



## Projeto de um elevador automatizado para transporte de limalha

TIAGO FILIPE SANTOS RIBEIRO

dezembro de 2017

# PROJETO DE UM ELEVADOR AUTOMATIZADO PARA TRANSPORTE DE LIMALHA

Tiago Filipe Santos Ribeiro

21220544

**2017**

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica





## **PROJETO DE UM ELEVADOR AUTOMATIZADO PARA TRANSPORTE DE LIMALHA**

Tiago Filipe Santos Ribeiro

21220544

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

**2017**

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica





# JÚRI

## **Presidente**

Doutor Rui Pedro Cardoso da Silva Martinho

Professor Adjunto, ISEP

## **Orientador**

Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho

Professor Adjunto, ISEP

## **Arguente**

Doutor Paulo Manuel Salgado Tavares de Castro

Professor Catedrático, FEUP



## AGRADECIMENTOS

Gostaria de dirigir um especial agradecimento ao meu orientador, Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho por me ter acolhido e ter aceitado orientar esta tese final de mestrado em Engenharia Mecânica. Pela disponibilidade eminente para me ajudar, pela sua flexibilidade e todo o apoio que me prestou. O seu incentivo foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho.

A todos os colaboradores da TECNOLANEMA, por todos os conselhos e apoio prestado para que a realização deste projeto fosse possível.

Por fim, agradeço a todos os colegas, docentes do ISEP e todos que colaboraram para a obtenção deste resultado final.



## **PALAVRAS CHAVE**

Projeto mecânico, Elevador de Limalha, Automação, Dimensionamento, Método de Elementos Finitos.

## **RESUMO**

Atualmente, as empresas de maquinação de peças de alumínio têm investido muito em trituradores de limalha. A necessidade, por parte das empresas, para a utilização de equipamentos estudados e projetados à medida das suas carências, no que diz respeito à elevação, trituração e compactação de limalha, é grande. A automação do processo de descarga da limalha permite às empresas uma redução dos custos.

O trabalho apresentado teve como objetivo efetuar um projeto para a empresa LANEMA (especializada em peças maquinadas). O projeto consiste na elaboração de um elevador de coluna, capaz de fazer a descarga de limalha de alumínio diretamente para o triturador. Durante este trabalho apresentou-se a metodologia de dimensionamento de um elevador automatizado que eleva um contentor de limalha, com um peso máximo de 500 kg. Este projeto mecânico apresenta novas soluções relativamente aos sistemas de elevação existentes no mercado, disponibilizando assim os recursos humanos para outras tarefas. O operador apenas tem de posicionar o contentor no elevador e pressionar um botão, acionando o sistema de movimentação por corrente, o que por sua vez desencadeia a deslocação do contentor para a descarga da limalha para o triturador. Com o auxílio da ferramenta Método de Elementos Finitos (MEF) conseguiu-se realizar o projeto e obter uma solução final otimizada, resultando num equipamento robusto, eficiente, seguro e de custo reduzido.



**KEYWORDS**

Mechanical design; Filling lift; Automation; Dimensioning; Finite Element Method.

**ABSTRACT**

Nowadays, aluminium CNC machining companies have made huge investments in filling shredders. The need, by the companies, for the use of equipment studied and designed specifically for their needs, regarding lifting, shredding and compacting of filings is huge. Automation of the discharging process enables a significant cost reduction.

The presented work had as the main goal a project for the company LANEMA (specialized in milled parts). The project consists in the creation of a column lifter, capable of discharging aluminum filling directly to the crusher. During this work, the methodology of designing an automatic elevator which raises a container with a maximum weight of 500 kg was presented. This mechanical design presents new solutions regarding lifting systems compared to the market current availability, thus making human resources accessible for other tasks. The operator only has to position the container in the elevator and press a button, activating the chain drive system, which in turn triggers the displacement of the container for the discharge of the aluminium filling into the crusher. With the help of the Finite Element method (FEM) tool, it was possible to carry out the project and obtain an optimized final solution, resulting in a robust, efficient, safe and low cost equipment.



## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

### Lista de Abreviaturas

t	Espessura
$f_u$	Tensão de Rotura
$f_y$	Tensão de Limite Elástico
MIG	<i>Metal Inert Gas</i>
MAG	<i>Metal Ative Gas</i>
TIG	<i>Tungsten Inert Gas</i>
SCARA	<i>Selective Compliance Assembly Robot Arm</i>
GPL	Gás de Petróleo Liquefeito
AVG	<i>Automatic Guided Vehicles</i>
DC	Corrente Direta
AC	Corrente Alternada
MEF	Método de Elementos Finitos
FEM	<i>Finite Element Method</i>
Séc	Século
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
CAE	<i>Computer-Aided Engineering</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
CNC	<i>Computer numerical control</i>
HEB	Perfil em H
UPN	Perfil em U
$M_{f_{máx.}}$	Momento fletor máximo
$y_{máx.}$	Flecha máxima
2D	Computação gráfica- 2 dimensões (Espaço bidimensional)
3D	Computação gráfica- 3 dimensões (Espaço tridimensional)
FOS	<i>Factor of Safety</i>
m	massa
v	velocidade
$P_s$	Potência Estática
F	Força
g	Aceleração provocada pela gravidade
w	Velocidade angular
r	raio
n	Rotação
M	Momento
P	Potência
$F_{máx.}$	Força máxima

---

 Lista de Unidades

°C	Graus celsius
N	Newton
kN	Kilonewton
Nm	Newton-metro
mm	Milímetro
mm <sup>2</sup>	Milímetro quadrado
mm <sup>3</sup>	Milímetro cúbicos
MPa	Megapascal
J	Joule
kg	Quilograma
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
m <sup>4</sup>	Metro à quarta
bar	Bar
s	Segundos
cm	Centímetros
cm <sup>4</sup>	Centímetros à quarta
kW	KiloWatt
rpm	Rotações por minuto
rad	Radiano
h	hora

---

 Lista de Símbolos

%	Porcentagem
∅	Diâmetro
σ	Tensão
δ	Deslocamento
η	Rendimento
π	Pi

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - ESTRUTURA DE EDIFÍCIOS COM MÚLTIPLOS ANDARES [3]	8
FIGURA 2 - ESTRUTURA DE OBRAS [4]	8
FIGURA 3 - ESTRUTURA TUBULAR [5]	9
FIGURA 4 - ESTRUTURA RETICULADA [6]	9
FIGURA 5 - ESTRUTURA ESPACIAL EM TUBOS DE AÇO [7]	10
FIGURA 6 - PONTE JUSCELINO KUBITSCHEK - ESTRUTURA TENSIONADA [8]	10
FIGURA 7 - SILOS DE ARMAZENAMENTO - ESTRUTURA DE ARMAZENAMENTO [8]	11
FIGURA 8 - TIPOS DE JUNTAS DE SOLDADURA [16]	15
FIGURA 9 - EXEMPLOS REAIS DE VÁRIOS TIPOS DE SOLDADURA [16]	16
FIGURA 10 - TIPOS DE JUNTAS ADESIVAS [18]	17
FIGURA 11 - REPRESENTAÇÃO DAS FORÇAS QUE ATUAM SOBRE UMA JUNTA APARAFUSADA [19]	18
FIGURA 12 - EXEMPLO DE APLICAÇÃO DE UM PINO [20]	19
FIGURA 13 - EXEMPLO DE APLICAÇÃO DE UMA CAVILHA [20]	19
FIGURA 14 - DIFERENTES TIPOS DE CHAVETAS [22]	21
FIGURA 15 - ARMAZÉM AUTOMATIZADO [26]	23
FIGURA 16 – ESQUEMA DE MOVIMENTAÇÃO DA ESTRUTURA ARTICULADA [29]	25
FIGURA 17 - ESTRUTURA ARTICULADA OU REVOLUTA [29]	25
FIGURA 18 - ESQUEMA DE MOVIMENTAÇÃO DA ESTRUTURA CARTESIANA [29]	26
FIGURA 19 - ESTRUTURA CARTESIANA [29]	26
FIGURA 20 – ESQUEMA DE MOVIMENTAÇÃO DA ESTRUTURA CILÍNDRICA [29]	27
FIGURA 21 - ESTRUTURA CILÍNDRICA [29]	27
FIGURA 22 - ESQUEMA DE MOVIMENTAÇÃO DA ESTRUTURA POLAR [29]	28
FIGURA 23 - ESTRUTURA POLAR [29]	28
FIGURA 24 – ESQUEMA DE MOVIMENTAÇÃO DA ESTRUTURA “SCARA” [29]	29
FIGURA 25 - ESTRUTURA “SCARA” [29]	29
FIGURA 26 - ESQUEMA DE MOVIMENTAÇÃO DA ESTRUTURA “SPINE” [29]	30
FIGURA 27 - ESTRUTURA “SPINE” [29]	30
FIGURA 28 - ESQUEMA DE MOVIMENTAÇÃO DA ESTRUTURA PENDULAR [29]	31
FIGURA 29 - PONTE ROLANTE MONOVIGA [35]	34
FIGURA 30 - PONTE ROLANTE BIVIGA [35]	34

---

FIGURA 31 - PONTE ROLANTE SUSPensa [36]	35
FIGURA 32 - PÓRTICO MONOVIGA [38]	36
FIGURA 33 - PÓRTICO BIVIGA [35]	36
FIGURA 34 - SEMI-PÓRTICO MONOVIGA [39]	37
FIGURA 35 - SEMI-PÓRTICO BIVIGA [36]	37
FIGURA 36 - GUINDASTE MONTADO SOBRE UM VEÍCULO [40]	38
FIGURA 37 - TRAVESSA DE CARGA [41]	39
FIGURA 38- TRANSPORTADOR DE ROLOS [42]	39
FIGURA 39 - TRANSPORTADORES DE ROLOS ACIONADOS [44]	40
FIGURA 40 - TRANSPORTADOR DE ROLOS ACIONADO POR CORRENTE [45]	41
FIGURA 41 - TRANSPORTADOR DE ROLOS ACIONADO POR CORREIA [46]	41
FIGURA 42 - TRANSPORTADOR DE ROLOS LIVRES [47]	42
FIGURA 43 – ROLOS PARA TRANSPORTADORES [42]	42
FIGURA 44 – TRANSPREL [49]	43
FIGURA 45 - PRORUNNER® MK9 [50]	44
FIGURA 46 - ELEVADOR DE CARGA [48]	45
FIGURA 47 - EMPILHADORES ELÉTRICOS [52]	46
FIGURA 48 - EMPILHADORES A DIESEL [52]	46
FIGURA 49 - EMPILHADORES A GÁS/GLP [52]	47
FIGURA 50 - PORTA-PALETES MANUAIS [53]	47
FIGURA 51 - PORTA-PALETES ELÉTRICOS [53]	48
FIGURA 52 - PLATAFORMA DE ELEVAÇÃO DE CARGA [55]	48
FIGURA 53 - AVG A TRANSPORTAR/MOVER CARGAS DENTRO DE UMA FÁBRICA [57]	49
FIGURA 54 - AVG ENVOLVIDO EM COLHER OU DESCARREGAR CARGAS [58]	49
FIGURA 55 - ESQUEMA DE PRINCÍPIO DE ACIONAMENTO ELETROMECÂNICO [61]	50
FIGURA 56- MOTORES AC [63]	51
FIGURA 57- MOTOR DC E COMPONENTES [64]	51
FIGURA 58- SISTEMA DE AR COMPRIMIDO [66]	52
FIGURA 59 - SISTEMA HIDRÁULICO [68]	53
FIGURA 60 - SIMULAÇÃO DE PRODUTO REALIZADA COM BASE EM ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS [72]	55
FIGURA 61 – MODELO DO ELEVADOR SEM CASA DE MÁQUINAS [79]	59
FIGURA 62 - VALORES OBTIDOS NOS ENSAIOS NA ESTRUTURA SUPERIOR E COM ELEMENTOS “HIGH” [79]	59

FIGURA 63 - VALORES OBTIDOS NOS ENSAIOS NA ESTRUTURA SUPERIOR E COM ELEMENTOS "DRAFT" [79]	59
FIGURA 64 - VERIFICAÇÃO DOS VALORES DO PONTO ÓTIMO [33]	60
FIGURA 65 - NÓS. A) NÓ DE APOIO; B) NÓS DO VÃO [33]	60
FIGURA 66 - GRUPO LANEMA	64
FIGURA 67 - ESTRUTURA BASE DO DEPARTAMENTO TECNOLA NEMA	64
FIGURA 68- EXEMPLO DE UM SISTEMA DE TRITURAÇÃO/CENTRIFUGAÇÃO DE LIMALHA [80]	65
FIGURA 69- EXEMPLO DE CONTENTOR INCLINADO UTILIZADO PARA DESCARGA [81]	65
FIGURA 70- DIMENSÕES DO ELEVADOR	66
FIGURA 71 – ESFORÇOS APLICADOS ANTES DE INICIAR O MOVIMENTO DE ROTAÇÃO	67
FIGURA 72 - ESFORÇOS APLICADOS DEPOIS DE INICIAR O MOVIMENTO DE ROTAÇÃO	68
FIGURA 73 – ILUSTRAÇÃO DIVERSOS COMPONENTES CONSTITUINTES DA ESTRUTURA	69
FIGURA 74 – ILUSTRAÇÃO DIVERSOS COMPONENTES CONSTITUINTES SA ESTRUTURA	69
FIGURA 75 - ILUSTRAÇÃO DIVERSOS COMPONENTES CONSTITUINTES SA ESTRUTURA	70
FIGURA 76 - ILUSTRAÇÃO DIVERSOS COMPONENTES CONSTITUINTES SA ESTRUTURA	71
FIGURA 77 - ILUSTRAÇÃO DIVERSOS COMPONENTES CONSTITUINTES SA ESTRUTURA	71
FIGURA 78 - ILUSTRAÇÃO DIVERSOS COMPONENTES CONSTITUINTES SA ESTRUTURA	72
FIGURA 79 - CARGA DISTRIBUÍDA	73
FIGURA 80 – SISTEMA SIMPLIFICADO	73
FIGURA 81 – SIMPLIFICAÇÃO EM TRAMOS: A) TRAMO AB; B) TRAMO CB	73
FIGURA 82 - REPRESENTAÇÃO DAS REAÇÕES NOS APOIOS NO TRAMO AB	74
FIGURA 83 - REPRESENTAÇÃO DAS REAÇÕES NOS APOIOS NO TRAMO CB	75
FIGURA 84 – CONDIÇÕES FRONTEIRAS APLICADAS	76
FIGURA 85 – FIXAÇÃO DA ESTRUTURA AO SOLO	78
FIGURA 86 – CARGA APLICADA	78
FIGURA 87 – INDICAÇÃO DO LOCAL DO PONTO DE CONVERGÊNCIA 1	79
FIGURA 88 – INDICAÇÃO DO LOCAL DO PONTO DE CONVERGÊNCIA 2	79
FIGURA 89 – POSIÇÕES A ANALISAR: A) POSIÇÃO INICIAL; B) POSIÇÃO INTERMÉDIA; C) POSIÇÃO FINAL	83
FIGURA 90 - ILUSTRAÇÃO REPRESENTATIVA DOS RESULTADOS RELATIVOS A TENSÕES DE VON MISES: A) POSIÇÃO INICIAL; B) POSIÇÃO INTERMÉDIA; C) POSIÇÃO FINAL.	84
FIGURA 91 - ILUSTRAÇÃO REPRESENTATIVA DAS TENSÕES OBTIDAS, NA ZONA DA PLATAFORMA.	84
FIGURA 92 - ILUSTRAÇÃO REPRESENTATIVA DOS RESULTADOS RELATIVOS A DESLOCAMENTOS: A) POSIÇÃO INICIAL; B) POSIÇÃO INTERMÉDIA; C) POSIÇÃO FINAL.	85
FIGURA 93 - ILUSTRAÇÃO REPRESENTATIVA DOS RESULTADOS RELATIVOS À DISTRIBUIÇÃO DO FATOR DE SEGURANÇA: A) POSIÇÃO INICIAL; B) POSIÇÃO INTERMÉDIA; C) POSIÇÃO FINAL.	85

FIGURA 94 - APRESENTAÇÃO DAS ALTERAÇÕES EFETUADAS EM RELAÇÃO À ESTRUTURA DA PLATAFORMA ORIGINAL.	86
FIGURA 95 - RESULTADOS OBTIDOS NA SIMULAÇÃO REALIZADA À PRIMEIRA ITERAÇÃO: A) DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES; B) DISTRIBUIÇÃO DE DESLOCAMENTOS.	87
FIGURA 96 - APRESENTAÇÃO DAS ALTERAÇÕES EFETUADAS EM RELAÇÃO À ESTRUTURA DA PLATAFORMA ORIGINAL	88
FIGURA 97 - RESULTADOS OBTIDOS NA SIMULAÇÃO REALIZADA À SEGUNDA ITERADA: A) DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES; B) DISTRIBUIÇÃO DE DESLOCAMENTOS.	88
FIGURA 98 - APRESENTAÇÃO DAS ALTERAÇÕES EFETUADAS EM RELAÇÃO À ESTRUTURA DA PLATAFORMA ORIGINAL	89
FIGURA 99 - RESULTADOS OBTIDOS NA SIMULAÇÃO REALIZADA À TERCEIRA ITERADA: A) DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES; B) DISTRIBUIÇÃO DE DESLOCAMENTOS.	90
FIGURA 100 - APRESENTAÇÃO DAS ALTERAÇÕES EFETUADAS EM RELAÇÃO À ESTRUTURA DA PLATAFORMA ORIGINAL	90
FIGURA 101 - RESULTADOS OBTIDOS NA SIMULAÇÃO REALIZADA À QUARTA ITERADA: A) DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES; B) DISTRIBUIÇÃO DE DESLOCAMENTOS.	91
FIGURA 102 - APRESENTAÇÃO DAS ALTERAÇÕES EFETUADAS EM RELAÇÃO À ESTRUTURA DA PLATAFORMA ORIGINAL	92
FIGURA 103 - RESULTADOS OBTIDOS NA SIMULAÇÃO REALIZADA À QUARTA ITERADA: A) DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES; B) DISTRIBUIÇÃO DE DESLOCAMENTOS.	92
FIGURA 104 - TABELA MOTORES SEW	99
FIGURA 105 - TABELA FREIOS SEW	100
FIGURA 106 - TABELA REDUTORES SEW	101
FIGURA 107 - TABELA CORRENTES DE ROLOS SIMPLES DA ROLISA	102
FIGURA 108 - TABELA DE CARRETOS DA ROLISA	103
FIGURA 109 – ESQUEMA PARA SELEÇÃO DO TIPO DE ESFORÇO (CATÁLOGO IKO)	104
FIGURA 110 – ILUSTRAÇÃO DO CASO UTILIZADO NO PROJETO	104
FIGURA 111 - TABELA CARROS TRANSPORTADORES IKO	105
FIGURA 112 - TABELA UNIDADE DE ROLAMENTO INA	105
FIGURA 113 - CARACTERÍSTICAS UNIDADE DE ROLAMENTO UCP212	106
FIGURA 114- ZONAS DE SOLDADURA BLOCO CENTRAL	106
FIGURA 115 – ZONA DE SOLDADURA ENTRE O BLOCO CENTRAL E O TUBO DE SEÇÃO QUADRADA	107
FIGURA 116 – FIXAÇÃO POR PARAFUSOS DAS GUIAS LINEARES	107
FIGURA 117 – FIXAÇÃO POR PARAFUSOS DOS CARROS TRANSPORTADORES	107
FIGURA 118 – FIXAÇÃO POR PARAFUSOS DAS CHUMACEIRAS	108
FIGURA 119 - GRAFCET ELEVAÇÃO	112
FIGURA 120 - GRAFCET EMERGÊNCIA	113

## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1- CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS MÍNIMAS DOS AÇOS [10] .....	12
TABELA 2 - PROPRIEDADES DO MATERIAL DO ELEVADOR SEM CASA DE MÁQUINAS [79].....	59
TABELA 3 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO S235.....	72
TABELA 4 - CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS .....	72
TABELA 5 – DADOS PESO PARA CÁLCULO .....	73
TABELA 6- TIPOS DE MALHA UTILIZADOS.....	80
TABELA 7 – ILUSTRAÇÕES DAS MALHAS CONFORME O REFINAMENTO DO ELEMENTO .....	80
TABELA 8 – SIMPLIFICAÇÕES PARA SIMULAÇÃO .....	82
TABELA 9 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DE TENSÃO OBTIDOS NA SIMULAÇÃO NAS 3 POSIÇÕES: A) E B) SÃO POSIÇÃO INICIAL; C) E D) SÃO POSIÇÃO INTERMÉDIA; E) E F) POSIÇÃO FINAL .....	93
TABELA 10 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DE DESLOCAMENTOS OBTIDOS NA SIMULAÇÃO NAS 3 POSIÇÕES: A) E B) SÃO POSIÇÃO INICIAL; C) E D) SÃO POSIÇÃO INTERMÉDIA; E) E F) POSIÇÃO FINAL.....	95
TABELA 11 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DO FATOR DE SEGURANÇA OBTIDOS NA SIMULAÇÃO NAS 3 POSIÇÕES: A) E B) SÃO POSIÇÃO INICIAL; C) E D) SÃO POSIÇÃO INTERMÉDIA; E) E F) POSIÇÃO FINAL.....	96
TABELA 12 – DADOS INICIAIS PARA CÁLCULO .....	98
TABELA 13 – PROCESSO DE FABRICO E QUANTIDADES .....	109
TABELA 14 - TABELA DE PREÇOS .....	111
TABELA 15- CODIFICAÇÃO DA SIMBOLOGIA.....	112
TABELA 16- LISTA DOS PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS COMPONENTES UTILIZADOS NO EQUIPAMENTO .....	113



---

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - TENSÃO DE VON MISES OBTIDAS NO PONTO DE CONVERGÊNCIA 1.....	81
GRÁFICO 2 - TENSÃO DE VON MISES OBTIDAS NO PONTO DE CONVERGÊNCIA 2.....	81
GRÁFICO 3 - VALORES DOS DESLOCAMENTOS OBTIDOS.....	81



# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Contextualização</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>1</b>
<b>1.3</b>	<b>Organização do relatório</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1</b>	<b>Projeto de estruturas metálicas</b> .....	<b>7</b>
2.1.1	Tipos de estruturas .....	7
2.1.2	Materiais comumente utilizados .....	11
2.1.3	Métodos de união entre componentes .....	14
<b>2.2</b>	<b>Manuseamento de componentes em fábrica</b> .....	<b>21</b>
2.2.1	Sistemas robotizados .....	24
2.2.2	Sistemas aéreos .....	32
2.2.3	Transportadores de rolos .....	39
2.2.4	Estruturas mecânicas de transporte .....	43
2.2.5	Outras soluções .....	45
<b>2.3</b>	<b>Sistemas de acionamento</b> .....	<b>50</b>
2.3.1	Sistemas eletromecânicos .....	50
2.3.2	Sistemas pneumáticos.....	51
2.3.3	Sistemas hidráulicos.....	53
<b>2.4</b>	<b>Método de Elementos Finitos</b> .....	<b>54</b>
2.4.1	Introdução à ferramenta de projeto.....	55
2.4.2	Vantagens da utilização em projeto .....	56
2.4.3	Software existente e respectivas potencialidades .....	57
2.4.4	Casos práticos de dimensionamento .....	58
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>63</b>
<b>3.1</b>	<b>Caraterização da empresa que acolheu o projeto</b> .....	<b>63</b>
<b>3.2</b>	<b>Descrição da estrutura a projetar</b> .....	<b>65</b>

---

<b>3.3</b>	<b>Requisitos a cumprir .....</b>	<b>66</b>
<b>3.4</b>	<b>Definição das solicitações impostas .....</b>	<b>67</b>
<b>3.5</b>	<b>Projeto do sistema de movimentação de limalha .....</b>	<b>68</b>
3.5.1	Anteprojeto .....	68
3.5.2	Projeto e otimização pelo MEF .....	77
3.5.3	Dimensionamento do sistema de movimentação .....	98
3.5.4	Dimensionamento das uniões .....	106
3.5.5	Processos de fabrico e desenhos de pormenor .....	108
3.5.6	Análise de custos .....	111
3.5.7	Sistema de controlo .....	111
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>117</b>
<b>5</b>	<b>BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....</b>	<b>121</b>
<b>6</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>129</b>
<b>6.1</b>	<b>ANEXO1 .....</b>	<b>131</b>
<b>6.2</b>	<b>ANEXO2 .....</b>	<b>135</b>
<b>6.3</b>	<b>ANEXO3 .....</b>	<b>139</b>
<b>6.4</b>	<b>ANEXO4 .....</b>	<b>143</b>

# INTRODUÇÃO

- 1.1** Contextualização
- 1.2** Objetivos
- 1.3** Organização do relatório



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização

O projeto e construção de equipamentos automatizados é uma área que procura satisfazer as necessidades de ganhos de produtividade, melhorias a nível de qualidade e condições de trabalho. Diferentes tipos de indústrias têm investido muito em equipamentos automatizados de triturar limalha, dado que uma gestão eficaz de limalha permite uma valorização da limalha recuperada; uma recuperação, tratamento e reutilização de óleos; uma redução de custos associados ao transporte e manipulação da limalha; e ainda uma redução de ocupação de espaços de armazenamento. Os trituradores de limalha têm a possibilidade de integrar sistemas automáticos de carga e descarga de limalhas, sendo inúmeras as empresas que têm procurado por elevadores automatizados capazes de realizar esse processo. Com sistemas automáticos poupa-se recursos, existindo um investimento inicial não muito caro que ao fim de alguns tempos obtém-se o proveito no tempo perdido se fosse de uma forma manual.

A TECNOLANEMA é uma empresa com larga experiência na maquinação de peças em pequenas e grandes séries nos vários materiais pertencentes às ligas de plástico de engenharia e alumínio técnico. Perante a problemática da empresa com o armazenamento das limalhas que restavam da maquinação de alumínio, surgiu a necessidade de aquisição de um triturador e compactador de limalha. Para otimizar todo este processo, sentiu-se falta de um elevador automatizado para a deposição da limalha diretamente no triturador.

É necessário garantir toda a qualidade do processo, para tal, os sistemas têm que ser estudados até à exaustão, não deixando espaço a imprevistos.

## 1.2 Objetivos

Perante o quadro anteriormente traçado, este trabalho teve como principal objetivo proceder ao estudo e automatização de um novo sistema de transporte/elevação de um contentor de limalha, desde o solo até ao depósito do triturador. O elevador deverá apresentar as seguintes características:

- Movimentação vertical de um contentor sobre guias lineares;
- Transportar um contentor com limalha;
- Transportar 500 kg de carga máxima;
- Velocidade de elevação de 0,26 m/s;
- Curso de elevação linear do contentor de 3,84 m;

- Permitir uma operação fácil e precisa;
- Permitir fácil manutenção.

Para o prosseguimento do objetivo principal anteriormente referido, é necessário ultrapassar as seguintes etapas:

- Identificação do problema;
- Idealização de um equipamento capaz de responder às expectativas e exigências referidas anteriormente;
- Selecionar a solução mais credível, convenientemente fundamentada;
- Otimização do equipamento;
- Investigar a solução pretendida, de forma a garantir um bom funcionamento do sistema, com recurso à elaboração do *grafcet* de funcionamento;
- Elaboração de projeto final (desenhos técnicos para fabricação) e lista de componentes.

Com este trabalho espera-se aplicar, consolidar e aprofundar os conhecimentos adquiridos ao longo do curso e da experiência profissional, para além, da satisfação de superar este desafio.

### 1.3 Organização do relatório

O presente trabalho encontra-se dividido em 4 capítulos, no entanto a estrutura deste trabalho está assente essencialmente em 2 grandes capítulos: revisão bibliográfica e o desenvolvimento.

Inicia-se com o resumo, seguidamente com o capítulo 1 (introdução) onde é possível encontrar a contextualização e os objetivos.

No capítulo 2 (revisão bibliográfica) dá-se a conhecer o estado da arte atual dos diferentes tópicos considerados pertinentes para a realização deste trabalho, onde são abordados temas de diversas áreas, tal como estruturas metálicas, manuseamentos de materiais em ambiente de fábrica, sistemas de acionamento e descrição do MEF.

No capítulo 3 (desenvolvimento) é referido o problema existente, é feita a apresentação das diversas soluções prévias e desenvolvida a solução adotada, devidamente justificada, para solucionar o problema. De uma forma geral este capítulo destina-se à realização do projeto em concreto, pois é onde se faz o projeto final da estrutura em estudo. Neste capítulo são realizados vários testes no *software* SolidWorks em que se simula o comportamento mecânico da estrutura sujeita às cargas de projeto, também estão incluídas as otimizações efetuadas pelo MEF, os desenhos finais do equipamento, a lista de componentes utilizados, os *grafcet*, os desenhos de pormenor e os processos de fabrico.

---

Para além dos capítulos anteriormente mencionados, ainda é possível encontrar o 4º e último capítulo onde são apresentadas as conclusões e ilações finais retiradas da realização deste projeto, pretendendo ser uma resposta ao objetivo inicialmente traçado.



# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- 2.1 Projeto de estruturas metálicas**
- 2.2 Manuseamento de componentes em fábrica**
- 2.3 Sistemas de acionamento**
- 2.4 Método de Elementos Finitos**



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Projeto de estruturas metálicas

Um projeto é uma etapa da concepção que prevê as soluções técnicas de uma construção. É realizado para atender às necessidades dos usuários. Independentemente da sua finalidade, um projeto de estruturas metálicas deve ser construído de forma econômica, mantendo sempre os fins para que foi projetado durante a sua vida útil.

O projeto é um instrumento fundamental para que qualquer atividade de mudança e/ou geração de produtos, serviços e informações. É sempre necessário, inicialmente, saber qual a sua função e requisitos necessários para servir a sua finalidade.

O projeto não é simplesmente uma atividade de cálculo ou dimensionamento de componentes mecânicos, também engloba todo um planejamento e controle de forma a garantir todos os níveis desejados de qualidade, tempo de desenvolvimento e custos envolvidos [1].

O Engenheiro/Projetista normalmente utiliza as suas experiências anteriores para resolver novos problemas. Essa postura é muito adequada para a solução de problemas mais simples. Quando surgem problemas mais complexos, envolvendo um volume maior de informações a serem processadas, é necessária a utilização de procedimentos metodológicos e sistemáticos mais apurados. Em projeto de estruturas metálicas, cabe aos engenheiros definir e calcular os movimentos, as forças e mudanças de energia de forma a determinar as dimensões, as formas e os materiais necessários para cada um dos elementos que integram o dispositivo [1].

#### 2.1.1 Tipos de estruturas

As estruturas metálicas são constituídas por diferentes tipos de elementos e cada um desses elementos deve estar convenientemente unido às peças a si vizinhas. Na verdade, as propriedades mecânicas das uniões influenciam determinadamente no conjunto das mais importantes características da estrutura: resistência, rigidez e estabilidade. Existem vários tipos de estruturas metálicas, podendo-se destacar:

##### **Estruturas de edifícios**

As estruturas de edifícios são dos tipos de estrutura metálica mais construídos atualmente. São constituídos basicamente de pilares, vigas e peças de contraventamento metálicos que garantem uma construção rápida e segura. Os pilares e vigas são perfis metálicos que são unidos por meio de acessórios como parafusos, chapas e soldas. Alguns exemplos são os edifícios comerciais, edifícios residenciais,

públicos, industriais, hospitalares e residenciais. Na Figura 1 também é possível observar um exemplo de estrutura de edifícios, sendo estes de múltiplos andares [2].



Figura 1 - Estrutura de Edifícios com múltiplos andares [3]

### Estruturas de obras

Estes tipos de estruturas podem ser de grandes dimensões ou utilizadas simplesmente em pequenos espaços, podendo ser das mais diversas formas, uma vez que as estruturas metálicas conferem economia, segurança, agilidade e diversas outras vantagens aos empreendimentos. Alguns dos exemplos deste tipo de estruturas metálicas são as pontes e viadutos. Um outro exemplo de estruturas de obras é o representado na Figura 2 [2].



Figura 2 - Estrutura de Obras [4]

### Estruturas tubulares

As estruturas tubulares são o tipo de estruturas que utilizam tubos metálicos. Este tipo de estruturas é utilizado nos mais diversos segmentos, já que além de leves e duráveis, são também resistentes à corrosão e à oxidação, apresentando um ótimo custo-

benefício e podem ser reciclados. As estruturas tubulares geralmente são empregadas na condução de cabos telefônicos e de internet, em chaminés de indústrias, no escoamento de petróleo, na estruturação de obras (como torres e pontes) Figura 3, entre outras aplicações [2].



Figura 3 - Estrutura Tubular [5]

### Estruturas reticuladas

As estruturas reticuladas são perfis treliçados que formam uma espécie de rede tridimensional. Devido à sua formação estrutural, este tipo de estruturas metálicas pode alcançar grandes alturas e suportar grandes cargas. Alguns exemplos são as torres de energia (Figura 4) e os suportes de alguns equipamentos [2].



Figura 4 - Estrutura Reticulada [6]

### Estruturas espaciais

As estruturas espaciais formam a cobertura de grandes espaços a partir das estruturas reticuladas tridimensionais. Devido ao formato de toda a estrutura, há pouca necessidade de apoios, por isso os vãos são maiores que o normal.

As estruturas espaciais são muito utilizadas em grandes coberturas, onde é necessário vencer grandes vãos e adotar poucos elementos de apoio. Algumas destas estruturas chegam a impressionar pela grande dimensão e também pelo seu aspecto visual [2].

São amplamente utilizadas em aeroportos, edifícios de exposições e em empresas de elevadas dimensões (Figura 5).



Figura 5 - Estrutura Espacial em Tubos de Aço [7]

### **Estruturas tensionadas**

As estruturas tensionadas utilizam cabos de aço ou tubos esbeltos tracionados para a sustentação de outros elementos estruturais, como coberturas, tabuleiros de pontes (Figura 6) e até edifícios por completo [2].

Devido à grande resistência à tração dos elementos de aço, as estruturas tensionadas são capazes de vencer grandes vãos e proporcionam uma grande valorização arquitetônica em qualquer empreendimento. Várias pontes utilizam esse tipo de estrutura metálica [2], [8].



Figura 6 - Ponte Juscelino Kubitschek - Estrutura Tensionada [8]

## Estruturas de armazenamento

As estruturas de armazenamento possuem grande importância na viabilidade de construção de grandes espaços para armazenamento. A principal característica deste tipo de estrutura metálica, é o facto de possuir geralmente paredes finas, formadas por chapas de aço. A utilização do aço, garante boas condições de temperatura e ventilação, além de facilitar a descarga [2], [9].

As estruturas mais convencionais são os silos, os tanques e as esferas. Os silos (Figura 7) são muito utilizados para armazenamento de grãos, os tanques para o armazenamento de líquido e as esferas para o armazenamento de gases [2].



Figura 7 - Silos de Armazenamento - Estrutura de Armazenamento [8]

### 2.1.2 Materiais comumente utilizados

Em projeto de estruturas metálicas o aço é o material mais utilizado devido ao seu comportamento em termos mecânicos, a nível de deformações e tensões. O aço é constituído por uma liga ferro-carbónica formada a partir de minérios de ferro, cujos componentes principais são o ferro e o carbono [10].

Estas ligas ferrosas caracterizam-se pela combinação de propriedades tais como a boa resistência mecânica, ductilidade, tenacidade e preço reduzido. Dois tipos de aços existentes são os aços de construção e os aços de ferramenta. Dentro dos aços de construção encontram-se os aços ao carbono, os aços ligados e os aços inoxidáveis, quanto aos aços de ferramenta, encontram-se dentro destes os aços para trabalho a quente, os aços para trabalho a frio e os aços rápidos [11].

Os tipos de aço mais utilizados são: S235, S275, S355 e S450, com vários graus: JR, JO, J2 e K2, no qual o número significa o limite elástico do material em MPa ( $N/mm^2$ ) e o grau indica a resiliência adquirida. As características mecânicas adquiridas dependem da espessura do produto como são indicadas na Tabela 1 [12].

Tabela 1- Características mecânicas mínimas dos aços [10]

DESIGNACIÓN	Espesor nominal t (mm)				Temperatura del ensayo Charpy °C
	Tensión de limite elástico $f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )			Tensión de rotura $f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	
	$t \leq 16$	$16 < t \leq 40$	$40 < t \leq 63$	$3 \leq t \leq 100$	
S235JR					20
S235J0	235	225	215	360	0
S235J2					-20
S275JR					20
S275J0	275	265	255	410	0
S275J2					-20
S355JR					20
S355J0	355	345	335	470	0
S355J2					-20
S355K2					-20 <sup>(1)</sup>
S450J0	450	430	410	550	0

<sup>(1)</sup> Se le exige una energía mínima de 40J.

Os aços são um tipo de material metálico que são utilizados no fabrico de peças (engrenagens, eixos, parafusos, etc.), ferramentas (martelos, serras, etc.) ou estruturas (pontes, edifícios, etc.).

As principais vantagens das estruturas metálicas aquando da utilização do aço são [10]:

- Alta resistência do material nos diversos estados de tensão (tração, compressão, flexão, etc.), permitindo aos elementos das estruturas suportarem grandes esforços apesar da área relativamente pequena das suas secções;
- Os elementos de aço oferecem uma grande margem de segurança no trabalho, o que se deve ao facto de o material ser único e homogêneo, com limite de escoamento, rutura e módulo de elasticidade bem definidos;
- Os elementos de aço são fabricados em oficinas, com uma montagem bem mecanizada, permitindo com isso diminuir o prazo final de construção;
- Os elementos de aço podem ser desmontados e substituídos com facilidade, o que permite reforçar ou substituir facilmente diversos elementos da estrutura;
- Possibilidade de reaproveitamento do material que não seja mais necessário à construção.

As propriedades mecânicas do aço variam bastante devido aos diferentes materiais incorporados na sua liga. Por exemplo, para níveis de carbono mais altos, tanto a resistência do aço quanto a sua fragilidade aumentam e a sua resistência à tração diminui [10].

De uma forma geral, conclui-se que a grande gama de aplicações dos aços deve-se ao seu baixo custo de obtenção, associado à grande versatilidade de propriedades que se pode obter a partir de pequenas mudanças na sua composição química, tratamentos

térmicos e/ou no processamento, principalmente da elevada ductilidade aliada à grande tenacidade e elevada dureza [13].

O alumínio, ou mais precisamente as ligas de alumínio, é outro dos materiais também bastante utilizados em estruturas metálicas. O alumínio puro é um material com propriedades mecânicas inadequadas para uso estrutural. Para melhorar estas propriedades adiciona-se ao alumínio outros materiais, constituindo as ligas estruturais de alumínio. As ligas estruturais de alumínio dividem-se entre ligas tratáveis termicamente e ligas não tratáveis termicamente. Características como a leveza, elevada resistência mecânica e à corrosão colocam as estruturas de alumínio como vantajosas em relação às estruturas de aço em muitas situações [14]. O alumínio é um metal que apresenta vasta gama de aplicação pois apresenta elevada resistência mecânica e à corrosão, possuindo excelente aspecto estético e a sua densidade corresponde a um terço da densidade do aço. A liga de alumínio é muito utilizada em peças que necessitem ser maquinadas, devido ao facto de se tratar de um metal macio ou em situações que seja necessário utilizar uma espessura elevada em determinado componente. Este material é também muito utilizado a nível estrutural na construção dos equipamentos [11].

Segundo ABDO (1993), as estruturas de alumínio, em comparação com as estruturas de aço, apresentam reduções no peso de 40% a 70%. Desta forma, admitindo-se estruturas mais leves e com custos de manutenção mais baixos, as estruturas de alumínio podem, em certos casos, apresentar custos globais inferiores aos das estruturas de aço correspondentes [13]. A economia associada ao custo de manutenção para a qual o alumínio apresenta vantagens em função de sua grande resistência à corrosão, faz deste um material adequado para ambientes corrosivos.

O alumínio apresenta baixo módulo de elasticidade, se comparado com o aço, correspondendo a um terço do valor do aço. Este fator faz com que as estruturas em alumínio apresentem uma satisfatória resposta sob o efeito de tensões oriundas de impactos, deformações e ajustes. Em contrapartida, o baixo módulo de elasticidade determina a necessidade de uma cuidadosa avaliação da rigidez dos elementos e da estrutura globalmente.

O coeficiente de dilatação térmica do alumínio corresponde ao dobro do valor para o aço, no entanto, em função do baixo módulo de elasticidade, as tensões provenientes das variações de temperatura em geral não alcançam valores significativos. Outra vantagem fundamental dos elementos estruturais em alumínio está no processo de fabricação de perfis através do processo de extrusão. Este processo permite a fabricação de perfis com diversas seções transversais, oferecendo facilidade de montagem, maior eficiência estrutural (pela melhor distribuição de massa) e melhorias de aparência estética. Para o projetista, este processo de fabricação de perfis permite maior liberdade para o dimensionamento, com a utilização de um maior número possível de seções transversais [14].

De uma forma bastante simplista, conclui-se que as principais vantagens da utilização de elementos estruturais em alumínio são o facto de este ser um material três vezes mais leve que o aço, apresentar elevada resistência a corrosão. No entanto possui a

desvantagem de apresentar um módulo de elasticidade três vezes menor que o do aço [14].

### 2.1.3 Métodos de união entre componentes

Quando é necessária a ligação de peças e/ou subprodutos, é necessário ponderar qual o processo mais indicado para o efeito, tendo em atenção fatores tão importantes quanto o(s) material(ais) a ligar, as solicitações a que o conjunto vai estar sujeito e a resistência requerida, a quantidade a ligar, o nível de manutenção desejado e a facilidade ou não com que esta pode ser realizada, problemas relacionados com concentração de tensões, problemas com deformações devidas a tensões de origem térmica, problemas de acesso, entre muitos outros [15].

Atendendo aos fatores anteriormente descritos é possível optar pelos seguintes tipos de união:

- Uniões desmontáveis: os elementos de fixação podem ser colocados ou retirados do conjunto sem causar qualquer dano às peças que foram unidas;
- Uniões permanentes: os elementos de fixação, uma vez instalados, não podem ser retirados sem que fiquem inutilizados.

As ligações em estruturas metálicas são normalmente realizadas por meio de soldaduras, adesivos, parafusos, pinos e cavilhas, rebites e chavetas.

#### **Ligações Soldadas**

As ligações soldadas são ligações duradouras, pois envolvem geralmente a participação íntima dos materiais ligados na união. A soldadura é um processo metalúrgico complexo, uma vez que se trata de um método de junção de peças metálicas através do aquecimento a temperaturas muito elevadas, normalmente acima do ponto de fusão, proporcionando a continuidade da matéria entre as peças a unir, sem degradação das propriedades físicas das mesmas (o metal de base não é afetado) [15].

A soldadura por fusão é um dos processos mais seguros (quando devidamente realizado) e mais comumente utilizado [15].

As principais vantagens das ligações soldadas são [15]:

- Trata-se de um dos processos de junção de peças metálicas com uma melhor relação custo-benefício;
- Permite a ligação de uma grande gama de espessuras, desde algumas décimas de milímetro, até algumas dezenas de centímetros;
- São extremamente versáteis, podendo ser aplicadas a uma variada gama de materiais, forma e dimensões;

Na Figura 8 pode-se observar alguns dos muitos tipos de juntas que poderão ser considerados em soldaduras.

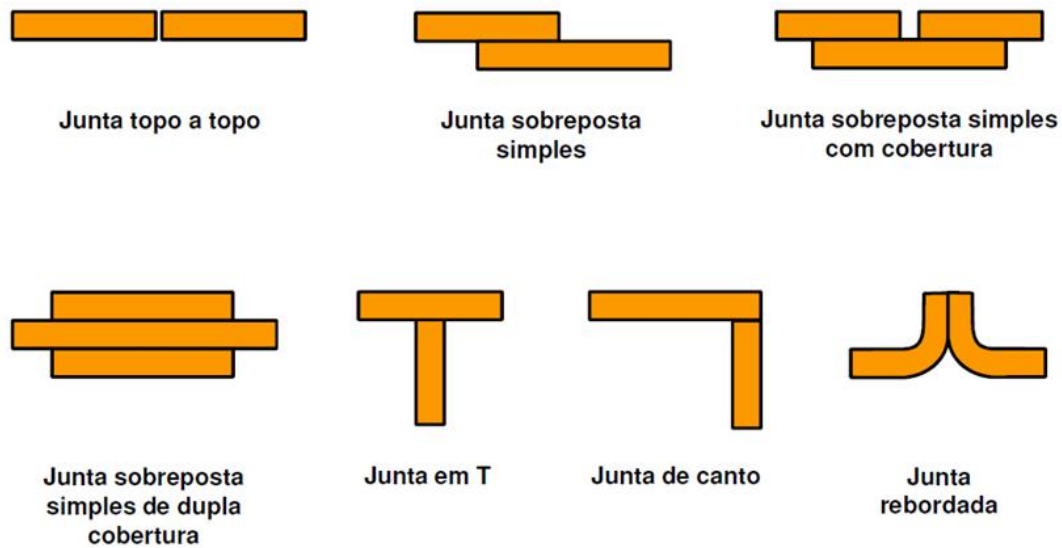


Figura 8 - Tipos de juntas de soldadura [16]

Existem diferentes tipos de soldadura compatíveis com o aço, dentro deles é possível destacar os seguintes processos, Figura 9:

- Eléctrodo revestido;
- Arco submerso;
- MIG-MAG;
- Feixe de electrões;
- Soldadura por fricção;
- Eléctrodo tubular (fio fluxado);
- TIG;
- Soldadura por Electroescória;
- Soldadura por Resistência (Pontos);
- Soldadura por Oxigás;
- Brasagem;
- Soldadura por difusão.

### Ligações Adesivas

As ligações adesivas consistem na união de dois corpos, geralmente conhecidos por substratos ou aderentes, através de um adesivo.

Este tipo de ligação apresenta um papel ativo em engenharia nas ligações entre materiais, dos quais se destacam os materiais compósitos, por não quebrarem a continuidade das fibras de reforço, como acontece nas ligações aparafusadas. Este tipo de ligação também tem vindo a ser cada vez mais explorado ao nível da engenharia, devido ao aumento do conhecimento que permite obter soluções mais robustas, leves e resistentes ao nível dos adesivos e configurações de junta.

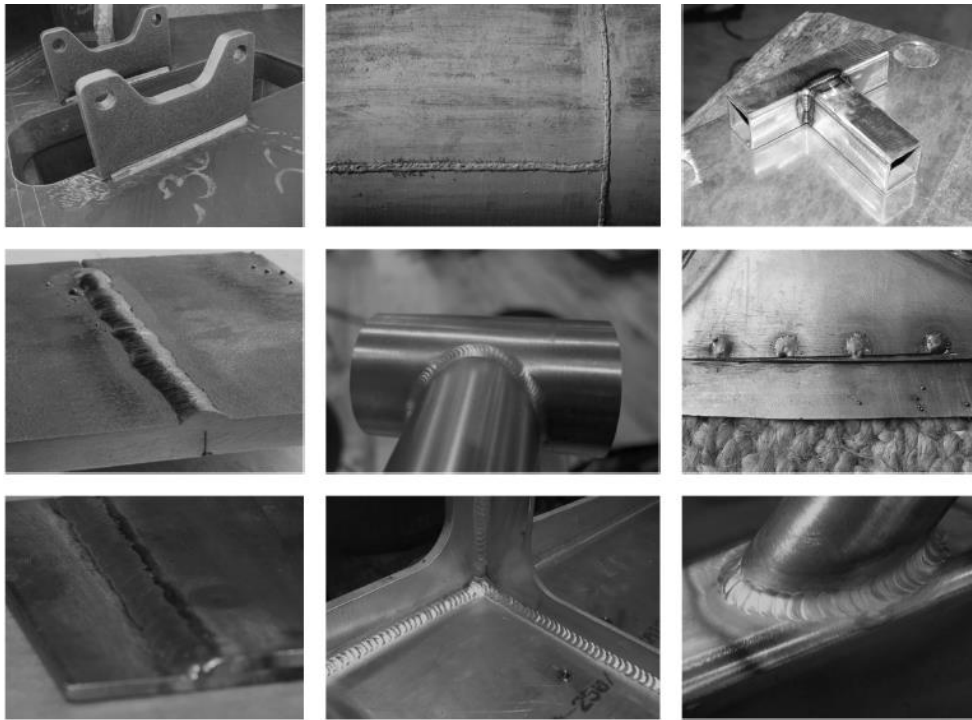


Figura 9 - Exemplos reais de vários tipos de soldadura [16]

Quanto a adesivo, este pode ser definido como um material polimérico capaz de promover a união entre dois substratos e com capacidade de resistir à sua separação pela ação combinada de diferentes forças: forças adesivas (adesão) e forças coesivas (coesão).

No que toca às ligações adesivas podem-se destacar as seguintes vantagens e desvantagens [17]:

Vantagens:

- Distribuição mais uniforme das tensões sobre o total da área colada;
- Redução ou eliminação de concentração de tensões;
- Melhoria da resistência à fadiga;
- Elevada capacidade de amortecimento de vibrações;
- Incremento da rigidez e também do isolamento acústico;
- Permitem ligar e vedar simultaneamente;
- Redução do peso da estrutura;
- Ligação de materiais diferentes;
- Capacidade de ligar substratos sensíveis ao choque;
- Capacidade de ligar metais suscetíveis de desenvolver corrosão galvânica;
- Globalmente mais económico, fácil de automatizar;
- Capacidade para unir formas complexas e superfícies irregulares;
- Permitem obter contornos suaves (especto estético ou aerodinâmico);
- Elevada qualidade geométrica;
- Não provoca distorções.

**Desvantagens:**

- Necessidade de um tratamento das superfícies a ligar;
- O processo de endurecimento pode ser bastante lento;
- Resistência e durabilidade fortemente dependentes das condições de processamento;
- Durabilidade limitada em condições extremas de serviço;
- Difícil inspeção para verificação da qualidade da ligação;
- Podem ser mais caras que a fixação mecânica;
- Desmontagem impossível ou difícil;
- Flamabilidade e toxicidade de alguns adesivos;
- Tempo de vida limitado de alguns adesivos;
- Fraca resistência à propagação de fissuras de alguns adesivos;
- Fraca resistência ao arrancamento.

Na Figura 10 poderão ser observados alguns dos muitos tipos de juntas que poderão ser considerados em ligações adesivas.

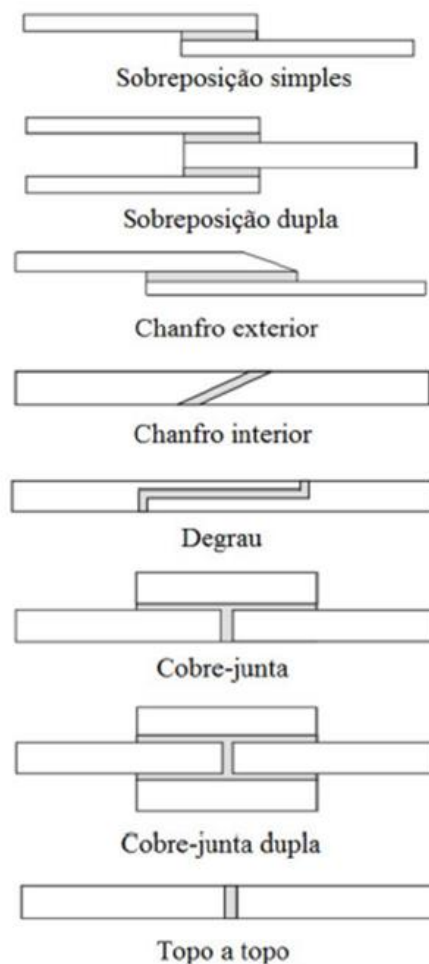


Figura 10 - Tipos de juntas adesivas [18]

## Ligações por Parafusos

Juntas aparafusadas são muito aplicadas em junções mecânicas com o objetivo de unir e/ou fixar peças, é uma solução de projeto responsável por quase todos os sistemas que requerem uma posterior desmontagem. Uma junta é constituída de três elementos: o parafuso com rosca externa; a contra peça que é quem sofrerá toda a resultante da força aplicada no momento do aperto e que não pode sofrer nenhuma deformação plástica; e por fim a porca com rosca interna. A Figura 11 exemplifica os tipos de solicitações a que estão sujeitas as juntas aparafusadas [19].

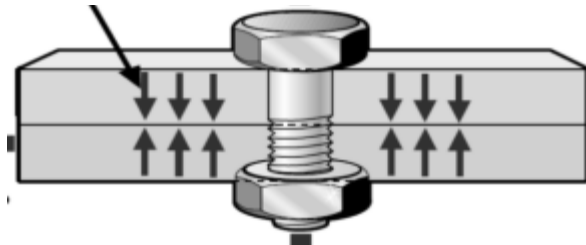


Figura 11 - Representação das forças que atuam sobre uma junta aparafusada [19]

No que toca às ligações por parafusos podem-se destacar as seguintes vantagens e desvantagens:

### Vantagens:

- Fácil montagem e desmontagem das peças a unir;
- Podem unir-se diferentes tipos de material;
- Não modifica as propriedades mecânicas das peças a unir;
- Baixo custo;
- Elevada padronização.

### Desvantagens:

- Os furos reduzem a resistência das peças a unir;
- Possibilidade de ocorrer desaperto nos parafusos de fixação;
- Elevado desgaste nos flancos da rosca em parafusos de movimento;
- Baixo rendimento de transmissão nos parafusos de movimento;
- Não é uma solução tão hermética como as juntas soldadas.

## Pinos e Cavilhas

Os pinos e cavilhas têm a finalidade de alinhar ou fixar os elementos de máquinas, permitindo uniões mecânicas, ou seja, uniões em que se juntam duas ou mais peças, estabelecendo, assim, conexão entre elas [20].

Os pinos são usados em uniões resistentes a vibrações e que se articulam entre si, Figura 12, já as cavilhas são utilizadas em conjuntos sem articulações, Figura 13 [20].

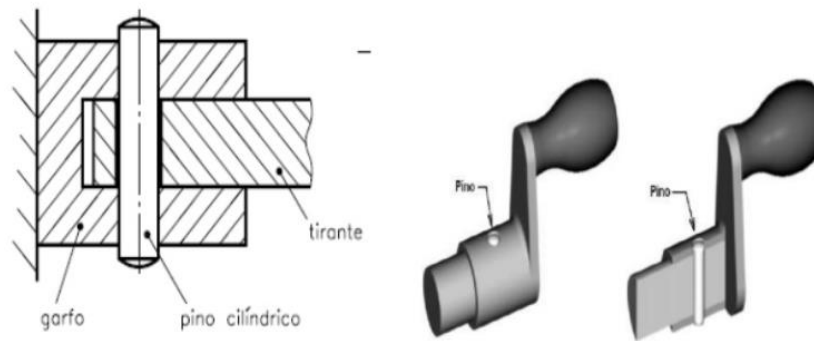


Figura 12 - Exemplo de aplicação de um pino [20]

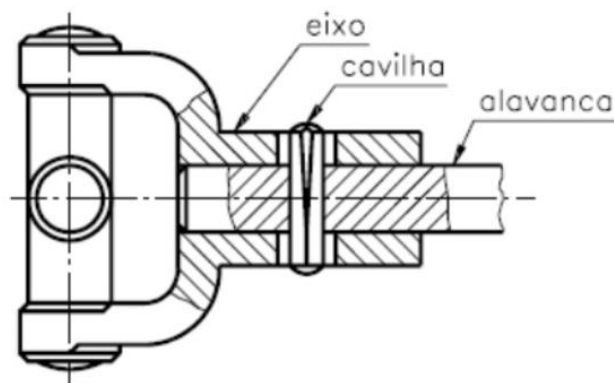


Figura 13 - Exemplo de aplicação de uma cavilha [20]

No projeto de ferramentas/máquinas de precisão quando se pretende garantir uma determinada posição relativa entre os componentes, executa-se um furo de precisão e coloca-se cavilhas de modo a restringir o movimento dos componentes. Em certas circunstâncias o aperto dos parafusos não é feito com as condições recomendadas, podem ceder caso se utilize uma cavilha a atravessar as peças a unir, garantindo desta forma a estabilidade.

### Rebites

Os rebites são peças fabricadas de aço, alumínio, cobre e latão. Unem rigidamente peças ou chapas metálicas em estruturas metálicas de reservatórios, caldeiras, máquinas, navios, aviões e veículos de transporte [21]. Existem diferentes tipos de rebitagem, sendo eles [21]:

- ✓ Rebitagem de recobrimento:

Na rebitagem de recobrimento, as chapas são apenas sobrepostas e rebitadas. Este tipo destina-se somente a suportar esforços e é empregue na fabricação de vigas e de estruturas metálicas.

✓ Rebitagem de recobrimento simples:

É destinada a suportar esforços e permitir fecho ou vedação. É empregada na construção de caldeiras a vapor e recipientes de ar comprimido. Nessa rebitagem, as chapas justapõem-se e sobre elas estende-se uma outra chapa para cobri-las.

✓ Rebitagem de recobrimento duplo:

Usada unicamente para uma perfeita vedação. É utilizada na construção de chaminés e recipientes de gás para iluminação. As chapas são justapostas e envolvidas por duas outras chapas que as recobrem dos dois lados.

As principais vantagens e desvantagens da utilização de rebites como método de união entre componentes são [21]:

- As junções rebitadas são mais simples e baratas que as soldadas;
- Possibilitam um controle de qualidade mais simples que as soldadas;
- As junções rebitadas são mais pesadas e o seu campo de aplicação não é tão vasto quanto o das junções por solda;
- Acarretam uma redução da resistência do material da ordem de 13 a 42%, devido à redução de área pela furação para os rebites, contra uma redução de 10 a 40% para as junções soldadas.

### **Chavetas**

As chavetas têm a função de unir dois elementos mecânicos a fim de transmitir o momento torsor, por exemplo, a união de eixo com acoplamentos, com polias e com engrenagens. A chaveta interpõe-se numa cavidade de um eixo e de uma peça, normalmente a forma é retangular ou semicircular. Na Figura 14, poderão ser observados alguns dos tipos de chavetas mais utilizados.

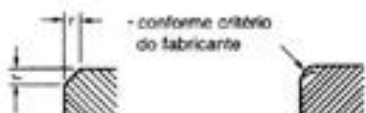
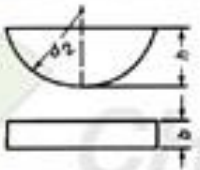
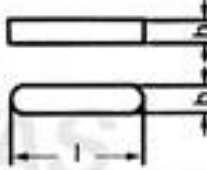
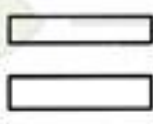

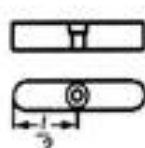
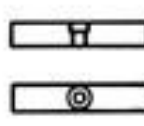
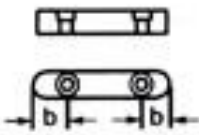
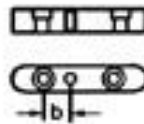
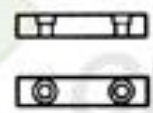
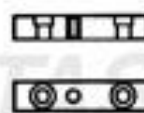
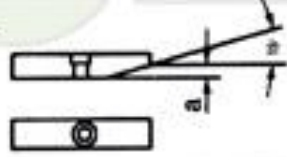
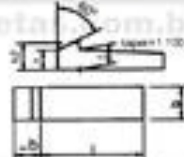
<p>Canto com chanfro      Canto redondo</p> 	<h2>CHAVETAS</h2> <h3>CONFORME NORMAS</h3> <h3>OU SOB DESENHO</h3>
<p>DIN 6888 e SAE J502</p> 	<p>DIN 6885 Tipo A NBR 6345 Tipo B DIN 6885 Tipo AS 1 Furo e Rosca - desde 8x7</p> 
<p>DIN 6885 Tipo B DIN 6880 e NBR 6375 Tipo A DIN 6885 tipo BS 1 Furo e Rosca - desde 8x7</p> 	<p>DIN 6885 Tipo AB NBR 6375 Tipo C</p> 
<p>DIN 6885 Tipo C desde 8x7</p> 	<p>DIN 6885 Tipo D desde 8x7</p> 
<p>DIN 6885 Tipo E 8x7 e 10x8</p> 	<p>DIN 6885 Tipo E o S desde 12x8</p> 
<p>DIN 6885 Tipo F o S 8x7 e 10x8</p> 	<p>DIN 6885 Tipo F o S desde 12x8</p> 
<p>DIN 6885 Tipo G 1 furo Tipo H 2 furos</p> 	<p>DIN 6887 c/ cabeça DIN 6886 s/ cabeça</p> 

Figura 14 - Diferentes tipos de Chavetas [22]

## 2.2 Manuseamento de componentes em fábrica

Numa época de globalização, como a que atualmente se vive, as empresas preocupam-se cada vez mais em atender às expectativas dos seus clientes. Com isto, as pequenas, médias e grandes empresas buscam uma boa gestão logística, bem como de sistemas de armazenamento eficientes. O sistema de armazenamento é uma etapa importante para a logística de qualquer empresa. Montar um bom sistema para armazenamento é estabelecer as medidas para a correta utilização do local de armazenamento, trazendo

menores custos e garantindo capital para investimento em outros setores. Um bom sistema de armazenamento é um projeto que contempla todas as etapas de operações de recepção, armazenamento e expedição de qualquer tipo de produto ou matéria-prima. Assim, é necessário planejamento, coordenação, controle e todo e qualquer tipo de operação voltada para a carga, mantendo-a em segurança até à sua utilização. A montagem do sistema de armazenamento exige maximização de espaço, garantindo o correto escoamento das cargas, devendo atender adequadas condições de stock e possibilitando a manutenção da qualidade dos itens armazenados [23].

Os sistemas de armazenamento têm passado por profundas transformações nos últimos anos. Essas mudanças refletem-se na adoção de novos sistemas de informação aplicados à gestão do armazenamento, em sistemas automáticos de movimentação e separação de produtos e até mesmo na revisão do conceito do armazém como uma instalação com a principal finalidade de depositar produtos.

Um armazém automatizado é um espaço físico onde se depositam materiais, automaticamente, como o representado na Figura 15. A automação de armazéns traz uma infinidade de benefícios para o distribuidor, especialmente relacionados ao aumento da produtividade e à segurança do trabalho. A automação ajuda a eliminar riscos e a reduzir o tempo das tarefas que possam expor os funcionários a lesões. No entanto, não basta selecionar um botão. A automação exige uma mudança de cultura organizacional e constante treinamento. No manuseamento de materiais em ambiente de fábrica destaca-se o *Kanban* que é um método de fabricação orientado para a produção em série, permitindo um controle detalhado da produção com informações sobre quando, quanto e o que produzir. O método *Kanban* foi inicialmente aplicado em empresas japonesas de fabricação em série e está estreitamente ligado ao conceito de “*just in time*”. A empresa japonesa de automóveis Toyota foi a responsável pela introdução desse método devido a necessidade de manter um eficaz funcionamento do sistema de produção em série [24], [25].



Figura 15 - Armazém automatizado [26]

O *Kanban* só é aplicável em sistemas de produção discreta e repetitiva, ou seja, de produtos normalizados e na produção de produtos cuja procura seja relativamente estável, sendo condição essencial que o processo de produção esteja organizado em fluxo. O principal objetivo do processo de movimentação de material é reduzir os custos operacionais na concepção do produto final e no seu armazenamento. A redução de custos é o principal objetivo da utilização deste método, contudo, é necessário ter em conta a eficiência e segurança na movimentação dos materiais; o transporte dos materiais em tempo útil, na quantidade exata, para o local desejado; a otimização, a capacidade espacial fornecida pela empresa; a redução dos estragos nos materiais durante a sua movimentação; bem como a minimização do risco de acidente na movimentação manual de materiais [25].

Os sistemas robotizados revolucionaram a indústria, substituindo trabalhos pesados, monótonos e desagradáveis por trabalhos de supervisão, de programação e manutenção. Em contrapartida mantém-se outros sistemas de manuseamento de materiais que têm a intervenção humana. A robótica nos dias de hoje é indispensável para a indústria, pois consegue simplificar o manuseio dos materiais adotando sequências lógicas de manuseio. A robótica está inserida na indústria automóvel, aeroespacial, de plástico, entre outras, vindo substituir tarefas humanas repetitivas. Em armazéns, a robótica é utilizada na separação e preparação de cargas. Nos dias de hoje, utilizam-se armazéns mecanizados para executar funções específicas. A possibilidade de integrar inteligência artificial, além das vantagens de velocidade, precisão e confiabilidade faz da robótica uma alternativa cativante para aos métodos de manuseamento de materiais tradicionais [27].

### 2.2.1 Sistemas robotizados

A robótica é um ramo da tecnologia que reúne mecânica, eletricidade, eletrônica e computação, que hoje em dia trata de sistemas compostos por máquinas e partes mecânicas automatizadas e geridas por circuitos integrados, tornando sistemas mecânicos motorizados, controlados manualmente ou automaticamente por circuitos elétricos [28].

Os sistemas robotizados são uma forma de automatizar os aplicativos de fabricação, reduzindo a quantidade de mão-de-obra, os custos de produção e o tempo associado ao processo. Na atualidade, estes sistemas são usados em quase todas as indústrias transformadoras [29].

Existem três tipos de sistemas robóticos o sistema robótico de manipulação, o sistema robotizado móvel e o sistema robótico de aquisição e controle de dados [30].

O sistema robótico de manipulação é o mais usado na indústria de fabricação. Estes sistemas são constituídos por muitos dos braços do robô com 4-6 eixos e diferentes graus de liberdade. Eles podem executar várias funções diferentes, incluindo soldagem, manuseio de materiais e aplicações de remoção de materiais [30].

O sistema robótico móvel é um pouco diferente. Este sistema consiste em uma plataforma automática que move itens de um lugar para outro. Embora esses sistemas de robôs sejam usados, na sua grande maioria na fabricação de ferramentas e peças sobressalentes, eles também são usados na indústria agrícola para o transporte de produtos. São usados por várias indústrias diferentes devido à sua capacidade de nadar e voar, além de se mover ao longo do solo[30].

Os sistemas robóticos de aquisição e controle de dados são usados para recolher, processar e transmitir dados para uma variedade de sinais. Eles também são usados em *software* para engenharia e negócios. Muitos dos sistemas robotizados móveis podem usar sinais desses sistemas [30].

Os robôs têm vindo a ser utilizados numa gama muito variada de aplicações industriais. As primeiras aplicações destinavam-se a automatizar operações de descarga de peças metálicas acabadas de vazar; as más condições do ambiente de trabalho para um operário (presença de fumos e calor intenso), a relativa simplicidade da operação e necessidade de flexibilidade levaram à escolha de uma solução robotizada. À medida que as capacidades dos sistemas robóticos se foram alargando e sofisticando, as aplicações diversificaram-se da simples operação de transporte a operações de montagem e de processos (soldadura, pintura, deposição de colas e vedantes, etc.) [29]. As configurações de robôs utilizadas mais comumente na automação industrial incluem [29]:

#### **Estrutura Articulada ou Revoluta**

Utilização exclusiva de eixos de movimento rotativo:

- Programação mais complexa;
- Muito boa manobrabilidade - habilidade de contornar obstáculos;

- Elevada velocidade de operação;
- Grande volume de trabalho para pequena área de montagem - integrável em locais de trabalho restritos;
- Fácil acesso ao espaço frontal, lateral, superior e retaguarda.

Na Figura 16 é possível encontrar os diferentes tipos de movimentos de uma estrutura articulada, enquanto na Figura 17, demonstra-se um exemplo real desta mesma estrutura.

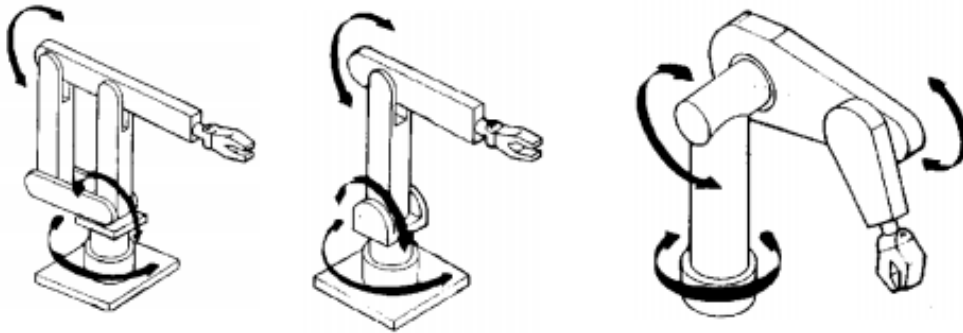


Figura 16 – Esquema de movimentação da Estrutura Articulada [29]



Figura 17 - Estrutura Articulada ou Revoluta [29]

## Estrutura Cartesiana

Movimentos lineares em sistema de eixos cartesianos:

- Estrutura de tipo modular facilmente expansível;
- Controlo de movimentos e programação simples;
- Estrutura inerentemente rígida;
- Capacidade de carga elevada;
- Precisão elevada;
- Volume de trabalho grande.

Na Figura 18 é possível encontrar os diferentes tipos de movimentos de uma estrutura cartesiana, enquanto na Figura 19, demonstra-se um exemplo real desta mesma estrutura.

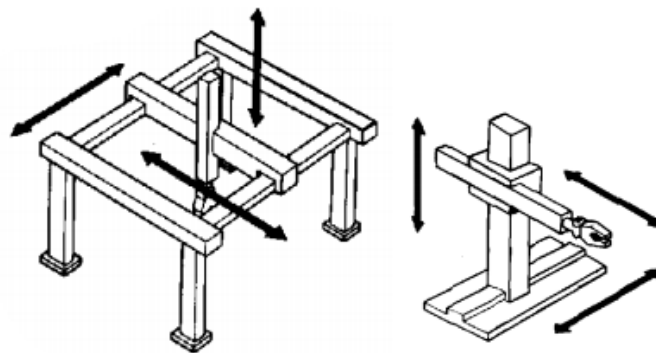


Figura 18 - Esquema de movimentação da Estrutura Cartesiana [29]



Figura 19 - Estrutura Cartesiana [29]

## Estrutura Cilíndrica

Combinação de dois eixos ortogonais de movimento linear com um eixo de movimento rotativo:

- Sistema de controlo e programação simples;
- Boa precisão;
- Possível operação a velocidades elevadas;
- Boa acessibilidade frontal e lateral;
- Estrutura simples oferecendo elevada fiabilidade.

Na Figura 20 é possível encontrar os diferentes tipos de movimentos de uma estrutura cilíndrica, enquanto na Figura 21, demonstra-se um exemplo real desta mesma estrutura.

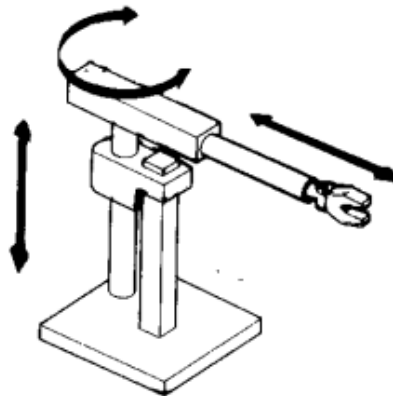


Figura 20 – Esquema de movimentação da Estrutura Cilíndrica [29]



Figura 21 - Estrutura Cilíndrica [29]

## Estrutura Polar

Combina dois movimentos de rotação com um movimento linear, em sistema de coordenadas polar:

- Sistema de controlo e programação simples;
- Grande espaço de trabalho;
- Operação a elevada velocidade;
- Elevada capacidade de carga;
- Precisão e repetibilidade elevadas.

Na Figura 22 é possível encontrar os diferentes tipos de movimentos de uma estrutura polar, enquanto na Figura 23, demonstra-se um exemplo real desta mesma estrutura.

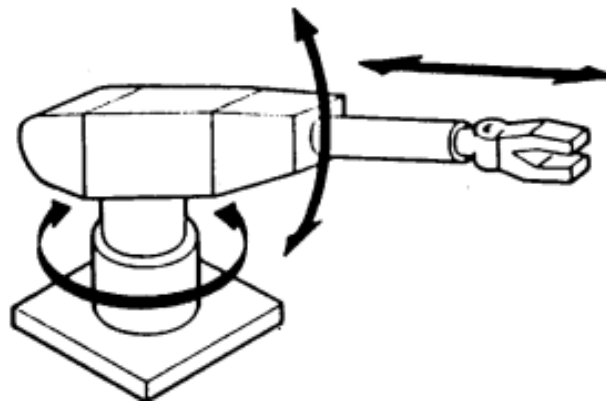


Figura 22 - Esquema de movimentação da Estrutura Polar [29]



Figura 23 - Estrutura Polar [29]

## Estrutura "SCARA" (*Selective compliance assembly arm*)

Combinação de eixos de movimento rotativo num plano horizontal com um movimento linear vertical:

- Estrutura vocacionada para operações de montagem;

- Estrutura rígida na direção vertical;
- Elevada manobrabilidade;
- Elevadas velocidade de trabalho;
- Precisão e repetibilidade elevadas;
- Elevada velocidade de trabalho.

Na Figura 24 é possível encontrar os diferentes tipos de movimentos de uma estrutura SCARA, enquanto na Figura 25, demonstra-se um exemplo real desta mesma estrutura.

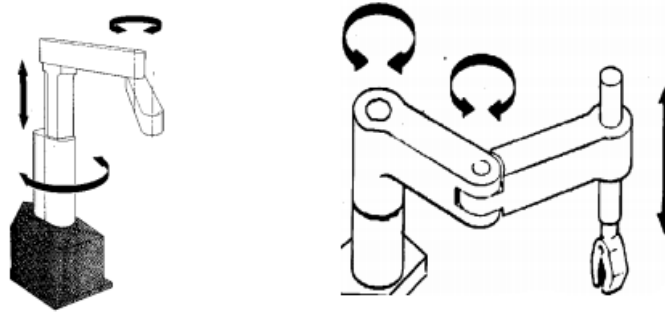


Figura 24 – Esquema de movimentação da Estrutura “SCARA” [29]



Figura 25 - Estrutura “SCARA” [29]

### Estrutura “Spine”

Caracterizada pelo aspeto de um só braço totalmente compacto e flexível, envolto numa manga protetora.

⇒ Processo de atuação:

- Utilização de uma série de articulações universais motorizadas que podem ser combinadas de uma forma modular.
- Utilização de um tipo especial de rótulas interligadas por uns cabos de aço tensionados.

- Extrema manobrabilidade;
- Extrema compacidade;
- Possibilidade de contornar facilmente obstáculos;
- Ocupação de pequena área de montagem.

Na Figura 26 é possível encontrar os diferentes tipos de movimentos de uma estrutura Spine, enquanto na Figura 27, demonstra-se um exemplo real desta mesma estrutura.

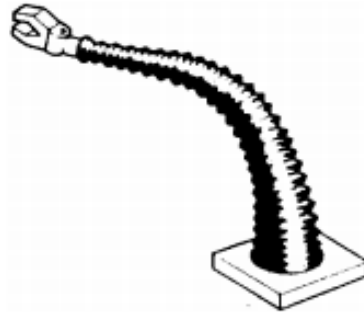


Figura 26 - Esquema de movimentação da Estrutura "Spine" [29]



Figura 27 - Estrutura "Spine" [29]

### **Estrutura Pendular**

Combinação de dois movimentos rotativos perpendiculares com movimento linear:

- Elevada capacidade de carga;
- Elevada velocidade de operação;
- Geometria simples.

Na Figura 28 é possível encontrar os diferentes tipos de movimentos de uma estrutura Pendular.

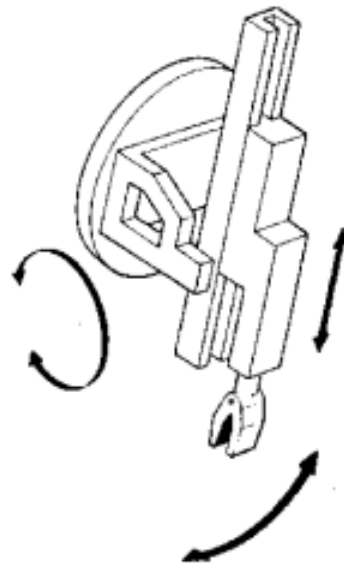


Figura 28 - Esquema de movimentação da Estrutura Pendular [29]

Os robôs industriais possuem diferentes níveis de autonomia. Alguns robôs são programados para realizarem ações repetidamente sem nenhuma variação, com um nível elevado de precisão. Estas ações são determinadas por rotinas pré-programadas que especificam a direção, aceleração, velocidade e distância de uma série de movimentos coordenados. Outros são mais flexíveis em relação à orientação do objeto em que trabalham ou com o trabalho que realizam sobre o objeto, o qual pode eventualmente ser identificado pelo robô. A inteligência artificial e suas variações, possui uma importância crescente nos robôs industriais modernos [31].

Ao analisar a utilização de robôs em processos industriais, encontram-se as principais vantagens [31]:

- **Reduzir custos operacionais**

A utilização de robôs permite a redução de custos diretos e indiretos, fazendo grande diferença na competitividade da empresa no mercado. A redução de energia é um exemplo. Os robôs também podem eliminar custos desnecessários com trabalhos manuais, garantindo bons níveis de saúde e segurança no trabalho.

- **Melhorar a produtividade e qualidade**

Através dos robôs é possível produzir com maior firmeza produtos com alta qualidade de acabamento. As capacidades inerentes ao robô, como precisão e repetibilidade, também são diferenciais que permitem elevada qualidade de acabamento para todas as peças produzidas.

- **Aprimorar a qualidade de trabalho**

Com os robôs, as condições de trabalho dos funcionários são melhoradas. Não haverá mais problemas com poeira, calor e ambiente perigoso ou insalubre. Além disso, os

funcionários podem ser capacitados, tornando-se programadores do equipamento. A aplicação de tecnologia robotizada vem-se reinventando para acompanhar a necessidade dos clientes.

- **Aumentar a eficiência dos níveis de produção**

Os robôs podem continuar a trabalhar durante a noite e durante semanas com o mínimo de supervisão necessária. Isso torna possível aumentar os níveis de produção e acompanhar o tempo de pedido de cada cliente da empresa. A solução robótica permite menos perdas na produção, aumenta a sua eficiência e melhora no ambiente de trabalho. Os robôs podem também ser programados para manusear novos produtos desligados, assegurando que serão rapidamente introduzidos na produção. A velocidade é outro aspecto cada vez mais relevante no mercado, já que as empresas estão cada vez mais sob pressão em relação aos concorrentes que apresentam baixo custo, à legislação ambiental mais rigorosa e à necessidade de diminuir os índices de falhas dentro das indústrias.

- **Aumentar a flexibilidade na linha de produção**

Uma vez que o processo requerido é programado no controlador do robô, pode-se facilmente alternar de um item para outro, maximizando o seu investimento através da utilização do mesmo robô para uma grande variedade de produtos.

- **Segurança e qualidade de vida dos funcionários**

Os robôs podem rapidamente resolver atividades de recetibilidades difíceis ou tarefas que ameaçam a saúde dos colaboradores. Utilizando robôs, é possível diminuir a incidência de acidentes causados por manuseio de máquinas ou ferramentas, além de outros processos perigosos. Eles também podem auxiliar na eliminação de afastamentos ou doenças como lesões por esforço repetitivo.

- **Reduzir custos**

Ao utilizar robôs, é possível reduzir os custos de consumo e de desperdício de materiais. Manuseando rapidamente os produtos durante o processo, fica mais fácil estimar as metas de produção e garantir um serviço de entrega rápido e eficiente.

### 2.2.2 Sistemas aéreos

As máquinas de transporte de carga são empregadas para mover cargas em estabelecimentos ou áreas de armazenamento e recarga. São fundamentais para que as operações sejam eficientes, sendo atualmente de importante valor para a logística de uma empresa. Com o avanço da tecnologia, os equipamentos devem ser projetados visando principalmente a redução do tempo de execução das tarefas e minimização dos custos [32].

Com a crescente busca pelo aumento da produtividade em movimentação de materiais, foi necessário o desenvolvimento de uma grande quantidade de equipamentos para essa finalidade. Existe certa quantidade de equipamentos de

transporte de cargas disponíveis no mercado e cada um atende finalidades específicas [33].

Equipamentos aéreos de elevação e transferência são equipamentos que estão destinados a mover cargas variadas para qualquer ponto dentro de uma área fixa. Estes tipos de equipamentos, em ambiente de fábrica, estão “acima” da planta da fábrica.

A escolha do sistema aéreo depende da aplicação. O tamanho e peso do que for transportado e as necessidades de eficiência devem estabelecer a tecnologia real de movimentação de materiais.

Em relação a outros sistemas, os sistemas aéreos ao nível da fábrica são movimentados pelo ar. As características mais importantes dos sistemas aéreos em relação aos outros são a sua capacidade de deslocação sem impedimento das máquinas e por cima da fábrica com maior eficiência e rapidez. A conceção destes equipamentos baseia-se na utilização de componentes modulares *standard* de fabricação em série (diferenciais, motorreductores, rodas, instalação elétrica, etc.), em conjunto com estruturas metálicas [33].

Os tipos mais comuns de equipamentos de elevação aéreo são: as pontes rolantes, os pórticos, guindaste e as travessas de carga.

- **Pontes Rolantes:**

As pontes rolantes são equipamentos de elevação característicos de elevação de carga e transporte. São formadas por uma estrutura horizontal em ponte que permite o movimento transversal de um guincho, simultâneo ou não com a translação da própria. Estes equipamentos apresentam uma grande variedade de aplicações, através das suas diversas tipologias: apoiadas sobre carril ou suspensas de vigas; com uma ou duas vigas resistentes – monoviga ou biviga, respetivamente. A(s) viga(s) resistente(s) poderão ser em perfil simples (laminado) ou em caixão (construção soldada) [33].

- ✓ **Monoviga:**

A capacidade deste tipo de ponte depende da capacidade do vão, pois podem suportar até cerca de 15.000 kg, sendo que as vigas principais podem ser constituídas de viga tipo “I” laminada ou viga tipo “caixão” soldada [34].

Apresenta como principais características a sua adaptabilidade, flexibilidade e a facilidade de adaptação ao local de instalação. Um exemplo de uma ponte rolante monoviga é o que se encontra na Figura 29 [34].



Figura 29 - Ponte Rolante Monoviga [35]

✓ Biviga:

Apresenta como vantagem o aproveitamento da altura, pois o gancho de carga pode ser elevado entre as duas vigas principais. Neste tipo de ponte rolante, a carga suportada pode ser de até 50.000 kg e vão até 30 m de comprimento, um exemplo de uma ponte rolante biviga é o que se encontra na Figura 30 [34].



Figura 30 - Ponte Rolante Biviga [35]

✓ Suspensa:

Este tipo de ponte geralmente utiliza o máximo de altura disponível, eliminando a necessidade de estrutura auxiliar no piso. O movimento ocorre na aba inferior da viga de rolamento que é montada diretamente na estrutura do prédio. Em relação à

capacidade de carga suportada, suportam 10.000 kg e vão até 2 m de comprimento. Um exemplo de uma ponte rolante suspensa é o que se encontra na Figura 31 [34].



Figura 31 - Ponte Rolante Suspensa [36]

- **Pórticos:**

Os pórticos são estruturas metálicas utilizadas para a movimentação aérea de cargas. Em geral, os pórticos permitem deslocamento de toda a estrutura como também o movimento do carro através dos trilhos na viga principal, permitindo bastante liberdade para a movimentação da carga [32].

Os pórticos possuem uma elevada gama de utilização, podendo ser utilizados como equipamentos de transporte, tanto interna como externamente. Muitas vezes são utilizados para substituir a ponte rolante quando a movimentação de carga exige um pequeno vão de trabalho, porém com um grande comprimento de deslocamento até o destino da carga [37].

Para além de terem a capacidade de atender as necessidades de movimentação aérea de carga, os pórticos também apresentam a vantagem de não comprometer a estrutura do edifício, dando ao proprietário da empresa a flexibilidade de mover o equipamento para instalações futuras [37].

Estes equipamentos de elevação são dotados de uma ou duas vigas elevadas (monoviga e biviga, respetivamente) e autossustentáveis sobre trilhos. O seu sistema de elevação é semelhante ao das pontes rolantes [37].

- ✓ **Monoviga:**

Este tipo de pórticos (Figura 32) são fabricados com uma viga única principal, podendo essa ser de vários formatos, entre as mais utilizadas, estão a viga caixão e perfil L (laminados) [37].

O pórtico possui a sua talha suspensa pelos flanges inferiores e as cabeceiras são fixadas sobre as colunas de sustentação do pórtico e nas extremidades da viga principal. Porém os componentes usados variam de acordo com as necessidades de cada operação [37].



Figura 32 - Pórtico Monoviga [38]

✓ Biviga:

Estes são desenhados seguindo o mesmo padrão de segurança das anteriores, mas com a diferença de serem compostas por duas vigas, onde a sua capacidade de elevação é bastante superior para cargas mais elevadas, um exemplo de uma pórtico biviga é o que se encontra na Figura 33 [37].



Figura 33 - Pórtico Biviga [35]

✓ Semi-Pórticos:

Como o próprio nome indica, estes possuem somente um lado com colunas e na sua outra extremidade a parte superior é sustentada por uma viga, geralmente este tipo de pórtico encontra-se apoiada na parte superior de um edifício ou armazém do mesmo modo de uma ponte rolante suspensa. Pode-se encontrar semi-pórticos monoviga ou biviga, Figura 34 e Figura 35, respetivamente [37].



Figura 34 - Semi-Pórtico Monoviga [39]

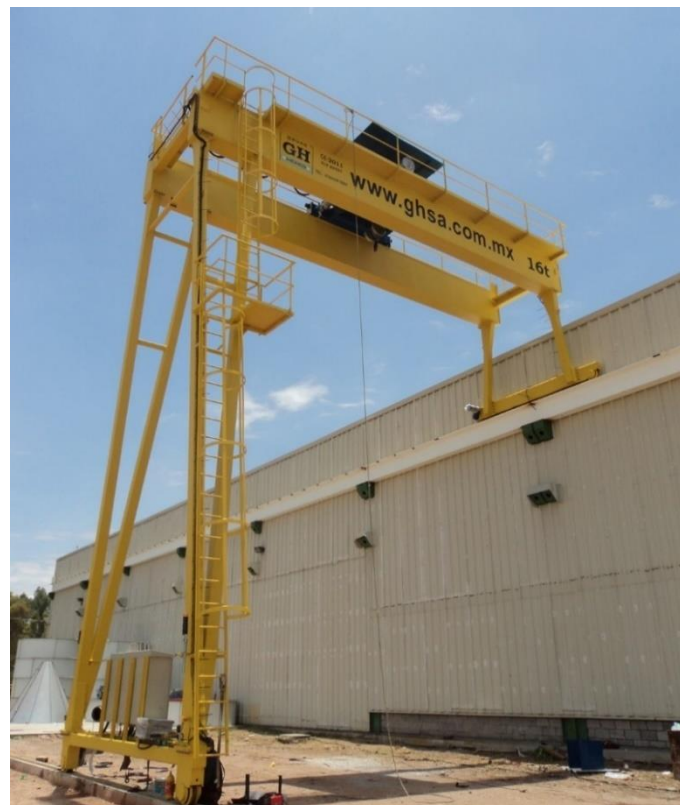


Figura 35 - Semi-Pórtico Biviga [36]

- **Guindaste:**

Os guindastes são equipamentos que possuem uma lança giratória e um sistema de levantamento de carga. Estes equipamentos são utilizados para a elevação e a movimentação de cargas e materiais pesados. São geralmente montados sobre um veículo e possuem uma lança conectada à base do veículo que se projeta para adiante deste. A lança possui vários movimentos, podendo formar diversos ângulos com relação a um plano horizontal, variando a sua inclinação. Isto permite que o guindaste levante cargas em diferentes posições sobre o solo. Outro movimento possível é o giro da lança, segundo um eixo vertical, com um raio de ação que se pode estender a 360 graus ao redor do guindaste. Um exemplo de um guindaste é o que se encontra na Figura 36 [34].

São comumente utilizados no transporte industrial para carregamento e descarregamento de cargas, na organização de materiais pesados e na construção civil durante o deslocamento de materiais [34].



Figura 36 - Guindaste montado sobre um veículo [40]

- **Travessas de carga:**

As travessas de carga são equipamentos utilizados para puxar os guinchos de matérias pesadas de um lado para outro da fábrica e a sua capacidade nominal de 10.000 kg permite um transporte mais rápido e mais seguro em termos aéreos. Estas ferramentas são bastante importantes para melhorar a eficiência do equipamento de elevação e aumentar a segurança no manuseamento de determinados materiais. Um exemplo de uma travessa de carga é o que se encontra na Figura 37 [33].



Figura 37 - Travessa de Carga [41]

### 2.2.3 Transportadores de rolos

Os transportadores de rolos, Figura 38, apresentam um funcionamento aparentemente simples, quando um conjunto de rolos é acionado, dando início a uma rotação em torno do seu eixo, o que inicia as atividades de movimentação de cargas variadas [42].



Figura 38- Transportador de Rolos [42]

Este tipo de transportadores suporta dimensões e pesos diversificados, conseguindo transportar produtos com pesos elevados, como paletes cheios, caixas e uma infinidade de mercadorias [42].

A construção de transportadores de rolos com características modulares permite a adaptação de todas as mercadorias movimentadas, garantindo maior agilidade e segurança no ambiente de trabalho.

### As principais vantagens dos transportadores de rolos [42]:

- Considerado um sistema económico, os transportadores de rolos apresentam fácil instalação e manutenção;
- Se respeitadas as manutenções periódicas, os transportadores de rolos possuem uma longa vida útil;
- Durante o funcionamento deste tipo de transportadores, o equipamento emite pouco ruído garantindo uma rotina de trabalho mais agradável e adequada;
- Por apresentar simples instalação os transportadores de rolo podem ser deslocados com rapidez, pouco ou nada interferindo na produtividade da empresa.

Existem dois tipos de transportadores de rolos, sendo eles:

- ✓ Transportadores de rolos acionados

Os transportadores de rolos acionados variam de largura e comprimento de acordo com o produto a ser transportado e conforme a necessidade do local que será instalado, ou seja, é possível que os transportadores de rolos acionados sejam fabricados especialmente para um projeto específico. Essa comodidade só é possível porque estes transportadores são produtos flexíveis e que variam conforme a aplicação. Entre as inúmeras atividades da indústria os transportadores de rolos acionados destacam-se por motivos como: sistema de controle preciso e padronizado; a transmissão do acionamento do sistema é feita por meio de correntes ou correias; a movimentação dos rolos pode ocorrer nos dois sentidos; os transportadores de rolos acionados podem ser fabricados em aço carbono ou em aço inox.

Um exemplo de um transportador de rolos acionados é o que se encontra na Figura 39 [43].



Figura 39 - Transportadores de Rolos Acionados [44]

Os transportadores de rolos acionados dividem-se em:

- Transportadores de rolos de corrente

Os transportadores de rolos de corrente são ótimos para lidar com produtos pesados, com fundo liso ou em paletes. Estes são usados para operações de armazém que manipulam chapas de aço ou formas estruturais e usando paletes ou patins. Esta é uma unidade de transporte muito versátil para manuseio de embalagens, acumulação e sistemas de manipulação.

Um exemplo de um transportador de rolos acionado por corrente é o que se encontra na Figura 40 [45].



Figura 40 - Transportador de Rolos Acionado por Corrente [45]

- Transportadores de rolos com correia

Os transportadores de rolos com correia são utilizados quando a sua situação exige transporte leve ou médio de pequenas embalagens ou centros de rolos fechados. Um exemplo de um transportador de rolos acionado por correia é o que se encontra na Figura 41 [45].



Figura 41 - Transportador de Rolos Acionado por Correia [46]

✓ Transportadores de rolos livres

Os transportadores de rolos livres são uma importante ferramenta para a realização de várias tarefas. Estes podem ser encontrados em indústrias alimentares, têxteis, indústrias automotivas ou qualquer outra empresa com linhas de produção. Entre as atividades mais comuns onde os transportadores de rolos livres são aplicados, destaca-se a montagem, a conferência, a embalagem e o simples transporte de produtos [47].

Os transportadores de rolos livres, Figura 42, são de fácil instalação e substituição, exatamente por isso, eles costumam ser usados em locais que precisam de flexibilidade ou mudanças constantes de *layout*. De acordo com a atividade a realizar, é possível escolher o material que compõe os rolos, podendo ser PVC, polietileno ultrarresistente ou metais como aço carbono ou inox. Os transportadores de rolos livres podem ser construídos com ou sem curvas e são adaptáveis aos espaços disponíveis. Estes transportadores devem permitir o deslocamento em ambos os sentidos e a aplicação deve ser feita por profissionais capacitados para tal atividade [47].



Figura 42 - Transportador de Rolos Livres [47]

Os rolos que compõem os transportadores de rolos têm como função efetuar uma rotação em torno de seu próprio eixo, tornando-se indispensáveis no transporte de mercadorias. Um exemplo de rolos utilizados nos transportadores são os ilustrados na Figura 43 [42].



Figura 43 – Rolos para Transportadores [42]

#### 2.2.4 Estruturas mecânicas de transporte

As estruturas mecânicas de transporte são estruturas compostas por associação de peças metálicas ligadas entre si por meio de conectores ou solda. Os conectores mais utilizados são os parafusos, uma vez que os rebites estão cada vez mais em desuso. Estas são geralmente acionadas através de sistemas pneumáticos, sistemas hidráulicos ou mecânicos [33].

As estruturas mecânicas de transporte de manuseamento de materiais podem ser feitas conforme as exigências do cliente, uma vez que têm de ser soluções à medida da aplicação. Alguns exemplos de estruturas mecânicas de transporte são:

✓ Transporel

Através da informação retirada do catalogo do fabricante, trata-se de um equipamento de elevação dos mais avançados e dos mais utilizados na indústria, Figura 44. Este equipamento de durabilidade extrema foi projetado inicialmente para a indústria da construção, contudo já é aplicado em todo o tipo de industria. Este equipamento utilizado em serviços pesados, apresenta como principais vantagens a sua extrema durabilidade, a sua leveza, o facto de ser um equipamento portátil, de fácil transporte e armazenamento e com configuração rápida (não necessitando de muitas ferramentas). Pode ser facilmente operado por uma pessoa e pode levantar, baixar e mover cargas até 295 kg e alturas de 7,3 m [48].



Figura 44 – Transporel [49]

✓ PRORUNNER® Mk9

O PRORUNNER® Mk9, Figura 45, é um equipamento utilizado para elevação de paletes. Este é um elevador compacto e robusto utilizado para transportar paletes até 1500 kg e com a capacidade de 60 paletes por hora. Este elevador tem a vantagem de encaixar praticamente em qualquer *layout*. É muito fácil de integrar no sistema de transporte de uma empresa e pode ser equipada com transportador de rolos ou transportador de corrente. Graças ao seu *design*, à sua durabilidade e componentes altamente confiáveis, este equipamento dificilmente requer qualquer manutenção [50].



Figura 45 - PRORUNNER® Mk9 [50]

As principais diferenças entre o elevador Transporel e o PRORUNNER® Mk9, é que este último é fixo, utilizado para cargas superiores e é independente do operador.

✓ Elevador de carga

Os elevadores de carga são outro dos exemplos de estruturas mecânicas de transporte. Estes são projetados para atender as necessidades de transporte vertical de grandes cargas. Os elevadores de carga são equipamentos robustos, de qualidade comprovada, que resistem às condições severas de utilização (de desgaste com os anos) nas mais diversas áreas da indústria e do comércio [48].

Estes equipamentos são estruturas independentes, com capacidade até 3000 kg, contudo este valor depende do fabricante e das necessidades de quem o adquire. Podem ter a sua cabine totalmente fechada ou apenas metade [48].

Os elevadores de carga apresentam sistemas de elevação através de moto redutores de freio eletromagnético [48]. Um exemplo de um elevador de carga é o representado na Figura 46.

Relativamente aos anteriores descritos, este tipo de elevador não só transporta paletes, como também transporta qualquer outro tipo de carga, como por exemplo, caixas dos mais diversos formatos, veículos, pessoas, entre outros.



Figura 46 - Elevador de Carga [48]

### 2.2.5 Outras soluções

Para além dos sistemas de manuseamento industriais descritos anteriormente, ainda existem outros, como:

- ✓ Empilhadores

Existem 3 tipos de empilhadores:

- Elétricos:

Os empilhadores elétricos, Figura 47, são os mais adequados para interiores de fábricas. As principais vantagens deste tipo de empilhadores são: custos de manutenção inferiores em comparação com os restantes; mais compactos, para que possam realizar tarefas em corredores estreitos e não são poluentes. A principal desvantagem apresentada é o facto de terem uma bateria de pouca duração [51].



Figura 47 - Empilhadores Elétricos [52]

- *Diesel*

Os empilhadores a *diesel*, Figura 48, são os mais adequados para exteriores, por causa dos fumos que expulsam do motor. Apresentam a vantagem do seu reduzido custo, relativamente aos restantes, pois de entre os três tipos existentes, estes são os mais baratos; também têm a vantagem de serem os mais potentes. No que toca a desvantagens, este tipo de empilhadores são bastante ruidosos, poluentes e apresentam custos elevados na sua manutenção [51].



Figura 48 - Empilhadores a Diesel [52]

- Gás/GPL

Os empilhadores a gás/GLP, Figura 49, são adequados tanto para exteriores como para interiores, desta forma, são os mais requisitados pelas empresas. As principais características deste tipo de empilhadores são: mais baratos quando comprados novos, mesmo não sendo livres de poluição, são melhores do que os empilhadores a *diesel*; fazem menos barulho do que os empilhadores a *diesel*; têm um rendimento

geral superior, possuindo maiores acelerações e velocidades de elevação relativamente aos empilhadores elétricos e apresentam maior autonomia relativamente aos empilhadores elétricos [51]



Figura 49 - Empilhadores a Gás/GLP [52]

#### ✓ Porta-paletes

Os porta-paletes são equipamentos utilizados para movimentação de paletes. Estes são fundamentais para a circulação de mercadorias e materiais na rotina logística de uma empresa.

Os porta-paletes podem ser de dois tipos: os manuais e os elétricos.

##### ○ Manuais

Os porta-paletes manuais, Figura 50, são aqueles que são manobrados por um operador. Neste tipo de porta paletes, o operador para elevar os garfos precisa de pressionar repetidamente a alavanca, necessitando para esse processo de força humana para elevar a paleta [53].



Figura 50 - Porta-Paletes Manuais [53]

- Elétricos

Os porta-paletes elétricos (Figura 51) são igualmente manobrados por um operador, contudo, este não necessita de exercer a sua força na elevação das paletes, uma vez que este porta-paletes possui um sistema elétrico auxiliando a movimentação e a elevação. Ou seja, a força exercida nos porta-paletes manuais pelo operador, é substituída por um sistema elétrico automático, sendo assim, para a elevação dos garfos apenas é necessário pressionar um botão [53].



Figura 51 - Porta-Paletes Elétricos [53]

- ✓ Plataformas elevadoras de carga

As plataformas elevadoras de carga são dispositivos para transferência de carga em volume entre desníveis. São compostas por uma plataforma (com dispositivos de inclinação ou não) provida de mecanismos de elevação. São utilizadas no recebimento e na expedição de mercadorias facilitando o trabalho, podem ser fixas ou móveis. Um exemplo de uma plataforma elevadora de carga é a ilustrado na Figura 52 [54].



Figura 52 - Plataforma de Elevação de Carga [55]

✓ *AVG (Automatic Guided Vehicles)*

Um AGV é um robô portátil que segue marcadores ou fios no chão, ou usa visão ou lasers para navegação. Eles são muito utilizados em aplicações industriais para mover materiais em torno de uma fábrica ou armazém, Figura 53 [56].



Figura 53 - AVG a transportar/mover cargas dentro de uma fábrica [57]

Os AGV modernos são controlados por computador, possuindo microprocessadores que podem até emitir ordens de transporte e recolher ou descarregar cargas automaticamente, Figura 54. Existem diversos modelos destes robôs. Este sistema apresenta como principais desvantagens o seu custo e manutenções elevadas [56].



Figura 54 - AVG envolvido em colher ou descarregar cargas [58]

## 2.3 Sistemas de acionamento

Existem diversos tipos de acionamentos possíveis de serem aplicados em equipamentos industriais.

Estes acionamentos permitem efetuar toda uma cadeia de acontecimentos, facilitando processos, melhorando tempos e cadências. Os sistemas de acionamento mais comuns são os eletromecânicos, pneumático e hidráulico. A escolha entre estes tipos de acionamentos é influenciada pela função a executar, precisão pretendida, disponibilidade da fonte de energia, preço, entre outros fatores [59].

Como já referido, para equipamentos industriais, os sistemas de acionamentos mais comuns são os eletromecânicos, pneumáticos e hidráulicos. Os motores mais utilizados na indústria de equipamentos são os eletromecânicos em detrimento dos pneumáticos e hidráulicos. Contudo, não existe uma forma de dizer qual dos tipos de acionamento é melhor, mas sim qual o acionamento que é mais indicado para determinado caso. Mesmo em casos em que dois tipos de acionamentos parecem servir um determinado objetivo, como por exemplo pneumático ou hidráulico, esta seleção é influenciada ou pelo preço, ou pela força necessária para a aplicação em causa. A sua escolha é determinada então por quem projeta o equipamento, tendo em conta alguns dos critérios indicados anteriormente [59].

### 2.3.1 Sistemas eletromecânicos

Os acionamentos eletromecânicos são sistemas constituídos por máquinas elétricas, conversores eletrônicos de potência bem como respetivo circuito de comando e controlo, como ilustrado na Figura 55. Este tipo de acionamento tem como principal objetivo a conversão de energia elétrica em energia mecânica destinada a acionar um determinado equipamento [60].

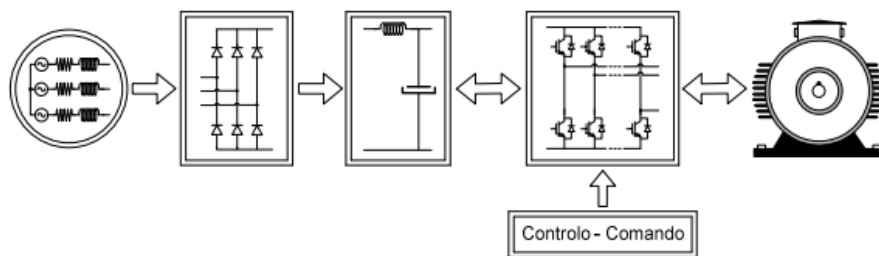


Figura 55 - Esquema de princípio de acionamento eletromecânico [61]

Existem dois tipos principais de motores elétricos, os motores de corrente contínua (DC) e os motores de corrente alternada (AC). Os motores AC podem ainda ser divididos em monofásicos e os trifásicos. A escolha do motor depende da aplicação, tal como da precisão, da força ou binário aplicável, do ambiente de trabalho, entre outras características.

Os motores AC, Figura 56 são os mais utilizados, sendo a distribuição da energia elétrica feita em corrente alternada e apresentando o motor de indução trifásico uma grande simplicidade, robustez e baixo custo, é o motor mais utilizado. Associado a um

controlador eletrónico de velocidade, este é adequado para quase todos os tipos de acionamentos industriais. Tal como já referido acima, os tipos básicos de motores de indução são os trifásicos e os monofásicos. Os motores de indução monofásicos normalmente têm potências baixas, sendo normalmente utilizados no acionamento doméstico. Por outro lado, os motores de indução trifásicos são utilizados na maioria dos acionamentos industriais [62].

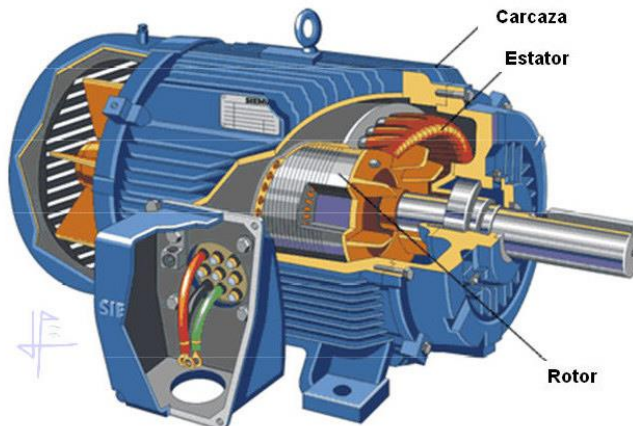


Figura 56- Motores AC [63]

Os motores DC (motores que utilizam uma fonte de tensão contínua), Figura 57, tendem a ser menos utilizados relativamente aos motores de indução. A sua grande vantagem que era a facilidade na regulação da velocidade, nos dias de hoje, está facilmente ao alcance dos motores de indução com o controlo eletrónico de velocidade. O preço é mais elevado em relação aos anteriores e para além disso os motores DC possuem coletor e escovas, órgãos sujeitos a desgaste, o que torna a sua manutenção mais frequente [62].

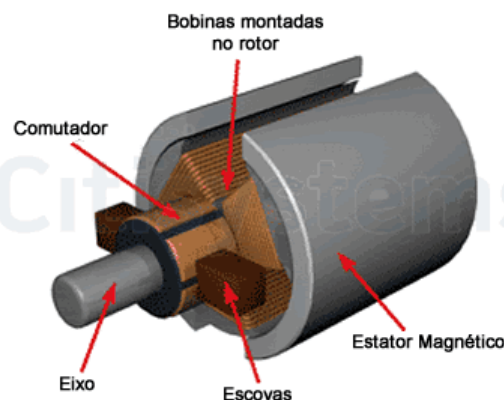


Figura 57- Motor DC e componentes [64]

### 2.3.2 Sistemas pneumáticos

Na pneumática a potência fornecida aos sistemas é feita através de um fluido, gasoso. Estes sistemas são usados em diversas aplicações, como movimentos lineares e rotativos em máquinas com processos robóticos, prensas pneumáticas, martelos

pneumáticos, entre outros. No sistema pneumático o fluido usado é o ar comprimido, Figura 58 [65].

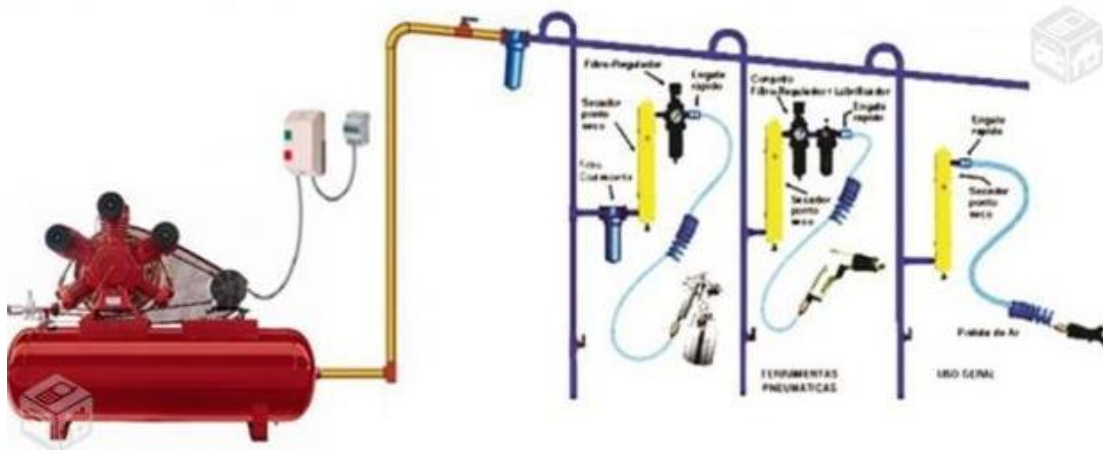


Figura 58- Sistema de ar comprimido [66]

De entre as vantagens da utilização do ar comprimido em sistemas pneumáticos destacam-se as seguintes [67]:

- Facilidade de obtenção (volume ilimitado);
- Não apresenta risco de faísca em atmosfera explosiva;
- Fácil armazenamento;
- Não contamina o ambiente (líquido e sólido).

Outra das características do ar é a sua baixa viscosidade. A viscosidade mede a facilidade com que um fluido (gás ou líquido) escoar. Quando um fluido apresenta baixa viscosidade isso implica que ele pode escoar por pequenos orifícios e, portanto, a chance de ocorrer esvaziamento é grande [67].

O ar comprimido é obtido a partir de compressores, que têm como função aspirar e acumular sob pressão o ar da atmosfera. O ar é então retido em depósitos para mais tarde ser utilizado. Existem dois tipos de compressores, os dinâmicos e os volumétricos, que se diferenciam pela forma como produzem o ar comprimido [65].

O compressor é uma máquina responsável por transformar energia mecânica (ou elétrica) em energia pneumática (ar comprimido), através da compressão do ar atmosférico [67].

O uso da pneumática em aplicações industriais possui vantagens em termos de custo, confiabilidade, potência específica, os equipamentos pneumáticos são robustos e de simples instalação, são fáceis de transportar e fáceis de armazenar. Podem, portanto, ser aplicados em sobrecargas prolongadas, contudo, o ar comprimido necessita de estar livre de impurezas e humidade para a sua correta utilização [67].

As limitações do uso da pneumática referem-se às necessidades de preparação do ar comprimido, limitações de pressão de trabalho (limitação de potência dos atuadores) e limitações na velocidade de trabalho e suas regulações, além de outros aspetos relacionados à vedação das tubulações e uso de óleos lubrificantes [59].

A aplicação de sistemas de acionamento pneumáticos é amplamente difundida em automação industrial devido ao seu relativo baixo custo e simplicidade de instalação, sendo capaz de realizar a maioria das necessidades de movimentação para diversos tipos de máquinas e equipamentos industriais, daí ser o mais utilizado.

### 2.3.3 Sistemas hidráulicos

A hidráulica consiste na movimentação e transmissão de forças através da utilização de líquidos, obtendo a sua energia de transmissão através do transporte de um fluido sob pressão, utilizando assim a alavanca hidráulica. Este circuito é alimentado por uma bomba hidráulica que aspira o fluido hidráulico, geralmente de um reservatório e impele-o para a saída, onde é conduzido para os órgãos de acionamento [68].

Nos sistemas hidráulicos é comumente utilizado o fluido hidráulico (composto por óleo ou por misturas água-óleo). Este sistema é muito utilizado em aplicações industriais, Figura 59.



Figura 59 - Sistema Hidráulico [68]

No que toca ao nível de pressão, os circuitos hidráulicos operam em pressões de até 200 bar ou até superiores (podendo atingir até 400 bar). O fluido hidráulico é incompressível, no caso de uma rutura, a pressão do óleo cai imediatamente sem apresentar riscos de explosão.

Enquanto os anteriores (sistema pneumáticos) desenvolvem forças baixas ou médias por apresentarem relativas baixas pressões de ar comprimido, os atuadores hidráulicos são aplicados para exercer forças elevadas [69].

Num sistema hidráulico, a energia mecânica é transformada em energia hidráulica, que por sua vez é transmitida e controlada sob essa forma, até voltar a ser transformada de novo em energia mecânica por atuadores como motores ou cilindros [70].

Os equipamentos hidráulicos apresentam custos elevados, uma vez que as restrições quanto a vazamentos e pressões de trabalho elevam os padrões de qualidade de fabricação destes.

As linhas de transmissão de fluido hidráulico são compostas por tubulação metálica com conexões sofisticadas, além de serem em circuito fechado para a recuperação do fluido [68].

Em circuitos hidráulicos, as velocidades de trabalho dos atuadores, geralmente lentas, são determinadas pelo vazamento da bomba [68].

Existem duas formas de energia para máquinas conhecidas como as mais eficientes e compactas: a energia hidráulica e a pneumática. As suas aplicações são inúmeras e podem variar de acordo com o tipo de trabalho que se deseja realizar, como: empurrar, levantar, girar, transportar cargas, entre outras [69].

De uma forma geral, o funcionamento de um sistema hidráulico funciona da seguinte forma: o sistema hidráulico consiste basicamente em gerar movimento ou força através da pressurização de um fluido, resultando no que se chama de força mecânica. Todo o sistema composto recebe o nome de circuito e são dispostos da seguinte maneira: uma bomba é utilizada para fazer a compressão do fluido que será transportado através de tubulações, chegando a um cilindro onde o fluido será bombeado para movimentar um pistão, exercendo a sua força resultante. O sistema hidráulico pode ser atuado em eixos para gerar energia, em motores ou transportadores [68].

O circuito hidráulico possui um processo de instalação eficiente, atuando em locais que exigem trabalho mais bruto e além disso, suportam cargas extremamente pesadas. Trata-se de um sistema versátil e que facilita a vida do homem moderno em diversas situações [70].

Em suma, os sistemas hidráulicos são especificados para altas cargas (como por exemplo equipamentos para movimentação e elevação de cargas) ou para aplicações com requisitos de posicionamento preciso ou controle fino de velocidade (como por exemplo para robôs).

## 2.4 Método de Elementos Finitos

O Método de Elementos Finitos (MEF) é uma técnica numérica de resolução de variados tipos de problemas, confiável para análise de projetos de engenharia que, de uma forma genérica, divide o modelo em muitas pequenas partes de formato simples, chamadas de elementos, Figura 60. Com isto, pretende-se produzir soluções aproximadas para problemas que devam satisfazer um conjunto de equações diferenciais e/ou integrais no seu domínio, mas para as quais a complexidade do problema impossibilita a obtenção de uma solução exata [71].

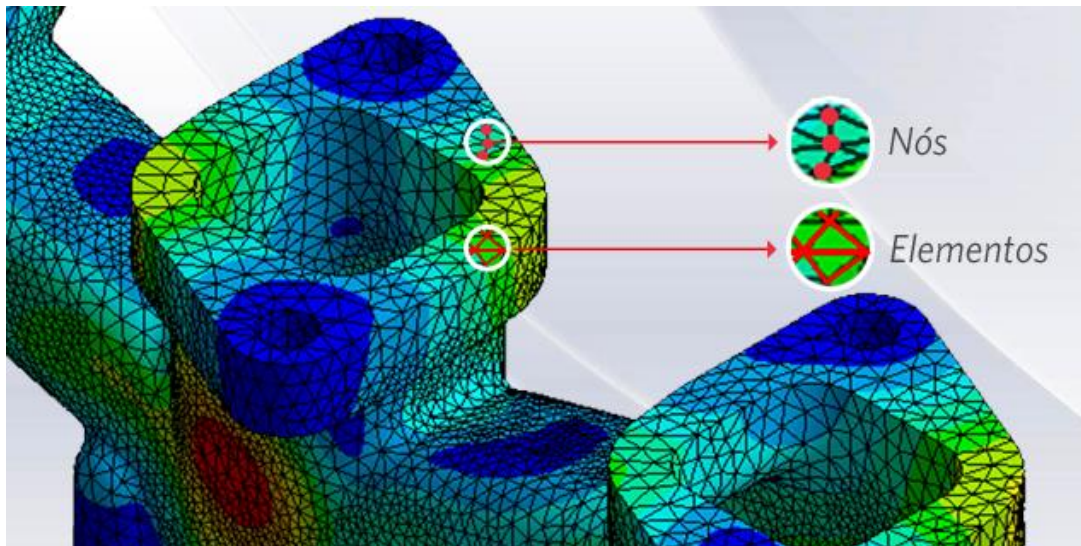


Figura 60 - Simulação de produto realizada com base em análise de elementos finitos [72]

#### 2.4.1 Introdução à ferramenta de projeto

O MEF tem as suas primeiras origens desde meados do Séc. XIX onde inicialmente consistia em métodos aproximados, funções de interpolações, para resolver equações diferenciais, mas só a partir de inícios da década de 50 do Séc. XX é que o MEF começou a ser mais utilizado devido ao aparecimento de novas estruturas com solicitações de esforços completamente diferentes do que era sujeito até então, o que também com o surgimento dos computadores, levou a que os métodos matriciais tivessem um enorme desenvolvimento na análise estrutural [71].

Numa análise de uma estrutura, é fundamental ter-se em consideração a geometria, o material da estrutura e os esforços que estão submetidos, sendo este um principal motivo para que o MEF seja utilizado em diversas áreas na resolução de problemas tais como a análise de tensões, temperatura, fluídos entre outros [71], [73].

Aspetos essenciais a ter em consideração numa análise de uma estrutura:

- Análise Dinâmica ou Estática;
- Análise Linear ou não Linear;
- Tipo de Estrutura.

Os tipos de solicitações a que as estruturas normalmente estão sujeitas são em geral de carácter dinâmico, levando em consideração as forças de inércia correspondentes às acelerações de cada um dos componentes que estas venham a possuir. No entanto, na grande maioria dos casos presentes, os esforços de carga ou mesmo as solicitações locais são aplicados de um modo suficientemente lento levando a que as forças de inércia sejam desprezadas, sendo a análise estática o mais aproximado para a obtenção dos resultados pretendidos. Estes tipos de resultados normalmente referem-se a frequências naturais, estados de encurvadura e frequências de vibrações aplicados entre contactos e sólidos [71], [73].

Relativamente aos tipos de estruturas, estas são normalmente classificadas quanto à sua geometria, podendo assim ser separadas em:

- **Laminares**, estruturas que possuem duas dimensões de mesma ordem de grandeza muito superiores quando comparadas com a terceira dimensão;
- **Reticuladas**, estruturas compostas por elementos ligados entre si por articulações;
- **Sólidas**, pode-se considerar uma estrutura como sólida quando esta não apresenta características que as laminares ou as reticuladas possuem.

Nas estruturas laminares, quando a superfície média é plana, estas podem ser classificadas como parede, laje ou casca plana. Uma parede apenas é sujeita a ações paralelas ao seu plano médio, enquanto uma laje pode ter forças perpendiculares a esse plano médio e também momentos contidos nesse plano. Designa-se por casca plana uma estrutura laminar quando esta está sujeita a outros tipos de ações diferentes dos anteriormente referidos. Quando a superfície média não é plana, considera-se a estrutura como casca tridimensional [74].

As estruturas reticuladas são as constituídas por elementos (barras) cujas dimensões transversais são muito menores do que os comprimentos dos seus respetivos eixos. Estes elementos estão ligados entre si através de articulações, onde normalmente os esforços aplicados à estrutura ocorrem nessas mesmas articulações [74].

Relativamente às estruturas sólidas, as solicitações a que este tipo de estruturas se encontra submetida são axisimétricas em relação ao mesmo eixo [74].

#### 2.4.2 Vantagens da utilização em projeto

O desenvolvimento e a utilização do MEF permitem obter soluções até então superficialmente alcançáveis.

O MEF está sustentado em ferramentas de CAD/CAE avançadas, facilitando a modelação dos sólidos e a geração de malhas. O MEF traz maior eficiência nos trabalhos realizados, requerendo muito menos tempo, pois os cálculos e análises referentes ao projeto são rapidamente feitos por métodos numérico-computacionais [75]. Este método dá-nos as seguintes vantagens para utilização em projeto:

##### **Menor Tempo e Custo**

- Permite simular o processo de fabricação do produto, reduzindo assim os custos de fabricação do produto na indústria;
- A deteção de erros na fase de engenharia reduz o custo com as correções e de ter que voltar a fazer o produto.

##### **Melhoramento do Produto**

- As simulações permitem rapidamente avaliar o desempenho do projeto com o meio em que irá atuar;

- O melhoramento do produto e as suas possíveis correções podem ser realizadas de forma mais rápida e segura com a utilização de computadores.

#### **Flexibilidade da empresa no mercado**

- As rápidas transições que acompanham o ciclo de vida do produto necessitam de agilidade e flexibilidade para o setor de engenharia empreender novos projetos e o MEF com a sua maior eficiência consegue proporcionar isto.

#### **Reutilização**

- Tanto os cálculos como desenhos de partes do projeto são reaproveitadas em novos projetos aumentando a produtividade, pois agilizam o processo devido à economia de tempo.

#### **Rápida alteração**

- As alterações podem ser feitas rapidamente, pois algumas vezes é preciso apenas redimensionar algum componente ou material, como por exemplo alterar o valor do elemento no projeto.

#### **2.4.3 Software existente e respetivas potencialidades**

Tal como já enunciado anteriormente, o MEF é uma ferramenta de grande utilidade na interpretação e compreensão de muitos fenómenos de engenharia. Para tal é necessário dispor, não só de algoritmos de análise linear e não linear, material e geométrica, como também de *software* de pós-processamento que permita representar graficamente os aspetos mais relevantes das análises efetuadas [76].

No mercado existe uma grande variedade de *softwares* que respondem às diferentes necessidades do público em geral, mais propriamente das empresas. A informatização deste método para a análise de MEF permite prever como um produto reage a forças do mundo real, como vibração, calor, vazão de fluidos e outros efeitos físicos. A análise de elementos finitos mostra se um produto vai quebrar, desgastar ou funcionar da maneira pretendida. Embora seja chamada de análise, no processo de desenvolvimento do produto, é usada para prever o que vai acontecer quando o produto for usado.

Atualmente, no mercado, existe uma enorme variedade de escolha, contudo os mais procurados são o SolidWorks, Inventor, Cátia, Creo, Geomagic Design.

Estes têm como características principais, dependendo dos módulos e o preço das licenças [77]:

- Utilizar diferentes materiais;
- Condições de contato que as peças estão sujeitas;
- Definir a(s) carga(s) (condições do projeto);
- Definir a malha com refinamento seletivo;

- Simplificação do espaço de modelação;
- Visualização gráfica;
- Resultado da análise
- Criação de relatórios;
- Saída de dados para o Microsoft Excel.

O SolidWorks tende a ser dos *softwares* mais utilizadas por ser considerado dos mais completos.

O SolidWorks Simulation fornece uma gama completa de ferramentas para análise de estrutura com MEF, movimento e multifísica das peças e montagens. Como parte das ferramentas do SolidWorks de soluções de desenvolvimento de produto 3D, que inclui projeto, simulação, comunicação técnica e gerenciamento de dados [78]. O SolidWorks Simulation é uma ferramenta totalmente integrada no SolidWorks e destinada ao mundo das análises por MEF, trabalhando com peças e conjuntos necessários como carregamentos, fixações, contato entre componentes, elementos de fixação, etc. Como resultado dá informações precisas acerca das tensões, deslocamentos, deformações e fator de segurança definidos (que permitem não haver riscos para as estruturas), deste modo otimiza-se e desenvolve-se projetos melhores [78]. O SolidWorks Simulation é avançado, preciso e intuitivo, permitindo aos profissionais lidar com os mais complexos desafios de engenharia. Um dos objetivos do SolidWorks Simulation é proporcionar um tempo menor para o lançamento de um produto, através da redução do tempo gasto com protótipos, bem como minimizar os custos dessa etapa desenvolvendo projetos ainda mais confiáveis [78].

Relativamente aos restantes *softwares* também inumeradas é possível salientar que o Creo e o Inventor assemelham-se, ambos são bastante espontâneos e intuitos. Em comparação, o Catia está ao mesmo nível destes com a vantagem de ter um novo conceito de desenho paramétrico e os resultados dos elementos finitos são melhor (mais preciso). O Geomagic Design caracteriza-se por apresentar os resultados das análises mais demorados em relação aos outros *softwares* [77].

#### 2.4.4 Casos práticos de dimensionamento

Neste capítulo dá-se alguns exemplos de estruturas mecânicas que foram projetadas em *softwares* de MEF, mostra-se os resultados das estruturas.

##### **Exemplo 1 [79]**

O exemplo 1 é um elevador sem casa de máquinas. O material utilizado foi Aço S 235 JR, apresentando na Tabela 2 as suas características. O exemplo 1 apresenta-se na Figura 61.

Tabela 2 - Propriedades do material do elevador sem casa de máquinas [79]

Propriedades	Valor	Unidades
Módulo de Young	210000	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0,3	-
Tensão de rotura	360-520	N/mm <sup>2</sup>
Tensão de cedência	235	N/mm <sup>2</sup>
Densidade	7850	kg/m <sup>3</sup>
Alongamento à rotura	26	%

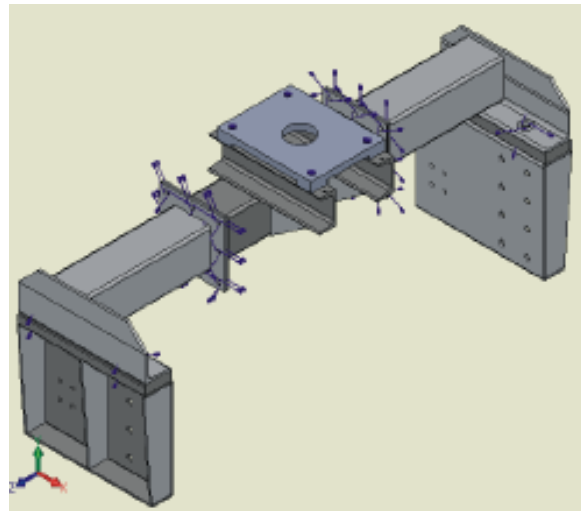


Figura 61 – Modelo do elevador sem casa de máquinas [79]

Neste exemplo 1, o elevador tem capacidade de 20000 N e foi modelado no SolidWorks. Nesta simulação foram estudados qual a diferença de resultados obtidos utilizando elementos tetraédricos parabólicos *high* e com elementos *draft*.

Dimensão do elemento (mm)	Tipo de malha	Nº de elementos	Deslocamento máximo (mm)	Tensão máxima von Mises (MPa)
21	high	24958	0,528	223,02
18	high	30467	0,529	272,24
15	high	39474	0,533	262,04
12	high	58262	0,534	241,32
9	high	103831	0,535	273,61

Figura 62 - Valores obtidos nos ensaios na estrutura superior e com elementos "high" [79]

Dimensão do elemento (mm)	Tipo de malha	Nº de elementos	Deslocamento máximo (mm)	Tensão máxima von Mises (MPa)
21	draft	24954	0,431	86,82
18	draft	30467	0,444	91,22
15	draft	39474	0,462	95,31
12	draft	58262	0,477	92,41
9	draft	103831	0,489	97,97
6	draft	296896	0,503	128,46

Figura 63 - Valores obtidos nos ensaios na estrutura superior e com elementos "draft" [79]

Analisando a Figura 62 e Figura 63, pode-se observar que a tensão máxima é inferior cerca de 60 a 70% relativamente aos elementos *high*. Os deslocamentos máximos também são cerca de 10 a 20% inferiores.

### Exemplo 2 [33]

No exemplo 2 utilizou-se a ferramenta do Mathcad e adotou-se uma convenção de sinais para se determinarem as tensões atuantes em cada seção pretendida da viga a partir das solicitações calculadas no Ansys. Através do *software* Ansys calcula-se as tensões somente nas extremidades da seção de acordo com altura largura da viga conforme Figura 65. Na Figura 65(a) e no procedimento de verificação à flambagem consideram-se outros pontos da seção e não nas extremidades. Na Figura 65(b) estão indicados quais ou os pontos adotados, as tensões de flexão nos pontos de interseção entre a alma e aba da viga calculando o momento fletor e a tensão calculada pelo Ansys.

Neste projeto utilizou-se o modelo paramétrico com elementos de viga com três graus de liberdade em cada nó.

Critério	Valor	Valor Admissível
Escoamento	80,47 MPa	<166,67 MPa
Autovalor (caso crítico)	8,32	>1,00
Coef. segurança de flambagem local	2,38	>1,00
Deslocamento da perna	0,030 m	<0,030 m
Espessura mínima	8,00 mm	>8,00 mm

Figura 64 - Verificação dos valores do ponto ótimo [33]

Ao longo dos ensaios foram aplicadas varias tensões no pórtico e verificou-se os critérios estabelecidos na Figura 64.

Ao longo deste trabalho, tentou-se diminuir as espessuras no pórtico rolantes, nos pontos onde se verificava ter valores aceitáveis. Com o auxílio do Ansys pode-se otimizar os projetos de pórticos rolantes e dar respostas confiáveis principalmente quando se tem muitas variáveis.

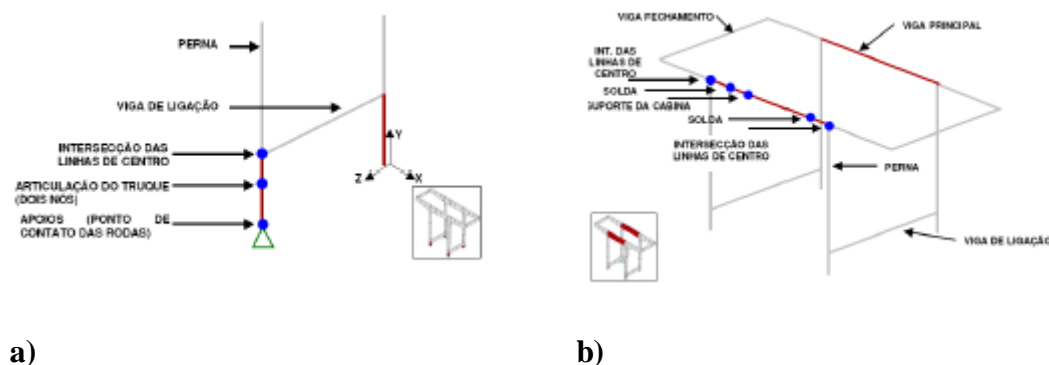


Figura 65 - Nós. a) Nó de apoio; b) Nós do vão [33]

# DESENVOLVIMENTO

- 3.1 Caracterização da empresa que acolheu o projeto**
- 3.2 Descrição da estrutura a projetar**
- 3.3 Requisitos a cumprir**
- 3.4 Definição das solicitações impostas**
- 3.5 Projeto do sistema de movimentação de limalha**



## 3 DESENVOLVIMENTO

### 3.1 Caracterização da empresa que acolheu o projeto

A empresa Representações LANEMA, Lda. é uma sociedade por cotas constituída em 1978, na qual a atividade inicial se baseava na comercialização de diversos produtos de apoio à indústria.

Em 1992 houve a aquisição da empresa por parte da atual gerência, a qual iniciou um processo evolutivo até aos dias de hoje. Este processo teve como base inicial a modernização, dinamização e introdução de novos produtos, o que levou a aumentar a sua resposta à necessidade de vários tipos de empresas, nomeadamente na área da indústria de fabrico de máquinas, disponibilizando vários tipos de componentes normalizados (rolamentos, vedantes, casquilhos Selfoil, entre outros).

Em 1995 houve a introdução de uma nova gama de produtos como Transmissões Mecânicas, Bronze, Alumínio e Plásticos de Engenharia.

Ao longo dos anos, a busca constante pela evolução permitiu expandir as suas áreas de negócio, bem como a melhoria contínua dos seus processos internos. Essa expansão permitiu aumentar o número de produtos normalizados comercializados, e alargar as suas áreas de negócios para a área de alumínios e plásticos técnicos, corte e processos de maquinaria. A evolução dos seus processos internos, teve como base a adaptação às novas tecnologias, nomeadamente na aplicação de sistemas informáticos, tanto na área administrativa como na gestão dos próprios produtos, que permitiu um maior rigor, controlo, e reposta rápida e correta às necessidades dos seus clientes.

Em 2000 iniciou-se a construção das atuais instalações com uma área de 10.000 m<sup>2</sup> sediadas na zona industrial de Ovar, as quais permitiram albergar toda esta expansão da empresa. No ano 2003 concluiu-se a construção das atuais instalações.

No ano de 2004 dá-se a criação do departamento de maquinaria de alta velocidade nas novas instalações da empresa – TECNOLANEMA. Foram aumentadas as capacidades de corte com a aquisição de equipamentos para tal tarefa. Este salto qualitativo despertou o interesse de grandes grupos empresariais de prestígio mundial, tais como: FAG, INA, Chiaravalli, Quadrant EPP, Ames, Alcan, entre outros, aumentando ainda mais o leque de produtos acabados e matéria-prima disponíveis.

Em 2005 deu-se o processo de aquisição da empresa portuguesa de alumínios e plásticos Sunemetal, aumentando a sua projeção nacional e internacional.

Em 2008 o grupo obteve a certificação ISO 9001/2008, incrementando a sua credibilidade no mercado.

Em 2010 foram adquiridos os ativos em Madrid e Barcelona da empresa Sertu, a qual era reconhecida na área dos plásticos e alumínio de alta tecnologia. Esta muda o nome para "LANEMA DE ALUMINIOS Y PLÁSTICOS, S.L.", constituindo um reforço da presença em Espanha.

Igualmente em 2010 houve uma aquisição de novos espaços junto às instalações atuais. Isto permitiu aumentar a área de trabalho em 20.000 m<sup>2</sup>. Isto permitiu a organização do departamento de maquinaria num espaço próprio, permitindo uma maior expansão. Com este passo, o departamento TECNOLANEMA ganha maior importância na empresa.

Em 2011 houve uma mudança da estrutura da empresa, passando a denominar-se Grupo LANEMA. A Representações LANEMA, Lda. passa a denominar-se LANEMA – Investimento e Gestão. Esta divisão tem como objetivo a compra e venda de bens imóveis e gestão de participações sociais. Desta cisão nasceu também a sociedade POLYLANEMA, Lda. Todos os negócios de compra e venda de produtos, assim como a sua fabricação, são agora tratados pela POLY LANEMA, Lda. Atualmente, o grupo LANEMA encontra-se dividido nas seguintes empresas/departamentos, Figura 66:

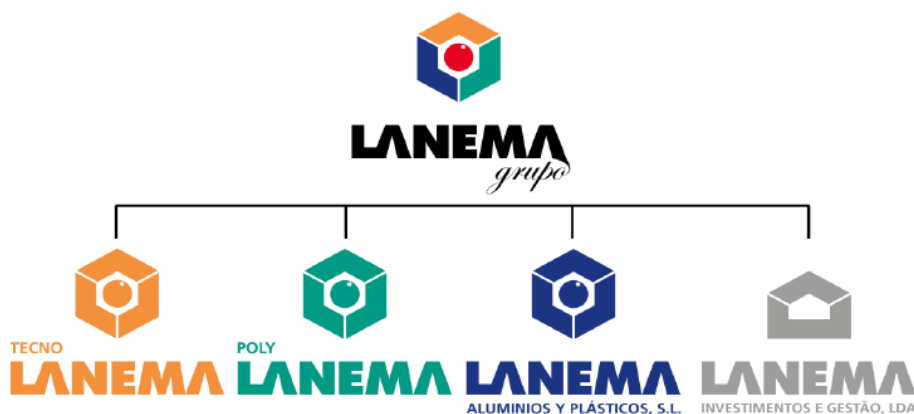


Figura 66 - Grupo LANEMA

A TECNOLANEMA é o departamento responsável pelo estudo e conceção de soluções de engenharia. A sua especialidade é a fabricação CNC de peças em plástico de engenharia e alumínio técnico, para a qual conta com uma equipa multidisciplinar especializada e com os meios técnicos mais evoluídos ao nível de *software* e equipamentos de última geração. A estrutura base da TECNOLANEMA está dividida em 5 principais departamentos, Figura 67:

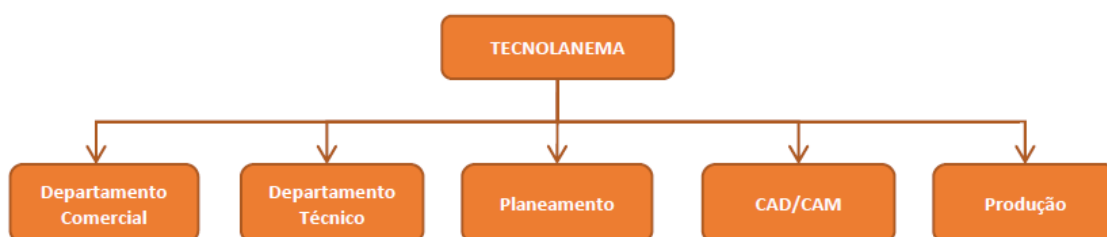


Figura 67 - Estrutura base do departamento TECNOLANEMA

### 3.2 Descrição da estrutura a projetar

Recentemente a LANEMA adquiriu um sistema de trituração/centrifugação de limalha semelhante ao representado na Figura 68. Com isto surgiu a necessidade de projetar um sistema para auxiliar os operadores no processo descarga da limalha diretamente para o triturador.

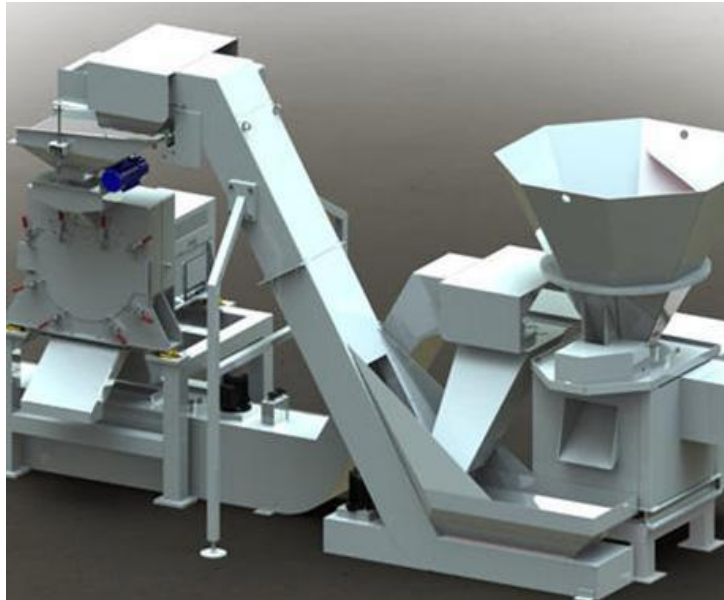


Figura 68- Exemplo de um Sistema de trituração/Centrifugação de limalha [80]

De momento a descarga da limalha é feita através do empilhador como se pode ver na Figura 69 :



Figura 69- Exemplo de contentor inclinado utilizado para descarga [81]

Uma vez que não é um sistema autónomo e existe algum risco associado, houve a necessidade de desenvolver de um sistema mais prático. Surgiu a ideia de criar um elevador que fizesse esta descarga autonomamente, sem riscos para o operador.

O elevador tem como dimensões  $4070 \times 1320 \times 1290$  mm<sup>3</sup>, como pode-se verificar na Figura 70 tem um sistema que permite a rotação do contentor a mais de 90 graus, permitindo assim a descarga de toda a limalha proveniente no seu interior. A limalha de alumínio é extraída diretamente para o contentor através das máquinas CNC. Quando necessário, o operador da máquina deve levar o contentor e posicioná-lo no elevador de forma a permitir a sua descarga.

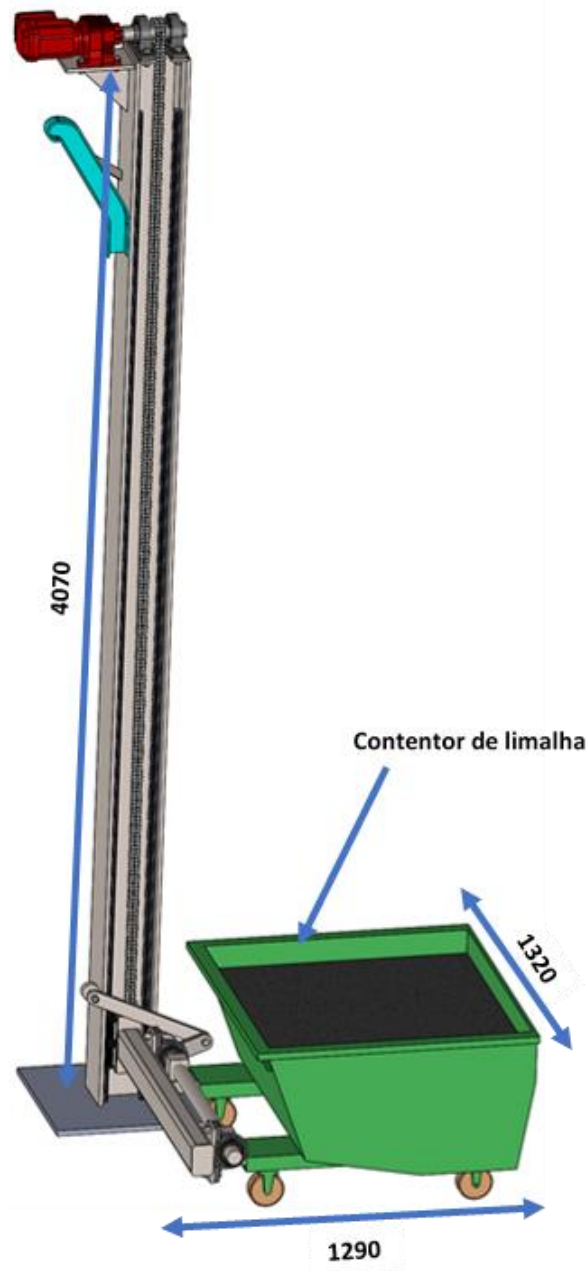


Figura 70- Dimensões do elevador

### 3.3 Requisitos a cumprir

No início do projeto foram solicitados determinados requisitos e condições. Para otimização do espaço, o elevador deverá ter apenas uma coluna. O contentor deve-se

mover paralelamente à base (chão) até iniciar o movimento de rotação. O elevador deve ser capaz de elevar o contentor cheio de limalha e fazer a sua descarga para o triturador. A carga máxima que o elevador levanta é de 500 kg, sendo que 160 kg correspondente ao carro e os restantes 340 kg são de limalha de alumínio. O processo de descarga da limalha deve ser automatizado e deve demorar 15 s no movimento de elevação. Para este projeto, o coeficiente de segurança adotado varia entre 1,5 a 2.

### 3.4 Definição das solicitações impostas

O elevador tem duas posições impostas estacionárias, no entanto, durante o movimento de rotação existem varias posições com carga máxima de 500 kg. As solicitações presentes na estrutura são sobretudo flexão e torção em torno do eixo horizontal, como se pode verificar na Figura 71 e Figura 72. A flexão é criada pelo esforço normal do peso do contentor com limalha, aplicado no seu centro de gravidade. Como o centro de gravidade está deslocado do eixo do pilar este implica um esforço transversal que por sua vez resulta num momento fletor.

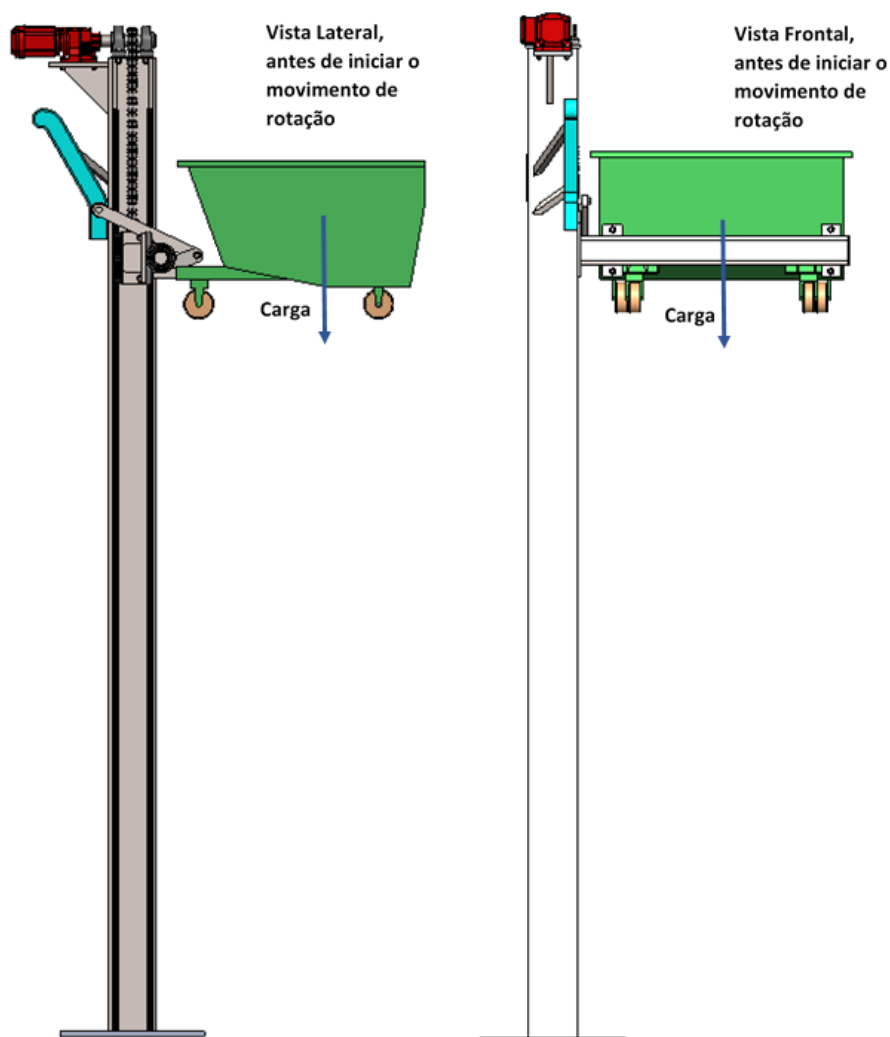


Figura 71 – Esforços aplicados antes de iniciar o movimento de rotação

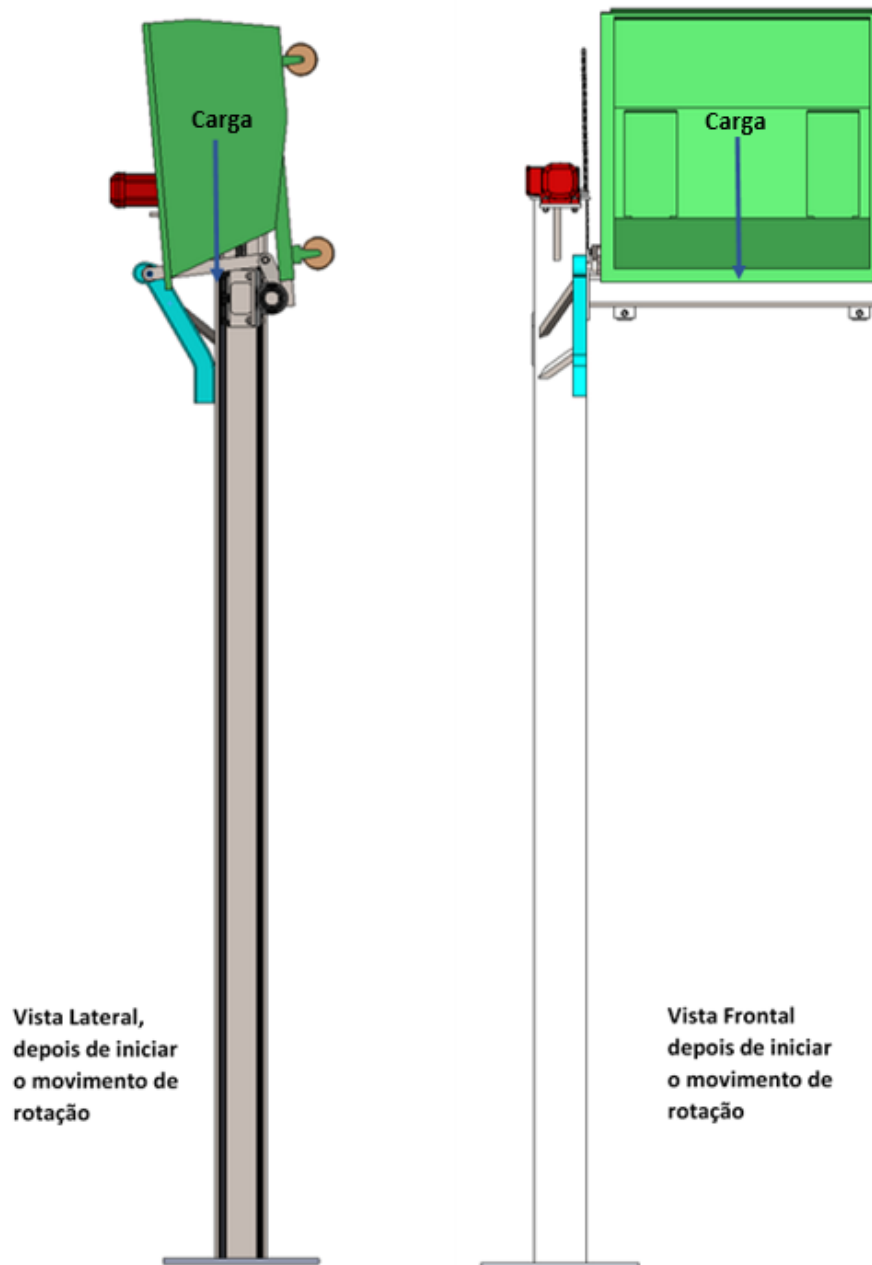


Figura 72 - Esforços aplicados depois de iniciar o movimento de rotação

## 3.5 Projeto do sistema de movimentação de limalha

### 3.5.1 Anteprojeto

Inicialmente, foi projetado o elevador com dois pilares HEB, no entanto devido a limitações de espaço, este reduziu-se apenas para um pilar. Devido a pormenores construtivos posicionou-se o pilar no seu eixo de menor inércia.

Para garantir o movimento com baixo atrito e suave, utilizaram-se guias lineares, impulsionadas através de uma transmissão por corrente. As guias lineares estão fixas diretamente aos banzos do pilar e os carros transportadores a um bloco central

constituído por 5 chapas. Fixou-se a corrente ao bloco central, referido anteriormente, através de um fixador de corrente que por sua vez está soldado ao bloco central, Figura 73.

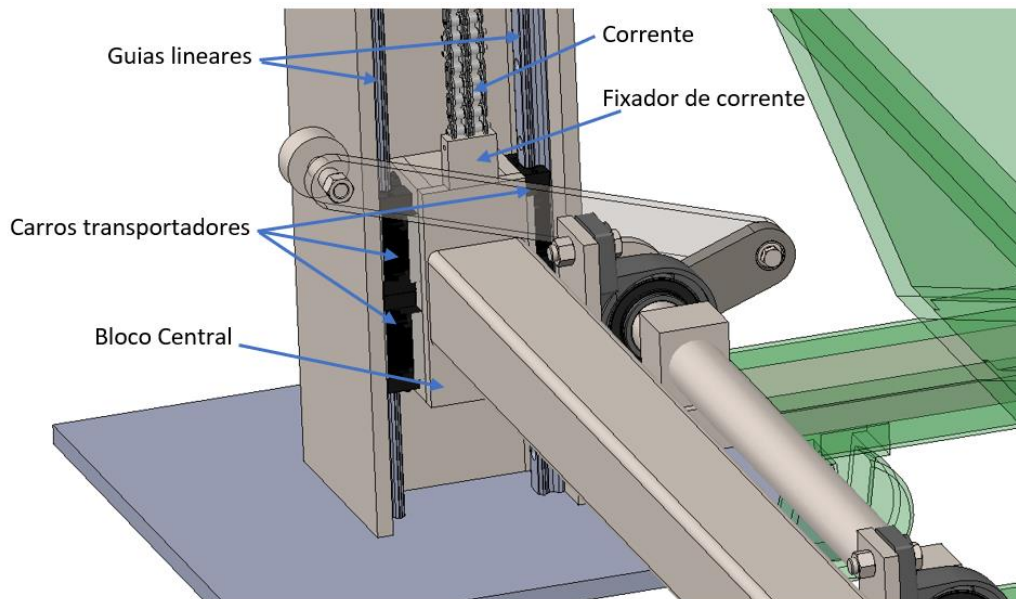


Figura 73 – Ilustração diversos componentes constituintes da estrutura

Para proporcionar o movimento vertical, no topo do pilar aplicou-se um motorreductor e um carro. Com o intuito de diminuir o esforço no motor elétrico durante a elevação adicionou-se contrapeso, como ilustrado na Figura 74.

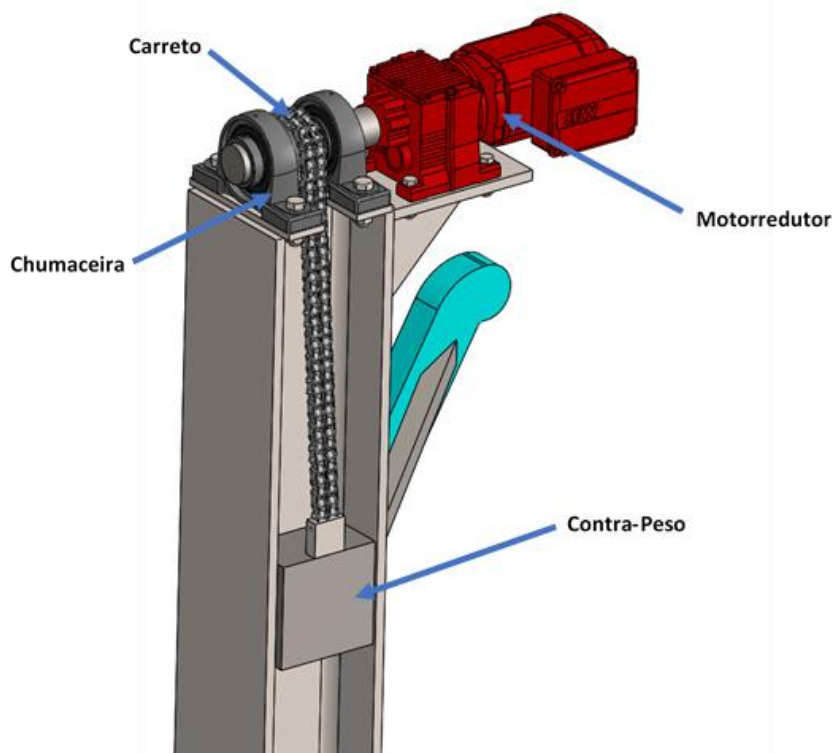


Figura 74 – Ilustração diversos componentes constituintes sa estrutura

Outro dos componentes importante para este projeto é a plataforma de suporte do contentor de limalha. Esta é constituída por um tubo de seção quadrangular  $100 \times 100 \times 5 \text{ mm}^3$  com o comprimento de 1150 mm, soldado diretamente ao bloco central. Diretamente no tubo de seção quadrada soldou-se duas chapas, com o objetivo de permitir a fixação de duas chumaceiras. Para o encaixe e fixação do contentor de limalha utilizou-se dois perfis UPN com a secção  $80 \times 45 \times 6 \text{ mm}^3$ , soldados a dois blocos com um furo central, Figura 75. Executou-se um furo central nestes blocos do mesmo diâmetro do veio, permitindo que o veio entrasse justo. Posteriormente soldou-se os blocos ao veio na posição de acordo com o contentor já existente.

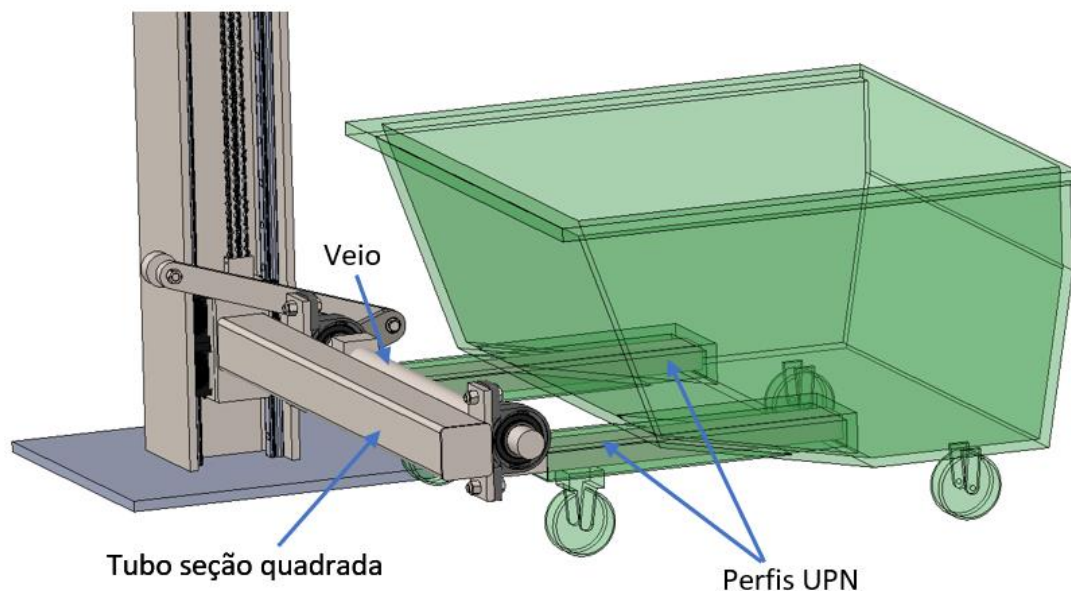


Figura 75 - Ilustração diversos componentes constituintes sa estrutura

Para a rotação do contentor de limalha utilizou-se uma calha com a inclinação correta, de modo a que o contentor descarregue na sua totalidade. Esta calha tem apenas o intuito de fazer com que a roda de guiamento ao seguir o caminho desta promova a rotação do contentor. Esta roda está ligada a um braço bipartido que fará a ligação da calha com o suporte do contentor de limalha, como ilustrado na Figura 76. Este braço teve que ser bipartido para evitar colisões aquando da rotação. Até o contentor chegar à calha, a plataforma de suporte do contentor movimenta-se paralelamente ao chão.

Após a roda de guiamento entrar na calha inicia-se o movimento de rotação. Neste momento, a roda segue o caminho da calha e faz com que o braço bipartido entre em funcionamento, desdobrando-se. O movimento do braço bipartido é o responsável pela rotação do contentor, como se pode verificar na Figura 77.

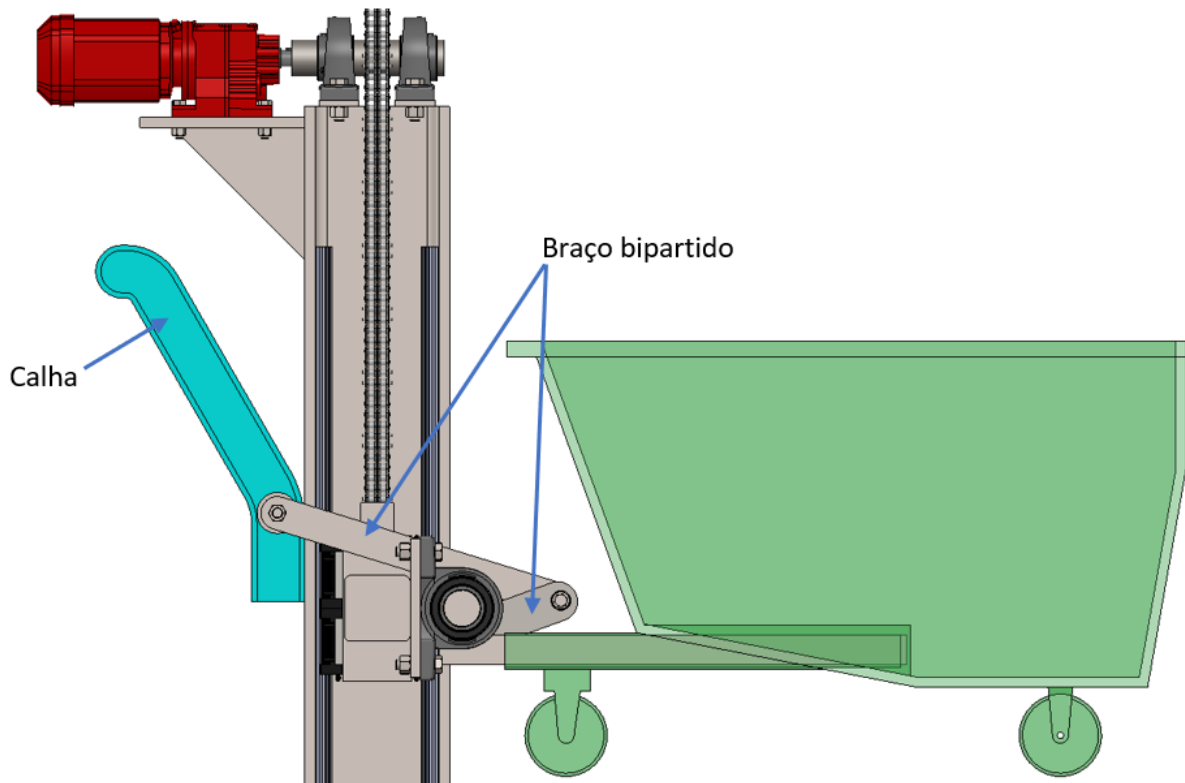


Figura 76 - Ilustração diversos componentes constituintes sa estrutura

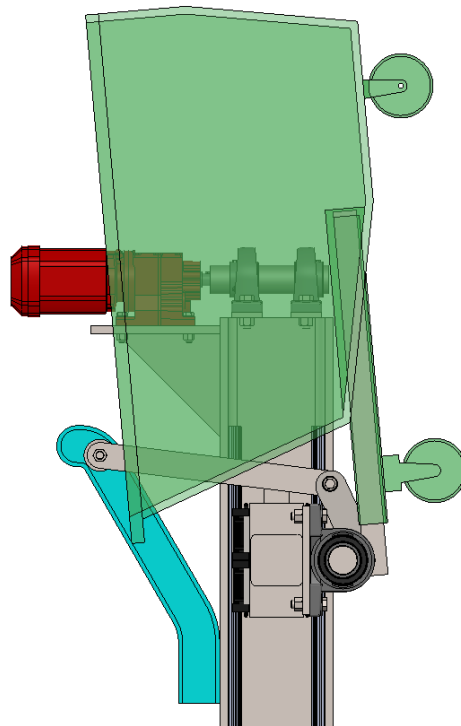


Figura 77 - Ilustração diversos componentes constituintes sa estrutura

Soldou-se o braço bipartido uma peça, que por sua vez esta está soldada ao veio (Figura 78). Com isto, assim que a roda entra na calha proporciona rotação no veio, dando-se assim o movimento de rotação.

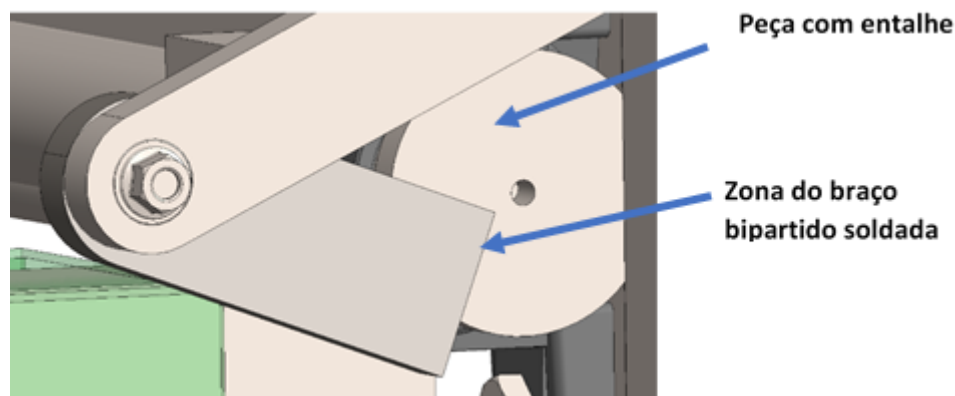


Figura 78 - Ilustração diversos componentes constituintes sa estrutura

Após a descarga da limalha, inicia-se o movimento de recuo, ficando o braço bipartido na mesma posição da inicial.

O material utilizado para o perfil HEB, tubo de seção quadrada e UPN foi o aço S235. Escolheu-se este tipo de aço pois, a nível de qualidade/preço, é dos melhores, e também devido à sua ampla disponibilidade no mercado nacional. De seguida apresenta-se na Tabela 3 e Tabela 4 as características deste material.

Tabela 3 - Características químicas do S235

	C%	Mn%	P%	S%	N%	CU%
Composição Química	0,19	1,50	0,045	0,045	0,014	0,6

Tabela 4 - Características mecânicas

Tensão de cedência	235 N/mm <sup>2</sup>
Tensão de rotura	360-510 N/mm <sup>2</sup>
Extensão mínima	20%

O primeiro cálculo efetuado antes de iniciar a modelação do elevador, foi o dimensionamento do pilar principal. Este pilar tem comprimento de 3,84 m e está sujeito a esforços de flexão. Para o cálculo foi considerado o peso do contentor com limalha e o peso da estrutura de suporte do carro, que se encontram na Tabela 5.

Tabela 5 – Dados peso para cálculo

Componentes	Peso [kg]
Carro	160
limalha	340
estrutura	160

Desta forma, o peso total a considerar seria de 660 kg, o que equivale aproximadamente a 6,60 kN. Para o cálculo considerou-se o peso total como uma carga distribuída, como podemos ver na Figura 79.



Figura 79 - Carga distribuída

O sistema final a considerar é o seguinte, Figura 80:

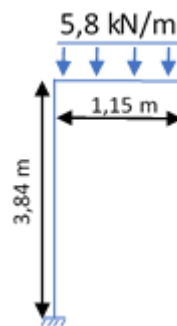


Figura 80 – Sistema simplificado

Para a realização do cálculo, o sistema anterior (Figura 80) foi dividido em 2 tramos, como pode-se verificar na

Figura 81.

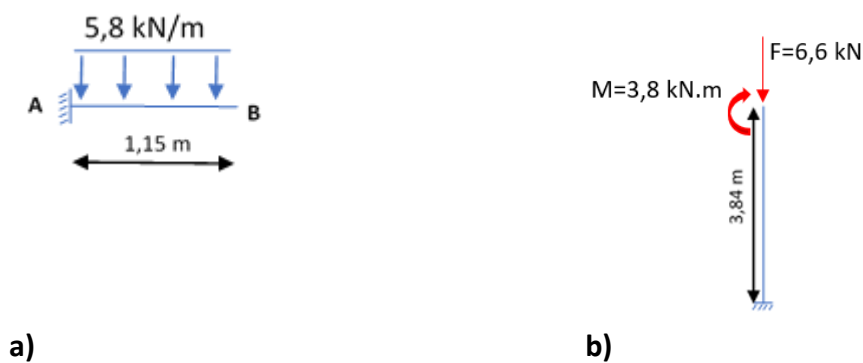


Figura 81 – Simplificação em tramos: a) Tramo AB; b) Tramo CB

De seguida realizou-se os cálculos tramo do tramo AB:

→ Tramo AB



Figura 82 - Representação das reações nos apoios no tramo AB

Inicialmente calcularam-se as reações nos apoios:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \\ \sum MB = 0 \end{array} \right\} \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} HA = 0 \\ VA - 6,6 = 0 \\ MA - 6,6 * \frac{1,15}{2} = 0 \end{array} \right\} \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} HA = 0 \text{ kN} \\ VA = 6,6 \text{ kN} \\ MA = 3,8 \text{ kN.m} \end{array} \right\}$$

Uma vez calculadas as reações, seguiram-se os calculados para os esforços transversos:

$$Q(x) = \int -q(x)dx = \int -5,8dx = -5,8x + c$$

Sabendo que  $c=6,25$  chega-se à equação final:

$$Q(x) = -5,8x + 6,6$$

Seguidamente foram calculados os momentos fletores:

$$M(x) = \int Q(x)dx = \int (-5,8x + 6,6)dx = -2,9x^2 + 6,6x + c,$$

Sabendo que  $c=3,8$  a equação final:

$$M(x) = -2,9x^2 + 6,6x + 3,8$$

Equação diferencial de 2ªOrdem:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M(x)}{EI_1} = \frac{1}{EI_1}(-2,9x^2 + 6,6x + 3,8)$$

A rotação  $\theta$  :

$$\frac{dy}{dx} = \theta_1 = \int \frac{M(x)}{EI_1} dx = \frac{1}{EI_1}(-0,97x^3 + 3,3x^2 - 3,8x + C_1)$$

A flecha ou equação da linha elástica:

$$y_1 = \delta_1 = \iint \frac{M(x)}{EI_1} dx = \frac{1}{EI_1}(-0,24x^4 + 1,1x^3 - 1,9x^2 + C_1x + C_2)$$

Concluído a equação da linha elástica para o tramo AB, utilizou-se o mesmo procedimento para o tramo CB.

→ Tramo CB

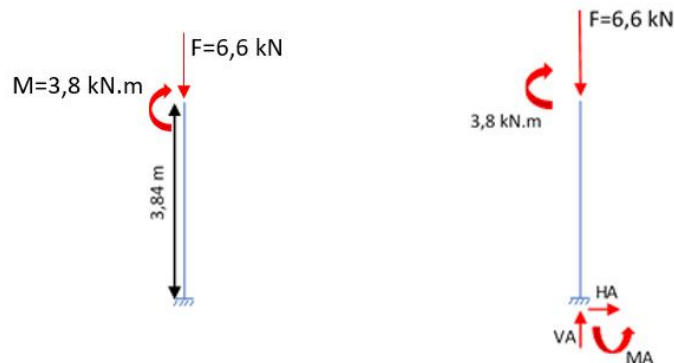


Figura 83 - Representação das reações nos apoios no tramo CB

Calculou-se as reações nos apoios:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \\ \sum MA = 0 \end{array} \right\} \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} VC - 6,6 = 0 \\ HC = 0 \\ MC - 3,8 = 0 \end{array} \right\} \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} VC = 6,6 \\ HC = 0 \\ MC = 3,8 \end{array} \right\}$$

Como não existem esforço, não há nenhuma carga distribuída:

$$Q(x) = 0$$

Momento fletor:

$$M(x) = \int Q(x) dx = \int 0 dx = c,$$

Uma vez que  $c=3,8$  a equação final:

$$M(x) = 3,8$$

Equação diferencial de 2ª ordem:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M(x)}{EI_2} = \frac{1}{EI_2} (3,8)$$

A rotação  $\theta$  :

$$\frac{dy}{dx} = \theta_2 = \int \frac{M(x)}{EI_2} dx = \frac{1}{EI_2} (3,8x + C_3)$$

A flecha ou equação da linha elástica:

$$y_2 = \delta_2 = \iint \frac{M(x)}{EI_2} dx = \frac{1}{EI_2} (1,9x^2 + C_3x + C_4)$$

Para se chegar às constantes  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  e  $C_4$  é necessário aplicar as condições fronteira. Considerando barras rígidas ou incompressíveis pode-se dizer que  $\delta_1(x=0)=0$  e  $\delta_2(x=0)=0$ . Considerando que o ângulo de 90 graus não se altera, pode-se considerar  $\theta_1(x=0)=\theta_2(x=3,84)$ . Como se pode verificar na Figura 84.

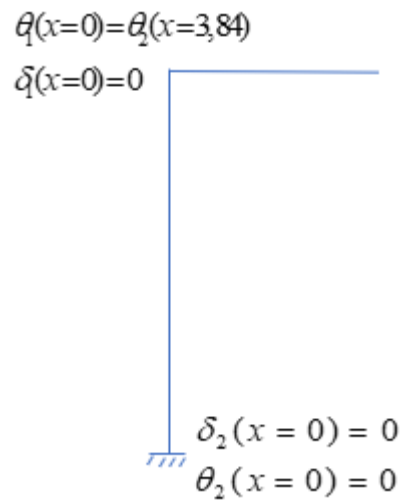


Figura 84 – Condições fronteira aplicadas

Substituindo, fica-se com:

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta_2(x=0)=0 \\ \theta_2(x=0)=0 \\ \theta_1(x=0)=\theta_2(x=3,84) \\ \delta_1(x=0)=0 \end{array} \right\} \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} C_4=0 \\ C_3=0 \\ \frac{1}{EI_1}(C_1)=\frac{1}{EI_2}(14,59+C_3) \\ C_2=0 \end{array} \right\}$$

Neste caso, como se tem dois perfis diferentes, a sua inércia será diferente. Para se conhecer um, necessariamente têm-se que arbitrar o outro. Como no tramo BC é utilizado um perfil de secção quadrada, será este o tramo a arbitrar. Então para este perfil será escolhido um perfil de secção quadrada com 100x100x5 mm, em que o seu  $I_1 = 271 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$  (valor retirado de tabela de perfis Standard Anexo1).

Sendo assim, fica-se com:

$$\left\{ \begin{array}{l} C_4=0 \\ C_3=0 \\ C_1=\frac{0,24}{EI_2} \\ C_2=0 \end{array} \right\}$$

Para terminar o dimensionamento, falta saber qual a flecha máxima.

$$\delta_1 = \frac{1}{EI_1} (-0,24x^4 + 1,1x^3 - 1,9x^2 + \frac{0,24}{EI_2} x)$$

$$\delta_2 = \frac{1}{EI_2} (1,9x^2)$$

A flecha máxima no tramo AB ocorre para  $x = 1,15$  m e no tramo CB para  $x = 3,84$  m. Substituindo fica-se com:

$$\delta_1 = \frac{1}{EI_1} (-1,26 + \frac{0,28}{EI_2})$$

$$\delta_2 = \frac{1}{EI_2} (28)$$

Pode-se concluir que  $\delta_2$  é a flecha máxima.

Admitindo uma flecha máxima de 5 mm (0,005 m):

$$\delta_2 = \frac{1}{EI_2} (28) \leq 0,005 \Leftrightarrow \frac{1}{210 * 10^9 * I_2} (28) \leq 0,005 \Leftrightarrow I_2 \geq 2,67 * 10^{-5} \text{ m}^4 = 2668,57 \text{ cm}^4$$

Consultando as tabelas em Anexo2, a viga escolhida é HEB 220. Uma vez que a viga está posicionada segundo o seu eixo de menor inércia, têm-se que consultar na tabela o  $I_z$ .

Seguidamente é necessário verificar a tensão devida ao momento fletor máximo.

$$\sigma_{Aplicada} = \frac{Mf_{m\acute{a}x} * y_{m\acute{a}x}}{I_{HEB220}} \leq \sigma_{Ced\acute{e}ncia}$$

O momento fletor máximo é 7,56 kN.m.

$$\frac{7,56 * 10^3 * 28,02 * 10^{-3}}{2843 * 10^{-8}} = 7 \text{ MPa} \leq 235 \text{ MPa}$$

Como seria de esperar, por análise dos valores obtidos o dimensionamento pela flecha máxima é mais seguro que o dimensionamento pela tensão de cedência.

### 3.5.2 Projeto e otimização pelo MEF

Neste capítulo mostra-se o projeto e a otimização da estrutura do elevador recorrendo a métodos numéricos pelo MEF. Esta ferramenta é muito útil para um projeto mecânico pois, através desta é possível identificar os pontos críticos, evitando alguns problemas futuros. Também permite obter as tensões de von Mises, deformações, deslocamentos e fator de segurança da estrutura.

Na realização da simulação há que considerar a interação entre os diferentes corpos que compõem o equipamento. Selecionou-se no *software* o contacto global do

conjunto como “*bonded*”. Significa que os componentes em contacto atuam como se fossem um só (colados-*bonded*).

Os locais indicados no *software* para a fixação são os mesmos que se vão utilizar na realidade, de forma a conseguir-se ver a sua reação o mais realista possível, estes podem ser visualizados na Figura 85.

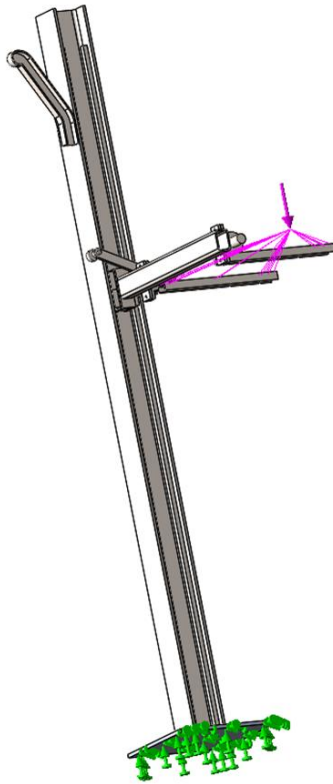


Figura 85 – Fixação da estrutura ao solo

Como se pretende obter valores realistas, aplicou-se a carga remota aplicada no centro de gravidade do contentor, Figura 86, onde se vai utilizar uma carga de 5000 N. Este valor inserido no *software* é a carga de projeto para este equipamento.

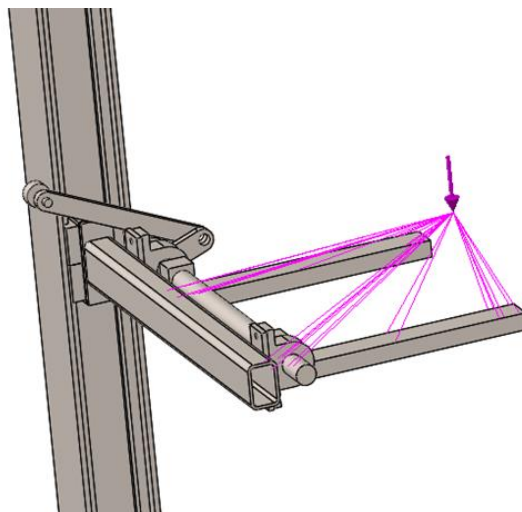


Figura 86 – Carga aplicada

Seguidamente, foi efetuada a convergência de malha. Para esta foram utilizados 2 pontos de convergência, ilustrados na Figura 87 e na Figura 88.

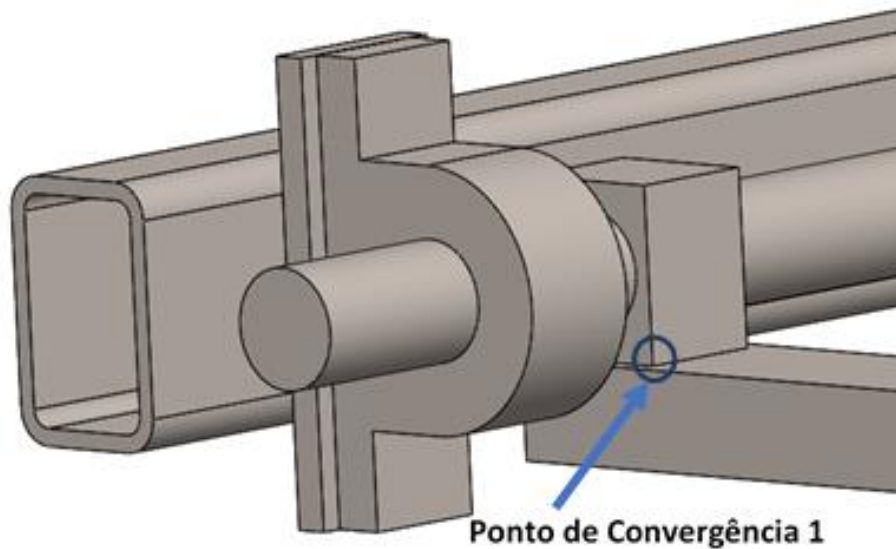


Figura 87 – Indicação do local do ponto de convergência 1

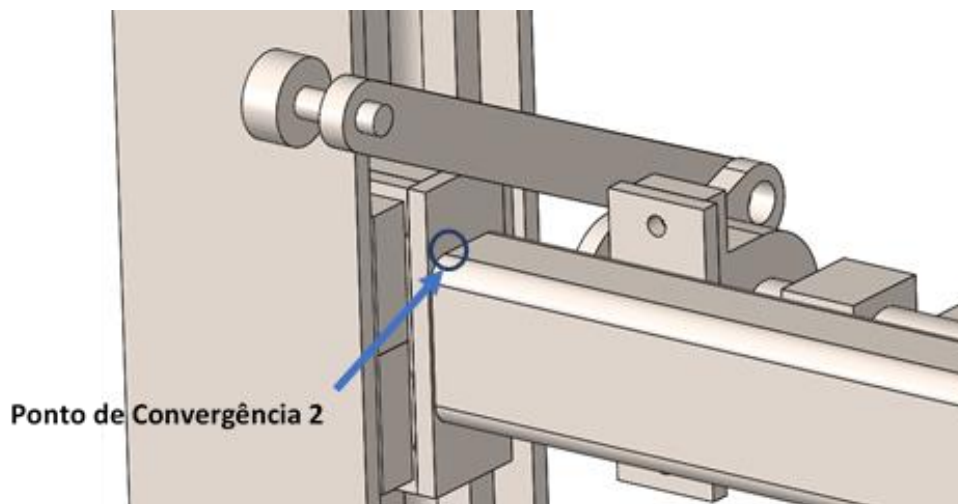


Figura 88 – Indicação do local do ponto de convergência 2

Para a convergência utilizou-se iterações a 4 pontos. Poder-se-ia também ter feito a convergência de malha com iterações a 16 e 24 pontos, contudo, por experiência estes não iriam ter uma variação significativa. Utilizou-se um número mínimo de elementos em um círculo e o rácio de crescimento entre os elementos. Na Tabela 6 estão apresentados os valores de tensão de von Mises e de deslocamento geral do modelo.

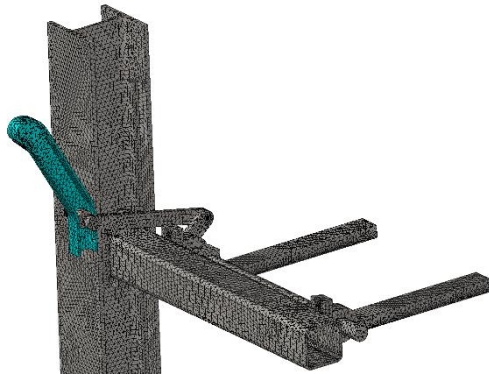
Tabela 6- Tipos de malha utilizados

4 pontos			Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4
Tamanho Elemento	máximo	do	20	17	15	12
Tamanho Elemento	mínimo	do	4	3,4	3	2,4
A volta de um círculo			8	8	8	8
Rácio de tamanho			1,6	1,6	1,6	1,6
Total de Elemento			174984	227965	277406	496790
Tensão (MPa) A			116,7	150,4	161,7	165,8
Tensão (MPa) B			133,9	136,1	139,1	131,4
Deslocamento Máximo (mm)			12,9	12,92	12,93	12,96

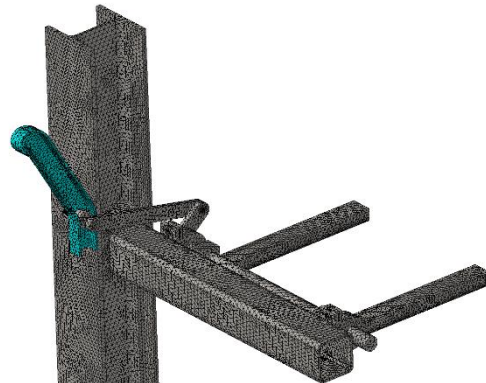
Na Tabela 7 é possível verificar as ilustrações das malhas conforme o refinamento do elemento.

Tabela 7 – Ilustrações das malhas conforme o refinamento do elemento

Malha do ensaio 1



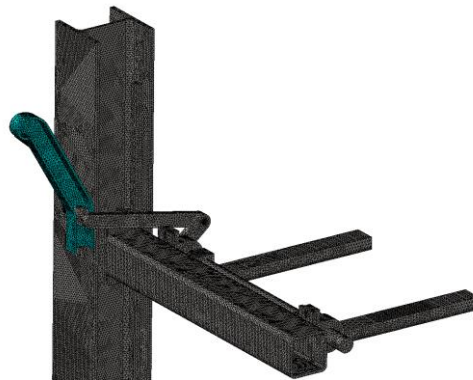
Malha do ensaio 2



Malha do ensaio 3



Malha do ensaio 4



Após a obtenção destes valores anteriormente apresentados, realizou-se o Gráfico 1, Gráfico 2 e Gráfico 3 para uma mais fácil compreensão dos valores obtidos nas simulações, onde se apresentam os valores obtidos durante a convergência.

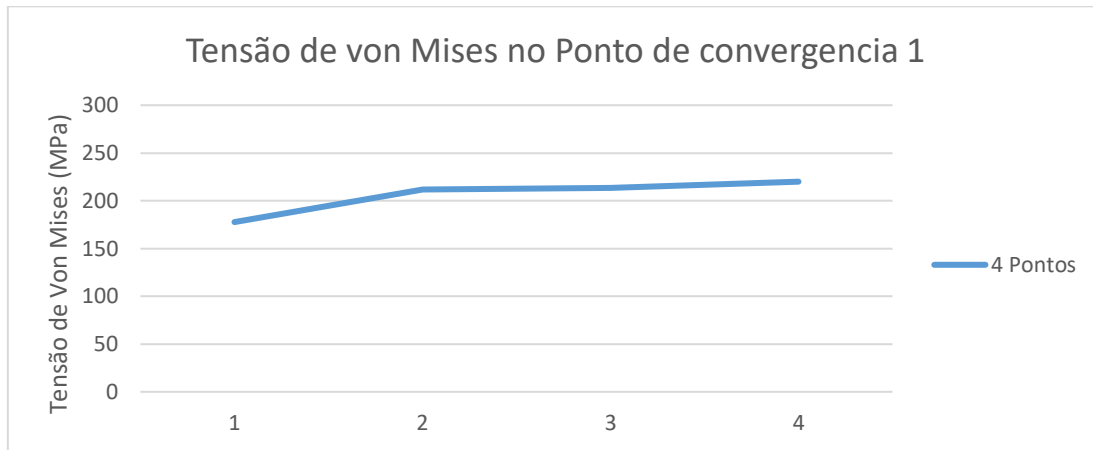


Gráfico 1 - Tensão de von Mises obtidas no ponto de convergência 1

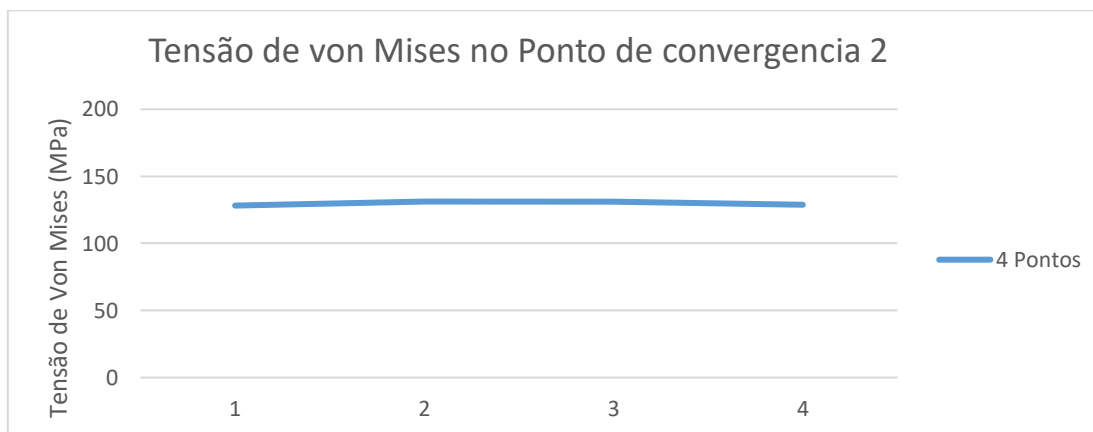


Gráfico 2 - Tensão de von Mises obtidas no ponto de convergência 2



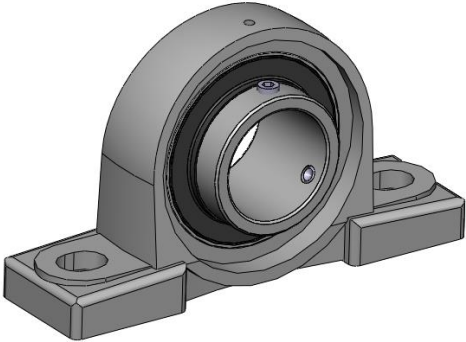
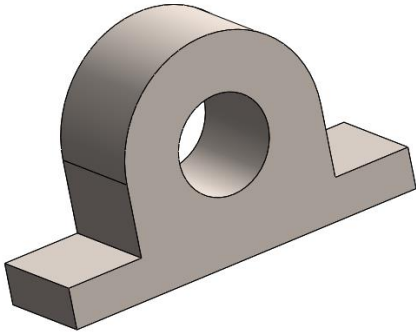
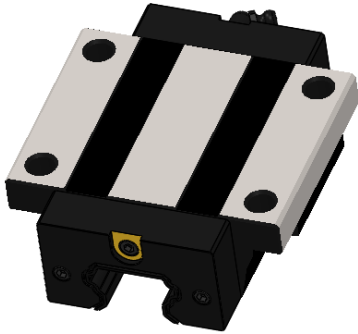
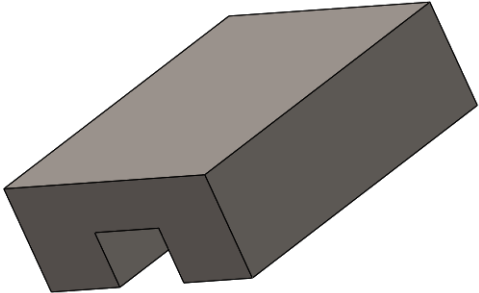
Gráfico 3 - Valores dos deslocamentos obtidos.

Ao fim de analisar todos os dados obtidos da convergência da malha optou-se por utilizar a malha do ensaio 4, pois é onde se verifica a convergência de malha, como se pode verificar no Gráfico 1. Através do Gráfico 3 é possível verificar que, à medida que

a malha foi refinada, o valor do deslocamento máximo manteve-se praticamente sempre constante.

Após todas as configurações efetuaram-se as simulações nos pontos extremos de atuação, ou seja, antes do contentor iniciar o movimento de rotação e no momento da descarga da limalha. Para facilitar o processamento das simulações, as chumaceiras e os carros transportadores irão ser substituídos por um bloco como o mesmo formato e dimensões, como se pode verificar na Tabela 8.

Tabela 8 – Simplificações para simulação

Modelo 3D Original	Modelo 3D Simplificado
	
	

As chumaceiras descarregadas do *site* do fabricante têm geometrias muito complexas e alguns componentes na sua modelação apresentavam-se apenas na forma de superfícies, o que iria dificultar o processamento. Partiu-se do princípio que as chumaceiras e os carros transportadores estão já dimensionados para os esforços anunciados no catálogo e não carecem de simulação para determinação de esforços internos, assim sendo, optou-se por fazer a substituição destes elementos em blocos com o mesmo formato e com as dimensões pretendidas.

Do mesmo modo, para simplificação da simulação foi eliminado o carro de limalha, o motor, a corrente e os carretos. Posteriormente as análises, vai-se verificar se será necessário a melhoria/otimização do equipamento.

Para a simulação da estrutura vai-se analisar a estrutura em 3 posições. A primeira antes de iniciar o movimento de rotação (Figura 89(a)), a segunda numa posição

intermedia (Figura 89(b)) e a terceira simulação será realizada no final da rotação (Figura 89(c)).

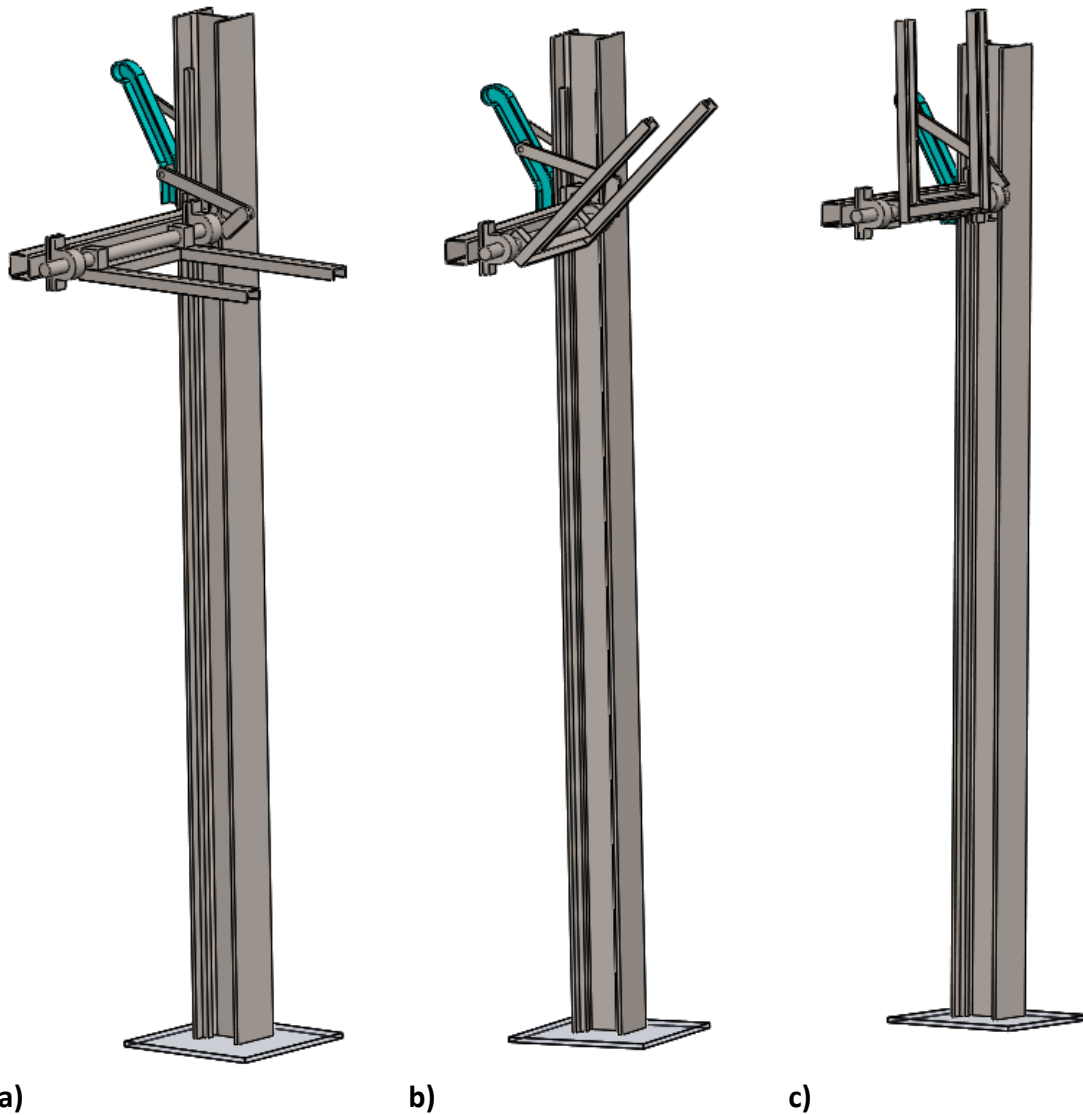


Figura 89 – Posições a analisar: a) Posição inicial; b) Posição intermédia; c) Posição final

Na Figura 90 é possível verificar a distribuição das tensões de von Mises na estrutura do elevador nas três posições. É possível identificar com clareza as zonas mais fragilizadas, isto é, com menor rigidez estrutural, registando-se na Figura 90(a) um valor máximo de tensão próximo dos 600 MPa, na Figura 90(b) um valor máximo próximo dos 300 MPa, acima da tensão de cedência característica do material.

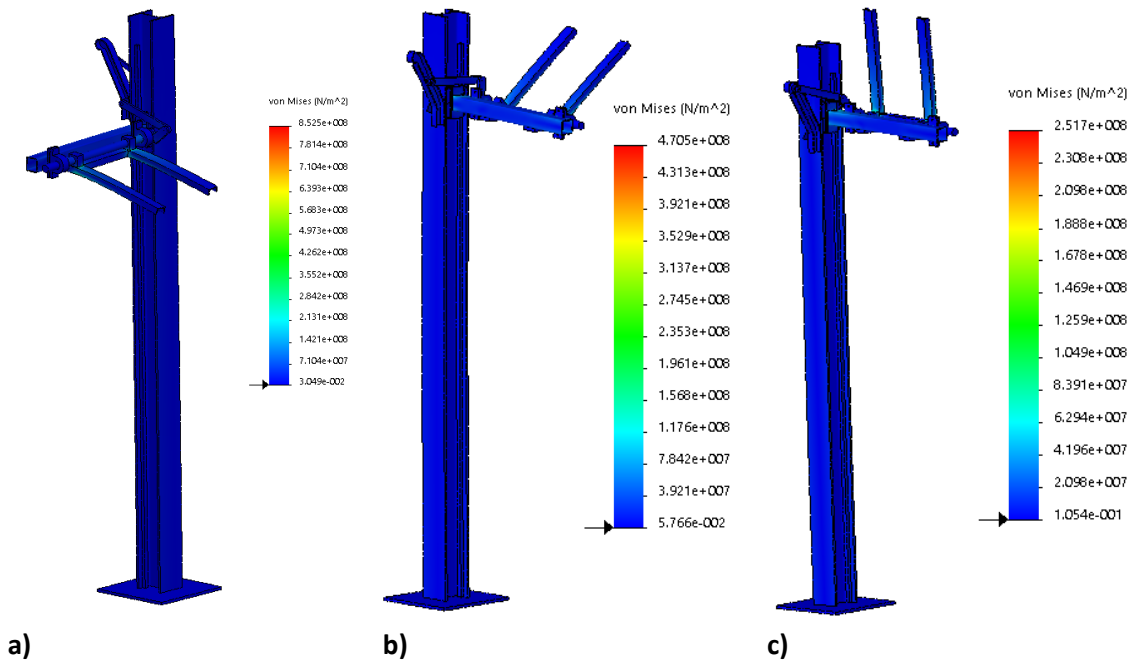


Figura 90 - Ilustração representativa dos resultados relativos a tensões de von Mises: a) posição inicial; b) posição intermédia; c) posição final.

Com a análise dos resultados de tensões, verifica-se a existência de duas posições críticas.

Na Figura 90(a) é onde tem-se o valor de tensão mais elevado, aproximadamente 600 MPa, e verifica-se que aquando do carregamento a plataforma de suporte sofre torção. Na Figura 91 pode-se identificá-los assinalados em tons de verde que, de acordo com a ilustração da distribuição de tensões, é registando um valor de tensão máxima de 564 MPa.

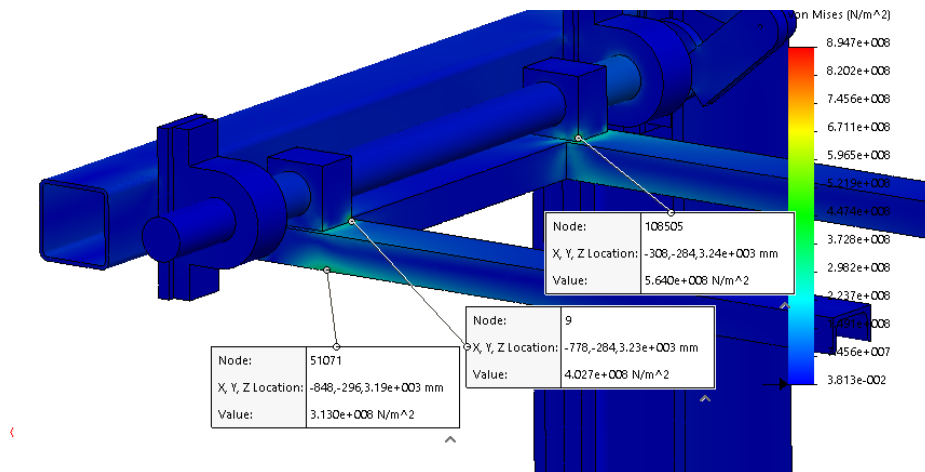


Figura 91 - Ilustração representativa das tensões obtidas, na zona da plataforma.

Relativamente aos deslocamentos, é possível identificar, a partir da Figura 92, que grande parte da estrutura sofre grandes deslocamentos, mostrando claramente a falta de rigidez da mesma.

É registado na Figura 92(a) um deslocamento máximo de 18 mm, na Figura 92(b) um deslocamento máximo de 12,73 mm e na Figura 92(c) de 7,33 mm, ambos na

extremidade dos perfis UPN. É de notar que novamente na posição inicial (a) tem-se a posição mais crítica.

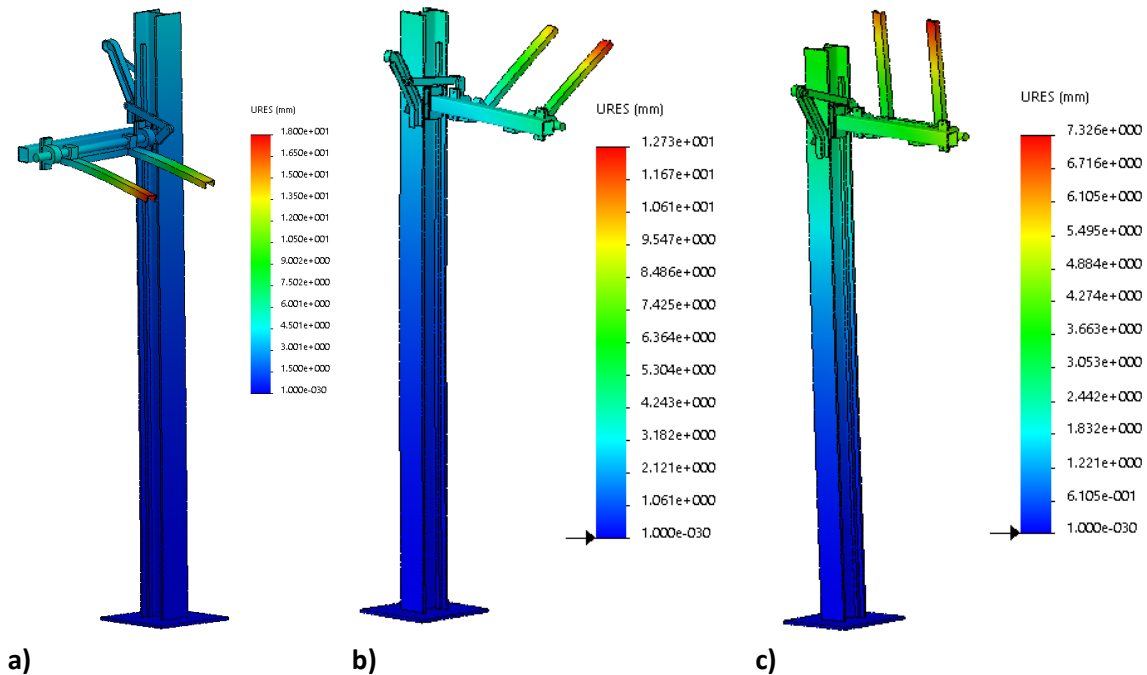


Figura 92 - Ilustração representativa dos resultados relativos a deslocamentos: a) posição inicial; b) posição intermédia; c) posição final.

A distribuição do FOS trata-se de um parâmetro de comparação e apresenta-se como um indicador do correto dimensionamento da estrutura. Permite identificar, tal como representado na Figura 93, a fragilidade da mesma. Registam-se inúmeras zonas da estrutura com FOS inferior a 1, apresentadas nas ilustrações assinalado a vermelho.

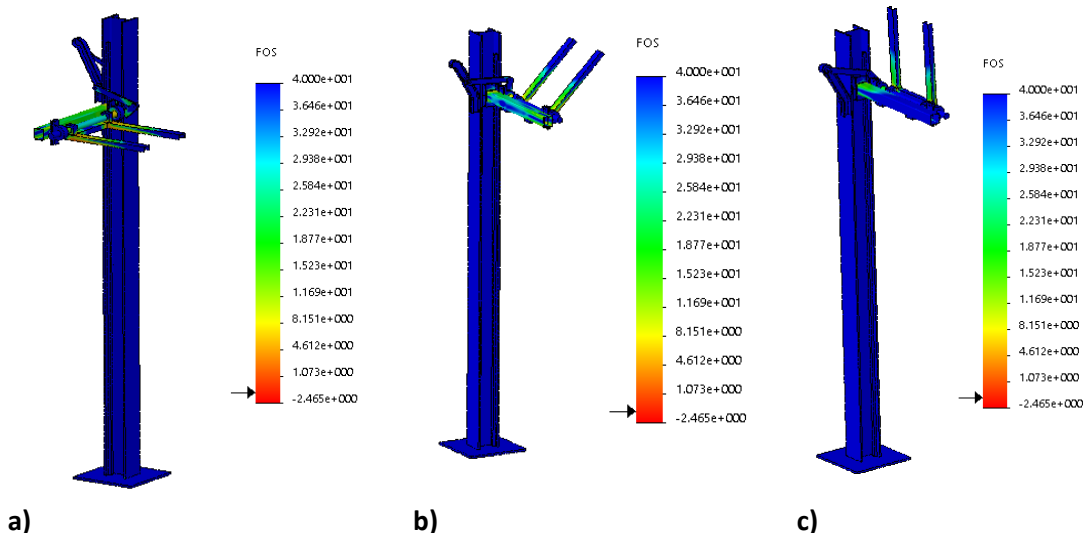


Figura 93 - Ilustração representativa dos resultados relativos à distribuição do fator de segurança: a) posição inicial; b) posição intermédia; c) posição final.

Para além dos valores de tensões registados serem elevados, também os valores de deslocamento são bastante explícitos relativamente à falta de rigidez e instabilidade desta estrutura. É perceptível que o deslocamento registado é fruto de uma

amplificação da flecha, que ocorre na extremidade dos perfis UPN aquando do carregamento, provocada pela torção.

Assim, com os indicadores e os resultados obtidos nas simulações realizadas, é possível confirmar os problemas estruturais.

Foi possível, também, identificar que o pilar é capaz de suportar as solicitações a que está sujeito, dados os valores registados na estrutura do mesmo, resultantes das simulações efetuadas. Assim sendo, considera-se que o pré-dimensionamento feito a posterior está correto.

### Melhorias efetuadas

Depois da análise das simulações anteriores, verifica-se que os principais problemas estariam na plataforma de suporte do contentor, com uma estrutura pouco rígida, sendo assim procedeu-se a diversas alterações a mesma.

Recorreu-se a um processo iterativo de alterações à estrutura da plataforma, com os respetivos testes e simulações, tendo como objetivo obter indicadores de onde seria necessário intervir, procedendo-se assim às devidas alterações à estrutura até ser encontrada uma solução otimizada. Uma vez que se verificou que a posição inicial (a) seria a posição mais crítica, para a otimização vai-se considerar apenas esta posição.

Em primeiro lugar, e visto tratar-se este do mais relevante problema detetado, procedeu-se à alteração da plataforma de suporte, colocando-lhe reforços, eliminando assim os elementos impulsadores da torção verificada, como mostrado anteriormente. Na Figura 94 podem-se verificar as alterações efetuadas marcadas a vermelho.

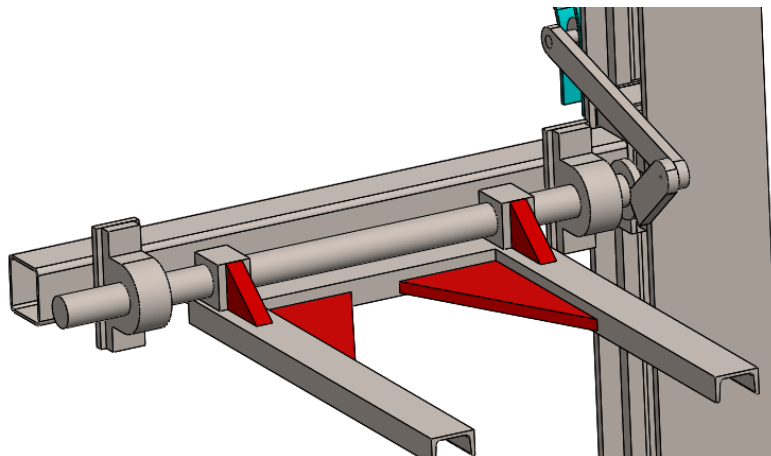


Figura 94 - Apresentação das alterações efetuadas em relação à estrutura da plataforma original.

Na primeira simulação realizada, obtiveram-se, tal como apresentado na Figura 95, valores máximos de tensão e deslocamento de 245 MPa e 13 mm, respetivamente.

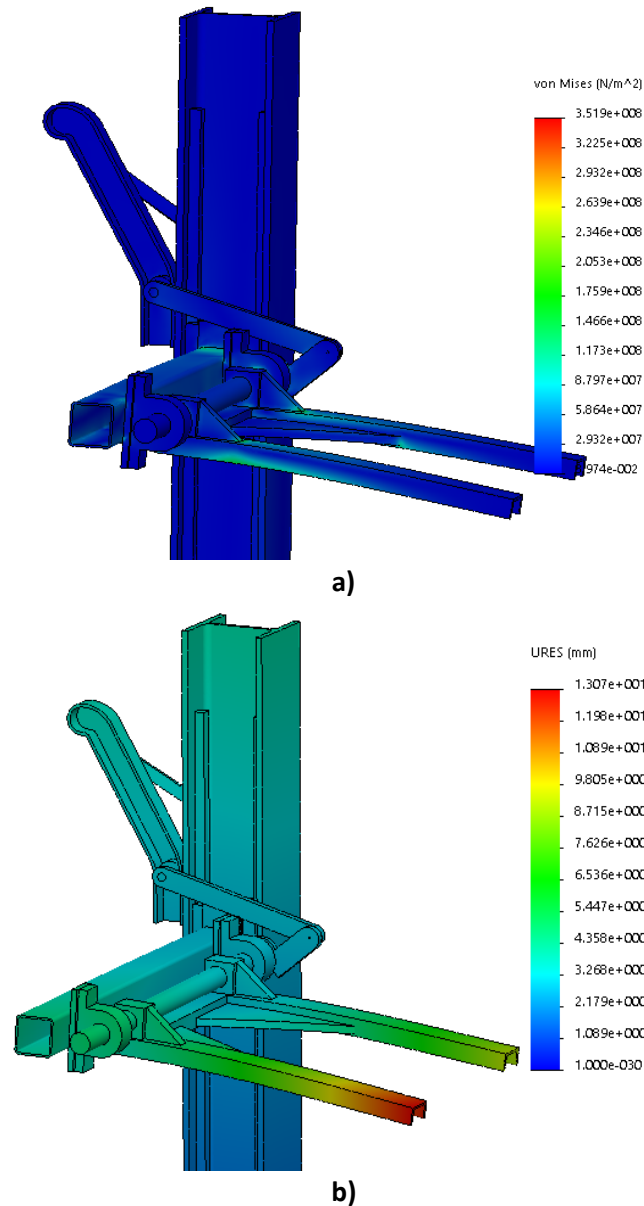


Figura 95 - Resultados obtidos na simulação realizada à primeira iteração: a) distribuição de tensões; b) distribuição de deslocamentos.

Obtiveram-se agora resultados indicativos de uma estrutura significativamente mais estável, em relação à estrutura original. Porém, a tensão máxima registada ainda se encontra superior à tensão de cedência característica do material, e o valor de deslocamento máximo muito superior ao aceite.

Efetuarão-se novas alterações a esta estrutura. Desta vez, procedeu-se a uma alteração mais profunda. Alteraram-se o tubo de seção quadrada para 120×120×10 mm<sup>3</sup>, assim como aumentou-se a secção dos perfis UPN de 80 para 120 de modo a aumentar assim o momento de inércia dos elementos. Na Figura 96 são perceptíveis estas mesmas alterações marcadas a vermelho.

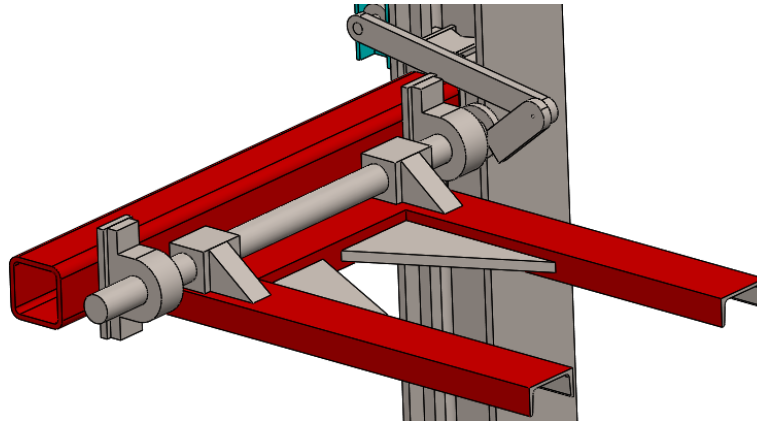


Figura 96 - Apresentação das alterações efetuadas em relação à estrutura da plataforma original

Esta configuração trouxe melhorias significativas, principalmente ao nível dos deslocamentos. Obteve-se agora uma tensão máxima de 190 MPa e um deslocamento máximo de 8,6 mm.

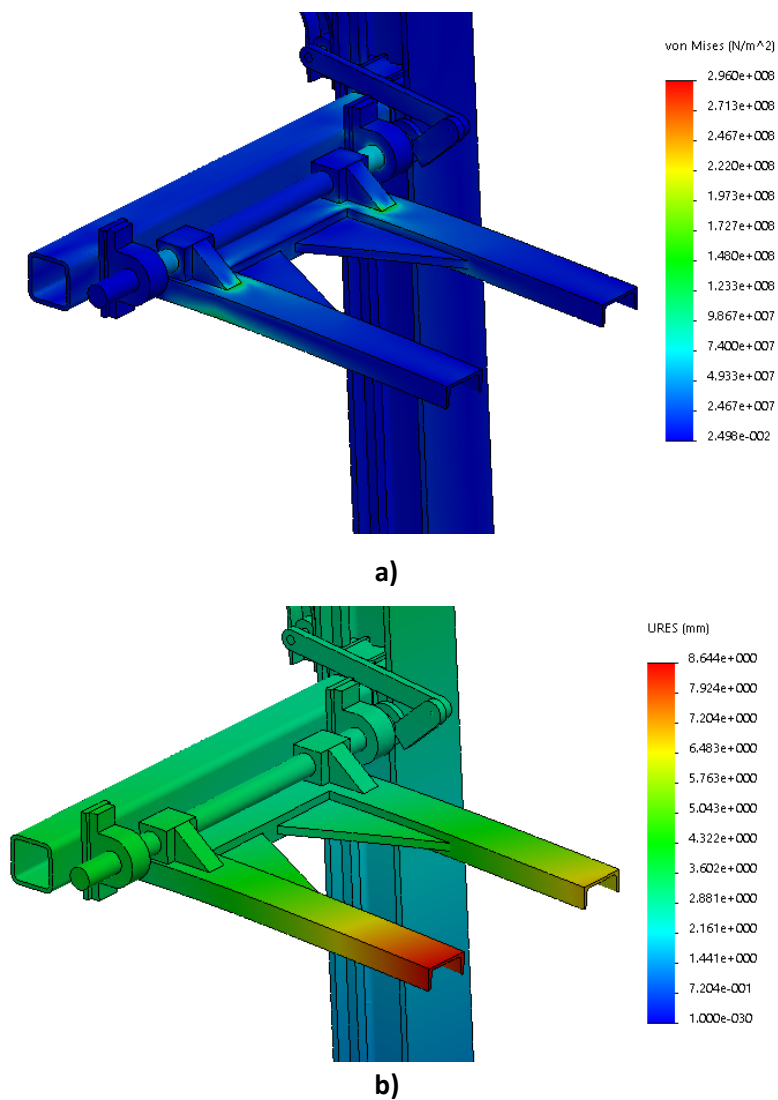


Figura 97 - Resultados obtidos na simulação realizada à segunda iterada: a) distribuição de tensões; b) distribuição de deslocamentos.

Analisando os resultados desta simulação, está-se perante um valor de tensão máximo dentro dos valores desejados, ainda que elevado. Contudo, o deslocamento máximo registado permanece acima de valores aceites, espelhando alguma falta de rigidez desta estrutura.

Neste sentido, e dado que os valores já se encontram mais próximos do pretendido, avançou-se com alterações por forma a compensar as fragilidades desta nova estrutura e eliminar os deslocamentos registados.

Assim, alterou-se o posicionamento dos perfis UPN de modo a aumentar o momento de inércia, com objetivo de contrariar os deslocamentos registados. Encontram-se então na Figura 98 as novas alterações face à configuração anterior.

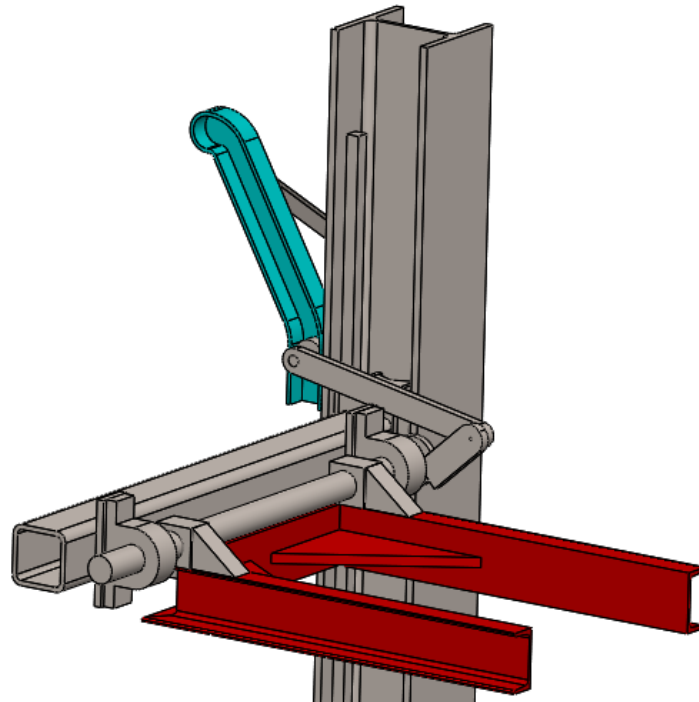


Figura 98 - Apresentação das alterações efetuadas em relação à estrutura da plataforma original

Procedeu-se à simulação estática desta nova configuração e obteve-se uma tensão máxima de 100 MPa e um deslocamento máximo de 7,2 mm, tal como mostra a Figura 99.

Da análise dos resultados obtidos nesta configuração, constata-se novo decréscimo do valor da tensão máxima, abaixo do valor da tensão de cedência. Relativamente aos valores de deslocamento, estes já se encontram no limiar da aceitação. As alterações que se seguiram foram realizadas com o intuito de reduzir os valores de deslocamentos. Como o deslocamento máximo ocorre na extremidade dos perfis UPN, de seguida irá colocar-se um travamento entre os dois perfis de modo a minimizar esse deslocamento (Figura 100).

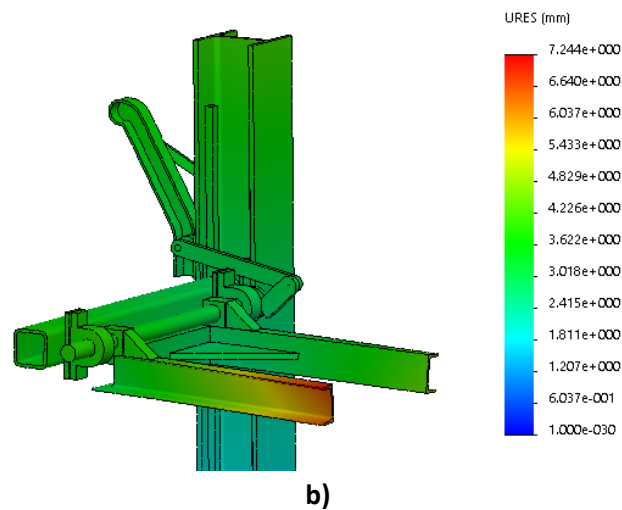
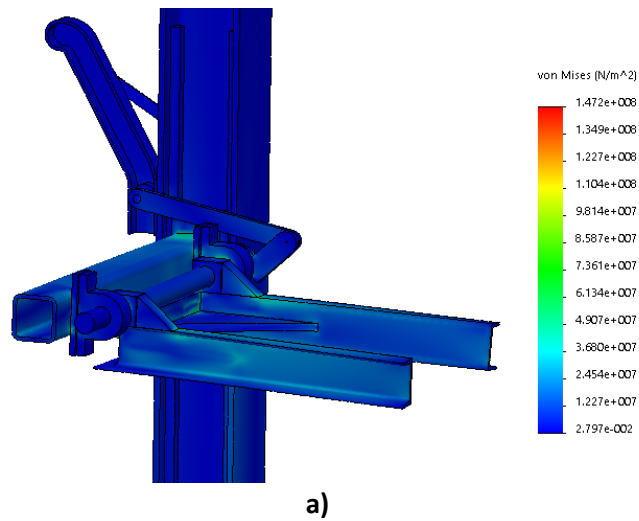


Figura 99 - Resultados obtidos na simulação realizada à terceira iterada: a) distribuição de tensões; b) distribuição de deslocamentos.

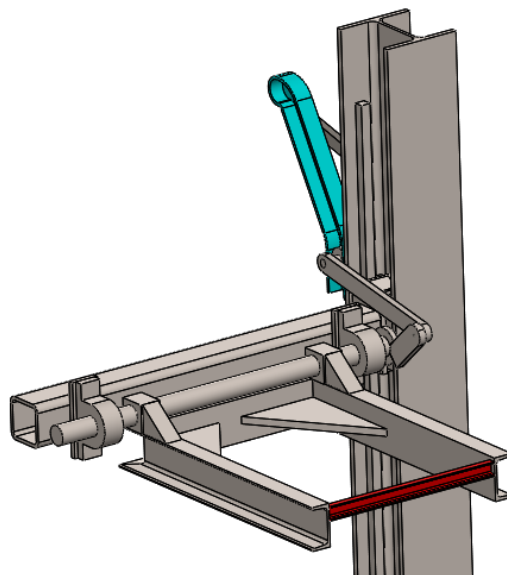


Figura 100 - Apresentação das alterações efetuadas em relação à estrutura da plataforma original

Aquando da simulação, obtiveram-se, como apresentado na Figura 101, uma tensão máxima de 80 MPa e um deslocamento máximo de 6,4 mm.

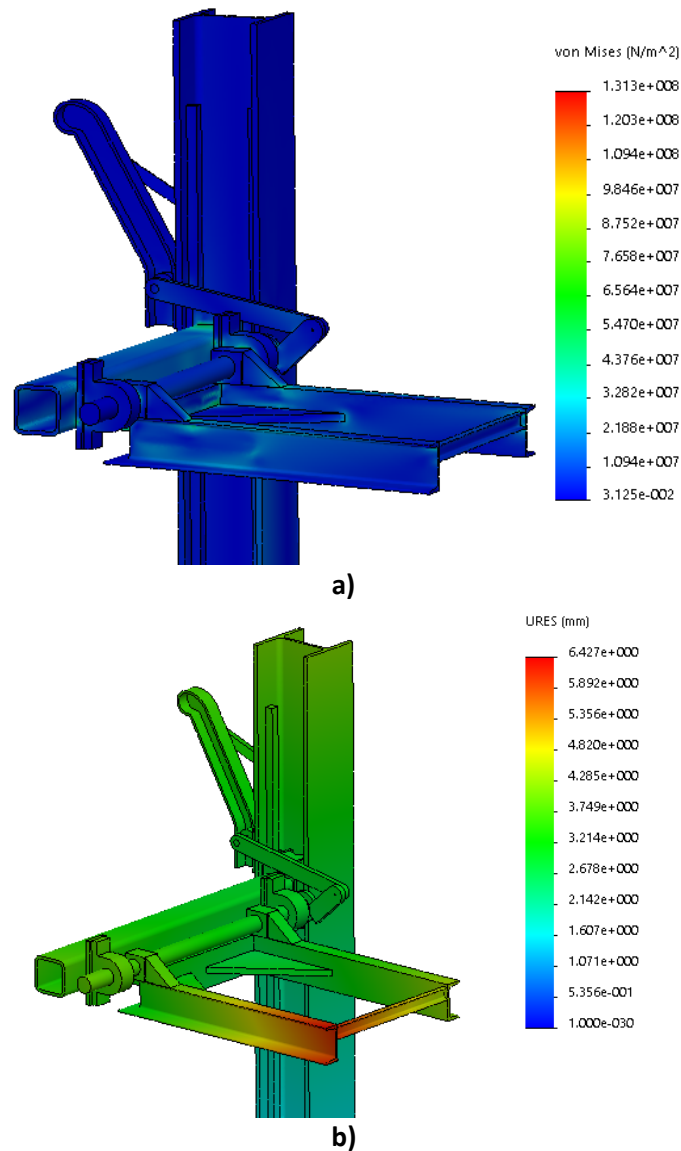


Figura 101 - Resultados obtidos na simulação realizada à quarta iterada: a) distribuição de tensões; b) distribuição de deslocamentos.

Constata-se que se está perante uma solução otimizada para este problema. Tem-se uma estrutura rígida e devidamente sobredimensionada, o que é comprovado não só pelas baixas tensões registadas como também pelos deslocamentos observados próximos dos 6 mm.

Contudo, procedeu-se à alteração do pilar principal para um HEB240, Figura 102, com intuito oferecer mais estabilidade e para verificar a importância da sua alteração.

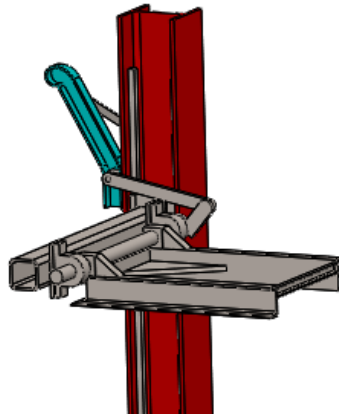


Figura 102 - Apresentação das alterações efetuadas em relação à estrutura da plataforma original

Assim obtiveram-se, como apresentado na Figura 101, uma tensão máxima de 80 MPa e um deslocamento máximo de 5,6 mm. Verifica-se com a alteração do pilar, a nível de tensões não se regista grandes alterações, no entanto obteve-se melhorias a nível de deslocamentos obtendo assim uma estrutura final mais rígida.

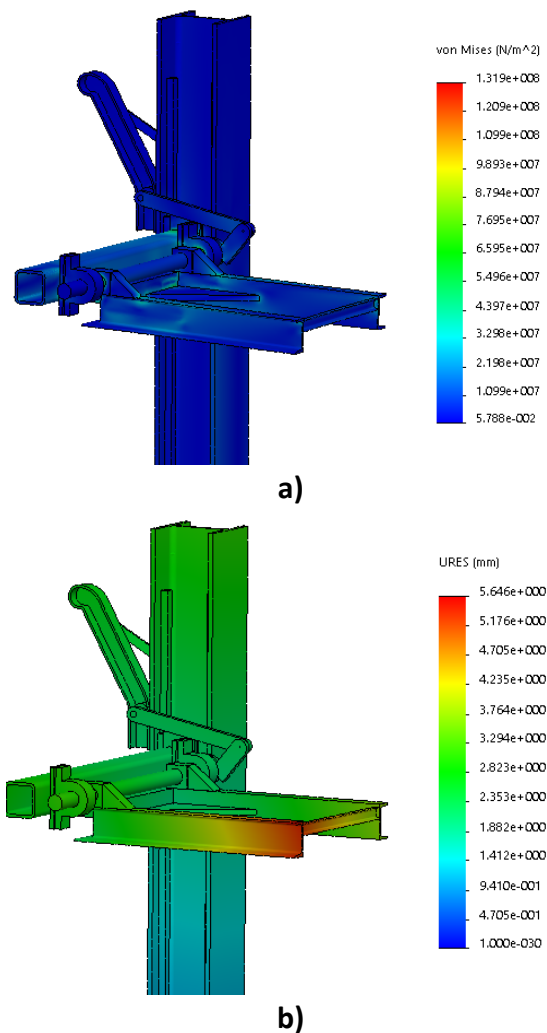
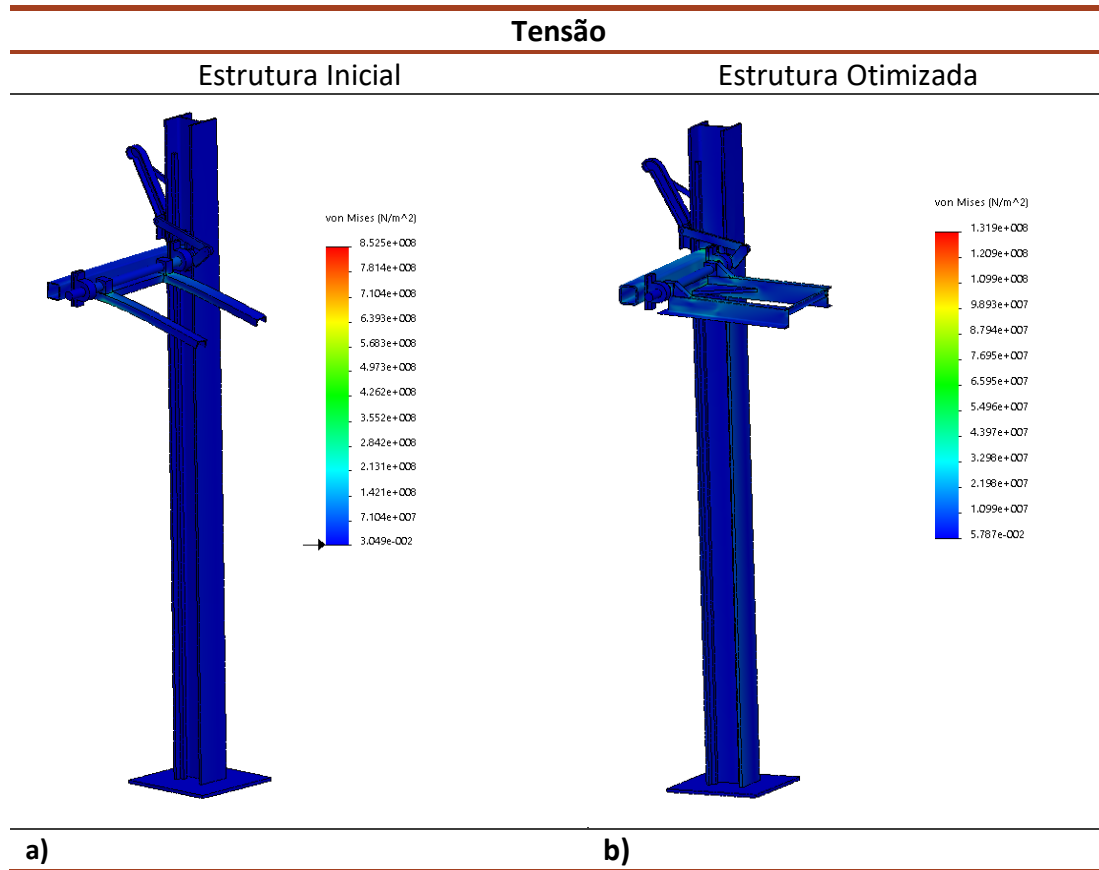


Figura 103 - Resultados obtidos na simulação realizada à quarta iterada: **a)** distribuição de tensões; **b)** distribuição de deslocamentos.

Na simulação desta nova estrutura, Figura 103, foram obtidos valores muito similares aos conseguidos para a configuração anterior. No entanto, obtiveram-se melhorias a nível de deslocamentos, o que resultou numa estrutura final mais rígida, pelo que se adotou esta nova solução para a estrutura final.

Na Tabela 9, Tabela 10 e Tabela 11, apresenta-se a comparação dos resultados obtidos entre a estrutura inicial e otimizada.

Tabela 9 - Comparação dos resultados de tensão obtidos na simulação nas 3 posições: a) e b) são posição inicial; c) e d) são posição intermédia; e) e f) Posição final.



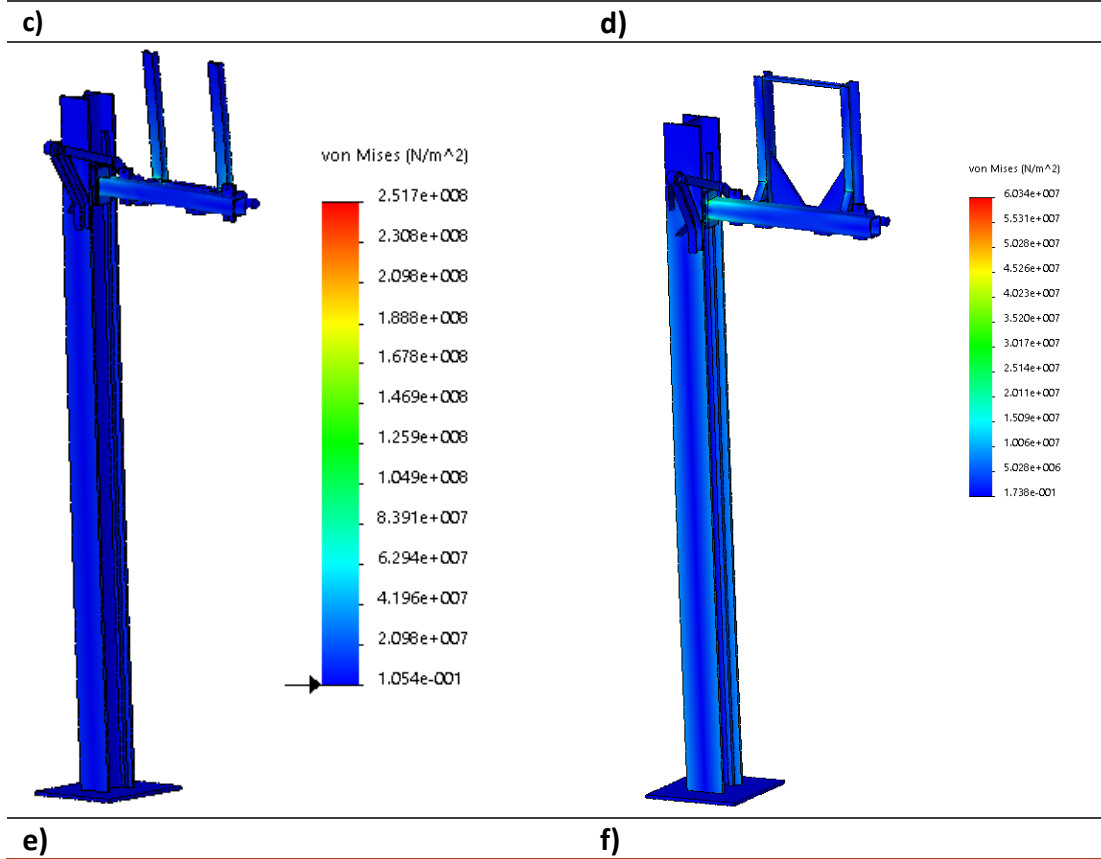
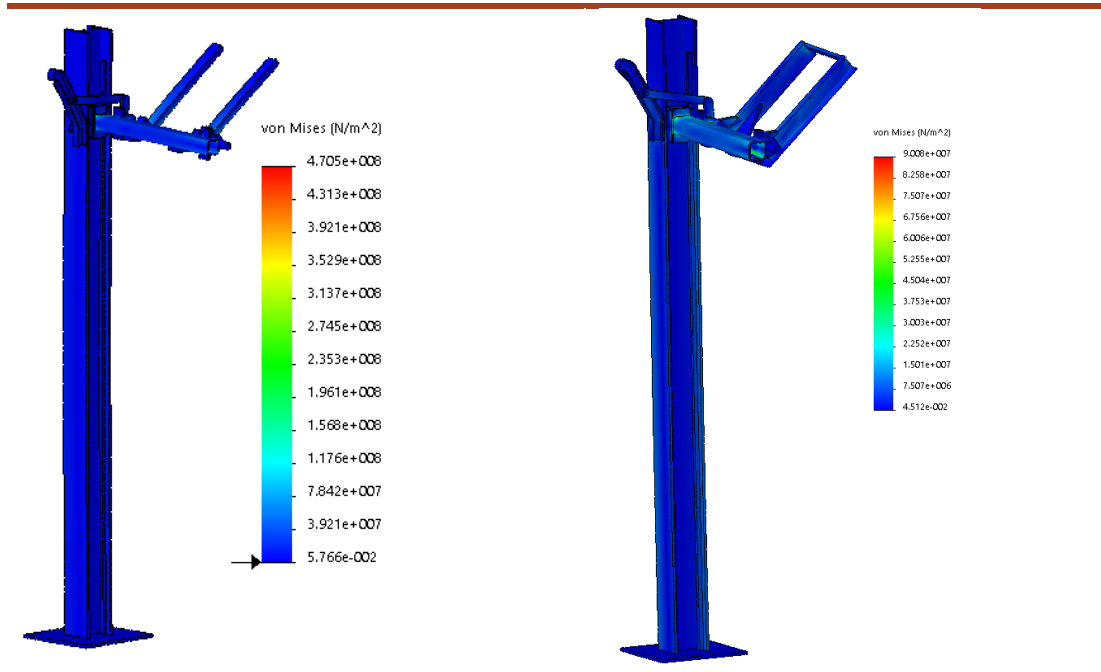
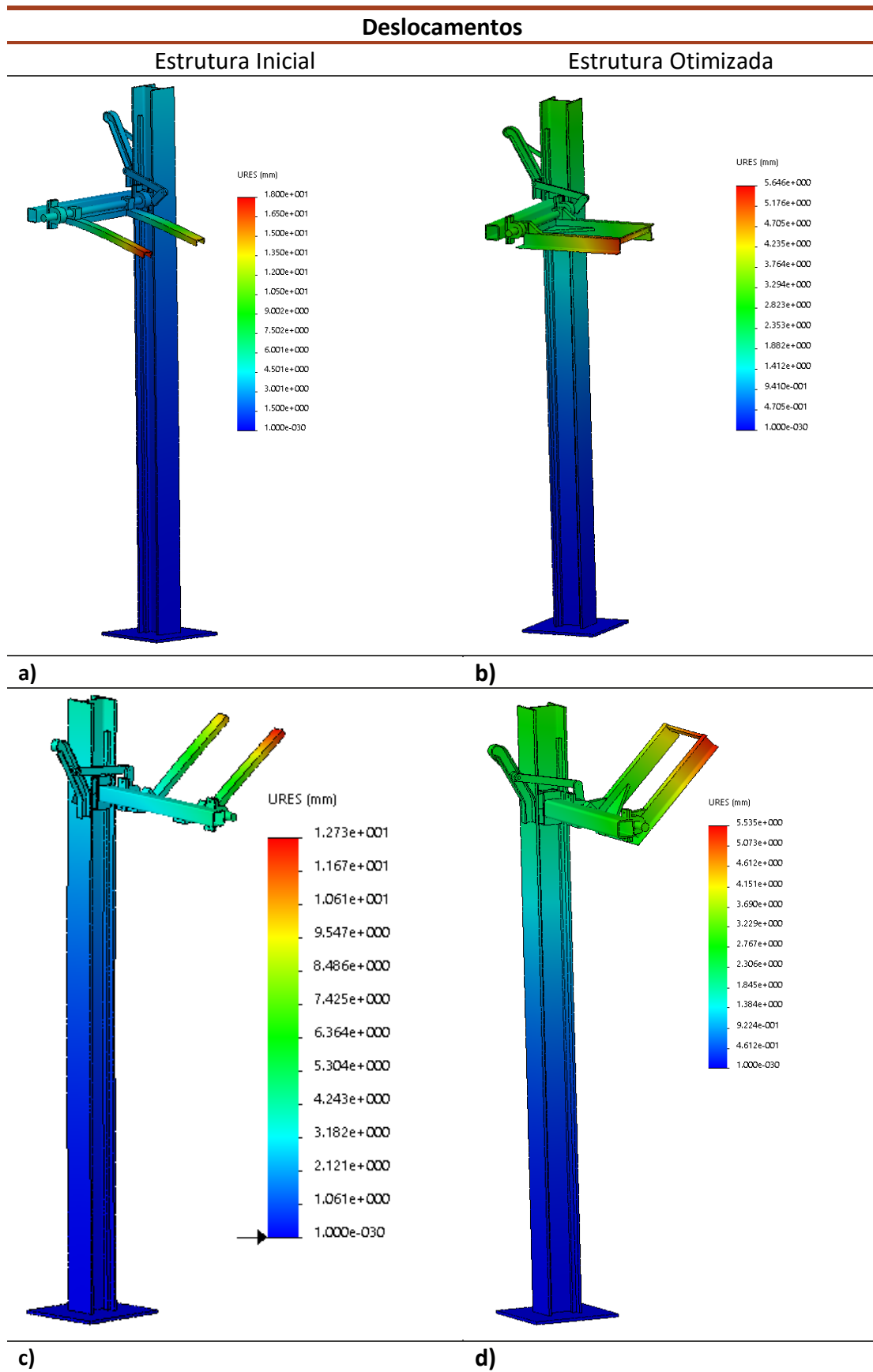


Tabela 10 - Comparação dos resultados de deslocamentos obtidos na simulação nas 3 posições: a) e b) são posição inicial; c) e d) são posição intermédia; e) e f) Posição final.



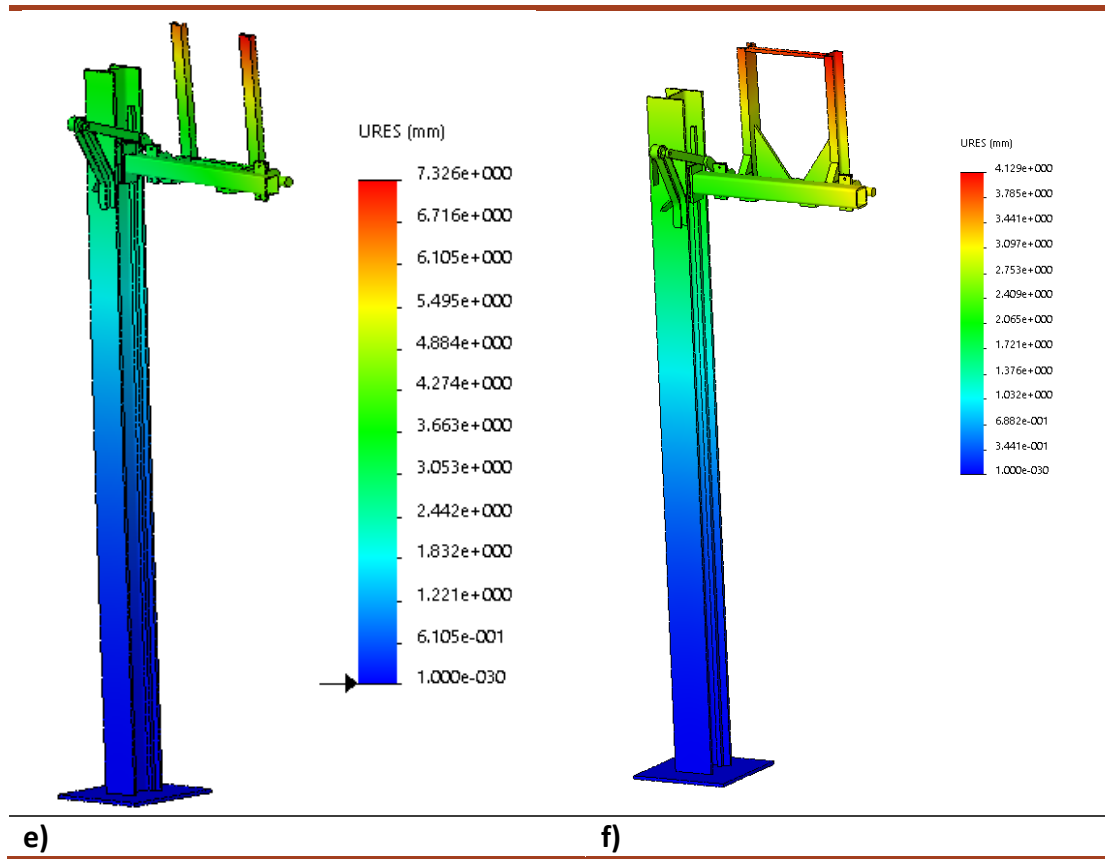
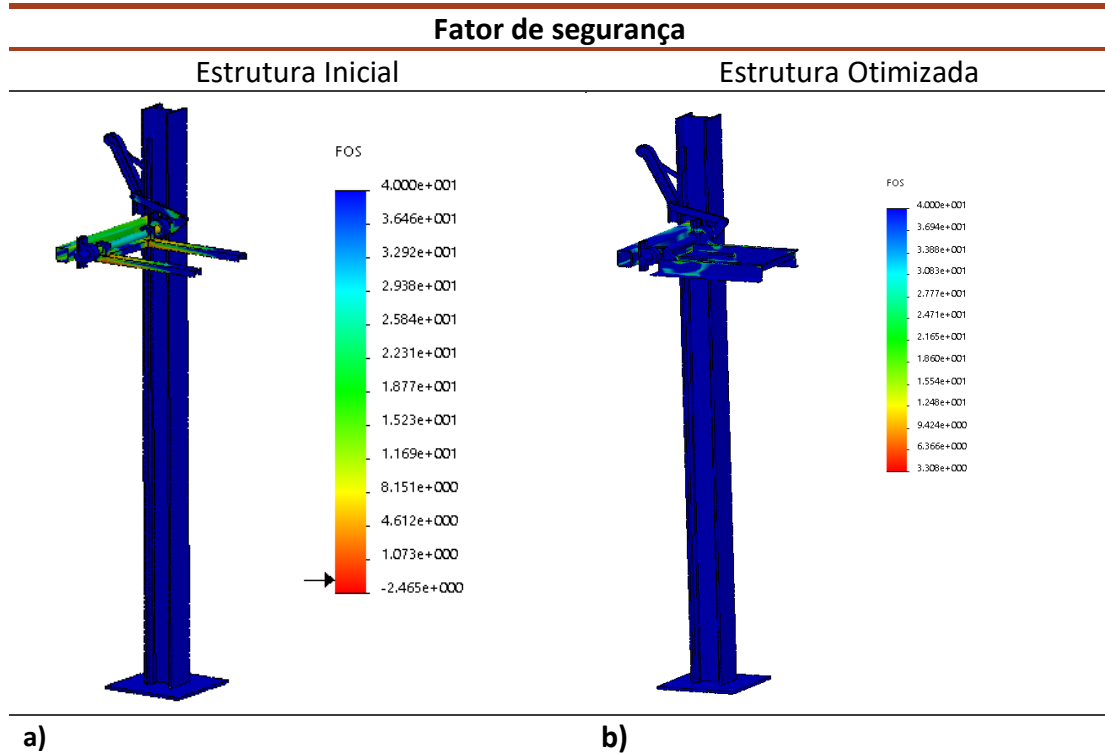
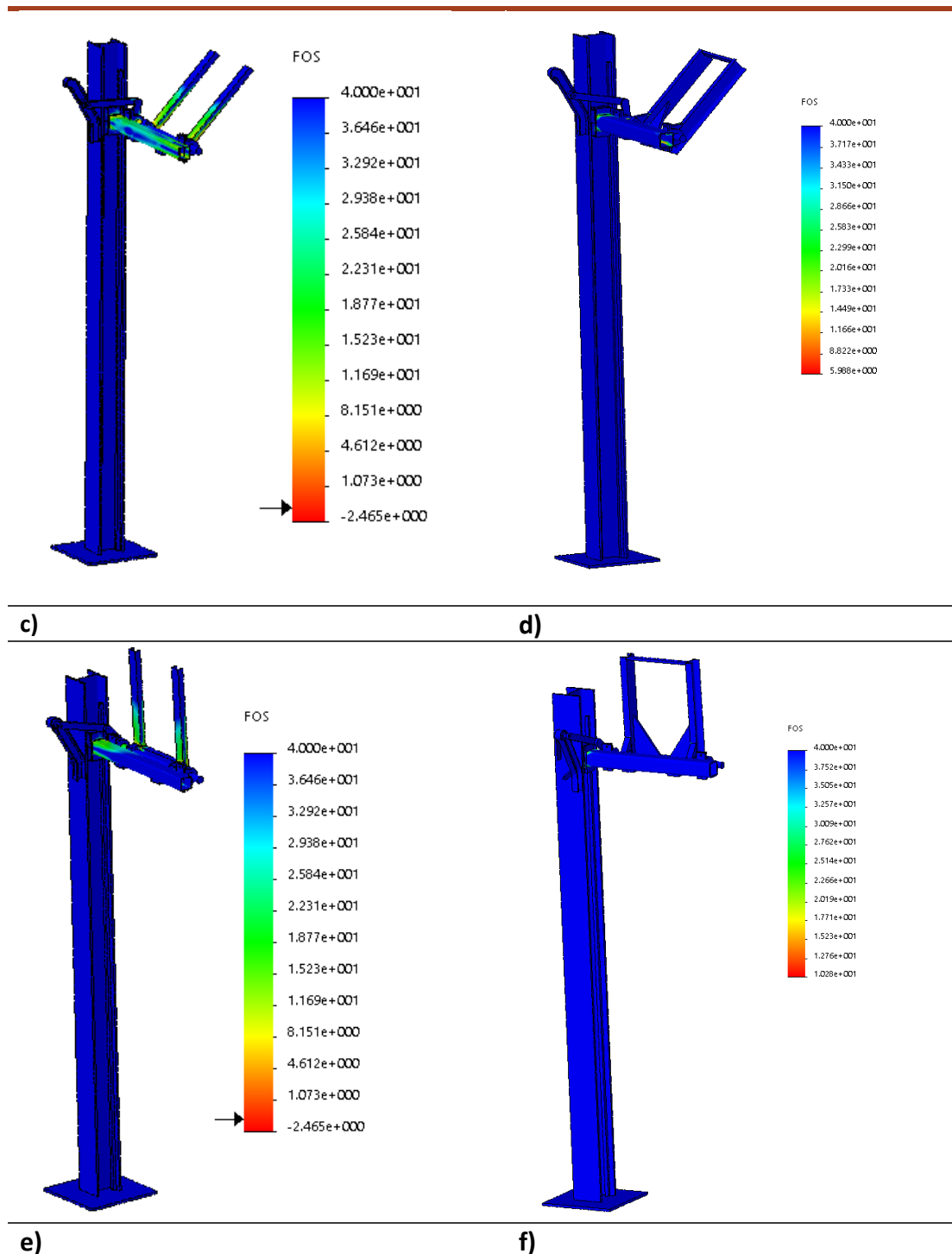


Tabela 11 - Comparação dos resultados do fator de segurança obtidos na simulação nas 3 posições: a) e b) são posição inicial; c) e d) são posição intermédia; e) e f) Posição final.





Através da análise das tabelas (Tabela 9, Tabela 10 e Tabela 11), conclui-se que os resultados obtidos estão todos dentro dos valores pretendidos. Relativamente à tensão, tem-se uma tensão de 80 MPa, muito abaixo da tensão de cedência do material. Quanto aos deslocamentos, após a estrutura otimizada obteve-se um deslocamento máximo de 5,6 mm, valor este que é aceitável para o tipo de estrutura em questão. De notar que praticamente toda a estrutura apresenta valores de deslocamentos inferiores a 2 mm, sendo o deslocamento máximo obtido na extremidade da plataforma de suporte do contentor do lado oposto à viga principal.

Também os valores do coeficiente de segurança encontram-se conforme o desejado para este projeto, obtendo um valor mínimo de 3,3.

### 3.5.3 Dimensionamento do sistema de movimentação

Os acionamentos permitem efetuar toda uma cadeia de acontecimentos, facilitando processos, melhorando tempos e cadências. Pode-se dividir os sistemas de acionamento em três tipos: elétrico, pneumático e hidráulico. O sistema de acionamento elétrico adapta-se bastante bem à estrutura em estudo, apresenta uma elevada eficiência, e o custo é relativamente reduzido, não requerendo de uma fonte energia cara. Também como a carga não é muito elevada pode-se aplicar este sistema de acionamento.

O elevador terá apenas um sistema de acionamento, constituído por um motorreductor. Este é responsável pela elevação do contentor. Este movimento é efetuado por 4 carros que se deslocam sobre os carris. Para o controlo do movimento utilizaram-se 2 sensores mecânicos de posição. Para o dimensionamento do motorreductor seguiu-se o procedimento de cálculo do fornecedor Sew-Eurodrive, para um sistema de elevação com contrapeso. O movimento de elevação deverá demorar cerca de 15 s ou seja, apresentar uma velocidade linear de 0,26 m/s.

Na Tabela 12 estão apresentadas as considerações iniciais.

Tabela 12 – Dados iniciais para cálculo

Massa do elevador	$m_e=700$ kg
Massa a elevar	$m=500$ kg
Contrapeso	$m_c=110$ kg
Velocidade de elevação	$V=0,26$ m/s
Diâmetro do tambor	$D=100$ mm
Rendimento total	$\eta=85\%$
Fator de duração do ciclo	75%
Tempo de trabalho	8h/dia

Dados do motorreductor a considerar:

- Motorreductor com freio eletromecânico (BGE);
- Alívio manual com retorno automático;
- Termístor;
- Fator de serviço  $>1,5$ ;
- Ventilação de metal;
- Redutor com engrenagens helicoidais;
- Eixo maciço.

Para seleção do motor é necessário primeiro saber qual a potência necessária, ou seja, calcular a potência estática:

$$P_s = \frac{F \cdot v}{\eta}$$

$$\Leftrightarrow P_s = \frac{m \cdot g \cdot v}{1000 \cdot \eta} \Leftrightarrow P_s = \frac{((500 + 160) - 110 \cdot 9,81 \cdot 0,26)}{1000 \cdot 0,85} \Leftrightarrow P_s = 1,65 \text{ kw}$$

Consultando o catálogo do fornecedor, com base na potência requerida à velocidade máxima o motor, seleciona-se o motor DRE 90L4, como se pode verificar na Figura 104.

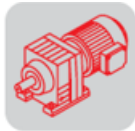
Tipo do motor	$\frac{P_N}{C_N}$ [kW] [Nm]	$n_N$ [rpm]	$I_N$ 380 V [A]	$\cos\phi$	$\eta_{75\%}$ $\eta_{100\%}$ [%] <sup>3</sup>	$I_p/I_N$	$\frac{C_p}{C_N}$ $\frac{C_H}{C_N}$	m [kg] <sup>4</sup>	$J_{Mot}$ [10 <sup>-4</sup> kgm <sup>2</sup> ]	BMG.. BR.. BE..	$Z_0$ BG <sup>1</sup> BGE <sup>2</sup> [1/h]	$M_B$ [Nm] <sup>5</sup>	m [kg] <sup>6</sup>	$J_{Mot\_B}$ [10 <sup>-4</sup> kgm <sup>2</sup> ]
DFT56M4*	0.10 0.66	1600	0.58 <sup>7)</sup>	0.69	- 69.0	3.0	2.2 1.9	8)	1.1	BMG02	8000 -	0.8	8)	1.2
DFT56L4*	0.15 0.72	1600	0.82 <sup>7)</sup>	0.70	- 65.7	2.8	2.2 2.0	8)	1.1	BMG02	8000 -	1.2	8)	1.2
DFR63S4*	0.12 0.68	1680	0.41	0.69	- 64.2	3.6	2.4 2.2	6.1	3.6	BR03	10000 -	2.4	7.6	4.8
DFR63M4*	0.18 1.06	1620	0.58	0.78	- 60.3	3.2	1.8 1.7	6.1	3.6	BR03	10000 -	3.2	7.6	4.8
DFR63L4*	0.25 1.49	1600	0.72	0.81	- 65.1	3.1	1.8 1.7	6.7	4.4	BR03	10000 -	3.2	8.2	5.6
DZ71K4*	0.15 0.85	1680	0.62	0.7	- 69.0	3.5	2.0 2.1	5.7	2.62	BMG05	9000 9900	2.5	8.6	3.52
DZ71C4*	0.25 1.4	1680	0.84	0.72	- 69.0	4.8	2.4 2.4	6.7	4.37	BMG05	8000 9000	5	9.6	5.27
DRS71S4	0.37 2.10	1700	1.11	0.69	71.3 72.3	4.2	1.9 1.9	7.8	4.9	BE05	4800 7600	5	10.2	6.2
DRS71M4	0.55 3.10	1690	1.51	0.71	76 75.4	4.3	2.2 2.1	9.1	7.1	BE1	3300 8800	10	11.7	8.4
DRE80S4	0.75 4.20	1710	1.81	0.8	81.2 80.5	5.2	2.2 1.8	11.5	14.9	BE1	2800 7200	10	14.5	16.4
DRE80M4	1.1 6.1	1730	2.55	0.79	83.2 82.8	6.4	2.7 1.9	14.3	21.5	BE2	2800 7200	20	18	26
DRE90M4	1.5 8.4	1710	3.40	0.8	85.4 84.3	5.9	2.6 2.4	18.4	35.5	BE2	2300 6000	20	23	40
DRE90L4	2.2 12.3	1710	4.90	0.81	86.6 85.3	6.1	2.8 2.4	21.5	43.5	BE5	1800 4500	55	27.5	49.5
DRE100M4	3 16.7	1715	6.5	0.81	87.4 86.3	6.6	3.2 2.5	26	56	BE5	- 6800	55	32	62

Figura 104 - Tabela motores SEW

De seguida mostram-se os dados do motor:

- $P_N = 2,2 \text{ kW}$  ;
- $n_N = 1710 \text{ rpm}$  ;
- $C_H = C_N \cdot \frac{C_H}{C_N} \Leftrightarrow C_H = 12,3 \cdot 2,4 \Leftrightarrow C_H = 29,52 \text{ Nm}$  ;
- $J_M = 43,5 [10^{-4} \text{ kgm}^2]$ ;
- $Z_0 = 1800 [1/h]$ ;
- $m = 27,5 \text{ kg}$ .





R..DR/DZ/DX  
R..D.. [kW]

$P_m$ [kW]	$n_a$ [rpm]	$M_a$ [Nm]	$i$	$F_{Ra}^{1)}$ [N]	SEW $f_B$					$m$ [kg]	
1,5	6,7	2130	255,71	25900	1,40						
	7,1	2010	241,25	26400	1,50						
	8,0	1800	216,28	27100	1,65	R	97	DZ	90L4	115	234
	9,2	1550	186,30	27600	1,95	RF	97	DZ	90L4	130	235
	10	1420	170,02	27800	2,1						
	11	1260	150,78	28000	2,4						
	24	610	47,58	20000	2,6	R	87	DZ	100L6	82	232
						RF	87	DZ	100L6	89	233
	7,9	1800	216,54	14300	0,85						
	8,4	1710	205,71	15700	0,90						
	9,5	1510	181,77*	17200	1,00						
	11	1290	155,34	18500	1,20						
	12	1190	142,41	19000	1,30	R	87	DZ	90L4	74	232
	14	1040	124,97	19700	1,50	RF	87	DZ	90L4	81	233
	15	990	118,43*	19900	1,55						
	17	860	103,65	20000	1,80						
	18	780	93,38	20000	2,0						
	21	680	81,92	20000	2,3						
	15	990	77,24	4500	0,85	R	77	DZ	100L6	55	230
						RF	77	DZ	100L6	61	231
	17	860	102,99	9560	0,95						
	19	775	92,97	10300	1,05						
	21	680	81,80	11000	1,20						
	22	645	77,24	11300	1,25						
	26	550	65,77	11800	1,50	R	77	DZ	90L4	48	230
	30	480	57,68	12200	1,70	RF	77	DZ	90L4	54	231
	33	435	52,07	12400	1,90						
	38	380	45,81	12600	2,2						
	40	360	43,26	12600	2,3						
	46	310	18,80	12700	2,5	R	77	DX	112M8	64	230
						RF	77	DX	112M8	70	231
	23	620	74,17	7340	0,95						
	25	580	69,75	7780	1,05						
	28	510	61,26	8490	1,20						
	30	475	56,89	8800	1,25						
	33	430	51,56	9140	1,40	R	67	DZ	90L4	42	228
	37	385	46,29	9430	1,55	RF	67	DZ	90L4	45	229
	43	330	39,88*	9730	1,75						
	46	310	37,50	9830	1,85						
	53	270	32,27	9820	2,0						
	60	240	28,83	9520	2,2						

Figura 106 - Tabela redutores SEW

Sendo assim, o motorreductor aconselhado é R67 DRE 90 L4 HR TF AL.

### Corrente

Existem três tipos de transmissões de movimento: as correias, as correntes e as engrenagens.

Dos três tipos de transmissões de movimento, as correntes são as que mais se adequam ao caso de estudo. Estas transmitem mais potência, têm uma maior duração e não há perigo de deslizamento (quando comparadas com as correias planas). Apesar de tudo, uma das imposições iniciais de projeto era utilizar transmissões por correntes, uma vez que estas se encontram no *stock* da empresa a que se destina o projeto.

Para a seleção da corrente foi utilizada o catálogo da Rolisa. Para diminuir o esforço do motor foi utilizado um sistema de contrapeso. Sendo assim, poder-se-ia ter utilizado uma corrente para pesos, porém, uma vez que apenas será levantado 500 kg, optou-se por utilizar uma corrente de rolos simples.

Na seleção da corrente foi necessário calcular a força máxima e, para isso, efetuaram-se os seguintes cálculos considerando um  $\varnothing$  100 mm para o carreto:

- Velocidade angular:

$$w = \frac{v}{r} = \frac{0,26}{0,05} = 5,2 \text{ rad/s}$$

- Rotação do redutor

$$n = \frac{w}{\left(\frac{2\pi}{60}\right)} = \frac{5,2}{\left(\frac{2\pi}{60}\right)} = 49,65 \text{ rpm}$$

- Momento

$$M = \frac{9549,2 * P_{Motor}}{n_{Redutor}} = \frac{9549,2 * 2,2}{49,65} = 423,13 \text{ Nm}$$

- Força máxima

$$F_{m\acute{a}x} = \frac{M}{r} = \frac{423,13}{0,05} = 8462,53 \text{ N}$$

Seguidamente consultou-se o catálogo das correntes e verificou-se que uma corrente de rolos simples ISO 06B-1 - DIN 8187 seria a ideal, como se pode verificar na Figura 107.

ISO Nr.		p		b <sub>1</sub> mm mín.	d <sub>2</sub> mm	d <sub>1</sub> mm máx.	a <sub>2</sub> mm máx.	g mm máx.	F <sub>8</sub> min. N	q kg / m ≈
		mm	polegadas							
04-1	6	-		2,80	1,85	4,00	7,4	5,00	3.000	0,12
05B-1	8			3,00	2,34	5,00	8,6	7,11	4.600	0,18
<b>06B-1</b>	<b>9,525</b>	<b>3/8"</b>		<b>5,72</b>	<b>3,28</b>	<b>6,35</b>	<b>13,5</b>	<b>8,26</b>	<b>9.100</b>	<b>0,41</b>
081-1	12,7	1/2"		3,30	3,66	7,75	10,2	9,91	8.200	0,28
083-1	12,7	1/2"		4,88	4,09	7,75	12,9	10,30	12.000	0,44
084-1	12,7	1/2"		4,88	4,09	7,75	14,8	11,15	16.000	0,49
08B-1	12,7	1/2"		7,75	4,45	8,51	17,0	11,81	18.200	0,70
10B-1	15,875	5/8"		9,65	5,08	10,16	19,6	14,73	22.700	0,95
12B-1	19,05	3/4"		11,68	5,72	12,07	22,7	16,13	29.500	1,25
16B-1	25,4	1"		17,02	8,28	15,88	36,1	21,08	58.000	2,70
20B-1	31,75	1 1/4"		19,56	10,19	19,05	43,2	26,42	95.000	3,60
24B-1	38,1	1 1/2"		25,40	14,63	25,40	53,4	33,40	170.000	6,70
28B-1	44,45	1 3/4"		30,99	15,90	27,94	65,1	37,08	200.000	8,30
32B-1	50,8	2"		30,99	17,81	29,21	67,4	42,29	260.000	10,50
40B-1	63,5	2 1/2"		38,10	22,89	39,37	82,60	52,90	355.000	16,99

Figura 107 - Tabela correntes de rolos simples da ROLISA

De acordo com a corrente selecionada, consultou-se o Rolisa para seleção do carreto. Como é utilizado um sistema de contrapeso, só é necessário um carreto para este projeto. O carreto escolhido foi 06B-1 com 32 dentes, como se pode verificar na Figura 108.

Carretos	Z	de	dp	S			D			T		
				dm	D <sub>1</sub>	A	dm	D <sub>2</sub>	A	dm	D <sub>3</sub>	A
				<b>3/8" x 7/32"</b> <b>9,525 x 5,72 mm</b> <b>(06B - 1 - 2 - 3)</b>  para corrente de rolo segundo DIN 8187 ISO/R 606								
	8	28,6	24,89	15	8	20	15	8	25	15	8	32
	9	31,5	27,85	18	8	20	18	8	25	18	8	32
	10	34,5	30,82	20	8	20	20	8	25	20	10	32
	11	37,5	33,80	22	8	25	22	10	30	22	12	35
	12	40,5	36,80	25	8	25	25	10	30	25	12	35
	13	43,5	39,80	28	10	25	28	10	30	28	12	35
	14	46,5	42,80	31	10	25	31	10	30	31	12	35
	15	49,5	45,81	34	10	25	34	10	30	34	12	35
	16	52,5	48,82	37	10	28	37	12	30	37	12	35
	17	55,5	51,83	40	10	28	40	12	30	40	12	35
	18	58,6	54,85	43	10	28	43	12	30	43	12	35
	19	61,6	57,87	45	10	28	46	12	30	46	12	35
	20	64,6	60,89	46	10	28	49	12	30	49	12	35
	21	67,6	63,91	48	12	28	52	16	30	52	16	40
	22	70,6	66,93	50	12	28	55	16	30	55	16	40
	23	73,7	69,95	52	12	28	58	16	30	58	16	40
	24	76,7	72,97	54	12	28	61	16	30	61	16	40
	25	79,7	76,00	57	12	28	64	16	30	64	16	40
	26	82,7	79,02	60	12	28	67	16	30	67	16	40
	27	85,7	82,04	60	12	28	70	16	30	70	16	40
	28	88,8	85,07	60	12	28	73	16	30	73	16	40
	29	91,8	88,09	60	12	28	76	16	30	76	16	40
	30	94,8	91,12	60	12	28	79	16	30	79	16	40
	31	97,9	94,15	65	14	30	80	16	30	80	16	40
	32	100,9	97,17	65	14	30	80	16	30	80	16	40
	33	103,9	100,20	65	14	30	80	16	30	80	16	40
	34	106,9	103,23	65	14	30	80	16	30	85	16	40
	35	110,0	106,26	65	14	30	80	16	30	85	16	40
	36	113,0	109,29	70	16	30	90	16	30	90	16	40
	37	116,0	112,32	70	16	30	90	16	30	90	16	40
	38	119,0	115,34	70	16	30	90	16	30	90	16	40
	39	122,1	118,37	70	16	30	90	16	30	90	16	40
	40	125,1	121,40	70	16	30	90	16	30	90	16	40
	41	129,0	124,43	78	16	35	88	20	50	-	-	-
	42	132,1	127,46	78	16	35	88	20	50	-	-	-
	43	135,1	130,49	78	16	35	88	20	50	-	-	-
	44	138,1	133,52	78	16	35	88	20	50	-	-	-
	45	141,1	136,54	78	16	35	88	20	50	88	20	60
	46	144,2	139,58	78	16	35	88	20	50	-	-	-
	47	147,2	142,61	78	16	35	88	20	50	-	-	-

Figura 108 - Tabela de carretos da ROLISA

**Guias lineares**

Na seleção das guias lineares e carros transportadores lineares consultou-se o catálogo da IKO. Existem dois tipos de carros transportadores, os carros transportadores de esferas e os de rolos. Os carros transportadores de esferas normalmente são utilizados quando a aplicação necessita de maiores velocidades, já os de rolos são utilizados para velocidades menores, mas suportam cargas mais elevadas. Mesmo a carga de projeto, não sendo muito alta, como não se pretende velocidades elevadas, considerou-se a utilização de carros transportadores de rolos. No caso em estudo os carros transportadores vão estar sujeitos principalmente ao esforço representado na Figura 109.

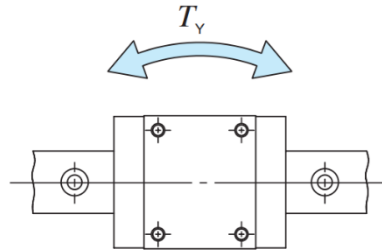


Figura 109 – Esquema para seleção do tipo de esforço (Catálogo IKO)

O momento máximo é de 5,8 kN.m. Tendo em conta o esforço existente, no catálogo do fornecedor é necessário selecionar o valor de  $T_y$ . Na tabela existem dois valores de  $T_y$ , o de cima é para uma unidade de deslizamento, já o de baixo é para duas unidades de deslizamento em contacto próximo. O caso de projeto é o ilustrado na Figura 110.

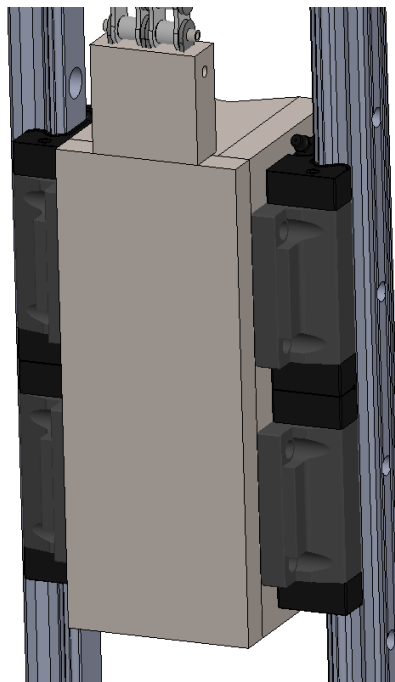


Figura 110 – Ilustração do caso utilizado no projeto

Como se pode verificar na Figura 110, existem 2 unidades com contacto próximo, logo considera-se o valor de baixo. Porém, têm-se duas guias lineares paralelas sendo o esforço suportado pelas duas. Então para a seleção considerou-se um valor de  $T_y \geq 2900$  kN.m, e relativamente ao tamanho considerou-se o tamanho standard.

Consultando a Figura 111, pode-se verificar que o carro transportador LRXS 25 já cumpria os requisitos impostos, no entanto por segurança de projeto foram selecionados os carros transportadores seguintes, ou seja, os LRXS 30.



UCP212			
Bearing	Load ratings	Lubrication	Other conditions
Basic dynamic load rating, radial	C <sub>r</sub>	56000	N
Basic static load rating, radial	C0 <sub>r</sub>	36000	N
Fatigue limit load, radial	Cu <sub>r</sub>	1820	N

Figura 113 - Características unidade de rolamento UCP212

### 3.5.4 Dimensionamento das uniões

Utilizaram-se apenas dois métodos de ligação, ligações soldadas e aparafusadas. A soldadura utilizada foi MIG/MAG. O bloco central é composto por 5 chapas diferentes soldadas entre si, com um cordão de soldadura de 5 mm, Figura 114.

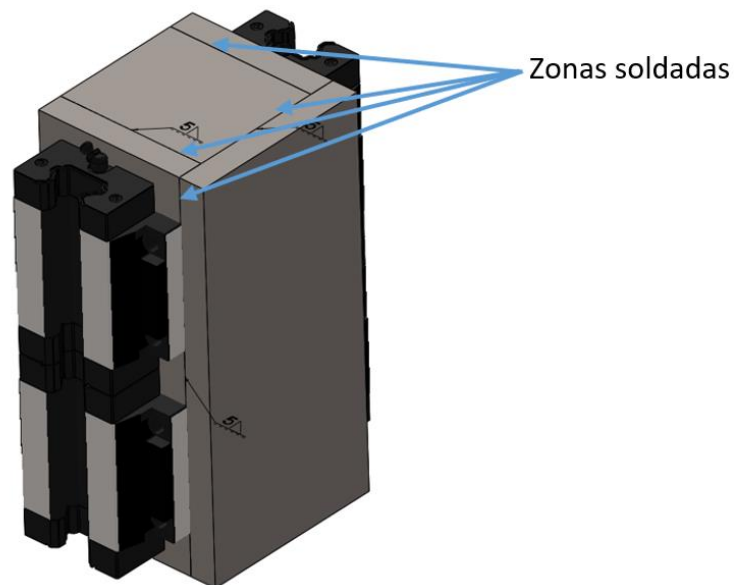


Figura 114- Zonas de soldadura bloco central

Ao bloco central soldou-se o tubo 140x140x10 mm<sup>3</sup> em aço S235 (Figura 115), para este utilizou-se um cordão de soldadura de 5 mm em toda a volta do tubo, mais à frente verifica-se que este valor é aceitável.

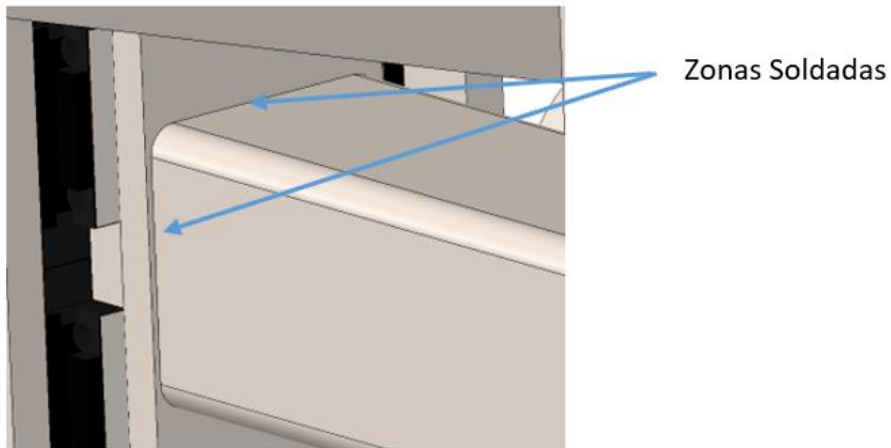


Figura 115 – Zona de soldadura entre o bloco central e o tubo de seção quadrada

De seguida podem-se observar as várias ligações aparafusadas com parafusos DIN 912 M8 (Figura 116) e M10 (Figura 117), que permitem a união das guias lineares ao pilar e a união dos carros transportadores ao bloco central, respetivamente.

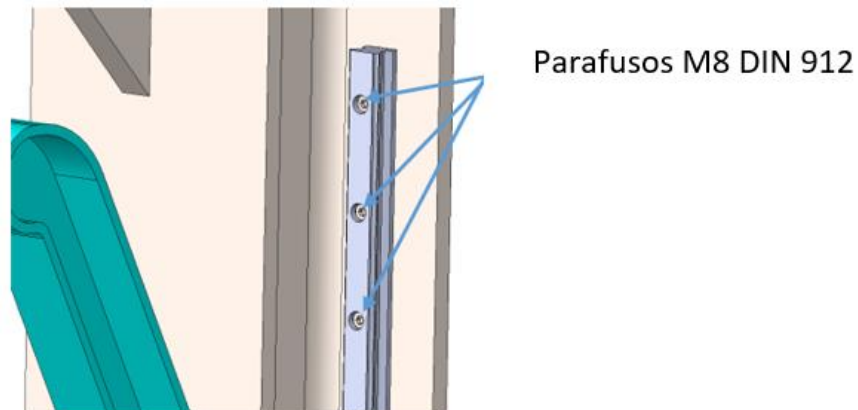


Figura 116 – Fixação por parafusos das guias lineares

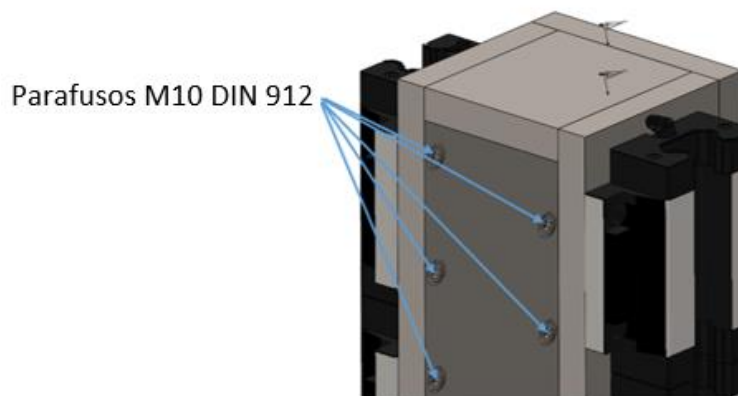


Figura 117 – Fixação por parafusos dos carros transportadores

Na Figura 118 pode-se observar o motorreductor e as chumaceiras fixas onde se utilizaram parafusos DIN 912 M12 e M16, respetivamente.

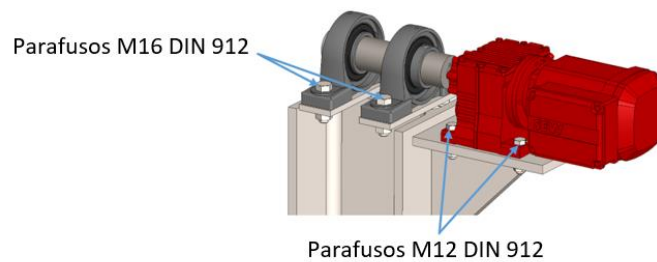


Figura 118 – Fixação por parafusos das chumaceiras

De seguida irá mostrar-se para a ligação do bloco central ao tubo de secção quadrada (admitindo um cordão de soldadura de 5 mm) o cálculo da resistência do cordão de soldadura, recorrendo ao método simplificado do EC3-P1.8 (Anexo3). Assim sendo, tem-se de satisfazer a seguinte condição:

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd},$$

em que  $F_{w,Ed}$  é o valor do esforço atuante na soldadura por unidade de comprimento e  $F_{w,Rd}$  é o valor de cálculo da resistência da soldadura por unidade de comprimento.

O valor de  $F_{w,Ed}$  admite-se como sendo o valor máximo de  $6,67 \cdot 10^3$  N. O cálculo do  $F_{w,Rd}$  é feito através da seguinte equação:

$$f_{w,Rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot B_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 207,8 \text{ MPa}$$


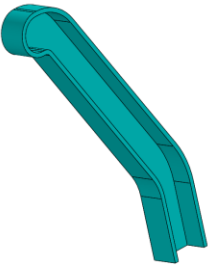
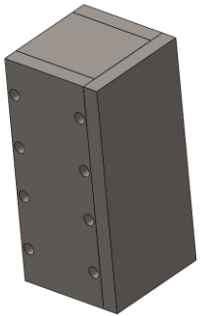
$$F_{w,Rd} = f_{w,Rd} \cdot a \cdot l_{Total} = 207,8 \cdot 10^6 \cdot 0,004 \cdot 0,525 = 436,48 \cdot 10^3 \text{ N}.$$

Como  $F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$ , verifica-se que a soldadura de 4 mm é aceitável.

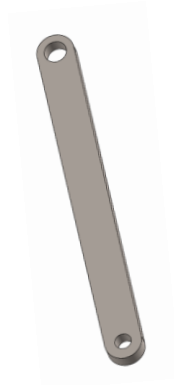
### 3.5.5 Processos de fabrico e desenhos de pormenor

O elevador foi fabricado por diversos processos de fabrico. De seguida irão mostrar-se na Tabela 13 os processos de fabrico bem como o material para cada peça que compõe o elevador. Para proteção contra ferrugem e também para melhor acabamento todas as peças foram submetidas ao tratamento de decapagem e metalização. No Anexo4 estão apresentados todos os planos técnicos dos componentes pertencentes ao elevador.

Tabela 13 – Processo de fabrico e quantidades

Componente	Ilustração	Processo de fabrico	Quantidade
Pilar HEB 240		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material: Aço S235</li> <li>• Corte de serra</li> <li>• Furos: Furadeira</li> <li>• Tratamento: Decapagem e Metalização</li> <li>• Pintura: Cinza</li> <li>• Montagem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1</li> </ul>
Calha		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material: Aço S235</li> <li>• Corte Jato de Água</li> <li>• Soldadura MIG/MAG</li> <li>• Tratamento: Decapagem e Metalização</li> <li>• Pintura: Cinza</li> <li>• Montagem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1</li> </ul>
Bloco central		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material: Aço S235</li> <li>• Corte 4 chapas em Jato de Água</li> <li>• Soldadura MIG/MAG</li> <li>• Tratamento: Decapagem e Metalização</li> <li>• Pintura: Cinza</li> <li>• Montagem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1</li> </ul>

Chapa\_1  
para  
inclinação do  
contentor



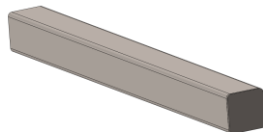
- Material: Aço S235
- Corte em Jato de Água
- Soldadura MIG/MAG • 1
- Tratamento: Decapagem e Metalização
- Pintura: Cinza
- Montagem

Chapa\_2  
para  
inclinação do  
contentor



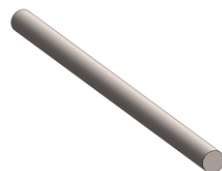
- Material: Aço S235
- Corte em Jato de Água
- Soldadura MIG/MAG • 1
- Tratamento: Decapagem e Metalização
- Pintura: Cinza
- Montagem

Tubo  
quadrangular



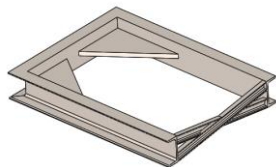
- Material: Aço S235
- Corte de serra
- Tratamento: Decapagem e Metalização • 1
- Pintura: Cinza
- Montagem

Veio



- Material: Aço S235
- Corte de serra
- Tratamento: Decapagem e Metalização • 1
- Pintura: Cinza
- Montagem

Plataforma  
de suporte  
contentor



- Material: Aço S235
- Corte de serra
- Tratamento: Decapagem e Metalização
- Pintura: Cinza
- Montagem

### 3.5.6 Análise de custos

Na análise de custos do material que era necessário para a estrutura fez-se uma estimativa de custo. Toda a estrutura vai ser desenvolvida pela equipa de serralharia da LANEMA, pelo que não será considerado o custo da soldadura, maquinaria e mão-de-obra. Todos os valores apresentados na Tabela 14 são aproximadamente o que se estipula no mercado.

Tabela 14 - Tabela de preços

Artigo	Quantidade	Preço [Uni/m]	Total [Euros]
Conjunto transmissão		630	630
Pilar HEB240	4 m	178,75	715
Tubo seção quadrangular	1.5 m	60	90
Veio Ø55	1.5 m	35	52,5
Perfil UPN	2 m	40	80
Conjunto linear		400	400
Unidade de rolamento	2	55	110
Restantes chapas		150	150
Conjunto Automação		800	800

Como se trata de uma estrutura adaptada às necessidades da LANEMA, não será apresentado um preço final, pois esta estrutura não se destina a venda a público.

### 3.5.7 Sistema de controlo

De seguida mostra-se o processo de desenvolvimento do sistema de controlo do elevador que permite fazer a elevação do contentor. O controlo do elevador é feito com o auxílio de um operador. O sistema tem apenas o movimento de elevação, uma vez que o de rotação é feito com o auxílio de uma calha. O sistema de controlo foi modelado com o recurso ao Método de *grafcet*. O *grafcet* é uma representação gráfica das especificações funcionais de um sistema de controlo e pode ser aplicado a qualquer sistema lógico de controlo de processos industriais [82]. Na Tabela 15 indicam-se todas as siglas utilizadas e a sua função.

Tabela 15- Codificação da simbologia

Sigla	Função
AC	Ativação do sistema
DA	Desativação do sistema
S	Subida do elevador
D	Descida do elevador
LVD	Luz verde
LAM	Luz amarela
LVM	Luz vermelha
MC	Motor para cima
MB	Motor para baixo
S1	Sensor limite Superior
S2	Sensor limite Inferior
EM	Emergência

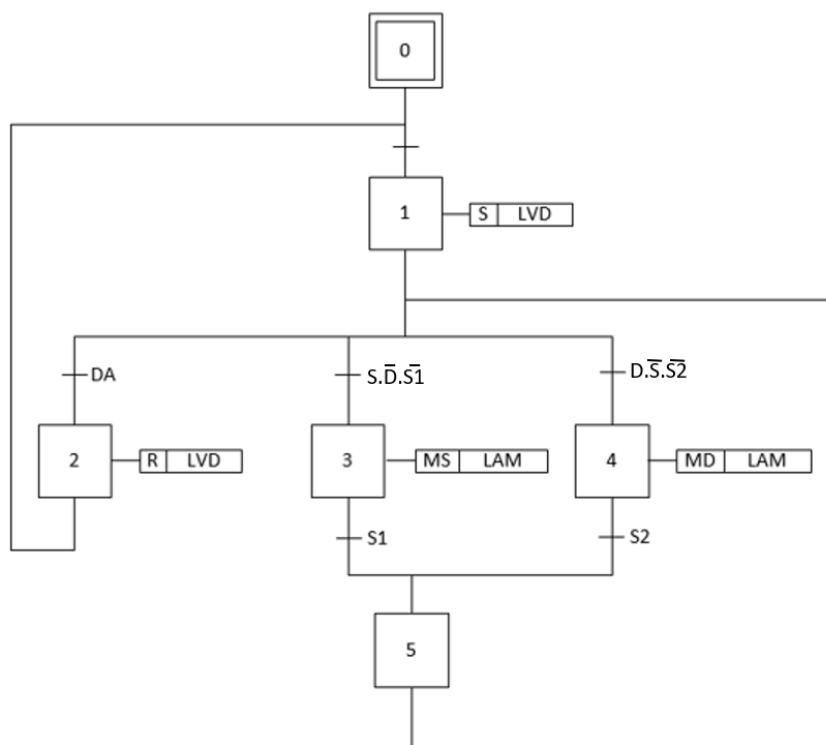


Figura 119 - Grafcet elevação

O sistema de elevação do sistema está representado na Figura 119. A etapa 0 é utilizada para ativação do *grafcet* em que o motor se encontra desligado. Quando se ativa o botão AC, aciona-se o sistema, no entanto o motor neste momento encontra-se em espera, sinalizado esta fase com uma luz verde etapa 1. Após o acionamento existem três opções, ou desativar o sistema, ou ativar a subida do motor ou ativar a descida do motor. Se o operador utilizar a primeira opção desliga a luz verde e desativa o sistema. Caso opte pela segunda opção, a estrutura de suporte do contentor sobe por ação do motor, ativando a luz amarela, etapa 3, parando assim que for ativado o sensor de limite superior. Na terceira opção a estrutura de suporte do contentor desce até que seja ativado o sensor limite inferior.

A paragem de emergência esta representada na Figura 120. O *grafcet* inicia-se na etapa 100, que por ação do sinal de emergência desativa o motor, sendo ativada a luz vermelha.

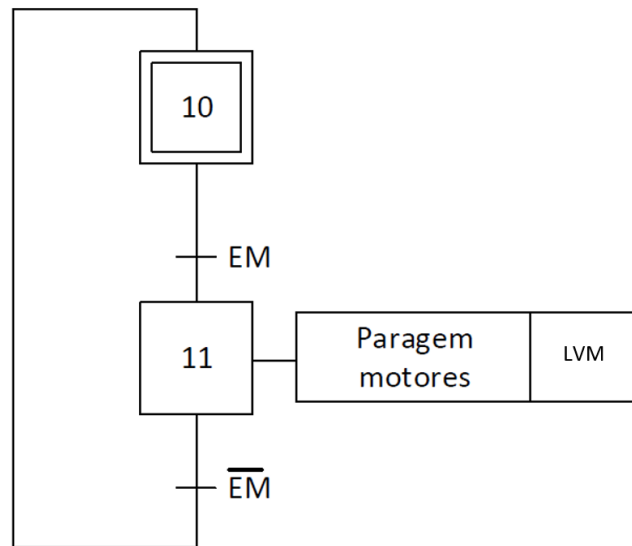



Figura 120 - *Grafcet* emergência

De seguida, na Tabela 16 mostra-se o material necessário para a montagem do quadro elétrico.

Tabela 16- Lista dos principais equipamentos componentes utilizados no equipamento

Item	Quantidade	Imagens
Autómato Siemens Simatic S7 1200 - CPU S7-221	1	
Fonte de alimentação		

---

Botoeiras de 3 botões	1	
Torre de sinalização	1	
Fios condutores	-	
Sensores indutivos	-	
Motor SEW	1	

---

Na elaboração do *grafcet* foram analisados vários fatores, como simplicidade, eficiência e possível má utilização do sistema, zelando assim pelo bom funcionamento do sistema. O sistema criado é simples de utilizar, o operador apenas tem 2 botões, um para mover o contendor para cima e o outro para mover para baixo. Quando o sistema de acionamento a luz de sinalização verde iniciar, quando se inicia o movimento de elevação, o sistema ativa a luz amarela. Caso haja uma paragem de emergência os motores são imediatamente parados, acionando a luz vermelha.

# CONCLUSÕES



## 4 CONCLUSÕES

No início do desenvolvimento do presente trabalho, a TECNOLANEMA dispunha de um processo manual para descarga da limalha no triturador. Nessa altura, o processo era realizado por um operador que manobrava um empilhador, processo este relativamente moroso. O operador promovido para tal tarefa provinha de alguns riscos, colocando em causa a qualidade de todo o processo. Cada vez mais é importante a automatização das indústrias para dar resposta aos avanços tecnológicos vividos nos últimos anos.

Relativamente a este trabalho foram fixados os requisitos a cumprir bem como o valor de carga a suportar pelo elevador, realizando-se vários testes na posição crítica e analisados os resultados. Em função dos resultados obtidos, foi possível analisar e providenciar otimizações a estrutura inicial. O software SolidWorks foi a ferramenta informática utilizada neste trabalho, permitindo a modelação, otimização e esquemas de montagem do sistema.

Depois das otimizações elaboradas, foram realizados desenhos 2D para a produção dos componentes que fazem parte do sistema global, bem como a definição de todos os elementos normalizados e mais tarde os desenhos 3D, para a respetiva montagem por passos do sistema de fixação. Um dos requisitos iniciais a cumprir era otimização do espaço, ultrapassando-se esta situação com um sistema de elevação de coluna com apenas uma viga.

Pode-se verificar que os objetivos foram cumpridos e que o projeto já se encontra a funcionar na empresa em questão, estando apto para exercer a função requerida. Além dos objetivos principais correspondentes à TECNOLANEMA, havia também um desafio que era mostrar que é possível melhorar o processo de manuseamento da limalha, apoiando a indústria metalomecânica atual. A nível pessoal, o desenvolvimento deste trabalho foi um desafio ultrapassado com grande satisfação. Permitiu alcançar os objetivos inicialmente propostos, possibilitando ainda a aplicação, consolidação e aprofundamento dos conteúdos adquiridos no decorrer do curso.

Para trabalhos futuros, seria importante automatizar ainda mais este processo de transporte de limalha. Este sistema pode e deve ser tornado o mais automatizado possível, através da adição de um sistema de transporte da limalha desde as máquinas até ao triturador, o que irá aumentar ainda mais a cadência do processo.



**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES  
DE INFORMAÇÃO**



## 5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- [1] A. F. Santos, *Estruturas Metálicas - Projeto e Detalhes para Fabricação*. 1977.
- [2] E. Daldegan, “Tipos de estrutura metálica: Aprenda de forma simples e rápida.” [Online]. <http://engenhariaconcreta.com/tipos-de-estrutura-metalica-aprenda-de-forma-simples-e-rapida/>. [Consultado a 04-Oct-2017].
- [3] [Online]. <http://sabo34.blog111.fc2.com/blog-entry-266.html>. [Consultado a 04-Oct-2017].
- [4] [Online]. <http://www.archdaily.com/629704/of-process-and-practice-a-conversation-with-studio-fuksas/5550ac60e58e5c000156-of-process-and-practice-a-conversation-with-studio-fuksas-photo>. [Consultado a 04-Oct-2017].
- [5] “Norma para estruturas de aço com perfis tubulares (NBR 16239) entra em vigor.” [Online]. <http://www.tetric.com.br/blog/2013/12/03/norma-para-estruturas-de-aco-com-perfis-tubulares-nbr-16239-entra-em-vigor/>. [Consultado a 04-Oct-2017].
- [6] [Online]. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Branch-pylon-110-kV.jpg>. [Consultado a 04-Oct-2017].
- [7] [Online]. <http://wwwo.metallica.com.br/estrutura-espacial-em-tubos-de-aco>. [Consultado a 04-Oct-2017].
- [8] “Tipos de estruturas metálicas,” 2015. [Online]. <http://premonta.com.br/tipos-de-estruturas-metalicas/>. [Consultado a 04-Oct-2017].
- [9] [Online]. <http://premonta.com.br/dicas-de-estrutura-metalica-para-galpao/>. [Consultado a 04-Oct-2017].
- [10] M. Pfeil, Walter; Pfeil, “Estruturas de aço Dimensionamento prático,” 8ª Edição, p. 382, 2009.
- [11] P. Soares, *Aços - Características e tratamentos*, 6th ed. 2010.
- [12] “Tema 0. El Acero en la Construcción.” [Online]. [http://caminos.udc.es/info/asignaturas/406/contenido\\_publico/recursos/tema00.pdf](http://caminos.udc.es/info/asignaturas/406/contenido_publico/recursos/tema00.pdf). [Consultado a 08-Aug-2017].
- [13] “Classificação dos aços.” [Online]. <https://pt.slideshare.net/iyomasa/classificao-dos-aos>. [Consultado a 23-Sep-2017].
- [14] M. Buzinelli, D. Victoria; Malite, “Dimensionamento de elementos estruturais de alumínio,” *Cadernos de Engenharia de Estruturas*, pp. 1–31, 2008.

- [15] F. J. . Silva, *Tecnologia da Soldadura - Uma Abordagem Técnico-Didática*, Publindúst. Porto: Engebook - Conteúdos de Engenharia e Gestão.
- [16] R. N. M. S. Branco, “Apontamentos - Juntas Soldadas,” 2015.
- [17] A. B. Moura, Marcelo S.F.S; Magalhães, António G.; Morais, *Materiais Compósitos Materiais, Fabrico e Comportamento Mecânico*. 2009.
- [18] “Apontamentos - Liagções de adesivos,” 2016.
- [19] N. A. S. Barbosa, T.M.; Carvalho, M.A.; Sousa, J.P.G.; Sampaio, “Dimensionamento de juntas aparafusadas e aplicação de torque em peças automotivas.”
- [20] E. Ricardo, “Pinos/Cavilhas e Cupilhas.” [Online]. <https://pt.slideshare.net/EltonRicardo/pinos-e-cupilhas>. [Consultado a 01-Oct-2017].
- [21] D. Lima, “Elementos de máquinas curso completo,” 2009. [Online]. <https://pt.slideshare.net/jacsengenharia/elementos-de-mquina-curso-completo>. [Consultado a 01-Oct-2017].
- [22] “Normas.” [Online]. Available: <http://www.chaveta.com.br/chavetas-normas>. [Consultado a 03-Oct-2017].
- [23] “Sistemas de Armazenagem.” [Online]. <http://www.sistemadearmazenagem.com.br/a-importancia-do-sistema-de-armazenagem-para-a-empresa/>. [Consultado a 20-Sep-2017].
- [24] G. McCoy, “Warehouse Automation.,” *Aftermark. Bus.*, vol. 115, no. 7, p. 22, 2005.
- [25] G. N. Krieg, “Kanban-controlled manufacturing systems,” in *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, 2005, vol. 549, pp. 1–242.
- [26] “No Title.” [Online]. <https://www.mecalux.pt/casos-praticos/armazens-automaticos-para-paletes/a-mecalux-conclui-o-processo-de-automatizacao-dos-armazens-da-porcelanosa-grupo-em-castellon>. [Consultado a 28-Sep-2017].
- [27] J. Norberto Pires, “Robótica,” *Revista técnico – científica, robótica.pt automação controlo e instrumentação*, Coimbra, 2013.
- [28] G. Purnell, “Robotic equipment in the meat industry,” *Meat Sci.*, vol. 49, no. 98, pp. S297–S307, 1998.
- [29] A. M. Lopes, “Robótica Industrial,” *Robótica Ind.*, p. 101, 2002.
- [30] “Three types of robotic systems.” [Online]. <https://www.robots.com/articles/viewing/three-types-of-robotic-systems>. [Consultado a 15-Sep-2017].
- [31] “Robotização Industrial.” [Online]. <https://etecmecatronica.wordpress.com/reduzir-custos-operacionais/>. [Consultado a 07-Sep-2017].

- [32] L. C. da Silva, "Dimensionamento de equipamento para transporte de cargas - Pórtico dupla viga em balanço," Universidade Federal Fluminense, 2016.
- [33] H. T. C. Moreira, "Projeto da estrutura e sistema de movimentação robotizado de linha automática de corte de chapa," Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2013.
- [34] M. G. Franceschi, Alessandro de; Antonello, "Elementos de Máquinas," Brasil, 2014.
- [35] "Utilização independente sem vias de ponte rolante adicionais." [Online]. <http://www.demagcranes.pt/cms/site/pt/lang/pt/page114472.html>. [Consultado a 20-Sep-2017].
- [36] "Ponte rolante." [Online]. [https://www.ghcranes.com/pt/referencias/?imgref=Polonia\\_Damenalkon.JPG](https://www.ghcranes.com/pt/referencias/?imgref=Polonia_Damenalkon.JPG). [Consultado a 20-Sep-2017].
- [37] G. S. Remor, "Projeto conceitual de um pórtico rolante para movimentação de pallets," FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA, 2012.
- [38] [Online]. <http://www.brevil.ind.br/2015/produtos.php?c=7>. [Consultado a 20-Sep-2017].
- [39] [Online]. <http://www.metalurgicaegorges.com.br/pontesrolantes.html>. [Consultado a 20-Sep-2017].
- [40] [Online]. <http://www.vertikal.net/en/news/story/6646&action=email/>. [Consultado a 22-Sep-2017].
- [41] [Online]. Available: <http://www.blotti.com.br/>.
- [42] "Transportador de Rolos." [Online]. <http://www.dominissiniroletes.com.br/transportador-roletes.php>. [Consultado a 15-Sep-2017].
- [43] "Transportadores de Rolos Acionados." [Online]. <http://www.logitecsistemas.com.br/transportadores-rolos-acionados.php>. [Consultado a 17-Sep-2017].
- [44] "Transportadores de roletes acionados." [Online]. <http://www.transliftbr.com/site/produtos-servicos/transportadores/transportadores-leves/transportadores-de-roletes-motorizados>. [Consultado a 1-Sep-2017].
- [45] "Roller Conveyors." [Online]. <http://www.titanconveyors.com/products/roller-conveyors>. [Consultado a 17-Sep-2017].
- [46] "Transportadores industriais." [Online]. <http://www.jpm.pt/pt/produtos/transportadores-industriais>. [Consultado a 04-Oct-2017].
- [47] "Transportadores de Rolos Livres." [Online].

- <http://www.logitecsistemas.com.br/transportadores-rolos-livres.php>. [Consultado a 20-Sep-2017].
- [48] “Monta Carga Tanner Elevadores.” [Online]. <http://tanner.com.br/>. [Consultado a 20-Sep-2017].
- [49] “Material Lifts.” [Online]. <https://logismarketpt.cdnwm.com/ip/transporel-plataforma-para-elevacao-de-cargas-catalogo-geral-plataformas-para-elevacao-de-cargas-660196.pdf>. [Consultado a 20-Sep-2017].
- [50] “Elevador para paletes - PRORUNNER MK9.” [Online]. <http://www.directindustry.com/pt/prod/qimarox/product-37637-1199029.html>. [Consultado a 20-Sep-2017].
- [51] “As vantagens e desvantagens da utilização de diferentes tipos de Empilhador,” *abcarticulos*, 2016. [Online]. <http://pt.abcarticulos.info/article/as-vantagens-e-desvantagens-da-utilizao-de-diferentes-tipos-de-empilhador>. [Consultado a 24-Sep-2017].
- [52] [Online]. <https://toyota-forklifts.com.pt>. [Consultado a 18-Sep-2017].
- [53] [Online]. <https://www.logismarket.pt/>. [Consultado a 25-Sep-2017].
- [54] “Plataformas.” [Online]. <http://tecspace.com.br/paginas/aula/set/manuais/plataformas.pdf>. [Consultado a 01-Jan-2017].
- [55] “Plataformas de Tesouras Múltiplas.” [Online]. <http://www.incomef.pt/?p=plataformas-de-tesouras-multiplas>. [Consultado a 26-Sep-2017].
- [56] P. J. Egbelu and J. M. A. Tanchoco, “Characterization of automatic guided vehicle dispatching rules,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 22, no. 3, pp. 359–374, 1984.
- [57] “Automatic Guided Vehicle (INDEVA Tunnel AGV).” [Online]. [https://www.logismarket.co.uk/automated-guided-vehicles/automatic-guided-vehicle\\_scaglia-indeva\\_p](https://www.logismarket.co.uk/automated-guided-vehicles/automatic-guided-vehicle_scaglia-indeva_p). [Consultado a 01-Oct-2017].
- [58] “Equipment 101: Automatic guided vehicles basics,” *Modern Materials Handling Logo*, 2011. [Online]. [http://www.mmh.com/article/equipment\\_101\\_automatic\\_guided\\_vehicles\\_basics](http://www.mmh.com/article/equipment_101_automatic_guided_vehicles_basics). [Consultado a 01-Oct-2017].
- [59] A. F. Santos, Adriano A.; Silva, *Automação Pneumática (3º edição)*, 3º edição. .
- [60] J. Fonseca, “Automação,” in *Automação - Departamento de Engenharia Eletrónica*, 2004, p. 172.
- [61] D. J. M. Foito, “Detecção e Diagnóstico de Falhas em Sistemas de Acionamento com Máquinas de Indução Hexafásicas,” Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa, 2013.
- [62] D. J. Hammerstrom, “AC versus DC distribution systems-did we get it right?,” in

- 2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting, PES, 2007.
- [63] “Motores y Generadores AC/DC.” [Online]. <http://acdcmotorygenerator.blogspot.pt/2009/05/partes-motor-corriente-alterna.html>. [Consultado a 01-Sep-2017].
- [64] “Motor CC.” [Online]. <https://pt.slideshare.net/fabianolima37454961/motor-cc-46992549>.
- [65] S. School, “Pneumatics Examples,” *Softschools.com*. 2016.
- [66] “Instalação de ar comprimido.” [Online]. <http://www.com-arcompressores.com.br/instalacao-ar-comprimido>. [Consultado a 02-Sep-2017].
- [67] “Sistemas Pneumáticos.” [Online]. <https://pt.slideshare.net/heltonassuncao/apostila-pneumatica-shp-2-sem-2013-anhanguera-primeiro>. [Consultado a 23-Sep-2017].
- [68] J. Briggs, “Trouble - Shooting Hydraulic Systems,” *Canadian Mining Journal*, vol. 95, no. 11. 1974.
- [69] “Acionamento e Circuitos Pneumáticos.” [Online]. [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2854501/mod\\_resource/content/1/Notas de Aula\\_SEL406\\_2017\\_Parte1\\_Pneumatica.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2854501/mod_resource/content/1/Notas de Aula_SEL406_2017_Parte1_Pneumatica.pdf). [Consultado a 28-Aug-2017].
- [70] G. Chapman, “Versatility of hydraulic systems,” *J. Exp. Zool.*, vol. 194, no. 1, pp. 249–269, 1975.
- [71] R. D. S. . Campilho, *Método de Ementos Finitos: Ferramentas para Análise Estrutural*. Porto, 2012.
- [72] “Método dos elementos finitos,” 2016. <http://www.esss.com.br/blog/2016/01/metodo-dos-elementos-finitos-o-que-e/>. [Consultado a 20-Aug-2017].
- [73] F. L. B. Ribeiro, “Introdução ao Método dos Elementos Finitos,” Universidade Federal do Rio de Janeiro: Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, 2004.
- [74] Á. F. M. Azevedo, “Método dos Elementos Finitos,” Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2003.
- [75] B. Klein, *FEM*. 2015.
- [76] V. Azevedo, Álvaro; Barros, Joaquim; Cruz, José Sena; Gouveia, “Software no ensino e no projecto de estruturas.” [Online]. [https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/13106/1/NC\\_46.pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/13106/1/NC_46.pdf). [Consultado a 05-Sep-2017].
- [77] M. C. J. M. Cervantes, E. M. Sánchez, J. S. Luna, A. O. Mirón, and R. V. Díaz, “Software didáctico para análisis estático de armaduras en 2-D mediante MEF,” *Rev. Int. Educ. en Ing.*, vol. 5, no. 1, pp. 14–27, 2012.

- [78] “SolidWorks.” [Online]. <https://www.solidworks.com/>. [Consultado a 12-Sep-2017].
- [79] L. A. H. Silva, “Avaliação numérica do comportamento estrutural da bancada de um elevador,” Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, 2010.
- [80] “Sistema de trituração/Centrifugação de limalha (Draco).” [Online]. <https://www.logismarket.pt/draco/sistema-trituracao-centrifugacao-limalha/5422513150-43595060-p.html>. [Consultado a 03-Mar-2017].
- [81] [Online]. Available: <https://www.carrelli.it/it/b120e.html>. [Consultado a 10-Mar-2017].
- [82] “Programação de autómatos.” [Online]. [https://web.fe.up.pt/~asousa/tsca/Omron/cursos\\_omr/plc10\\_v1\\_0.pdf](https://web.fe.up.pt/~asousa/tsca/Omron/cursos_omr/plc10_v1_0.pdf). [Consultado a 22-Aug-2017].

# ANEXOS

**6.1 ANEXO1**

**6.2 ANEXO2**

**6.3 ANEXO3**

**6.4 ANEXO4**



## 6 ANEXOS

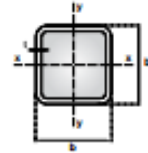


## 6.1 ANEXO1



p.36 / Vallourec / Tubos Estruturais, Seção Circular, Quadrada e Retangular

## Seção Tubular Quadrada (TQ)



Dimensões Externas	Espessura da Parede	Massa por Unidade de Comp.	Área da Seção Transversal	Momento de Inércia	Raio de Giro	Módulo de Resistência Elástico	Módulo de Resistência Plástico	Const. Torção	Módulo de Resistência à Torção	Área de superfície por unid. de Comp.
b x b (mm)	t (mm)	m (kg/m)	A (cm <sup>2</sup> )	I <sub>x</sub> = I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	r <sub>x</sub> = r <sub>y</sub> (cm)	W <sub>x</sub> = W <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> )	Z <sub>x</sub> = Z <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> )	J (cm <sup>4</sup> )	W <sub>t</sub> (cm <sup>3</sup> )	U (m <sup>2</sup> /m)
100 x 100	4,5*	13,0	16,5	249	3,89	49,9	59,0	402	75,1	0,380
	5,0*	14,3	18,2	271	3,86	54,2	64,6	441	81,7	
	5,6	15,9	20,3	296	3,82	59,2	71,0	485	89,3	
	6,4	18,1	23,0	318	3,71	63,5	77,3	543	98,1	
	7,1	19,9	25,4	340	3,66	68,0	83,6	589	106	
	8,0	22,3	28,4	366	3,59	73,2	91,1	645	114	
	8,8	24,3	31,0	386	3,53	77,2	97,1	690	121	
	10,0	27,4	34,9	411	3,43	82,2	106	750	130	
	11,0	29,8	38,0	400	3,25	80,1	106	767	132	
12,5	33,4	42,6	410	3,10	82,1	111	804	137		
110 x 110	5,0	15,8	20,1	368	4,28	66,9	79,3	594	101	0,418
	5,6	17,6	22,4	403	4,24	73,2	87,3	655	110	
	6,4	20,0	25,5	435	4,13	79,1	95,5	735	122	
	7,1	22,1	28,1	468	4,08	85,0	104	800	131	
	8,0	24,6	31,4	506	4,01	91,9	113	879	143	
	8,8	26,9	34,3	536	3,95	97,4	121	944	152	
	10,0	30,3	38,6	575	3,86	105	132	1.032	164	
	11,0	33,1	42,2	569	3,67	103	134	1.072	169	
12,5	37,1	47,3	591	3,53	107	143	1.139	178		
120 x 120	5,0*	17,3	22,1	485	4,68	80,9	95,4	778	122	0,459
	5,6	19,4	24,7	532	4,64	88,7	105	860	134	
	6,4	22,1	28,1	578	4,54	96,4	116	968	148	
	7,1	24,3	31,0	624	4,49	104	126	1.056	160	
	8,0	27,2	34,7	677	4,42	113	138	1.163	175	
	8,8	29,8	37,9	720	4,36	120	148	1.252	186	
	10,0	33,5	42,7	777	4,26	129	162	1.376	203	
	11,0	36,7	46,7	778	4,08	130	166	1.445	210	
	12,5	41,1	52,4	817	3,95	136	178	1.551	223	
	14,2	46,2	58,8	844	3,79	141	189	1.638	234	
16,0	51,3	65,3	855	3,62	142	197	1.690	240		
130 x 130	5,0*	18,6	23,7	626	5,14	96,3	113	998	145	0,490
	5,6*	20,8	26,5	687	5,10	106	125	1.104	159	
	6,4*	23,6	30,1	750	4,99	115	138	1.246	177	
	7,1*	26,1	33,2	811	4,94	125	150	1.361	192	
	8,0*	29,2	37,2	883	4,87	136	165	1.502	210	
	8,8	31,9	40,7	942	4,81	145	177	1.621	224	
	10,0	36,0	45,9	1.021	4,72	157	196	1.788	245	
	11,0	39,3	50,1	1.033	4,54	159	201	1.892	256	
	12,5	44,3	56,4	1.093	4,40	168	217	2.047	274	
	14,2	49,7	63,3	1.141	4,25	176	231	2.184	289	
16,0	55,3	70,4	1.170	4,08	180	243	2.285	301		

As bitolas destacadas com faixa cinza são mais frequentemente produzidas e devem ser adotadas preferencialmente. Para outras bitolas, consultar sobre quantidades mínimas de fabricação e prazo de entrega.

\* Produto fornecido sob consulta.



## 6.2 ANEXO2



**Poutrelles européennes à larges ailes**  
 dim. HE A, HE B et HE M 100-1000 conformes à la norme européenne EN 10364-12-12, HE 1000 avec  $\alpha_{max}$  conforme à ASTM A 992-12  
 HE AA 100-1000 selon norme ASTM A992  
 tolerancias EN 10364-1992 HE 100-1000 HE 1000 AA-M  
 ASTM A 992-12 HE 1000 HE 1000 AA-M  
 HE 1000 con  $\alpha_{max}$  conforme a EN 10364-2004, classe C, subclase 1

**European wide flange beams**  
 dim. HE A, HE B and HE M 100-1000 in accordance with former standard EN 10364-12-12, HE 1000 with  $\alpha_{max}$  in accordance with ASTM A 992-12  
 HE AA 100-1000 in accordance with ASTM A992  
 tolerancias EN 10364-1992 HE 100-1000 HE 1000 AA-M  
 ASTM A 992-12 HE 1000 HE 1000 AA-M  
 HE 1000 with  $\alpha_{max}$  according to EN 10364-2004, class C, subclass 1

**Europäische Breitflanschräger**  
 Abmessungen HE A, HE B und HE M 100-1000 gemäß früherer Norm EN 10364-12-12, HE 1000 mit  $\alpha_{max}$  gemäß ASTM A 992-12  
 HE AA 100-1000 gemäß ASTM A992  
 tolerancias EN 10364-1992 HE 100-1000 HE 1000 AA-M  
 ASTM A 992-12 HE 1000 HE 1000 AA-M  
 Oberflächenbeschaffenheit gemäß EN 10364-2004, Klasse C, Untergruppe 1



Designation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen						Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße						Surface Oberfläche	
	G	h	b	t <sub>fl</sub>	t <sub>w</sub>	r	A	h	d	Ø	p <sub>fl</sub>	p <sub>w</sub>	A <sub>s</sub>	A <sub>n</sub>
kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup> x10 <sup>3</sup>	mm	mm		mm	mm	cm <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup>
HE 100 AA-	12,2	91	100	4,2	5,5	12	15,6	80	56	M 10	54	58	0,552	45,17
HE 100 A	16,7	96	100	5	8	12	21,2	80	56	M 10	54	58	0,561	22,68
HE 100 B	20,4	100	100	6	10	12	26,0	80	56	M 10	56	58	0,567	27,76
HE 100 M	41,8	120	106	12	20	12	53,2	80	56	M 10	62	64	0,619	14,82
HE 120 AA-	14,6	109	120	4,2	5,5	12	18,6	98	74	M 12	58	68	0,609	45,94
HE 120 A	19,9	114	120	5	8	12	25,3	98	74	M 12	58	68	0,677	24,06
HE 120 B	26,7	120	120	6,5	11	12	34,0	98	74	M 12	60	68	0,686	25,71
HE 120 M	52,1	140	126	12,5	21	12	66,4	98	74	M 12	66	74	0,738	14,16
HE 140 AA-	18,1	128	140	4,3	6	12	23,0	116	92	M 16	64	76	0,787	43,53
HE 140 A	24,7	133	140	5,5	8,5	12	31,4	116	92	M 16	64	76	0,794	22,21
HE 140 B	32,7	140	140	7	12	12	43,0	116	92	M 16	66	76	0,805	23,88
HE 140 M	62,2	160	146	13	22	12	80,6	116	92	M 16	72	80	0,857	12,56
HE 160 AA-	22,8	148	160	4,5	7	15	30,4	134	104	M 20	76	84	0,901	37,81
HE 160 A	30,4	152	160	6	9	15	38,8	134	104	M 20	78	84	0,906	29,78
HE 160 B	42,6	160	160	8	13	15	54,2	134	104	M 20	80	84	0,918	21,56
HE 160 M	76,2	180	166	14	23	15	97,1	134	104	M 20	86	90	0,970	12,74
HE 180 AA-	28,7	167	180	5	7,5	15	36,5	152	122	M 24	84	92	1,018	35,51
HE 180 A	35,5	171	180	6	9,5	15	45,3	152	122	M 24	86	92	1,024	28,83
HE 180 B	51,2	180	180	8,5	14	15	65,3	152	122	M 24	88	92	1,037	20,25
HE 180 M	88,9	200	186	14,5	24	15	112,2	152	122	M 24	94	98	1,089	12,25
HE 200 AA-	34,6	186	200	5,5	8	18	44,1	170	134	M 27	96	100	1,120	32,62
HE 200 A	42,2	190	200	6,5	10	18	53,8	170	134	M 27	98	100	1,136	26,89
HE 200 B	61,2	200	200	9	15	18	78,1	170	134	M 27	100	100	1,151	18,78
HE 200 M	103	220	206	15	25	18	131,2	170	134	M 27	106	106	1,203	11,67
HE 220 AA-	40,4	205	220	6	8,5	18	51,5	188	152	M 27	98	118	1,247	30,87
HE 220 A	50,5	210	220	7	11	18	64,3	188	152	M 27	98	118	1,255	24,85
HE 220 B	71,5	220	220	9,5	16	18	91,0	188	152	M 27	100	118	1,270	17,77
HE 220 M	117	240	226	15,5	26	18	149,4	188	152	M 27	108	124	1,322	11,27
HE 240 AA-	47,4	224	240	6,5	9	21	60,4	206	164	M 27	104	138	1,359	28,67
HE 240 A	62,2	230	240	7,5	12	21	76,8	206	164	M 27	104	138	1,369	22,70
HE 240 B	82,2	240	240	10	17	21	106,0	206	164	M 27	108	138	1,384	16,63
HE 240 M	157	270	248	18	32	21	199,6	206	164	M 27	116	146	1,460	9,218

- Commande minimale pour S235 JR, cf. conditions de livraison page 8; pour toute autre qualité A513 ou sur accord.
- Minimum order for the S235 JR grade of delivery conditions page 8; for any other grade A513 or upon agreement.
- Mindestbestellmenge für S235 JR gemäß Lieferbedingungen Seite 8; für jede andere Güte A513 oder nach Vereinbarung.



Notation page 215-219 / Beschränkung Seiten 215-219

Designation Denominación Bezeichnung	Values statistics / Section properties / Statistische Kennwerte												Classification EN 15923-1-1:2005									
	axe forte y-y störng achse y-y starke Achse y-y						axe faible z-z weak axis z-z schwache Achse z-z						Pure bending y-y			Pure compression						
	G kg/m	I <sub>y</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>8</sup>	W <sub>pl,y</sub> mm <sup>3</sup> x10 <sup>6</sup>	W <sub>el,y</sub> mm <sup>3</sup> x10 <sup>6</sup>	i <sub>y</sub> mm x10	A <sub>y</sub> mm <sup>2</sup> x10 <sup>4</sup>	I <sub>z</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>8</sup>	W <sub>pl,z</sub> mm <sup>3</sup> x10 <sup>6</sup>	W <sub>el,z</sub> mm <sup>3</sup> x10 <sup>6</sup>	i <sub>z</sub> mm x10	t <sub>fl</sub> mm	l <sub>fl</sub> mm x10 <sup>3</sup>	l <sub>tr</sub> mm x10 <sup>3</sup>	5225	5255	5460	5225	5255	5460	EN 15923-1:2004	EN 15923-4:2004	EN 15923-5:2009
HE 100 AA	12,2	236,5	51,98	58,36	3,89	6,15	82,06	18,41	28,44	2,43	29,26	2,51	1,68	1	1	2	1	1	2	✓	✓	✓
HE 100 A	16,7	349,2	72,76	83,01	4,06	7,56	123,8	26,76	41,14	2,51	35,06	3,24	2,58	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 100 B	20,4	449,5	89,91	104,2	4,16	9,04	167,3	33,45	51,42	2,53	40,06	3,25	3,28	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 100 M	41,8	1143	190,4	235,8	4,63	18,04	399,2	75,21	116,3	2,74	66,06	68,21	9,93	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 120 AA	14,6	413,4	75,85	84,12	4,72	6,90	158,8	26,47	40,62	2,63	29,26	2,78	4,24	1	3	3	1	3	3	✓	✓	✓
HE 120 A	19,9	606,2	106,3	119,5	4,89	8,46	230,9	38,48	58,85	3,02	35,06	5,99	6,47	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 120 B	26,7	864,4	144,1	165,2	5,04	10,96	317,5	52,92	80,97	3,06	42,56	13,84	9,41	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 120 M	52,1	2018	288,2	350,6	5,51	21,15	702,8	111,6	171,6	3,25	68,56	91,66	24,79	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 140 AA	18,1	719,5	112,4	123,8	5,59	7,92	274,8	39,26	59,93	3,45	30,36	3,54	10,21	2	3	3	2	3	3	✓	✓	✓
HE 140 A	24,7	1033	155,4	173,5	5,73	10,12	389,3	55,67	84,85	3,52	36,56	8,13	15,06	1	1	2	1	1	2	✓	✓	✓
HE 140 B	33,7	1509	215,6	245,4	5,93	13,08	549,7	78,52	119,8	3,58	45,06	20,06	22,48	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 140 M	63,2	3291	411,4	493,8	6,39	24,46	1144	156,8	240,5	3,77	71,06	120,0	54,33	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 160 AA	23,8	1283	173,4	190,4	6,50	10,38	478,7	59,84	91,26	3,97	36,07	6,33	23,75	1	3	3	1	3	3	✓	✓	✓
HE 160 A	30,4	1673	220,1	245,1	6,57	13,21	615,6	76,95	117,6	3,98	41,57	12,19	31,41	1	1	2	1	1	2	✓	✓	✓
HE 160 B	42,6	2492	311,5	354,0	6,78	17,59	889,2	111,2	170,0	4,05	51,57	31,24	47,94	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 160 M	76,2	5098	566,5	674,6	7,25	30,81	1759	211,9	325,5	4,26	77,57	162,4	108,1	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 180 AA	28,7	1967	235,6	258,2	7,34	12,16	730,0	81,11	123,6	4,47	37,57	8,33	46,36	2	3	3	2	3	3	✓	✓	✓
HE 180 A	35,5	2510	293,6	324,9	7,45	14,47	924,6	102,7	156,5	4,52	42,57	14,88	62,21	1	2	3	1	2	3	✓	✓	✓
HE 180 B	51,2	3831	425,7	481,4	7,66	20,24	1363	151,4	231,0	4,57	54,07	42,16	90,75	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 180 M	88,9	7483	748,3	883,4	8,13	34,65	2580	277,4	425,2	4,77	80,07	203,3	199,3	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 200 AA	34,6	2944	316,6	347,1	8,17	15,45	1068	106,8	163,2	4,92	42,59	12,69	84,49	2	3	3	2	3	3	✓	✓	✓
HE 200 A	42,3	3692	388,6	429,5	8,28	18,08	1336	133,6	203,8	4,98	47,59	20,98	108,0	1	2	3	1	2	3	✓	✓	✓
HE 200 B	61,3	5696	569,6	642,5	8,54	24,83	2003	200,3	305,8	5,07	60,09	59,28	171,1	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 200 M	103	10640	967,4	1125	9,00	41,03	3851	354,5	543,2	5,27	86,09	259,4	346,3	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 220 AA	40,4	4170	406,9	445,5	9,00	17,63	1510	137,3	209,2	5,42	44,09	15,93	145,6	2	3	4	2	3	4	✓	✓	✓
HE 220 A	50,5	5410	515,2	568,5	9,17	20,67	1955	177,7	270,6	5,51	50,09	28,46	193,3	1	2	3	1	2	3	✓	✓	✓
HE 220 B	71,5	8091	725,5	827,0	9,43	27,92	2843	258,5	393,9	5,59	62,59	76,57	296,4	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 220 M	117	14620	1217	1419	9,89	45,31	5012	443,5	678,6	5,79	88,59	315,3	572,7	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 240 AA	47,4	5835	521,0	570,6	9,83	21,54	2077	173,1	264,4	5,87	49,10	22,98	239,6	2	3	4	2	3	4	✓	✓	✓
HE 240 A	60,3	7763	675,1	744,6	10,05	25,18	2769	230,7	351,7	6,00	56,10	41,55	328,5	1	2	3	1	2	3	✓	✓	✓
HE 240 B	83,2	11260	938,3	1053	10,31	33,23	3923	326,9	498,4	6,08	68,60	102,7	486,9	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 240 M	157	24290	1799	2117	11,03	60,07	8153	657,5	1006	6,39	106,6	627,9	1152	1	1	-	1	1	-	✓	✓	✓

\* W<sub>pl</sub> pour un dimensionnement plastique, la section doit appartenir à la classe 1 ou 2 ou au 3e cas de la capacité de rotation requise. Voir page 219.  
 \* W<sub>pl</sub> for plastic design, the shape must belong to class 1 or 2 according to the required rotation capacity. See page 219.  
 \* W<sub>pl</sub> bei einer plastischen Berechnung muss die Profil je nach erforderlicher Rotationskapazität der Klasse 1 oder 2 angehören. Siehe Seite 219.

### 6.3 ANEXO3



**NP**  
**EN 1993-1-8**  
**2010**

p. 48 de 146

(6) Considera-se que o valor de cálculo da resistência do cordão de ângulo é suficiente se forem satisfeitas as duas condições seguintes:

$$[\sigma_L^2 + 3(\tau_L^2 + \tau_T^2)]^{0,5} \leq f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) \quad \text{e} \quad \sigma_L \leq 0,9 f_u / \gamma_{M2} \quad (4.1)$$

em que:

$f_u$  valor nominal da tensão de rotura à tracção da peça ligada mais fraca;

$\beta_w$  factor de correlação apropriado obtido do Quadro 4.1.

(7) As soldaduras entre peças de diferentes classes de resistência deverão ser calculadas adoptando as propriedades da classe de resistência mais baixa.

Quadro 4.1 – Factor de correlação  $\beta_w$  para soldaduras de ângulo

Norma e classe de aço			Factor de correlação
EN 10025	EN 10210	EN 10219	$\beta_w$
S 235 S 235 W	S 235 H	S 235 H	0,8
S 275 S 275 N/NL S 275 M/ML	S 275 H S 275 NH/NLH	S 275 H S 275 NH/NLH S 275 MH/MLH	0,85
S 355 S 355 N/NL S 355 M/ML S 355 W	S 355 H S 355 NH/NLH	S 355 H S 355 NH/NLH S 355 MH/MLH	0,9
S 420 N/NL S 420 M/ML		S 420 MH/MLH	1,0
S 460 N/NL S 460 M/ML S 460 Q/QL/QL1	S 460 NH/NLH	S 460 NH/NLH S 460 MH/MLH	1,0

#### 4.5.3.3 Método simplificado para o cálculo da resistência de um cordão de ângulo

(1) Em alternativa a 4.5.3.2, poderá considerar-se adequado o valor de cálculo da resistência de um cordão de ângulo se, em qualquer das suas secções transversais, a resultante de todos os esforços por unidade de comprimento transmitidos pela soldadura satisfaz o seguinte critério:

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd} \quad (4.2)$$

em que:

$F_{w,Ed}$  valor de cálculo do esforço actuante na soldadura por unidade de comprimento;

$F_{w,Rd}$  valor de cálculo da resistência da soldadura por unidade de comprimento.

(2) Independentemente da orientação do plano que define a espessura da soldadura em relação ao esforço aplicado, o valor de cálculo da resistência por unidade de comprimento  $F_{w,Rd}$  deverá ser determinado com base em:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} a \quad (4.3)$$

em que:

$f_{vw,d}$  valor de cálculo da resistência ao corte da soldadura.

(3) O valor de cálculo da resistência ao corte  $f_{vw,d}$  da soldadura deverá ser determinado a partir de:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (4.4)$$

em que:

$f_u$  e  $\beta_w$  definidos em 4.5.3.2(6).

#### 4.6 Valor de cálculo da resistência das soldaduras de ângulo em contornos de orifícios

(1) O valor de cálculo da resistência de uma soldadura de ângulo aplicada em todo o contorno de um orifício deverá ser determinado através de um dos métodos indicados em 4.5.

#### 4.7 Valor de cálculo da resistência das soldaduras de topo

##### 4.7.1 Soldaduras de topo com penetração total

(1) O valor de cálculo da resistência de uma soldadura de topo com penetração total deverá ser considerado igual ao valor de cálculo da resistência da peça ligada mais fraca, desde que a soldadura seja executada com consumíveis adequados que possam produzir provetes de ensaio da soldadura que tenham, tanto a tensão de cedência como a tensão de rotura mínimas, pelo menos iguais às especificadas para o metal base.

##### 4.7.2 Soldaduras de topo com penetração parcial

(1) O valor de cálculo da resistência de uma soldadura de topo com penetração parcial deverá ser determinado utilizando o método indicado em 4.5.2(3) para um cordão de ângulo com elevada penetração.

(2) A espessura de uma soldadura de topo com penetração parcial não deverá ser superior à profundidade da penetração susceptível de ser obtida de modo consistente, ver 4.5.2(3).

##### 4.7.3 Junta de topo em T

(1) O valor de cálculo da resistência de uma junta de topo em T, constituída por duas soldaduras de topo de penetração parcial reforçadas por cordões de ângulo, poderá ser determinado como se tratasse de uma soldadura de topo com penetração total (ver 4.7.1) desde que a espessura nominal total dos cordões, excluindo o afastamento não soldado, não seja inferior à espessura  $t$  da parte que constitui a haste da ligação em T, e na condição de o afastamento não soldado não ter largura superior ao menor dos valores ( $t/5$ ) ou 3 mm, ver a Figura 4.6.

(2) O valor de cálculo da resistência de uma soldadura de topo em T que não satisfaz os requisitos de 4.7.3(1) deverá ser determinado utilizando o método indicado em 4.5 para uma soldadura de ângulo ou para uma soldadura com elevada penetração, conforme a profundidade da penetração. A espessura do cordão deverá ser determinada de acordo com as disposições fornecidas para os cordões de ângulo (ver 4.5.2) ou para as soldaduras de topo com penetração parcial (ver 4.7.2), consoante o caso.

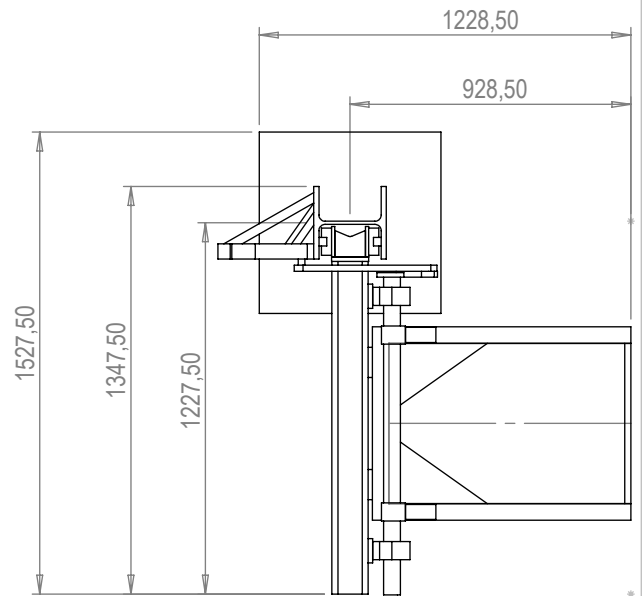
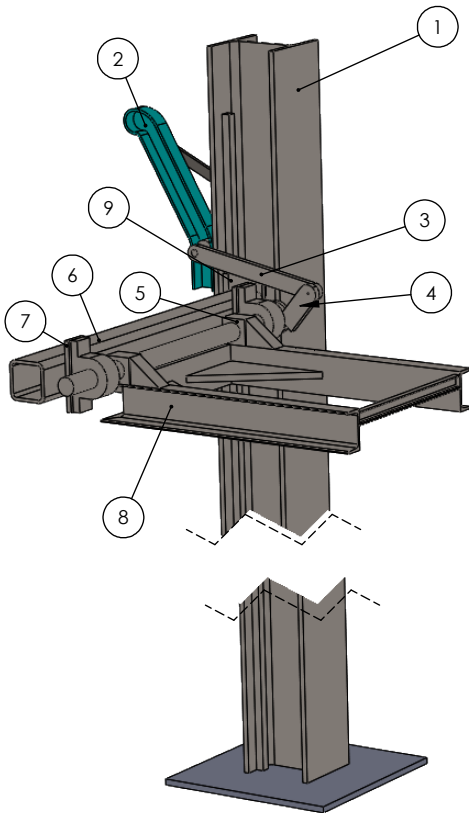
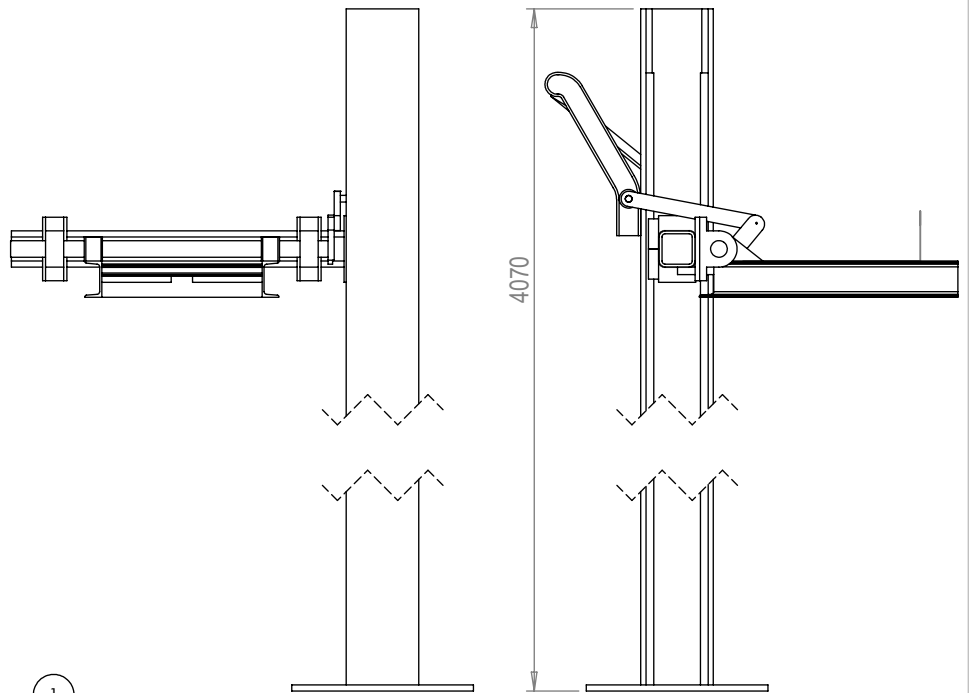
## 6.4 ANEXO4

# Desenho Técnico Geral

ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	Pilar HEB 240	1
2	Calha	1
3	Chapa_1 para inclinação do contentor	1
4	Chapa_2 para inclinação do contentor	1
5	Bloco Suporte Veio	2
6	Tubo seção quadrada	1
7	Base Chumaceira	2
8	Plataforma Suporte Contentor	1

Rev.	Alterações / Changes	Data / Date	Nome / Name
a)			
b)			

Revisões dos desenhos  
Drawing revision record



Este documento tem informação propriedade da Tecnolanema e não pode ser utilizada, reproduzida, divulgada, no todo ou em parte, ou comunicada a terceiros sem autorização escrita da Tecnolanema. This document contains proprietary information of Tecnolanema and such information may not be used, reproduced, disclosed, in whole or in part, or communicated to third parties without written permission of Tecnolanema.

CONFIDENCIAL

Método Europeu First angle projection	2D / 3D	Nome Name	Assinatura Signature	Data Date	Material											
	Desenhou Draw by	Tiago R.		01-10-2017	Cor Color											
Escala Scale	Aprovou Approved by	Sistema CAD - SolidWorks			Tratamento Treatment											
1:25																
Acabamento Surface finishing	Acabamento de cantos Edge finishing															
		<b>Refª / Des. nº</b> Desig. Nr.														
Tolerâncias gerais para maquinagem, para dimensões não toleranciadas (ISO 2768 mk)		Qualidade de Roscas Métricas Interior - IH Exterior - Iq		<b>Montagem</b>												
Tolerâncias Lineares (classe m)	Dimensões lineares	>0,5 e ≤3	>3 e ≤6			>6 e ≤30	>30 e ≤120	>120 e ≤400	>400 e ≤1000	>1000 e ≤2000	>2000 e ≤4000	Dimensões Angulares	Lado mais curto do ângulo considerado (mm)			
Desvio admissível	Desvio admissível	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	Desvio admissível	≤10	>10-50	>50-120	>120-400	>400	Substitui Old drawing
Raios de curvatura e chanfros (*classe c)	Cotas nominais	>0,5 e ≤3	>3 e ≤6	>6 e ≤30	Tolerânc. Geometr. (classe K)	Perpendicularidade	Desvio admissível	Distância com cot. nominal para Lado mais curto	Simetria	Valores de distância compreendidos entre						
Desvio admissível	Desvio admissível	± 0,2	± 0,3	± 0,5		Desvio admissível	0,4	0,6	0,8	1	≤ 300	>300-1000	>1000-3000			



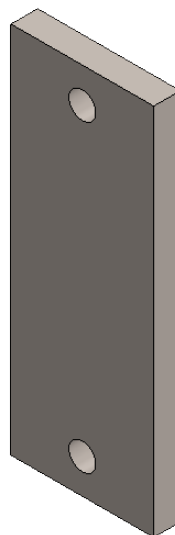
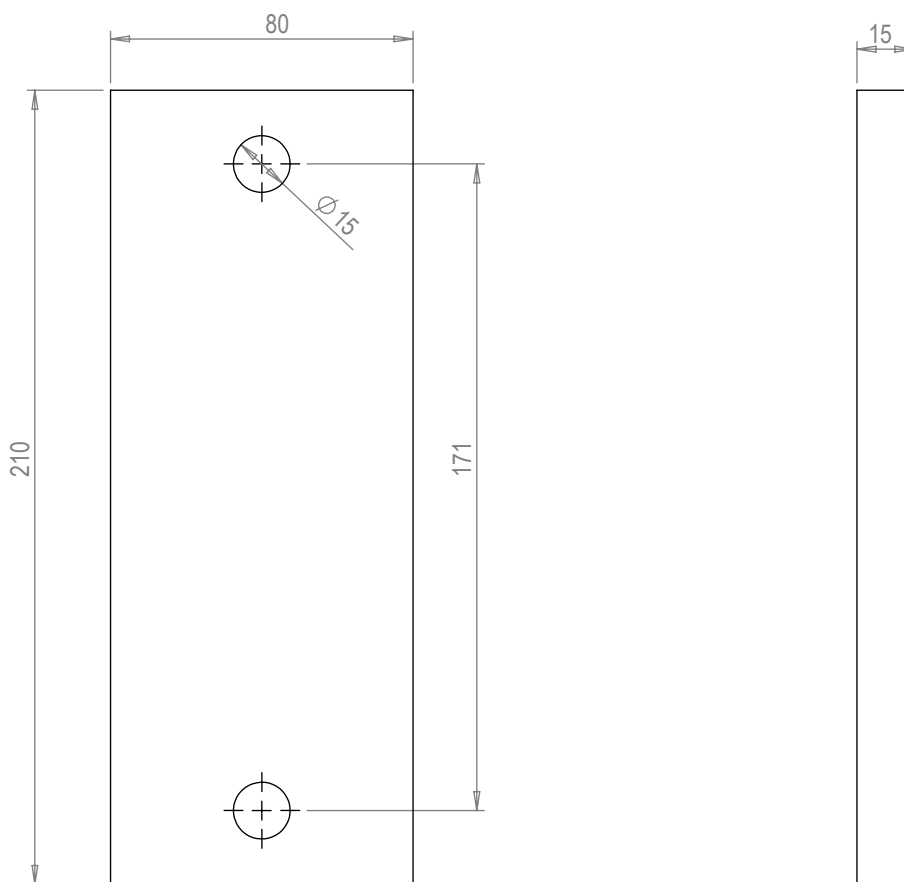
Substitui  
Old drawing

**A4** Folha 1 de 1

# Desenho Técnico Geral

Rev.	Alterações / Changes	Data / Date	Nome / Name
a)			
b)			

Revisões dos desenhos  
Drawing revision record



Este documento tem informação propriedade da TecnoLANEMA e não pode ser utilizada, reproduzida, divulgada, no todo ou em parte, ou comunicada a terceiros sem autorização escrita da TecnoLANEMA. This document contains proprietary information of TecnoLANEMA and such information may not be used, reproduced, disclosed, in whole or in part, or communicated to third parties without written permission of TecnoLANEMA

CONFIDENCIAL

Método Europeu First angle projection	2D / 3D	Nome Name	Assinatura Signature	Data Date	Material																																												
	Desenhou Draw by	Tiago R.		01-10-2017	Cor Color																																												
Escala Scale	Aprovou Approved by	Sistema CAD - SolidWorks			Tratamento Treatment																																												
1:2																																																	
Acabamento Surface finishing	Acabamento de cantos Edge finishing	Refª / Des. nº Dwg. Nr.		Base Chumaceira																																													
		Qualidade de Roscas Métricas Interior - IH Exterior - IEx		 <b>Ovar - Portugal</b>																																													
Tolerâncias gerais para maquinagem, para dimensões não toleranciadas (ISO 2768 mK)		<table border="1"> <tr> <td></td> <td>&gt;0,5 e ≤3</td> <td>&gt;3 e ≤6</td> <td>&gt;6 e ≤30</td> <td>&gt;30 e ≤120</td> <td>&gt;120 e ≤400</td> <td>&gt;400 e ≤1000</td> <td>&gt;1000 e ≤2000</td> <td>&gt;2000 e ≤4000</td> <td>Dimensões Angulares</td> <td colspan="4">Lado mais curto do ângulo considerado (mm)</td> </tr> <tr> <td>Tolerâncias Lineares (classe m)</td> <td>±0,1</td> <td>±0,1</td> <td>±0,2</td> <td>±0,3</td> <td>±0,5</td> <td>±0,8</td> <td>±1,2</td> <td>±2</td> <td>±1*</td> <td>≤10</td> <td>&gt;10-50</td> <td>&gt;50-120</td> <td>&gt;120-400</td> <td>&gt;400</td> </tr> <tr> <td>Desvio admissível</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>±1*</td> <td>±0° 30'</td> <td>±0° 20'</td> <td>±0° 10'</td> <td>±0° 5'</td> </tr> </table>					>0,5 e ≤3	>3 e ≤6	>6 e ≤30	>30 e ≤120	>120 e ≤400	>400 e ≤1000	>1000 e ≤2000	>2000 e ≤4000	Dimensões Angulares	Lado mais curto do ângulo considerado (mm)				Tolerâncias Lineares (classe m)	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±1*	≤10	>10-50	>50-120	>120-400	>400	Desvio admissível										±1*	±0° 30'	±0° 20'	±0° 10'	±0° 5'
	>0,5 e ≤3	>3 e ≤6	>6 e ≤30	>30 e ≤120	>120 e ≤400	>400 e ≤1000	>1000 e ≤2000	>2000 e ≤4000	Dimensões Angulares	Lado mais curto do ângulo considerado (mm)																																							
Tolerâncias Lineares (classe m)	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±1*	≤10	>10-50	>50-120	>120-400	>400																																			
Desvio admissível										±1*	±0° 30'	±0° 20'	±0° 10'	±0° 5'																																			
Raios de curvatura e chanfros (*classe c)	Cotas nominais	>0,5 e ≤3	>3 e ≤6	>6 e ≤30	Tolerânc. Geometr. (classe K)	Perpendicularidade	≤100	>100-300	>300-1000	>1000-3000	Simetria	Valores de distancia compreendidos entre																																					
Desvio admissível		±0,2	±0,3	±0,5	Desvio admissível	Desvio admissível	0,4	0,6	0,8	1	Desvio admiss.	≤300	>300-1000	>1000-3000																																			

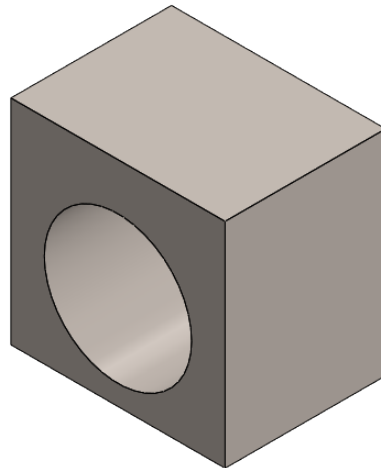
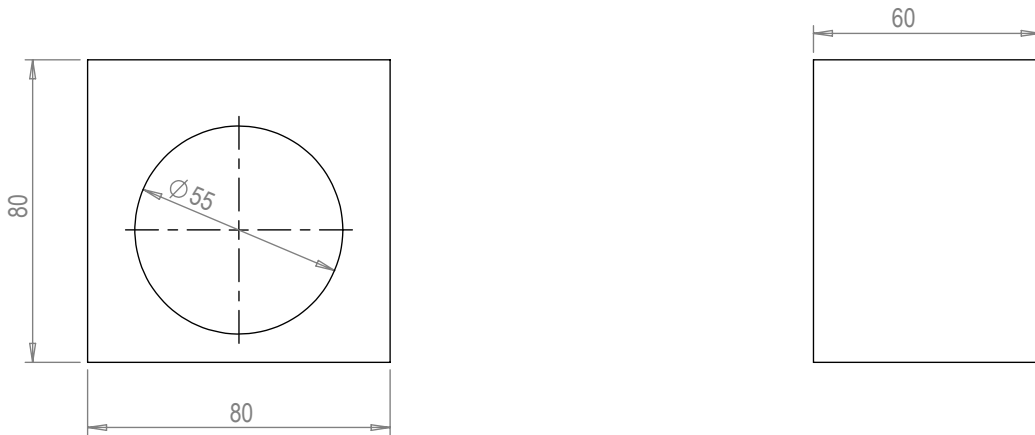
Substitui  
Old drawing

**A4** Folha 1 de 1

# Desenho Técnico Geral

Rev.	Alterações / Changes	Data / Date	Nome / Name
a)			
b)			

Revisões dos desenhos  
Drawing revision record



Este documento tem informação propriedade da Tecnolanema e não pode ser utilizada, reproduzida, divulgada, no todo ou em parte, ou comunicada a terceiros sem autorização escrita da Tecnolanema. This document contains proprietary information of Tecnolanema and such information may not be used, reproduced, disclosed, in whole or in part, or communicated to third parties without written permission of Tecnolanema

CONFIDENCIAL

Método Europeu First angle projection	2D / 3D	Nome Name	Assinatura Signature	Data Date	Material										
	Desenhou Draw by	Tiago R.		01-10-2017	Cor Color										
Escala Scale	Aprovou Approved by	Sistema CAD - SolidWorks			Tratamento Treatment										
1:2															
Acabamento Surface finishing	Acabamento de cantos Edge finishing	Refª / Des. nº Dwg Nr.													
		Bloco Suporte Veio													
Tolerâncias gerais para maquinação, para dimensões não toleranciadas (ISO 2768 mK)		Qualidade de Roscas Métricas Interior - IH Exterior - IIG													
Tolerâncias Lineares (classe m)	Dimensões lineares	>0,5 e ≤3	>3 e ≤6	>6 e ≤30	>30 e ≤120	>120 e ≤400	>400 e ≤1000	>1000 e ≤2000	>2000 e ≤4000	Dimensões Angulares	Lado mais curto do ângulo considerado (mm)				
Desvio admissível	Desvio admissível	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 1°	≤10	>10-50	>50-120	>120-400	> 400
Raios de curvatura e chanfros (*classe c)	Cotas nominais	>0,5 e ≤3	>3 e ≤6	>6 e ≤30	Tolerânc. Geometr. (classe K)	Perpendicularidade	Desvio admissível	Distância com cot. nominal para Lado mais curto	Simetria	Valores de distancia compreendidos entre					
Desvio admissível	Desvio admissível	± 0,2	± 0,3	± 0,5	Desvio admissível	Desvio admissível	0,4	0,6	0,8	1	Desvio admiss.	≤ 300	>300-1000	>1000-3000	1



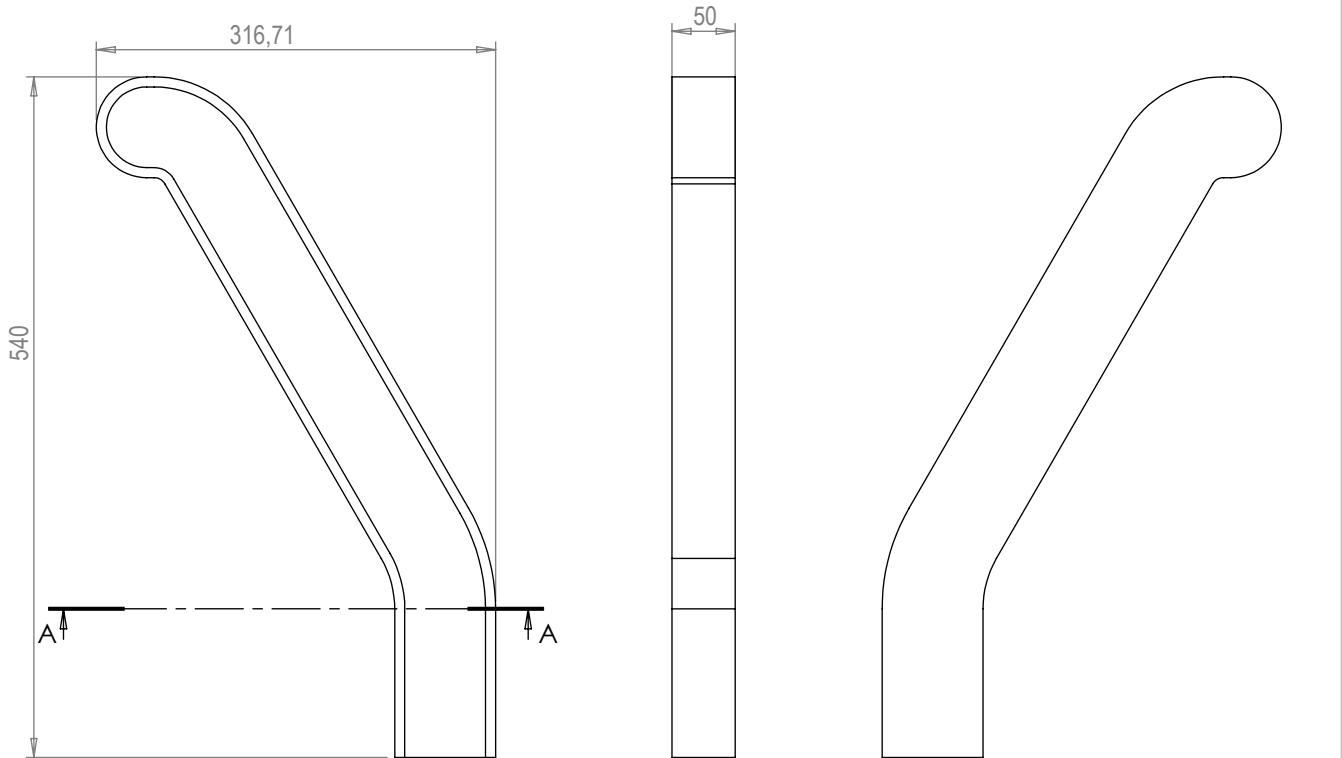
Substitui  
Old drawing

A4 Folha 1 de 1

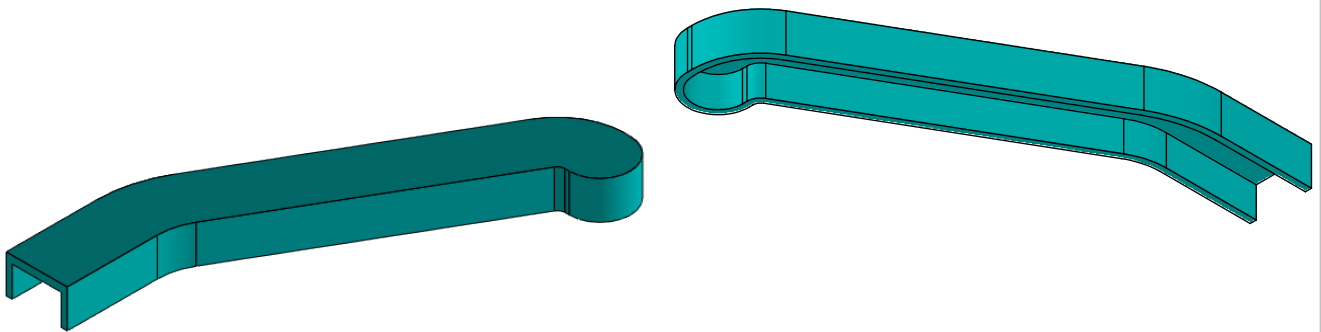
# Desenho Técnico Geral

Rev.	Alterações / Changes	Data / Date	Nome / Name
a)			
b)			

Revisões dos desenhos  
Drawing revision record



SECTION A-A



Este documento tem informação propriedade da Tecnolanema e não pode ser utilizada, reproduzida, divulgada, no todo ou em parte, ou comunicada a terceiros sem autorização escrita da Tecnolanema. This document contains proprietary information of Tecnolanema and such information may not be used, reproduced, disclosed, in whole or in part, or communicated to third parties without written permission of Tecnolanema

CONFIDENCIAL

Método Europeu First angle projection	2D / 3D	Nome Name	Assinatura Signature	Data Date	Material ---										
	Desenhou Draw by	Tiago R.		01-10-2017	Cor Color										
Escala Scale	Aprovou Approved by	Sistema CAD - SolidWorks			Tratamento Treatment										
1:6					---										
Acabamento Surface finishing	Acabamento de cantos Edge finishing	Calha													
		Refª / Des. nº Dwg Nr.													
Tolerâncias gerais para maquinaria, para dimensões não toleranciadas (ISO 2768 mK)		Qualidade de Roscas Métricas Interior - IH Exterior - Iq													
Tolerâncias Lineares (classe m)	Dimensões lineares	>0,5 e ≤3	>3 e ≤6	>6 e ≤30	>30 e ≤120	>120 e ≤400	>400 e ≤1000	>1000 e ≤2000	>2000 e ≤4000	Dimensões Angulares	Lado mais curto do ângulo considerado (mm)				
Desvio admissível	Desvio admissível	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	≤10	>10-50	>50-120	>120-400	> 400	
										± 1*	± 0* 30'	± 0* 20'	± 0* 10'	± 0* 5'	
Raios de curvatura e chanfros (*classe c)	Cotas nominais	>0,5 e ≤3	>3 e ≤6	>6 e ≤30	Tolerânci. Geometr. (classe K)	Perpendicularidade	Distância com cot. nominal	para Lado mais curto		Simetria	Valores de distância compreendidos entre				
Desvio admissível	Desvio admissível	± 0,2	± 0,3	± 0,5		Desvio admissível	≤100	>100-300	>300-1000	>1000-3000	≤300	>300-1000	>1000-3000		
							0,4	0,6	0,8	1	Desvio admiss.	0,6	0,8	1	



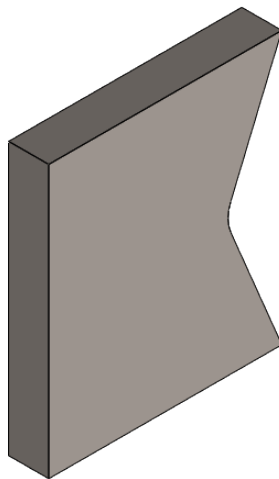
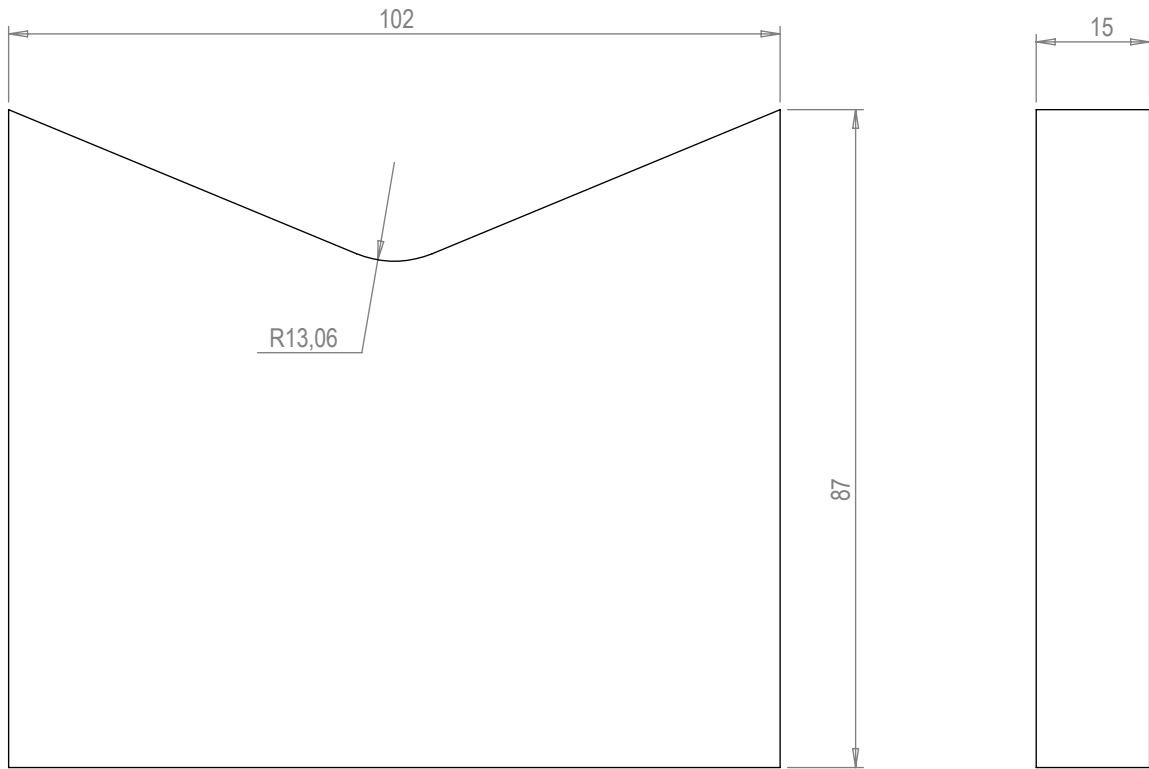
Substitui  
Old drawing

A4 Folha 1 de 1

# Desenho Técnico Geral

Rev.	Alterações / Changes	Data / Date	Nome / Name
a)			
b)			

Revisões dos desenhos  
Drawing revision record



Este documento tem informação propriedade da Tecnolanema e não pode ser utilizada, reproduzida, divulgada, no todo ou em parte, ou comunicada a terceiros sem autorização escrita da Tecnolanema. This document contains proprietary information of Tecnolanema and such information may not be used, reproduced, disclosed, in whole or in part, or communicated to third parties without written permission of Tecnolanema

CONFIDENCIAL

Método Europeu First angle projection	2D / 3D	Nome Name	Assinatura Signature	Data Date	Material ---										
	Desenhou Draw by	Tiago R.		01-10-2017	Cor Color										
Escala Scale	Aprovou Approved by	Sistema CAD - SolidWorks			Tratamento Treatment										
1:1					---										
Acabamento Surface finishing	Acabamento de cantos Edge finishing														
		<b>Refª / Des. nº</b> Chapa Bloco Central_2 Desg. Nº:													
Tolerâncias gerais para maquinagem, para dimensões não toleranciadas (ISO 2768 mK)		Qualidade de Roscas Métricas Interior - IH Exterior - IIG													
Tolerâncias Lineares (classe m)	Dimensões lineares	>0,5 e ≤3	>3 e ≤6	>6 e ≤30	>30 e ≤120	>120 e ≤400	>400 e ≤1000	>1000 e ≤2000	>2000 e ≤4000	Dimensões Angulares	Lado mais curto do ângulo considerado (mm)				
Desvio admissível	Desvio admissível	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 1°	≤10	>10-50	>50-120	>120-400	> 400
Raios de curvatura e chanfros (*classe c)	Cotas nominais	>0,5 e ≤3	>3 e ≤6	>6 e ≤30	Tolerância Geométrica (classe K)	Perpendicularidade	≤100	>100-300	>300-1000	>1000-3000	Simetria	Valores de distância compreendidos entre			
Desvio admissível	Desvio admissível	± 0,2	± 0,3	± 0,5	Desvio admissível	Desvio admissível	0,4	0,6	0,8	1	Desvio admiss.	≤ 300	>300-1000	>1000-3000	

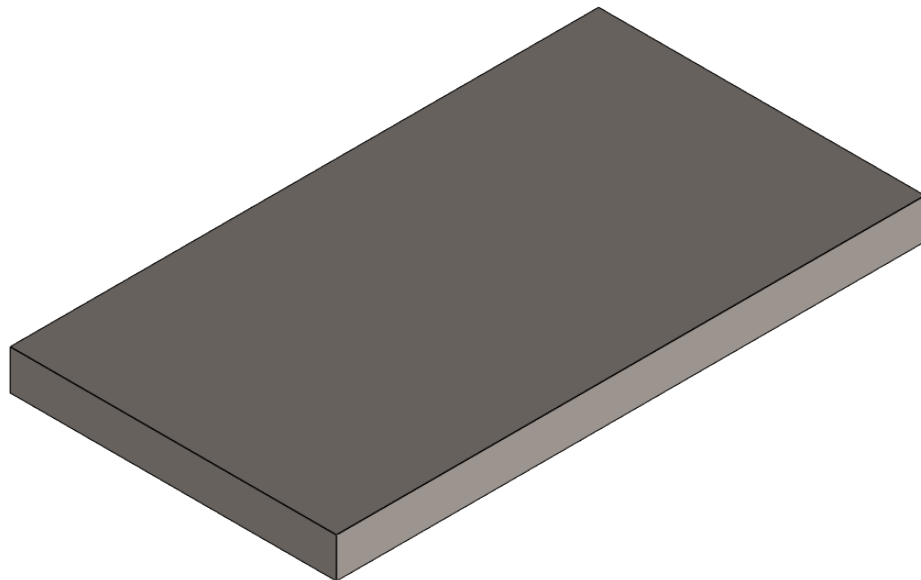
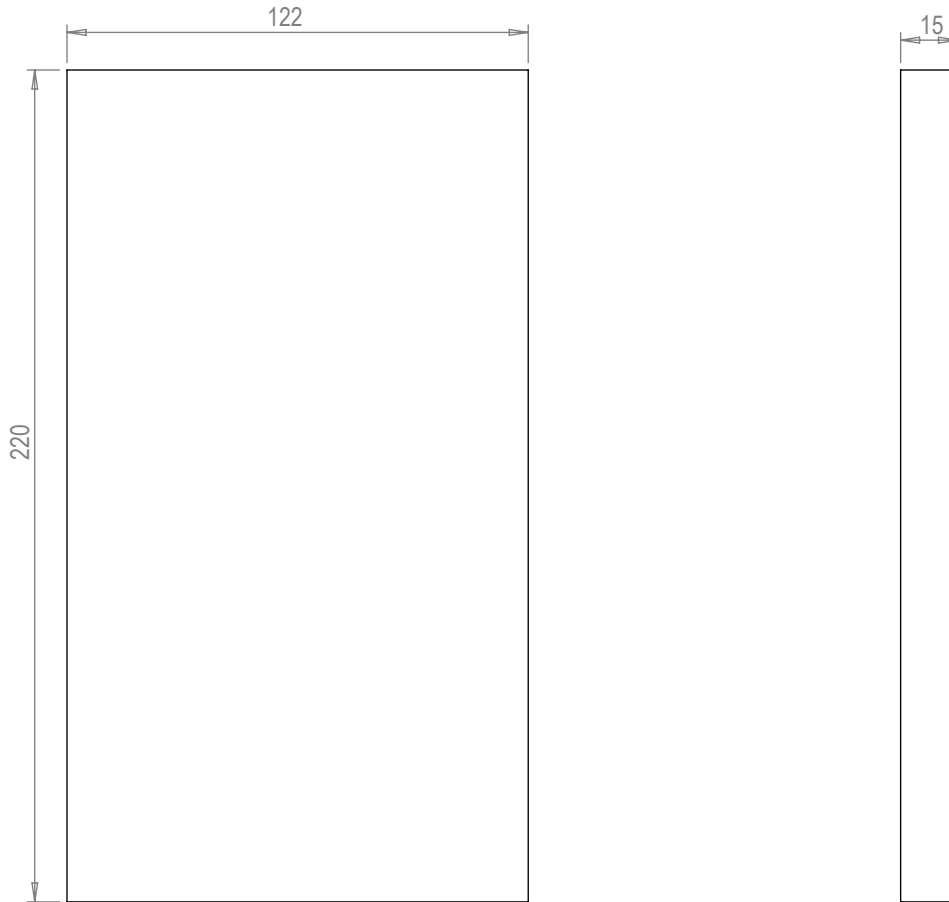


Substitui  
Old drawing

# Desenho Técnico Geral

Rev.	Alterações / Changes	Data / Date	Nome / Name
a)			
b)			

Revisões dos desenhos  
Drawing revision record



Este documento tem informação propriedade da Tecnolanema e não pode ser utilizada, reproduzida, divulgada, no todo ou em parte, ou comunicada a terceiros sem autorização escrita da Tecnolanema. This document contains proprietary information of Tecnolanema and such information may not be used, reproduced, disclosed, in whole or in part, or communicated to third parties without written permission of Tecnolanema

CONFIDENCIAL

Método Europeu First angle projection		2D / 3D	Nome Name	Assinatura Signature	Data Date	Material ---									
Escala Scale		Aprovou Approved by	Desenhou Draw by		01-10-2017	Cor Color									
1:2		Sistema CAD - SolidWorks				Tratamento Treatment									
Acabamento Surface finishing		Acabamento de cantos Edge finishing		Refª / Des. nº Desig. Nr.											
Tolerâncias gerais para maquinagem, para dimensões não toleranciadas (ISO 2768 mK)		Qualidade de Roscas Métricas Interior - IH Exterior - EG		Chapa Bloco Central_1											
Tolerâncias Lineares (classe m)	Dimensões lineares	>0,5 e ≤3	>3 e ≤6	>6 e ≤30	>30 e ≤120	>120 e ≤400	>400 e ≤1000	>1000 e ≤2000	>2000 e ≤4000	Dimensões Angulares	Lado mais curto do ângulo considerado (mm)				
	Desvio admissível	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2		± 1°	± 0° 30'	± 0° 20'	± 0° 10'	± 0° 5'
Raios de curvatura e chanfros (*classe c)	Cotas nominais	>0,5 e ≤3	>3 e ≤6	>6 e ≤30	Tolerânc. Geometr. (classe K)					Simetria	Valores de distancia compreendidos entre				
	Desvio admissível	± 0,2	± 0,3	± 0,5	Perpendicularidade	≤100	>100-300	>300-1000	>1000-3000		Desvio admiss.	≤ 300	>300-1000	>1000-3000	
				Distância com cot. nominal para Lado mais curto		Desvio admissível		0,4	0,6	0,8	1				



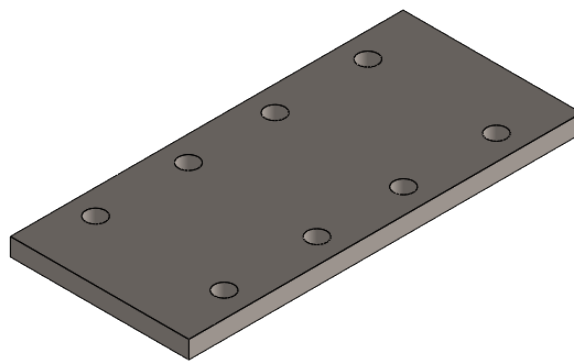
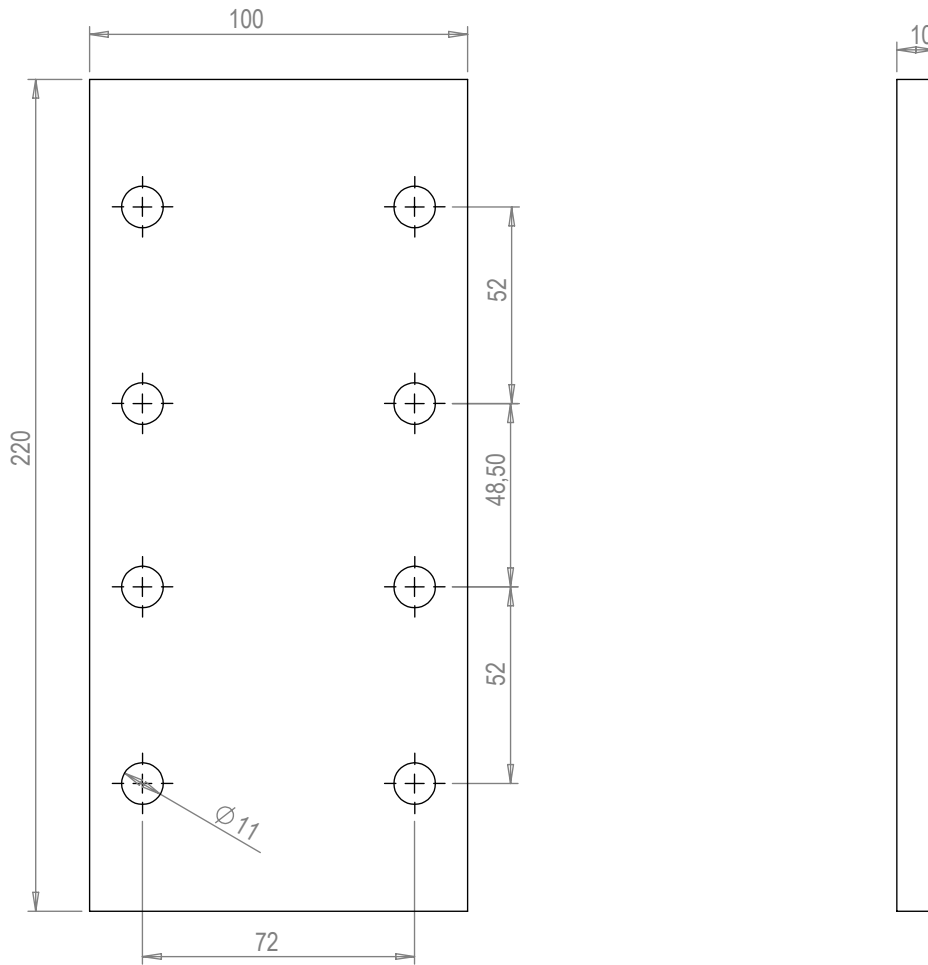
Substitui  
Old drawing

**A4** Folha 1 de 1

# Desenho Técnico Geral

Rev.	Alterações / Changes	Data / Date	Nome / Name
a)			
b)			

Revisões dos desenhos  
Drawing revision record



Este documento tem informação propriedade da Tecnolanema e não pode ser utilizada, reproduzida, divulgada, no todo ou em parte, ou comunicada a terceiros sem autorização escrita da Tecnolanema. This document contains proprietary information of Tecnolanema and such information may not be used, reproduced, disclosed, in whole or in part, or communicated to third parties without written permission of Tecnolanema

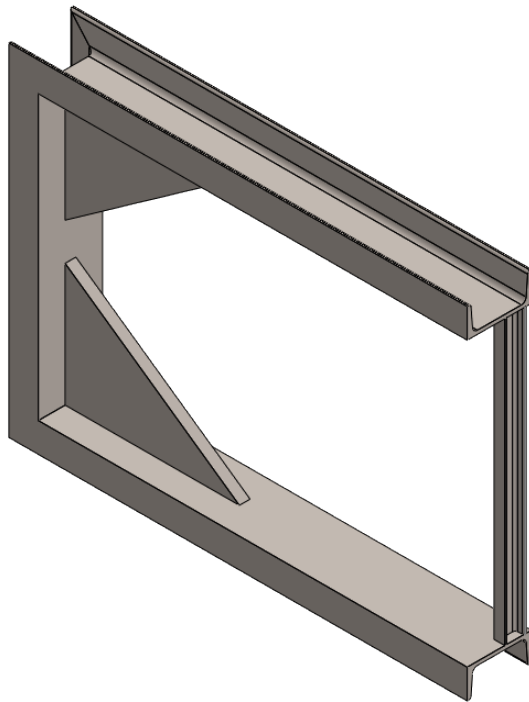
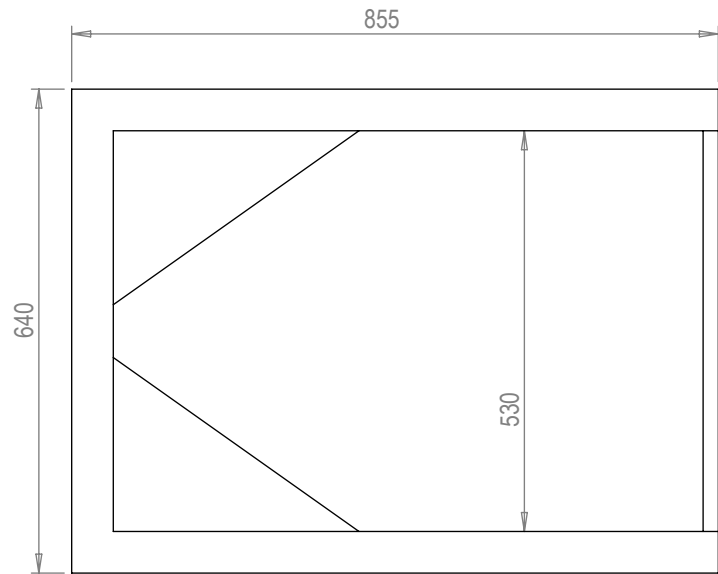
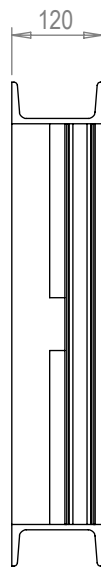
CONFIDENCIAL

Método Europeu First angle projection	2D / 3D	Nome Name	Assinatura Signature	Data Date	Material ---											
	Desenhou Draw by	Tiago R.		01-10-2017	Cor Color											
Escala Scale	Aprovou Approved by	Sistema CAD - SolidWorks			Tratamento Treatment											
1:2					---											
Acabamento Surface finishing	Acabamento de cantos Edge finishing	Refª / Des. nº Dwg Nr.		Chapa Bloco Central_3												
6.3 3.2		Qualidade de Roscas Métricas Interior - IH Exterior - EG		TF-IND <b>LANEMA</b> Ovar - Portugal												
Tolerâncias gerais para maquinagem, para dimensões não toleranciadas (ISO 2768 mK)																
Tolerâncias Lineares (classe m)	Dimensões lineares	>0,5 e ≤3	>3 e ≤6	>6 e ≤30	>30 e ≤120	>120 e ≤400	>400 e ≤1000	>1000 e ≤2000	>2000 e ≤4000	Dimensões Angulares	Lado mais curto do ângulo considerado (mm)					
Desvio admissível	Desvio admissível	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 1°*	≤10	>10-50	>50-120	>120-400	> 400	
Raios de curvatura e chanfros (*classe c)	Cotas nominais	>0,5 e ≤3	>3 e ≤6	>6 e ≤30	Tolerânci. Geometr. (classe K)	Perpendicularidade	Distância com cot. nominal para Lado mais curto	Distância com cot. nominal para Lado mais curto			Simetria	Valores de distância compreendidos entre				
Desvio admissível	Desvio admissível	± 0,2	± 0,3	± 0,5	Desvio admissível	Desvio admissível	≤100	>100-300	>300-1000	>1000-3000	Desvio admiss.	≤ 300	>300-1000	>1000-3000		
							0,4	0,6	0,8	1		0,6	0,8	1		

# Desenho Técnico Geral

Rev.	Alterações / Changes	Data / Date	Nome / Name
a)			
b)			

Revisões dos desenhos  
Drawing revision record



Este documento tem informação propriedade da Tecnolanema e não pode ser utilizada, reproduzida, divulgada, no todo ou em parte, ou comunicada a terceiros sem autorização escrita da Tecnolanema. This document contains proprietary information of Tecnolanema and such information may not be used, reproduced, disclosed, in whole or in part, or communicated to third parties without written permission of Tecnolanema

CONFIDENCIAL

Método Europeu First angle projection		2D / 3D	Nome Name	Assinatura Signature	Data Date	Material												
		Desenhou Draw by	Tiago R.		01-10-2017	Cor Color												
Escala Scale		Aprovou Approved by	Sistema CAD - SolidWorks			Tratamento Treatment												
1:10																		
Acabamento Surface finishing		Acabamento de cantos Edge finishing		Refª / Des. nº Desig. Nr.														
6.3 3.2				Plataforma Suporte Contendor														
Tolerâncias gerais para maquinação, para dimensões não toleranciadas (ISO 2768 mK)		Qualidade de Roscas Métricas Interior - IH Exterior - Iq																
Tolerâncias Lineares (classe m)	Dimensões lineares	>0,5 e ≤3	>3 e ≤6	>6 e ≤30	>30 e ≤120	>120 e ≤400	>400 e ≤1000	>1000 e ≤2000	>2000 e ≤4000	Dimensões Angulares	Lado mais curto do ângulo considerado (mm)							
	Desvio admissível	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2		± 1°	± 0° 30'	± 0° 20'	± 0° 10'	± 0° 5'			
Raios de curvatura e chanfros (*classe c)	Cotas nominais	>0,5 e ≤3	>3 e ≤6	>6 e ≤30	Tolerância Geometr. (classe K)					Perpendicularidade	Distância com cot. nominal para Lado mais curto				Simetria	Valores de distância compreendidos entre		
	Desvio admissível	± 0,2	± 0,3	± 0,5	Desvio admissível						± 0,4	± 0,6	± 0,8	± 1		≤ 300	>300-1000	>1000-3000
											A4		Folha 1 de 1					

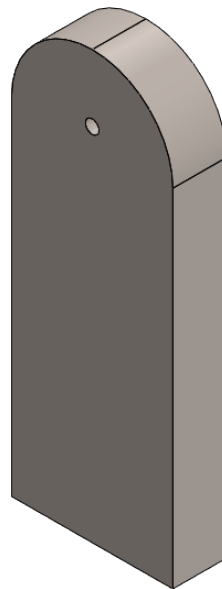
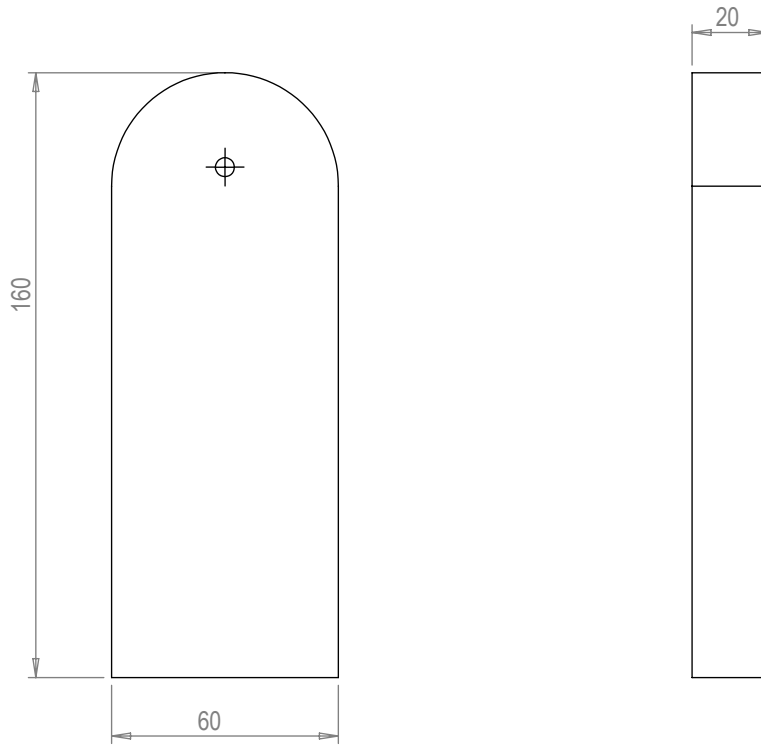


Substitui  
Old drawing

# Desenho Técnico Geral

Rev.	Alterações / Changes	Data / Date	Nome / Name
a)			
b)			

Revisões dos desenhos  
Drawing revision record



Este documento tem informação propriedade da Tecnolanema e não pode ser utilizada, reproduzida, divulgada, no todo ou em parte, ou comunicada a terceiros sem autorização escrita da Tecnolanema. This document contains proprietary information of Tecnolanema and such information may not be used, reproduced, disclosed, in whole or in part, or communicated to third parties without written permission of Tecnolanema

CONFIDENCIAL

Método Europeu First angle projection		2D / 3D	Nome Name	Assinatura Signature	Data Date	Material									
		Desenhou Draw by	Tiago R.		01-10-2017	Cor Color									
Escala Scale		Aprovou Approved by	Sistema CAD - SolidWorks			Tratamento Treatment									
1:2															
Acabamento Surface finishing		Acabamento de cantos Edge finishing		Refª / Des. nº Dwg. Nr.											
				Chapa_2 para inclinação do contentor											
Tolerâncias gerais para maquinagem, para dimensões não toleranciadas (ISO 2768 mK)		Qualidade de Roscas Métricas Interior - IH Exterior - IIG													
Tolerâncias Lineares (classe m)	Dimensões lineares	>0,5 e ≤3	>3 e ≤6	>6 e ≤30	>30 e ≤120	>120 e ≤400	>400 e ≤1000	>1000 e ≤2000	>2000 e ≤4000	Dimensões Angulares	Lado mais curto do ângulo considerado (mm)				
	Desvio admissível	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2		± 1°	± 0° 30'	± 0° 20'	± 0° 10'	± 0° 5'
Raios de curvatura e chanfros (*classe c)	Cotas nominais	>0,5 e ≤3	>3 e ≤6	>6 e ≤30	Tolerância Geometr. (classe K)					Simetria	Valores de distancia compreendidos entre				
	Desvio admissível	± 0,2	± 0,3	± 0,5	Perpendicularidade	≤100	>100-300	>300-1000	>1000-3000		Desvio admiss.	≤ 300	>300-1000	>1000-3000	1
				Desvio admissível	0,4	0,6	0,8	1							



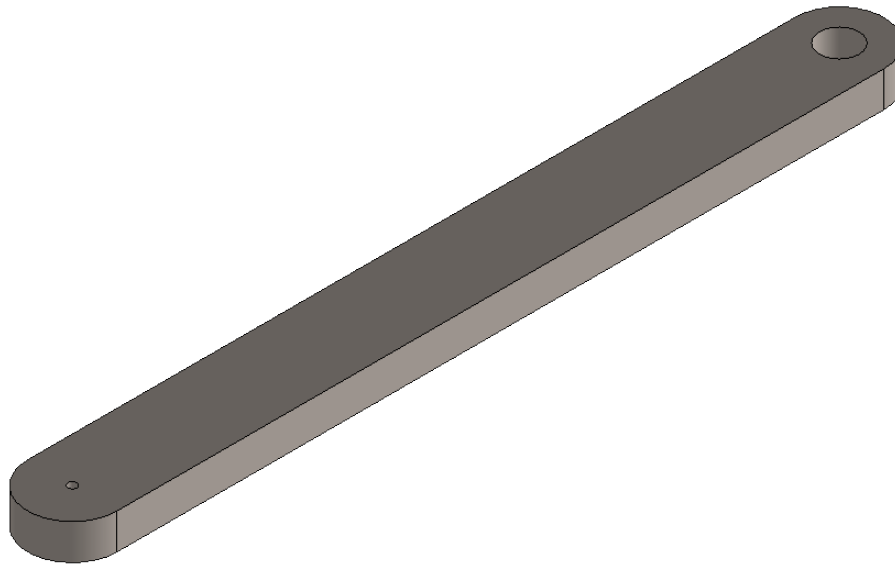
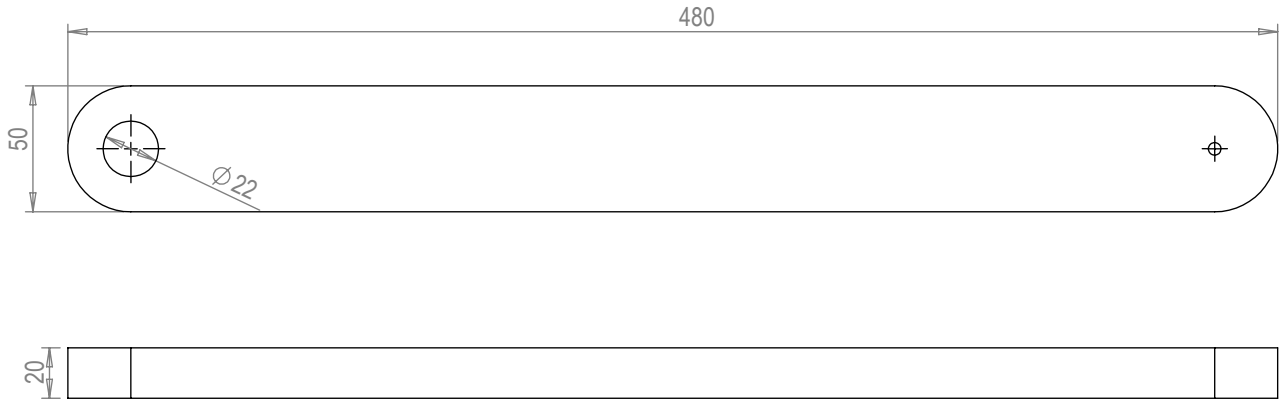
Substitui  
Old drawing

A4 Folha 1 de 1

# Desenho Técnico Geral

Rev.	Alterações / Changes	Data / Date	Nome / Name
a)			
b)			

Revisões dos desenhos  
Drawing revision record



Este documento tem informação propriedade da Tecnolanema e não pode ser utilizada, reproduzida, divulgada, no todo ou em parte, ou comunicada a terceiros sem autorização escrita da Tecnolanema. This document contains proprietary information of Tecnolanema and such information may not be used, reproduced, disclosed, in whole or in part, or communicated to third parties without written permission of Tecnolanema

CONFIDENCIAL

Método Europeu First angle projection	2D / 3D	Nome Name	Assinatura Signature	Data Date	Material ---										
	Desenhou Draw by	Tiago R.		01-10-2017	Cor Color										
Escala Scale	Aprovou Approved by	Sistema CAD - SolidWorks			Tratamento Treatment										
1:3					---										
Acabamento Surface finishing	Acabamento de cantos Edge finishing	Refª / Des. nº Dwg Nr.													
		Chapa_1 para inclinação do contentor													
Tolerâncias gerais para maquinagem, para dimensões não toleranciadas (ISO 2768 mK)		Qualidade de Roscas Métricas Interior - IH Exterior - IIG													
Tolerâncias Lineares (classe m)	Dimensões lineares	>0,5 e ≤3	>3 e ≤6	>6 e ≤30	>30 e ≤120	>120 e ≤400	>400 e ≤1000	>1000 e ≤2000	>2000 e ≤4000	Dimensões Angulares	Lado mais curto do ângulo considerado (mm)				
Desvio admissível	Desvio admissível	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 1°	≤10	>10-50	>50-120	>120-400	> 400
Raios de curvatura e chanfros (*classe c)	Cotas nominais	>0,5 e ≤3	>3 e ≤6	>6 e ≤30	Tolerânci. Geometr. (classe K)	Perpendicularidade	Desvio admissível	Distância com cot. nominal	para Lado mais curto	Simetria	Valores de distância compreendidos entre				
Desvio admissível	Desvio admissível	± 0,2	± 0,3	± 0,5		Desvio admissível	0,4	0,6	0,8	1	Desvio admiss.	≤ 300	>300-1000	>1000-3000	



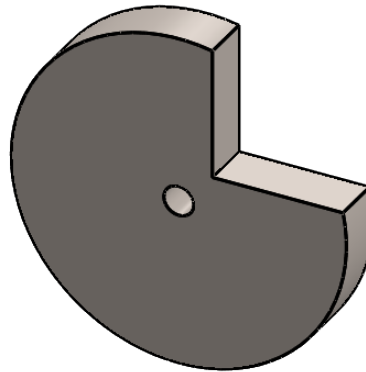
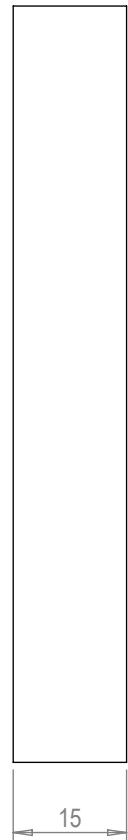
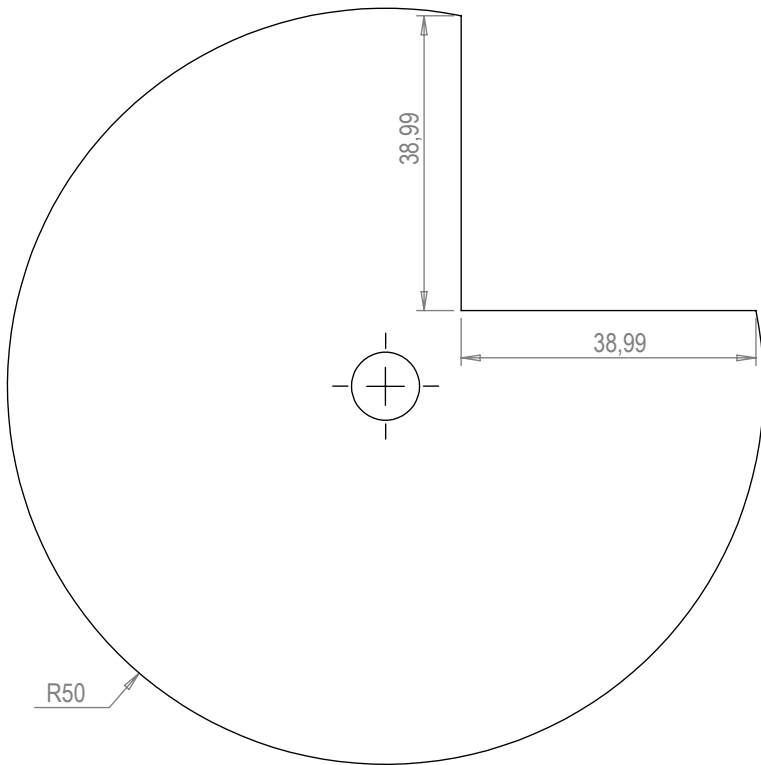
Substitui  
Old drawing

A4 Folha 1 de 1

# Desenho Técnico Geral

Rev.	Alterações / Changes	Data / Date	Nome / Name
a)			
b)			

Revisões dos desenhos  
Drawing revision record



Este documento tem informação propriedade da Tecnolanema e não pode ser utilizada, reproduzida, divulgada, no todo ou em parte, ou comunicada a terceiros sem autorização escrita da Tecnolanema. This document contains proprietary information of Tecnolanema and such information may not be used, reproduced, disclosed, in whole or in part, or communicated to third parties without written permission of Tecnolanema

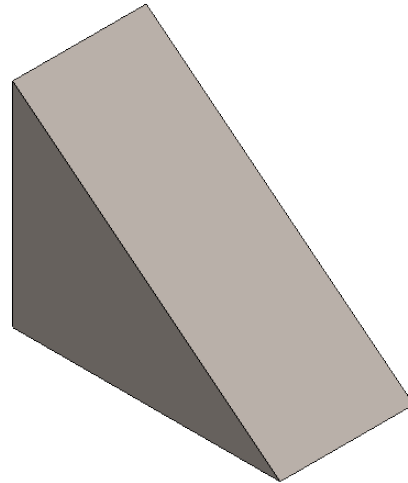
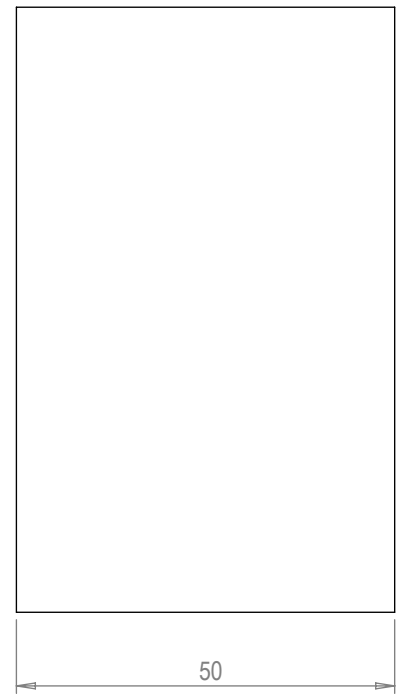
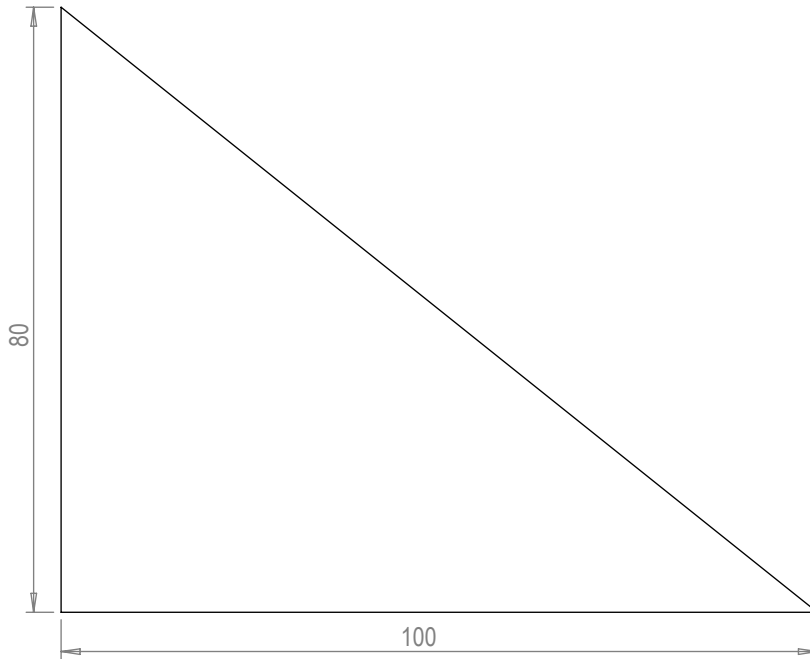
CONFIDENCIAL

<b>Método Europeu</b> First angle projection 		<b>2D / 3D</b> Nome Desenhou Draw by	Assinatura Signature	Data Date	Material Cor Tratamento Treatment												
<b>Escala</b> Scale 1:1		Sistema CAD - SolidWorks			 <b>orientabijuda</b> Ovar - Portugal												
<b>Acabamento</b> Surface finishing 6,3 / 3,2		<b>Acabamento de cantos</b> Edge finishing 1,0,5 / 0,5		<b>Refª / Des. nº</b> Desg. Nr.													
Tolerâncias gerais para maquinação, para dimensões não toleranciadas (ISO 2768 mK)		Qualidade de Roscas Métricas Interior - IH Exterior - Iq		Dimensões Lineares (classe m)													
Dimensões lineares Desvio admissível		>0,5 e ≤ 3 ± 0,1	>3 e ≤ 6 ± 0,1	>6 e ≤ 30 ± 0,2	>30 e ≤ 120 ± 0,3	>120 e ≤ 400 ± 0,5	>400 e ≤ 1000 ± 0,8	>1000 e ≤ 2000 ± 1,2	>2000 e ≤ 4000 ± 2	Dimensões Angulares Desvio admissível	Lado mais curto do ângulo considerado (mm)	≤ 10 ± 1°	>10-50 ± 0° 30'	>50-120 ± 0° 20'	>120-400 ± 0° 10'	> 400 ± 0° 5'	Substitui Old drawing
Raios de curvatura e chanfros ("classe c") Desvio admissível		Cotas nominais Desvio admissível	>0,5 e ≤ 3 ± 0,2	>3 e ≤ 6 ± 0,3	>6 e ≤ 30 ± 0,5	Tolerânc. Geometr. (classe K)	Perpendicularidade Desvio admissível	≤ 100 0,4	>100-300 0,6	>300-1000 0,8	>1000-3000 1	Simetria Desvio admiss.	Valores de distância compreendidos entre ≤ 300 0,6	>300-1000 0,8	>1000-3000 1	<b>A4</b>	Folha 1 de 1

# Desenho Técnico Geral

Rev.	Alterações / Changes	Data / Date	Nome / Name
a)			
b)			

Revisões dos desenhos  
Drawing revision record



Este documento tem informação propriedade da Tecnolanema e não pode ser utilizada, reproduzida, divulgada, no todo ou em parte, ou comunicada a terceiros sem autorização escrita da Tecnolanema. This document contains proprietary information of Tecnolanema and such information may not be used, reproduced, disclosed, in whole or in part, or communicated to third parties without written permission of Tecnolanema

CONFIDENCIAL

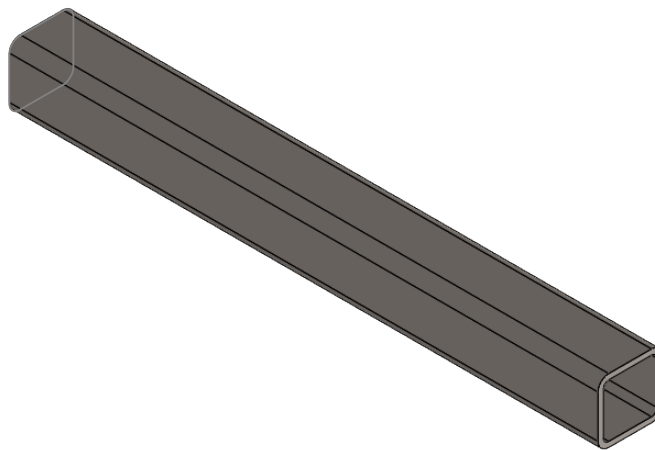
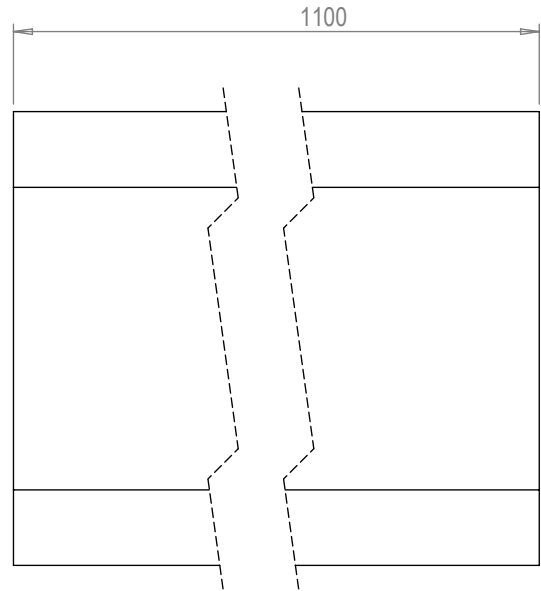
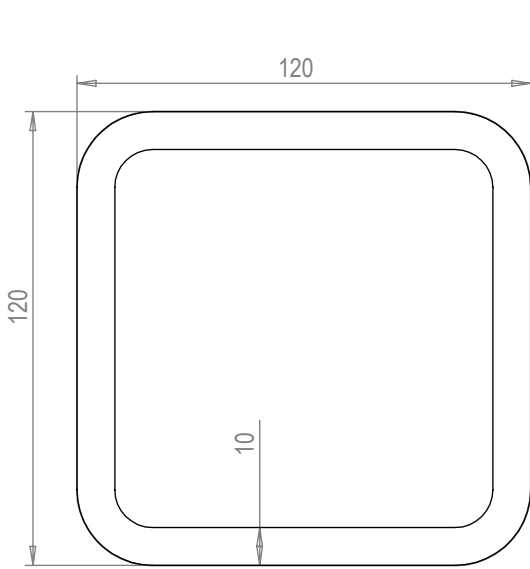
Método Europeu First angle projection	2D / 3D	Nome Name	Assinatura Signature	Data Date	Material										
	Desenhou Draw by	Tiago R.		01-10-2017	Cor Color										
Escala Scale	Aprovou Approved by	Sistema CAD - SolidWorks			Tratamento Treatment										
1:1															
Acabamento Surface finishing	Acabamento de cantos Edge finishing	Reforço_1													
		Ref# / Des. nº Dwg Nr.													
Tolerâncias gerais para maquinagem, para dimensões não toleranciadas (ISO 2768 mK)		Qualidade de Roscas Métricas Interior - IH Exterior - Iig													
Tolerâncias Lineares (classe m)	Dimensões lineares	>0,5 e ≤3	>3 e ≤6	>6 e ≤30	>30 e ≤120	>120 e ≤400	>400 e ≤1000	>1000 e ≤2000	>2000 e ≤4000	Dimensões Angulares	Lado mais curto do ângulo considerado (mm)				
Desvio admissível	Desvio admissível	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 10°	≤10	>10-50	>50-120	>120-400	> 400
Raios de curvatura e chanfros (*classe c)	Cotas nominais	>0,5 e ≤3	>3 e ≤6	>6 e ≤30	Tolerânc. Geometr. (classe K)	Perpendicularidade	≤100	>100-300	>300-1000	>1000-3000	Simetria	Valores de distancia compreendidos entre			
Desvio admissível	Desvio admissível	± 0,2	± 0,3	± 0,5	Desvio admissível	Desvio admissível	0,4	0,6	0,8	1	Desvio admiss.	≤ 300	>300-1000	>1000-3000	
											A4	Folha 1 de 1			



# Desenho Técnico Geral

Rev.	Alterações / Changes	Data / Date	Nome / Name
a)			
b)			

Revisões dos desenhos  
Drawing revision record



Este documento tem informação propriedade da Tecnolanema e não pode ser utilizada, reproduzida, divulgada, no todo ou em parte, ou comunicada a terceiros sem autorização escrita da Tecnolanema. This document contains proprietary information of Tecnolanema and such information may not be used, reproduced, disclosed, in whole or in part, or communicated to third parties without written permission of Tecnolanema

**CONFIDENCIAL**

Método Europeu First angle projection		2D / 3D	Nome Name	Assinatura Signature	Data Date	Material ---									
Escala Scale		Desenhou Draw by		01-10-2017		Cor Color									
1:2		Aprovou Approved by		Sistema CAD - SolidWorks		Tratamento Treatment									
Acabamento Surface finishing		Acabamento de cantos Edge finishing		Refª / Des. nº Dwg. Nr.											
6.3 3.2		10.5 10.5		<b>Tubo Seção Quadrada</b>											
Tolerâncias gerais para maquinagem, para dimensões não toleranciadas (ISO 2768 mK)				Qualidade de Roscas Métricas Interior - IH Exterior - Iq											
Tolerâncias Lineares (classe m)	Dimensões lineares	>0,5 e ≤3	>3 e ≤6	>6 e ≤30	>30 e ≤120	>120 e ≤400	>400 e ≤1000	>1000 e ≤2000	>2000 e ≤4000	Dimensões Angulares	Lado mais curto do ângulo considerado (mm)				
	Desvio admissível	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2		± 1*	± 0° 30'	± 0° 20'	± 0° 10'	± 0° 5'
Raios de curvatura e chanfros (*classe c)	Cotas nominais	>0,5 e ≤3	>3 e ≤6	>6 e ≤30	Tolerânc. Geometr. (classe K)					Simetria	Valores de distância compreendidos entre				
	Desvio admissível	± 0,2	± 0,3	± 0,5	Perpendicularidade	≤100	>100-300	>300-1000	>1000-3000		Desvio adm. 0,6	0,8	1		
				Desvio admissível		0,4	0,6	0,8	1						



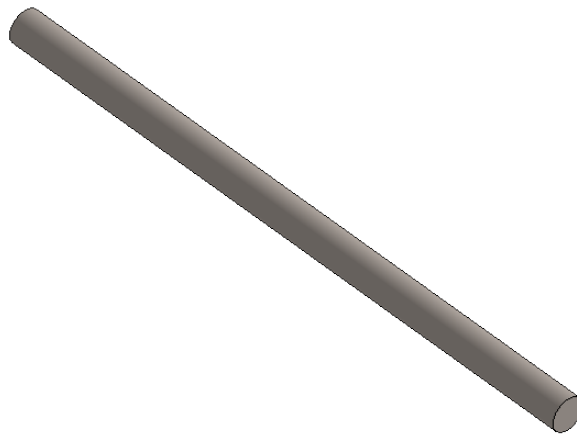
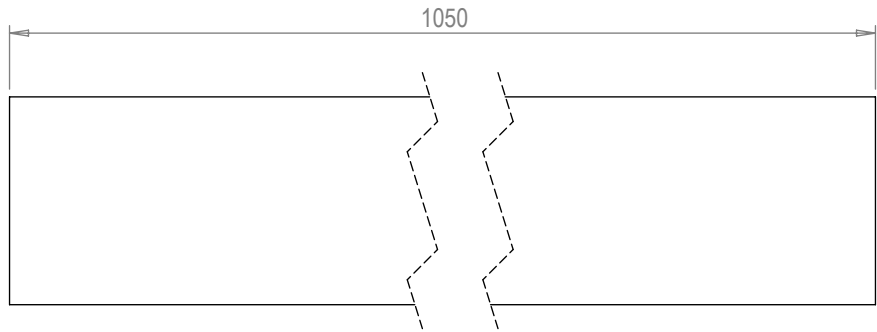
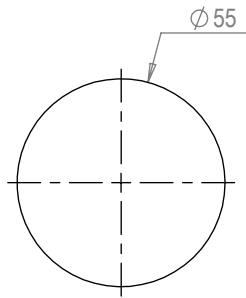
Substitui  
Old drawing

**A4** Folha 1 de 1

# Desenho Técnico Geral

Rev.	Alterações / Changes	Data / Date	Nome / Name
a)			
b)			

Revisões dos desenhos  
Drawing revision record



Este documento tem informação propriedade da Tecnolanema e não pode ser utilizada, reproduzida, divulgada, no todo ou em parte, ou comunicada a terceiros sem autorização escrita da Tecnolanema. This document contains proprietary information of Tecnolanema and such information may not be used, reproduced, disclosed, in whole or in part, or communicated to third parties without written permission of Tecnolanema

CONFIDENCIAL

Método Europeu First angle projection		2D / 3D	Nome Name	Assinatura Signature	Data Date	Material ---										
Escala Scale		1:2	Desenhou Draw by Tiago R.		01-10-2017	Cor Color										
Acabamento Surface finishing		6.3 3.2	Sistema CAD - SolidWorks			Tratamento Treatment ---										
Acabamento de cantos Edge finishing		1.0, 0.5	Refª / Des. nº Dwg Nr.			Veio										
Tolerâncias gerais para maquinagem, para dimensões não toleranciadas (ISO 2768 mK)			Qualidade de Roscas Métricas Interior - IH Exterior - Iig													
Tolerâncias Lineares (classe m)	Dimensões lineares	>0,5 e ≤3	>3 e ≤6	>6 e ≤30	>30 e ≤120	>120 e ≤400	>400 e ≤1000	>1000 e ≤2000	>2000 e ≤4000	Dimensões Angulares	Lado mais curto do ângulo considerado (mm)					
	Desvio admissível	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2		Desvio admissível	± 1*	± 0° 30'	± 0° 20'	± 0° 10'	± 0° 5'
Raios de curvatura e chanfros (*classe c)	Cotas nominais	>0,5 e ≤3	>3 e ≤6	>6 e ≤30	Tolerânc. Geometr. (classe K)					Simetria	Valores de distância compreendidos entre					
	Desvio admissível	± 0,2	± 0,3	± 0,5	Perpendicularidade	≤100	>100-300	>300-1000	>1000-3000		Desvio admiss.	≤ 300	>300-1000	>1000-3000	0,6	0,8
										Distância com cot. nominal para Lado mais curto						
										Desvio admissível						

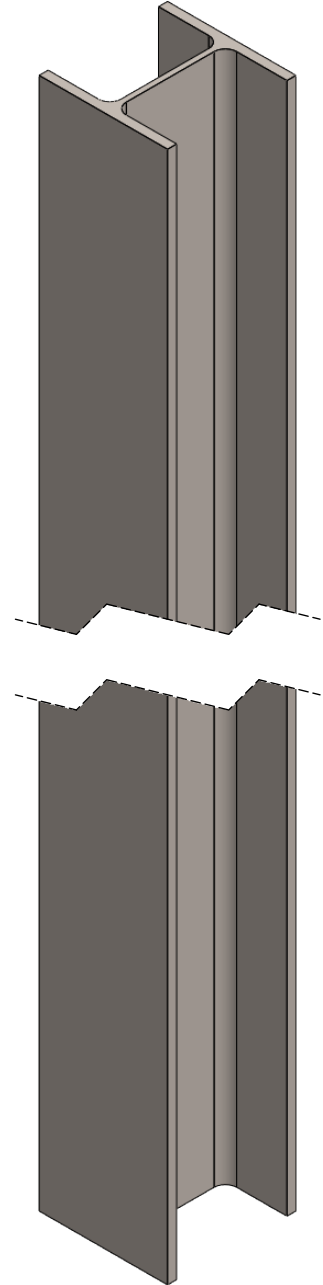
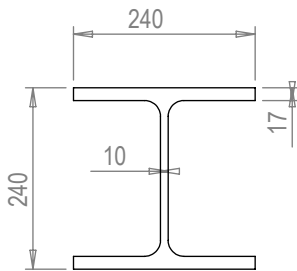
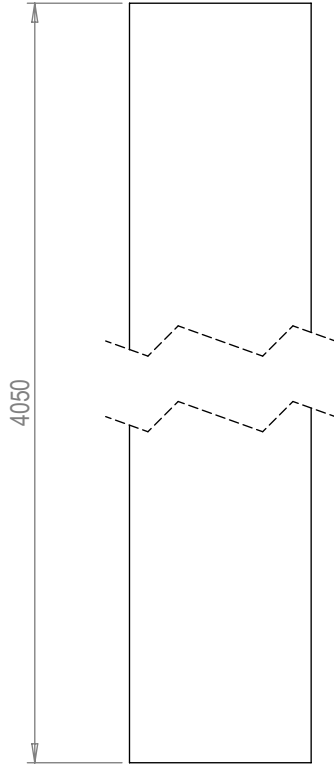


Substitui  
Old drawing

# Desenho Técnico Geral

Rev.	Alterações / Changes	Data / Date	Nome / Name
a)			
b)			

Revisões dos desenhos  
Drawing revision record



Este documento tem informação propriedade da Tecnolanema e não pode ser utilizada, reproduzida, divulgada, no todo ou em parte, ou comunicada a terceiros sem autorização escrita da Tecnolanema. This document contains proprietary information of Tecnolanema and such information may not be used, reproduced, disclosed, in whole or in part, or communicated to third parties without written permission of Tecnolanema.

CONFIDENCIAL

Método Europeu First angle projection	2D / 3D	Nome Name	Assinatura Signature	Data Date	Material										
	Desenhou Draw by	Tiago R.		01-10-2017	Cor Color										
Escala Scale	Aprovou Approved by	Sistema CAD - SolidWorks			Tratamento Treatment										
1:10															
Acabamento Surface finishing	Acabamento de cantos Edge finishing	Qualidade de Roscas Métricas Interior - IH Exterior - IIG		Refª / Des. nº Dwg. Nr.											
6.3 3.2				Pilar HEB 240											
Tolerâncias gerais para maquinagem, para dimensões não toleranciadas (ISO 2768 mK)															
Tolerâncias Lineares (classe m)	Dimensões lineares	>0,5 e ≤3	>3 e ≤6	>6 e ≤30	>30 e ≤120	>120 e ≤400	>400 e ≤1000	>1000 e ≤2000	>2000 e ≤4000	Dimensões Angulares	Lado mais curto do ângulo considerado (mm)				
Desvio admissível		± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	≤10	>10-50	>50-120	>120-400	> 400	
	Cotas nominais	>0,5 e ≤3	>3 e ≤6	>6 e ≤30	Tolerânc. Geometr. (classe K)	Perpendicularidade	Distância com cot. nominal	para Lado mais curto		Simetria	Valores de distancia compreendidos entre				
	Desvio admissível	± 0,2	± 0,3	± 0,5		Desvio admissível	≤100	>100-300	>300-1000	>1000-3000	≤300	>300-1000	>1000-3000		
							0,4	0,6	0,8	1	Desvio admiss.	0,6	0,8	1	



Substitui  
Old drawing

A4 Folha 1 de 1