



Instituto Superior de Engenharia

Politécnico de Coimbra

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Conceção e desenvolvimento de uma fresadora- retificadora

Relatório de Estágio para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Mecânica

Especialização em Construção e Manutenção de Equipamentos
Mecânicos

Autor

Tiago Moisés Pereira Ramos

Orientador

Cândida Maria dos Santos Pereira Malça

Supervisor na empresa
Industrial, Lda

Adunguem – Manutenção e Automação

Paulo Jorge Santos Nunes

Coimbra, novembro de 2023



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

AGRADECIMENTO

Aos meus pais, Maria e Adão, e à minha irmã, Rita, que sempre me apoiaram e motivaram ao longo de todas as etapas da minha vida. Sem eles, não teria conseguido. Agradeço toda a disponibilidade prestada e todo o apoio e conhecimento transmitido por parte da Doutora Cândida Malça durante todo o decorrer do estágio. Finalmente, agradeço à Adunguem., com especial referência ao Eng. Paulo Nunes, e a todas as pessoas que colaboraram para a obtenção deste resultado final.

RESUMO

Este relatório apresenta, no âmbito do estágio realizado na empresa Adunguem, a conceção e o desenvolvimento de uma fresadora-retificadora.

Esta fresadora-retificadora será construída pela Adunguem e a necessidade da sua conceção e desenvolvimento prendeu-se com a necessidade de diminuir a complexidade do alinhamento entre guias e fusos, em virtude das irregularidades existentes nas superfícies dos pórticos geradas durante o processo de construção dos mesmos.

O processo de conceção e de desenvolvimento da fresadora-retificadora teve início com a análise detalhada de vários possíveis tipos de conceitos para a estrutura da fresadora e da disposição dos componentes sobre esta estrutura. Para o efeito, foram efetuados os cálculos analíticos dos esforços sobre os patins e sobre o fuso, bem como, recorrendo ao método dos elementos finitos, a análise numérica ao comportamento da estrutura quando submetida aos esforços estáticos e aos esforços resultantes das operações de fresagem e retificação.

Por fim, é apresentada uma estimativa de custos para a construção desta fresadora-retificadora.

Palavras-chaves: Fresadora, Retificadora e Alinhamento de eixos.

ABSTRACT

As part of my internship at Adunguem, this report presents the design and development of a milling-grinding machine.

This milling-grinding machine will be built by Adunguem and the need for its design and development was related to the need to reduce the complexity to adjust the alignment between guides and spindles, due to the irregularities on the surfaces of the gantries generated during the process of building them.

The process of designing and developing the milling-grinding machine began with a detailed analysis of various possible concepts for the structure of the milling machine and the arrangement of the components on the structure. To this end, analytical calculations of the stresses on the linear bearing block and rolled ball screws were carried out, as well as, numerical analysis of the structure's behavior when subjected to static stresses and the stresses resulting from milling and grinding operations, using the finite element method.

Finally, a cost estimate for the construction of this milling-grinding machine is presented.

Keywords: Milling machine, grinding machine and shaft alignment.

ÍNDICE

Agradecimento.....	i
Resumo	ii
Abstract.....	iii
Índice.....	iv
Índice de figuras.....	vi
Índice de quadros	ix
Lista de siglas e acrónimos	xi
Lista de símbolos	xii
1 Introdução	1
1.1 Adunguem – Manutenção e Automação Industrial, Lda	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Atividades realizadas no estágio	2
1.4 Contexto	4
2 Desenvolvimento do Conceito	6
2.1 1º Conceito: Máquina portátil, com retificação por coluna a coluna.....	7
2.2 2º Conceito: Máquina portátil, com retificação total	11
2.3 3º Conceito: Máquina fixa, com retificação total.....	13
3 Composição da Fresadora - Retificadora: M&G_PMM_F	16
3.1 Base M&G_PMM_F_B.....	17
3.2 Base M&G_PMM_F_H.....	21
3.3 Base M&G_PMM_F_V	24
3.4 Base M&G_PMM_F_C – Cabeçote de fresar.....	26
4 Cálculos	28
4.1 Força de corte	28
4.2 Esforços que atuam nos patins.....	29
4.2.1 M&G_PMM_F_B.....	31
4.2.2 M&G_PMM_H.....	34
4.2.3 M&G_PMM_V	37
4.2.4 Resultados	39
4.3 Força exercida sobre as manivelas	40
4.4 Servo motores.....	42

Conceção e desenvolvimento de uma fresadora-retificadora

4.4.1	Momento Torsor.....	42
4.4.2	Escolha do fuso	42
4.5	Centro de gravidade das forças remotas usadas nos estudos.....	44
4.5.1	Forças para o estudo estático do M&G_PMM_F_H.....	44
4.5.2	Forças para o estudo estático do M&G_PMM_F_B	45
5	Estudo Estáticos	47
5.1	M&G_PMM_F_B.....	47
5.1.1	Distribuição de forças e restrições	47
5.1.2	Refinamento de malha	50
5.1.3	Resultados	54
5.2	M&G_PMM_H.....	58
5.2.1	Distribuição de forças e restrições	58
5.2.2	Refinamento de malha	60
5.2.3	Resultados	61
6	Custos.....	66
7	Conclusão e Tarefas Futuras	68
7.1	Conclusões	68
7.2	Tarefas Futuras	68
	Referências Bibliográficas.....	69
	Anexos	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Foto de uma linha de produção da Adunguem.	2
Figura 1.2 – Pórtico sem acessórios imagem do Inventor®: a) Vista de frente; b) Vista de trás.	4
Figura 2.1 – Exemplos das zonas a serem retificadas a vermelho: a) Pórtico da M&G 800 e 1000; b) Pórtico da M&G 600.	6
Figura 2.2 – Dimensões do cabeçote.	7
Figura 2.3 – Exemplo das três áreas de trabalho no pórtico da M&G 800 e 1000... ..	7
Figura 2.4 – Exemplo do conceito da máquina portátil, com retificação por coluna a coluna, com algumas dimensões.	8
Figura 2.5 – Exemplo da disposição da máquina sobre o pórtico na área de trabalho 1: a) Máquina sobre o pórtico M&G 800 e 100; b) Máquina sobre o pórtico M&G 600.	9
Figura 2.6 – Exemplo da disposição da máquina sobre o pórtico na área de trabalho 2: a) Máquina sobre o pórtico M&G 800 e 100; b) Máquina sobre o pórtico M&G 600.	9
Figura 2.7 – Exemplo da disposição da fêmea de esferas e do sistema de nivelção.	10
Figura 2.8 – Exemplo das possíveis colisões do cabeçote com a base da máquina.	11
Figura 2.9 – Exemplo da área de trabalho no pórtico da M&G 800 e 1000.	11
Figura 2.10 – Exemplo da disposição da máquina sobre o pórtico: a) Máquina sobre o pórtico M&G 800 e 100; b) Máquina sobre o pórtico M&G 600.	12
Figura 2.11 – Exemplo do conceito da máquina portátil, com retificação total, com algumas dimensões.	13
Figura 2.12 – Exemplo do conceito da máquina fixa, com retificação por coluna a coluna, com o pórtico.	14
Figura 2.13 – Exemplo do conceito da máquina fixa, com retificação por coluna a coluna, com algumas dimensões.	15
Figura 3.1 – Imagem explodida da máquina M&G_PMM_F:.....	16
Figura 3.2 – Imagem explodida da base M&G_PMM_F_B:.....	18
Figura 3.3 – Suporte das guias:	19
Figura 3.4 – Estrutura soldada da base M&G_PMM_F_B:	20
Figura 3.5 – Base M&G_PMM_F_H.	21
Figura 3.6 – Estrutura soldada da base M&G_PMM_F_H:.....	22

Figura 3.7 – Imagem explodida da base M&G_PMM_F_H:	23
Figura 3.8 – Base M&G_PMM_F_V a) Vista de frente; b) Vista por de trás.	24
Figura 3.9 – Imagem explodida da base M&G_PMM_F_V:.....	25
Figura 3.10 – Base M&G_PMM_F_C:.....	26
Figura 3.11 – Base M&G_PMM_F_C, vista de Topo.....	27
Figura 4.7 – Esquema das forças sobre os patins da base M&G_PMM_V quando ocorre a retificação em X.....	39
Figura 5.1 – Esquema das forças e restrição de movimento sobre a base M&G_PMM_F_B a simular apenas o repouso do pórtico sobre a base M&G_PMM_F_B.....	48
Figura 5.2 – Esquema das forças e restrição de movimento sobre a base M&G_PMM_F_B a simular quando ocorre a retificação em X sobre a base M&G_PMM_F_B: a) Representação frontal das posições laterais 1, 2 e 3; b) Representação frontal das posições centrais 4, 5 e 6; c) Representação de topo das 6 posição.	49
Figura 5.3 – Imagem do Inventor® das definições da Malha.....	50
Figura 5.4 – Valores do deslocamento u_s . o número de elementos do estudo a simular apenas o repouso do pórtico sobre a base M&G_PMM_F_B.....	51
Figura 5.5 – Valores do deslocamento u_s . o número de elementos do estudo a simular apenas o repouso do pórtico sobre a base M&G_PMM_F_B.....	51
Figura 5.6 – Valores do deslocamento u_s . o número de elementos do estudo a simular quando ocorre a retificação em X sobre a base M&G_PMM_F_B: a) Posição 1; b) Posição 2; c) Posição 3; d) Posição 4; e) Posição 5; f) Posição 6.	52
Figura 5.7 – Valores do deslocamento u_s . o número de elementos do estudo a simular quando ocorre a retificação em X sobre a base M&G_PMM_F_B: a) Posição 1; b) Posição 2; c) Posição 3; d) Posição 4; e) Posição 5; f) Posição 6.	53
Figura 5.8 – Distribuição das tensões Von Mises obtidas considerando que o pórtico está em repouso sobre a base M&G_PMM_F_B.	54
Figura 5.9 – Distribuição das tensões Von Mises obtidas quando ocorre a retificação em X sobre a base M&G_PMM_F_B: a) Posição 1; b) Posição 2; c) Posição 3; d) Posição 4; e) Posição 5; f) Posição 6.....	55
Figura 5.10 – Distribuição dos deslocamentos obtida considerando que o pórtico está em repouso sobre a base M&G_PMM_F_B.	56
Figura 5.11 – Distribuição dos deslocamentos obtida quando ocorre a retificação em X sobre a base M&G_PMM_F_B: a) Posição 1; b) Posição 2; c) Posição 3; d) Posição 4; e) Posição 5; f) Posição 6.....	57

Figura 5.12 – Esquema das forças e restrição de movimento sobre a base M&G_PMM_F_H a simular quando ocorre a retificação em Y sobre a base M&G_PMM_F_H: a) Representação da posição 2, vista por de baixo; b) Representação frontal e de topo das posições 1, 2 e 3.59

Figura 5.13 – Valor do deslocamento *vs.* o número de elementos dos estudos a simular quando ocorre a retificação em Y sobre a base M&G_PMM_F_H: a) Gráfico da Posição 1; b) Gráfico da Posição 2; c) Gráfico da Posição 3;..... 60

Figura 5.14 – Distribuição de tensões de Von Mises obtidas quando ocorre a retificação em Y sobre a base M&G_PMM_F_H, Vista de frente: a) Posição 1; b) Posição 2; c) Posição 3..... 62

Figura 5.15 – Distribuição de tensões de Von Mises obtidas quando ocorre a retificação em Y sobre a base M&G_PMM_F_H, Vista por de trás: a) Posição 1; b) Posição 2; c) Posição 3..... 63

Figura 5.16 – Distribuição de tensões de Von Mises obtidas quando ocorre a retificação em Y sobre a base M&G_PMM_F_H, Vista de topo: a) Posição 1; b) Posição 2; c) Posição 3..... 64

Figura 5.17 – Distribuição dos deslocamentos obtidos quando ocorre a retificação em Y sobre a base M&G_PMM_F_H, Vista de lateral da Posição 1..... 65

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 4.1 – Dados usados nas fórmulas	28
Quadro 4.2 – Resultados obtidos	29
Quadro 4.3 – Dados usados ao longo deste subcapítulo	31
Quadro 4.4 – Dados fornecidos pelo esquema	32
Quadro 4.5 – Cálculo do \mathcal{W}	32
Quadro 4.6 – Resultados das forças obtidas	32
Quadro 4.7 – Dados fornecidos no esquema	33
Quadro 4.8 – Resultados das forças obtidas	34
Quadro 4.9 – Dados fornecidos no esquema	35
Quadro 4.10 – Cálculo do \mathcal{W}	35
Quadro 4.11 – Resultados das forças obtidas	35
Quadro 4.12 – Dados fornecidos no esquema	36
Quadro 4.13 – Resultados das forças obtidas	37
Quadro 4.14 – Dados fornecidos no esquema	38
Quadro 4.15 – Cálculo do \mathcal{W}	38
Quadro 4.16 – Resultados das forças obtidas	38
Quadro 4.17 – Dados fornecidos no esquema	38
Quadro 4.18 – Resultados das forças obtidas	39
Quadro 4.19 – Maiores valores de P em valor absoluto de cada conjunto de patins.	39
Quadro 4.20 – Valor de segurança estrutural estática de cada patim.....	40
Quadro 4.21 – Passo de cada fuso usado.....	40
Quadro 4.22 – Dados considerados para os cálculos.....	41
Quadro 4.23 – Resultados obtidos para os dois tipos de fusos.....	41
Quadro 4.24 – Binário necessário para os servo motores.....	42
Quadro 4.25 – Dados sobre os fusos.....	42
Quadro 4.26 – Fatores sobre tipo de montagem.....	43
Quadro 4.27 – Resultados de F_{kmax} e n_{kmax}	44
Quadro 4.28 – Centro de gravidade da base M&G_PMM_F_C.....	44

Quadro 4.29 – Centro de gravidade das bases M&G_PMM_F_V e M&G_PMM_F_C.....	45
Quadro 4.30 – Centro de gravidade da base M&G_PMM_F_H.....	46
Quadro 5.1 – Valores de tensão e deslocamentos máximos da Base M&G_PMM_F_B.....	58
Quadro 5.2 – Valores de tensão e deslocamentos máximos da Base M&G_PMM_F_H.....	64
Quadro 6.1 – Estimativa de custos das peças/estruturas feitos externamente.	66
Quadro 6.2 – Custo do cabeçote e das guias, fusos e acessórios.....	67
Quadro 6.3 – Custo de cada Base.....	67

LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS

DXF	<i>Drawing Exchange Format</i>
STL	Estereolitografia (formato de arquivo comumente usado para impressão 3D)
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
3D	Tridimensional
2D	Bidimensional

LISTA DE SÍMBOLOS

Alfabeto latino

a_e	Profundidade radial de corte
a_p	Profundidade do corte axial
v_f	Avanço da mesa
K_c	Força de corte específica
n	Velocidade de rotação
P_c	Potência líquida
M_c	Torque de corte
F_c	Força de corte
W	Peso dos componentes
F	Força de movimento; outras forças derivadas
F_A	Força de reação
P	Carga sobre os patins individualmente
P_t	Carga sobre os patins individualmente
C_0	capacidade de carga estática
g	Aceleração gravítica
c	Distância entre guias
d	Distância entre patins
a, b, l	Distância desde a força de reação até ao centro geométrico
h	Distância desde o centro de gravidade dos componentes até ao patim
f_{SL}	segurança estrutural estática
S	Força de atrito dos patins com a guia
$d_{manivela}$	Diâmetro externo das manivelas usadas
F_w	Força de trabalho
T_a	Torque do fuso
F_u	Força exercida pelo utilizador sobre a manivela
d_k	Diâmetro interno/núcleo do fuso
f_k	Fator para diferentes tipos de montagens (carga de encurvadura)
f_n	Fator para diferentes tipos de montagens
l_s	Comprimento do fuso suspenso
F_{kmax}	Carga máxima admissível
n_{kmax}	Velocidade máxima admissível
X_i	Coordenada em X
Y_i	Coordenada em Y
$erro_D$	Varição do deslocamento nos estudos
D	Deslocamento nos estudos
mm	Milímetro
kg	Quilograma
N	Newton
rpm	Rotações por minuto
min	Minuto

m	Metro
kW	Quilowatt
MPa	Mega Pascal

Alfabeto grego

μ	Coeficiente de atrito
η_t	Eficiência mecânica

1 INTRODUÇÃO

Neste relatório serão descritas as atividades realizadas durante o estágio na empresa Adunguem – Manutenção e Automação Industrial, Lda, doravante designada por Adunguem, sendo que a principal atividade se centrou no desenvolvimento de uma fresadora-retificadora dando especial ênfase à retificação das zonas onde são montadas as guias e as chumaceiras no pórtico das máquinas de furar M&G3 OV.

1.1 Adunguem – Manutenção e Automação Industrial, Lda

A Adunguem foi fundada em 2005 com o propósito inicial de responder às necessidades de manutenção de equipamentos industriais, citando o proprietário da Adunguem “com o esforço e dedicação de toda uma equipa, conseguimos progredir e dar um passo em frente. Construimos e registámos assim a primeira marca a nível nacional de Linhas de Furação e Corte, a M&G *Steel Machines*[®], como resultado do nosso crescimento e dedicação contínuos.”

A Adunguem tem assim como principal atividade o desenvolvimento e construção de máquinas de Furação, modelos da marca M&G *Steel Machines*[®] bem como a sua comercialização. A Adunguem comercializa adicionalmente as máquinas de corte, modelos da empresa Bomar (a Adunguem é a representante nacional da Bomar) e dos acessórios para a construção de uma linha de produção, como por exemplo mesas de entrada e saída, carregadores, empurrador e extrator. Além da venda destes equipamentos também são fornecidos serviços de montagem dos equipamentos e a sua manutenção. Uma linha de produção completa, como se pode ver na Figura 1.1, é constituída por:

- Carregadores de entrada e saída;
- Mesas de entrada e saída com cumprimentos à escolha do cliente;
- Mesa intermédia entre a unidade de furação e de corte;
- Uma unidade de furação;
- Uma unidade de corte;
- Empurrador;
- Extrator.



Figura 1.1 – Foto de uma linha de produção da Adunguem.

Na sua maioria, as peças são feitas por contratação a terceiros, sendo, todavia, as pequenas operações de produção asseguradas pela Adunguem, pese embora o seu foco seja a montagem e o ensaio das máquinas.

1.2 Objetivos

Com este estágio pretendeu-se adquirir conhecimentos no âmbito do desenvolvimento de projeto, nomeadamente na conceção e produção de máquinas de fresar, retificar, de furação e corte, i.e.:

- Desenvolver capacidades de desenho e conceção de componentes;
- Adquirir conhecimentos relacionados com a seleção dos componentes mecânicos mais ajustados a cada máquina;
- Adquirir conhecimentos no âmbito dos processos fabrico e seleção de materiais;
- Adquirir conhecimentos relacionados à produção e montagem das linhas de produção M&G.

1.3 Atividades realizadas no estágio

Para o estágio foi estabelecido o seguinte plano de trabalho:

- Fase 1: Pesquisa e análise da informação disponibilizada na literatura sobre máquinas de fresar;

- Fase 2: Projetar uma fresadora-retificadora;
- Fase 3: Projetar uma linha de produção de acordo com a necessidade de cada cliente;
- Fase 4: Criação de *layouts* de linhas de corte e furação para diferentes clientes;
- Fase 5: Montagem de máquinas;
- Fase 6: Realização do relatório final.

Na Fase 1 foi efetuada uma pesquisa sobre quais são os tipos de componentes que constituem uma fresadora, dando especial atenção às fresadoras portáteis e ao seu princípio de funcionamento. Foi também explorada a informação disponível sobre as máquinas M&G.

A Fase 2 correspondeu ao desenvolvimento de uma fresadora para retificar os pórticos usados nas máquinas M&G, sendo esta a principal atividade desenvolvida neste estágio e que está bem patente neste relatório.

No que diz respeito às Fases 3 e 4 foi, primeiramente, feito um *layout* em Autocad[®](2D) a partir dos *layouts* já existentes para uma primeira visualização das dimensões e da disposição das máquinas e seus acessórios. Aprovado este primeiro *draft* pelo cliente é então criado um *layout* mais personalizado em Inventor[®](3D) com os *inputs* e *feedback* fornecido pelo cliente sendo de seguida feita uma conversão do *layout* em Inventor[®](3D) para Autocad[®](2D). Exemplo de atividades realizadas nestas duas fases é a alteração ou criação de componentes e dos seus respetivos desenhos técnicos e, em função do processo de fabrico, também a criação de ficheiros DXF ou STL.

A Fase 5 foi dedicada à participação ativa na secção de produção e na secção de montagem. Na secção de produção foram realizadas operações como: corte de perfis numa serra mecânica; corte de chapas metálica com o auxílio de um berbequim; furação numa fresadora convencional, numa máquina de furar de coluna e com um berbequim; criação de rosca com e sem o auxílio de máquina de roscar e, por fim, o facejamento e furação de veios com o auxílio de um torno convencional. A passagem pela secção de montagem envolveu a montagem de diversos componentes no pórtico das Máquinas M&G, como por exemplo: a montagem de guias, chumaceiras, mesa móvel, blindagens, ligar/desligar cabos, montagem das mesas, dos carregadores/descarregadores, do empurrador e do extrator, também envolveu a realização de uma pequena alteração na máquina de corte dado que o suporte para o *encoder* que vem com a máquina não ser compatível com o *encoder* usado pela Adunguem. Esta Fase incluiu ainda o ensaio das máquinas depois de montadas, sendo efetuadas de seguida a desmontagem e efetuado o carregamento dos componentes das máquinas nos veículos de transporte

A Fase 6 envolveu, exclusivamente, a realização deste documento, realização dos cálculos e dos estudos estáticos efetuados com a ajuda do Inventor[®].

1.4 Contexto

Na montagem das máquinas M&G *Steel Machines*[®] uma das operações mais importantes e que consome um tempo considerável é a realização do alinhamento dos eixos responsáveis pelo movimento do cabeçote de fresagem. Sendo que, para os 3 eixos de cada máquina, é normal alocar cerca de 8 horas à operação de alinhamento.

Todavia, um bom alinhamento é a garantia da redução do nível de vibrações, bem como do desgaste dos componentes móveis como patins e as fêmeas de esferas, o que aumenta não só a sua vida útil total da máquina, mas, adicionalmente, reduz o número de intervenções de manutenção. Igualmente importante é garantir um elevado grau de precisão nas operações realizadas pelas máquinas M&G.

De reportar que o processo de alinhamento é uma tarefa delicada e exigente em virtude da existência, na superfície do pórtico, de irregularidades causadas pelos processos a que o pórtico é submetido durante a sua construção, sendo os processos de quinagem e de soldadura os que mais contribuem para a existência dessas irregularidades (Figura 1.2). O processo de quinagem provoca o encurvamento da superfície, enquanto o de soldadura, devido às grandes variações de temperaturas nas regiões onde ocorre o processo, provoca rugosidades superficiais. A Figura 1.2 b) ilustra as chapas internas que são soldadas ao pórtico. A soldadura destas chapas constitui uma das principais causas de irregularidades nos pórticos. Todavia, a sua existência é determinante pois são nelas que são acoplados outros componentes.

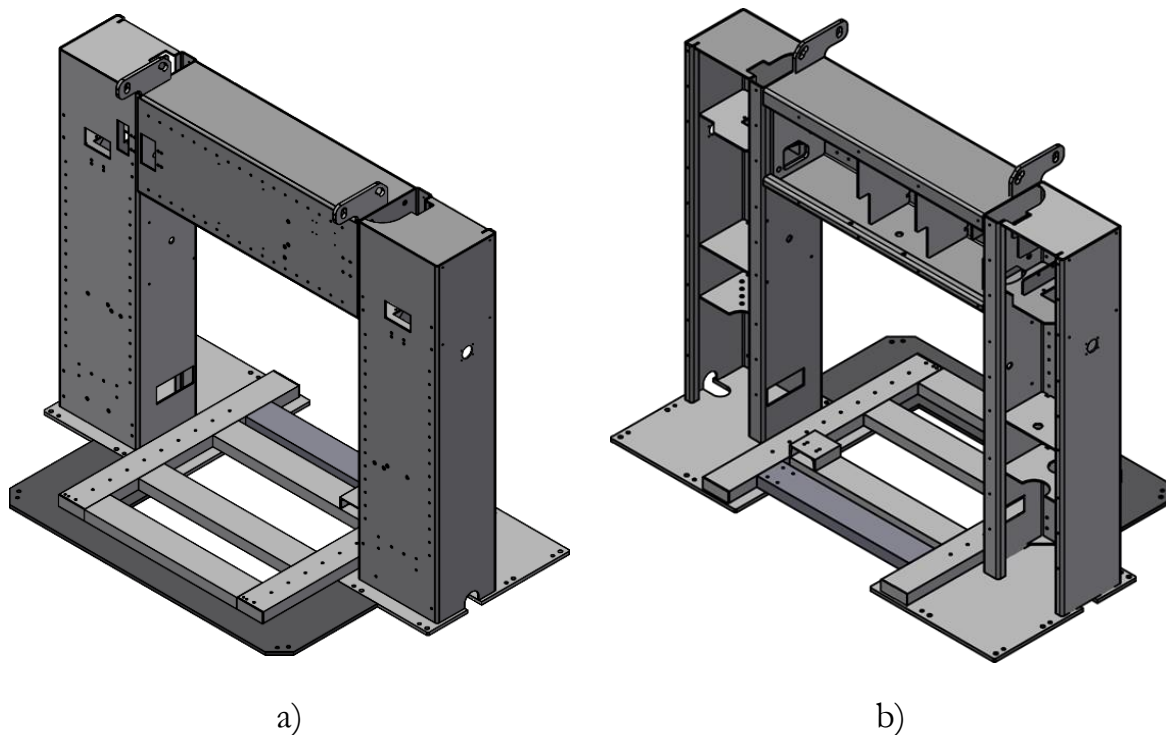


Figura 1.2 – Pórtico sem acessórios imagem do Inventor[®]: a) Vista de frente; b) Vista de trás.

Atualmente, o processo de alinhamento envolve os seguintes passos:

- Calçar as chumaceiras com anilhas calibradas;
- Apertar os parafusos;
- Verificar se existe alguma resistência no movimento dos patins;
- Desapertar os parafusos volta-se a calçar as chumaceiras, se houver resistência;
- Repetir o processo.

Como a principal causa da demora na operação de alinhamento é processo de seleção da combinação de anilhas calibradas mais adequada foi então decidido que o desenvolvimento de uma máquina com o objetivo de retificar as zonas onde se alojam as chumaceiras e as guias seria de fundamental importância. Tal eliminaria a necessidade de calçar as chumaceiras, garantindo que estas e as guias estão no mesmo plano.

2 DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO

Na concepção e desenvolvimento da máquina para retificar as zonas onde são montadas as chumaceiras e as guias foram considerados 3 conceitos distintos:

- 1º Conceito: Máquina portátil, com retificação por coluna a coluna;
- 2º Conceito: Máquina portátil, com retificação total;
- 3ª Conceito: Máquina fixa, com retificação total.

A Figura 2.1 representa os dois pórticos - 2.1 a) Pórtico 800 e 1000; 2.1 b) Pórtico 600 - produzidos pela M&G. A principal diferença entre os dois pórticos assenta nas suas dimensões, sendo o pórtico representado na Figura 2.1b) mais pequeno 200 mm em largura e 220 mm em altura relativamente ao pórtico ilustrado na da Figura 2.1a), sendo, todavia, mantidas as distâncias entre as guias e as chumaceiras. Na Figura 2.1 é possível ver a furação usada pelas chumaceiras e pelas guias, assinaladas a vermelho, nos dois tipos de pórticos. É precisamente estas zonas que é necessário retificar.

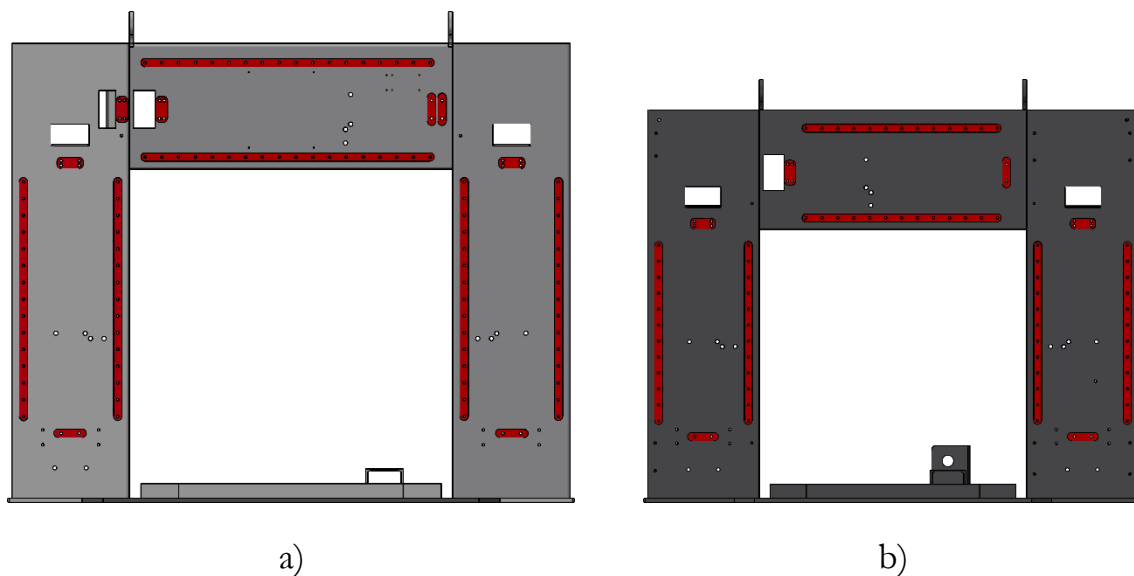


Figura 2.1 – Exemplos das zonas a serem retificadas a vermelho: a) Pórtico da M&G 800 e 1000; b) Pórtico da M&G 600.

Para além de a máquina ter sido projetada para retificar os dois pórticos mencionados anteriormente, ela também foi projetada para usar o cabeçote de fresagem representado na Figura 2.2. Este cabeçote é responsável por retificar as zonas mencionadas anteriormente, tendo sido escolhido fundamentalmente por duas razões: 1º suporta o tipo de porta-ferramentas usado pela Adunguem; e 2º apresenta o menor binário dos cabeçotes fornecidos pelo *Group ERLO*.

Os fusos responsáveis por mover o cabeçote foram inicialmente projetados para serem acionados através de manivelas sendo, posteriormente, controlados por servo motores e realizadas as necessárias considerações para esta futura alteração.

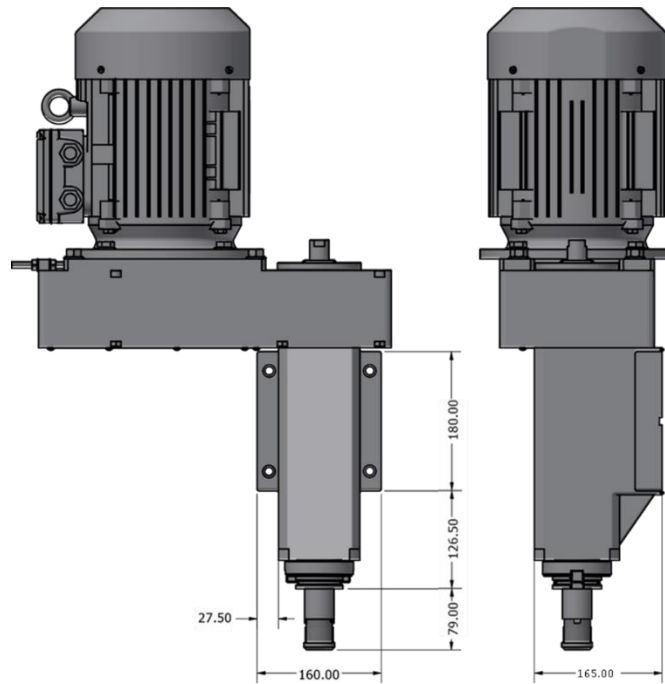


Figura 2.2 – Dimensões do cabeçote.

2.1 1º Conceito: Máquina portátil, com retificação por coluna a coluna

O 1º conceito consistiu em criar uma máquina pequena e portátil que seria pousada sobre o pórtico já deitado e que iria individualmente retificar as 3 zonas assinaladas a vermelho na Figura 2.3.

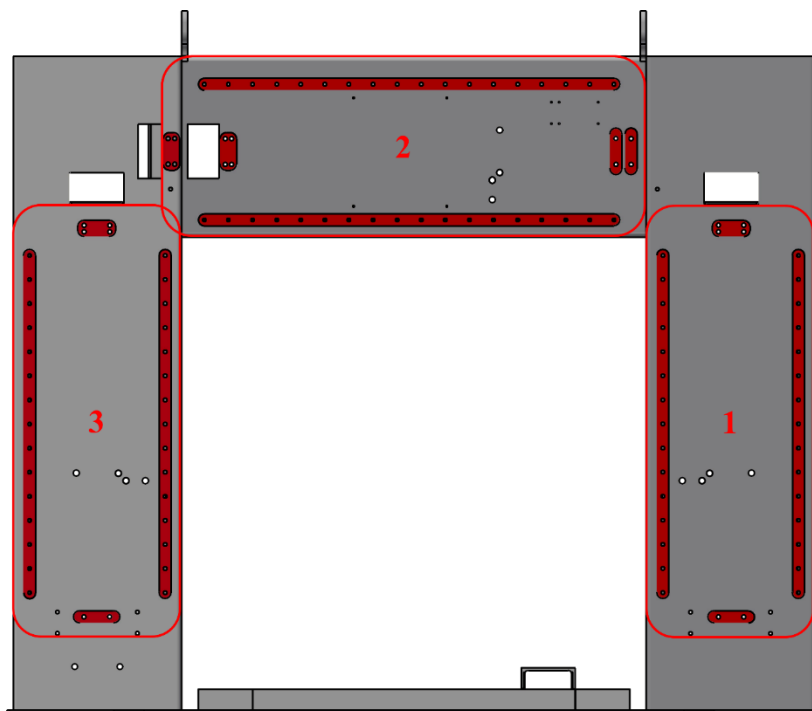


Figura 2.3 – Exemplo das três áreas de trabalho no pórtico da M&G 800 e 1000.

Como se pode constatar pela Figura 2.3, a área de trabalho permitida por este conceito é relativamente pequena quando comparada às áreas de trabalho permitidas pelos 2º e 3º conceitos, como se demonstrará mais adiante. Consequentemente, este conceito precisa de uma estrutura mais pequena, o que resulta num menor peso total e espaço necessário para alojar a máquina em chão de fábrica, bem como uma menor dificuldade no transporte graças às suas dimensões mais reduzidas.

Este 1º conceito está ilustrado na Figura 2.4, sendo constituído por dois perfis do tipo I com 2370 mm de comprimento e uma distância entre guias de 265 mm. O comprimento dos perfis é o valor mínimo para que seja possível retificar a zona 2 do pórtico 800 e 1000 na totalidade (ver Figura 2.6a)). Como é preciso uma base em perfis de tal comprimento, o único local onde tal é possível corresponde ao espaço entre as guias e as chumaceiras. Nas Figura 2.5 e Figura 2.6 é possível ver como ficaria disposta a máquina em duas das zonas em cada pórtico, a máquina na zona 3 fica disposta de maneira idêntica à zona 1.

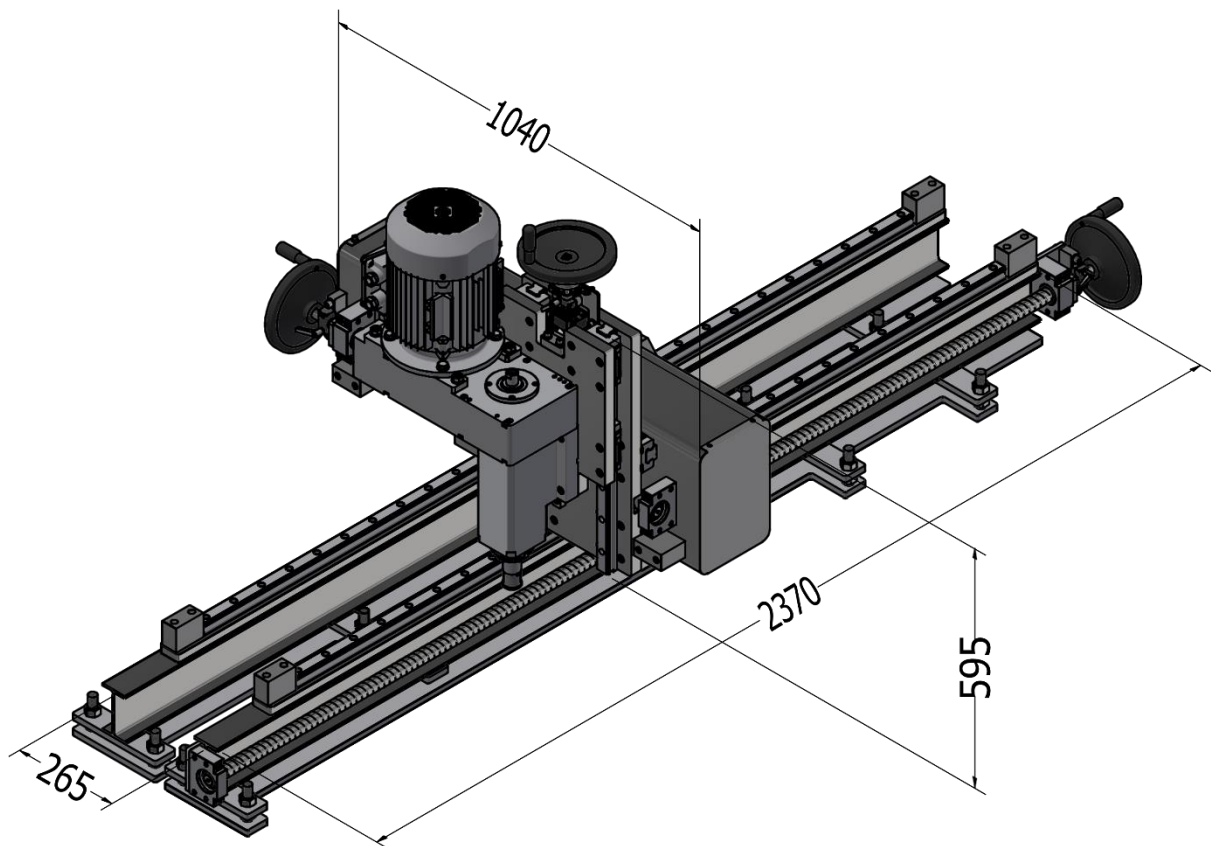


Figura 2.4 – Exemplo do conceito da máquina portátil, com retificação por coluna a coluna, com algumas dimensões.

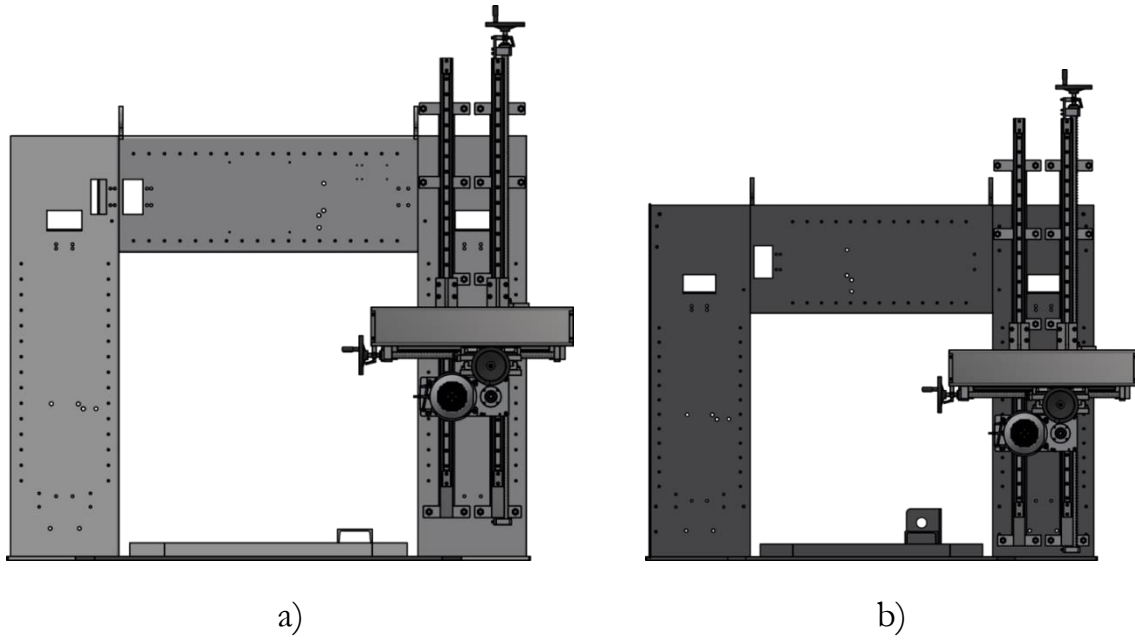


Figura 2.5 – Exemplo da disposição da máquina sobre o pórtico na área de trabalho 1: a) Máquina sobre o pórtico M&G 800 e 100; b) Máquina sobre o pórtico M&G 600.

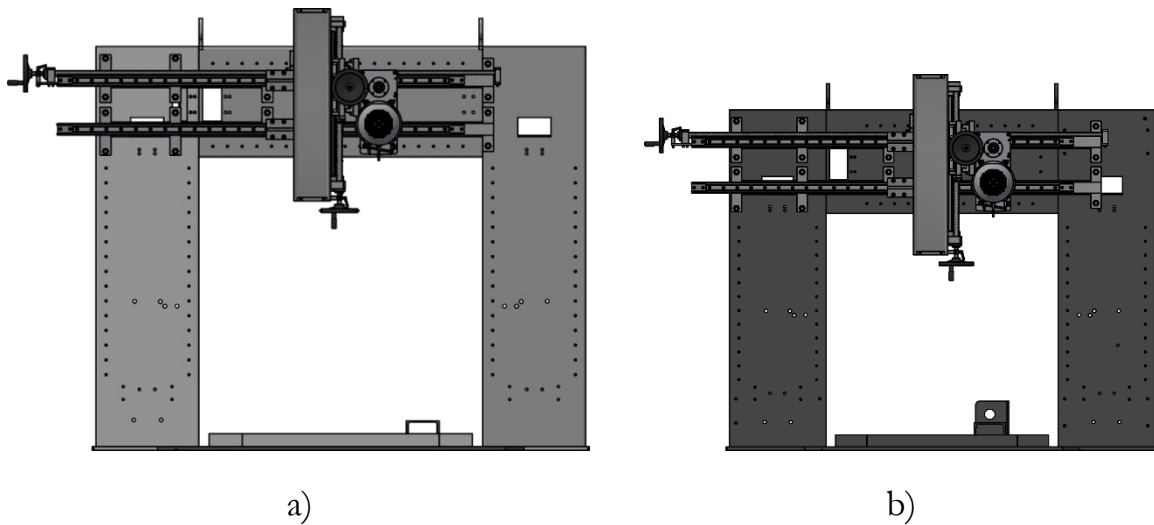


Figura 2.6 – Exemplo da disposição da máquina sobre o pórtico na área de trabalho 2: a) Máquina sobre o pórtico M&G 800 e 100; b) Máquina sobre o pórtico M&G 600.

Como este conceito implica trocar a posição da máquina para poder retificar tudo, seria necessário um sistema de nivelção para criar um paralelismo entre as zonas a serem retificadas e, como se pode ver na Figura 2.7, esse sistema de nivelção tinha de ter em conta o espaço suficiente para não interromper a passagem da fêmea de esferas ao longo do fuso. Além disso, ao mudar de zona a ser retificada, o sistema de nivelção não podia pousar na região a ser retificada.

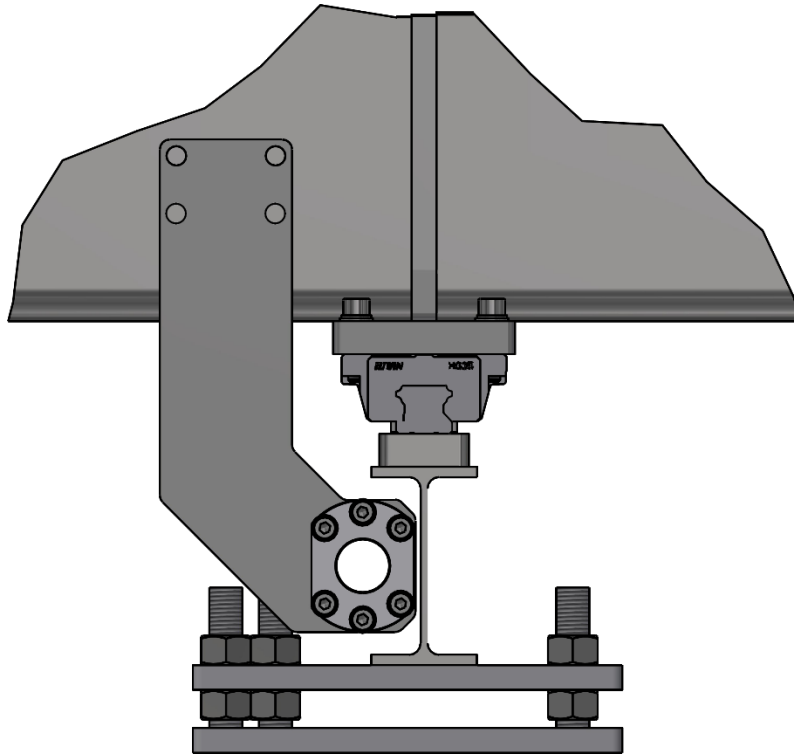


Figura 2.7 – Exemplo da disposição da fêmea de esferas e do sistema de nivelção.

Mas os dois problemas mais críticos deste conceito estão representados na Figura 2.8. O primeiro é a possível colisão com o fuso e o segundo é a possível colisão com a guia. Estes problemas são causados pelo espaço reduzido existente entre as guias e chumaceiras. Neste espaço é preciso colocar os perfis, o fuso, as chumaceiras e ainda ter espaço para a passagem da fêmea de esferas. Tal, implicaria a existência de uma folga de menos 10 mm dos perfis com a unidade de fresar, independentemente do diâmetro usado na guia. Como tal, a unidade de fresar ao movimentar-se no eixo dos ZZ colidiria com a guia antes mesmo de chegar no pórtico.

Para resolver estes dois problemas colocaram-se duas possíveis soluções: i) a primeira passava por usar um perfil com uma altura menor, mas esta solução iria reduzir a resistência à flexão da base o que seria um constrangimento visto que a base está pousada sobre o sistema de nivelção; ii) e a segunda solução passava por aumentar o tamanho do porta-ferramentas, todavia esta solução acarreta consigo mais dois problemas: i) o primeiro seria o aumento do nível de vibrações por causa da ferramenta estar posicionada a uma maior distância da unidade de fresar, e ii) para que a ferramenta pudesse passar de um lado do perfil para o outro lado, seria necessário mover a unidade de fresar para a posição limite superior de modo a passar por cima das guias, mas ao aumentar o porta-ferramentas também seria necessário aumentar as guias e chapa metálica retificada onde as guias se encontram, o que aumentaria os custos dessa chapa.

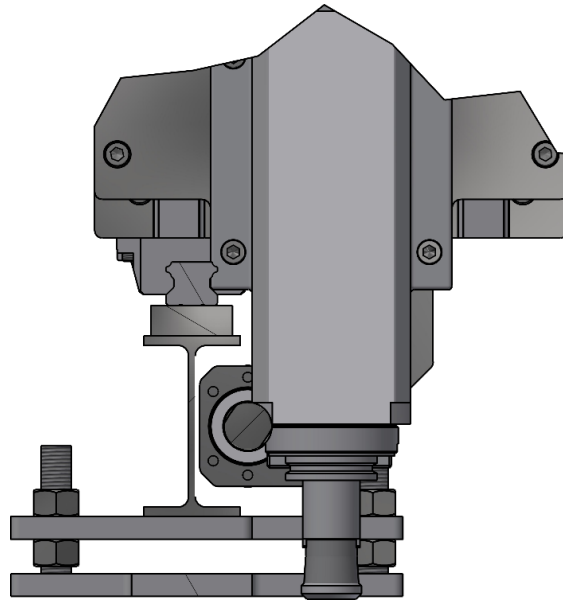


Figura 2.8 – Exemplo das possíveis colisões do cabeçote com a base da máquina.

2.2 2º Conceito: Máquina portátil, com retificação total

No que respeita ao 2º conceito, este consiste em criar uma máquina portátil que seria pousada sobre o pórtico deitado e que iria retificar tudo de uma só vez. A Figura 2.9 ilustra a área de trabalho.

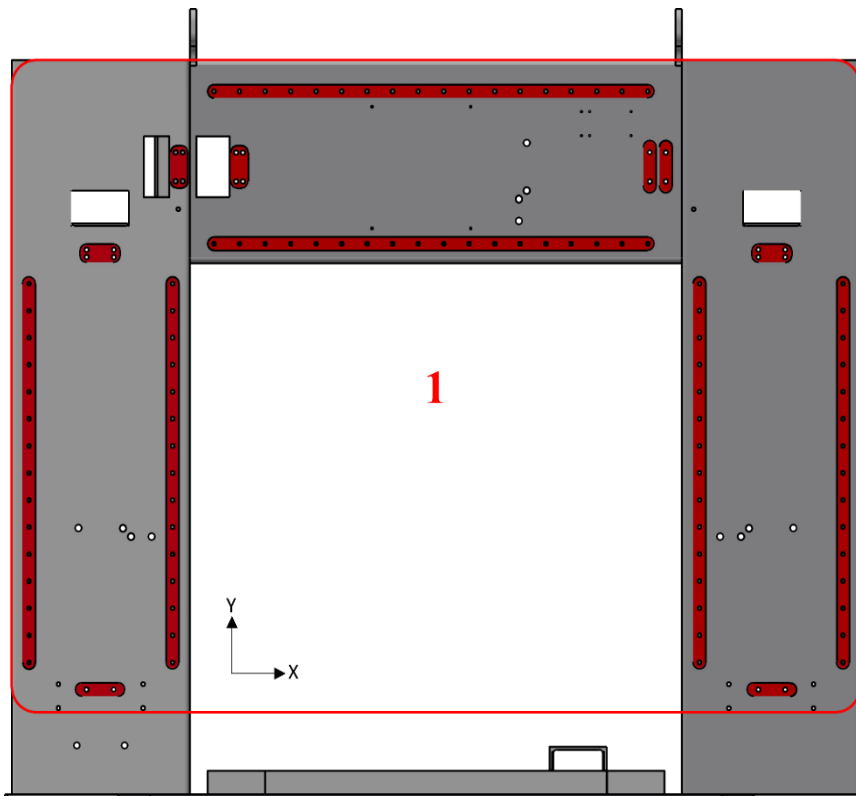


Figura 2.9 – Exemplo da área de trabalho no pórtico da M&G 800 e 1000.

O 2º conceito, apesar de limitar um pouco as dimensões dos perfis usados, tem maior liberdade do que no 1º conceito, pois já é possível posicionar o fuso da base fora da zona de trabalho. No entanto, no que diz respeito à distância no eixo dos YY, existe um constrangimento na largura para que a máquina portátil possa ser usada nos dois tipos de pórticos (o que não acontecia no 1º conceito) pois o único local disponível para passar a guia/perfil da máquina é entre o local das furações das chumaceiras e das guias no pórtico. Na Figura 2.10 é possível ver como seria a disposição da máquina em relação aos dois pórticos.

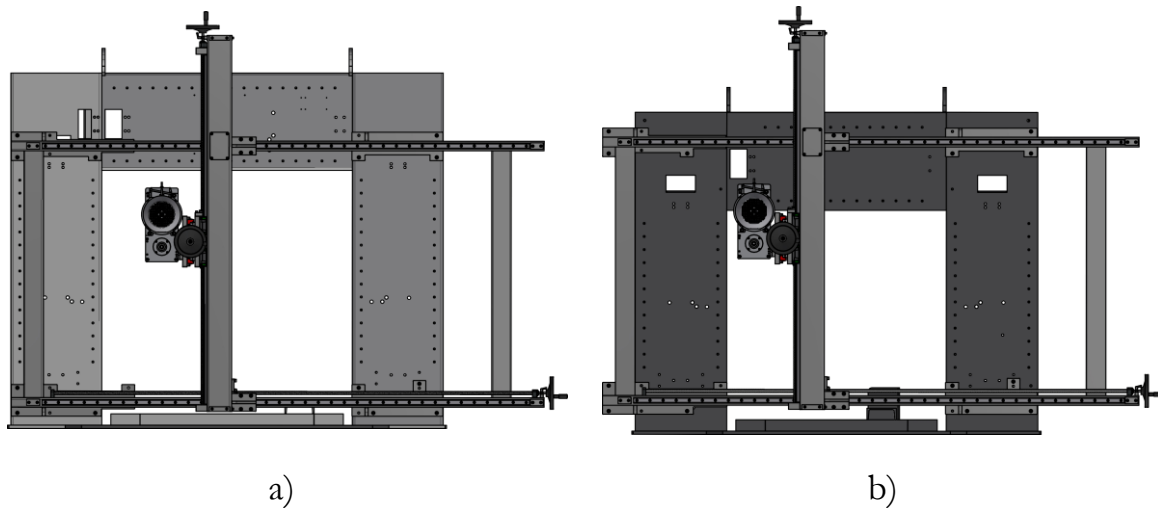


Figura 2.10 – Exemplo da disposição da máquina sobre o pórtico: a) Máquina sobre o pórtico M&G 800 e 100; b) Máquina sobre o pórtico M&G 600.

Como é possível verificar na Figura 2.10 não existem muitas opções em termos de largura (distância no eixo Y) o que não acontece em termos de comprimento (distância no eixo X). Todavia, nesta direção há necessidade de garantir que as bordas do pórtico sejam retificadas o que implicaria a necessidade de “acrescentar” na máquina uma zona suspensa com pelo menos 500 mm. Sendo suspensa e independentemente da orientação, esta zona ficaria submetida a um elevado nível de vibrações.

Outra observação que pode ser feita é a necessidade, no pórtico da Figura 2.10a), do cabeçote chegar a locais a mais de 300 mm da base da máquina na direção Y. Para tal, seria necessário prolongar o tubo responsável pelo movimento em X, como representado na Figura 2.10. No entanto, também esta zona seria responsável por induzir vibrações.

Na Figura 2.11 é possível observar como seria a máquina e qual a distância entre as guias da base e os dois comprimentos de guias em X e Y tendo em conta as restrições acima mencionadas.

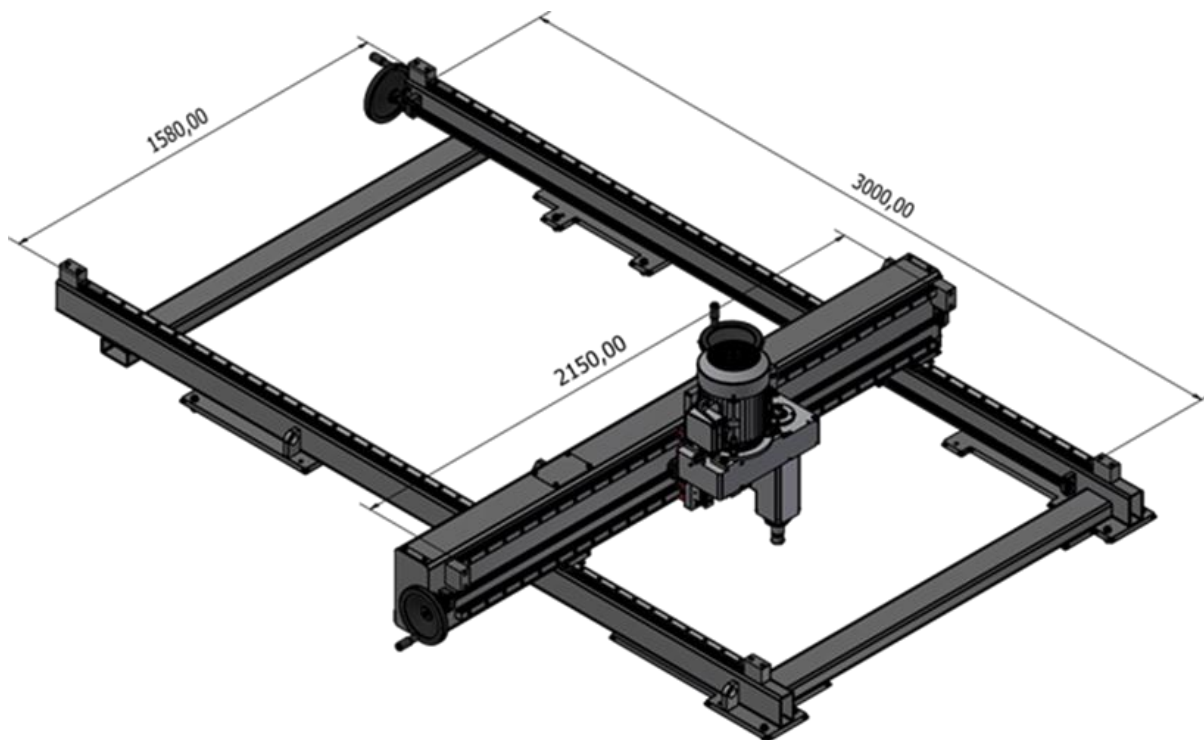


Figura 2.11 – Exemplo do conceito da máquina portátil, com retificação total, com algumas dimensões.

Em relação ao 1º conceito, o 2º conceito implica uma estrutura maior e mais pesada e, conseqüentemente, requiere cuidados adicionais no transporte. De facto, em função da posição do cabeçote em relação à base da máquina, a base e as guias podem sofrer deformações em consequência de um transporte inadequado.

Este conceito (2º) não iria, em relação ao anterior (1º), ter um sistema de nivelção visto que ao retificar todas as zonas de uma só vez se iria criar um paralelismo. Como tal, ter-se-ia uma maior área de contacto entre a máquina e o pórtico o que resultaria, por sua vez, numa maior estabilidade e assim diminuir o nível de vibrações.

Outro pormenor a ter em conta seria a necessidade de criar uma furação nos pórticos, furação esta que ficaria à vista na máquina final da M&G. Adicionalmente, seria também necessário a criação de um suporte para deitar o pórtico.

2.3 3º Conceito: Máquina fixa, com retificação total

O 3º conceito consiste em criar uma máquina fixa em que o pórtico seria pousado sobre a estrutura base o que permitirá retificar tudo de uma só vez. Este conceito (3º) abrange a mesma área de trabalho do 2º conceito.

Uma das maiores diferenças deste conceito relativamente aos anteriores é que o suporte para deitar o pórtico está integrado na base da máquina. A Figura 2.12 ilustra o pórtico deitado sobre a máquina.

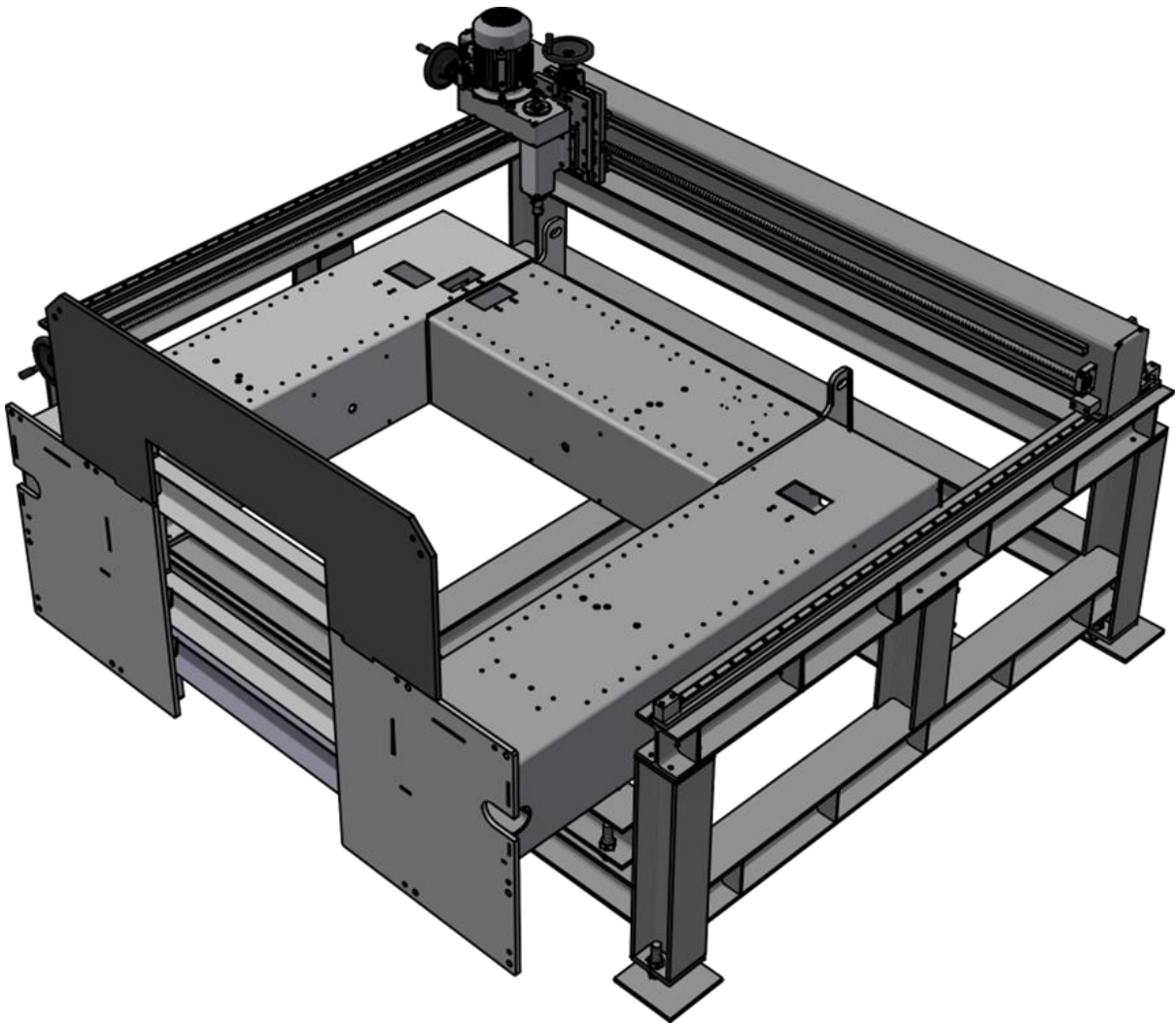


Figura 2.12 – Exemplo do conceito da máquina fixa, com retificação por coluna a coluna, com o pórtico.

O maior problema deste conceito (3º) envolve os esforços que a estrutura vai sofrer ao suportar o pórtico, que pesa mais 1000 kg, e os esforços adicionais que resultam da operação de retificação do pórtico. Para ultrapassar este constrangimento será necessário reforçar a estrutura da base, tornando-a a suficientemente robusta, de modo a garantir a sua resistência aos esforços e às vibrações resultantes da operação de retificação.

Outra desvantagem associada a este conceito prende-se com a disponibilização de espaço permanente, i.e., enquanto nos outros conceitos a portabilidade seria possível, neste conceito, devido ao aumento de peso da base (peso estimado com o auxílio do Inventor® cerca de 2000 kg) para a tornar suficientemente robusta, tal portabilidade não é possível.

Todavia, este conceito permite a nivelção da máquina em relação ao chão e da nivelção do pórtico em relação à máquina ou ao chão. A Figura 2.13 ilustra a máquina sem pórtico, evidenciando as dimensões mínimas da estrutura base.

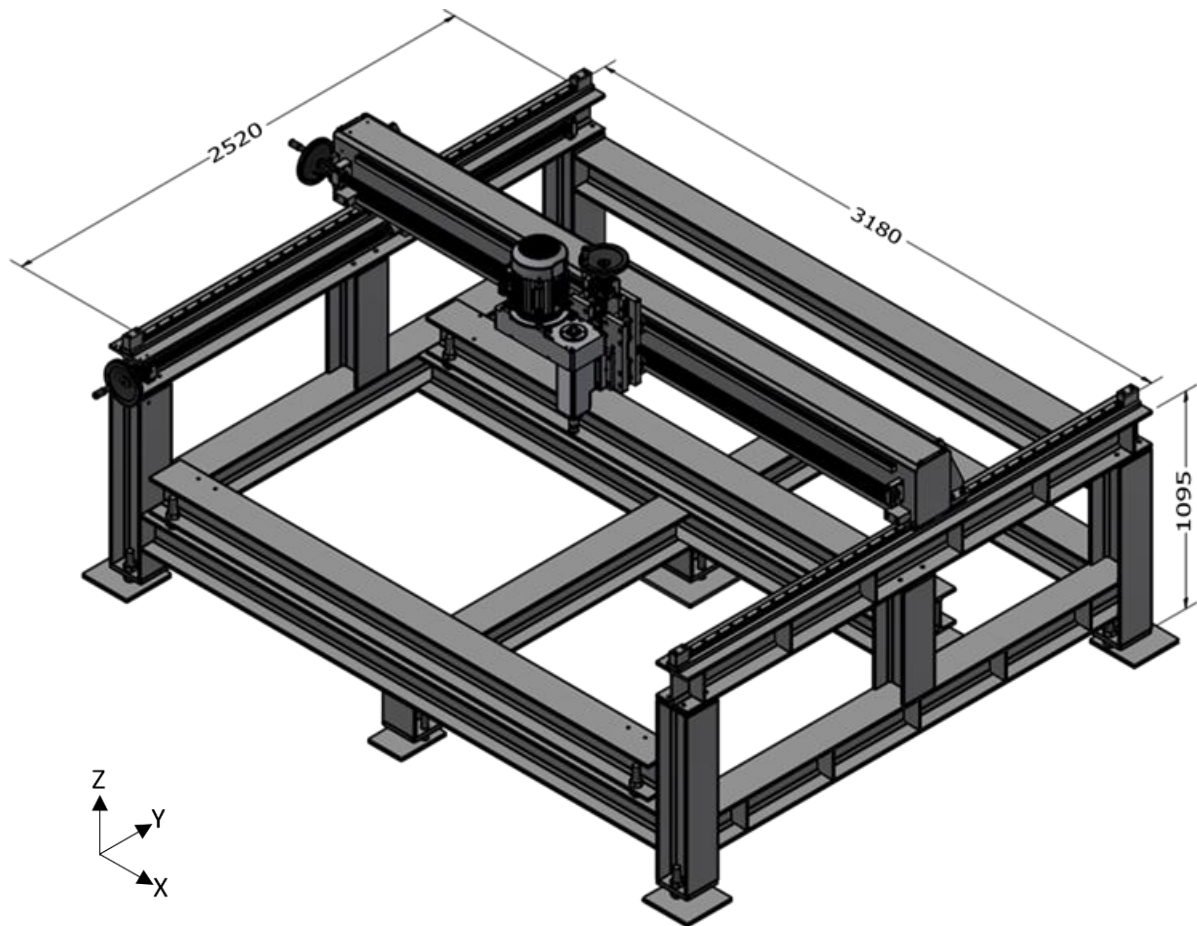


Figura 2.13 – Exemplo do conceito da máquina fixa, com retificação por coluna a coluna, com algumas dimensões.

Este conceito (3º) foi o escolhido devido à não existência de restrições na escolha dos perfis da base o que permite ter uma base mais estável e resistente aos esforços de deformação e às vibrações.

3 COMPOSIÇÃO DA FRESADORA - RETIFICADORA: M&G_PMM_F

A fresadora concebida é composta pelas 5 “bases” identificadas na Figura 3.1.

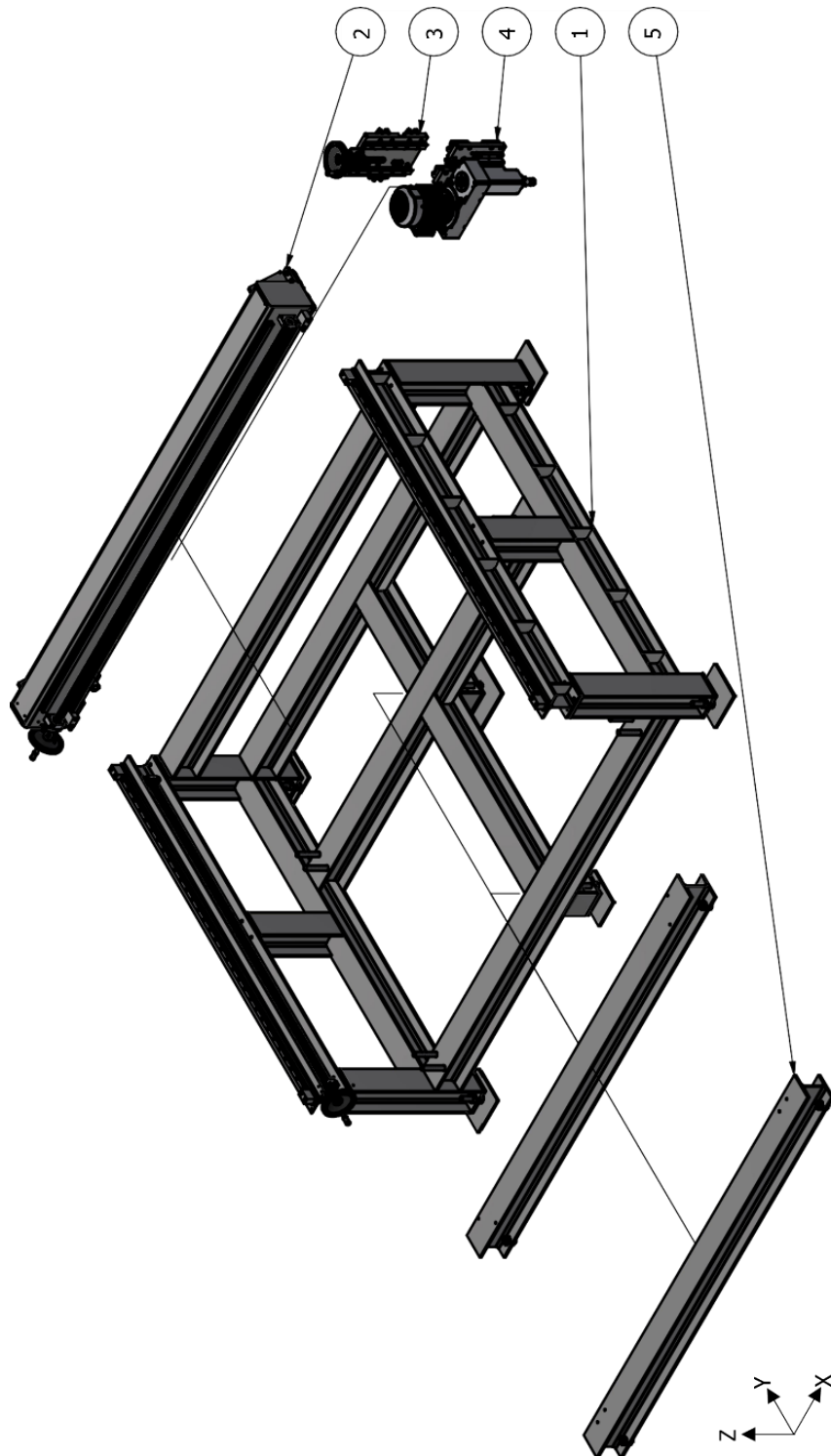


Figura 3.1 – Imagem explodida da máquina M&G_PMM_F:

1. Base M&G_PMM_F_B;
2. Base M&G_PMM_F_H;
3. Base M&G_PMM_F_V;
4. Base M&G_PMM_F_C – Cabeçote de fresar;
5. Base M&G_PMM_F_M – Mesa de nivelção/suporte para o pórtico.

A descrição pormenorizada de cada uma destas bases é de seguida apresentada à exceção da Base M&G_PMM_F_M dada a sua simplicidade. Esta base é composta por dois perfis DIN 1025 - IPB 180, e cada perfil é fixo e nivelado com o auxílio de 4 veios roscados M30 e 8 fêmeas M30. Base. De reportar que o desenho técnico de cada uma destas bases constitui cada um dos Anexos do presente documento.

3.1 Base M&G_PMM_F_B

A base M&G_PMM_F_B é constituída principalmente pelo perfil DIN 1025 - IPB 180, como representado na Figura 3.2. Esta base (1. Suporte das guias – M&G_PMM_F_B_ass_04 e 05) é responsável por suportar o resto da máquina e de suportar o pórtico. Foi escolhido o perfil mencionado porque o principal tipo de esforço que a base vai sofrer é um esforço de flexão e, embora sofra adicionalmente de um esforço de torção, mas de menor relevância, O perfil do tipo H apresenta adequada resistência à flexão, mas à torção o seu desempenho é reduzido, como tal, e para ultrapassar esta limitação, serão soldados uns reforços na estrutura (2. Estrutura soldada – M&G_PMM_F_B_ass_01) para aumentar à sua resistência à torção e para aumentar a sua rigidez de modo a diminuir significativamente as vibrações. Para que houvesse espaço para montar as chumaceiras entre as paredes externas, o que permite ter o fuso protegido de possíveis impactos ao pousar o pórtico, foi selecionado um perfil em H com 180 mm de altura.

A base M&G_PMM_F_B é nivelada, relativamente ao chão, através dos veios roscados M30 que integram as “patas” (3. Patas–M&G_PMM_F_B_ass_02, 03, 06 e 07) e com o auxílio de 2 fêmeas M30 para cada veio roscado. Este mesmo sistema é usado para nivelar a base M&G_PMM_F_M.

A Figura 3.3a) ilustra o acoplamento entre as guias, chumaceiras, fuso e seus acessórios e a Figura 3.3b) mostra os detalhes do perfil onde são montadas as guias. As guias e o fuso serão montados em dois perfis que, por sua vez, serão acoplados ao resto da estrutura com parafusos M12, conforme ilustra a Figura 3.3 a). Estes dois perfis não são soldados ao resto da estrutura para facilitar a retificação do local de montagem das guias e possibilitar o ajuste dos dois perfis de maneira a garantir o paralelismo e a distância entre guias. Desta forma, a Base M&G_PMM_F_H pode mover-se sem criar desgaste nos patins, contrariamente se os dois perfis fossem soldados, nesta situação seria mais difícil garantir as medidas necessárias.

Como as guias serão montadas sensivelmente a meio de uma das paredes dos perfis referidos acima e sendo essa zona do perfil a zona em que faz a união com a parede intermédia, não é possível fazer a furação e a abertura de rosca nessa zona para aparafusar a guia. Para ultrapassar este constrangimento é soldada uma barra (com 20 mm de espessura) aos perfis da estrutura para fazer a furação, conforme ilustra a Figura 3.3 b) (componente 2). Este procedimento, de soldar esta barra aos perfis, vai aumentar a resistência à flexão da estrutura, bem como diminuir as vibrações. Dado que essa barra vai sofrer temperaturas elevadas, decorrentes do processo de

soldadura, é, obviamente, necessário proceder à retificação da superfície onde se irão acoplar as guias. De realçar que os dois perfis usados são quase iguais, sendo que com a única diferença é a furação necessária para a montagem das chumaceiras e do fuso.

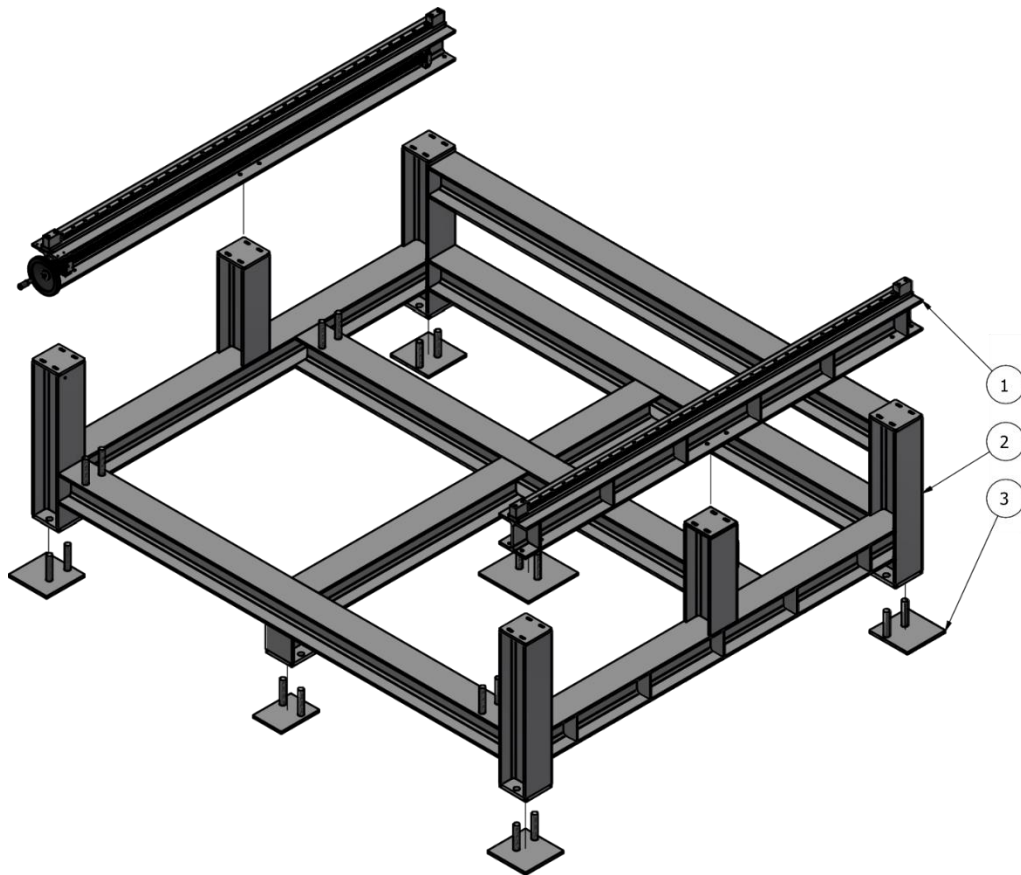


Figura 3.2 – Imagem explodida da base M&G_PMM_F_B:

1.Suporte das guias – M&G_PMM_F_B_ass_04 e 05; 2.Estrutura soldada – M&G_PMM_F_B_ass_01; 3.“Patas” – M&G_PMM_F_B_ass_02, 03, 06 e 07.

A Figura 3.4, além de ilustrar a vista explodida da estrutura, mostra igualmente os detalhes da sua construção, detalhes esses anteriormente descritos. Podem observar-se dois pequenos perfis por baixo dos dois perfis onde fica a mesa de nivelção, estes perfis servem para reduzir as deformações causada pelo peso próprio do pórtico que pesa cerca de 1400 kg. A altura da estrutura soldada é de pouco mais de 900 mm, esta é altura mínima para que unidade de fresar possa transitar sem remover material do pórtico quando a mesa de nivelção está na posição limite superior.

Como a mesa de nivelção é usada para os dois tipos de pórticos, a distância máxima entre os dois perfis responsáveis pela nivelção do pórtico é de 1600 mm. Esta medida obrigou a que máquina tivesse na direção do eixo Y entre 2700 mm e 2520 mm em guia no mínimo. A estrutura soldada tem uma distância entre guias de 3180 mm (cf. Figura 2.13) que é a distância em X necessária para que a fresadora chegue a todas as zonas necessárias no pórtico. Foi considerada uma folga entre os 100 mm e os 200 mm para ser possível colocar o pórtico deitado.

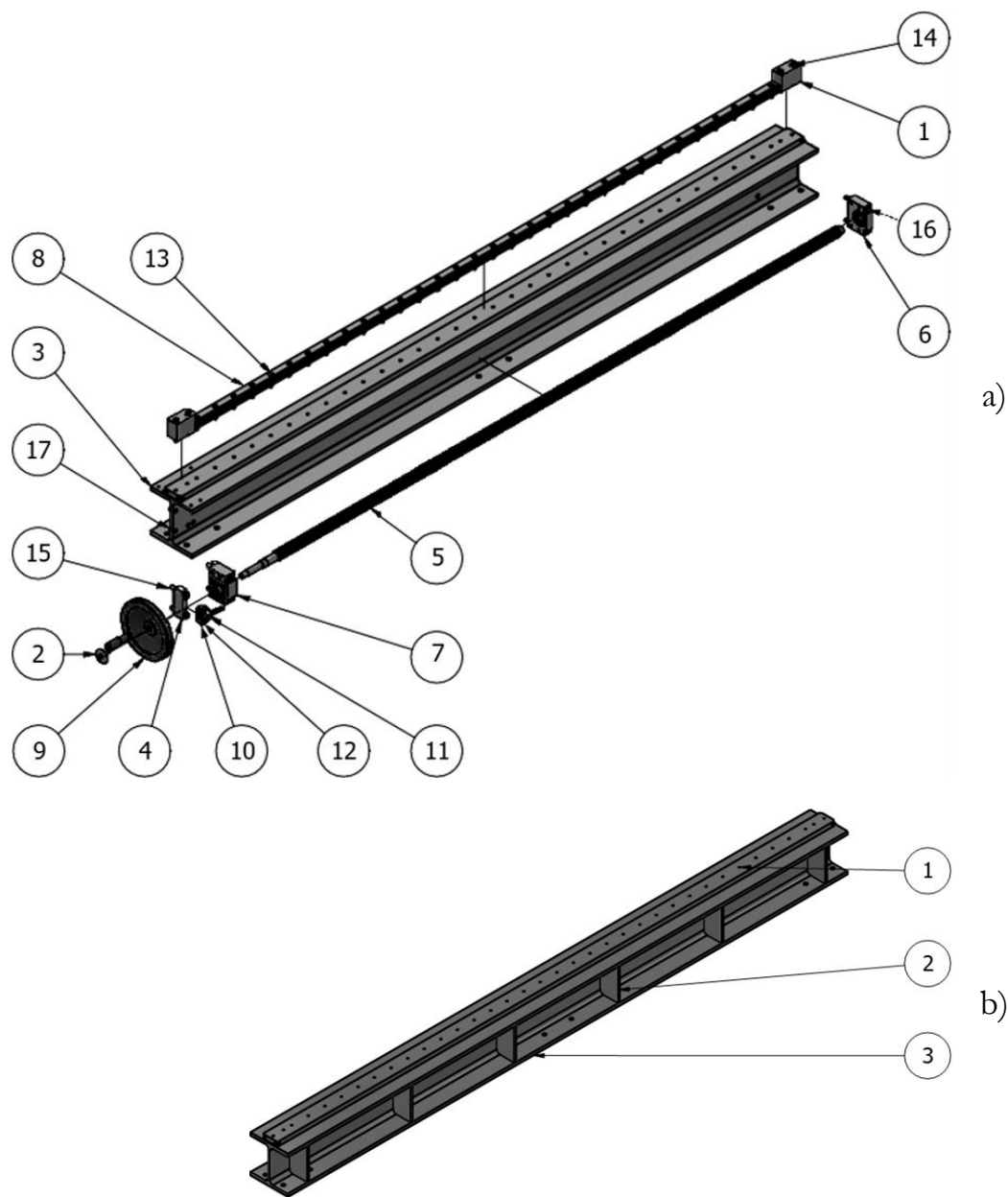


Figura 3.3 – Suporte das guias:

- a) Imagem explodida da M&G_PMM_F_ass_04 com as guias e fusos: 1.M&G_PMM_F_B_05; 2.M&G_PMM_F_B_17; 3.M&G_PMM_F_B_ass_04; 4.M&G_PMM_F_H_04; 5.M&G_PMM_F_B_Fuso; 6.BF25; 7.BK25; 8.HGR35R_B; 9.Disc handwheel GN323-200-K18-R; 10.Mounting Clamp GN 477-B20-ELS; 11.Clamping Kit GN 511-M6-32; 12.ISO 4762-M6x30; 13.ISO 4762-M8x35; 14.ISO 4762-M8x65; 15.ISO 4762-M10x60; 16.ISO 4762-M10x80; 17.ISO 4032-M10;
- b) M&G_PMM_F_ass_05 sem as guias: 1.M&G_PMM_F_B_01; 2.M&G_PMM_F_B_03; 3.M&G_PMM_F_B_04.

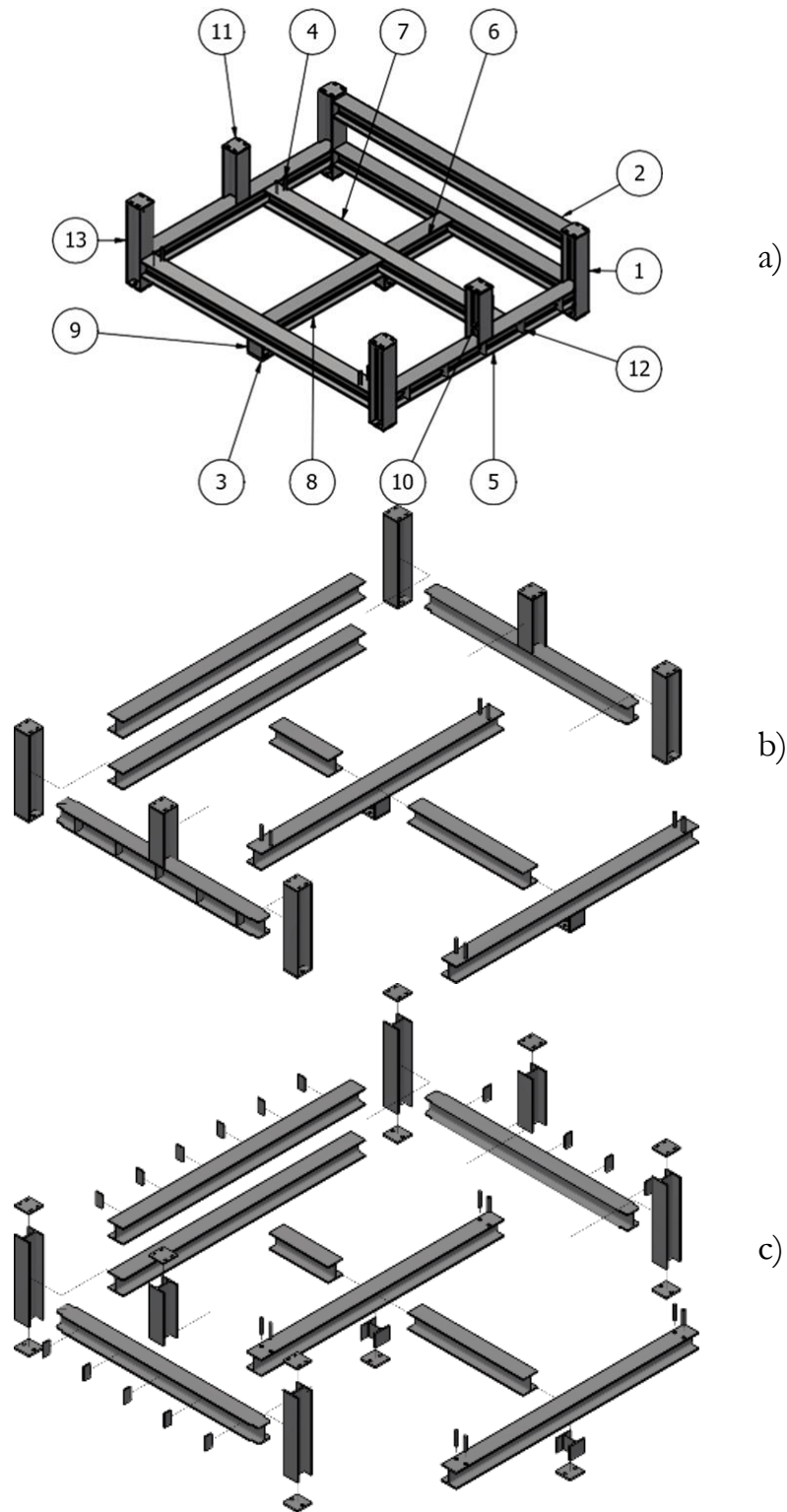


Figura 3.4 – Estrutura soldada da base M&G_PMM_F_B:

- a) Numeração dos vários componentes: 1.M&G_PMM_F_B_06; 2.M&G_PMM_F_B_07;
3.M&G_PMM_F_B_08; 4.M&G_PMM_F_B_09; 5.M&G_PMM_F_B_10;
6.M&G_PMM_F_B_11; 7.M&G_PMM_F_B_12; 8.M&G_PMM_F_B_13;
9.M&G_PMM_F_B_14; 10.M&G_PMM_F_B_16; 11.M&G_PMM_F_B_18;
12.M&G_PMM_F_B_03; 13.M&G_PMM_F_B_22;

- b) Imagem da estrutura parcialmente explodida; c) Imagem da estrutura explodida.

3.2 Base M&G_PMM_F_H

A Figura 3.5 representa a base M&G_PMM_F_H que faz o movimento no eixo Y e é responsável por suportar a base M&G_PMM_F_V.



Figura 3.5 – Base M&G_PMM_F_H.

A base M&G_PMM_F_H é composta por uma estrutura soldada tendo como principal componente um perfil retangular de dimensões 300x200x8 e 3385 mm de comprimento, como mostra a Figura 3.6. A este perfil estão soldados uns reforços internos que têm como propósito a diminuição de vibrações. Para soldar estes reforços ao perfil foram feitas “janelas” na parte de trás do perfil. Estas “janelas” permitem, adicionalmente, o acesso aos parafusos da guia. Estes parafusos são aparafusados na parte interior do perfil. Adicionalmente, são ainda soldados ao perfil uns suportes onde serão montados os patins. Estes suportes eliminam a necessidade de aumentar a largura do perfil para permitir a montagem dois patins.

Na Figura 3.7 é ilustrada a disposição dos componentes que serão montados sobre a estrutura soldada. Observa-se que as guias são montadas na lateral do tubo de 300 mm o que permite ficar com uma distância entre guias de 200 mm.

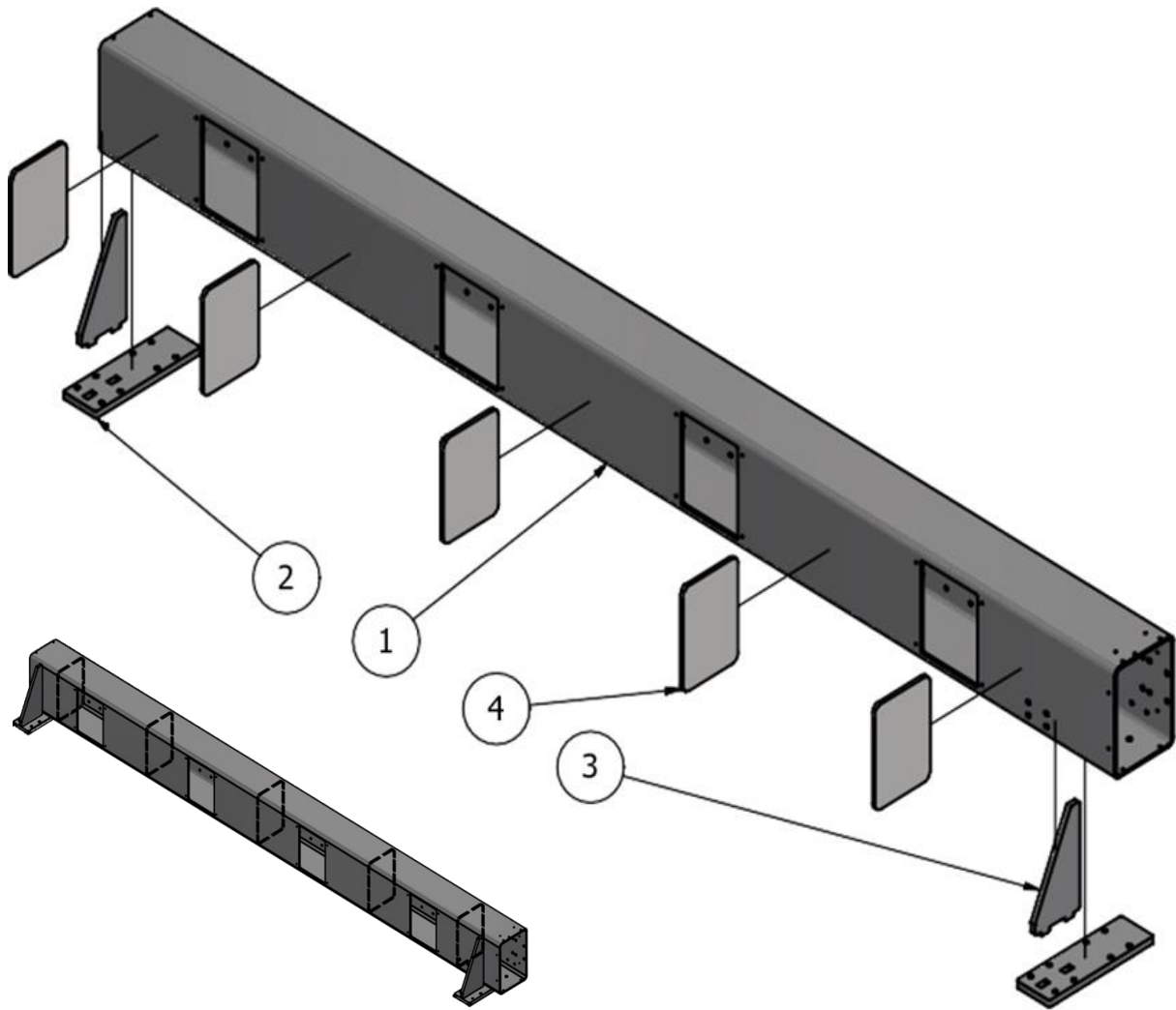


Figura 3.6 – Estrutura soldada da base M&G_PMM_F_H:

1.M&G_PMM_F_H_01; 2.M&G_PMM_F_H_02; 3.M&G_PMM_F_H_03;
4.M&G_PMM_F_H_08.

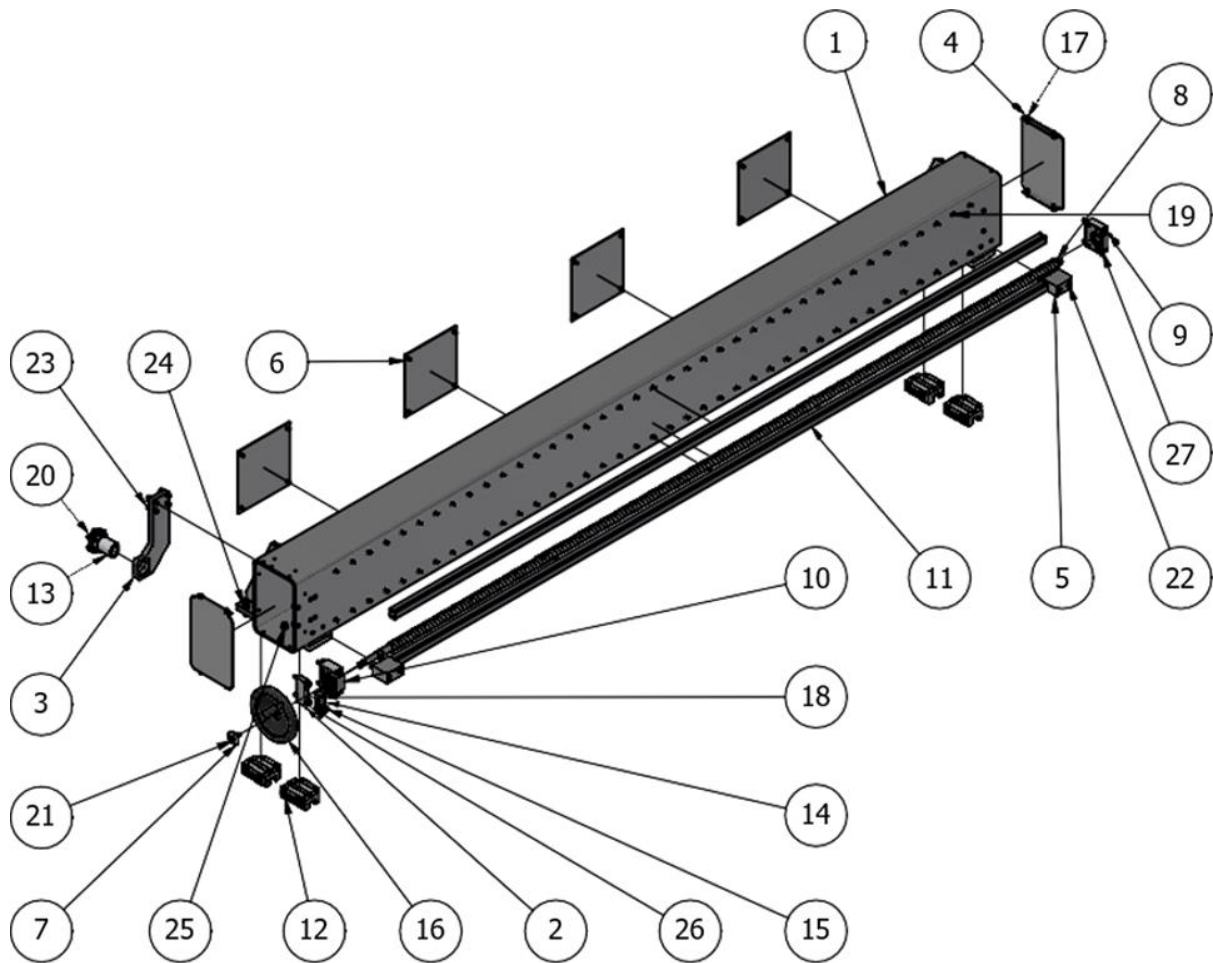


Figura 3.7 – Imagem explodida da base M&G_PMM_F_H:

- 1.M&G_PMM_F_H_ass_01; 2.M&G_PMM_F_H_04; 3.M&G_PMM_F_H_05;
 4.M&G_PMM_F_H_06; 5.M&G_PMM_F_H_07; 6.M&G_PMM_F_H_09;
 7.M&G_PMM_F_B_17; 8.M&G_PMM_F_H_Fuso; 9.BF25; 10.BK25; 11.HGR35T_H;
 12.HGW35CC; 13.R32-10K5-FSCDIN; 14.*Mounting Clamp* GN 477-B20-ELS; 15.*Clamping Kit*
 GN 511-M6-32; 16.*Disc handwheel* GN 323-200-K18-R; 17.ISO 4762 - M6x16; 18.ISO 4762 -
 M6x30; 19.ISO 4762 - M8x25; 20.ISO 4762 - M8x30; 21.ISO 4762 - M8x35; 22.ISO 4762 -
 M8x80; 23.ISO 4762 - M10x35; 24.ISO 4762 - M10x40; 25.ISO 4762 - M10x50; 26.ISO 4762 -
 M10x60; 27.ISO 4762 - M10x80.

3.3 Base M&G_PMM_F_V

A Figura 3.8 ilustra a base M&G_PMM_F_V que faz o movimento no eixo X e é responsável por suportar a unidade de fresar.

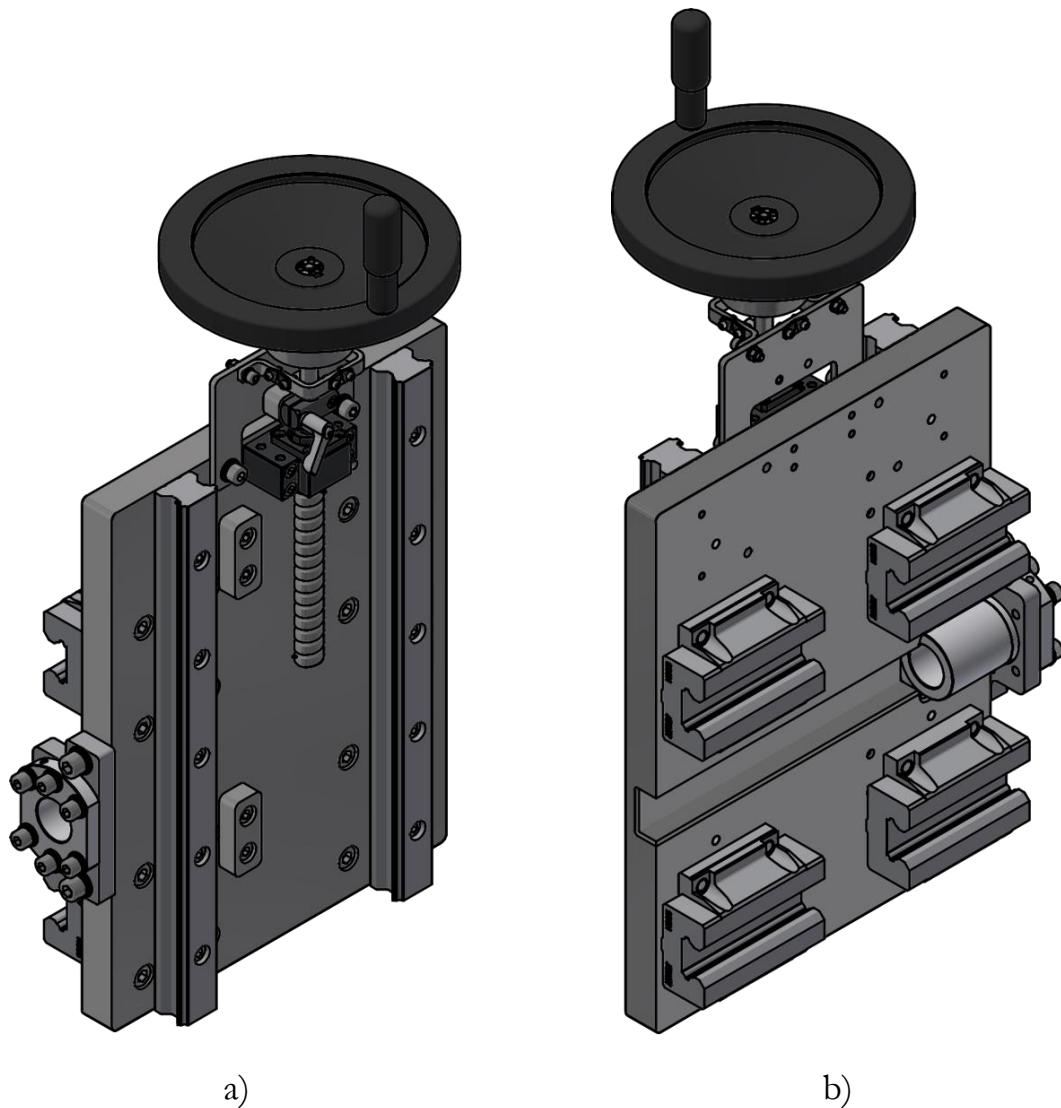


Figura 3.8 – Base M&G_PMM_F_V a) Vista de frente; b) Vista por de trás.

A base M&G_PMM_F_V é composta por uma chapa metálica, com 30 mm de espessura, onde são montados os restantes componentes como detalha a Figura 3.9. Na Figura 3.8b) pode identificar-se o rasgo que permite a passagem do fuso (com um diâmetro de 32 mm). Pese embora no capítulo 4.4.2, tenha sido detalhadamente justificado a escolha deste fuso, tal seleção ficou a dever-se ao grande comprimento do fuso da base M&G_PMM_F_H. Para evitar problemas de encurvadura foi usado um fuso com o mesmo diâmetro do fuso usado nas máquinas M&G, o mesmo acontece com a base M&G_PMM_F_B.

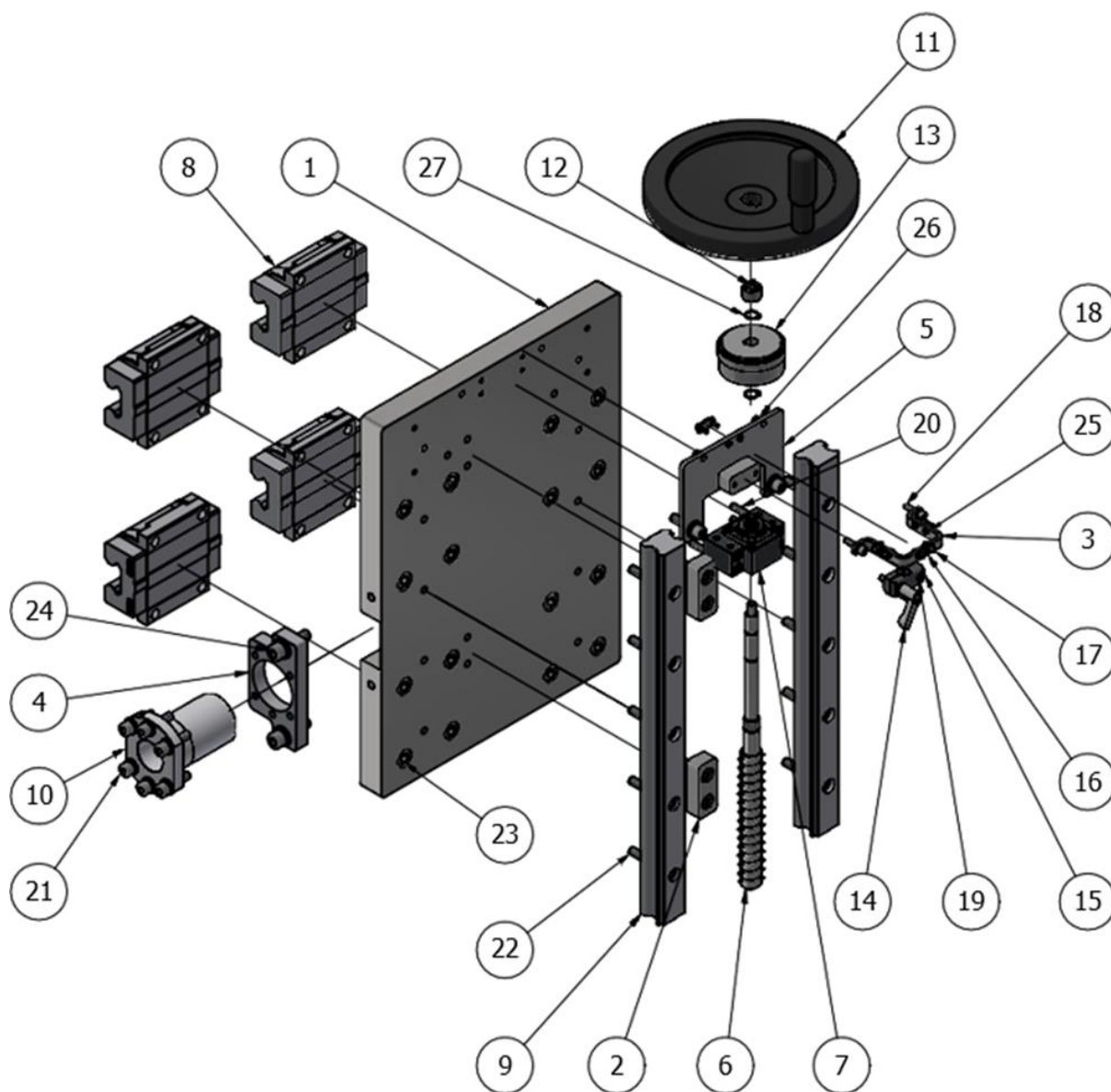


Figura 3.9 – Imagem explodida da base M&G_PMM_F_V:

1.M&G_PMM_F_V_01; 2.M&G_PMM_F_V_03; 3.M&G_PMM_F_V_06;
 4.M&G_PMM_F_V_07; 5.M&G_PMM_F_V_ass_01; 6.M&G_PMM_F_V_Fuso; 7.BK15;
 8.HGW35CC; 9.HGR35R_V; 10.R32-10K5-FSCDIN; 11.Disc handwheel GN 323-200-K18-R;
 12.CONEX-K-8x18; 13.Scale; 14.Clamping Kit GN 511-M5-25; 15.Mounting Clamp GN 477-B12-ELS; 16.Indicator arrow GN 711.3-AL-1; 17.ISO 4762 - M3x10; 18.ISO 4762 - M5x20; 19.ISO 4762 - M5x30; 20.ISO 4762 - M6x55; 21.ISO 4762 - M8x30; 22.ISO 4762 - M8x45; 23.ISO 4762 - M10x30; 24.ISO 4762 - M10x35; 25.ISO 4032 - M3; 26.ISO 4032 - M5; 27.DIN 471 - 11x1.

Além da questão do rasgo para o fuso, a Figura 3.9 mostra que o eixo(veio) do fuso responsável pelo eixo Z só está apoiado numa chumaceira, contrariamente ao que acontece com os outros dois eixos que têm duas chumaceiras. Tal é justificado pelo curto comprimento do fuso e pelos reduzidos esforços a que está submetido, razão pela qual se optou por um único apoio, e apoiar o eixo apenas numa chumaceira (ver Quadro 4.26 e Quadro 4.27).

Outra diferença que caracteriza esta base é a existência de uma escala, em virtude do fuso, onde ela está montada, permitir controlar o movimento em Z. Dado que o objetivo é retificar com precisão todas as zonas à mesma altura em Z houve necessidade de montar o fuso neste eixo. Tal solução deixará de ser necessária no futuro, uma vez que os servo motores incluem um sistema de posicionamento integrado.

3.4 Base M&G_PMM_F_C – Cabeçote de fresar

A Base M&G_PMM_F_C está ilustrada na Figura 3.10. Esta base faz o movimento no eixo Z e é responsável por retificar as zonas mencionadas anteriormente no capítulo 2.

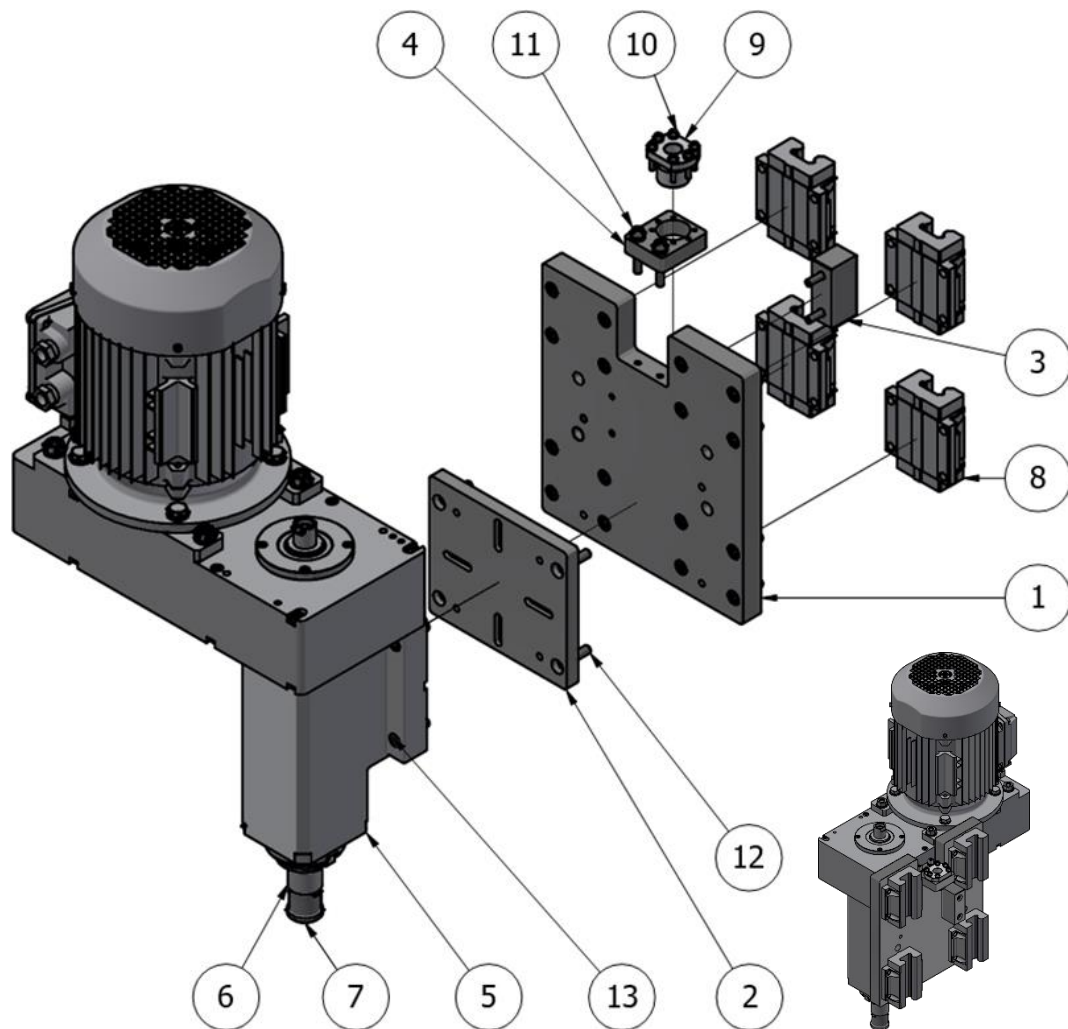


Figura 3.10 – Base M&G_PMM_F_C:

- 1.M&G_PMM_F_C_01; 2.M&G_PMM_F_C_02; 3.M&G_PMM_F_C_03;
4.M&G_PMM_F_C_04; 5.CG30A_m; 6.001 33 35 02 41; 7.40A03R-S45OD05-C_7342880;
8.HGW35CC; 9.R20-05K4-FSCDIN; 10.ISO 4762 - M5x30; 11.ISO 4762 - M8x50; 12.ISO 4762
- M10x30; 13.ISO 4762 - M10x40.

Apesar da base M&G_PMM_F_C estar numa situação parecida com a base M&G_PMM_F_V não é necessário criar um rasgo para o fuso, em virtude do fuso usado ter um diâmetro menor (como mencionado anteriormente no capítulo 3.3), o que implica que a chumaceira usada para este fuso é menor. Estas duas situações permitem montar o fuso sem a necessidade de criar um rasgo.

Para evitar ter de aumentar a peça M&G_PMM_F_V_01 foi feito um entalhe na peça M&G_PMM_F_C_01 para evitar a colisão entre a fêmea de esferas e a chumaceira.

Por fim, para evitar a colisão entre o motor do cabeçote de fresar e a peça M&G_PMM_F_C_01, montou-se o cabeçote numa chapa de 15 mm (M&G_PMM_F_C_02) e como ilustra a Figura 3.11, o motor ficou a 10 mm da peça M&G_PMM_F_C_01. Outro pormenor a registar prende-se com a necessidade de desmontar o cabeçote no caso de querer desmontar um dos patins. Para tal é desmontada a peça M&G_PMM_F_C_02 em vez do cabeçote.

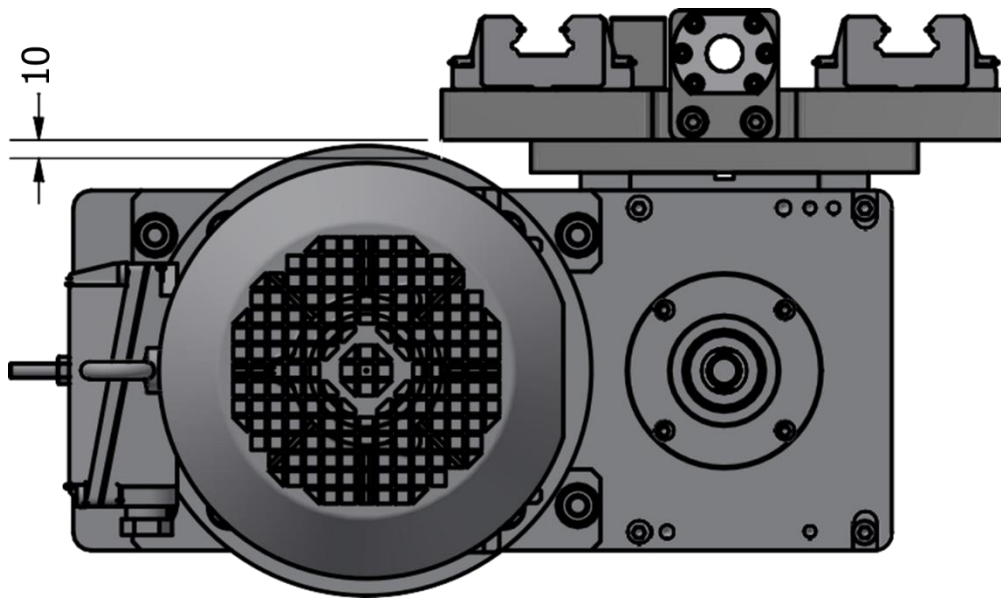


Figura 3.11 – Base M&G_PMM_F_C, vista de Topo.

4 CÁLCULOS

Como mencionado anteriormente, no começo os eixos serão movidos manualmente com o auxílio de manivelas e, posteriormente, estas manivela serão substituídas por servo motores. Como tal, nos cálculos que a seguir se apresentam são contempladas ambas as situações.

Neste capítulo será feita uma análise dos esforços sobre os patins, patins estes que já são usados pela Adunguem, de modo a aferir se suportarão os esforços a que irão ser submetidos. Posteriormente, serão apresentados os cálculos que permitiram a escolha dos fusos a serem usados em cada eixo. Por fim, serão calculados os centros de gravidade das bases, para simular as mesmas através da aplicação de forças remotas nos estudos estáticos com o propósito de simplificar os modelos a serem simulados numericamente.

4.1 Força de corte

Para efeitos de cálculos posteriores e para os estudos estáticos realizados foi necessário determinar a força de corte. Esta força foi determinada com base nas expressões disponibilizadas em **Erro! A origem da referência não foi encontrada..** Para o cálculo da força de corte foi considerado o uso de uma fresa de 40 mm e uma força de corte específica de 2000 N/mm², a qual corresponde à utilização de um aço ao carbono. Foi ainda considerado uma velocidade de rotação do cabeçote de 2000 rpm pese embora o cabeçote permita velocidades superiores [1]. Para a velocidade de avanço será considerado o valor de 1000 mm/min para o uso de manivelas e 6000 mm/min para os servos motores. De notar que a velocidade de avanço com o servo motor é maior para profundidades de corte menores relativamente aos valores usados para o caso das manivelas. O Quadro 4.1 resume os dados mencionados.

Quadro 4.1 – Dados usados nas fórmulas

	a_e [mm]	a_p [mm]	v_f [mm/min]	K_c [N/mm ²]	n [rpm]
Manual	40	1	1000	2000	2000
Servo Motor	40	0,5	6000	2000	2000

Para o cálculo da força de corte é primeiro calculado a potência de corte (P_c) recorrendo para o efeito à equação (4.1); de seguida a potência é convertida num momento de corte (M_c) cf. a equação (4.2) e, por fim, é calculada a força de corte (F_c) pela aplicação da equação (4.3).

Na equação (4.1) a potência de corte é calculada em kW, para tal a profundidade radial de corte (a_e) é igual ao diâmetro da fresa usada em milímetros, a profundidade

do corte axial (a_p) é igualmente definida em milímetros, a velocidade de avanço (v_f) é definida em milímetros por minuto, e para a pressão específica de corte (K_c) é definida em newton por milímetro ao quadrado.

Na equação (4.2) o momento de corte é calculado em N.m, sendo para tal a velocidade de corte definida em rotações por minuto.

Na equação (4.3) o raio da fresa ($a_e/2$) é definido em metros.

$$P_c = \frac{a_e * a_p * v_f * k_c}{60 * 10^6} \quad (4.1)$$

$$M_c = \frac{P_c * 30 * 10^3}{\pi * n} \quad (4.2)$$

$$F_c = \frac{M_c}{\left(\frac{a_e}{1000 * 2}\right)} \quad (4.3)$$

O Quadro 4.2 resume os valores obtidos pela aplicação das equações anteriores.

Quadro 4.2 – Resultados obtidos

	P_c [kW]	M_c [N.m]	F_c [N]
Manual	1,167	5,573	363,967
Servo Motor	4	19,108	1091,902

Nos cálculos seguintes, e por razões de simplificação, será considerado o valor de 1100 N para o valor da força de corte no caso de utilização de um servo motor.

4.2 Esforços que atuam nos patins

Para evitar a necessidade de ter em *stock* outro modelo de patins, foi decidido usar o mesmo modelo de patins usado nas máquinas da M&G, o modelo HGW35CC. Como tal, foi verificada a adequação deste modelo de patins aos esforços a que será submetido na aplicação em apreço. Para o efeito, foram analisadas, para cada conjunto de patins, duas situações diferentes, i.e., quando a máquina realiza a retificação em Y ou em X (ver eixos na Figura 3.1) dado que a força de corte muda de sentido o que implica refazer os cálculos.

Para a realização dos cálculos recorreu-se aos exemplos dos esquemas de forças existentes em [4] e que se encontram resumidos na Figura 4.1. Estes exemplos foram aplicados ao estudo em questão, sendo as forças, nos diagramas de corpo livre, representadas por cores em vez de letras. A correspondência é a seguinte: W , peso próprio dos componentes, é representado a vermelho, a força de corte, F , está

representada a azul (definida anteriormente por F_c), a força de reação à força de corte, F_A , é amarela, a força resultante em cada patim, P , está assinalada a cinzento-escuro e, por fim, a força resultante perpendicular a P , P_t , a cinzento-claro, mas esta não é calculada apesar de ser representada. Os valores de P serão comparados ao valor de capacidade de carga estática (C_0) dos patins.

Tabla 2.3 CARGA SOBRE UN PATÍN (ejemplos de cálculo de la carga sobre un patin)

Ejemplos típicos	Distribución de la carga	Carga sobre un patin
		$P_1 = \frac{W}{4} + \frac{F}{4} + \frac{F \times a}{2c} + \frac{F \times b}{2d}$ $P_2 = \frac{W}{4} + \frac{F}{4} + \frac{F \times a}{2c} + \frac{F \times b}{2d}$ $P_3 = \frac{W}{4} + \frac{F}{4} + \frac{F \times a}{2c} + \frac{F \times b}{2d}$ $P_4 = \frac{W}{4} + \frac{F}{4} + \frac{F \times a}{2c} + \frac{F \times b}{2d}$
		$P_1 = P_3 = \frac{W}{4} - \frac{F \times l}{2d}$ $P_2 = P_4 = \frac{W}{4} + \frac{F \times l}{2d}$
		$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = -\frac{W \times h}{2d} + \frac{F \times l}{2d}$
		$P_1 \dots P_4 = \frac{W \times h}{2c} + \frac{F \times l}{2c}$ $P_{t1} = P_{t3} = \frac{W}{4} + \frac{F}{4} + \frac{F \times k}{2d}$ $P_{t2} = P_{t4} = \frac{W}{4} + \frac{F}{4} + \frac{F \times k}{2d}$

Figura 4.1 – Tabela 2.3 carga sobre um patim do catálogo dos patins.

A força W , que cada componente exerce sobre os patins, é calculada pela equação (4.4).

$$W = m * g \tag{4.4}$$

O Quadro 4.3 resume o valor da força de corte e da capacidade de carga estática considerados. O valor de C_0 é a constante que se encontra na tabela 3.8 da referência [4].

Quadro 4.3 – Dados usados ao longo deste subcapítulo

C_0	g	F
[N]	[m/s ²]	[N]
93990	9,81	1100

4.2.1 M&G_PMM_F_B

4.2.1.1 Retificação em Y

Na Figura 4. estão representadas as forças envolvidas quando a operação de retificação é realizada em Y, sendo as forças nos patins P1 e P3 e P2 e P4 calculadas através da aplicação da equação (4.5) e da equação (4.6), respetivamente.

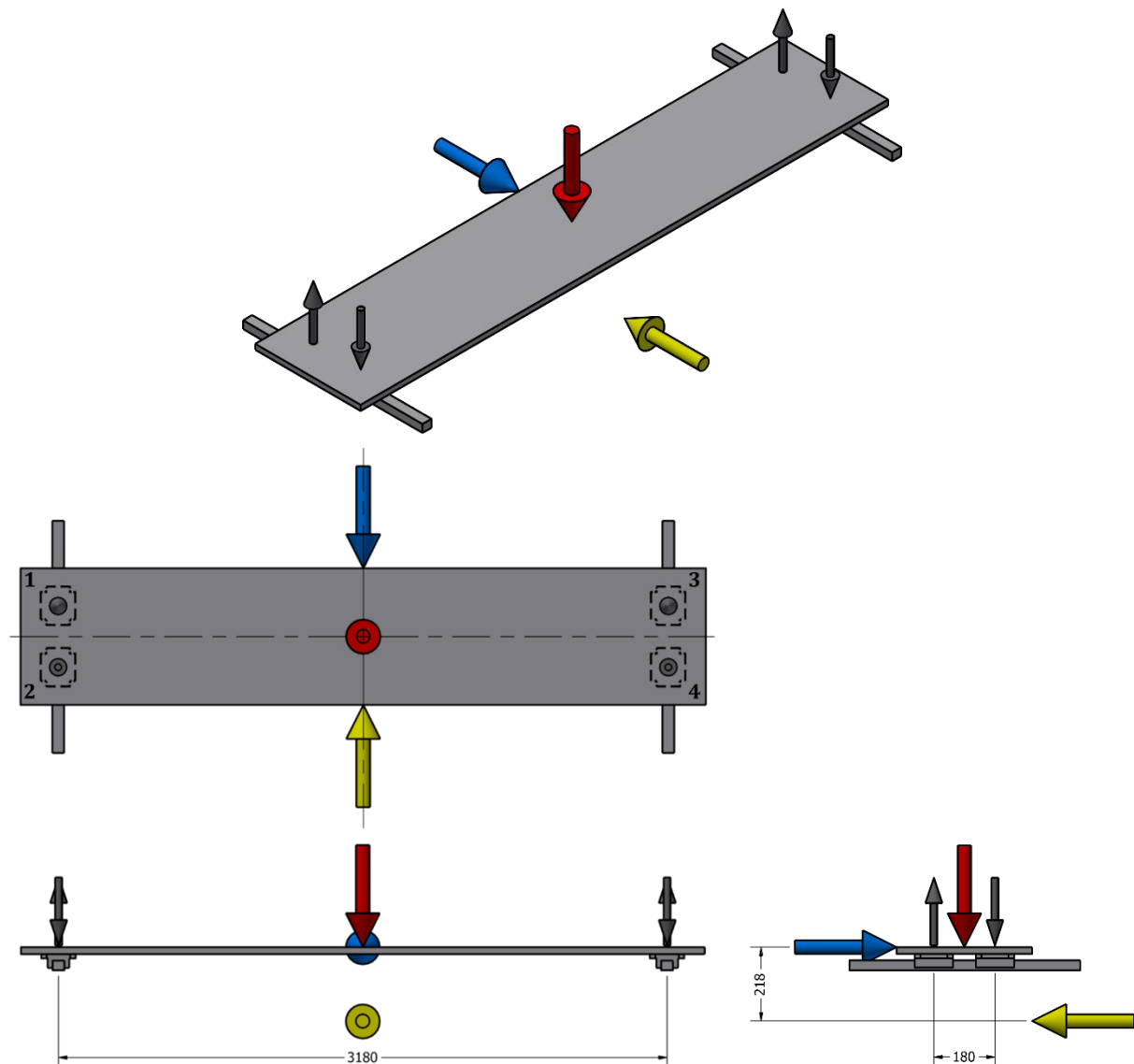


Figura 4.2 – Esquema das forças sobre os patins da base M&G_PMM_F_B quando ocorre a retificação em Y.

No Quadro 4.4 estão resumidas as distâncias consideradas no esquema da Figura 4. e que são necessárias no cálculo das forças nos patins, i.e., para a aplicação das equações (4.5) e (4.6).

Quadro 4.4 – Dados fornecidos pelo esquema

d	l
[m]	[m]
0,180	0,218

O Quadro 4.5 apresenta os valores das massas e respectivos pesos próprios dos diferentes componentes que serão usados nos cálculos dos esforços para os patins da M&G_PMM_F_B.

Quadro 4.5 – Cálculo do W

	Massa [kg]	W [N]
M&G_PMM_C_01	21	206,01
M&G_PMM_C_03	5,4	52,974
CG30A	65	637,65
M&G_PMM_V_01	26,5	259,965
M&G_PMM_F_H_ass_01	225,7	2214,117
Total	343,6	3370,716

$$P_1 = P_3 = -\frac{W}{4} + \frac{F * l}{2d} \quad (4.5)$$

$$P_2 = P_4 = \frac{W}{4} + \frac{F * l}{2d} \quad (4.6)$$

O Quadro 4.6 apresenta os resultados obtidos através da equação (4.5) e da equação (4.6). Os resultados negativos obtidos indicam apenas que a direção da força P arbitrada devia ter sido considerada na direção oposta. Tal como mencionado anteriormente, os cálculos foram efetuados considerando os dois possíveis sentidos da força F .

Quadro 4.6 – Resultados das forças obtidas

	$W/4$	$F*l/2d$	P_1 e P_3	P_2 e P_4
	[N]	[N]	[N]	[N]
F	842,679	637,766	-204,913	1480,445

4.2.1.2 Retificação em X

Na Figura 4. estão representadas forças envolvidas quando a operação de retificação é realizada em X. Neste caso, as forças nos patins são calculadas através da equação (4.7) e da equação (4.8).

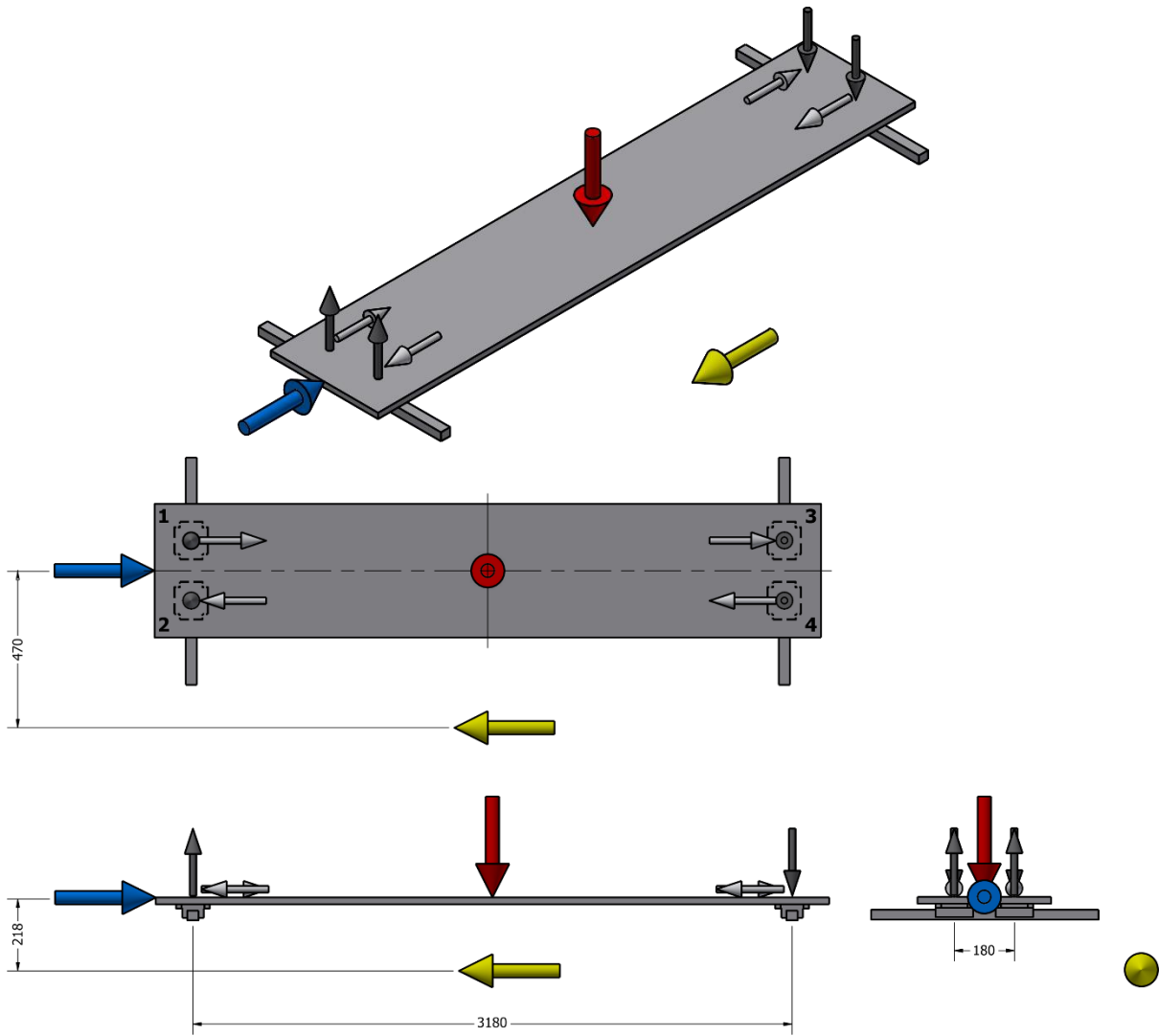


Figura 4.3 – Esquema das forças sobre os patins da base M&G_PMM_F_B quando ocorre a retificação em X.

O Quadro 4.7 resume, de acordo com o esquema da Figura 4., as distâncias que são necessárias para a aplicação das equações (4.7) e (4.8).

Quadro 4.7 – Dados fornecidos no esquema

c	l
[m]	[m]
3,180	0,218

$$P_1 = P_2 = -\frac{W}{4} + \frac{F * l}{2c} \quad (4.7)$$

$$P_3 = P_4 = \frac{W}{4} + \frac{F * l}{2c} \quad (4.8)$$

O Quadro 4.8 resume os valores que resultaram da aplicação da equação (4.7) e da equação (4.8).

Quadro 4.8 – Resultados das forças obtidas

	$W/4$	$F*l/2c$	P_1 e P_2	P_3 e P_4
	[N]	[N]	[N]	[N]
F	842,679	37,704	-804,975	880,383
-F	842,679	-37,704	-880,383	804,975

4.2.2 M&G_PMM_H

4.2.2.1 Retificação em Y

Na Figura 4. estão representadas forças envolvidas quando a operação de retificação é realizada em X. Neste caso, as forças nos patins são calculadas através da equação (4.9) e da equação (4.10).

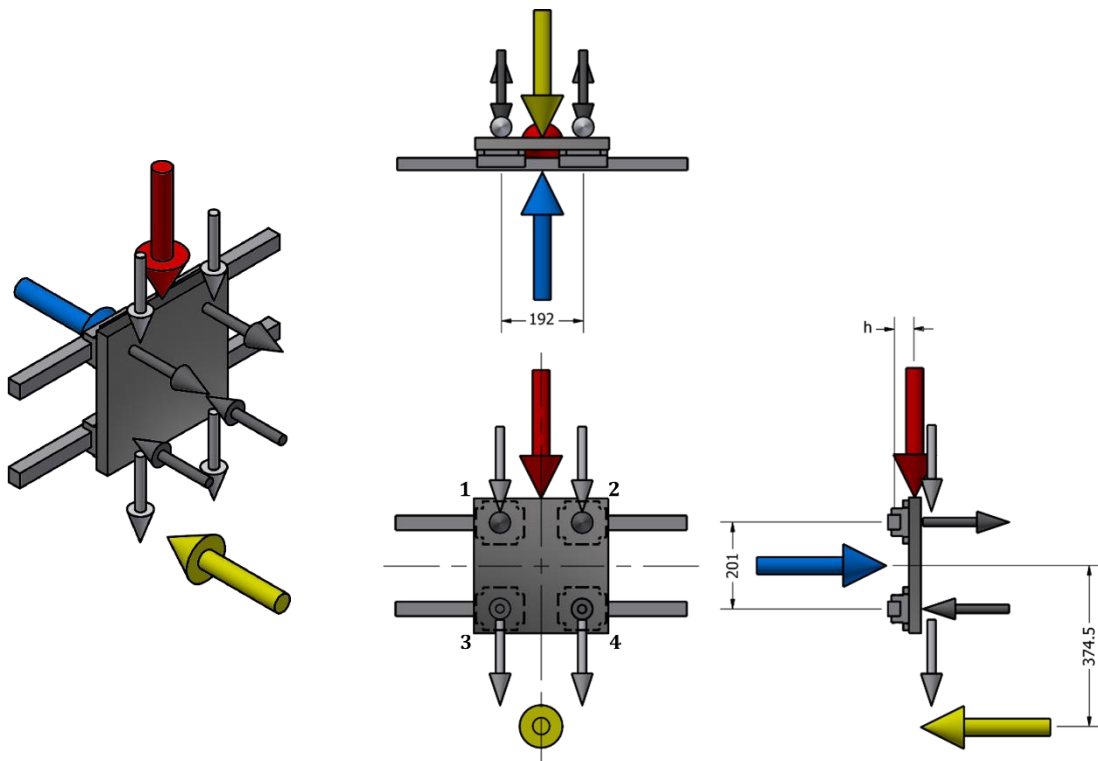


Figura 4.4 – Esquema das forças sobre os patins da base M&G_PMM_H quando ocorre a retificação em Y.

No Quadro 4.9 estão resumidas as distâncias consideradas no esquema da Figura 4.5 e que são necessárias no cálculo das forças nos patins, i.e., para a aplicação das equações (4.9) e (4.10).

Quadro 4.9 – Dados fornecidos no esquema

c	a
[m]	[m]
0,201	0,3745

O Quadro 4.10 apresenta os valores das massas e respectivos pesos e distâncias para o h próprios dos diferentes competentes que serão usados nos cálculos dos esforços para os patins da M&G_PMM_F_H.

Quadro 4.10 – Cálculo do W

	Massa	W	h	$W*h/2c$
	[kg]	[N]	[m]	[N]
M&G_PMM_C_01	21	206,01	0,1235	62,976
M&G_PMM_C_03	5,4	52,974	0,132	17,308
CG30A	65	637,650	0,2475	390,640
M&G_PMM_V_01	26,5	259,965	0,0475	30,565
Total	117,9	1156,599		501,489

$$P_1 = P_2 = \frac{W * h}{2c} + \frac{F}{4} + \frac{F * a}{2c} \quad (4.9)$$

$$P_3 = P_4 = \frac{W * h}{2c} - \frac{F}{4} + \frac{F * a}{2c} \quad (4.10)$$

O Quadro 4.11 resume os valores que resultaram da aplicação da equação (4.9) e da equação (4.10).

Quadro 4.11 – Resultados das forças obtidas

	$W*h/2c$	$F/4$	$F*a/2c$	P_1 e P_2	P_3 e P_4
	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
F	501,489	275	1019,678	1796,167	-1019,678
-F	501,489	-275	-1019,678	-793,189	-243,189

4.2.2.2 Retificação em X

Na Figura 4. estão representadas as forças envolvidas quando a operação de retificação é realizada em X. Neste caso, as forças nos patins são calculadas através da equação (4.9) e da equação (4.10).

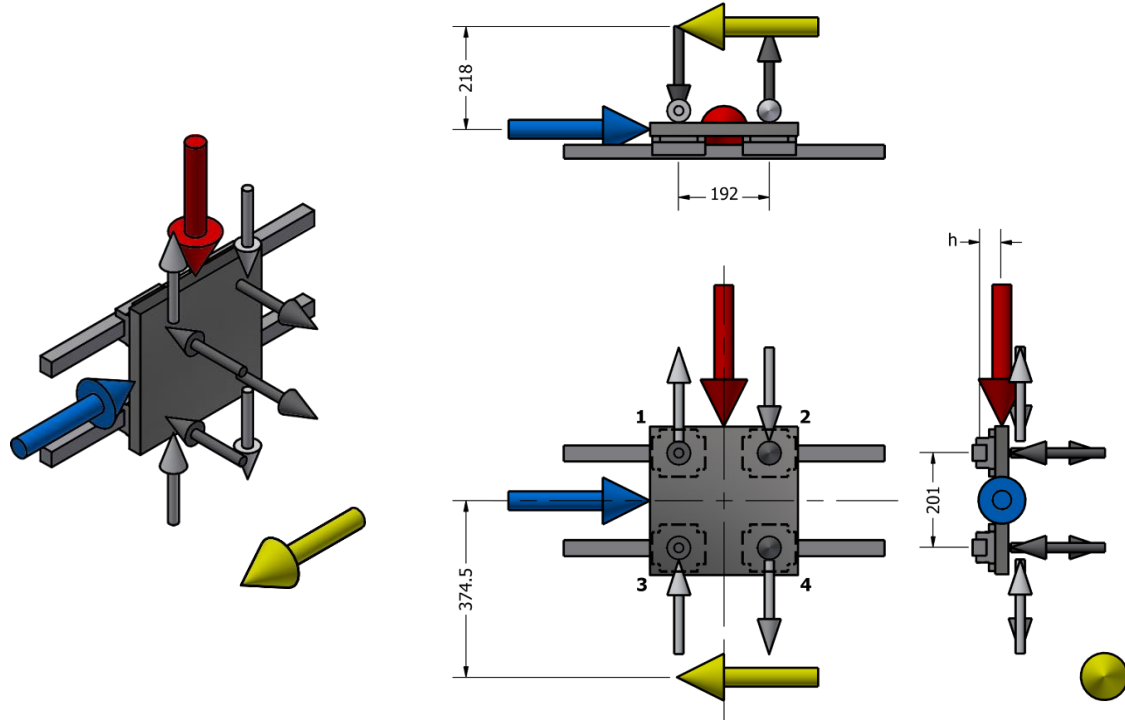


Figura 4.5 – Esquema das forças sobre os patins da base M&G_PMM_H quando ocorre a retificação em X.

O Quadro 4.12 resume, de acordo com o esquema da Figura 4., as distâncias que são necessárias para a aplicação das equações (4.9) e (4.10).

Quadro 4.12 – Dados fornecidos no esquema

c	d	l
[m]	[m]	[m]
0,201	0,192	0,218

$$P_1 = P_4 = -\frac{W * h}{2c} + \frac{F * l}{2d} \quad (4.9)$$

$$P_2 = P_3 = \frac{W * h}{2c} + \frac{F * l}{2d} \quad (4.10)$$

O Quadro 4.13 resume os valores que resultaram da aplicação da equação (4.9) e da equação (4.10).

Quadro 4.13 – Resultados das forças obtidas

	$W*b/2c$	$F*l/2d$	P_1 e P_4	P_2 e P_3
	[N]	[N]	[N]	[N]
F	501,489	624,479	122,990	1125,968
-F	501,489	-624,479	-1125,968	-122,990

4.2.3 M&G_PMM_V

4.2.3.1 Retificação em Y

Na Figura 4. estão representadas as forças envolvidas quando a operação de retificação é realizada em Y. Neste caso, as forças nos patins são calculadas através da equação (4.13).

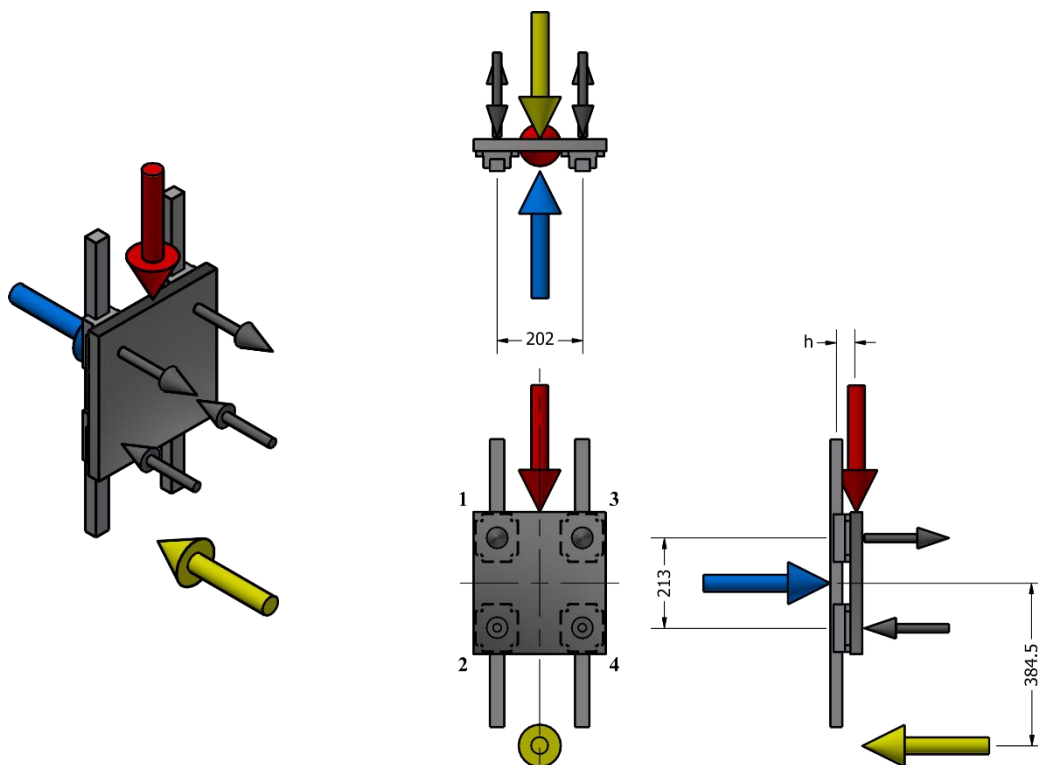


Figura 4.6 – Esquema das forças sobre os patins da base M&G_PMM_V quando ocorre a retificação em Y.

O Quadro 4.14 resume, de acordo com o esquema da Figura 4., as distâncias que são necessárias para a aplicação da equação (4.13) e o Quadro 4.15 apresenta os valores das massas e respectivos pesos e distâncias para o h próprios dos diferentes competentes que serão usados nos cálculos os esforços para os patins da M&G_PMM_F_V.

Quadro 4.14 – Dados fornecidos no esquema

d	b
[m]	[m]
0,213	0,3845

Quadro 4.15 – Cálculo do W

	Massa [kg]	W [N]	b [m]	$W*b/2c$ [N]
M&G_PMM_C_01	21	206,01	0,0475	22,971
M&G_PMM_C_03	5,4	52,974	0,056	6,964
CG30A	65	637,650	0,1715	256,707
Total	91,4	896,634		286,641

$$P_i = P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = \frac{W * h}{2d} + \frac{F * b}{2d} \quad (4.13)$$

O Quadro 4.16 resume os valores que resultaram da aplicação da equação (4.13).

Quadro 4.16 – Resultados das forças obtidas

	$W*b/2c$ [N]	$F*b/2d$ [N]	P_i [N]
F	286,641	992,840	1279,481
-F	286,641	-992,840	-706,200

4.2.3.2 Retificação em X

Na Figura 4.1 estão representadas forças envolvidas quando a operação de retificação é realizada em X. Neste caso, as forças nos patins são calculadas através da equação (4.14).

O **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** resume, de acordo com o esquema da Figura 4.1, as distâncias que são necessárias para a aplicação das equação (4.14).

Quadro 4.17 – Dados fornecidos no esquema

d	l
[m]	[m]
0,213	0,142

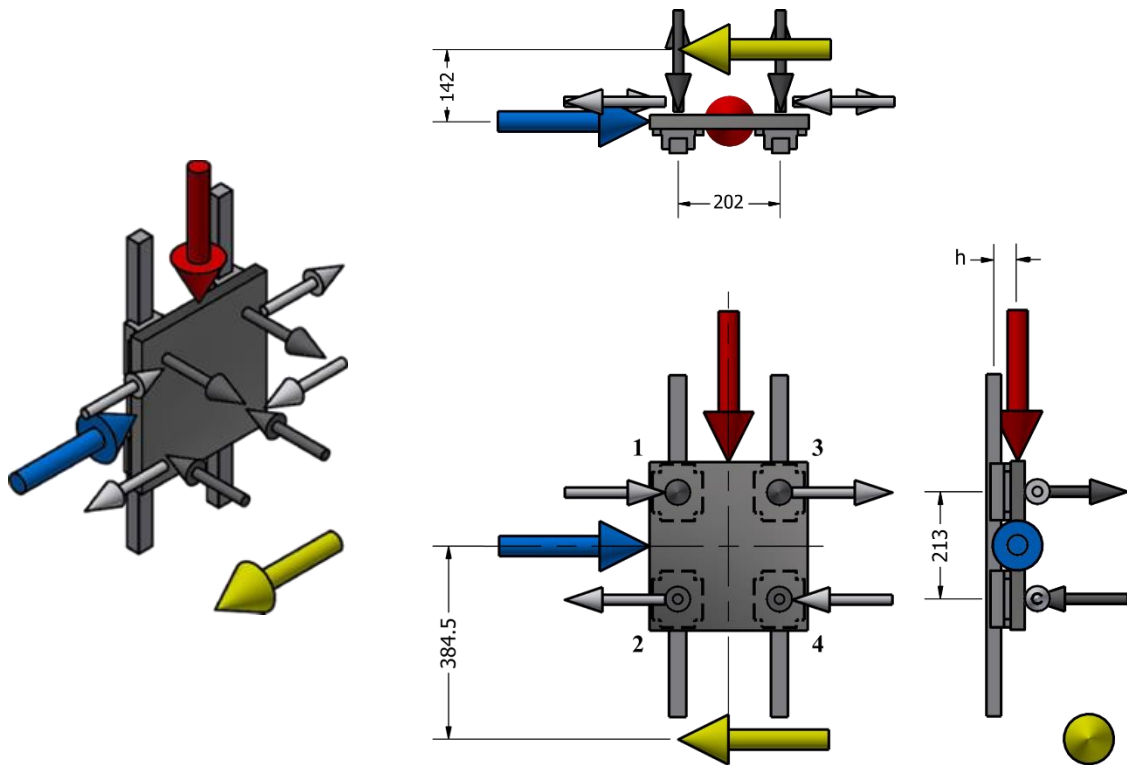


Figura 4.1 – Esquema das forças sobre os patins da base M&G_PMM_V quando ocorre a retificação em X.

$$P_i = P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = \frac{W * h}{2d} - \frac{F * l}{2d} \quad (4.14)$$

O Quadro 4.18 resume os valores que resultaram da aplicação da equação (4.14).

Quadro 4.18 – Resultados das forças obtidas

	$W * h / 2c$	$F * l / 2d$	P_i
	[N]	[N]	[N]
F	286,641	366,667	-80,026
-F	286,641	-366,667	653,307

4.2.4 Resultados

O Quadro 4.19 resume os valores de P máximos obtidos para cada conjunto de patins.

Quadro 4.19 – Maiores valores de P em valor absoluto de cada conjunto de patins.

	P_{max}
	[N]
M&G_PMM_F_B	1480,445
M&G_PMM_F_H	1796,167

M&G_PMM_F_V 1279,481

Independentemente da direção e sentido da retificação, para efeitos de cálculos, será considerado que a carga estática equivalente será a carga estática máxima calculada pela equação (4.11).

$$f_{SL} = \frac{C_0}{P_{max}} \quad (4.11)$$

No Quadro 4.20 estão representados os valores da segurança estrutural estática para cada patim que, segundo o catálogo, tem de ter um valor mínimo de 1,25. Como tal, pode concluir-se que os patins irão aguentar as cargas a que serão submetidos.

Quadro 4.20 – Valor de segurança estrutural estática de cada patim.

	f_{SL}
M&G_PMM_F_B	63,488
M&G_PMM_F_H	52,328
M&G_PMM_F_V	73,459

4.3 Força exercida sobre as manivelas

Para mover os eixos foram usados dois fusos com diâmetros diferentes: i) um fuso R32-10K5-FSCDIN (R32-10K5), que é o usado para as máquinas M&G, que tem a vantagem de não ser preciso adquiri-lo nem ter em stock as fêmeas para este fuso); e ii) um fuso R20-05K4-FSCDIN (R20-05K4) que tem a vantagem de não ser preciso de retirar material na peça M&G_PMM_F_V_01, nem na peça M&G_PMM_F_C_01 para ser montado, o que não acontece com o R32-10K5 (ver Figura 3.8 para exemplo).

O Quadro 4.21 apresenta o valor do passo para os fusos atrás definidos, sendo o valor do passo necessário para aplicar a equação (4.13).

Quadro 4.21 – Passo de cada fuso usado.

	$Passo$ [mm]
R20-05K4	5
R32-10K5	10

O Quadro 4.22 resume os valores considerados para as equações (4.12), (4.13) e (4.14), para o coeficiente de atrito (μ) e para a força de atrito entre os patins e a guia (S) de acordo com a referência [4]. Como existem 4 patins em cada eixo, a força de atrito

é quatro vezes o valor obtido na tabela 3.14 da referida referência. Para efeitos de cálculos foi considerado um valor de 0,85 para o rendimento.

Quadro 4.22 – Dados considerados para os cálculos.

μ	S [N]	η_1	$d_{manivela}$ [m]
0,004	4*3,1	0,85	0,2

A equação (4.14) é a fórmula do momento igual a força vezes uma distância, o braço. O braço neste caso é considerado o raio da manivela usada.

$$F_a = \mu * W + S \quad (4.12)$$

$$T_a = \frac{F_w * Passo}{2000 * \pi * \eta_1} \quad (4.13)$$

$$F_u = \frac{T_a}{0,5 * d_{manivela}} \quad (4.14)$$

No Quadro 4.23 estão apresentados os resultados obtidos para os dois tipos de fusos. E como o F_w é a soma da força de atrito (F_a) com a força de funcionamento a força de atrito aparece já somada com a força de funcionamento no Quadro 4.23, mas a força de funcionamento não é a mesma para todos os eixos, i.e.:

1. no caso dos eixos M&G_PMM_F_B e M&G_PMM_F_H é a força de corte;
2. no caso do eixo M&G_PMM_F_V é peso que é preciso mover com o eixo, neste caso o peso corresponde à base M&G_PMM_F_C. A força de corte usada neste caso é a força de corte manual, como o valor de 363,967 N (cf. Quadro 4.2), dado que os eixos são movidos pelas manivelas.

Quadro 4.23 – Resultados obtidos para os dois tipos de fusos.

	F_w [N]	T_a (20) [Nm]	F_u (20) [N]	T_a (32) [Nm]	F_u (32) [N]
M&G_PMM_F_B	613,238	0,574	5,744	1,149	11,488
M&G_PMM_F_H	663,754	0,622	6,217	1,243	12,435
M&G_PMM_F_V	1113,751	1,043	10,432	2,086	20,865

Pode-se concluir que, para o sistema manual, o fuso R20-05K4 seria a melhor opção pois tem um passo menor que o fuso R32-10K5, o que implica uma menor força a ser exercida pelo utilizador.

4.4 Servo motores

Como foi mencionado anteriormente, posteriormente as manivelas serão substituídas por servo motores. Como tal, serão utilizados os fusos que suportam os valores de velocidades e forças, associados à utilização dos servo motores (ver Quadro 4.1 e Quadro 4.2).

4.4.1 Momento Torsor

Com a força de corte calculada anteriormente (1100 N, ver Quadro 4.2) através das equações (4.12) e (4.13) é calculado o momento torsor que será necessário para os servos motores a utilizar.

Quadro 4.24 – Binário necessário para os servo motores.

	F_w [N]	T_a [N.m]
M&G_PMM_F_B	1349,271193	2,528
M&G_PMM_F_H	1399,786739	2,622
M&G_PMM_F_V	1113,750993	1,043

4.4.2 Escolha do fuso

De acordo com [3], os dados necessários relativo aos fusos, para efeitos de cálculos das suas condições limite, são resumidos no Quadro 4.25.

Quadro 4.25 – Dados sobre os fusos.

	$Passo$ [mm]	C_o [N]	d_k [mm]
R20-05K4	5	32740	16,9
R32-10K5	10	80100	28,6

Como mencionado anteriormente, no capítulo 3.3, o fuso responsável pelo movimento no eixo Z, só se encontra montado numa chumaceira do tipo fixa. Contrariamente, os outros dois fusos encontram-se montados numa chumaceira de apoio e noutra fixa. Esta diferença, no tipo de montagem usada para o fuso responsável pelo movimento no eixo Z, diminui a carga máxima que o mesmo suportará. Como tal, nos cálculos é necessário quantificar esta os diferentes tipos de montagem, para é usado um fator do tipo de montagem (f_k e f_n) para este fuso, no Quadro 4.26 resume os fatores usados para cada fuso. Além disso, outro fator importante é o comprimento do fuso (l_f) uma vez que se o fuso for muito comprido pode ocorrer encurvadura do mesmo.

Quadro 4.26 – Fatores sobre tipo de montagem.

	f_k	f_n	l_s [mm]
M&G_PMM_F_B	0,5	0,692	2420
M&G_PMM_F_H	0,5	0,692	3190
M&G_PMM_F_V	0,0625	0,147	150

Com as equações (4.15) e (4.17) será analisado se a força necessária para a encurvadura é superior ao valor de F_w (ver Quadro 4.24) que é a força que será necessário que fuso exerça para retificar a uma velocidade de avanço 6000 mm/min. Através das equações (4.16) e a (4.18) é calculada velocidade crítica para cada fuso.

$$F_k = 4,072 * 10^5 * \frac{f_k * d_k}{l_s} \quad (4.15)$$

$$n_k = 2,71 * 10^8 * \frac{f_n * d_k}{l_s} \quad (4.16)$$

$$F_{kmax} = 0,5 * F_k \quad (4.17)$$

$$n_{kmax} = 0,8 * n_k \quad (4.18)$$

O Quadro 4.27 mostra que o fuso R20-05K4 para o M&G_PMM_F_H não irá suportar o valor de F_w (ver Quadro 4.2) e que o fuso R20-05K4 para o M&G_PMM_F_B está quase no limite do que consegue suportar. Como tal, para estes dois eixos foi escolhido um fuso de maior diâmetro, o fuso R32-10K5, que como calculado consegue suportar o valor de F_w . Infelizmente, para se poder utilizar este fuso será preciso, como já foi mencionado anteriormente, fazer um rasgo na peça M&G_PMM_F_V_01 o que aumenta os custos de produção da peça além de, adicionalmente, diminui a sua resistência mecânica. Assim, para o eixo do M&G_PMM_F_V será usado o fuso R20-05K4, bem como para a peça M&G_PMM_F_C_01.

Em termos de velocidade de rotação do eixo, como a velocidade de avanço considerado foi de 6000 mm/min, o que corresponde a cerca de 600 rpm com o fuso R32-10K5, não será possível retificar com a velocidade calculada e, conseqüentemente, a força de corte efetiva será menor do que a calculada.

Quadro 4.27 – Resultados de F_{kmax} e n_{kmax} .

		F_{kmax} [N]	n_{kmax} [rpm]
R20-05K4	M&G_PMM_F_B	1417,960	432,934
	M&G_PMM_F_H	816,043	249,156
	M&G_PMM_F_V	46134,104	23937,611
R32-10K5	M&G_PMM_F_B	11630,039	732,657
	M&G_PMM_F_H	6693,150	421,648
	M&G_PMM_F_V	378389,787	40509,803

4.5 Centro de gravidade das forças remotas usadas nos estudos

Para o cálculo das coordenadas do centro de gravidade, que serão usadas para simular o peso próprio dos componentes, nas simulações estáticas serão usadas as equações (4.19) e (4.20), onde X_i e Y_i são as coordenadas individuais de alguns dos componentes. Estas coordenadas foram obtidas com o auxílio do Inventor®.

$$X_{c.g.} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i * m_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (4.19)$$

$$Y_{c.g.} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i * m_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (4.20)$$

4.5.1 Forças para o estudo estático do M&G_PMM_F_H

Na Figura 4. pode ver-se o referencial usado para calcular os valores do centro de gravidade apresentados no **Erro! A origem da referência não foi encontrada..** Este **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** apresenta apenas o peso próprio dos componentes que constituem a base M&G_PMM_F_C. Para efeitos de simplificação de cálculos foi tomado em consideração o valor de 100 kg.

Quadro 4.28 – Centro de gravidade da base M&G_PMM_F_C.

	X [mm]	Y [mm]	Peso [kg]
M&G_PMM_F_C_01	0	62	21
M&G_PMM_F_C_02	0	85	5,4
CG30A	130	198	65
Centro de gravidade da base	92,450	160,077	91,4

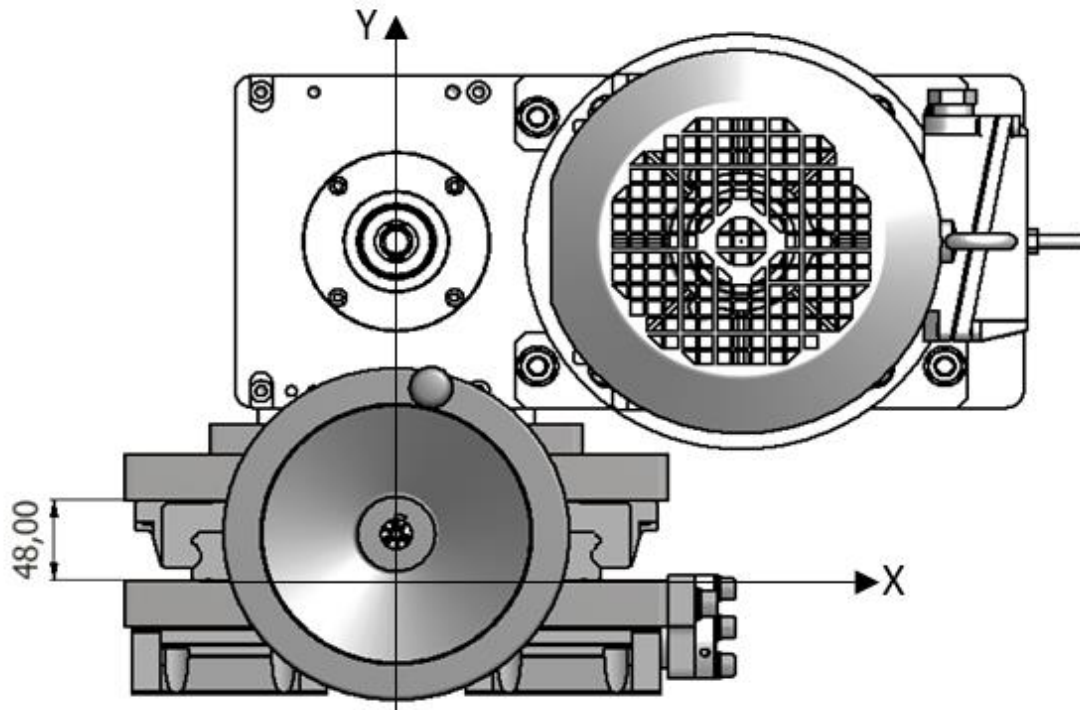


Figura 4.8 – Referencial de eixos para o cálculo dos centros de gravidade da base M&G_PMM_F_C.

4.5.2 Forças para o estudo estático do M&G_PMM_F_B

A Figura 4. mostra o referencial usado para o cálculo dos valores do centro de gravidade das bases M&G_PMM_F_V e M&G_PMM_F_C que se encontram resumidos no Quadro 4.29.

Quadro 4.29 – Centro de gravidade das bases M&G_PMM_F_V e M&G_PMM_F_C.

	X	Y	Peso
	[mm]	[mm]	[kg]
M&G_PMM_F_C_01	0	138	21
M&G_PMM_F_C_02	0	161	5,4
CG30A	130	274	65
M&G_PMM_F_V_01	0	62	26,5
Centro de gravidade das 2 bases	71,671	196,950	117,9

O Quadro 4.29 contempla apenas alguns dos componentes que constituem as bases M&G_PMM_F_C e M&G_PMM_F_V. Mais uma vez, para feitos de simplificação de cálculos, foi considerado o valor de 130 kg. Como o centro de gravidade da base M&G_PMM_F_H não está sempre à mesma distância relativamente ao centro de gravidade calculado no Quadro 4.29, este foi obtido separadamente com o auxílio do Inventor[®] (ver Quadro 4.30) utilizando o referencial da Figura 4..

No Quadro 4.30 estão apenas considerados alguns dos componentes que constituem a base. Para facilitar os cálculos, e por falta de conhecimento de determinados valores de peso, tomou-se o valor aproximado de 250 kg.

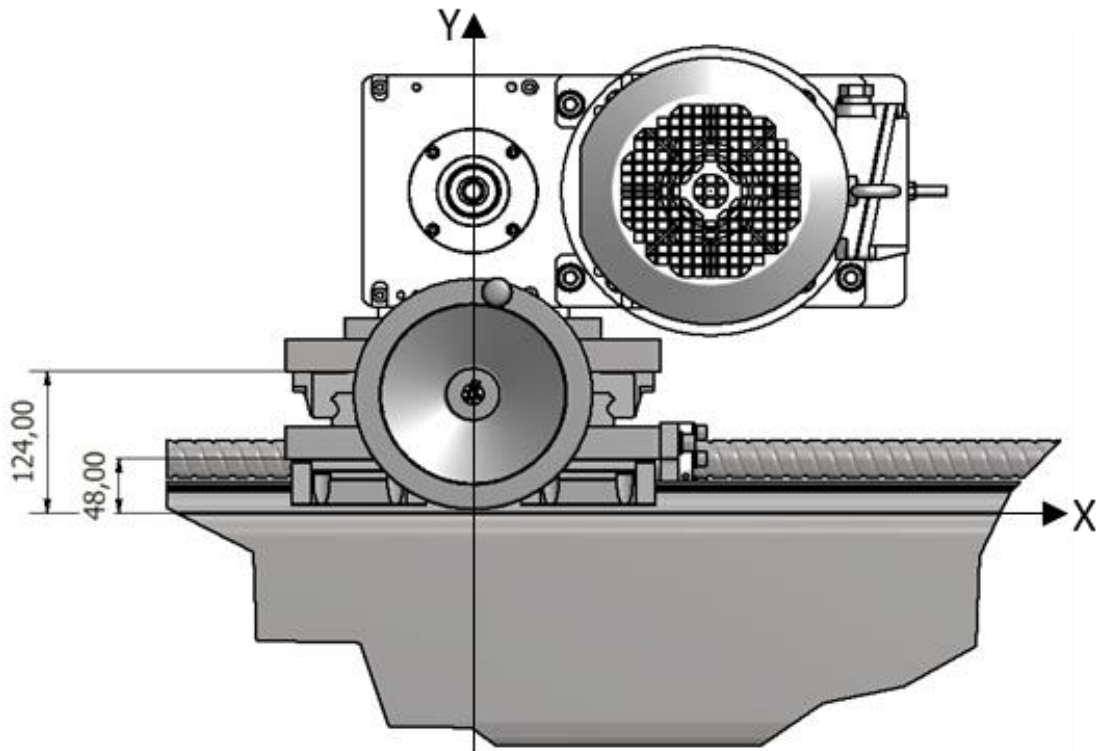


Figura 4.9 – Referencial de eixos para o cálculo dos centros de gravidade das bases M&G_PMM_F_C e M&G_PMM_F_V.

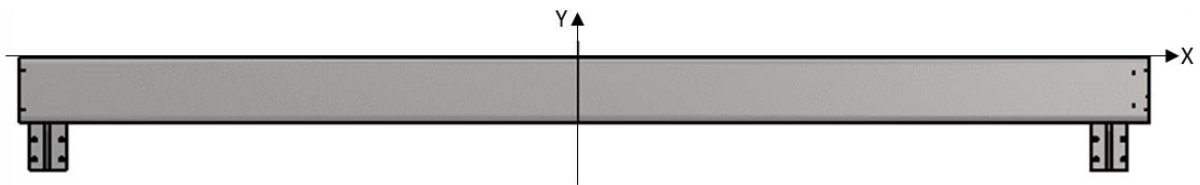


Figura 4.10 – Referencial de eixos para o cálculo dos centros de gravidade da base M&G_PMM_F_H.

Quadro 4.30 – Centro de gravidade da base M&G_PMM_F_H.

	X [mm]	Y [mm]	Peso [kg]
M&G_PMM_F_H_ass_01	15	-100	225,7

5 ESTUDO ESTÁTICOS

Com o propósito de otimizar as bases M&G_PMM_F_B e M&G_PMM_H, foram realizadas várias simulações numéricas com recurso ao método dos elementos finitos. Nestas simulações, partes dos componentes foram substituídos por forças correspondentes. Para tal, foi calculado previamente o centro de gravidade do conjunto de componentes e o seu peso equivalente. De seguida, utilizando a equação (5.1) a massa dos componentes foi convertida no seu peso próprio, contabilizando assim a ação da aceleração da gravidade assumindo o valor de $9,81 \text{ m/s}^2$.

$$F = m * g \quad (5.1)$$

Quer para base M&G_PMM_F_B quer para a M&G_PMM_F_H o estudo realizado teve como principal objetivo analisar o comportamento estrutural das bases quando a operação de retificação é executada na direção do eixo X e do eixo Y, respetivamente (ver eixos na Figura 3.1). Dado que as tensões exercidas sobre a base M&G_PMM_F_B durante a retificação na direção Y serão exercidas sobre o conjunto fusos e chumaceiras esta direção não será analisada. O mesmo procedimento foi aplicado à base M&G_PMM_H para a direção X.

5.1 M&G_PMM_F_B

Para o estudo da base M&G_PMM_F_B foram feitos dois tipos de estudos: i) um a simular apenas a base M&G_PMM_F_B a suportar o pórtico sendo desprezado o resto da máquina, a base M&G_PMM_F_H, M&G_PMM_F_V e M&G_PMM_F_C; e ii) um outro estudo a simular a operação de retificação. Estes dois estudos servem para diferenciar as tensões que são devidas ao pórtico e as tensões que resultam do processo de retificação.

Para estudar as tensões que a base M&G_PMM_F_B vai sofrer quando ocorre a retificação foram realizados 6 estudos diferentes. Primeiro foram feitos 3 estudos que tem como propósito simular a operação de retificação próxima de uma das laterais da base M&G_PMM_F_B em três posições do eixo Y (ver posições a verde 1, 2 e 3 da Figura 5.2). Como a estrutura é simétrica, supõe-se que as tensões, quando ocorrer retificação na lateral oposta, sejam idênticas. De seguida, foram realizados mais três estudos com o objetivo de simular a operação de retificação na posição central do eixo X com as mesmas três posições no eixo Y (ver posições a verde 4, 5 e 6 da Figura 5.2).

5.1.1 Distribuição de forças e restrições

As restrições de movimento nas três direções foram feitas nas 6 peças M&G_PMM_F_B_08 (elemento nº3 da Figura 3.4) onde é feita a nivelção da máquina em relação ao chão. Para simplificação do estudo não foram considerados

os componentes que estão diretamente em contacto com o chão. Estas restrições estão representadas, por setas azuis, nos esquemas da Figura 5.1 e da Figura 5.2.

Para simular o pórtico, considerou-se que o seu próprio (de cerca de 1400 kg) se distribuía equitativamente pelos 8 varões roscados responsáveis pelo sistema de nivelção/suporte do pórtico. As forças correspondentes ao peso próprio estão representadas nos esquemas da Figura 5.1 e da Figura 5.2 por setas verdes.

Outro fator que é preciso ter em conta, pois não é possível desprezar dado o seu valor considerável (cerca de 1500 kg), é o próprio peso da estrutura. Para o representar recorreu-se a uma função própria disponibilizada pelo Inventor®. A força correspondente ao peso próprio da estrutura está representada pela seta a vermelha nos esquemas da Figura 5.1 e da Figura 5.2.

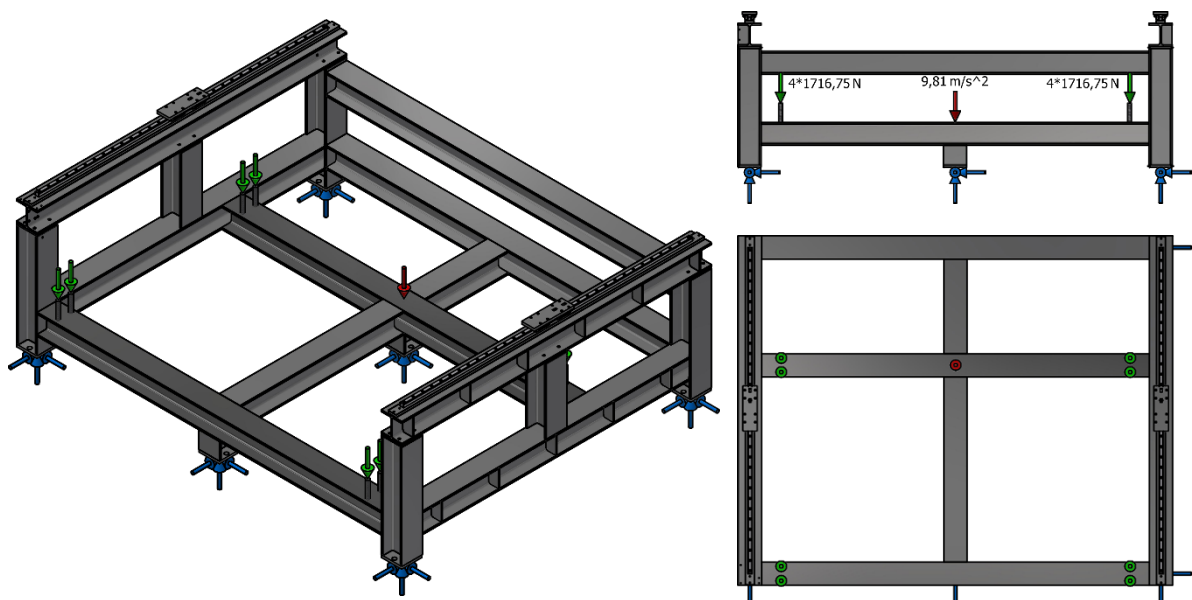


Figura 5.1 – Esquema das forças e restrição de movimento sobre a base M&G_PMM_F_B a simular apenas o repouso do pórtico sobre a base M&G_PMM_F_B.

Para simplificar os modelos em estudo, foram aplicadas forças para se simular o peso que os componentes exercem sobre a base M&G_PMM_F_B. Para simular a base M&G_PMM_F_H foi usada uma força de 2452,5 N. Nos vários estudos realizados, o ponto de aplicação desta força só varia de posição no eixo Y, para mesma posição em Y a força é igual. Esta força, seta amarela, está delimitada apenas pelos retângulos vermelhos para as três posições em Y, cf. representado na Figura 5.2. O local de aplicação desta força é sobre os quatro patins.

Para simular as bases M&G_PMM_F_V e M&G_PMM_F_C foi usado apenas uma força pois a única variação de posição relativa entre elas ocorre no eixo Z. As duas bases são representadas por uma seta amarela à qual corresponde o valor de 1275,3 N. Como a força de corte ocorre na posição da fresa e a fresa encontra-se na M&G_PMM_F_C, então a força de corte ocupa a mesma posição relativamente à

força que representa as bases M&G_PMM_F_V e M&G_PMM_F_C. Estas duas forças, setas amarelas, são delimitadas pelos retângulos verdes nas seis posições estudadas, cf. representado na Figura 5.2. O local de aplicação destas forças é sobre os quatro patins.

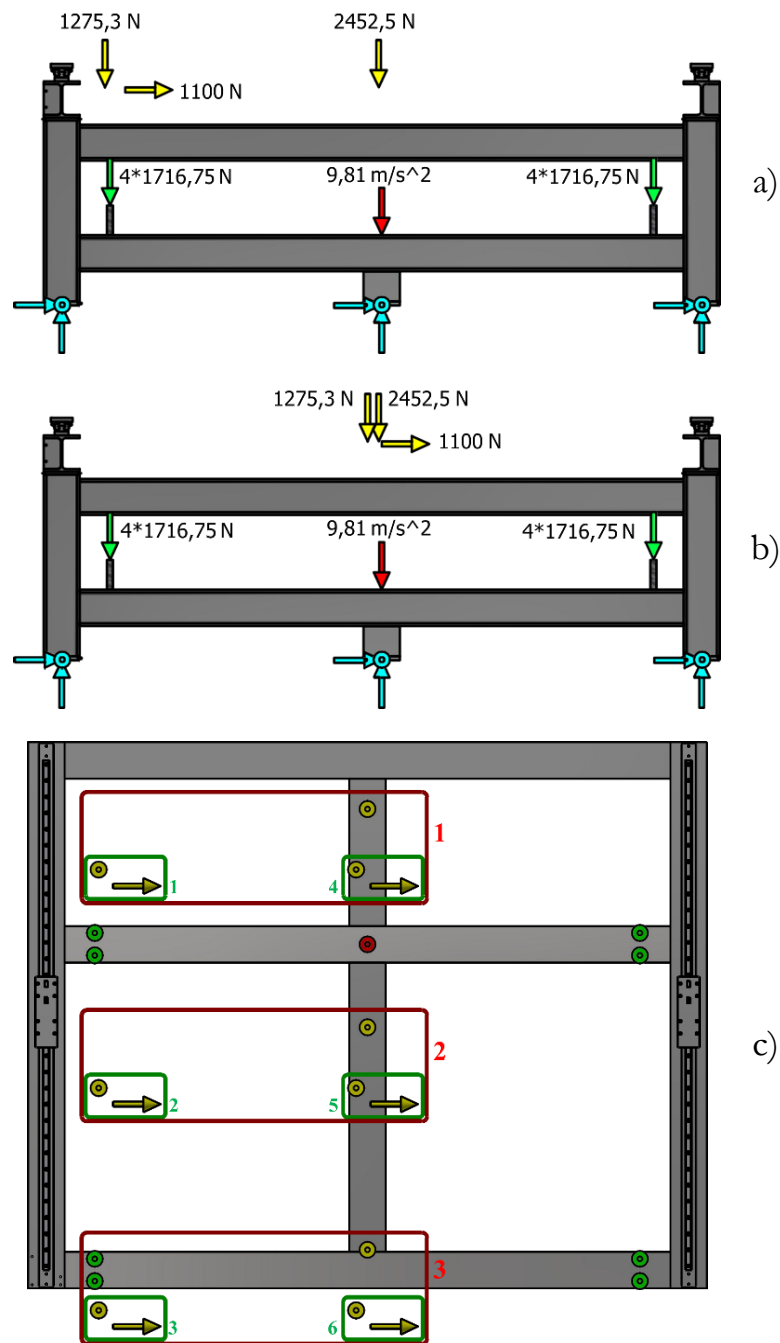


Figura 5.2 – Esquema das forças e restrição de movimento sobre a base M&G_PMM_F_B a simular quando ocorre a retificação em X sobre a base M&G_PMM_F_B: a) Representação frontal das posições laterais 1, 2 e 3; b) Representação frontal das posições centrais 4, 5 e 6; c) Representação de topo das 6 posições.

Nos resultados apresentados nas seções seguintes, quando se refere a posição 1 esta diz respeito à zona delimitada a verde nº1, com a representação da base M&G_PMM_H delimitada com o retângulo a vermelho nº1. A mesma metodologia deve ser aplicada às outras posições.

5.1.2 Refinamento de malha

Depois das condições do estudo definidas para realizar as análises numéricas foi previamente efetuado um estudo de sensibilidade de malha para avaliar a sua convergência. Na Figura 5.3 é possível observar as variáveis envolvidas para a criação de malha. No refinamento de malha, foi usado o valor de 0,1 para o valor mínimo do tamanho dos elementos e prosseguiu-se para a realização dos estudos estáticos para vários valores de tamanho médio dos elementos.

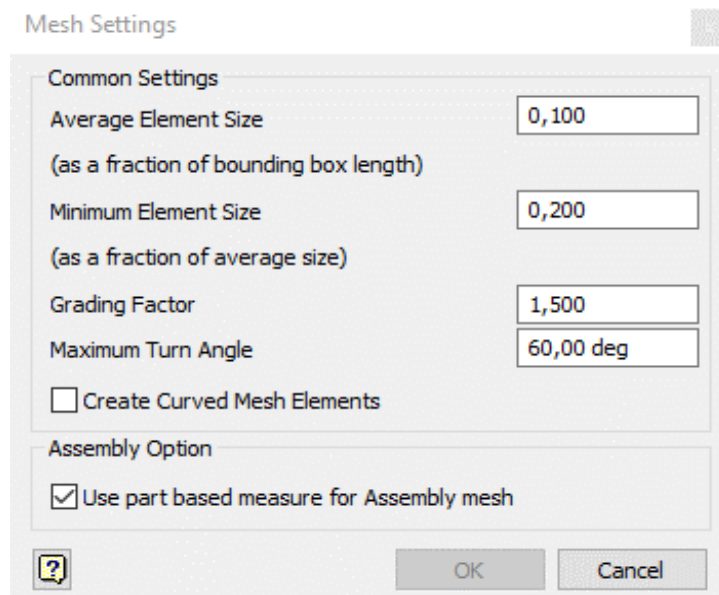


Figura 5.3 – Imagem do Inventor® das definições da Malha.

A análise de sensibilidade de malha foi executada considerando os deslocamentos (D) em relação ao número de elementos em cada estudo realizado. Também foi analisada a variação do deslocamento ($erro_D$) entre os diferentes estudos efetuados recorrendo à equação (5.2).

$$erro_D = \left| \frac{D_{i+1} - D_i}{D_{i+1}} \right| \quad (5.2)$$

A Figura 5.4 apresenta os valores de deslocamento obtidos versus o número de elementos utilizados para simular o estado de tensões correspondente à situação do pórtico sobre a base M&G_PMM_F_B e a Figura 5.5 o correspondente valor do erro resultante da aplicação da equação (5.2). Os gráficos representados na Figura 5.6 e na Figura 5.7 dizem respeito aos valores de deslocamento obtidos versus o número de elementos utilizados para os 6 estudos efetuados, e que simulam as

condições da operação de retificação em X na base M&G_PMM_F_B, e aos valores de erro obtidos decorrentes da aplicação da equação (5.2), respetivamente.

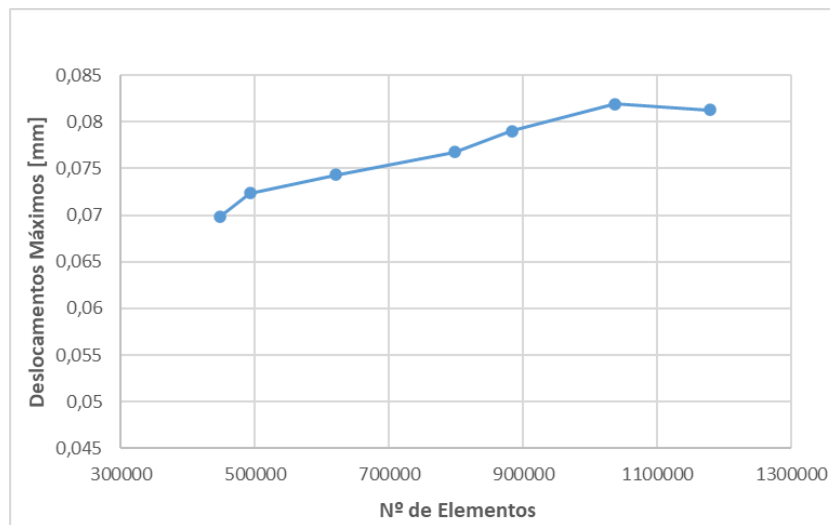


Figura 5.4 – Valores do deslocamento *w*s. o número de elementos do estudo a simular apenas o repouso do pórtico sobre a base M&G_PMM_F_B.

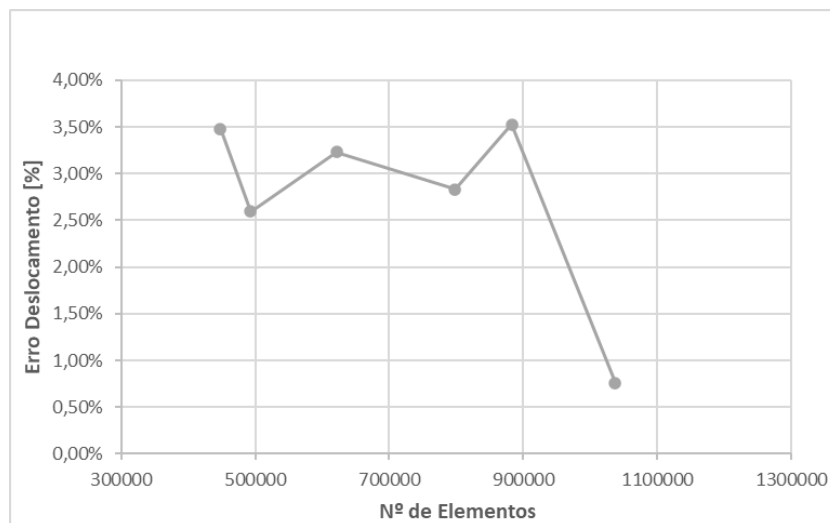
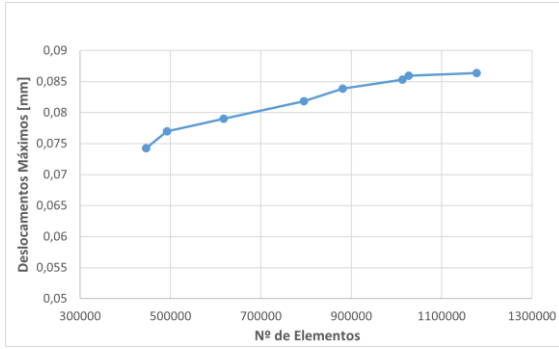
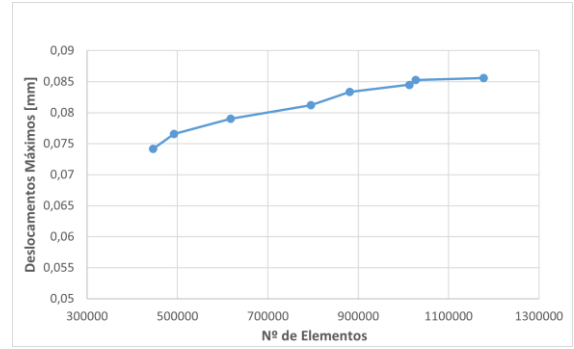


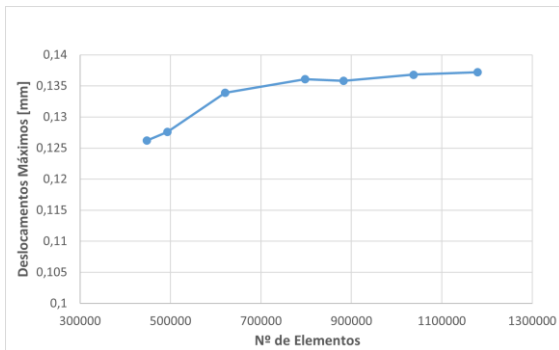
Figura 5.5 – Valores do deslocamento *w*s. o número de elementos do estudo a simular apenas o repouso do pórtico sobre a base M&G_PMM_F_B.



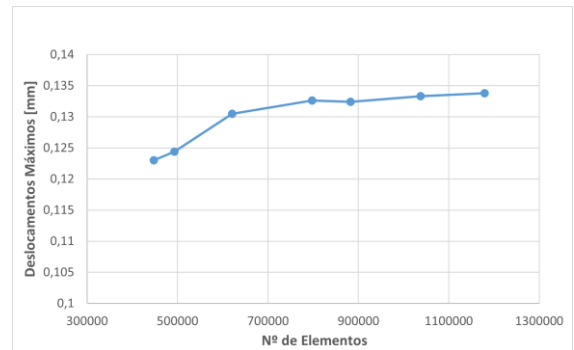
a)



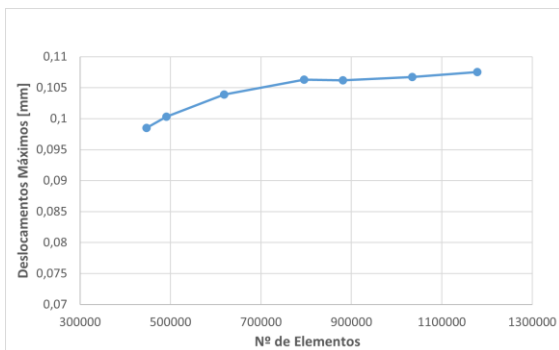
d)



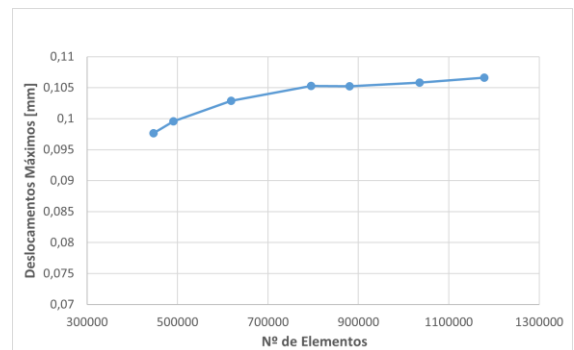
b)



e)

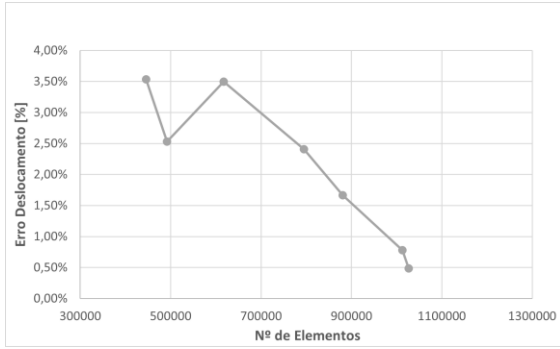


c)

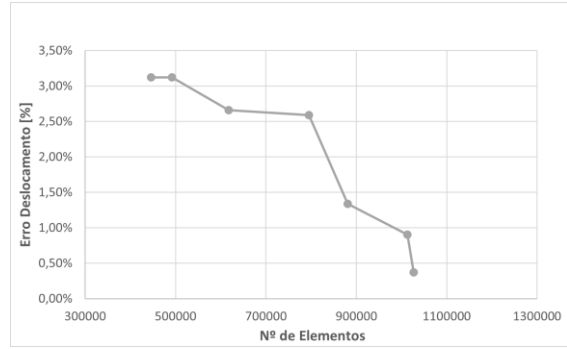


f)

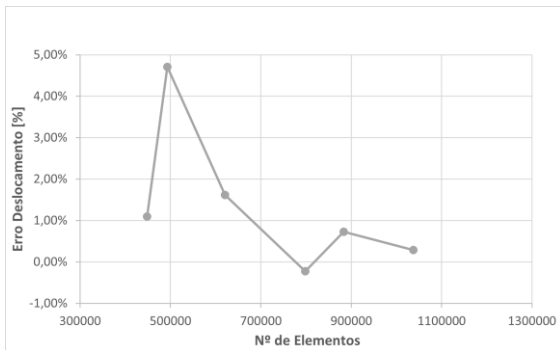
Figura 5.6 – Valores do deslocamento w , o número de elementos do estudo a simular quando ocorre a retificação em X sobre a base M&G_PMM_F_B: a) Posição 1; b) Posição 2; c) Posição 3; d) Posição 4; e) Posição 5; f) Posição 6.



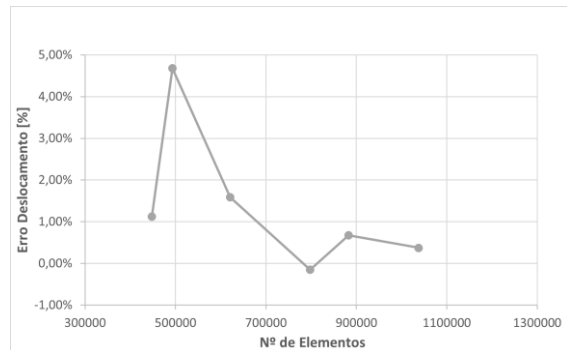
a)



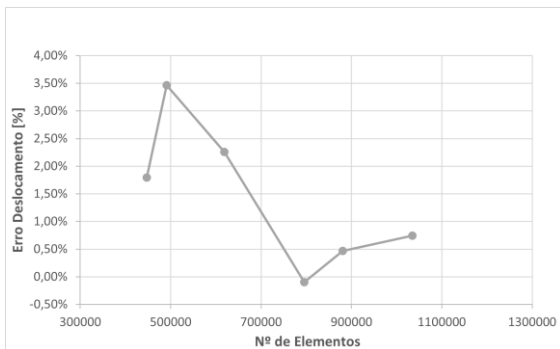
d)



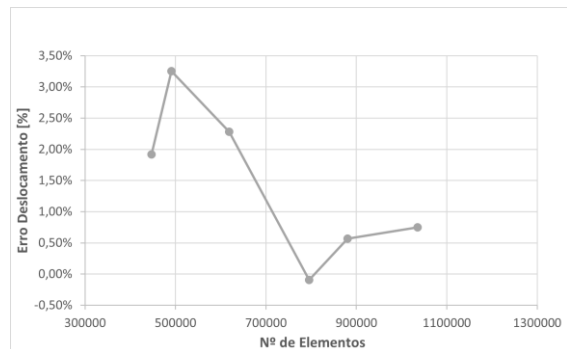
b)



e)



c)



f)

Figura 5.7 – Valores do deslocamento *vs.* o número de elementos do estudo a simular quando ocorre a retificação em X sobre a base M&G_PMM_F_B: a) Posição 1; b) Posição 2; c) Posição 3; d) Posição 4; e) Posição 5; f) Posição 6.

Como é possível constatar pelas Figuras supra não há uma variação significativa do valor do deslocamento para a mesma posição em Y. Tal pode deve-se ao método usado para gerar a malha no *software* Inventor[®]. De facto, o método utilizado pelo *software* Solidworks[®] para gerar a malha permite que o tamanho de elemento seja indicado pelo utilizador, enquanto no Inventor[®] o processo de geração de malha é automático, i.e., é o *software* que ajusta automaticamente o tamanho de elementos à geometria. Além disso, o Inventor[®] limita os valores para o tamanho dos elementos, impossibilitando elementos maiores do que um certo tamanho. Como tal, foi

definido o tamanho médio dos elementos de 0,05 mm para todos os estudos realizados na base M&G_PMM_F_B (este valor corresponde ao quarto valor a contar da esquerda para a direita nos gráficos).

5.1.3 Resultados

Definida a malha e suas características, foram aplicadas as solicitações e os constrangimentos definidos e detalhados nas seções anteriores e analisados os resultados obtidos para as tensões e deslocamentos. De acrescentar que foi usada a mesma escala nos vários estudos realizados para facilitar a comparação entre os diferentes resultados. Para o estudo das tensões de Von Mises foi usada a escala de 0 a 5 MPa (ver Figura 5.8 e Figura 5.9) enquanto que para os deslocamentos foi usada uma escala de 0 a 0,1 mm com os valores superiores a 0,1 (ver Figura 5.10 e 5.11).

A Figura 5.8 representa as tensões de Von Mises obtidas para a base M&G_PMM_F_B quando esta está submetida ao peso próprio do pórtico. e a Figura 5.9 representa as tensões obtidas nas várias posições da base M&G_PMM_F_B quando está a decorrer a retificação do pórtico.

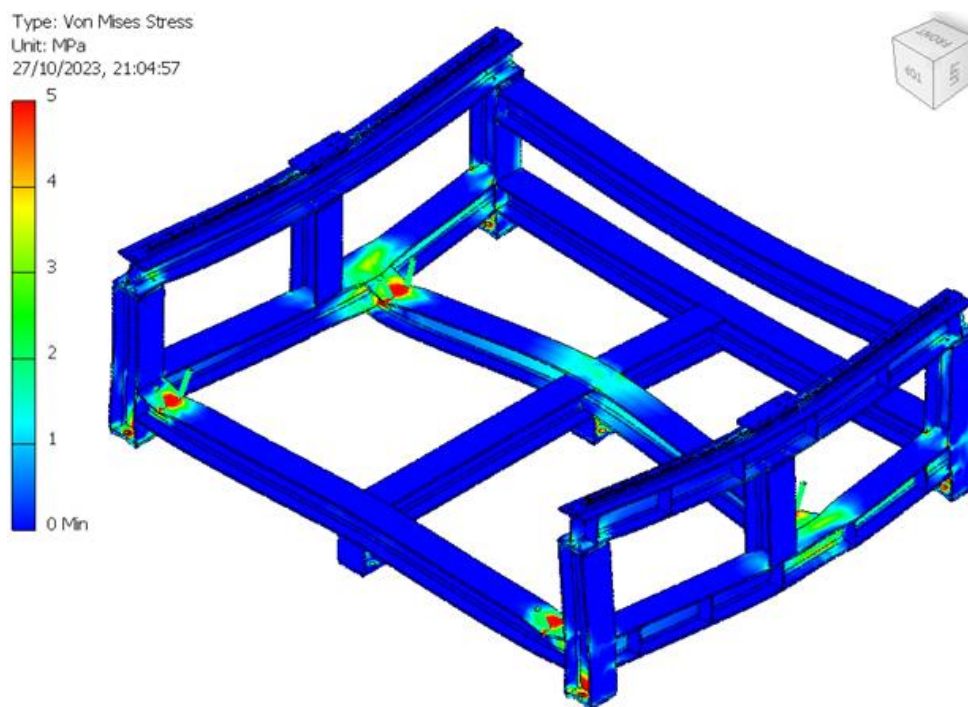


Figura 5.8 – Distribuição das tensões Von Mises obtidas considerando que o pórtico está em repouso sobre a base M&G_PMM_F_B.

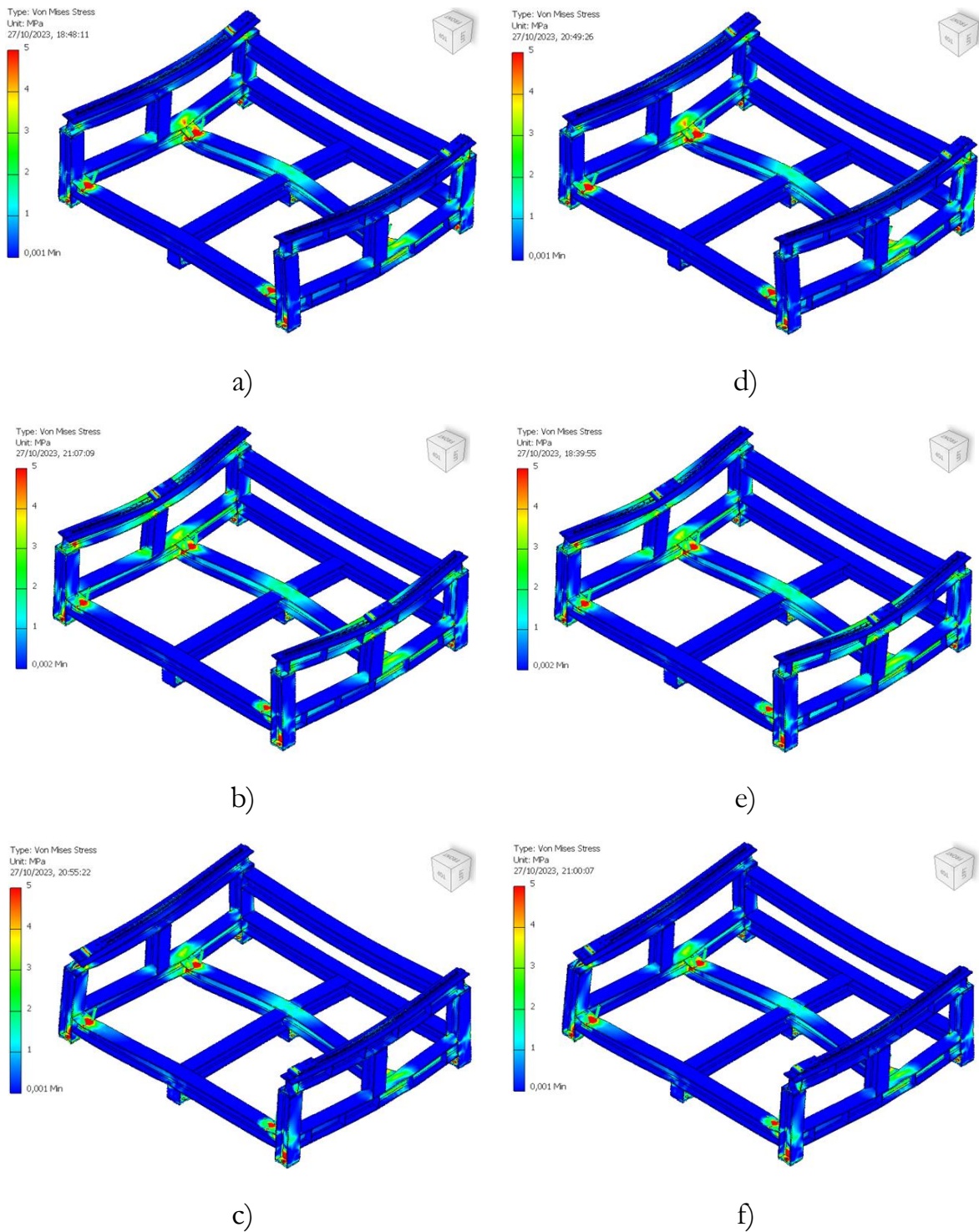


Figura 5.9 – Distribuição das tensões Von Mises obtidas quando ocorre a retificação em X sobre a base M&G_PMM _F_B: a) Posição 1; b) Posição 2; c) Posição 3; d) Posição 4; e) Posição 5; f) Posição 6.

As Figura 5.8 e Figura 5.9 permitem concluir que as tensões máximas ocorrem quando o pórtico é colocado sobre a base. Para aliviar o estado de tensões, foram colocados dois apoios (peça nº9 da Figura 3.4) no meio da base. É de realçar que apesar de ocorrer uma concentração de tensões nas uniões dos perfis, sobre as patas e no local dos veios roscados M30, o valor da tensão máxima pouco ultrapassa os 30 MPa (cf. Quadro 5.1), que é um valor relativamente baixo quando comparado com a tensão de cedência que caracteriza um aço ao carbono.

As Figura 5.10 e 5.11 representam os deslocamentos obtidos quando a base M&G_PMM_F_B está submetida ao peso próprio do pórtico (5.10) e para a várias da base M&G_PMM_F_B quando está a decorrer a retificação do pórtico (5.11).

O objetivo destas simulações foi obter um deslocamento máximo inferior a 0,2 mm, visto que grandes deslocamentos nas guias podem causar um grande desgaste nos patins.

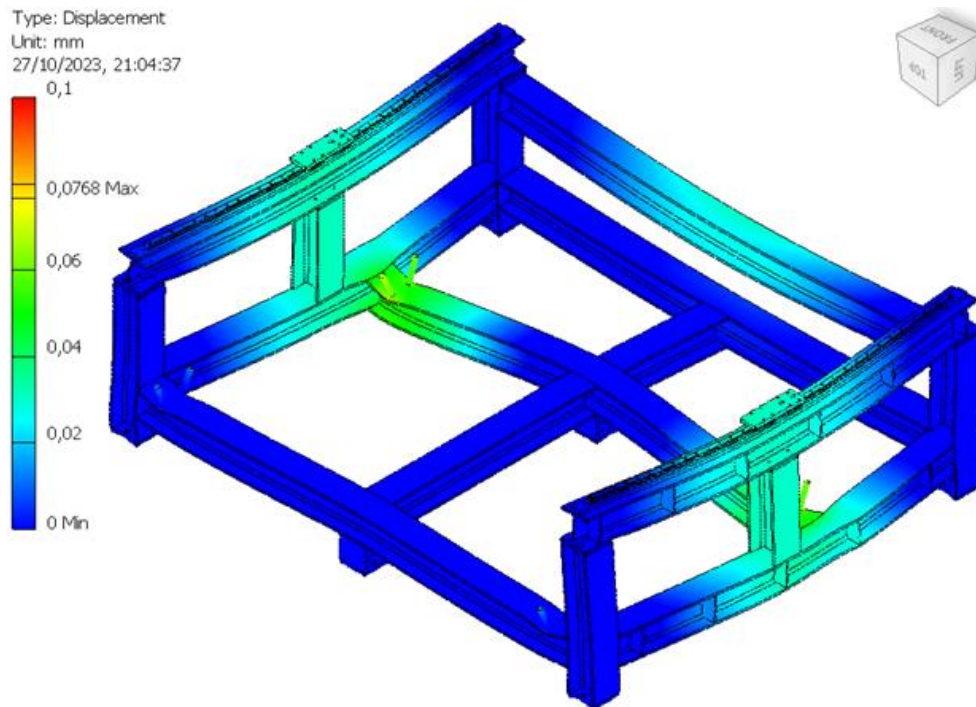


Figura 5.10 – Distribuição dos deslocamentos obtida considerando que o pórtico está em repouso sobre a base M&G_PMM_F_B.

Com base nas Figuras 5.10 e 5.11 pode concluir-se que a maior causa dos deslocamentos na base M&G_PMM_F_B é o pórtico, razão pela qual, e tal como mencionado anteriormente, foram adicionados os apoios (peça nº9 da Figura 3.4) que além de aliviarem as tensões também contribuem para diminuição dos deslocamentos na região.

Na Figura 5.11 pode verificar-se que os valores mais elevados dos deslocamentos, para as várias posições acontecem na região central do eixo Y (cf. Quadro 5.1).

O Quadro 5.1 resume os valores máximos obtidos para cada um dos estudos acima indicados.

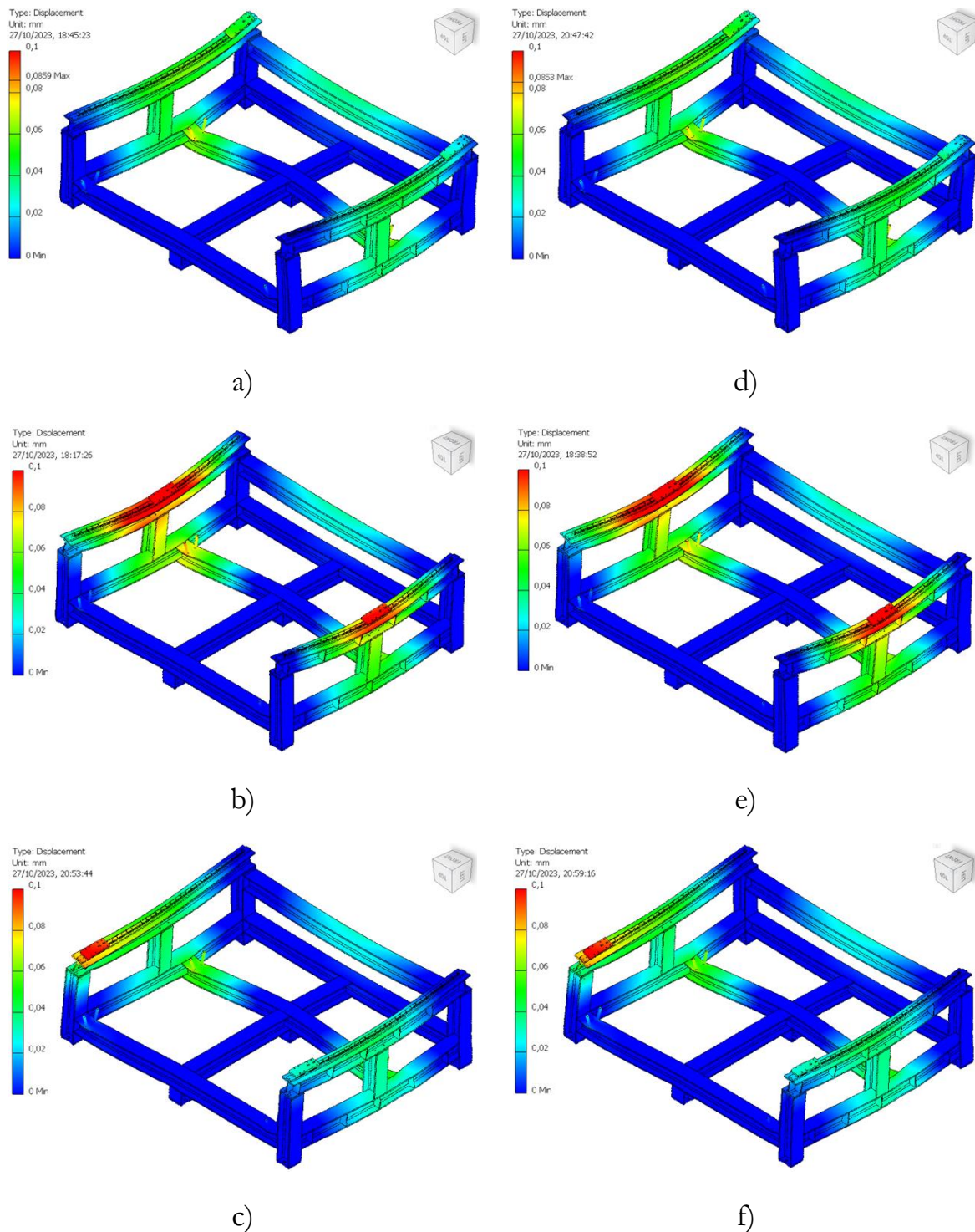


Figura 5.11 – Distribuição dos deslocamentos obtida quando ocorre a retificação em X sobre a base M&G_PMM_F_B: a) Posição 1; b) Posição 2; c) Posição 3; d) Posição 4; e) Posição 5; f) Posição 6.

Quadro 5.1 – Valores de tensão e deslocamentos máximos da Base M&G_PMM_F_B.

	Tensão [MPa]	Deslocamento [mm]
Apenas com o pórtico	17,40	0,0768
Retificação posição 1	29,65	0,0818
Retificação posição 2	33,68	0,1361
Retificação posição 3	30,65	0,1063
Retificação posição 4	28,29	0,0812
Retificação posição 5	31,32	0,1326
Retificação posição 6	31,22	0,1053

Ao comparar os dados do Quadro 5.1 com as Figura 5.8, Figura 5.9, Figura 5.10 e Figura 5.11, pode concluir-se que, apesar de ser o pórtico que causa a maioria das tensões e dos deslocamentos, os máximos dos valores de tensão e deslocamentos ocorrem para a operação de retificação. Tal era de esperar, pese embora não se verifique grande variação nas tensões em relação à posição onde ocorre a retificação, todavia os deslocamentos de maior valor ocorrem na zona central do eixo Y.

5.2 M&G_PMM_H

Para o estudo da base M&G_PMM_F_H foram feitas três simulações correspondentes às três posições diferentes das bases M&G_PMM_F_V e M&G_PMM_F_C em relação à base M&G_PMM_F_H (cf. Figura 5.12), de forma a simular a retificação na direção Y.

5.2.1 Distribuição de forças e restrições

As restrições de movimento nas direções dos eixos X e Z foram feitas nos dois suportes para os patins (elemento nº2 da Figura 3.6), local onde são montados os patins que fazem o movimento do eixo Y. A restrição de movimento na direção do eixo Y foi feita no suporte para a fêmea de esferas (elemento nº3 da Figura 3.7). Estas restrições estão representadas nos esquemas da Figura 5.12 com setas a azul.

Tal como nos estudos da base M&G_PMM_F_B também aqui foi considerado o próprio peso da estrutura (cerca de 200 kg) tendo-se recorrido ao Inventor® para simular a gravidade na simulação. A Figura 5.12 ilustra, com a seta a vermelho, a representação da gravidade.

Para simplificar a análise foram substituídas as bases M&G_PMM_F_V e M&G_PMM_F_C por uma força equivalente de 1275,3 N representada pela seta amarela na Figura 5.12. Para simular as bases M&G_PMM_F_V e M&G_PMM_F_C foi usada apenas uma força pois a única variação de posição relativa entre elas ocorre no eixo Z. Como a força de corte ocorre na posição da

fresa e a fresa encontra-se na M&G_PMM_F_C, a força de corte fica na mesma posição relativamente à força que representa as bases M&G_PMM_F_V e M&G_PMM_F_C. Pode ver-se, na Figura 5.12, estas duas forças (setas amarelas) delimitadas pelos retângulos nas três posições estudadas. As forças representadas pelas setas amarelas são todas forças cujo local de aplicação das forças é sobre a peça M&G_PMM_F_V_01.

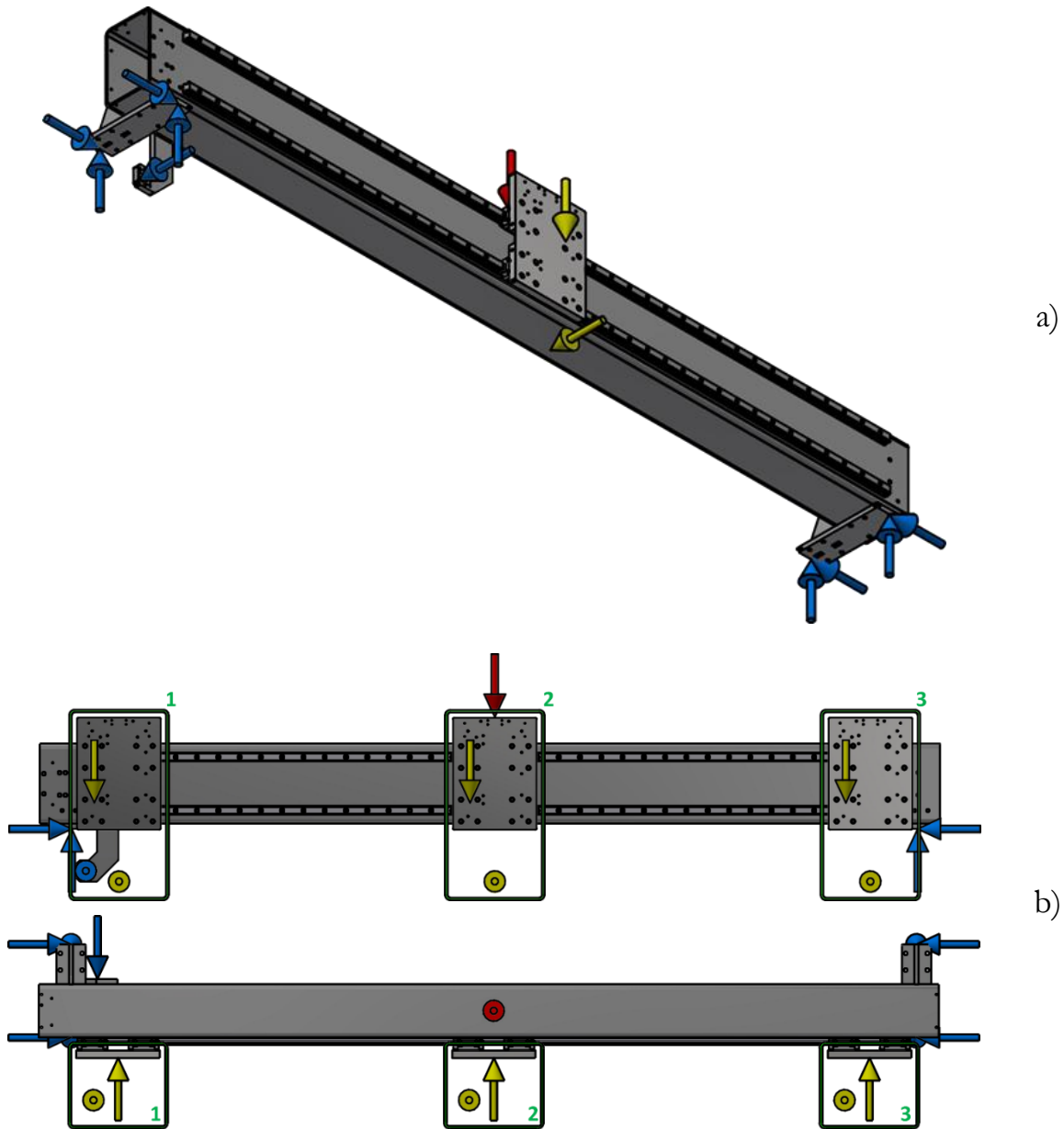


Figura 5.12 – Esquema das forças e restrição de movimento sobre a base M&G_PMM_F_H a simular quando ocorre a retificação em Y sobre a base M&G_PMM_F_H: a) Representação da posição 2, vista por de baixo; b) Representação frontal e de topo das posições 1, 2 e 3.

5.2.2 Refinamento de malha

Tal como executado para a base M&G_PMM_F_B, depois das condições do estudo definidas, prosseguiu-se para um estudo de sensibilidade de malha. Também aqui foi usado o valor de 0,1 para o valor mínimo do tamanho dos elementos (ver Figura 5.3), prosseguindo-se para a realização das simulações estáticas para vários valores de tamanho médio dos elementos.

A Figura 5.13 apresenta os valores de deslocamento versus o número de elementos para os 3 estudos que simulam a retificação em Y na base M&G_PMM_F_H.

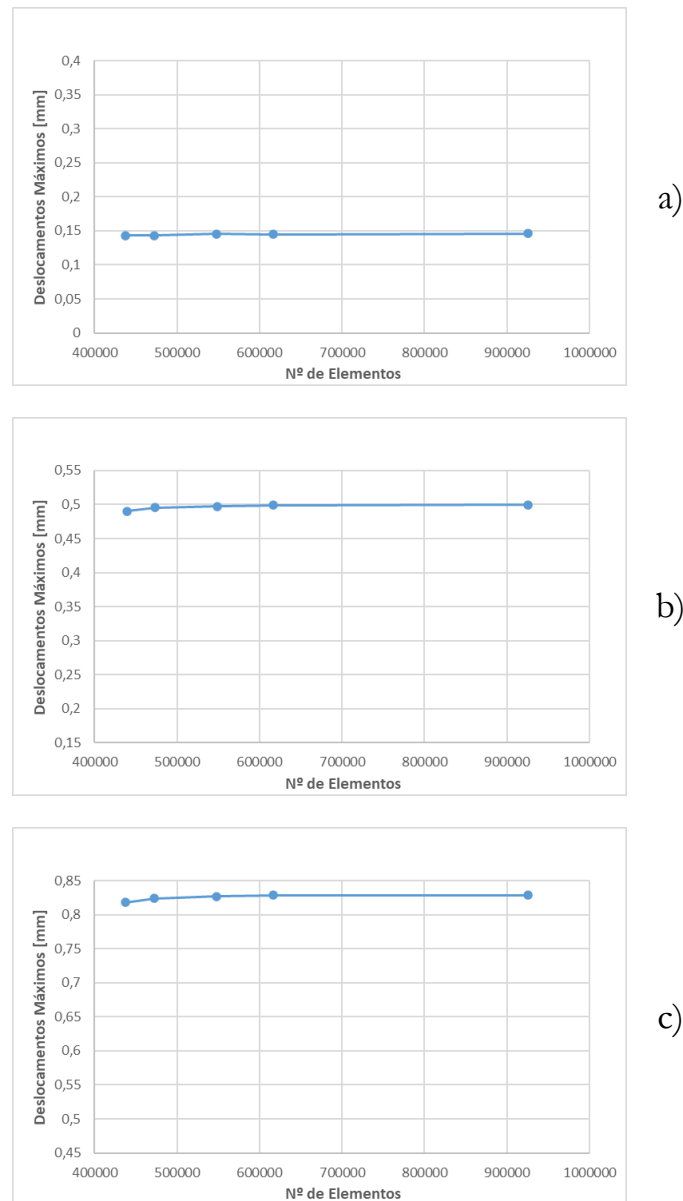


Figura 5.13 – Valor do deslocamento *v.* o número de elementos dos estudos a simular quando ocorre a retificação em Y sobre a base M&G_PMM_F_H: a) Gráfico da Posição 1; b) Gráfico da Posição 2; c) Gráfico da Posição 3;

Como mostra a Figura 5.13 a variação do deslocamento em relação ao número de elementos que integram a malha é muito pequena (quase inexistente). Tal deve-se ao método usado para gerar a malha no Inventor[®] tal como já explicado anteriormente.

5.2.3 Resultados

Selecionada a malha, foram realizadas as várias simulações correspondentes às várias posições da base e condições de retificação.

As Figuras 5.14 e 5.15 ilustram a distribuição de tensões de Von Mises obtidas para as várias posições da base M&G_PMM_F_H a estudar e como esta reage quando está a decorrer a operação de retificação do pórtico. A Figura 5.14 mostra a distribuição de tensões na zona frontal da base M&G_PMM_F_H e a Figura 5.15 na zona detrás da base M&G_PMM_F_H. Estas figuras permitem concluir que a principal concentração de tensão ocorre no suporte da fêmea de esferas (elemento nº3 da Figura 3.7) e, conforme a retificação se afasta do mesmo, a concentração de tensões começa a surgir sobre as zonas onde os reforços do suporte para os patins são soldados (elemento nº3 da Figura 3.6). Adicionalmente, verificam-se alguma concentração de tensão nos cantos das janelas na parte traseira. Todavia, como resumido no Quadro 5.2, a tensão máxima ronda os 100 MPa, que é um valor baixo quando comparado com a maioria dos valores de tensões de cedência para aços ao carbono comuns.

A Figura 5.16 representa a distribuição dos deslocamentos obtida para os vários estudos feitos nas várias posições da base M&G_PMM_F_H e como a base reage quando esta a decorrer a operação de retificação do pórtico. Esta Figura ilustra também a projeção de uma das guias na posição inicial. Esta figura permite concluir que, conforme se retifica mais longe do suporte da fêmea de esferas, o deslocamento aumenta, todavia as guias não sofrem grande deformação apesar dos deslocamentos elevados (ver Quadro 5.2). Para diminuir estes deslocamentos, poder-se-ia aumentar a distância entre os patins que se encontram na mesma guia, mas isto conduziria ao aumento do comprimento total da guia para manter a área de trabalho e, para tal, é preciso aumentar na base M&G_PMM_F_B as dimensões dos perfis onde são montadas as guias. Outra solução passaria por colocar outro fuso no lado oposto, todavia os dois fusos teriam de ter um movimento síncrono o que não é fácil se estes forem movidos com manivelas, mas se movidos com servo motores, apesar de mais dispendioso, seria possível.

A Figura 5.17 representa os deslocamentos obtidos com a base M&G_PMM_F_H na posição 1, que é a posição onde os deslocamentos se devem quase unicamente à deformação que ocorre no suporte da fêmea de esferas. Para diminuir estes deslocamentos poder-se-ia aumentar a espessura do suporte da fêmea de esferas ou tentar redesenhar o suporte.

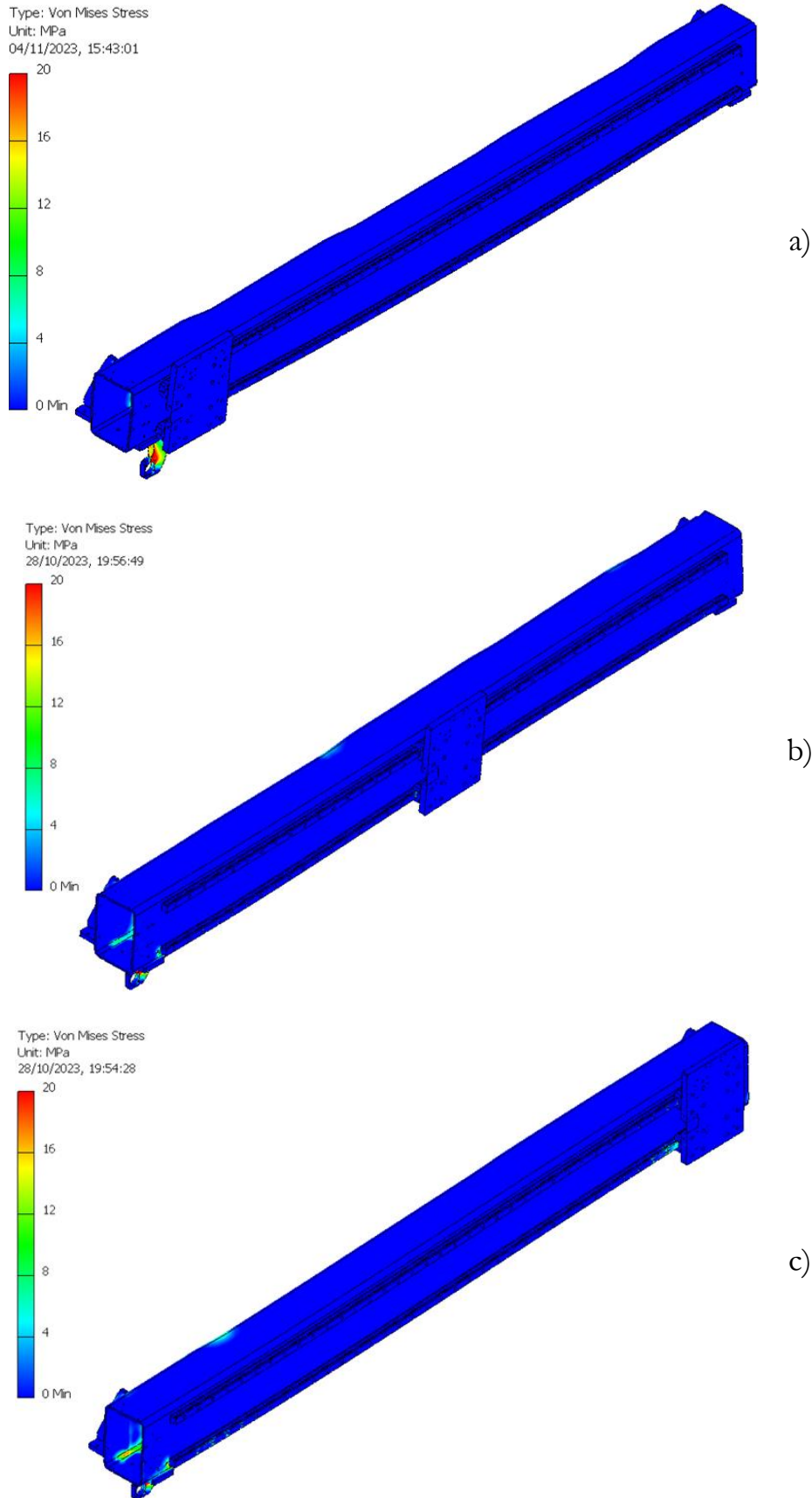


Figura 5.14 – Distribuição de tensões de Von Mises obtidas quando ocorre a retificação em Y sobre a base M&G_PMM_F_H, Vista de frente: a) Posição 1; b) Posição 2; c) Posição 3.

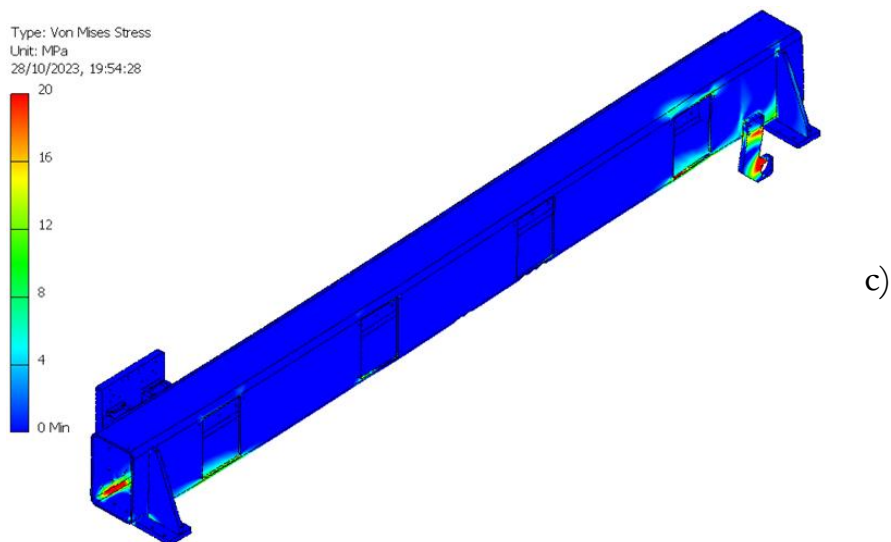
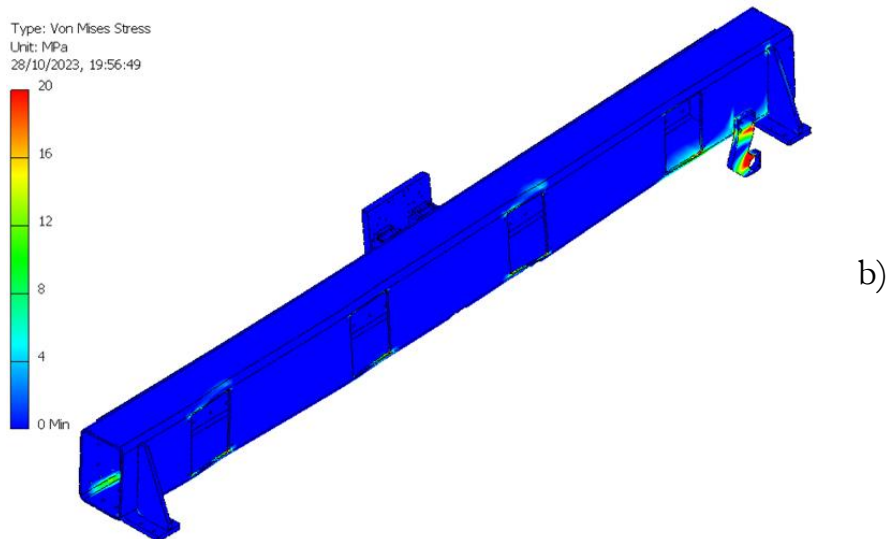
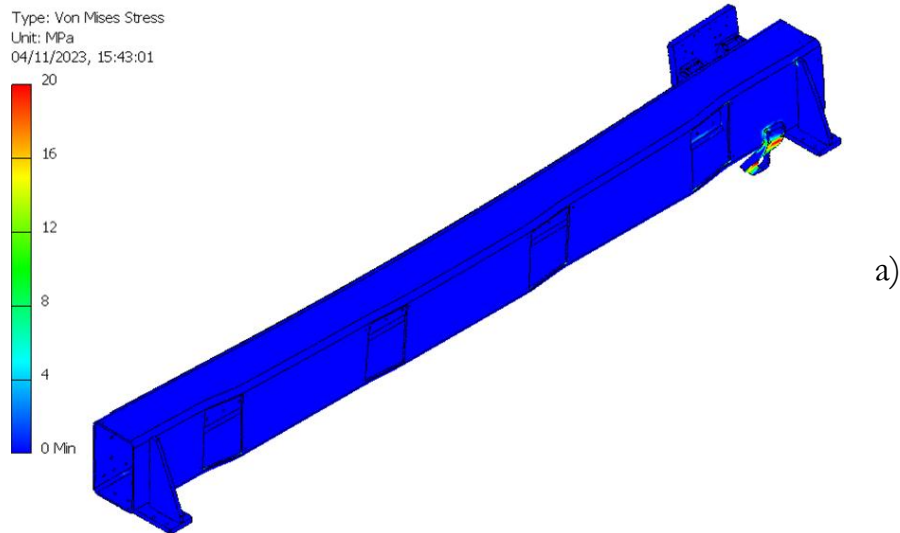


Figura 5.15 – Distribuição de tensões de Von Mises obtidas quando ocorre a retificação em Y sobre a base M&G_PMM_F_H, Vista por de trás: a) Posição 1; b) Posição 2; c) Posição 3.

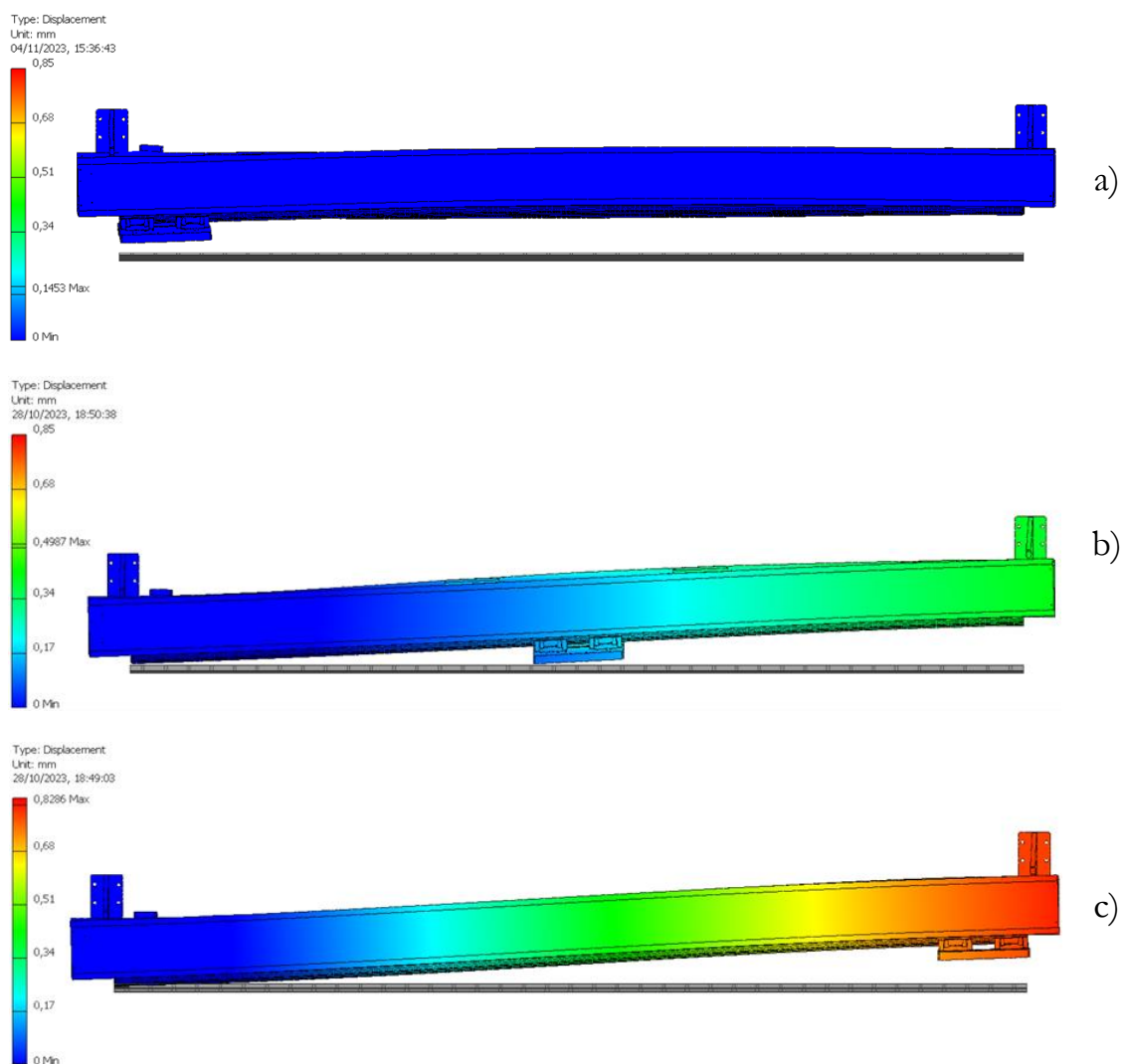


Figura 5.16 – Distribuição de tensões de Von Mises obtidas quando ocorre a retificação em Y sobre a base M&G_PMM_F_H, Vista de topo: a) Posição 1; b) Posição 2; c) Posição 3.

Quadro 5.2 – Valores de tensão e deslocamentos máximos da Base M&G_PMM_F_H.

	Tensão [MPa]	Deslocamento [mm]
Posição 1	70,93	0,1431
Posição 2	72,13	0,4955
Posição 3	108,5	0,8238

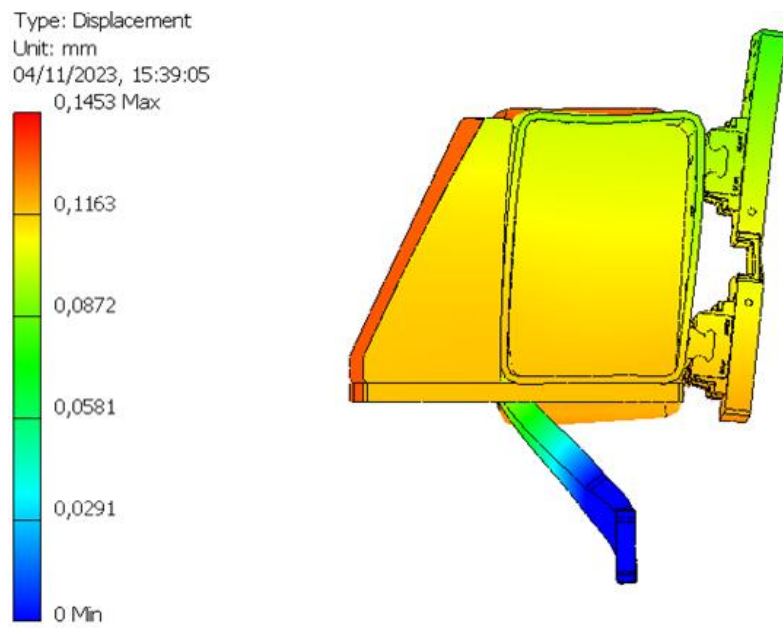


Figura 5.17 – Distribuição dos deslocamentos obtidos quando ocorre a retificação em Y sobre a base M&G_PMM_F_H, Vista de lateral da Posição 1.

6 CUSTOS

Este capítulo resume a estimativa de custo de produção da fresadora-retificadora. O Quadro 6.1 apenas apresenta a estimativa de custos para cada peça que constituiu esta máquina e dos processos de fabrico realizados por terceiros, i.e., não são quantificados neste quadro os montantes que devem ser alocados às tarefas realizadas na própria empresa.

Quadro 6.1 – Estimativa de custos das peças/estruturas feitos externamente.

	Código	Quantidade	Custo/Unidade	Custo
Corte	M&G_PMM_F_B_01	2	121,18 €	242,36 €
	a M&G_PMM_F_B_15	4	17,06 €	68,24 €
Laser	M&G_PMM_F_C_04	1	1,46 €	1,46 €
	M&G_PMM_F_H_04	2	3,08 €	6,16 €
	M&G_PMM_F_H_05	1	14,58 €	14,58 €
	M&G_PMM_F_H_06	2	2,84 €	5,68 €
	M&G_PMM_F_H_09	4	1,50 €	6,00 €
	M&G_PMM_F_V_03	2	0,88 €	1,76 €
	M&G_PMM_F_V_04	1	1,46 €	1,46 €
	M&G_PMM_F_V_05	1	0,62 €	0,62 €
	M&G_PMM_F_V_06	1	3,40 €	3,40 €
	M&G_PMM_F_V_07	1	3,17 €	3,17 €
		Total		
Mecanização	M&G_PMM_F_C_01	1	224,00 €	224,00 €
	M&G_PMM_F_C_02	1	125,00 €	125,00 €
	M&G_PMM_F_V_01	1	266,37 €	266,37 €
	Total			615,37 €
Soldadura	M&G_PMM_F_B	1	1926,00 €	1926,00 €
	M&G_PMM_F_H	1	616,50 €	616,50 €
	M&G_PMM_F_H	3	270,00 €	810,00 €
	Total			3352,50 €
	Total			4322,76 €

O Quadro 6.2 apresenta os custos relativos às guias, aos fusos e respetivos acessórios, bem como o preço do cabeçote para todas as bases.

Por fim, o Quadro 6.3 apresenta a estimativa dos custos para cada uma das bases da máquina, bem como o seu custo total. Nestes valores também não foram quantificadas as horas/homem que serão gastas para a montagem na empresa.

Concluindo, a produção desta fresadora-retificadora rondará um valor estimado de 9900,21€, sendo que os maiores parciais deste montante dizem respeito à aquisição do cabeçote Erlo e à execução das soldaduras.

Quadro 6.2 – Custo do cabeçote e das guias, fusos e acessórios.

Designação	Quantidade	Custo/Unidade	Custo
Guia 35 R L:2520; E1:20; E2:20	2	171,68 €	343,35 €
Guia 35 T L:3120; E1:40; E2:40	2	238,13 €	476,25 €
Guia 35 R L:420; E1:50; E2:50	2	28,62 €	57,23 €
Patim HGW35	12	48,64 €	583,72 €
Fuso R32_10 L:2588	1	199,67 €	199,67 €
Fuso R32_10 L:3358	1	259,08 €	259,08 €
Fuso R20_05 L:321	1	12,88 €	12,88 €
Fêmea de esferas R32_10	2	117,22 €	234,43 €
Fêmea de esferas R20_05	1	76,22 €	76,22 €
Chumaceira BK25	2	108,71 €	217,42 €
Chumaceira BF25	2	48,69 €	97,38 €
Chumaceira BK15	1	98,57 €	98,57 €
Cabeçote Erlo	1	2921,25 €	2921,25 €
Total			5577,45 €

Quadro 6.3 – Custo de cada Base.

	Custo
M&G_PMM_F_B	2937,02 €
M&G_PMM_F_H	2663,44 €
M&G_PMM_F_V	757,25 €
M&G_PMM_F_C	3542,50 €
Total	
	9900,21 €

7 CONCLUSÃO E TAREFAS FUTURAS

7.1 Conclusões

Com a introdução desta fresadora-retificadora na linha de montagem das máquinas M&G *Steel Machines*[®] será possível diminuir o tempo necessário para a montagem e alinhamento das guias e fusos, além de, adicionalmente, se aumentar a qualidade das peças produzidas.

O objetivo inicial era desenvolver uma fresadora-retificadora portátil, todavia e depois de uma análise à necessidade de robustez que devia dotar a estrutura, desistiu-se deste propósito.

Infelizmente, a fresadora-retificadora desenvolvida não suporta todos os tipos de pórticos usados pela empresa, dado que existem modelos das máquinas M&G com pórticos maiores que as dimensões do pórtico usado para projetar esta fresadora, sendo que atualmente, estes modelos são pouco vendidos.

Relativamente aos objetivos mencionados no início do relatório, efetivamente foi desenvolvida a capacidade de desenho e conceção de componentes, uma vez que foi necessário desenhar a estrutura da máquina no Inventor[®]. Adicionalmente, foi incrementada a capacidade de selecionar os componentes *standard*, a partir dos catálogos dos fornecedores, que mais se ajustavam aos requisitos de projeto e, quando tal não era possível, conceber novos componentes tendo em consideração o tipo de processos de fabrico e materiais disponibilizados pela Adunguem. Por fim, foram adquiridos conhecimentos sobre a conceção e montagem das linhas de produção M&G através da experiência partilhada pelos recursos humanos do departamento de projeto.

7.2 Tarefas Futuras

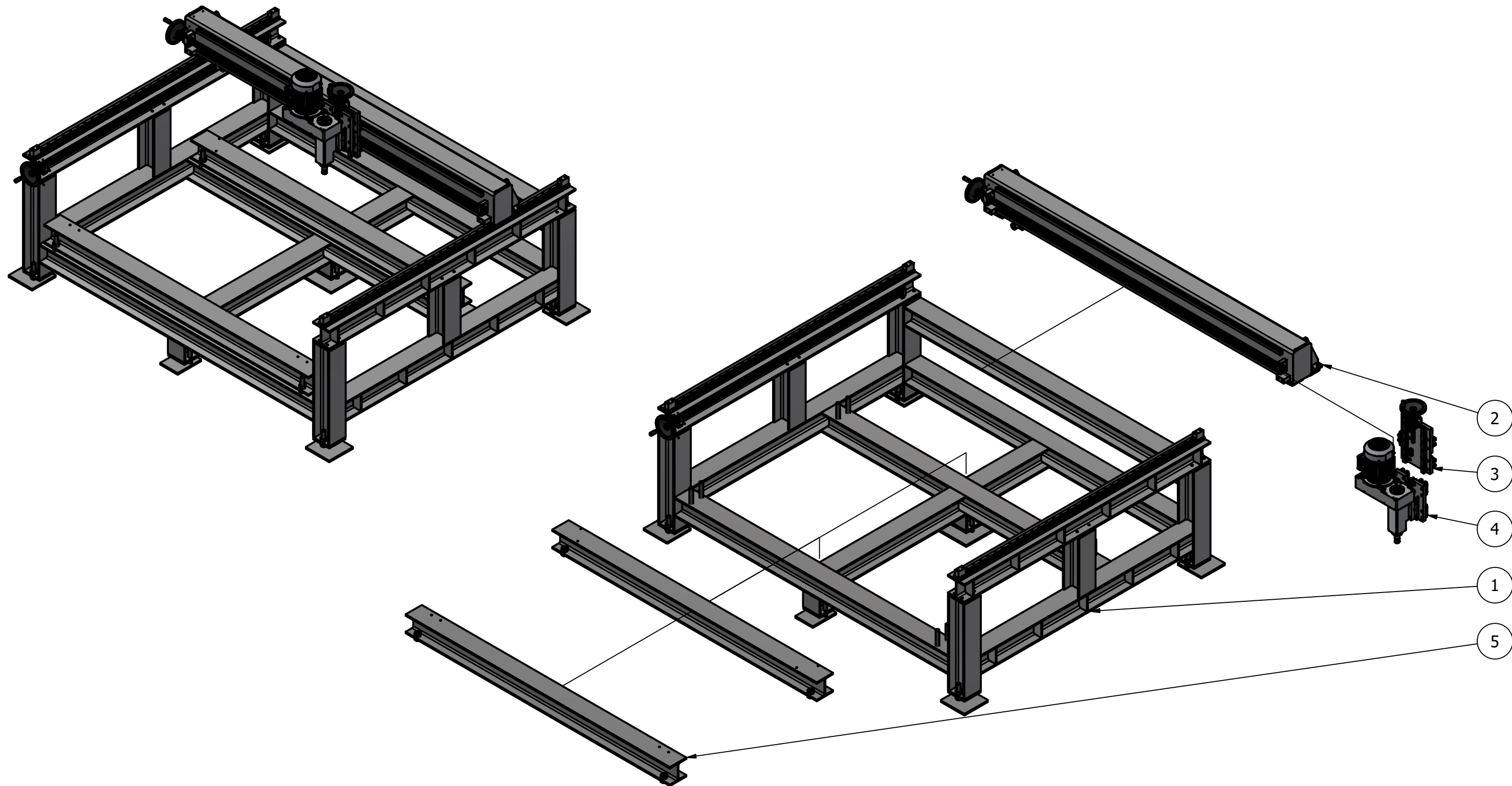
Devido à falta de disponibilidade atual da empresa, ainda não foi possível proceder à montagem da fresadora o que impossibilitou a descoberta da necessidade de ajustes do projeto. Adicionalmente, é necessário reduzir o nível de vibrações que eventualmente estarão associados à base M&G_PMM_F_H, onde existem alguns pontos críticos conforme revelado pelos valores de deslocamentos relativamente elevados que resultaram da simulação numérica. Outro assunto que carece de uma maior atenção é o suporte para a fêmea de esferas da base M&G_PMM_F_H pois, provavelmente após alguns ciclos de uso, terá de ser substituído.

Por fim, como mencionado, depois de testada a fresadora, proceder-se-á à substituição do sistema de acionamento dos fusos, que inicialmente será feito com manivelas, por servo motores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ERLO Group, [Online]. Available: <https://www.erlogroup.com/temas/bootstrap/uploads/.modulos/productos/pdf/erlo/mecanizados/CG-30!en.pdf>. [Acedido em fevereiro 2023].
- [2] Sandvik Coromant do Brasil S.A, “Fresamento,” [Online]. Available: <https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/machining-formulas-definitions/milling-formulas-definitions>. [Acedido em fevereiro 2023].
- [3] Tecnopower, “Tecnopower | Transmisión y Movimiento Lineal, - GUÍAS LINEALES DE BOLAS.” [Online]. Available: <https://www.tecnopower.es/sites/default/files/tecnopower-husillos-de-bolas-mecanizados-soportes-hiwin.zip>. [Acedido em fevereiro 2023].
- [4] Tecnopower, “Tecnopower | Transmisión y Movimiento Lineal - HUSILLO DE BOLAS LAMINADO,” [Online]. Available: <https://www.tecnopower.es/sites/default/files/tecnopower-husillos-de-bolas-mecanizados-soportes-hiwin.zip>. [Acedido em fevereiro 2023].

ANEXOS



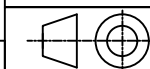
PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	M&G_PMM_F_B	
2	1	M&G_PMM_F_H	
3	1	M&G_PMM_F_V	
4	1	M&G_PMM_F_C	
5	1	M&G_PMM_F_M	

Obs:

Escala:
1 : 30

Descrição:
M&G_PMM_F

Autor : Paulo Nunes



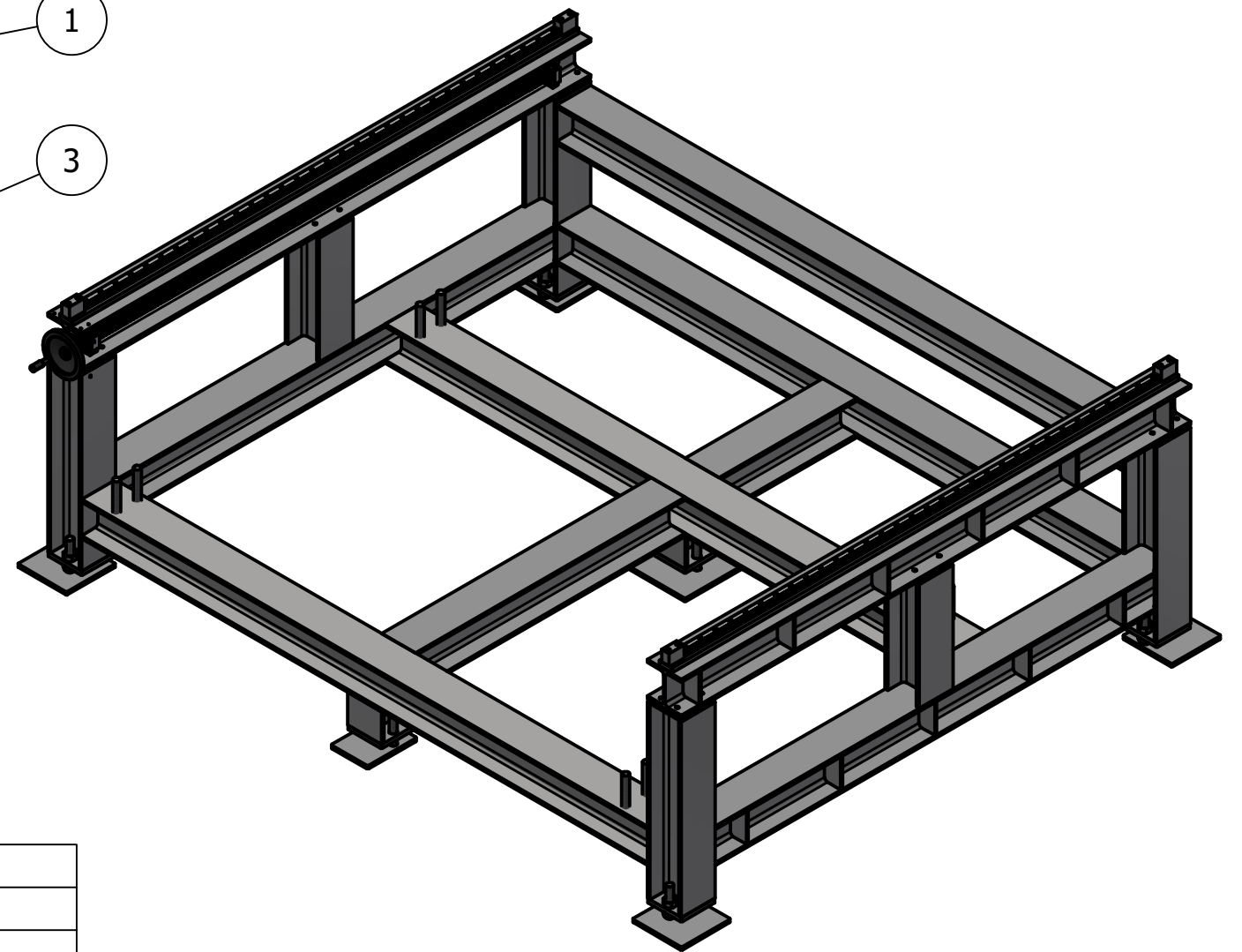
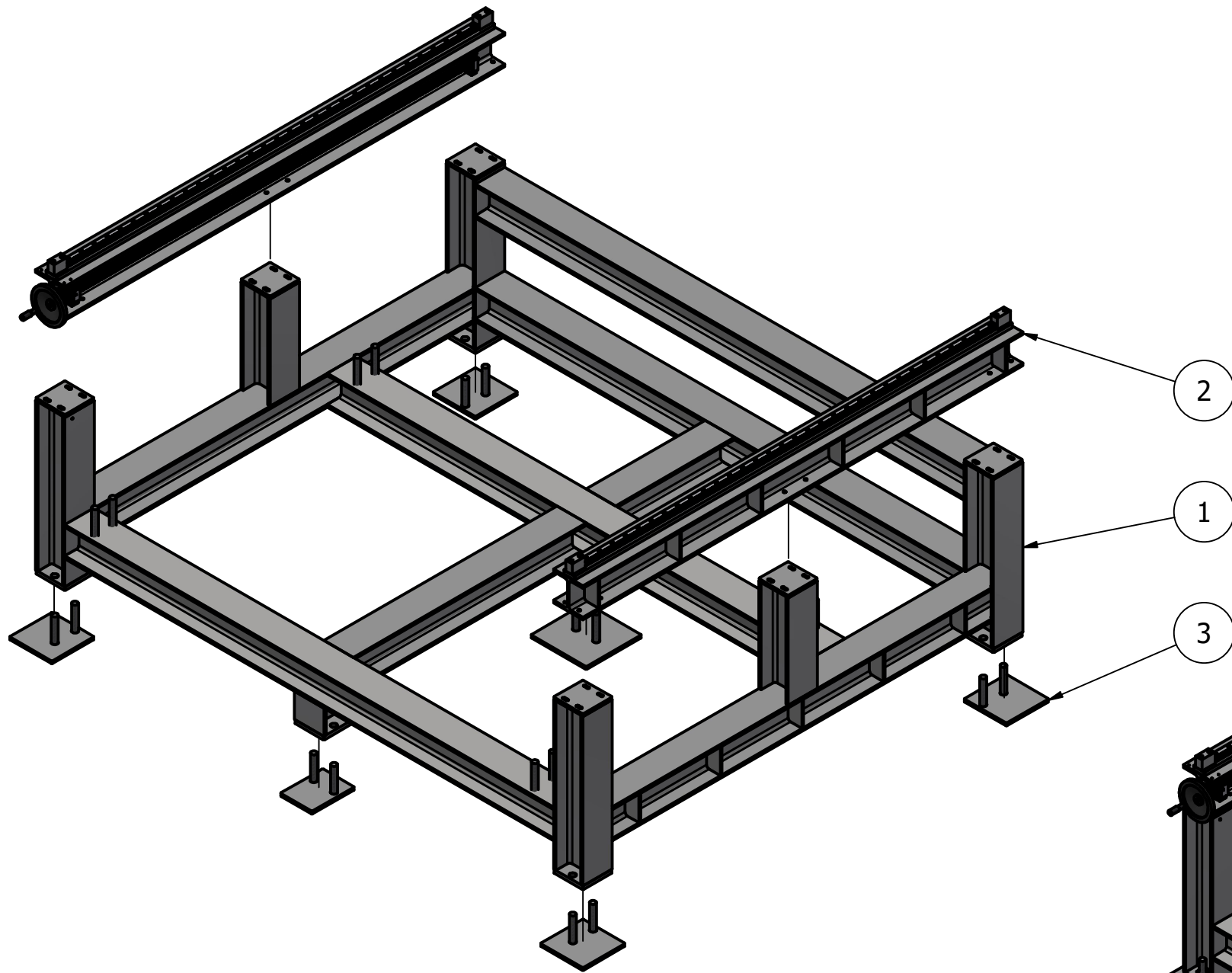
Tolerâncias Gerais DIN 7168	De 0,5 a 3	De 0,5 a 3	De 0,5 a 3	De 0,5 a 3	De 120 a 315	De 315 a 1000	De 1000 a 2000	De 2000 a 4000	De 4000 a 8000	De 8000 a 12000	De 12000 a 16000	De 16000 a 20000
>>>Fino<<<	± 0,05	± 0,05	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	-	-	± 5	± 6
Médio	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4	± 5	± 6
Largo	-	± 0,2	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4	± 5	± 6	± 7	± 8

210x297

Este desenho é propriedade exclusiva da Adunguem e não pode ser reproduzido, ou fornecido a terceiros sem autorização expressa

M&G
Steel Machines

Folha 1 de 1



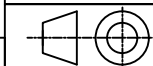
PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	M&G_PMM_F_B_ass_01	
2	1	M&G_PMM_F_B_ass_04	
2	1	M&G_PMM_F_B_ass_05	
3	2	M&G_PMM_F_B_ass_02	
3	2	M&G_PMM_F_B_ass_03	
3	1	M&G_PMM_F_B_ass_06	
3	1	M&G_PMM_F_B_ass_07	

Obs:

Escala:
1 : 25

Descrição:
M&G_PMM_F_B

Autor : Paulo Nunes

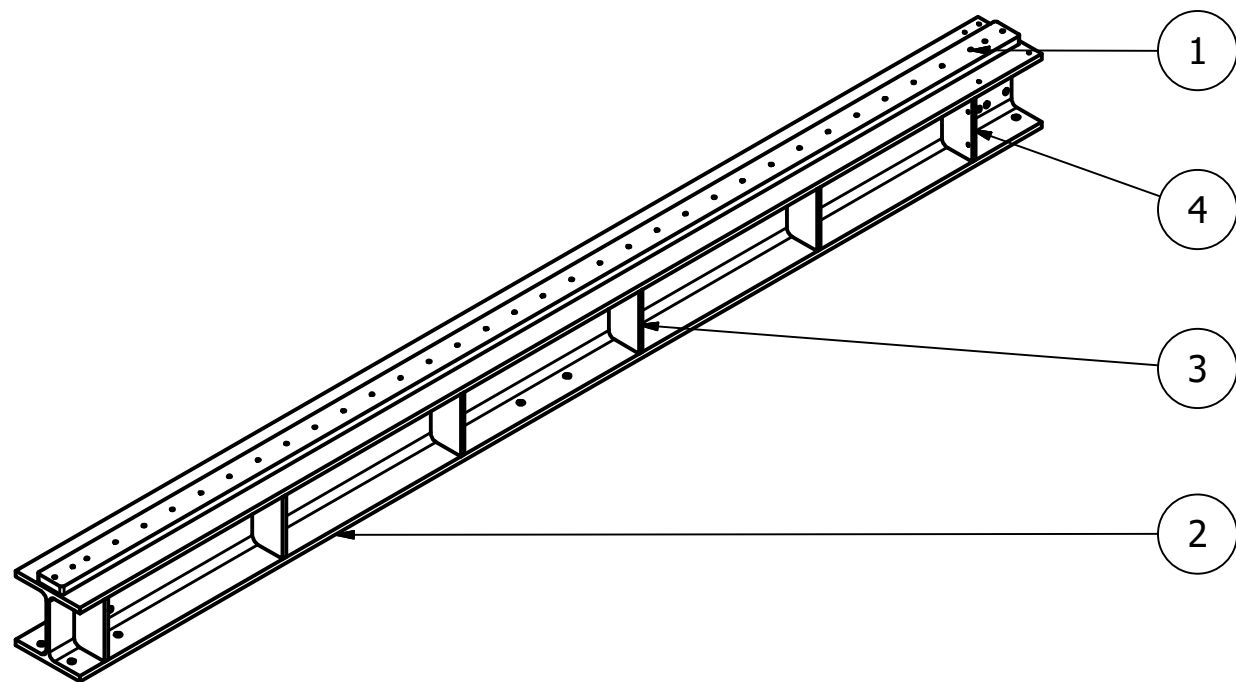
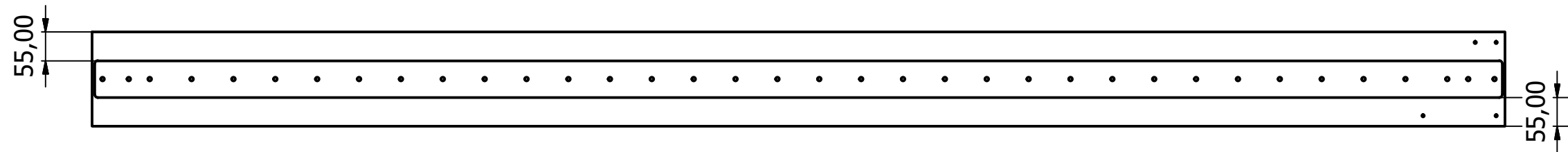
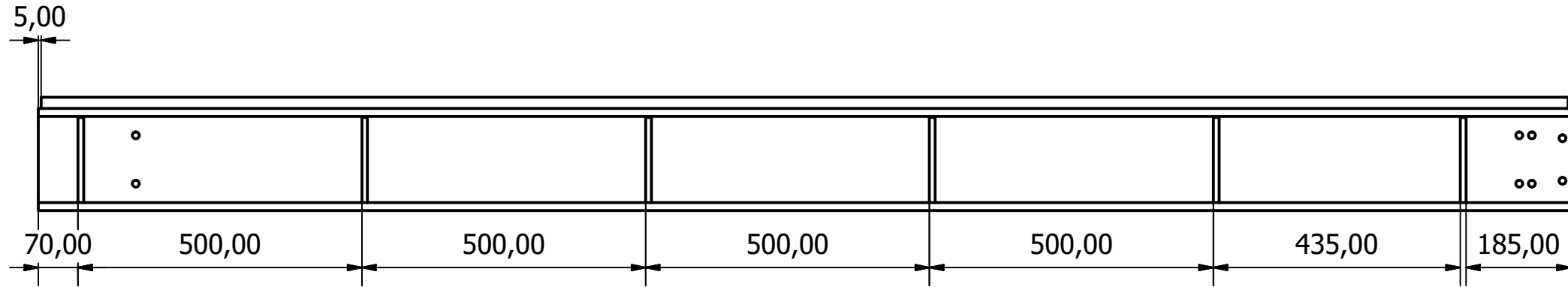
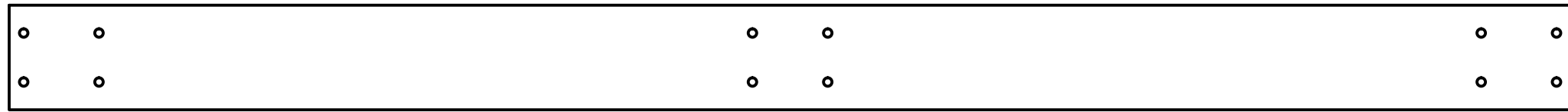


Tolerâncias Gerais DIN 7168	De 0,5 a 3	De 0,5 a 3	De 0,5 a 3	De 0,5 a 3	De 120 a 315	De 315 a 1000	De 1000 a 2000	De 2000 a 4000	De 4000 a 8000	De 8000 a 12000	De 12000 a 16000	De 16000 a 20000
>>>Fino<<<	± 0,05	± 0,05	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	-	-	-	-
Médio	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4	± 5	± 6
Largo	-	± 0,2	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4	± 6	± 8	± 10	± 12

210x297

Este desenho é propriedade exclusiva da Adunguem e não pode ser reproduzido, ou fornecido a terceiros sem autorização expressa

Folha 1 de 1



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	M&G_PMM_F_B_01	
2	2700,000 mm	M&G_PMM_F_B_02	DIN 1025 - IPB 180-2700
3	5	M&G_PMM_F_B_03	
4	1	M&G_PMM_F_B_21	

Obs:

Escala: 1 : 20

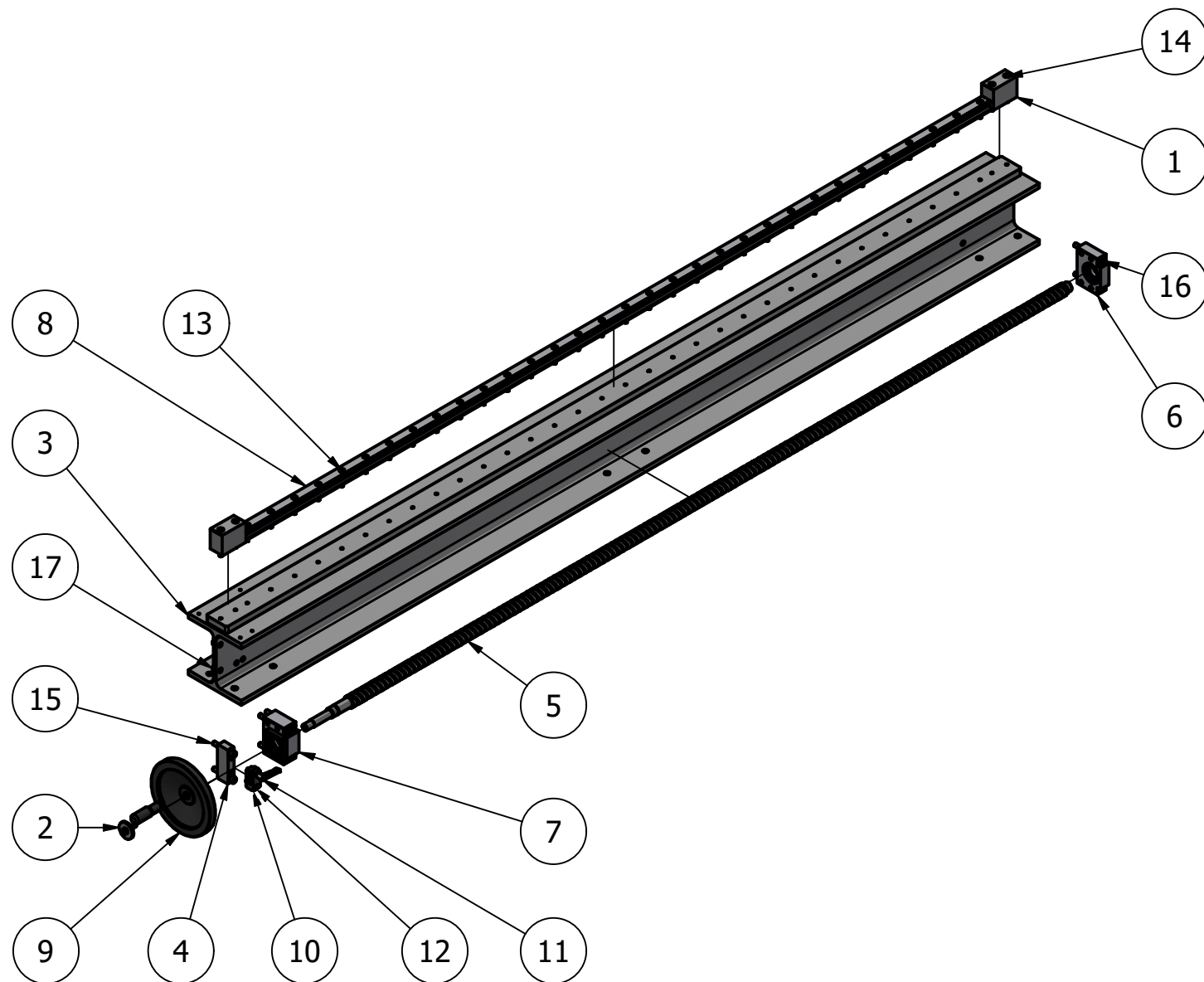
Descrição: M&G_PMM_F_B_ass_04

Autor : Paulo Nunes

Tolerâncias Gerais DIN 7168	De 0,5 a 3	De 0,5 a 3	De 0,5 a 3	De 0,5 a 3	De 120 a 315	De 315 a 1000	De 1000 a 2000	De 2000 a 4000	De 4000 a 8000	De 8000 a 12000	De 12000 a 16000	De 16000 a 20000
>>>Fino<<<	± 0,05	± 0,05	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	-	-	± 5	± 6
Médio	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4	± 5	± 6
Largo	-	± 0,2	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4	± 5	± 6	± 7	± 8

210x297 Este desenho é propriedade exclusiva da Adunguem e não pode ser reproduzido, ou fornecido a terceiros sem autorização expressa

Folha 1 de 1



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	4	M&G_PMM_F_B_05	
2	1	M&G_PMM_F_B_17	
3	1	M&G_PMM_F_B_ass_04	
4	1	M&G_PMM_F_H_04	
5	1	M&G_PMM_F_B_Fuso	
6	1	BF25	
7	1	BK25	
8	2	HGR35R_B	
9	1	Disc handwheel GN 323-200-K18-R	
10	1	Mounting Clamp GN 477-B20-ELS	
11	1	Clamping Kit GN 511-M6-32	
12	1	ISO 4762 - M6 x 30	
13	65	ISO 4762 - M8 x 35	
14	8	ISO 4762 - M8 x 65	
15	2	ISO 4762 - M10 x 60	
16	6	ISO 4762 - M10 x 80	
17	8	ISO 4032 - M10	

Obs:

Escala: 1 : 15

Descrição: M&G_PMM_F_H_ass_01

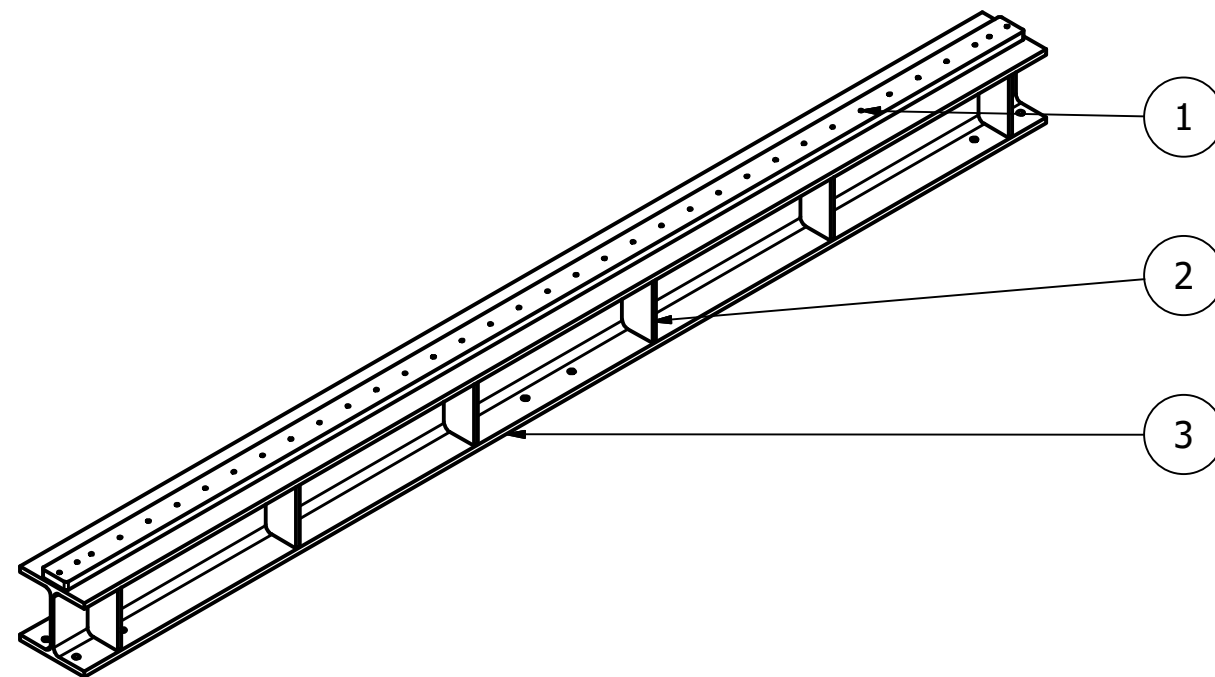
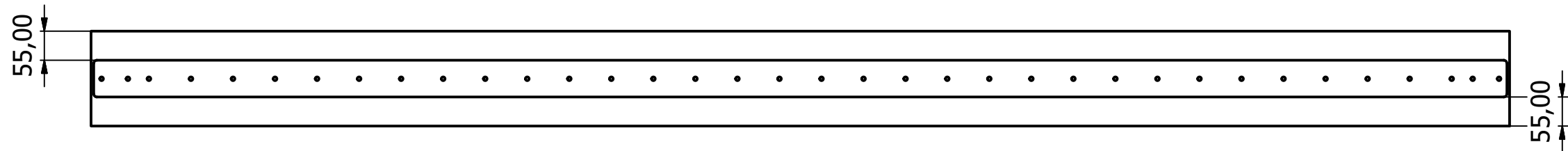
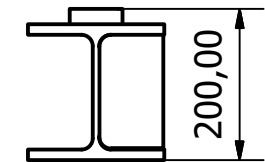
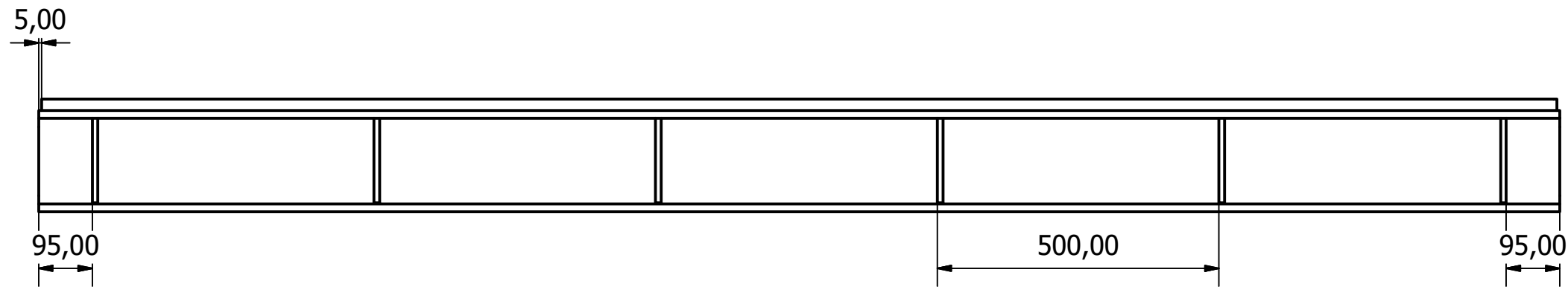
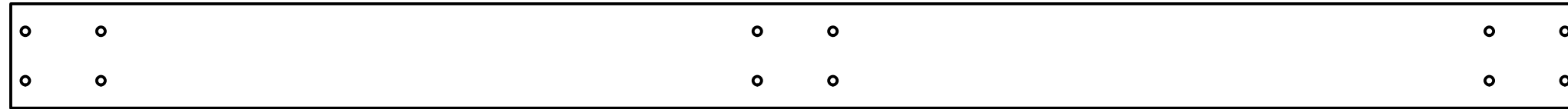
Autor : Paulo Nunes

M&G
Steel Machines

Tolerâncias Gerais DIN 7168	De 0,5 a 3	De 0,5 a 3	De 0,5 a 3	De 0,5 a 3	De 120 a 315	De 315 a 1000	De 1000 a 2000	De 2000 a 4000	De 4000 a 8000	De 8000 a 12000	De 12000 a 16000	De 16000 a 20000
>>>Fino<<<	± 0,05	± 0,05	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	-	-	± 5	± 6
Médio	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4	± 6	± 8
Largo	-	± 0,2	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4	± 6	± 8	± 10	± 15

210x297 Este desenho é propriedade exclusiva da Adunguem e não pode ser reproduzido, ou fornecido a terceiros sem autorização expressa

Folha 1 de 1




PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	M&G_PMM_F_B_01	
2	6	M&G_PMM_F_B_03	
3	2700,000 mm	M&G_PMM_F_B_04	DIN 1025 - IPB 180-2700

Obs:

Escala: 1 : 10

Descrição: M&G_PMM_F_B_ass_05

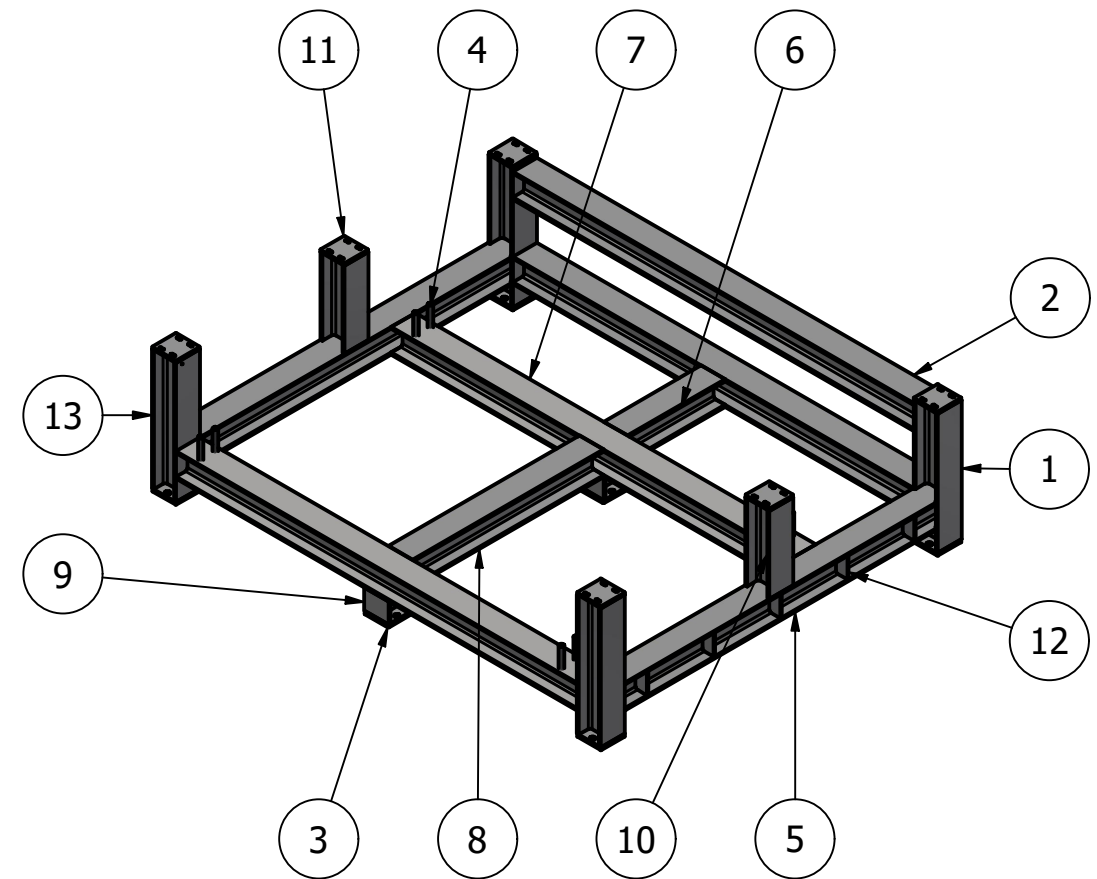
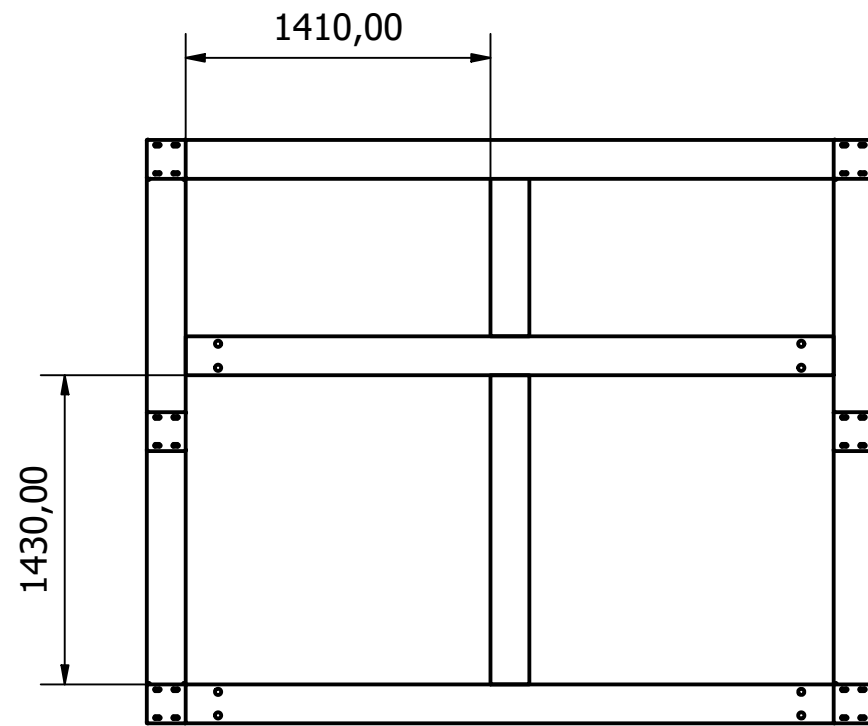
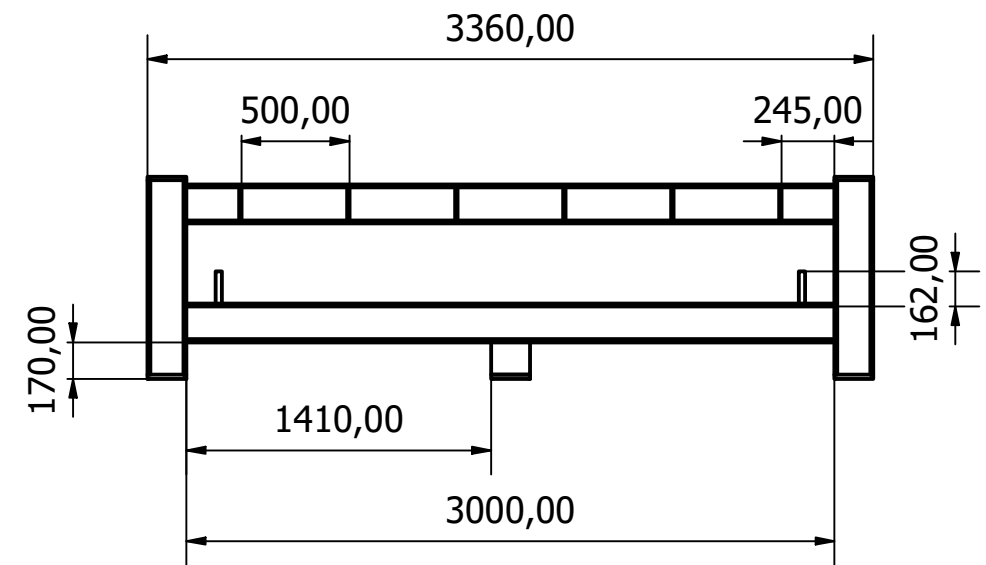
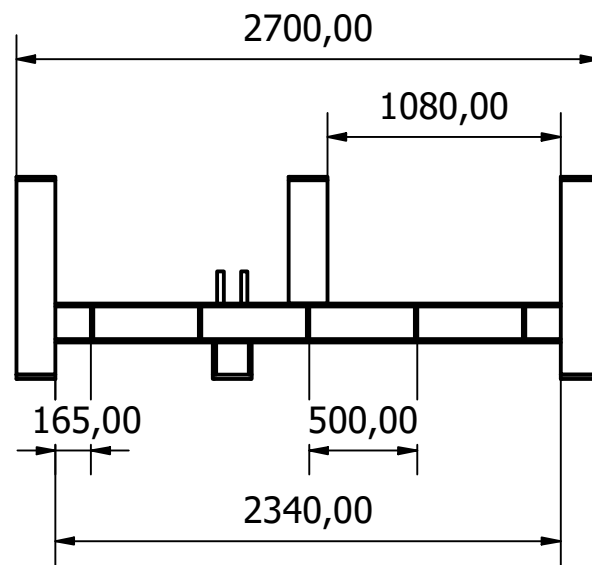
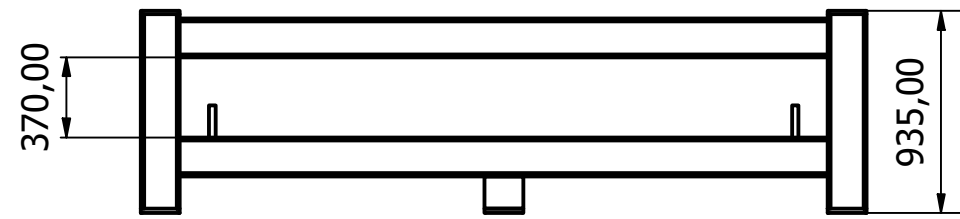
Autor : Paulo Nunes



Tolerâncias Gerais DIN 7168	De 0,5 a 3	De 0,5 a 3	De 0,5 a 3	De 0,5 a 3	De 120 a 315	De 315 a 1000	De 1000 a 2000	De 2000 a 4000	De 4000 a 8000	De 8000 a 12000	De 12000 a 16000	De 16000 a 20000
>>>Fino<<<	± 0,05	± 0,05	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	-	-	± 5	± 6
Médio	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4	± 5	± 6
Largo	-	± 0,2	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4	± 5	± 6	± 7	± 8

210x297 Este desenho é propriedade exclusiva da Adunguem e não pode ser reproduzido, ou fornecido a terceiros sem autorização expressa

Folha 1 de 1



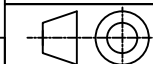
PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	2700,000 mm	M&G_PMM_F_B_06	DIN 1025 - IPB 180-900
2	6000,000 mm	M&G_PMM_F_B_07	DIN 1025 - IPB 180-3000
3	6	M&G_PMM_F_B_08	
4	8	M&G_PMM_F_B_09	
5	5020,000 mm	M&G_PMM_F_B_10	DIN 1025 - IPB 180-2510
6	730,000 mm	M&G_PMM_F_B_11	DIN 1025 - IPB 180-730
7	6000,000 mm	M&G_PMM_F_B_12	DIN 1025 - IPB 180-3000
8	1430,000 mm	M&G_PMM_F_B_13	DIN 1025 - IPB 180-1430
9	300,000 mm	M&G_PMM_F_B_14	DIN 1025 - IPB 180-150
10	1140,000 mm	M&G_PMM_F_B_16	DIN 1025 - IPB 180-570
11	6	M&G_PMM_F_B_18	
12	16	M&G_PMM_F_B_03	
13	900,000 mm	M&G_PMM_F_B_22	DIN 1025 - IPB 180-900

Obs:

Escala:
1 : 35

Descrição:
M&G_PMM_F_B_ass_01

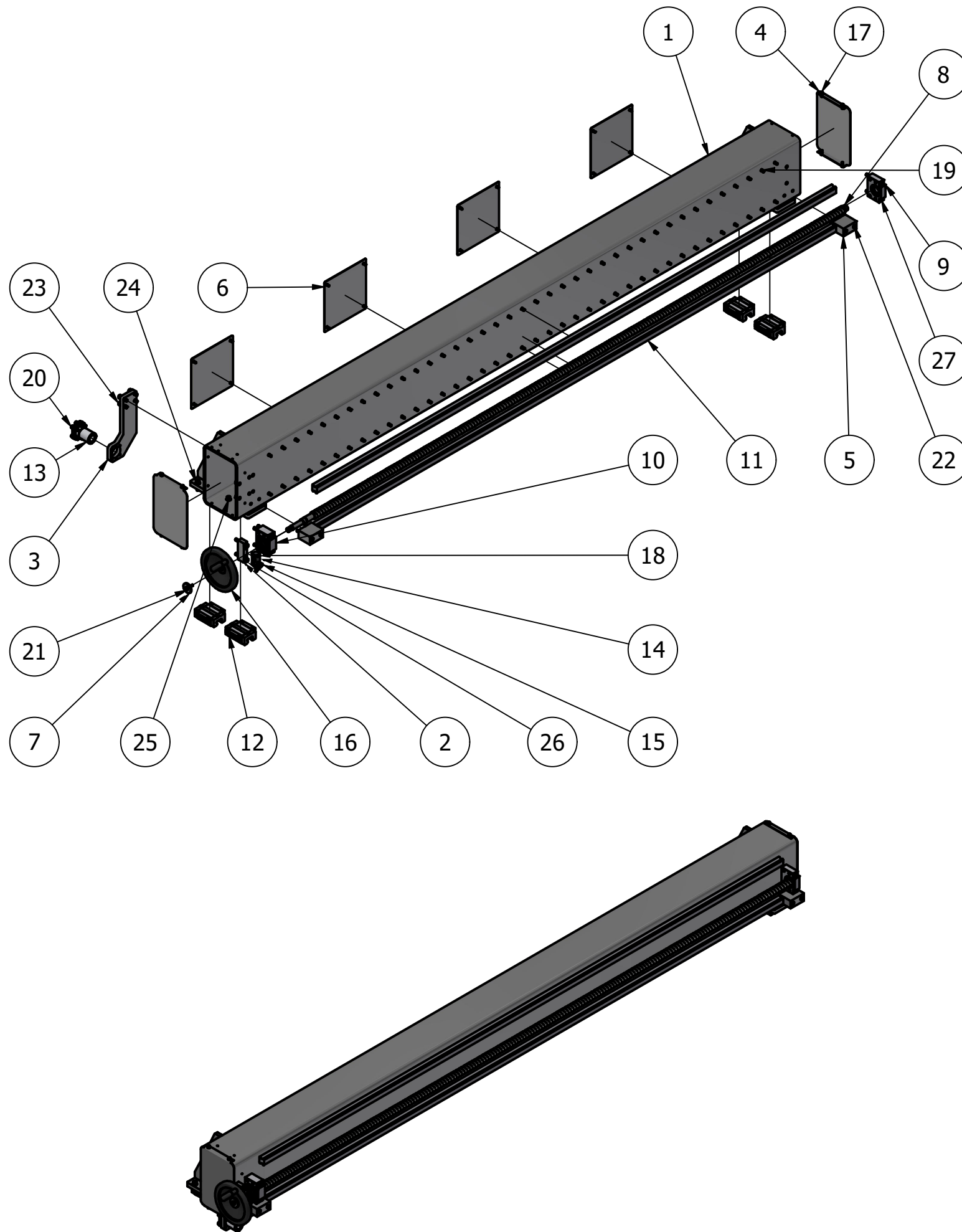
Autor : Paulo Nunes



Tolerâncias Gerais DIN 7168	De 0,5 a 3	De 0,5 a 3	De 0,5 a 3	De 0,5 a 3	De 120 a 315	De 315 a 1000	De 1000 a 2000	De 2000 a 4000	De 4000 a 8000	De 8000 a 12000	De 12000 a 16000	De 16000 a 20000
>>>Fino<<<	± 0,05	± 0,05	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	-	-	± 5	± 6
Médio	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4	± 6	± 8
Largo	-	± 0,2	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4	± 6	± 8	± 10	± 12

210x297 Este desenho é propriedade exclusiva da Adunguem e não pode ser reproduzido, ou fornecido a terceiros sem autorização expressa





PARTS LIST

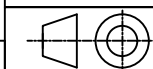
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	M&G_PMM_F_H_ass_01	
2	1	M&G_PMM_F_H_04	
3	1	M&G_PMM_F_H_05	
4	2	M&G_PMM_F_H_06	
5	2	M&G_PMM_F_H_07	
6	4	M&G_PMM_F_H_09	
7	1	M&G_PMM_F_B_17	
8	1	M&G_PMM_F_H_Fuso	
9	1	BF25	
10	1	BK25	
11	2	HGR35T_H	
12	4	HGW35CC	
13	1	R32-32K2-FSCDIN 138 138 0.052	
14	1	Mounting Clamp GN 477-B20-ELS	
15	1	Clamping Kit GN 511-M6-32	
16	1	Disc handwheel GN 323-200-K18-R	
17	24	ISO 4762 - M6 x 16	
18	1	ISO 4762 - M6 x 30	
19	78	ISO 4762 - M8 x 25	
20	6	ISO 4762 - M8 x 30	
21	1	ISO 4762 - M8 x 35	
22	4	ISO 4762 - M8 x 80	
23	4	ISO 4762 - M10 x 35	
24	8	ISO 4762 - M10 x 40	
25	8	ISO 4762 - M10 x 50	
26	2	ISO 4762 - M10 x 60	
27	6	ISO 4762 - M10 x 80	

Obs:

Escala:
1 : 15

Descrição:
M&G_PMM_F_H_ass_01

Autor : Paulo Nunes

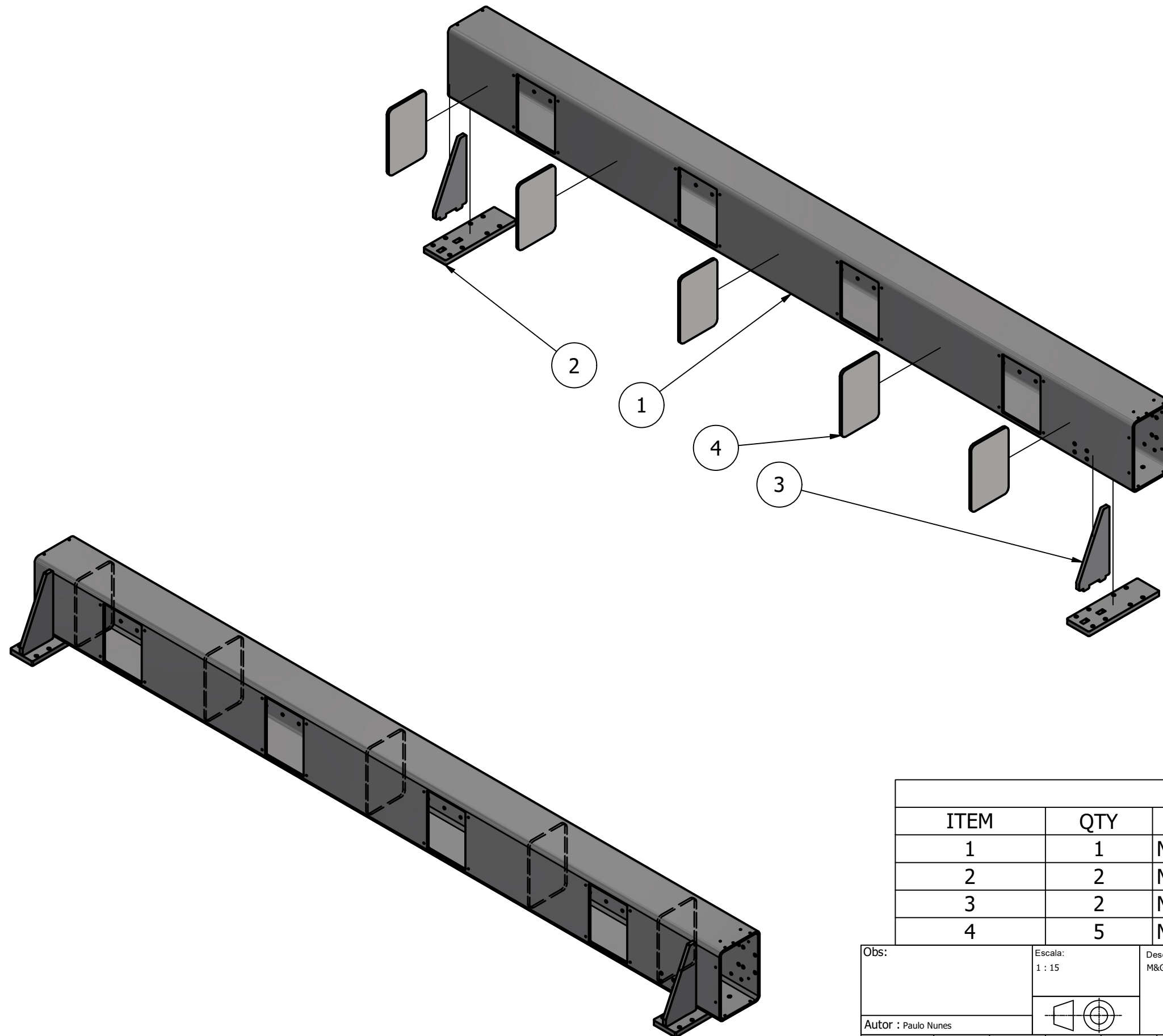


Tolerâncias Gerais DIN 7168	De 0,5 a 3	De 0,5 a 3	De 0,5 a 3	De 0,5 a 3	De 120 a 315	De 315 a 1000	De 1000 a 2000	De 2000 a 4000	De 4000 a 8000	De 8000 a 12000	De 12000 a 16000	De 16000 a 20000
>>>Fino<<<	± 0,05	± 0,05	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	-	-	± 5	± 8
Médio	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4	± 5	± 8
Largo	-	± 0,2	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4	± 5	± 6	± 7	± 8


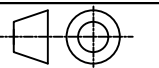
210x297

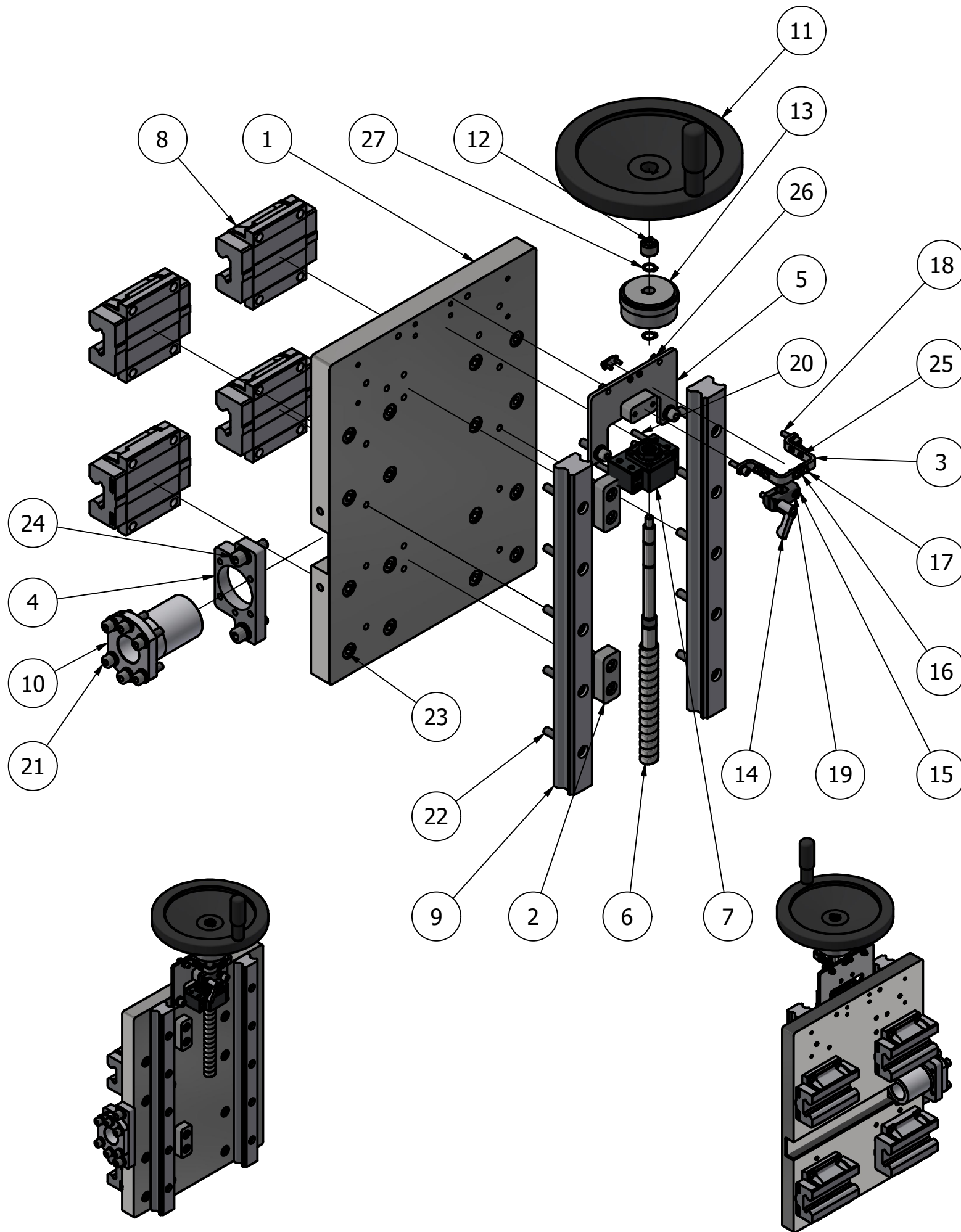
Este desenho é propriedade exclusiva da Adunguem e não pode ser reproduzido, ou fornecido a terceiros sem autorização expressa

Folha 1 de 1



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	M&G_PMM_F_H_01	
2	2	M&G_PMM_F_H_02	
3	2	M&G_PMM_F_H_03	
4	5	M&G_PMM_F_H_08	

Obs:	Escala: 1 : 15	Descrição: M&G_PMM_F_H_ass_01										
Autor : Paulo Nunes												
Tolerâncias Gerais DIN 7168	De 0,5 a 3	De 0,5 a 3	De 0,5 a 3	De 0,5 a 3	De 120 a 315	De 315 a 1000	De 1000 a 2000	De 2000 a 4000	De 4000 a 8000	De 8000 a 12000	De 12000 a 16000	De 16000 a 20000
>>>Fino<<<	± 0,05	± 0,05	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	-	-	± 5	± 6
Médio	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4	± 5	± 6
Largo	-	± 0,2	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4	± 5	± 6	± 7	± 8
210x297	Este desenho é propriedade exclusiva da Adunguem e não pode ser reproduzido, ou fornecido a terceiros sem autorização expressa										Folha 1 de 1	



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	M&G_PMM_F_V_01	
2	2	M&G_PMM_F_V_03	
3	1	M&G_PMM_F_V_06	
4	1	M&G_PMM_F_V_07	
5	1	M&G_PMM_F_V_ass_01	
6	1	M&G_PMM_F_V_Fuso	
7	1	BK15	
8	4	HGW35CC	
9	2	HGR35R_V	
10	1	R32-32K2-FSCDIN 138 138 0.052	
11	1	Disc handwheel GN 323-200-K18-R	
12	1	CONEX-K-8x18	
13	1	Scale	
14	1	Clamping Kit GN 511-M5-25	
15	1	Mounting Clamp GN 477-B12-ELS	
16	4	Indicator arrow GN 711.3-AL-1	
17	8	ISO 4762 - M3 x 10	
18	2	ISO 4762 - M5 x 20	
19	1	ISO 4762 - M5 x 30	
20	4	ISO 4762 - M6 x 55	
21	12	ISO 4762 - M8 x 30	
22	10	ISO 4762 - M8 x 45	
23	16	ISO 4762 - M10 x 30	
24	2	ISO 4762 - M10 x 35	
25	8	ISO 4032 - M3	
26	2	ISO 4032 - M5	
27	2	DIN 471 - 11x1	

Obs:

Escala: 1 : 7

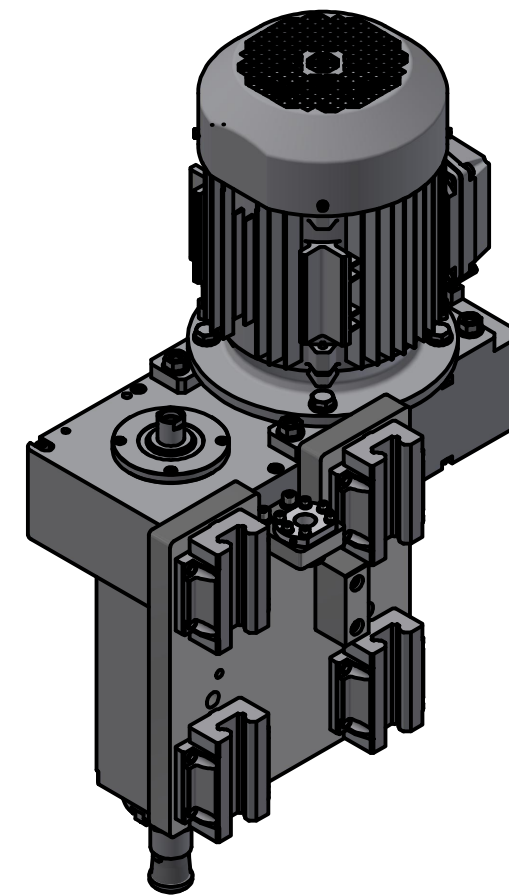
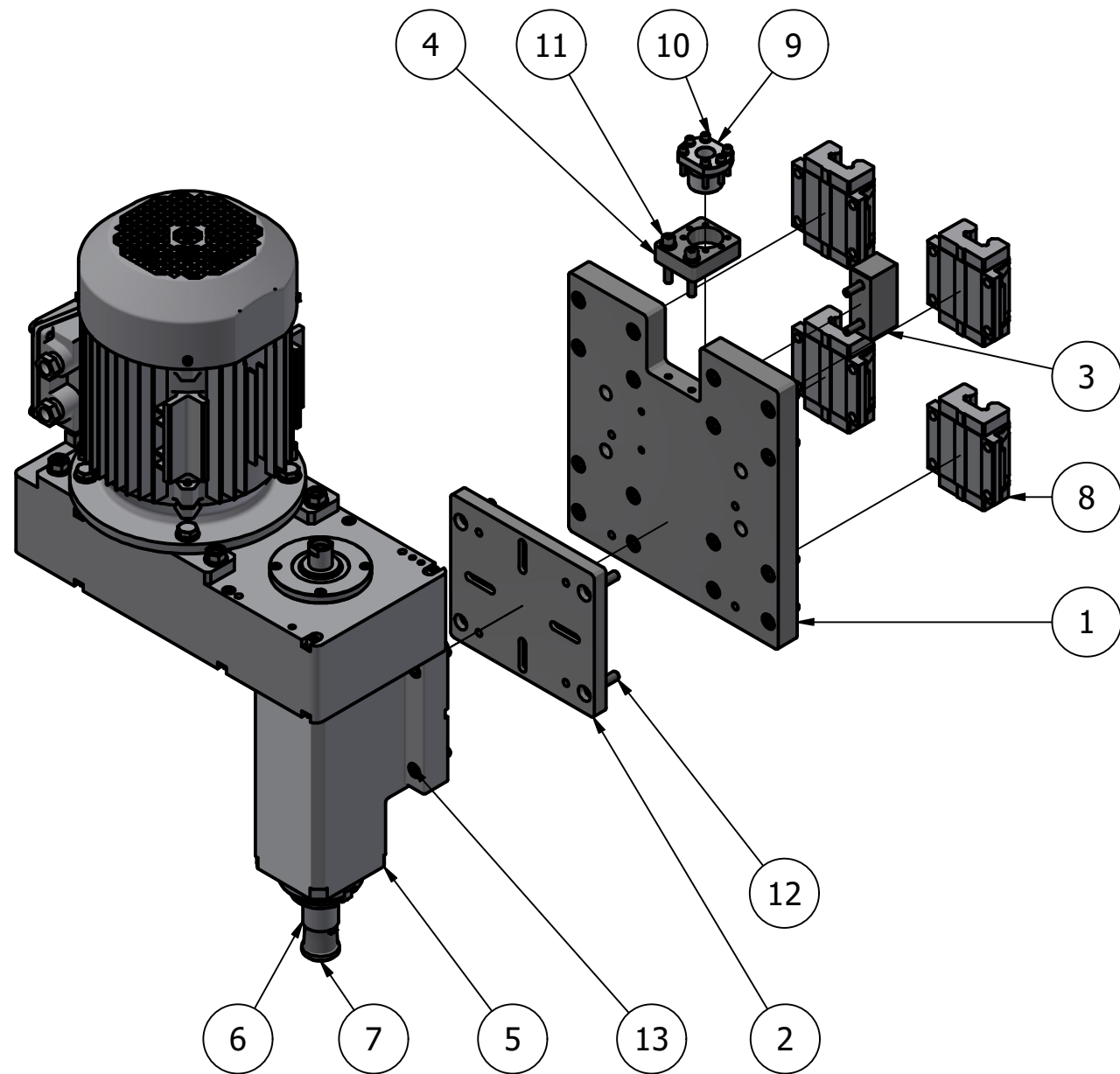
Descrição: M&G_PMM_F_C

Autor : Paulo Nunes

Tolerâncias Gerais DIN 7168	De 0,5 a 3	De 0,5 a 3	De 0,5 a 3	De 0,5 a 3	De 120 a 315	De 315 a 1000	De 1000 a 2000	De 2000 a 4000	De 4000 a 8000	De 8000 a 12000	De 12000 a 16000	De 16000 a 20000
>>>Fino<<<	± 0,05	± 0,05	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	-	-	± 5	± 6
Médio	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4	± 5	± 6
Largo	-	± 0,2	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4	± 5	± 6	± 7	± 8

210x297 Este desenho é propriedade exclusiva da Adunguem e não pode ser reproduzido, ou fornecido a terceiros sem autorização expressa

Folha 1 de 1



PARTS LIST

ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	M&G_PMM_F_C_01	
2	1	M&G_PMM_F_C_02	
3	1	M&G_PMM_F_C_03	
4	1	M&G_PMM_F_C_04	
5	1	CG30A_m	
6	1	001 33 35 02 41	
7	1	40A03R-S45OD05-C_7342880	
8	4	HGW35CC	
9	1	R20-05K4-FSCDIN-2100-2100-0,052	
10	6	ISO 4762 - M5 x 30	
11	4	ISO 4762 - M8 x 50	
12	20	ISO 4762 - M10 x 30	
13	4	ISO 4762 - M10 x 40	

Obs:

Escala: 1 : 7

Descrição: M&G_PMM_F_C

Autor : Paulo Nunes

Tolerâncias Gerais DIN 7168

	De 0,5 a 3	De 0,5 a 3	De 0,5 a 3	De 0,5 a 3	De 120 a 315	De 315 a 1000	De 1000 a 2000	De 2000 a 4000	De 4000 a 8000	De 8000 a 12000	De 12000 a 16000	De 16000 a 20000
>>>Fino<<<	± 0,05	± 0,05	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	-	-	± 5	± 6
Médio	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4	± 5	± 6
Largo	-	± 0,2	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4	± 5	± 6	± 7	± 8

210x297 Este desenho é propriedade exclusiva da Adunguem e não pode ser reproduzido, ou fornecido a terceiros sem autorização expressa

Folha 1 de 1



**Instituto Superior
de Engenharia**

Politécnico de Coimbra