deste projeto, até à data da escrita deste documento. Por se tratar de um protótipo, irão ser referidas as falhas ao nível do desenvolvimento do projeto mecânico e quais as soluções técnicas desenvolvidas para as colmatar. Assim, apresentam-se de seguida, seguindo a ordem de montagem, os passos que permitiram a construção mecânica deste sistema.

8.1 Módulo - estrutura de suporte

Assim, para se colocar os elementos mecânicos teve que se construir inicialmente a estrutura de suporte, tal como se pode ver na figura 8.1. Assim, inicialmente cortou-se todas as barras recorrendo-se a um serrote de fita e abriu-se uma rosca no perfil de 40x40L, para se poder colocar os pés de suporte. Estes possuem um perno que permite regular a altura da máquina. A seguir, procedeu-se à montagem dos diversos perfis, utilizando-se conectores e colocou-se as placas de reforço e a placa de apoio, onde irá estar o redutor.

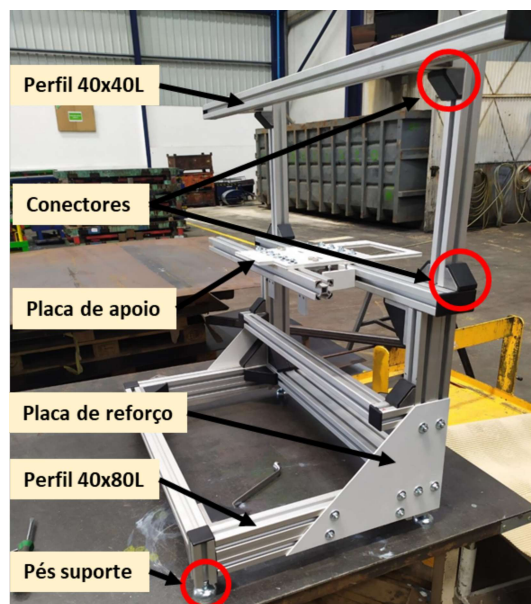


Figura 8.1: Implementação - estrutura de suporte

8.2 Módulo - apoio das correntes principais

A colocação das rodas principais e das correntes foi o passo seguinte. No entanto, verificou-se que a geometria das chumaceiras, figura 8.2, escolhidas para apoiar as rodas traseiras, não garantiam que a corrente ficasse alinhada. Tal acontece, pois a corrente para trabalhar teve que ser esticada, e face a essa força de tração, as rodas onde esta estava acoplada ficaram inclinadas. Tal deveu-se ao facto dos rolamentos desta chumaceira serem cónicos, o que permite uma rotação do seu casquilho, não garantindo assim o alinhamento das rodas.

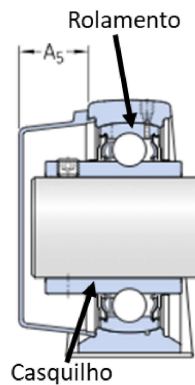


Figura 8.2: Chumaceira - vista em corte. Adptado [21]

Assim, obteve-se a figura 8.3, onde se pode verificar que a roda se encontra inclinada, o que por sua vez leva ao desalinhamento da corrente principal.

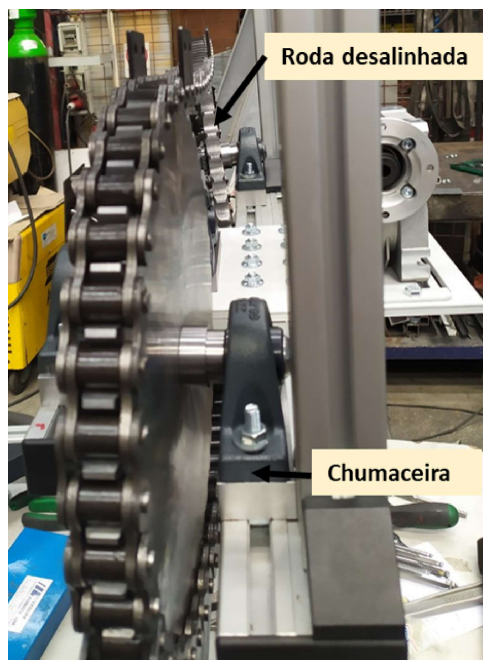


Figura 8.3: Desalinhamento da corrente principal traseira

Deste modo, estando estas rodas apenas suportadas numa única chumaceira e sabendo que estas não irão suportar grandes esforços, optou-se por uma solução técnica que passaria pelo apoio destas rodas em dois pontos, mais concretamente em duas chumaceiras. Assim, aproveitando os veios iniciais, onde se abriram furos roscados M16, realizou-se ainda dois novos veios com o mesmo diâmetro que os primeiros, com recurso à tecnologia de maquinação que a empresa disponha, em que estes teriam as pontas roscadas. Assim obteve-se a figura 8.4, onde se pode verificar a colocação de um suporte para uma das chumaceiras, sendo que este se encontra apoiado no perfil de alumínio.

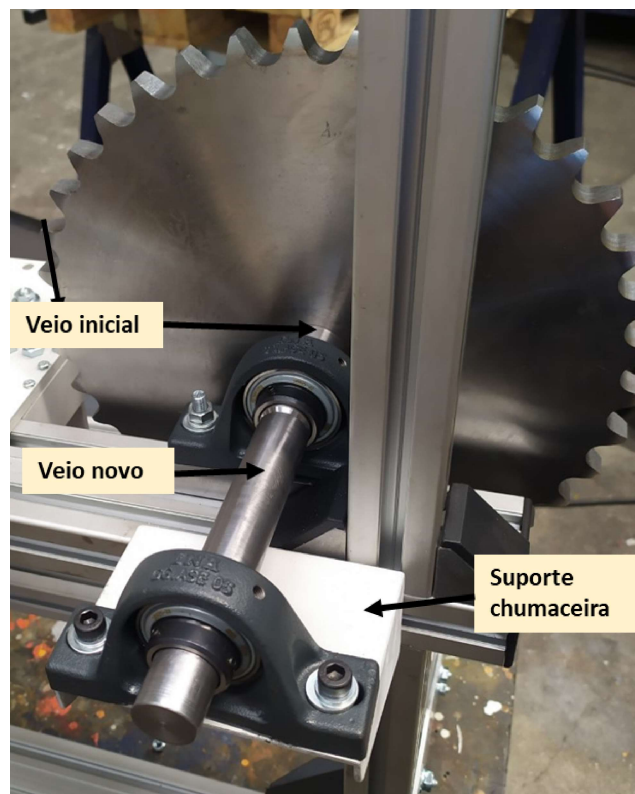


Figura 8.4: Solução técnica de apoio das rodas traseiras

Para os apoios das rodas frontais, visto uma vez mais este projeto se tratar de um protótipo, resolveu-se construir um mancal com os recursos que a empresa dispunha. Assim, maquinou-se um tubo mecânico para fazer a concavidade onde estaria albergado o rolamento, e maquinou-se uma base para colocar esse tubo. De seguida, soldou-se essas peças, tal como se pode verificar na figura 8.5. Pode-se observar que para bloquear o rolamento axialmente, visto a empresa não dispor de uma ferramenta para realizar a ranhura que permitisse colocar um freio interior, foram colocados uns pernos, tendo-se realizado furos roscados no tubo mecânico.

No entanto, antes de se colocar a corrente frontal, colocou-se a placa exterior com as respetivas guias, tal como se pode observar na imagem 8.6. É de notar que com este apoio único, as rodas ficaram corretamente alinhadas, mesmo depois de lhes ter sido colocada a corrente.

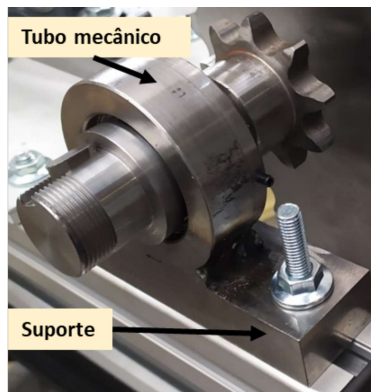


Figura 8.5: Solução técnica de apoio das rodas dianteiras

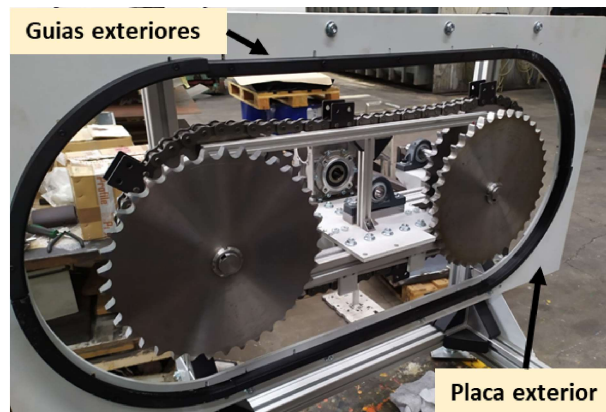


Figura 8.6: Colocação da placa exterior

8.3 Módulo - acionamento

Verificou-se que a colocação de uma única corrente, para transmitir movimento a três pinhões em série, como se pode ver no esquema da figura 8.7 e como se tinha planeado na fase de desenvolvimento, não resultava. Tal acontece, pois apenas os pinhões das extremidades eram tracionados, enquanto que o pinhão que se encontrava no meio, por ter falta de contacto com a corrente, não era tracionado corretamente, fazendo com que a corrente por vezes saltasse dos seus dentes.

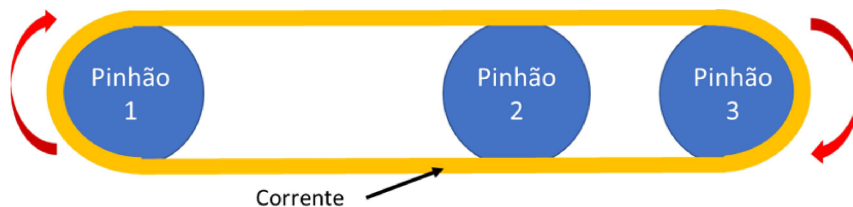


Figura 8.7: Esquema de acionamento

Assim, teve que se optar por uma solução técnica diferente para transmitir o movimento. Deste modo, desenvolveu-se um pinhão duplo que iria conectar através de duas

correntes a cada uma das rodas principais, tal como se pode ver na figura 8.8. Além disso, teve que se adaptar alguns veios para se poder colocar esta solução.

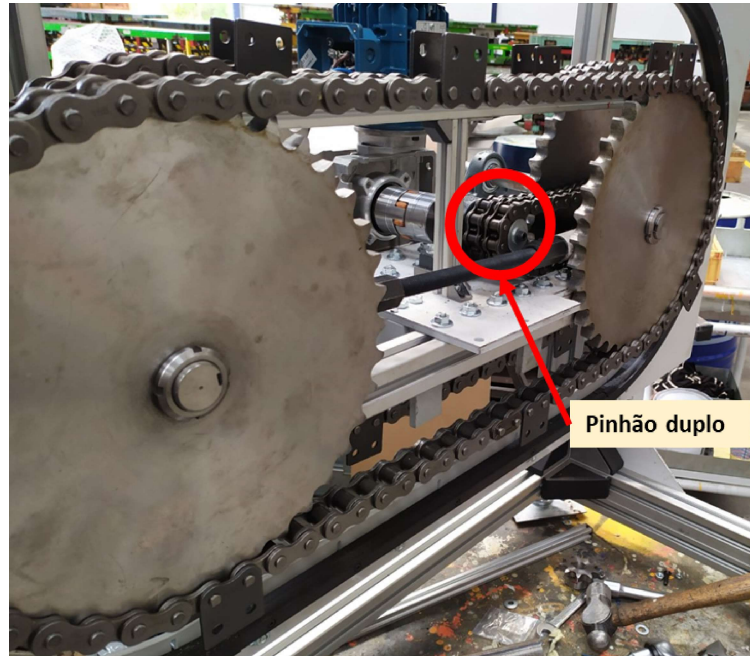


Figura 8.8: Solução técnica de acionamento - pinhão duplo

Com estas alterações no módulo de accionamento, e com as chumaceiras traseiras a ocupar o local do motor, teve que se encontrar uma nova posição de funcionamento para o mesmo. Assim, tal como se pode verificar na figura 8.9, o motor encontra-se na vertical, tendo sido necessário corrigir a sua base de suporte. Esta alteração não coloca em causa a altura da máquina, que era uma das limitações impostas pela empresa, para este projeto.

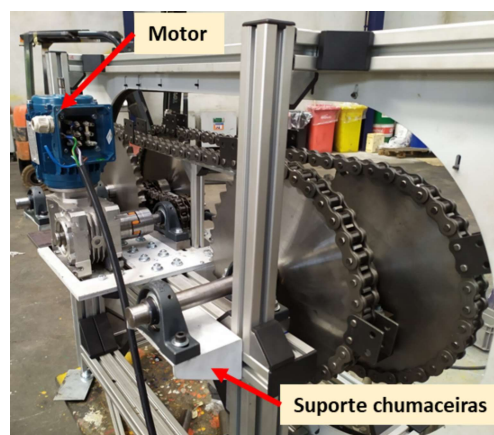


Figura 8.9: Solução técnica de acionamento - alteração da posição do motor

8.4 Módulo - interface máquina-armazém

Relativamente a este módulo, tal como se pode verificar na figura 8.10, colou-se o cilindro lateralmente, sendo que este é responsável pela abertura e fecho da barreira física. Pode ainda ser observada uma proteção que limita o tapete e que impede que as peças saiam do mesmo. Esta proteção já existia inicialmente, apenas se alterou a mesma para colocar os elementos como a barreira física e os seus suportes. Além disso, para ser mais fácil visualizar algum problema que surgisse com este módulo, decidiu-se pela realização de uma abertura no seu topo e pela colocação de um acrílico.

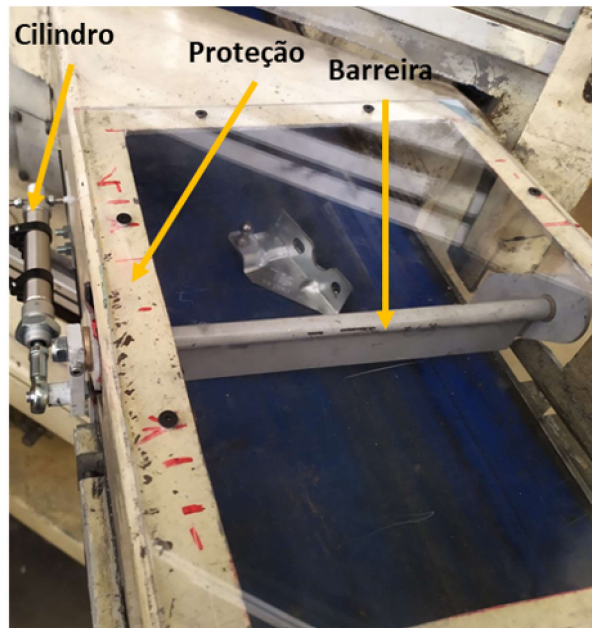


Figura 8.10: Módulo - interface máquina-armazém

Capítulo 9

Conclusões e Trabalhos Futuros

9.1 Conclusões

Todo este projeto permite concluir, o que é que pode ser pedido a um engenheiro mecânico no mundo empresarial. Tal acontece, pois não basta apenas desenvolver um projeto mecânico, tendo em conta as especificações pedidas. É necessário também ter um mínimo de conhecimento, sobre como este irá ser automatizado, e para isso, uma boa base de conhecimentos sobre projeto elétrico pode ajudar bastante. Além disso, é necessário garantir toda a funcionalidade do projeto, tendo em conta a sua viabilidade, pois se este se torna demasiado dispendioso, poderá não ser implementado.

Desta forma, pode-se concluir que numa fase inicial é sempre uma boa ideia fazer um levantamento dos requisitos pedidos por parte do cliente, neste caso por parte da empresa Silencor, e verificar se já existem soluções no mercado. Caso não existam, uma boa solução passa por criar novos conceitos e compará-los com os requisitos pedidos. Neste caso, por não se terem encontrado soluções no mercado, que satisfizessem as condições impostas, gerou-se vários conceitos, dos quais se seleccionou o que melhor satisfazia as necessidades, que foi o armazém rotativo vertical.

Após a seleção do conceito pode-se começar a desenvolver o projeto mecânico. Nesta fase, é sempre uma boa escolha procurar soluções técnicas que já existam. Deste modo, perde-se menos tempo a desenvolver um nova solução e existe maior certeza de que pode funcionar. Depois dessa pesquisa, pode-se tentar replicar essa solução, adequando-a ao projeto em causa. Neste projeto, o sistema de transmissão de movimento linear, foi uma solução técnica encontrada na rede *Web*, para garantir que as caixas estivessem sempre na horizontal na zona de raio das rodas dentadas. Apenas se teve que se modificar ligeiramente, para se acomodar a este projeto.

Uma outra conclusão que se pode retirar é que um bom relacionamento com os fornecedores, pode ser uma grande mais valia para qualquer engenheiro. Tal acontece, pois estes são especialistas na sua área pelo que sabem o que existe no mercado e se pode ou deve ser aplicado a um projeto. Além disso, se for um componente que já exista no mercado, normalmente é bastante mais económico e de fácil substituição, comparativamente com o facto de se ter de construir o mesmo, tal como aconteceu com as chumaceiras neste projeto, que substituíram os mancais, que teriam que ser maquinados e por isso seriam mais dispendiosos.

O tempo de entrega dos materiais, desde o momento em que estes são encomendados, pode ser um grande obstáculo a ultrapassar na concepção de um projeto. Tal acontece,

pois normalmente esta fase demora bastante tempo, e como só se pode realizar a implementação deste projeto, quando chegam todas as peças, apesar de se poder ir adiantando algumas partes, basicamente só se pode concluir o mesmo quando chega a última. Assim, para tentar ultrapassar este inconveniente, uma boa norma por parte de um engenheiro, é informa-se junto da própria empresa, sobre os seus habituais fornecedores.

Uma última conclusão, relativamente à implementação de um projeto mecânico é que aquilo que se desenvolve e é modelado, por vezes pode ser de difícil concepção. Além disso, algumas soluções técnicas, que até pareciam funcionar no *software Solidworks*, por vezes podem não resultar. Assim, é importante ter uma noção de que pequenas alterações terão que ser realizadas, tendo em vista um bom funcionamento do projeto. Para tal, quando confrontado com um problema semelhante, um engenheiro não deve perder muito tempo a pensar na razão do problema existir, apesar de ser bom tirar elações sobre isso para o futuro, mas deve pensar numa solução alternativa que seja o mais simples e económica possível.

Como conclusão deste projeto, pode-se dizer que este foi um bom desafio a nível mecânico e de automação, e que por se tratar de um projeto realizado numa empresa, permitiu ter um contacto real do mundo empresarial. Tal, em contextos mais académicos, é mais difícil de se obter, pelo que, desse ponto de vista, foi uma boa experiência.

9.2 Trabalhos futuros

Como este projeto se tornou bastante complexo, poderá ser necessário algumas alterações ao mesmo, para que este fique totalmente funcional. Assim, ao longo da implementação, percebeu-se de possíveis melhorias que poderiam ser realizadas como as guias, que poderiam ser maquinadas e feitas em aço, enquanto que as rodas poderiam ser também maquinadas, e feitas em bronze ou a partir de um polímero, de maneira a não desgastar as guias. Tal alteração iria encarecer bastante o projeto, pelo que a sua viabilidade pode ser questionada. No entanto, desta forma, as guias durariam muito mais tempo, do que actualmente terem sido realizada a partir de um polímero.

Outra melhoria a adoptar poderia passar pela colocação de um HMI. Deste modo, seria mais fácil verificar, por exemplo, o número de peças produzidas. Além disso, poderia simplificar o esquema elétrico, ao necessitar de um menor número de elementos.

Após o protótipo ser construído, uma boa melhoria passaria pela implementação de um meio de comunicação entre este e o *software* que gere o chão de fábrica. Tal como foi referido inicialmente, a passagem de informação, como o número de peças produzidas, actualmente é feita manualmente. Assim, um bom passo lógico seguinte seria este, em que a própria máquina comunicaria e transmitiria essa informação. Além disso, poderia-se ver em tempo real, informações como o que a máquina estaria a produzir ou se esta se encontrava parada, entre outros.

Bibliografia

- [1] “Google Maps,” in *Pro Web 2.0 Application Development with GWT*, 2008, pp. 213–235. [Online]. Available: <https://www.google.com/maps/@40.5942843,-8.4906554,158m/data=!3m1!1e3>
- [2] SACIA Group, “Grupo Sacia,” 2021. [Online]. Available: <http://www.saciagroup.pt/sobre-nos/>
- [3] AFeira, “Bucha de torno autocentrante com 4 grampos 100 mm aço.” [Online]. Available: <https://afeira.pt/ferramentas-de-aperto-e-tornos/87657--bucha-de-torno-autocentrante-com-4-grampos-100-mm-aco-8720286025222.html>
- [4] Aval Tools, “Ponto FIxo - Com Inserot de Metal Duro.” [Online]. Available: http://avaltools.com.br/prod_fixacao_200.php
- [5] GURU, “Torneamento e fresamento: quais os cálculos usados?” [Online]. Available: <https://cad.cursosguru.com.br/torneamento-fresamento-quais-calculos-usados-nesses-processo/>
- [6] SANT, “Ferramentas De Corte Para Torno Cnc,Ferramentas De Corte Com Inserção De Carboneto - Buy Tools Holders,Carbide Turning Tools,Lathe Carbide Turning Tools Product on Alibaba.com.” [Online]. Available: <https://portuguese.alibaba.com/product-detail/p-type-cnc-lathe-cutting-tools-with-carbide-inserts-carbide-tools-holders-472150468.html>
- [7] Sandvik, “Dicas de aplicação para torneamento de roscas.” [Online]. Available: <https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/threading/thread-turning/pages/application-tips.aspx>
- [8] Lindionete, “Processos de fabricação II: Ferramenta para sangrar.” [Online]. Available: <http://lindionete.blogspot.com/2016/04/ferramenta-para-sangrar.html>
- [9] ARRAY, “INTRODUÇÃO À FRESAGEM – Moldes.” [Online]. Available: http://formacao.training.pt/?page_id=2747
- [10] “World Usi: Fresagem.” [Online]. Available: <http://wordusi.blogspot.com/2013/03/fresagem.html>

- [11] D. Krahmer, “Fresadora vertical (Fonte: Fundamentos del corte de metales y de la... | Download Scientific Diagram.” [Online]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Fresadora-vertical-Fuente-Fundamentos-del-corte-de-metales-y-de-la_fig2_304778226
- [12] J. Oliveira, L. Quintino, and R. Miranda, *Processamento de materiais por feixe de electrões laser e jacto de água*. Edições Técnicas do Instituto de Soldadura e Qualidade (ISQ), 1991.
- [13] “(68) Pinterest.” [Online]. Available: <https://www.pinterest.pt/pin/613263674252731988/>
- [14] VM LASER, “2D / 3D Laser Cut Service - VM Laser.” [Online]. Available: <https://www.vmlaser.pt/en/services/laser-cut/>
- [15] ENGIPRINTERS, “O Que é E Como Funciona A Impressão 3D FDM?” 2020. [Online]. Available: <https://engiprinters.com.br/impressao-3d-fdm-o-que-e-e-como-funciona-d58/>
- [16] “Atualizado Sinis Z1/T1plus 3D FDM Impressora Máquina De Impressão De Alumínio Quadro 3D kit Apoio Filamento impressora 3d máquina de gravação a laser|Impressoras 3D| - AliExpress.” [Online]. Available: <https://pt.aliexpress.com/item/32868733988.html>
- [17] Nguyen Duc Thang, “Vertical conveyor 2 - YouTube,” 2019. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=rycnIA9wxL0>
- [18] “80R WSK-2 - ANSI Standard Roller Chain - WSK-2 Wide Contour Attachment - PEER Chain.” [Online]. Available: <https://www.peerchain.com/product/80r-wsk-2-ansi-standard-roller-chain-wsk-2-wide-contour-attachment/>
- [19] BEA, “Acoplamentos e Cardans,” 2015. [Online]. Available: <http://www.imporseal.pt/208/get/>
- [20] SKF, “4305 ATN9 - Rolamentos rígidos de esferas | SKF.” [Online]. Available: <https://www.skf.com/pt/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-4305ATN9>
- [21] —, “SY 25 TF - Caixas de mancal de rolamento de esferas | SKF,” 2021. [Online]. Available: <https://www.skf.com/pt/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/pillow-block-ball-bearing-units/productid-SY25TF>
- [22] “Universal IE2 4kW Three Phase Motor 400V/690V 2P 112M B3 - AC Motors (Three Phase).” [Online]. Available: <https://inverterdrive.com/group/Motors-AC/Universal-UMA-63G-4-B14/>
<https://inverterdrive.com/group/Motors-AC/Universal-UMHA-112M-2-B3/>
- [23] “Motoredutor Q50 C/ Motor 1/4cv Mono. - Red. 1/100 | Mercado Livre.” [Online]. Available: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1627024607-motoredutor-q50-c-motor-14cv-mono-red-1100-_JM

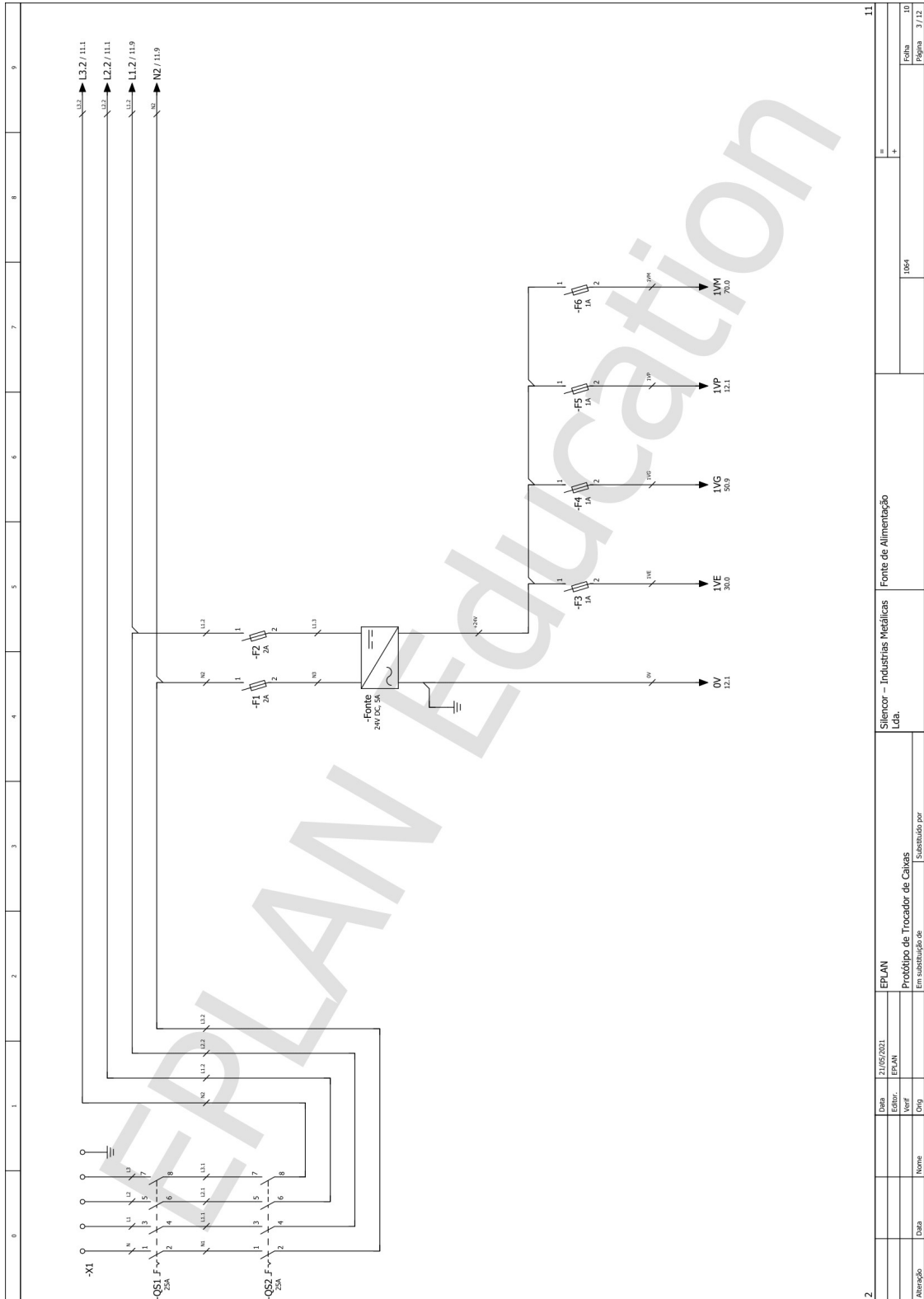
- [24] A. Completo and F. Melo, *Introdução ao Projeto Mecânico*, 2nd ed., L. Quântica Editora - Conteúdos Especializados, Ed., 2019.
- [25] “arranque estrela triângulo - Pesquisa Google.” [Online]. Available: https://www.google.com/search?q=arranque+estrela+triângulo+&tbm=isch&ved=2ahUKEwjAmo2CnrbyAhWO0uAKHVrUDCkQ2-cCegQIABAA&oq=arranque+estrela+triângulo+&gs_lcp=CgNpbWcQAzIECCMQJzIFCAAQgAQyBAGAEb4yBAGAEbgyBAGAsclient=img&ei=1LYaYcDgG46lgwfaQLPIAg&bih=962&biw=2048#imgrc=bk_19905g_XK9M&imgdii=I7l3pXGrILMEBM
- [26] Mouser Electronics, “EDR-120-24 MEAN WELL | Mouser Portugal.” [Online]. Available: <https://pt.mouser.com/ProductDetail/MEAN-WELL/EDR-120-24?qs=5aQ9wn8iLe%252B0m5OrEtInbA%3D%3D>
- [27] VIPA, “M13-CCF0000 - MICRO VIPA CPU M13C (64kB-128kB, DI16xDO12xAI2) PROFINET, ModBus | VIPA ControlsAmerica.” [Online]. Available: <https://vipausa.com/products/micro-m13-ccf0000-cpu-m13c-speed7-64kb-128kb-expandable-work-load-memory-di16xdo12xai2.html>
- [28] “NA B112KC-DN2 | NAB112KC-DN2 | PIZZATO Limit Switch, Metal, 20MM Fixing Points, 1NO 1NC SNAP Action, Roller Lever, 2M Cable: Amazon.com: Industrial Scientific.” [Online]. Available: <https://www.amazon.com/B112KC-DN2-NAB112KC-DN2-PRE-Cabled-Adjustable-SNAP-Action/dp/B07HCCD6M3>
- [29] “Schneider Electric End switch [XCMD2110L1] - elektrottools.de.” [Online]. Available: <http://en.elektrottools.de/Product/End-switch-30-mm-59-mm-XCMD2110L1>
- [30] “Festo - SME-8M-DS-24V-K-0,3-M8D - Proximity Sensor, Screw Type Lock, Cable w/Plug, M8x1, 30V, NO, SME Series - Allied Electronics Automation.” [Online]. Available: <https://www.alliedelec.com/product/festo/sme-8m-ds-24v-k-0-3-m8d/70992236/>
- [31] “Q20PLPQ7 Banner Engineering Corporation | Sensors, Transducers | DigiKey.” [Online]. Available: <https://www.digikey.at/product-detail/en/banner-engineering-corporation/Q20PLPQ7/2170-Q20PLPQ7-ND/10652003>
- [32] “Espelho Prismático Tecnotron EP-50X60F - Eletropeças Comercial Eletrônica Ltda.” [Online]. Available: <https://www.eletopecas.com/Produto/espelho-prismatico-tecnotron-ep-50x60f>
- [33] Escola Estadual de Educação Profissional - EEEP, “Curso Técnico em Mecânica: Usinagem com Máquinas Convencionais,” p. 48.
- [34] CENFIM, “Tornos Mecânicos, Acessórios e Ferramentas de Corte.”
- [35] Heller, “TORNO PARALELO HELLER CE500VX2000 - HELLER.” [Online]. Available: <https://www.hellermaquinaria.com/catalogo/torno-paralelo-heller-ce500vx2000/https://www.hellermaquinaria.com/torno-paralelo-heller-ce500vx2000>

- [36] BIRTHLH, “3.1.- Componentes principais del torno paralelo (I). | TFM03.- Procesos de torneado.” [Online]. Available: https://ikastaroak.birt.eus/edu/argitalpen/backupa/20200331/1920k/es/DFM/TFM/TFM03/es_DFM_TFM03_Contentidos/website_31_componentes_principales_del_torno_paralelo_i.html
- [37] CENFIM, “Tornos Mecânicos, Acessórios e Ferramentas de Corte.”
- [38] A. Completo, A. Festas, and J. Davim, *Tecnologia de fabrico*, E. T. Publindústria, Ed. Publindústria, 2009.
- [39] E. engenharia, “Corte com laser.”
- [40] T. Freitas, “Desenvolvimento de uma impressora FDM tipo delta,” Ph.D. dissertation, FEUP, 2017.
- [41] B. R. Raulino, “Manufatura Aditiva : Desenvolvimento de uma Máquina de Prototipagem Rápida Baseada na Tecnologia FDM (Modelagem por Fusão e Deposição),” Ph.D. dissertation, 2011.
- [42] F. Catene, “Prodotti Applicazioni,” pp. 1–48.
- [43] Renold SD, “The new “ Standard ” in the economy category of chain.”
- [44] H. Solutions, “CARRETOS DE TRANSMISSÃO.”
- [45] FDM Nylon 12 Datasheet, “Stratasys.”
- [46] B. Rexroth, “Basic mechanic elements.” [Online]. Available: <https://www.boschrexroth.com/en/xc/products/product-groups/assembly-technology/basic-mechanic-elements>
- [47] Bosch Rexroth, “Flange nut, T-bolt | Bosch Rexroth AG.” [Online]. Available: <https://www.boschrexroth.com/en/xc/products/product-groups/assembly-technology/basic-mechanic-elements/connection-elements/flange-nut-t-bolt>
- [48] F. Ag, “ISO cylinder Data sheet: DSNU-25-80-P-A,” pp. 1–2, 2019.
- [49] Sick, “Guia Máquinas Seguras,” 2015.
- [50] SKF, “SY 20 TF - Caixas de mancal de rolamento de esferas | SKF,” 2021. [Online]. Available: <https://www.skf.com/pt/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/pillow-block-ball-bearing-units/productid-SY20TF>
- [51] U. Motors, “Ficha Técnica Motor Elétrico Trifásico em Alumínio,” p. 28806.
- [52] —, “Worm gearboxes Q50,” pp. 9–10.
- [53] E. Environment, “EC : Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal) automation software Software – Control design : The TIA Portal from Siemens is automation software with one engineering environment and one software project for all automation tasks . This is a Control Engineering 2012 Engineers ’ Choice award winner .” pp. 6–7, 2021.
- [54] YASKAWA, “VIPA System MICRO CPU M13-CCF0000 Manual.”

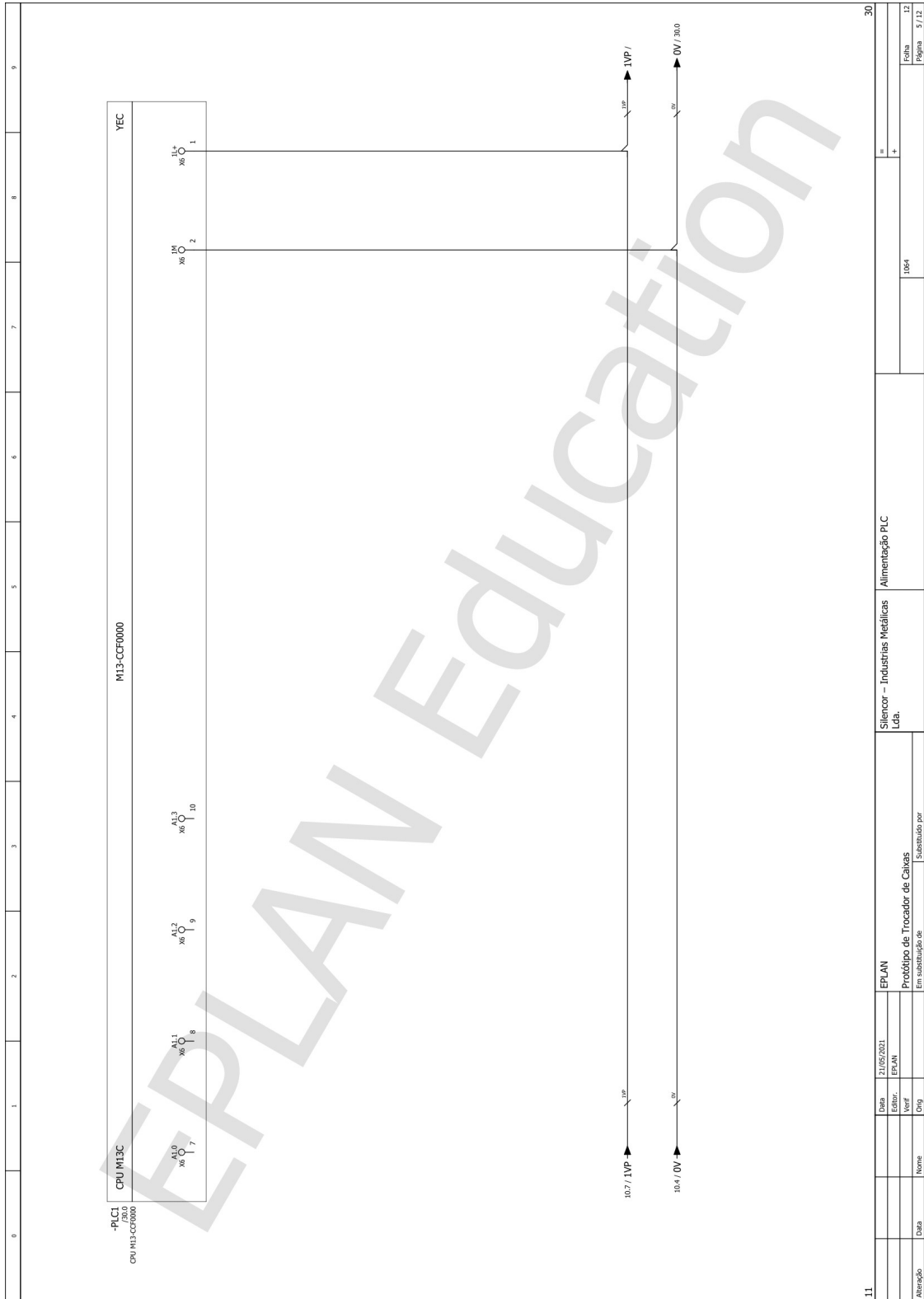
-
- [55] C. Silva, “Sensores Industriais Discretos,” 2010. [Online]. Available: http://www.politecnica.pucrs.br/professores/tergolina/Automacao_e_Control/APRESENTACAO_-_Aula_03_Sensores_Industriais.pdf
- [56] A. C. R. Fonseca, “OEE – Aplicação transversal do indicador de gestão a empresa multinacional de componentes automóveis,” 2017.
- [57] J. P. A. R. da Silva, “OEE – A Forma de Medir a Eficácia dos Equipamentos,” *Sites The Journal Of 20Th Century Contemporary French Studies*, pp. 1–15, 2013.

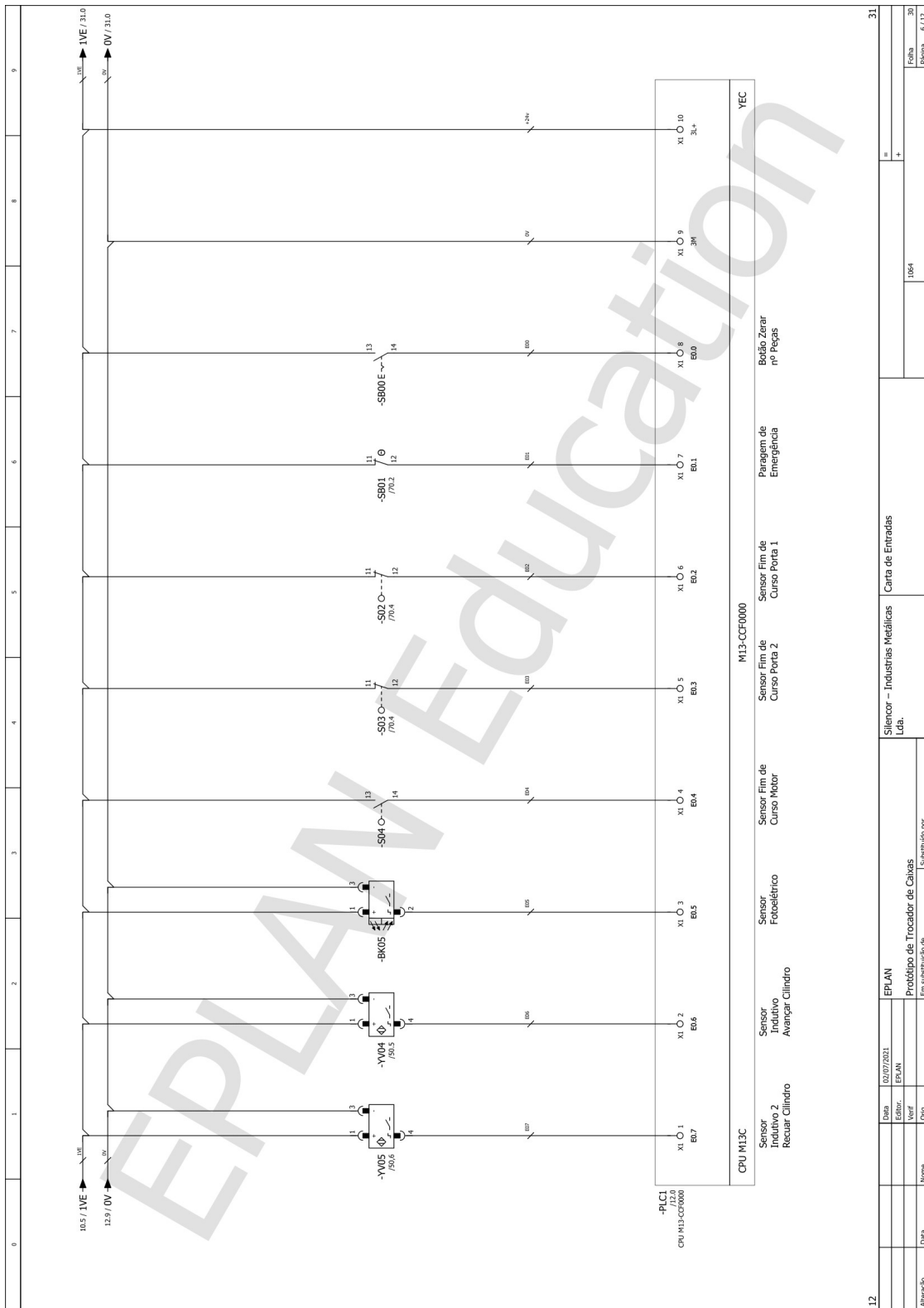
Apêndice A

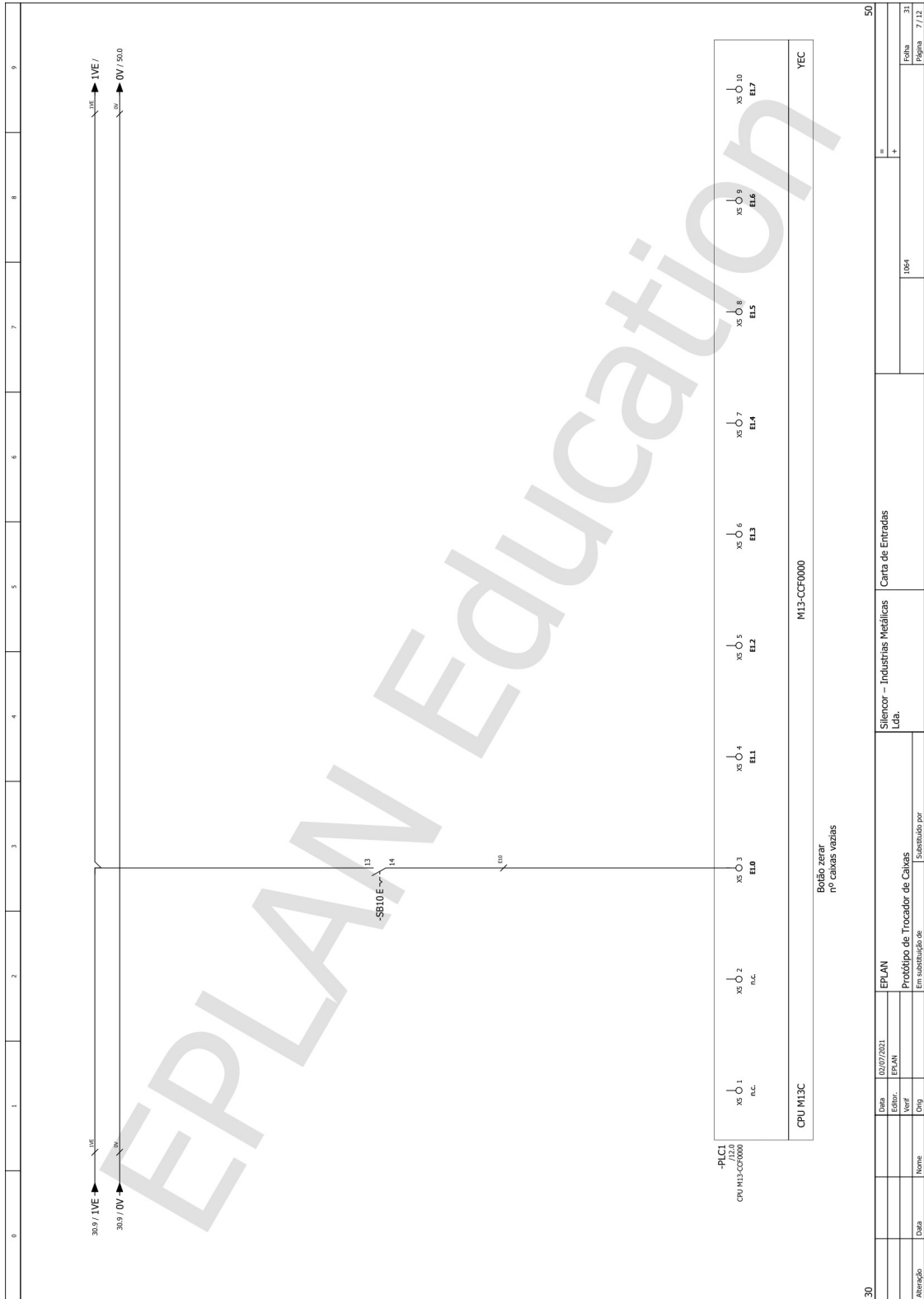
Projeto elétrico e pneumático



2		11	
EPLAN		Fonte de Alimentação	
Protótipo de Trocador de Caixas		1064	
Em substituição de		Substituto por	
Data	21/05/2021		
Edição	EPLAN		
Verif			
Org			
Nome			
Data			
Folha		10	
Página		37/12	







FDZ_001									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Lista dos totais das peças									
Número de pedido	Quantidade	Descrição Designação	Número de tipo Número de peça	Fabricante Fornecedor	Preço unitário	Preço total	Artigo		
559265	1 peça	cilindro normalizado	DSNU-16-50-PPS-A FES.559265	FES	0,00	0,00			
9254	1 peça	articulação esférica	SGS-M6 FES.9254	FES	0,00	0,00			
543861	2 peça	sensor magnético de proximidade	SME-8M-DS-24V-K-0,3-M8D FES.543861	FES	0,00	0,00			
8042568	1 peça	válvula solenoide	VUVG-LK14-B5Z-T-G18-1R8L-S FES.8042568	FES	0,00	0,00			
153306	2 peça	conexão rápida roscada	QSM-M5-6 FES.153306	FES	0,00	0,00			
541338	2 peça	cabo de conexão	NEBU-M8W3-K-2,5-LE3 FES.541338	FES	0,00	0,00			
M13-CCF0000	1	CPU M13C	CPU M13C YEC.M13-CCF0000	YEC YEC	0,00	0,00			

300		18/05/2021		EPLAN		Lista dos totais das peças : FES.559265 -		1064		310	
Ateração		Data		EPLAN		YEC.M13-CCF0000		Página		12 / 12	
Nome		EPLAN		Protótipo de Trocador de Caixas		Silencor - Industrias Metalicas		Folha		310	
Org		EPLAN		Em substituição de		YEC.M13-CCF0000		Página		12 / 12	
Substituido por		EPLAN		Substituido por							

Apêndice B

Documentação técnica elementos elétricos - fonte EDR-120



120W Single Output Industrial DIN RAIL

EDR-120 series

■ Features

- Universal AC input / Full range
- Protections: Short circuit / Overload / Over voltage / Over temperature
- Cooling by free air convection
- Can be installed on DIN rail TS-35/7.5 or 15
- UL 508 (industrial control equipment) approved
- BS EN/EN61000-6-2(BS EN/EN50082-2) industrial immunity level
- 100% full load burn-in test
- 2 years warranty

■ Applications

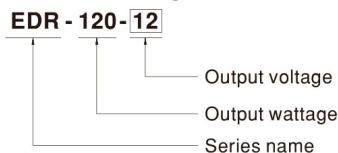
- Industrial control system
- Semiconductor fabrication equipment
- Factory automation
- Electro-mechanical apparatus

■ Description

EDR-120 is one economical slim 120W DIN rail power supply series, adapt to be installed on TS-35/7.5 or TS-35/15 mounting rails. The body is designed 40mm in width, which allows space saving inside the cabinets. The entire series adopts the full range AC input from 90VAC to 264VAC and conforms to BS EN/EN61000-3-2, the norm the European Union regulates for harmonic current.

EDR-120 is designed with metal housing that enhances the unit's power dissipation. With working efficiency up to 88.5%, the entire series can operate at the ambient temperature between -20°C and 60°C under air convection. It is equipped with constant current mode for over-load protection, fitting various inductive or capacitive applications. The complete protection functions and relevant certificates for industrial control apparatus (UL508, TUV BS EN/EN62368-1, and etc.) make EDR-120 a very competitive power supply solution for industrial applications.

■ Model Encoding



File Name:EDR-120-SPEC 2021-06-01



120W Single Output Industrial DIN RAIL

EDR-120 series

SPECIFICATION

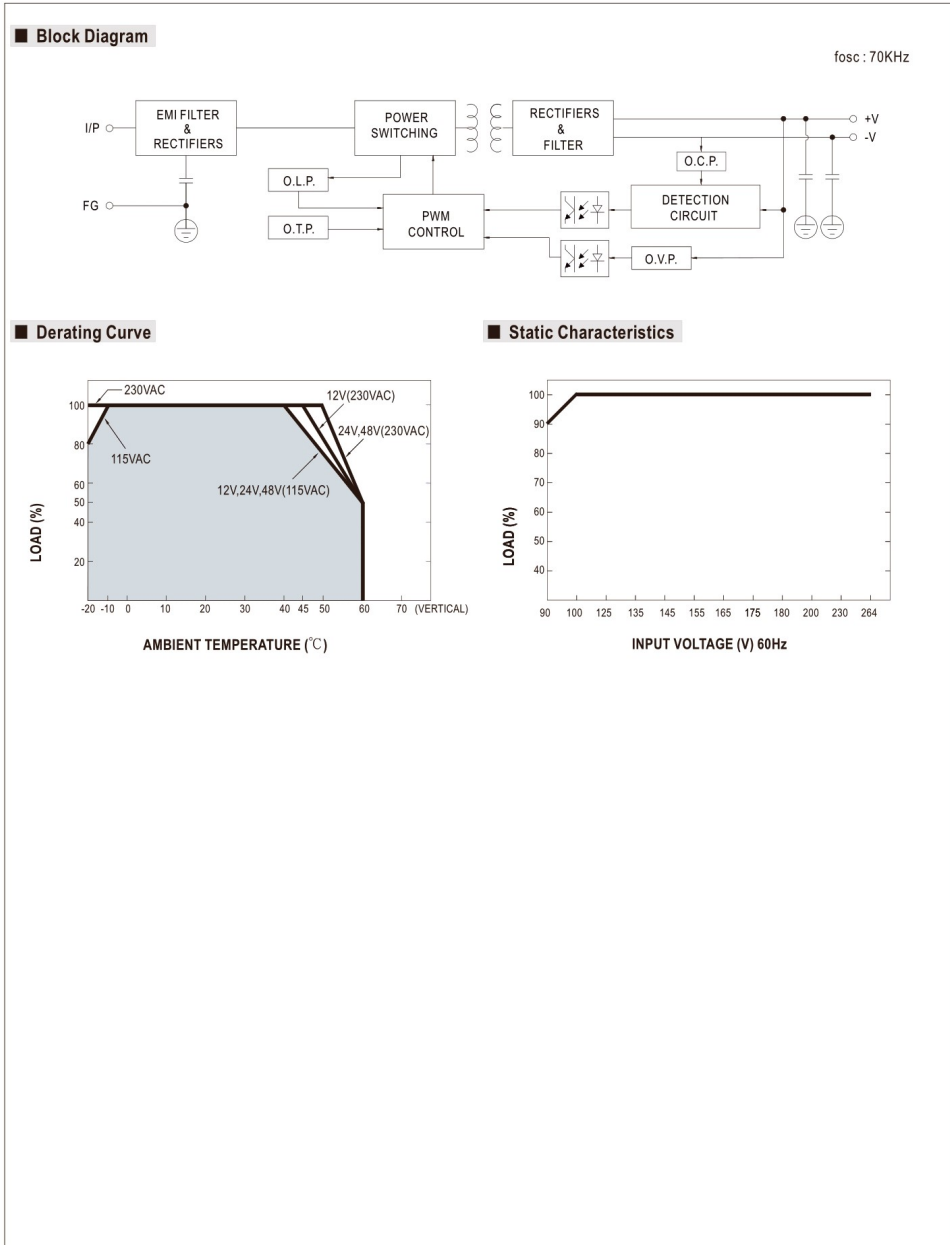
MODEL	EDR-120-12	EDR-120-24	EDR-120-48	
OUTPUT	DC VOLTAGE	12V	24V	48V
	RATED CURRENT	10A	5A	2.5A
	CURRENT RANGE	0 ~ 10A	0 ~ 5A	0 ~ 2.5A
	RATED POWER	120W	120W	120W
	RIPPLE & NOISE (max.) Note.2	100mVp-p	120mVp-p	150mVp-p
	VOLTAGE ADJ. RANGE	12 ~ 14V	24 ~ 28V	48 ~ 55V
	VOLTAGE TOLERANCE Note.3	±2.0%	±1.0%	±1.0%
	LINE REGULATION	±0.5%	±0.5%	±0.5%
	LOAD REGULATION	±1.0%	±1.0%	±1.0%
	SETUP, RISE TIME	1200ms, 60ms/230VAC	2500ms, 60ms/115VAC at full load	
HOLD UP TIME (Typ.)	16ms/230VAC	10ms/115VAC at full load		
INPUT	VOLTAGE RANGE Note.6	90 ~ 264VAC 127 ~ 370VDC	[DC input operation possible by connecting AC/L(+), AC/N(-)]	
	FREQUENCY RANGE	47 ~ 63Hz		
	EFFICIENCY (Typ.)	85%	87.5%	88.5%
	AC CURRENT (Typ.)	2.25A/115VAC	1.3A/230VAC	
	INRUSH CURRENT (Typ.)	20A/115VAC	35A/230VAC	
	LEAKAGE CURRENT	<1mA / 240VAC		
PROTECTION	OVERLOAD	105 ~ 130% rated output power Protection type : Constant current limiting, recovers automatically after fault condition is removed		
	OVER VOLTAGE	14 ~ 17V	29 ~ 33V	56 ~ 65V
	OVER TEMPERATURE	Shut down o/p voltage, re-power on to recover		
ENVIRONMENT	WORKING TEMP.	-20 ~ +60°C (Refer to "Derating Curve")		
	WORKING HUMIDITY	20 ~ 95% RH non-condensing		
	STORAGE TEMP., HUMIDITY	-40 ~ +85°C, 10 ~ 95% RH		
	TEMP. COEFFICIENT	±0.03%/°C (0 ~ 50°C)		
	VIBRATION	Component: 10 ~ 500Hz, 2G 10min./1cycle, 60min. each along X, Y, Z axes; Mounting: Compliance to IEC60068-2-6		
SAFETY & EMC (Note 4)	SAFETY STANDARDS	UL508, TUV BS EN/EN62368-1, EAC TP TC 004, BSMI CNS14336-1 approved;(meet BS EN/EN60204-1)		
	WITHSTAND VOLTAGE	I/P-O/P:3KVAC I/P-FG:2KVAC O/P-FG:0.5KVAC		
	ISOLATION RESISTANCE	I/P-O/P, I/P-FG, O/P-FG:>100M Ohms / 500VDC / 25°C / 70% RH		
	EMC EMISSION	Compliance to BS EN/EN55032 (CISPR32) Class A, BS EN/EN61000-3-2,-3, EAC TP TC 020, CNS13438 Class A		
OTHERS	EMC IMMUNITY	Compliance to BS EN/EN61000-4-2,3,4,5,6,8,11, BS EN/EN55024, BS EN/EN61000-6-2 (BS EN/EN50082-2), heavy industry level, criteria A, EAC TP TC 020		
	MTBF	474.6K hrs min.	MIL-HDBK-217F (25°C)	
OTHERS	DIMENSION	40*125.2*113.5mm (W*H*D)		
	PACKING	0.6Kg; 20pcs/13Kg/1.16CUFT		
NOTE	<p>1. All parameters NOT specially mentioned are measured at 230VAC input, rated load and 25°C of ambient temperature.</p> <p>2. Ripple & noise are measured at 20MHz of bandwidth by using a 12" twisted pair-wire terminated with a 0.1uf & 47uf parallel capacitor.</p> <p>3. Tolerance : includes set up tolerance, line regulation and load regulation.</p> <p>4. The power supply is considered a component which will be installed into a final equipment. The final equipment must be re-confirmed that it still meets EMC directives.</p> <p>5. Installation clearances : 40mm on top, 20mm on the bottom, 5mm on the left and right side are recommended when loaded permanently with full power. In case the adjacent device is a heat source, 15mm clearance is recommended.</p> <p>6. Derating may be needed under low input voltage. Please check the derating curve for more details.</p> <p>7. The ambient temperature derating of 3.5°C/1000m with fanless models and of 5°C/1000m with fan models for operating altitude higher than 2000m(6500ft).</p> <p>※ Product Liability Disclaimer : For detailed information, please refer to https://www.meanwell.com/serviceDisclaimer.aspx</p>			

File Name:EDR-120-SPEC 2021-06-01



120W Single Output Industrial DIN RAIL

EDR-120 series



File Name:EDR-120-SPEC 2021-06-01



120W Single Output Industrial DIN RAIL

EDR-120 series

■ Mechanical Specification

Case No.992D Unit:mm

Terminal Pin No. Assignment (TB1)

Pin No.	Assignment
1	FG Ⓢ
2	AC/N or DC -
3	AC/L or DC +

Terminal Pin No. Assignment (TB2)

Pin No.	Assignment
1,2	DC OUTPUT -V
3,4	DC OUTPUT +V

■ Installation Instruction

ADMISSIBLE DIN-RAIL: TS35/7.5 OR TS35/15
(For reference only. Not included with unit.)

This series fits DIN rail TS35/7.5 or TS35/15.
For installation details, please refer to the instruction manual.

■ Installation Manual

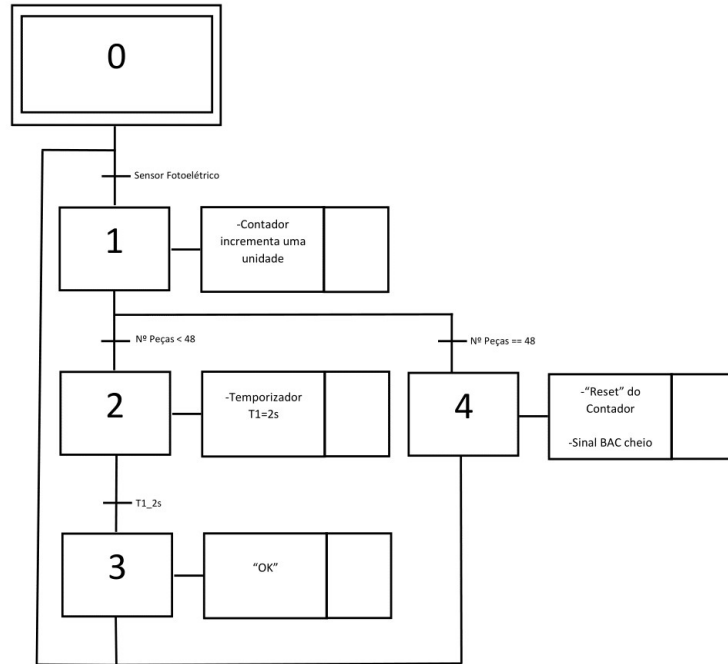
Please refer to : <http://www.meanwell.com/manual.html>

File Name:EDR-120-SPEC 2021-06-01

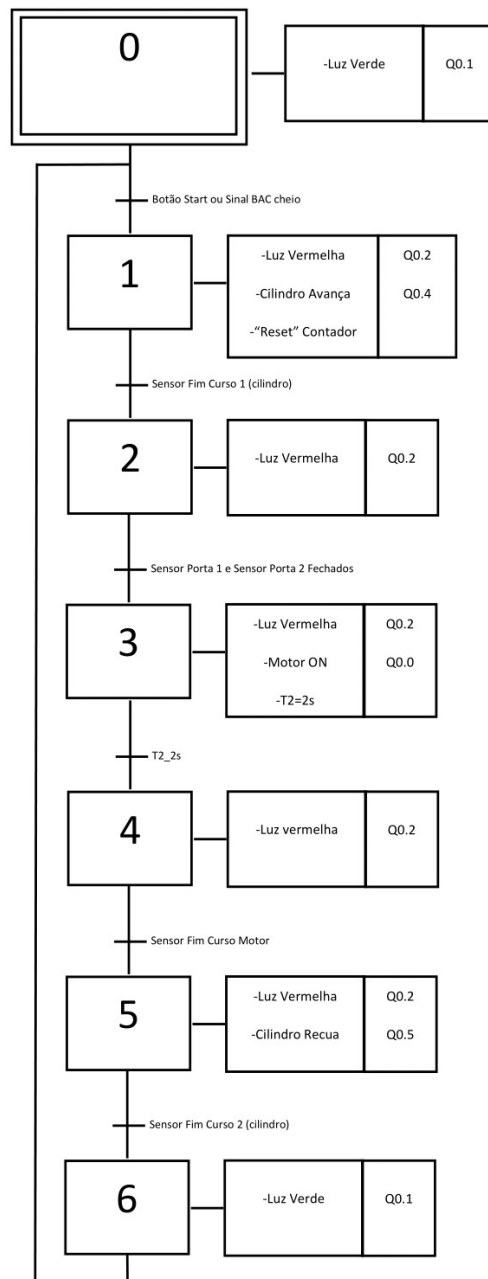
Apêndice C

Grafcet's

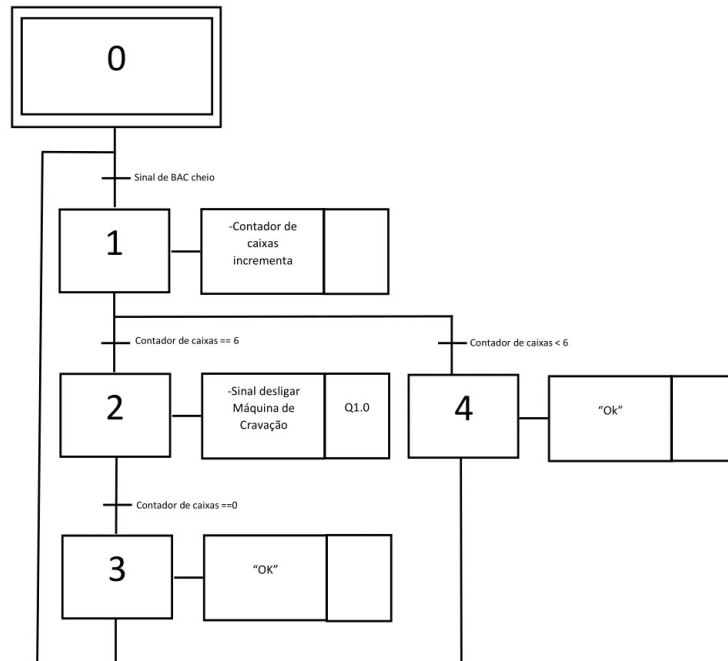
Modo Automático – Contador de Peças



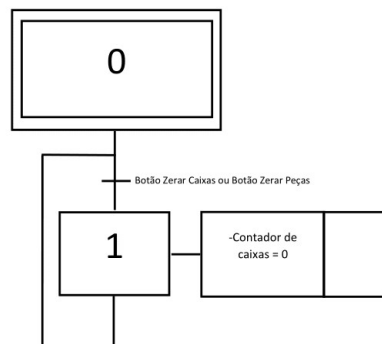
Modo Automático – Movimento de troca de caixas



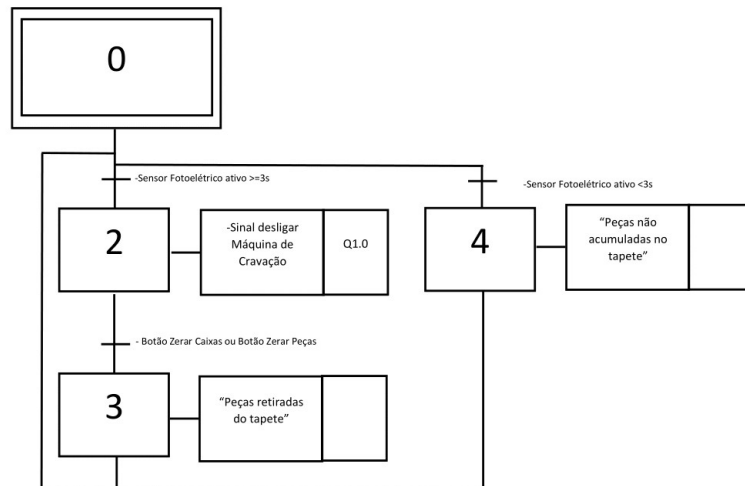
Mecanismo de Feedback - Contador de caixas cheias



Mecanismo de Feedback – Reset Contador de Caixas cheias

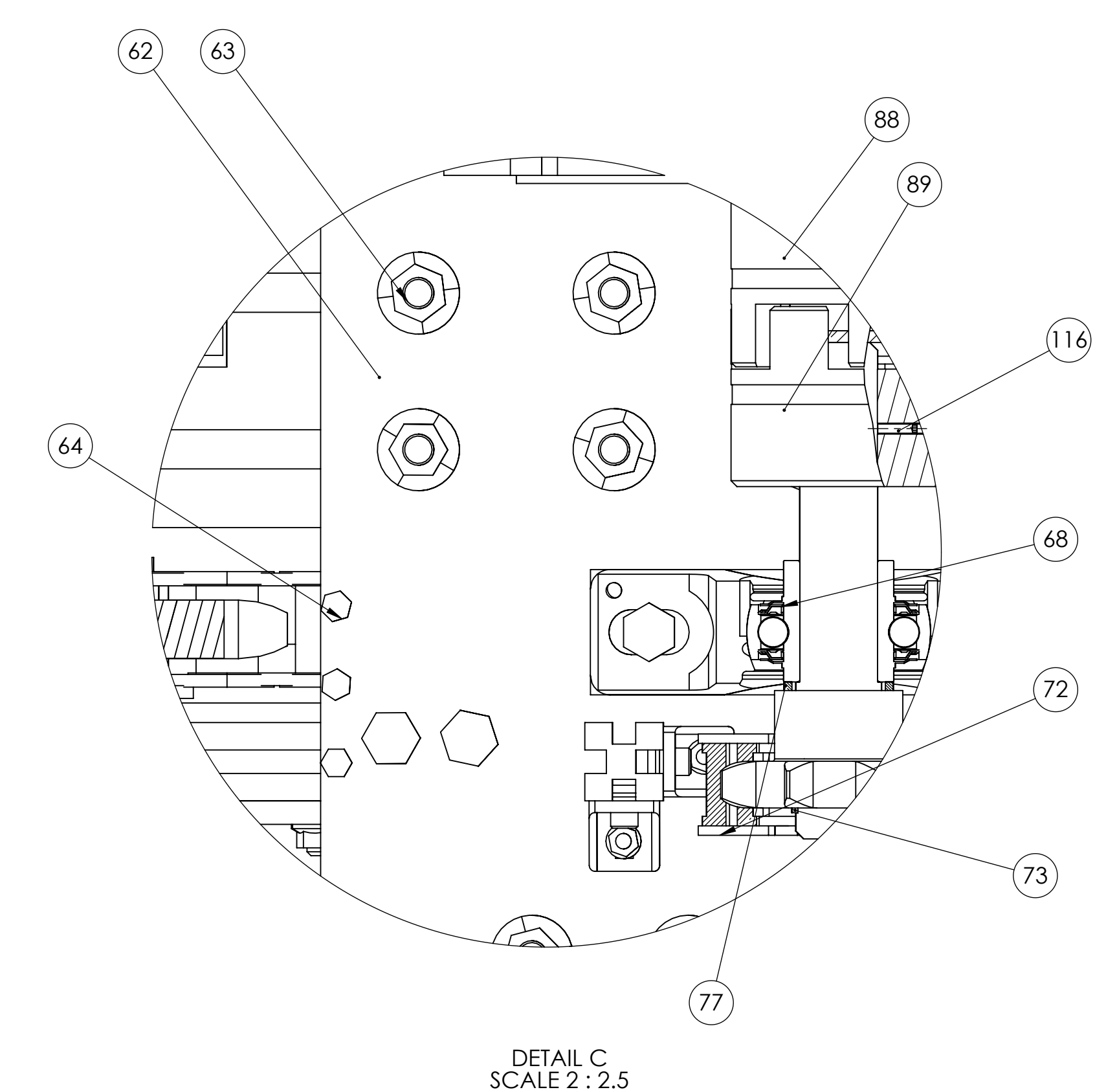
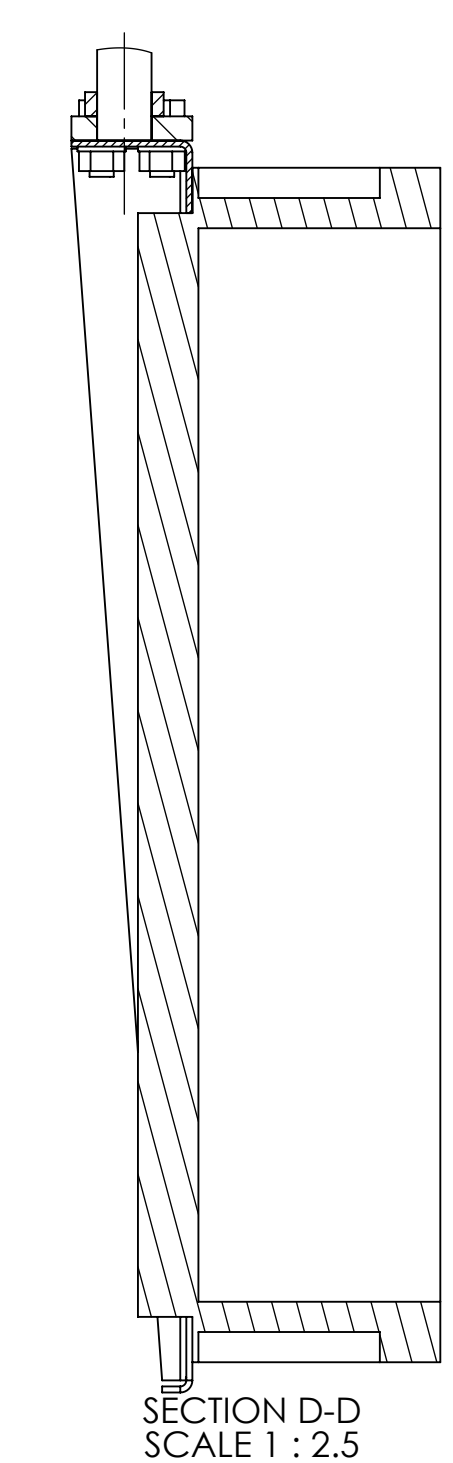
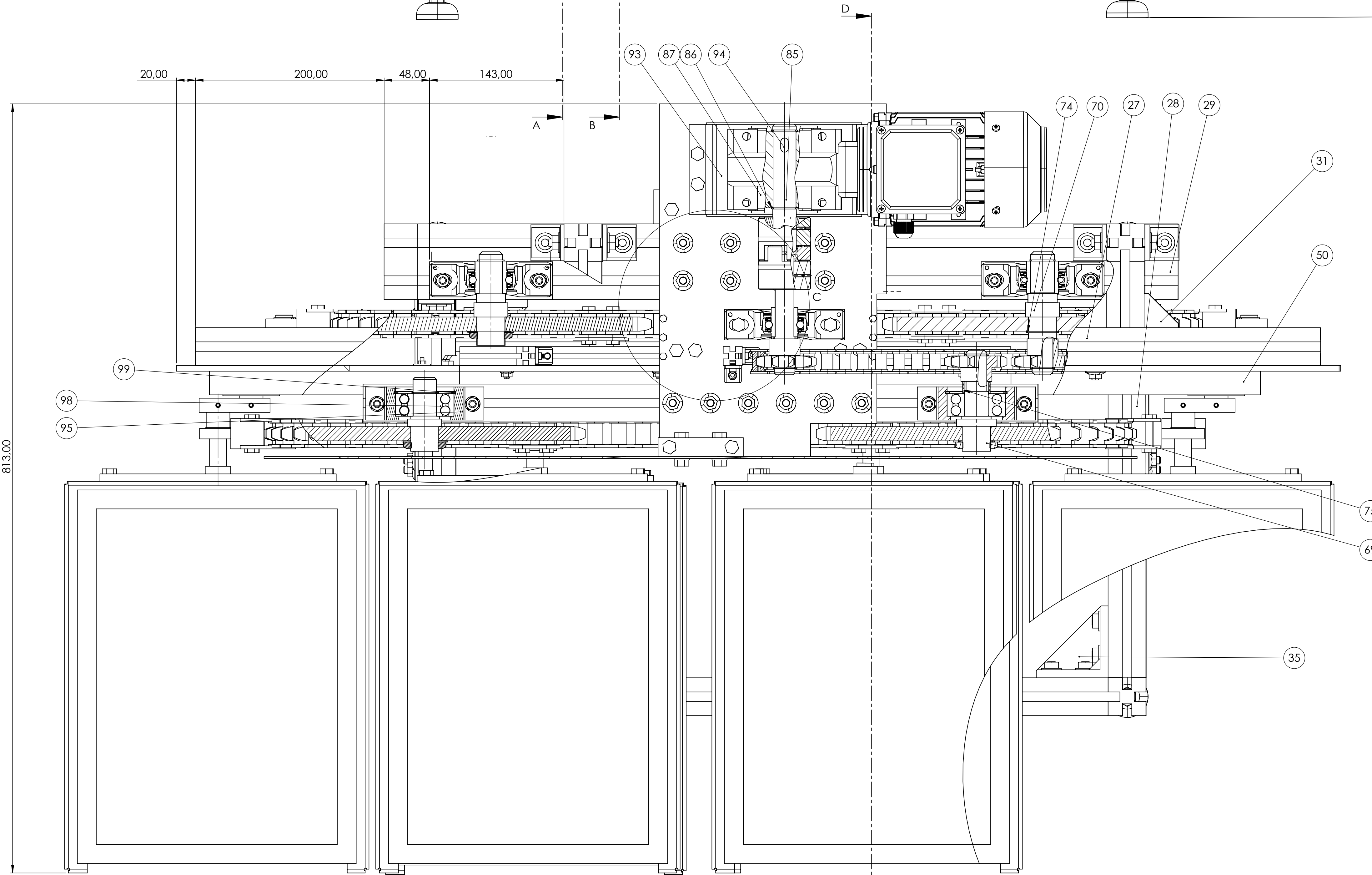
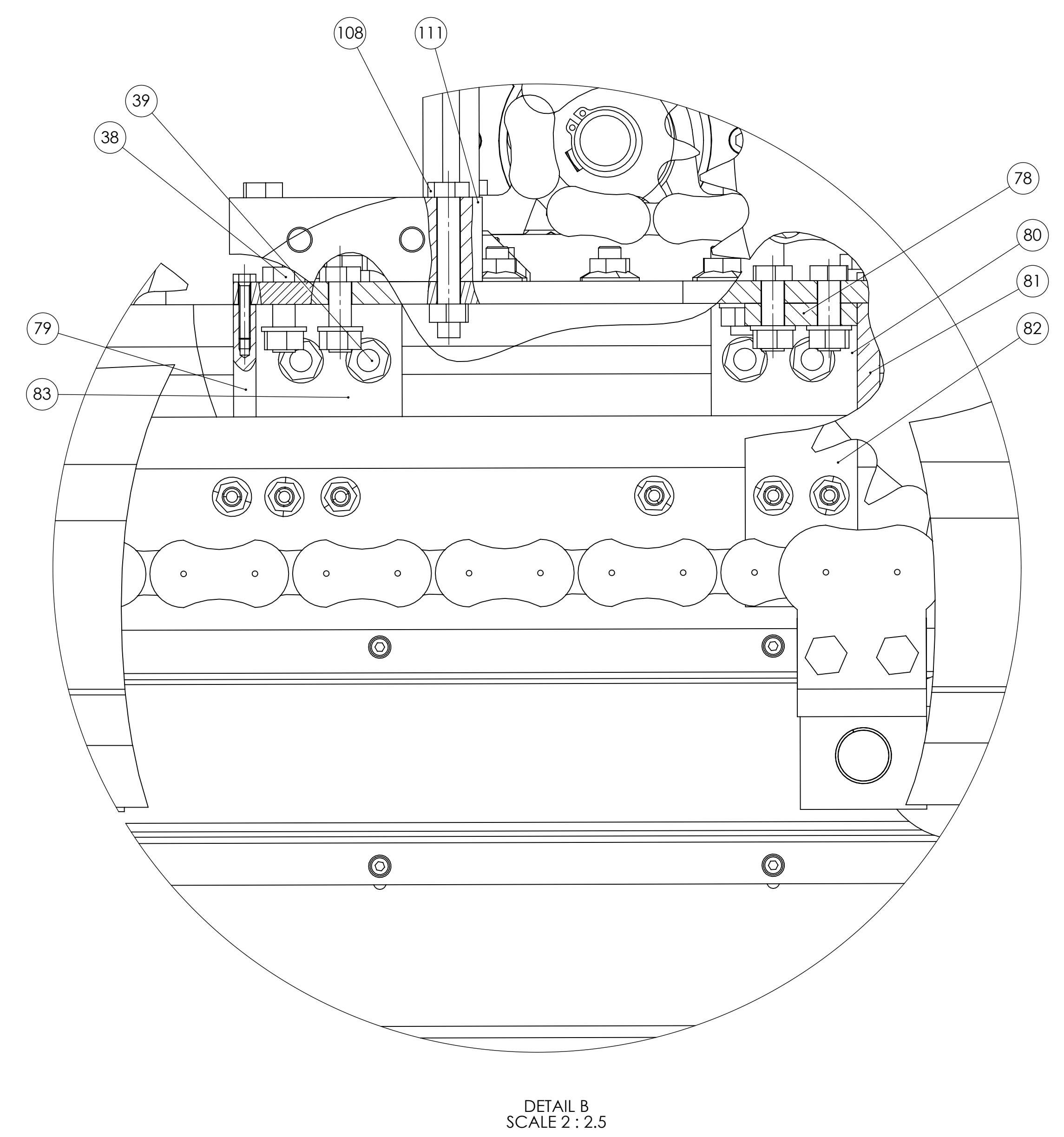
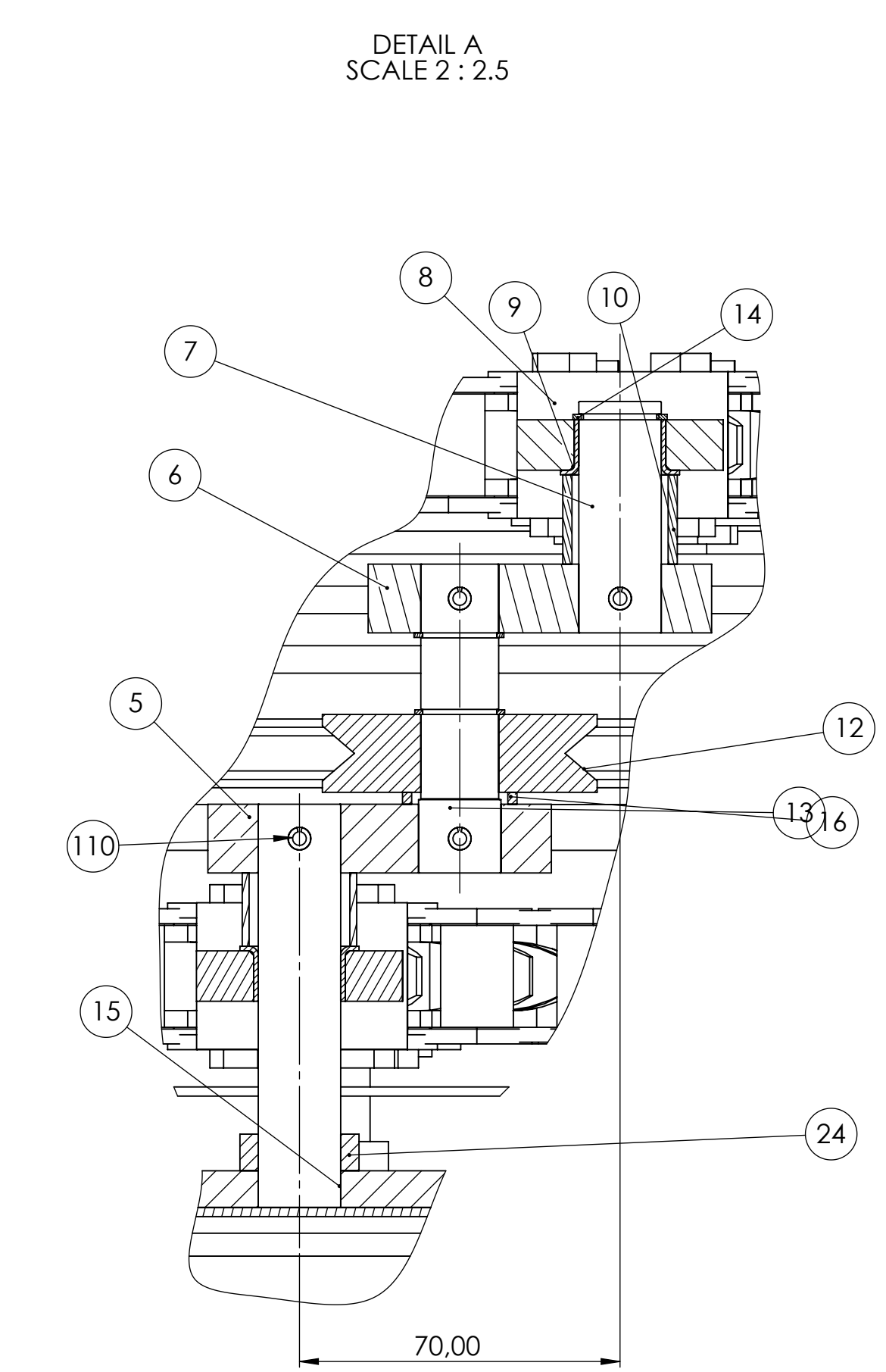
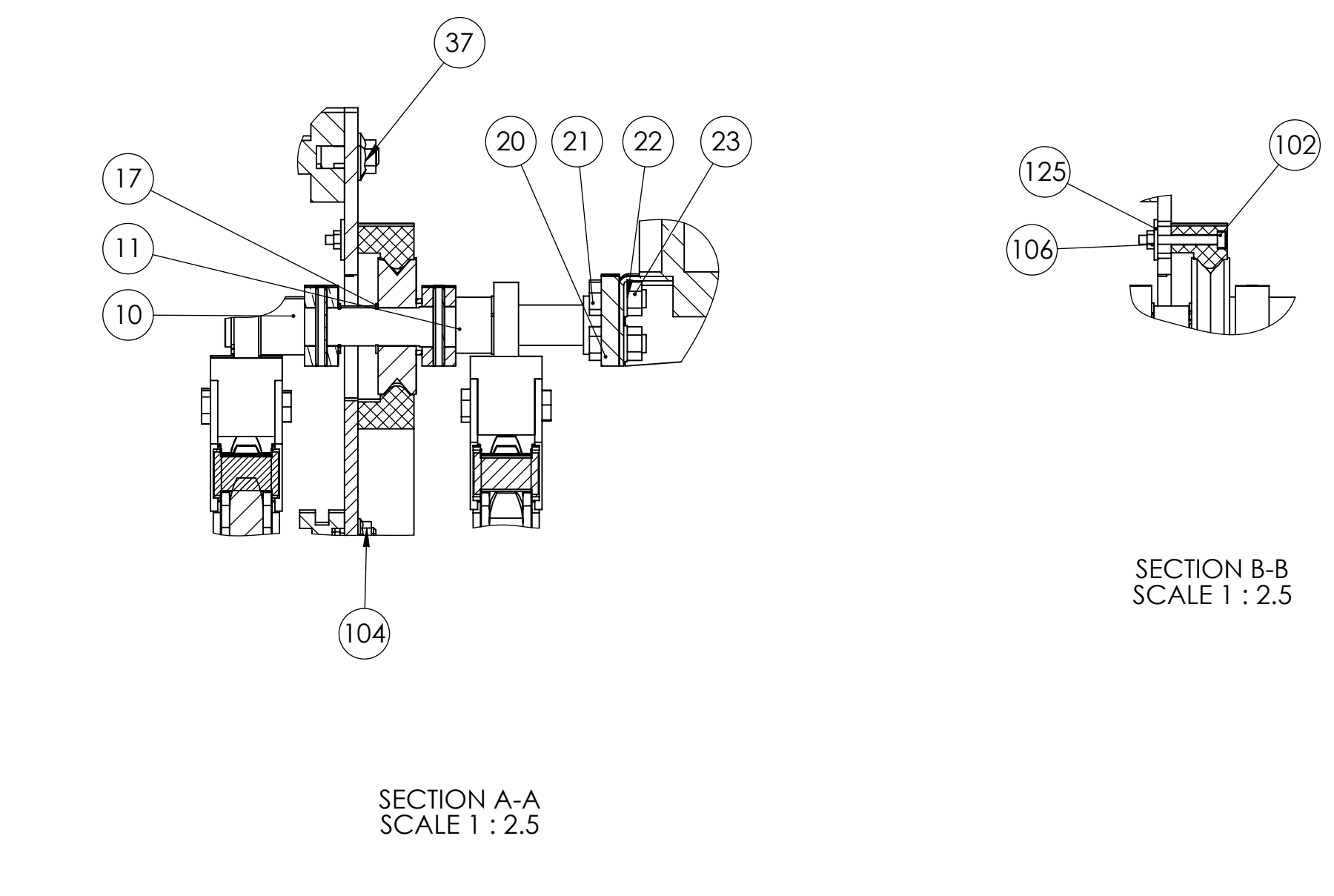
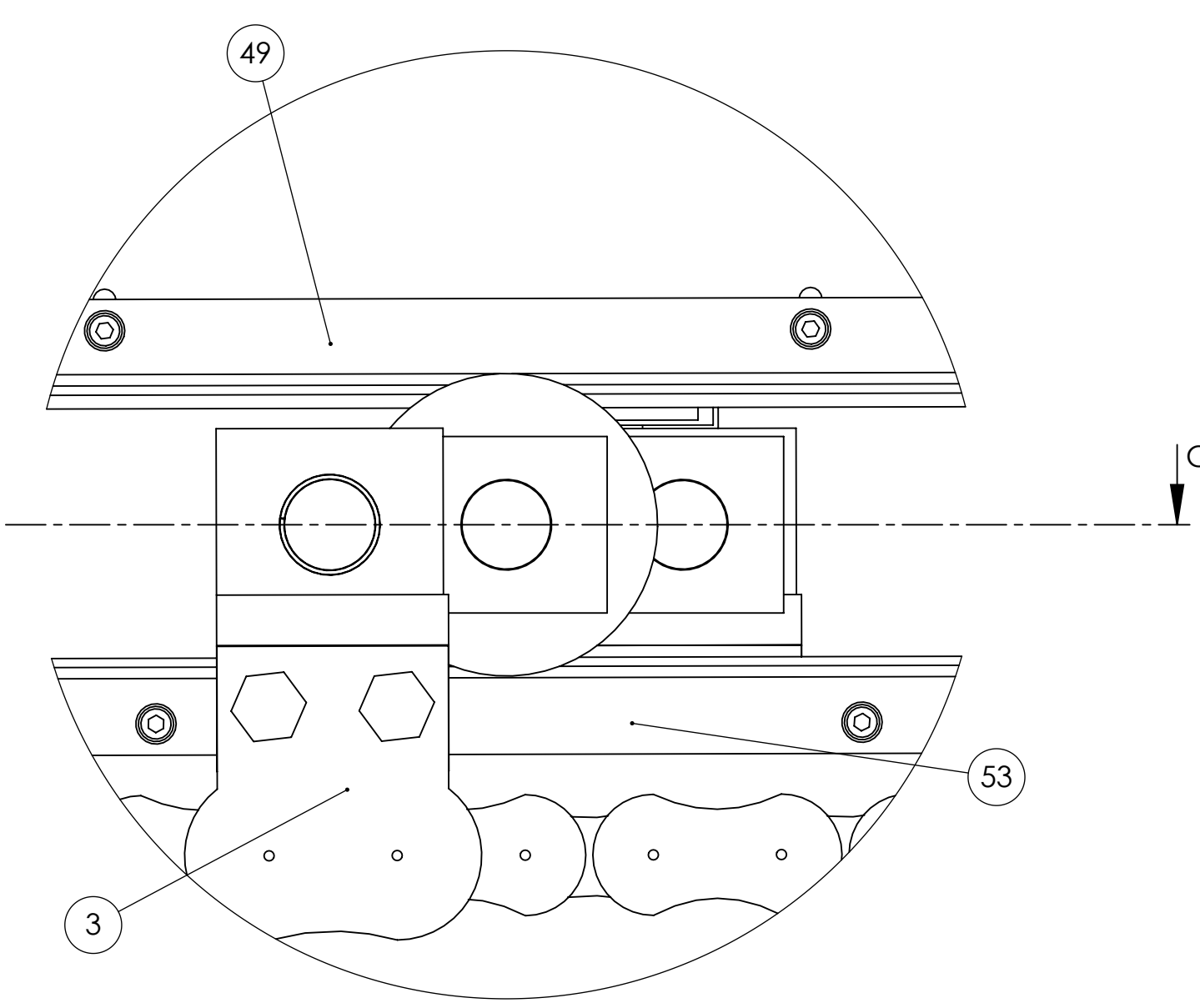
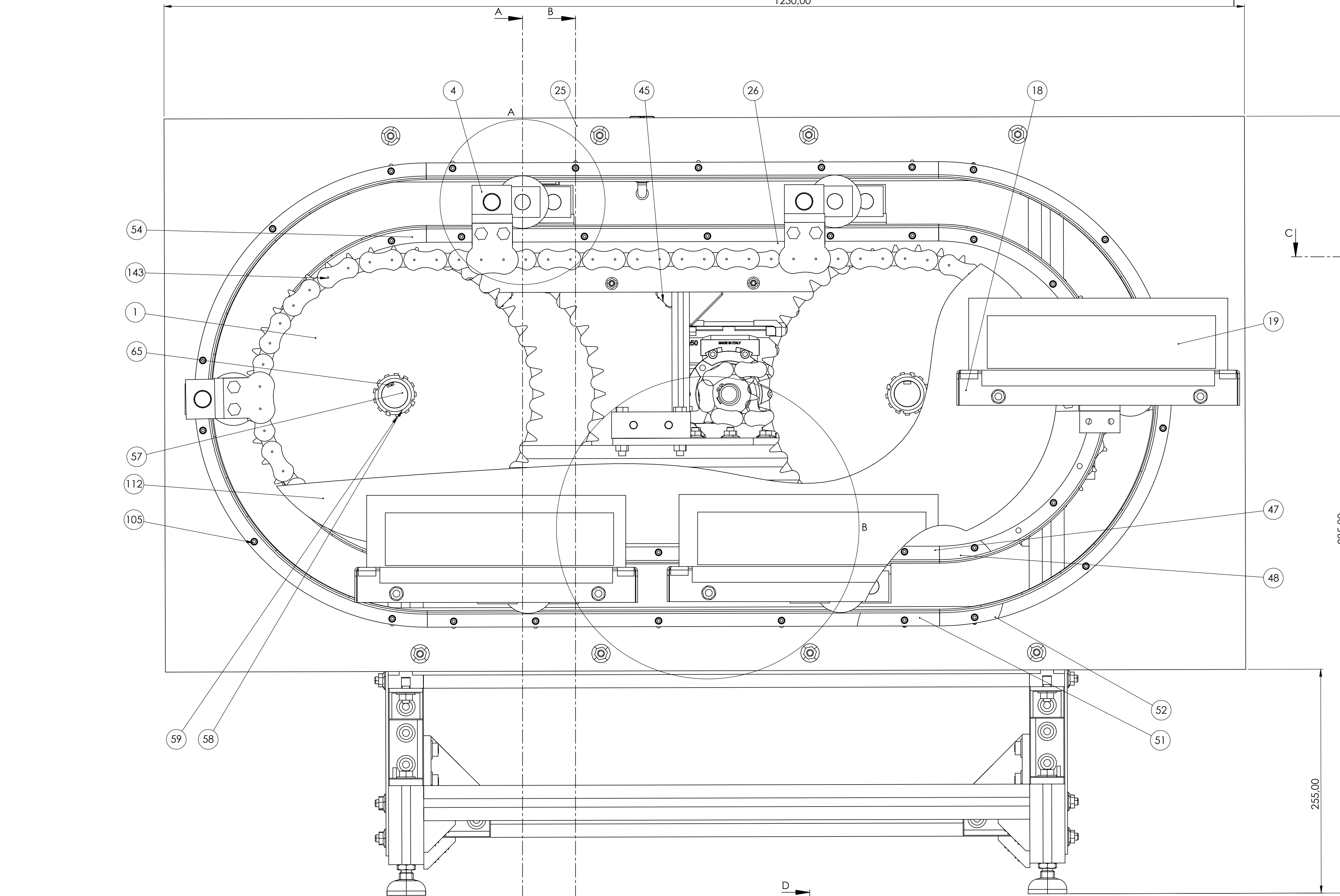


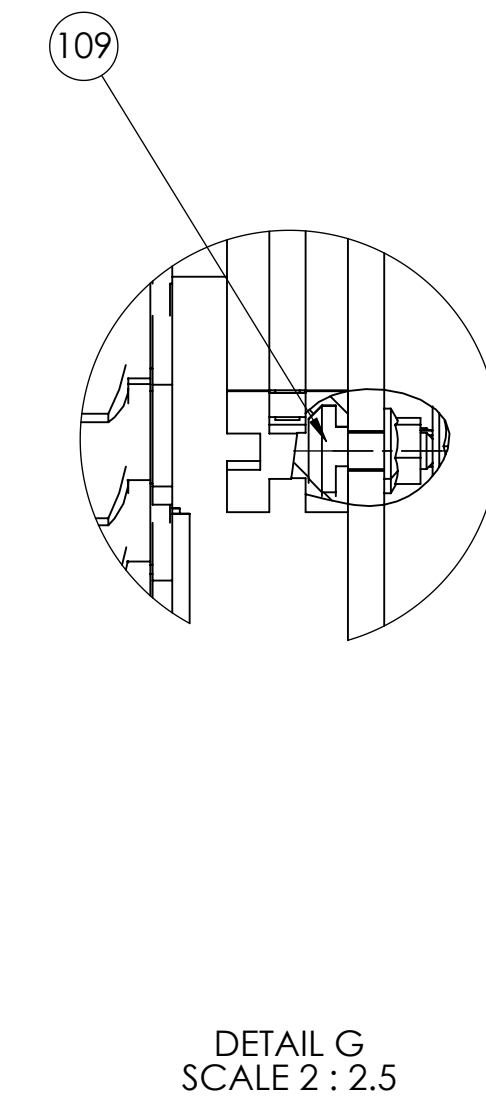
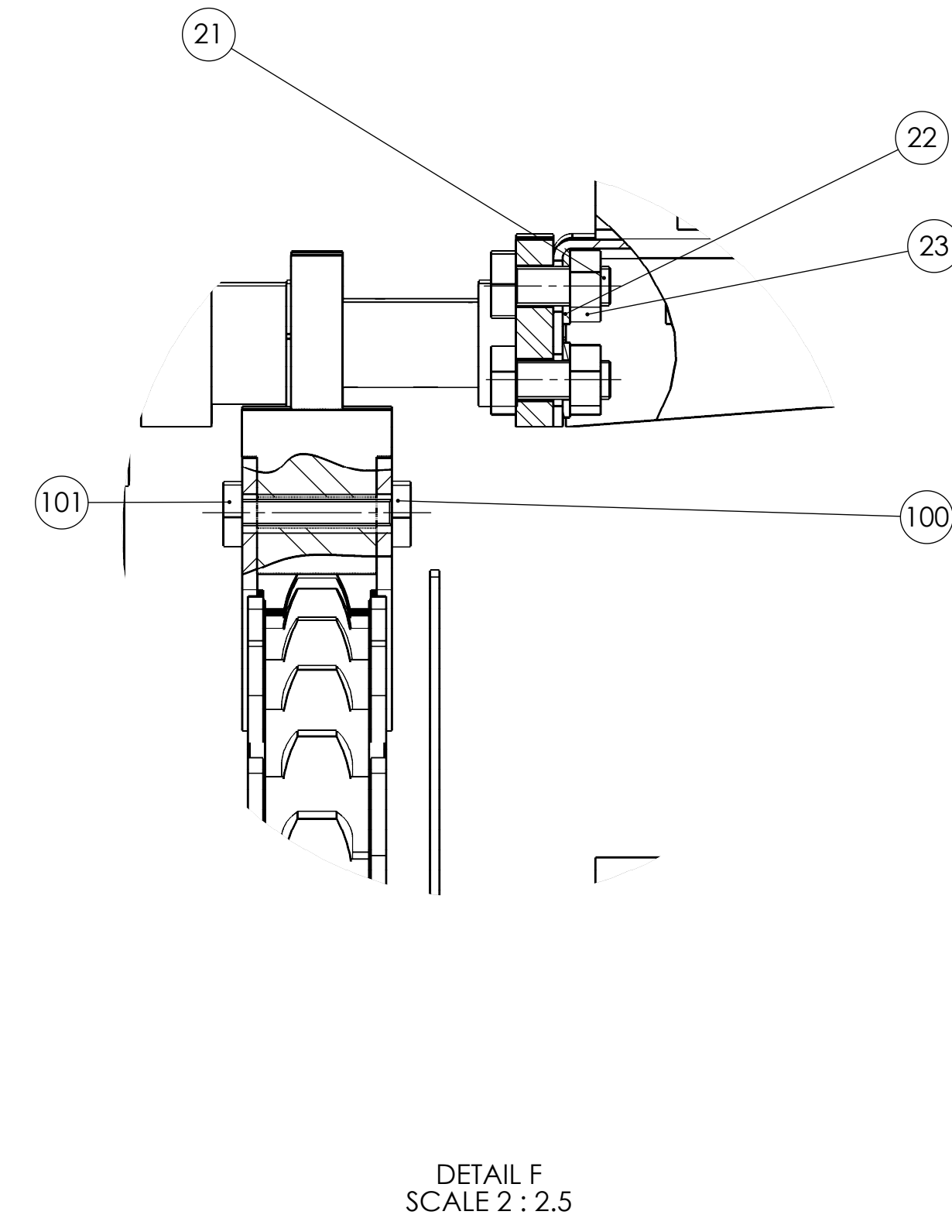
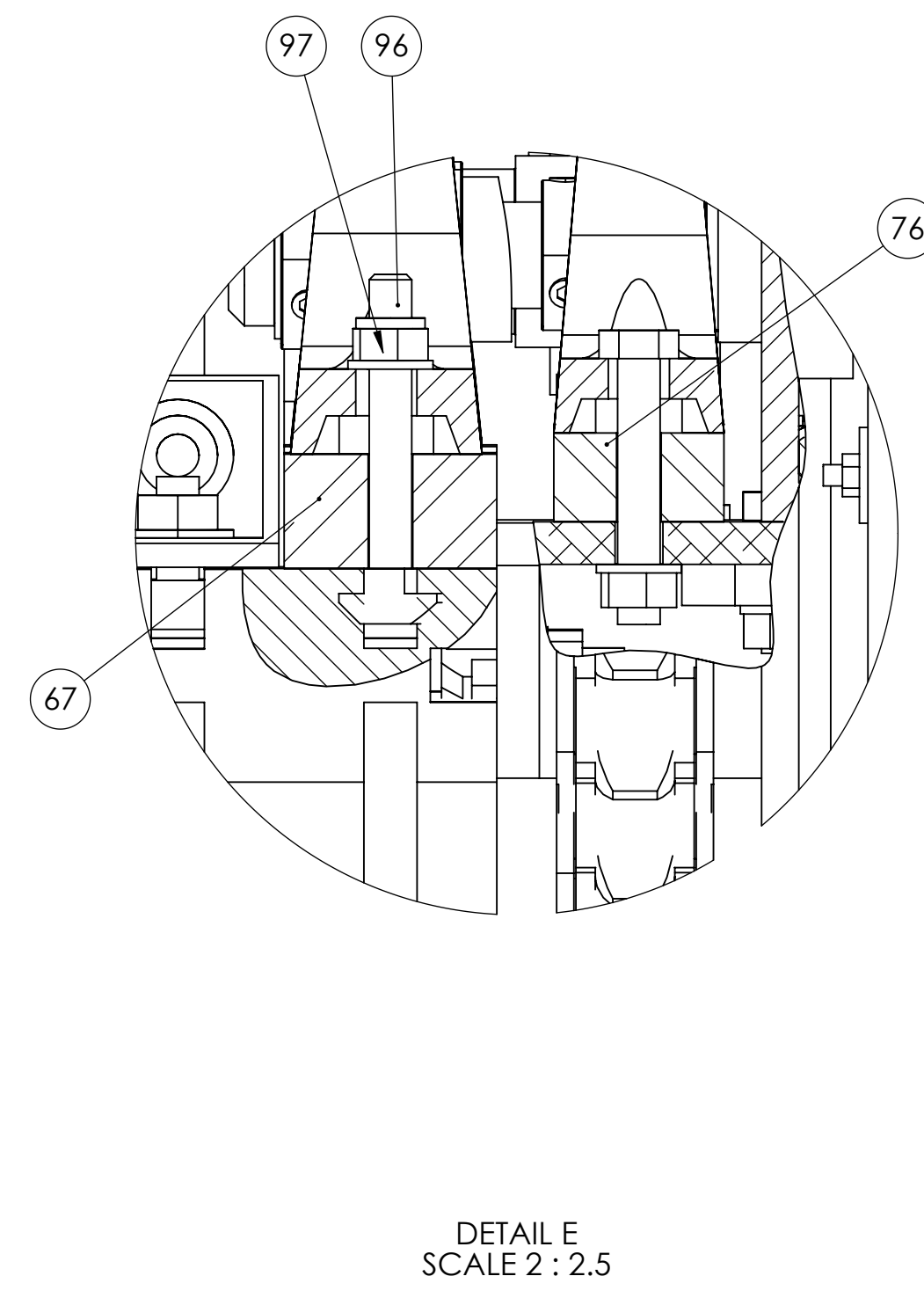
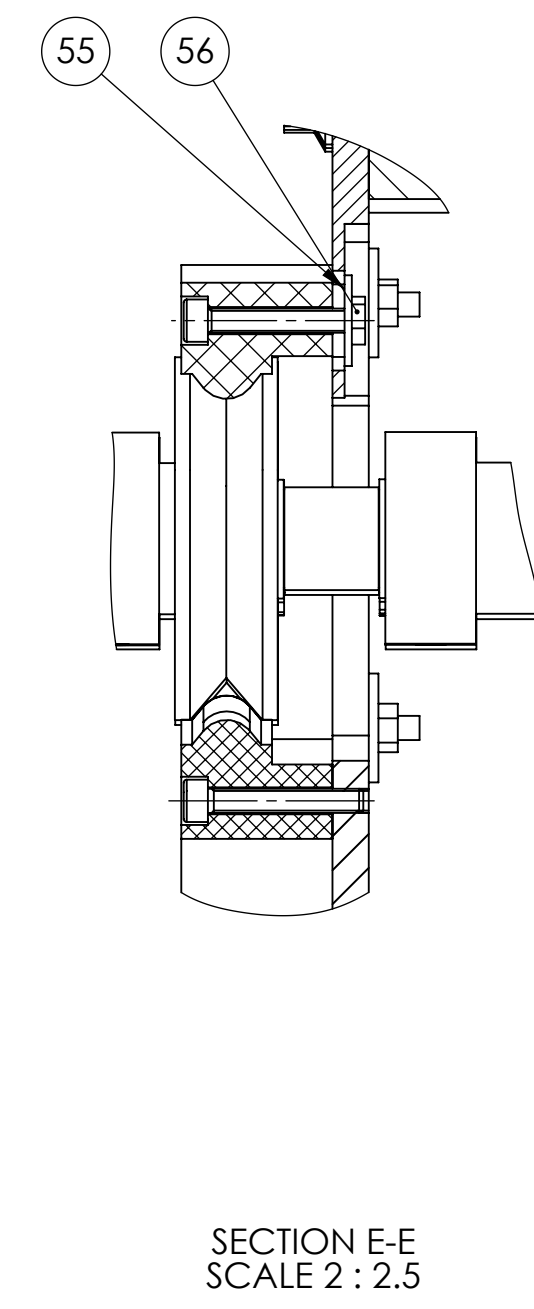
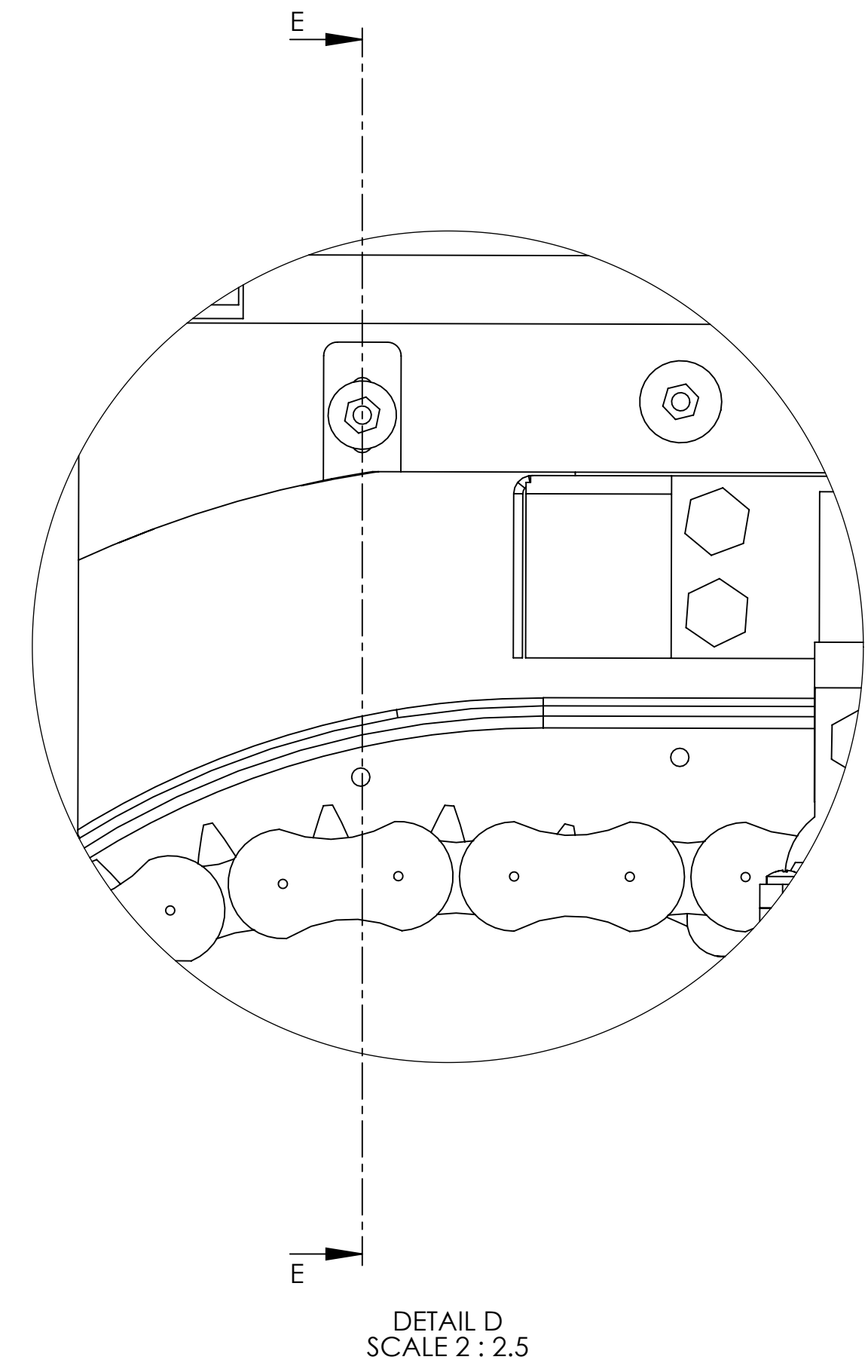
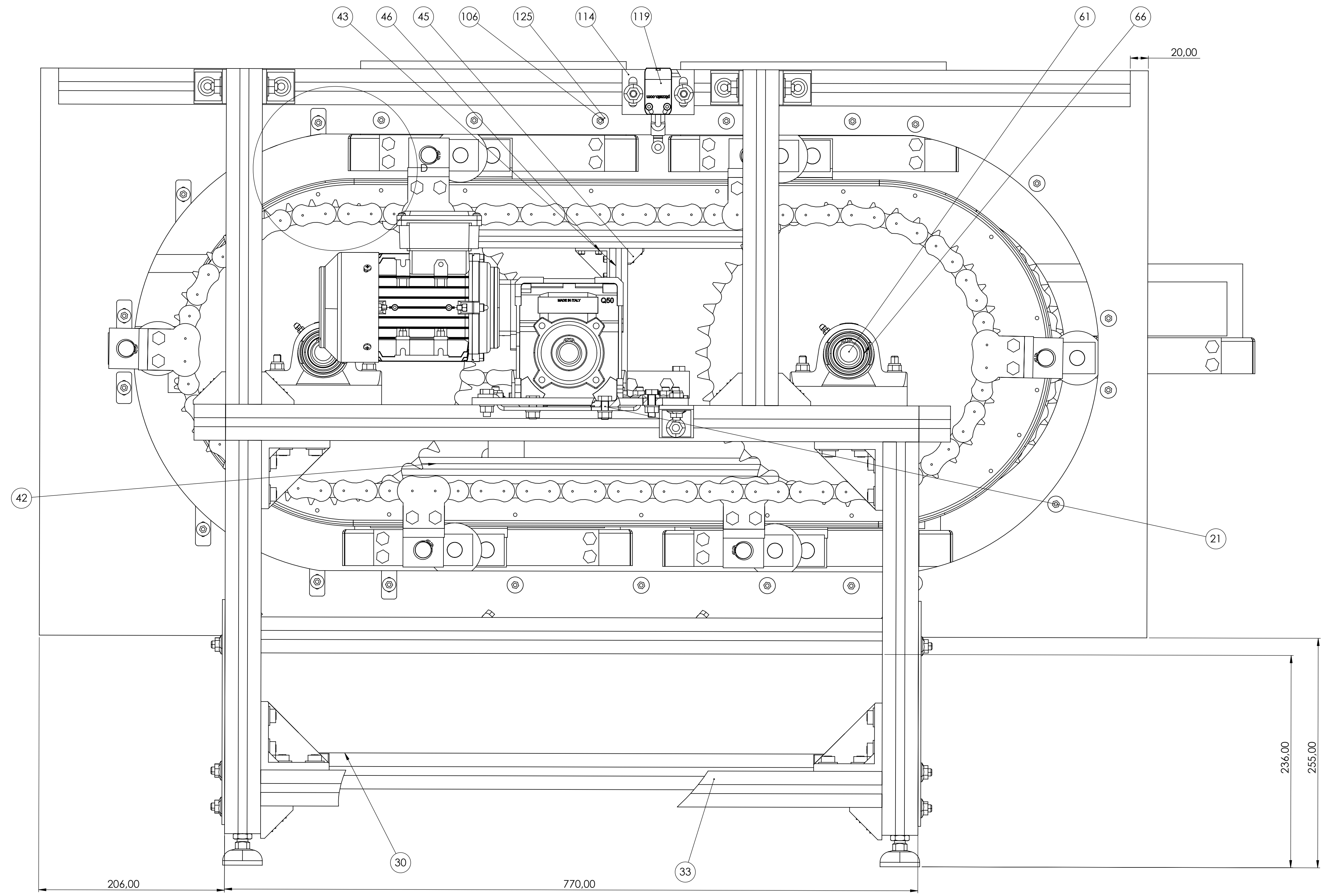
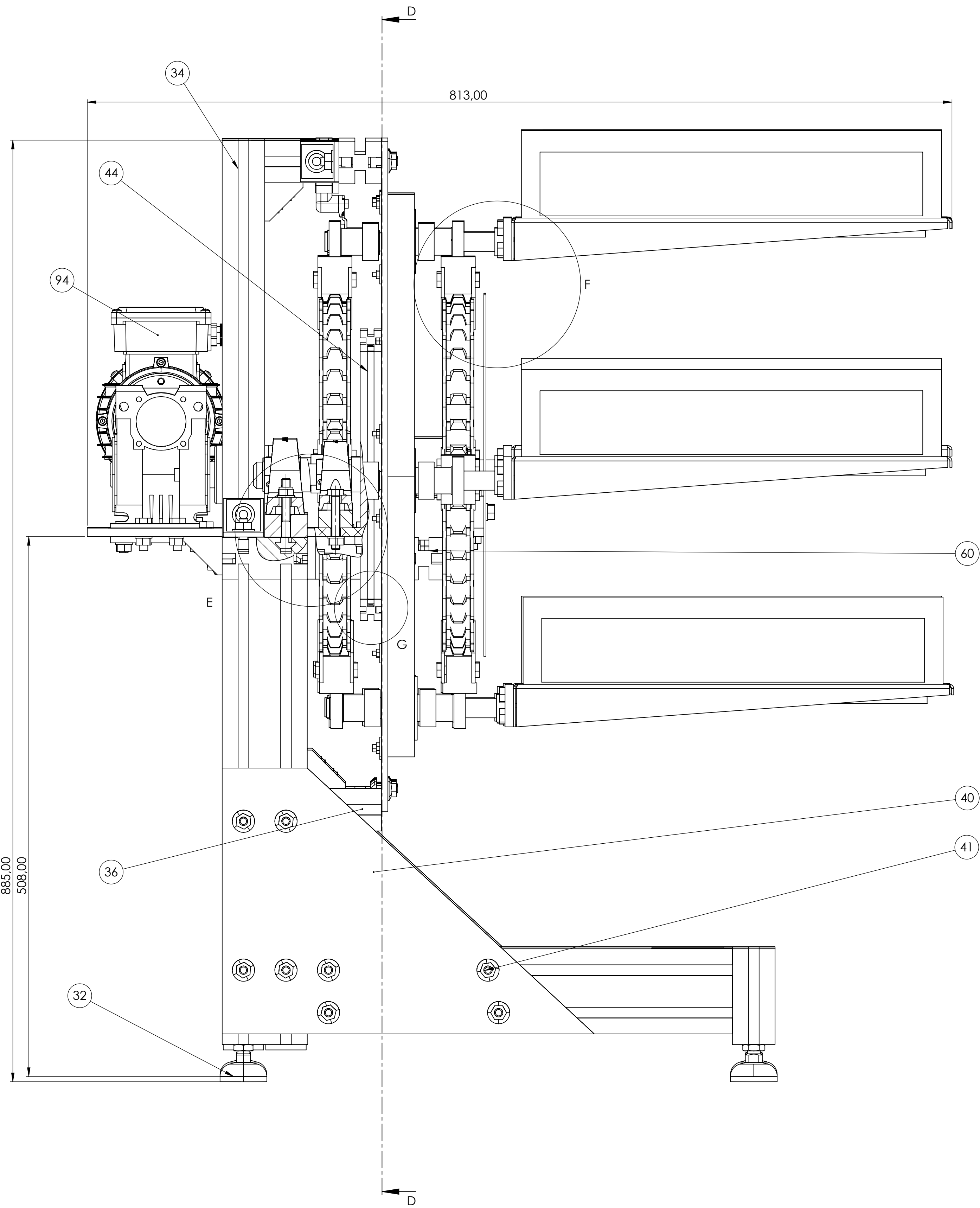
Mecanismo de Feedback – Barreira fechada por muito tempo



Apêndice D

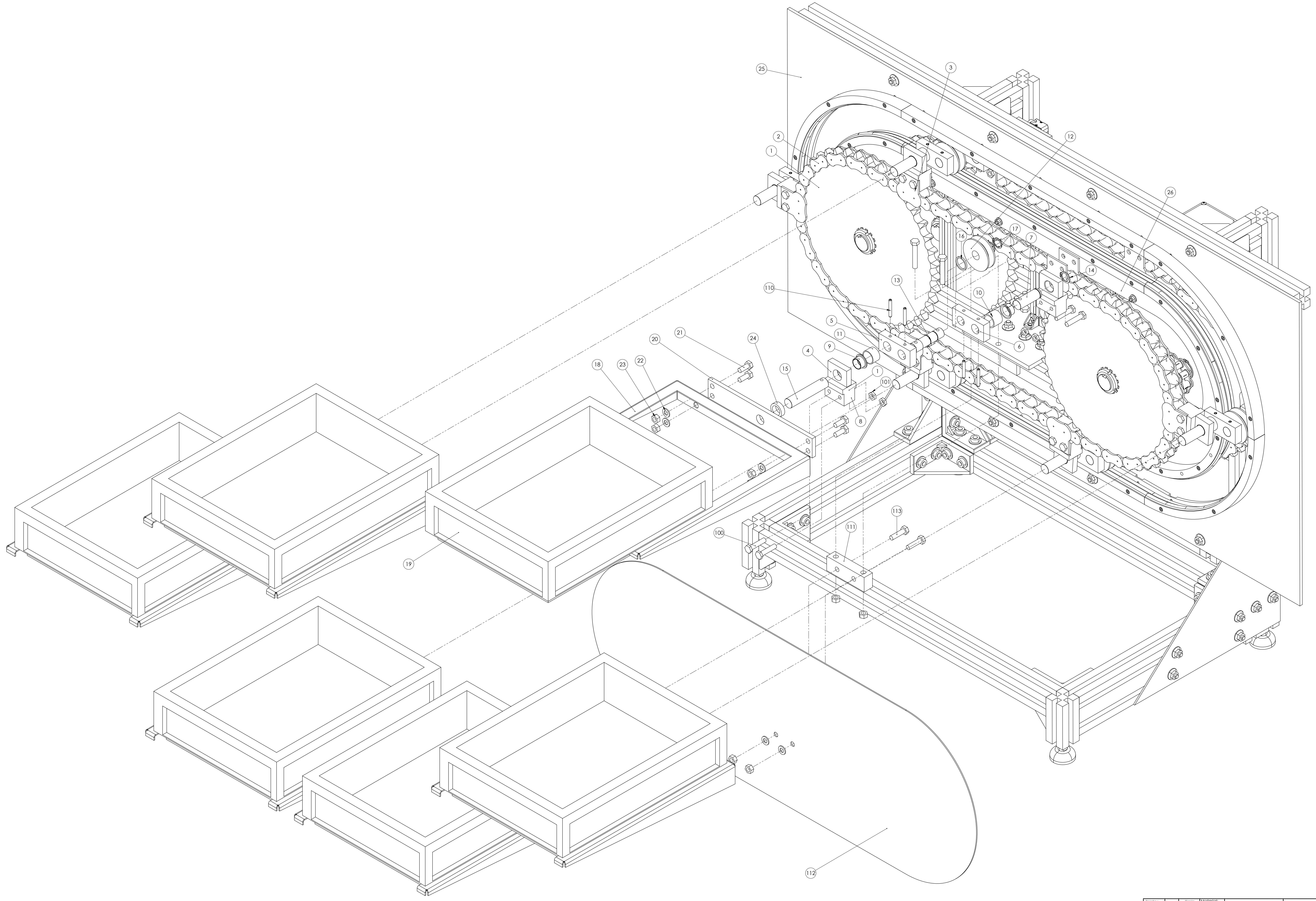
Desenhos de Conjunto





Apêndice E

Desenhos de Montagem

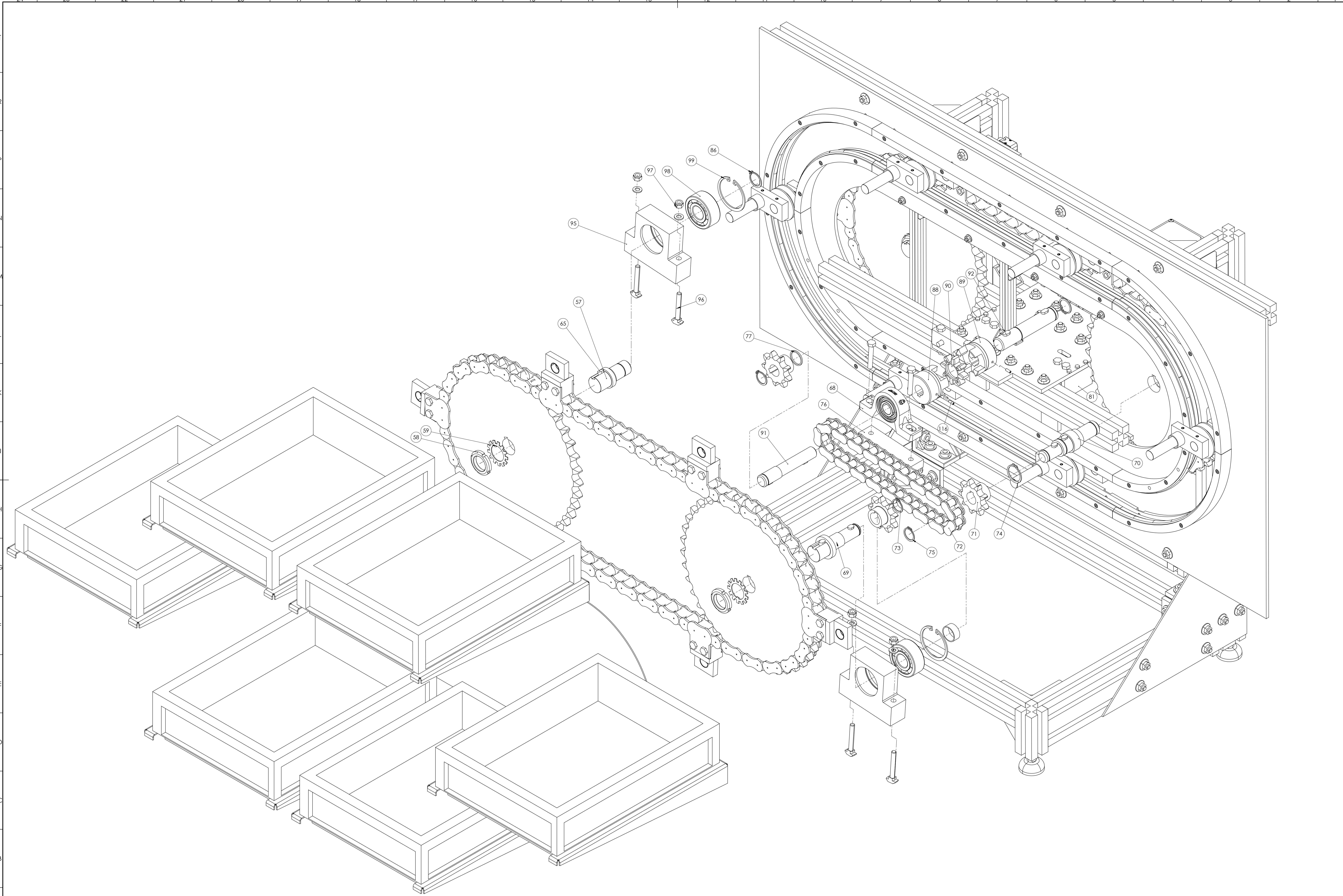


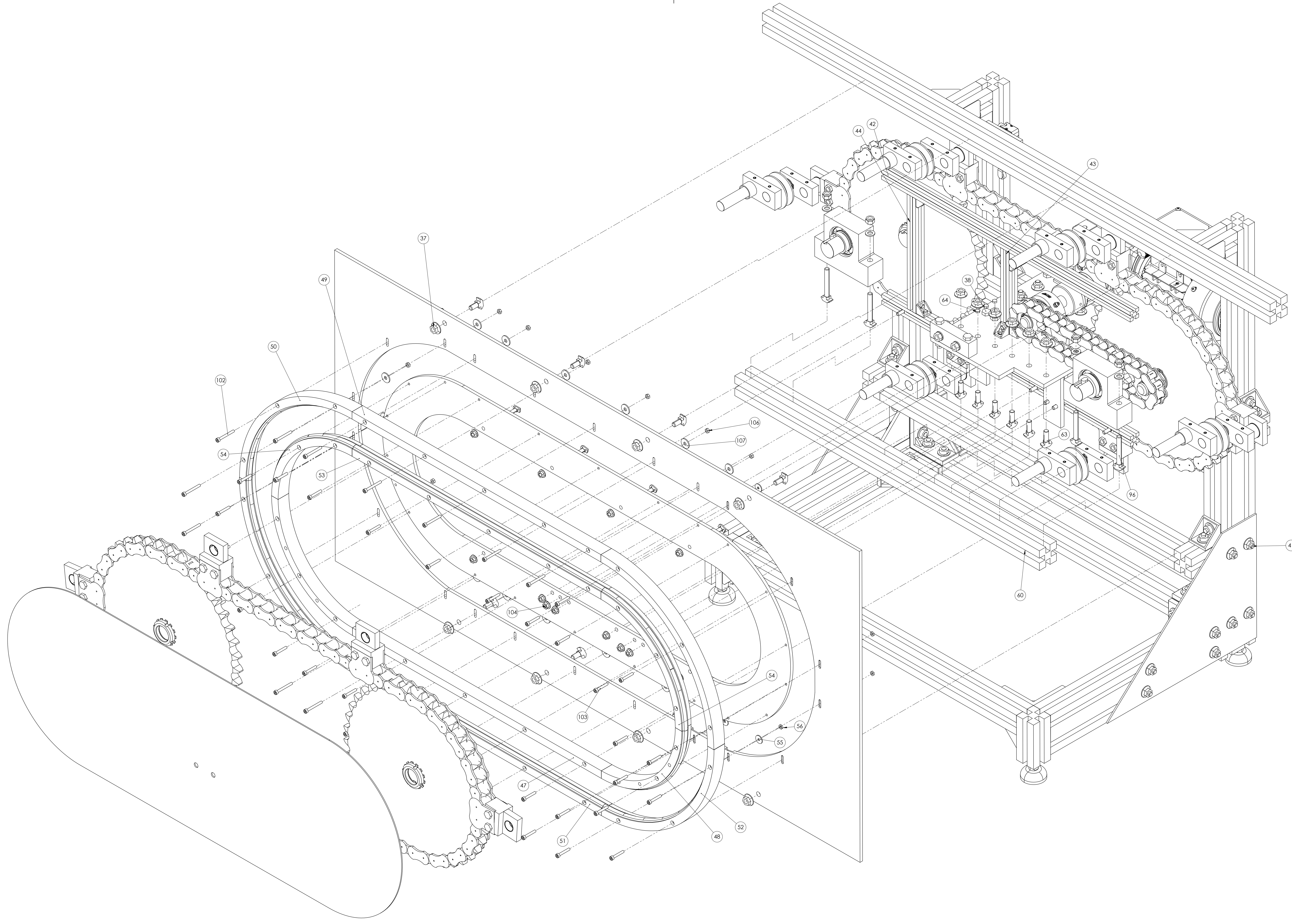
Desenho:	Projeto	Materiais:	
Verifica:		Dimensionadas:	
Elabora:		Três. Verificadas:	
Escala:		Três. Aprobadas:	
ESCALA:	1:1	Desenho:	
ESCALA:	1:1	Desenho:	

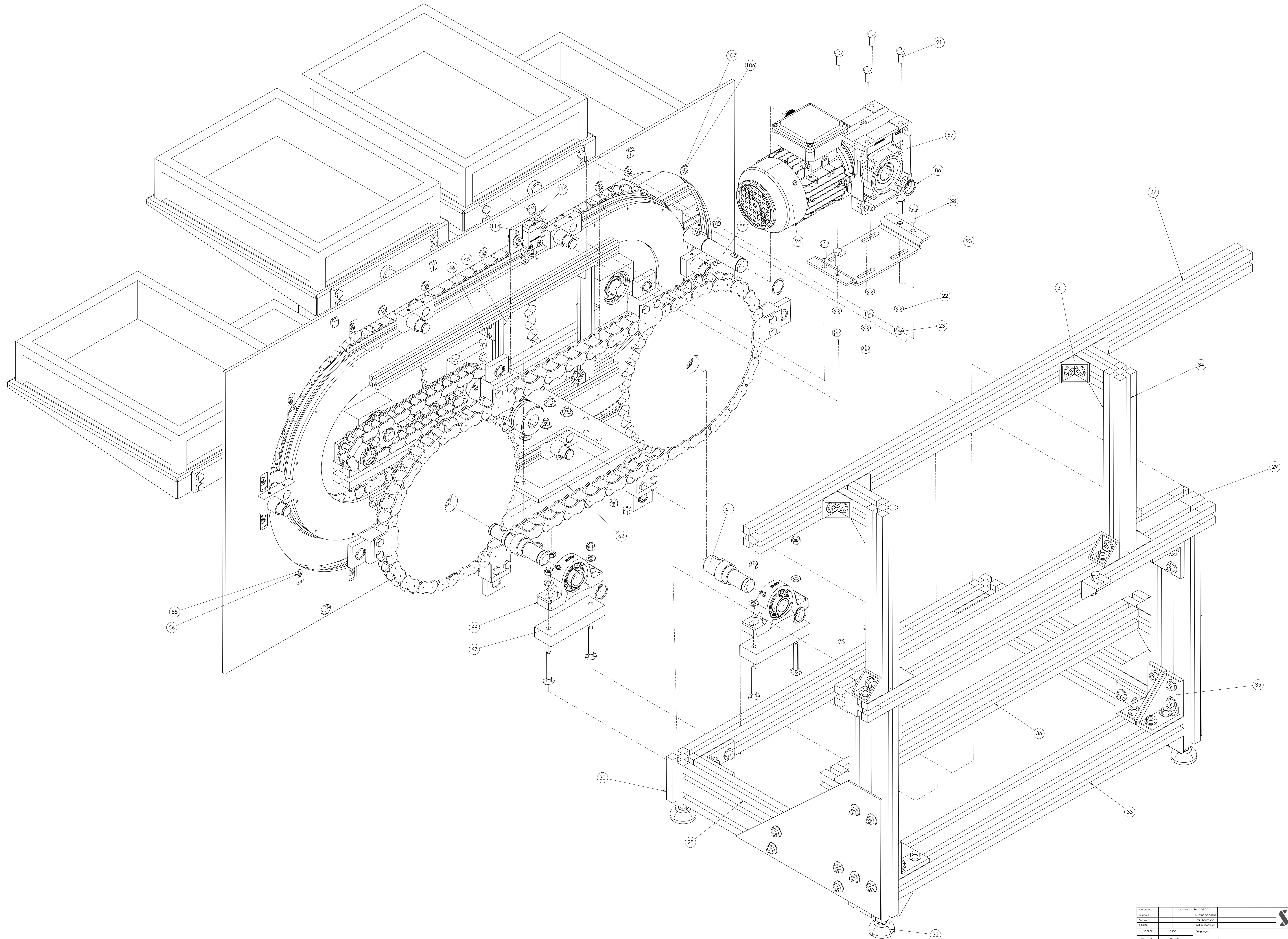
Desenho Montagem

DM: A0

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO NORTE







Apêndice F

Desenhos de Definição

