



PROJETO MECANICO DE UM TRIBÓMETRO BLOCO - DISCO

JOSÉ PEDRO GONÇALVES DOS SANTOS

novembro de 2019

PROJETO MECÂNICO DE UM TRIBÓMETRO BLOCO - DISCO

José Pedro Gonçalves dos Santos

2019

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



PROJETO MECÂNICO DE UM TRIBÓMETRO BLOCO-DISCO

José Pedro Gonçalves dos Santos
1090760

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Eng. Arnaldo Pinto

2019

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



JÚRI

Presidente

Doutor Francisco José Gomes da Silva

Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Doutor Arnaldo Manuel Guedes Pinto

Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Co-orientador

Engenheiro Rui Manuel Fazenda Silva

Assistente Convidado, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Arguente

Doutor Carlos Miguel da Costa Gomes Fernandes

Investigador, INEGI – Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial

AGRADECIMENTOS

Antes de mais queria agradecer à minha esposa, Soraia, pela paciência demonstrada, pelo seu olhar do exterior (fora da área) contribuindo com uma visão diferente a este trabalho e pela revisão ortográfica do mesmo.

Ao Engenheiro Francisco Silva pela oportunidade que me deu de executar este trabalho. Ao orientador Arnaldo Pinto e ao coorientador Rui Fazenda pela ajuda prestada quer no desenvolvimento do projeto do tribómetro, quer na elaboração deste relatório.

O meu obrigado a todos os enumerados acima e a todos os outros que contribuíram para a concretização desta tese de Mestrado.

PALAVRAS CHAVE

Tribologia, tribómetro, bloco-disco, atrito, desgaste, projeto

RESUMO

O presente trabalho consiste no projeto de um tribómetro bloco-disco, robusto, de grande fiabilidade e que permite a realização de ensaios tribológicos para diversos pares de materiais, sob ação de diferentes cargas normais e velocidades de deslizamento.

Numa primeira fase foi realizado um breve estudo sobre alguns conceitos tribológicos e parâmetros que influenciam o atrito e o desgaste entre materiais em contacto e com movimento relativo. De seguida, foram analisados diversos tribómetros existentes no mercado com a finalidade de perceber os sistemas que utilizam para: aplicação da carga, criação do movimento entre os provetes, fixação dos provetes, medição da força de atrito e do desgaste, entre outros.

Numa segunda fase desenvolveu-se o projeto do tribómetro que, para além do desenho de cada um dos seus componentes, envolveu, por exemplo, a seleção de: materiais, rolamentos, célula de carga, transdutor LVDT, servomotor, redutor, sensor de binário, bucha autocentrante para fixação do disco.

O tribómetro desenvolvido neste trabalho pode, de forma simplificada, ser dividido da seguinte forma:

- Sistema do disco: abarca o motor e a chumaceira principal que suporta todo o sistema e transmite o movimento de rotação ao disco. A velocidade máxima é de 5 m/s.
- Sistema do bloco: permite a fixação do bloco, a aplicação da carga normal através de pesos mortos e o deslocamento horizontal do bloco, para que este possa contactar o disco em diferentes pistas ao longo da sua largura. A carga máxima é de 20 kg.
- Sistema de aquisição da força de atrito: constituído por uma célula de carga que liga os sistemas anteriores.
- Estrutura: suporta todos os componentes que constituem o tribómetro e é constituída por tubo de aço quadrado com 3 mm de espessura e 60 mm de lado. Permite também que o tribómetro se encontre a uma altura adequada para ser utilizado.
- Sistemas auxiliares: inclui um transdutor LVDT para avaliar, de forma indireta, o desgaste dos provetes, um medidor de binário, que também permite avaliar a força de atrito, e um dispositivo para ensaio de capas de rolamento cónico 33113.

O custo estimado para o tribómetro projetado, que também permite a realização de ensaios com ou sem lubrificante, rondará os 23100 €.

KEYWORDS

Tribology, tribometer, block-on-ring, friction, wear, project

ABSTRACT

This study consisted on the design of a sturdy and highly-reliable block on ring tribometer able to perform tribological tests on different surfaces under different normal loads and sliding velocities.

First, a brief study was carried out about some tribological concepts and variables that influence friction and wear between two surfaces in contact and with relative movement. Then, several tribometers on the market were analyzed in terms of: loading force, movement between samples, samples fixation, friction force, wear, and others.

The second phase consisted on the design of the tribometer itself. This phase included the design of each of its individual components, as well as the selection of: materials, load cell, LVDT transducer, servomotor, gearbox, torque sensor, and self-aligning bushing for disc fixation.

Briefly, the tribometer designed throughout study is made of the following main parts:

Ring system: contains the motor and the main bearing that sets and transmits the rotational movement to the disc. Maximum velocity is 5 m/s.

Block system: allows the block fixation, normal load application through dead weights and block horizontal sliding. This allows contact between the block and the disc in different places. Maximum load is 20kg.

Friction force acquisition system: made of a load cell that joins the previous systems.

Structure: supports all the tribometer components and it is made of square steel tube with 3mm thickness and 60 mm side. This also allows to set the tribometer at a suitable height to use.

Auxiliary systems: includes a LVDT transformer that can evaluate samples wear, torque measurement, as well as friction force, and a device to test 33113 tapered roller bearing cup.

The tribometer designed throughout this study allows testing under lubricated and unlubricated conditions, and it will cost approximately 23100€.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
JPS	José Pedro Santos
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
DCL	Diagrama de corpo livre
Máx.	Máximo
Min.	Mínimo
DIN	<i>Deutsche Institute fur Normung</i> – Instituto alemão de normalização
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> – Organização mundial da normalização
AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i> – Instituto americano do aço e do ferro
LVDT	<i>Linear Variable Differential Transformer</i> - Transformador Diferencial Variável Linear
FEA	<i>Finite elements analysis</i> - Análise de elementos finitos
PTFE	Politetrafluoretileno (ou Teflon)

Lista de Unidades

Db(A)	decibéis
g	grama
Pa	Pascal
m	metro
N	Newton
rpm	rotações por minuto
V	Volt
s	segundos
W	Watt
€	euro
%	percentagem
°	graus

Lista de Símbolos

A	Área
B	Espessura do provete
c.s.	Coeficiente de segurança
F	Força
Fa	Força de atrito
g	Aceleração da gravidade
H	Dureza
i	Relação de transmissão
K	Coeficiente de Desgaste
Ka	Taxa normalizada de desgaste
K'	Taxa de desgaste
L ₀	Média das duas extensões da impressão de desgaste
L ₁	Extensão 1 da impressão de desgaste
L ₂	Extensão 2 da impressão de desgaste
M	Binário
m	Massa
N	Força normal
n	Velocidade de rotação
P	Peso
P _c	Pressão de contacto
R _a	Rugosidade média aritmética
R _t	Rugosidade total
V	Velocidade
r	Raio
T	Temperatura
t	Duração
w	Taxa de desgaste a seco
η	Rendimento
∅	Diâmetro
μ	Coeficiente de atrito
μ _k	Coeficiente de atrito dinâmico
μ _s	Coeficiente de atrito estático
λ	Espessura específica de filme
ω	Velocidade angular

GLOSSÁRIO DE TERMOS

Tribologia	Ciência multidisciplinar que estuda os fenómenos do atrito, do desgaste e da lubrificação
Tribómetro	Equipamento para ensaios de estudos tribológicos
Atrito	Resistência encontrada quando duas superfícies escorregam ou tendem a escorregar entre si
Desgaste	Fenómeno de perda progressiva de matéria resultante do movimento relativo entre superfícies
Lubrificação	Existência de um filme de fluido viscoso entre superfícies em contacto

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - A INVENÇÃO DA RODA (A); USO DE TRENÓS EM CONSTRUÇÕES (B) (REFERÊNCIAS [4] E [5])	9
FIGURA 2 - DCL GENÉRICO PARA CÁLCULO DA FORÇA DE ATRITO [8]	11
FIGURA 3 - AS 3 FASES DE ATRITO DINÂMICO: (A) ADESÃO; (B) <i>PLOUGHING</i> ; (C) DEFORMAÇÃO DE ASPERIDADES (ADAPTADO DE HOLMBERG, 2009 [3])	12
FIGURA 4 - EVOLUÇÃO DO ATRITO COM O TEMPO (SUH AND SIN, 1981 - ADAPTADO DE HOLMBERG, 2009 [3])	13
FIGURA 5 - DIFERENTES TIPOS DE DESGASTE: <i>SLIDING</i> (A) [3]; <i>ROLLING</i> (B) [3]; IMPACTO (C); EROSÃO (D) [11]; <i>FRETTING</i> (E) [3]; CAVITAÇÃO – BOLHAS DE VAPOR ATINGINDO UMA SUPERFÍCIE (F)	14
FIGURA 6 - MECANISMOS DE DESGASTE: (A) ADESIVO; (B) ABRASIVO; (C) FADIGA; (D) QUÍMICO. (ADAPTADO DE HOLMBERG, 2009 [3])	15
FIGURA 7 - EVOLUÇÃO DO DESGASTE COM O TEMPO [7]	16
FIGURA 8 - BALANÇA DE PRECISÃO – DENVER INSTRUMENT - APX 200	17
FIGURA 9 - GEOMETRIA DO CONTACTO (A) E ASPETO DA FACE DESGASTADA DO PATIM (B).	17
FIGURA 10 - CLASSIFICAÇÃO DOS REGIMES DE LUBRIFICAÇÃO (ADAPTADO DE HOLMBERG, 2009 [3])	18
FIGURA 11 - DISTRIBUIÇÃO DA PRESSÃO E FORMA DO FILME NUM CONTACTO LUBRIFICADO ELASTOHIDRODINÂMICA DE 2 DISCOS ROTATIVOS (ADAPTADO DE HOLMBERG, 2009 [3])	19
FIGURA 12 – FATORES E EFEITOS DE UM SISTEMA TRIBOLÓGICO [12]	20
FIGURA 13 - EFEITO DA RUGOSIDADE EM CONTACTOS LUBRIFICADOS HIDRODINÂMICOS (ADAPTADO [10])	21
FIGURA 14 - DIAGRAMA DE ASHBY – TAXA DE DESGASTE VS DUREZA [14]	21
FIGURA 15 - DESGASTE VS CARGA VS VELOCIDADE DESLIZAMENTO (ESCALAS LOGARÍTMICAS) (ADAPTADO [10])	23
FIGURA 16 - VARIAÇÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA, VELOCIDADE E PRESSÃO (ADAPTADO [10])	24
FIGURA 17 – COMPARAÇÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO COM OS DIFERENTES REGIMES DE LUBRIFICAÇÃO (ADAPTADO DE HOLMBERG, 2009 [3])	25
FIGURA 18 - SANTNER, E. E KOBHLER, K., “TRIBOLOGICAL TESTING OF TIN-COATINGS IN DRY SLIDING CONTACTS-EVALUATION OF AN INTERNATIONAL MULTILABORATORY PROJECT”, WORLD TRIBOLOGY CONGRESS LONDON, 1997, P. 501 [12]	27
FIGURA 19 – ESQUEMA DAS CARACTERÍSTICAS BÁSICAS E PARÂMETROS RELEVANTES EM TESTES TRIBOLÓGICOS EM LABORATÓRIO (ADAPTADO [10])	29
FIGURA 20 – CONFIGURAÇÃO PINO-DISCO	31
FIGURA 21 – CONFIGURAÇÃO BLOCO-DISCO	31
FIGURA 22 - TRIBÓMETRO DE <i>BLOUET</i> - VISTA FRONTAL (A) E VISTA LATERAL (B) [12]	32
FIGURA 23 - ESQUEMA DO TRIBÓMETRO DE <i>BLOUET</i> (1) [12]	32
FIGURA 24 - ESQUEMA DO TRIBÓMETRO DE <i>BLOUET</i> (2) [12]	32
FIGURA 25 - TRIBÓMETRO PLINT TE88/R [18]	33
FIGURA 26 – (A) TRIBÓMETRO PLINT TE88/P; (B) TE88/HT VERSÃO PARA ALTAS TEMPERATURAS [18]	33
FIGURA 27 - TRIBÓMETRO PLINT TE88/B [18]	34

FIGURA 28 - TRIBÓMETRO UTS T10 [19]	34
FIGURA 29 - GRÁFICOS TRIBOLÓGICOS: (A) COEFICIENTE DE ATRITO EM FUNÇÃO DO TEMPO; (B) DESGASTE ACUMULADO EM FUNÇÃO DO TEMPO (ADAPTADO [10])	35
FIGURA 30 - REGIME DE TRANSIÇÃO (ADAPTADO [10])	36
FIGURA 31 - MAPA DO MECANISMO DE DESGASTE PARA AÇO (CONFIGURAÇÃO PINO-NO-DISCO) (ADAPTADO [10])	36
FIGURA 32 – DEFINIÇÃO DE FUNÇÕES DO TRIBÓMETRO A PROJETAR	42
FIGURA 33 – ESBOÇO DA DEFINIÇÃO DO CONTACTO (CONTACTO)	46
FIGURA 34 – ESBOÇO DE APLICAÇÃO CELULA DE CARGA MULTI EIXOS	46
FIGURA 35 – ESBOÇO DA 1ª HIPÓTESE DESLOCAMENTO VERTICAL DO BLOCO	47
FIGURA 36 – ESBOÇO DA 2ª HIPÓTESE DESLOCAMENTO VERTICAL DO BLOCO	47
FIGURA 37 – ESBOÇO REPRESENTATIVO DO BLOCO EM DIFERENTES POSIÇÕES DO DISCO	48
FIGURA 38 – 1ª HIPÓTESE DESLOCAMENTO HORIZONTAL DO BLOCO	48
FIGURA 39 – ESBOÇO DO MOVIMENTO HORIZONTAL DO BLOCO	48
FIGURA 40 - VISTA GERAL DO TRIBÓMETRO PROJETADO	49
FIGURA 41 - VISTA GERAL DO TRIBÓMETRO - VISTA DA FRENTE	50
FIGURA 42 - VISTA GERAL DO TRIBÓMETRO - VISTA DE TRÁS	50
FIGURA 43 - VISTA GERAL DO TRIBÓMETRO - PORMENOR DO CONTACTO BLOCO - DISCO	50
FIGURA 44 - SISTEMA DO DISCO	53
FIGURA 45 - DCL DO DISCO (A); DCL DO BLOCO (B)	54
FIGURA 46 - SERVOMOTORES SIEMENS DA SÉRIE S-1FK7 [26]	57
FIGURA 47 - CURVA DE BINÁRIO DO SERVOMOTOR SIEMENS 1FK7080-2AF70-1AG1	57
FIGURA 48 - SERVO REDUTOR <i>WINTTENSTEIN ALPHA</i> SÉRIE CP [27]	58
FIGURA 49 – UNIÃO DE VEIOS RW COUPLINGS EK2 [28]	59
FIGURA 50 - CHUMACEIRA PRINCIPAL + LIGAÇÃO AO REDUTOR – VISTA DE CORTE	60
FIGURA 51 - 1º TESTE ESTÁTICO - VEIO CHUMACEIRA PRINCIPAL	61
FIGURA 52 - CURVA S-N - AÇO 42CRMO4 [30]	62
FIGURA 53 - FIXAÇÃO DO DISCO; (A) VISTA ISOMÉTRICA; (B) VISTA DE CORTE	63
FIGURA 54 - BUCHA RINGSPANN RLK110 [31]; (A) VISTA ISOMÉTRICA; (B) VISTA EM CORTE	63
FIGURA 55 - SISTEMA DO BLOCO: MONTADO NO TRIBÓMETRO (A); ISOLADO (B)	65
FIGURA 56 - CARGA DE 2 KG	66
FIGURA 57 - RESULTADO FEA – TENSÕES NA BARRA DE SUPORTE (3.1.2)	68
FIGURA 58 - CHUMACEIRA VERTICAL: (A) VISTA ISOMÉTRICA; (B) VISTA DE CORTE; (C) BRAÇO SUPORTE RODADO PARA FACILITAR REMOÇÃO/FIXAÇÃO DOS PROVETES	69
FIGURA 59 - MOVIMENTO HORIZONTAL	70
FIGURA 60 - FIXAÇÃO DO BLOCO: (A) VISTA LATERAL, (B E C) VISTAS ISOMÉTRICAS; (D) INTEGRAÇÃO NO TRIBÓMETRO	71
FIGURA 61 - REPRESENTAÇÃO DO SISTEMA ADOTADO DE MEDIÇÃO DA FORÇA DE ATRITO: NO SISTEMA COMPLETO (A); ISOLADO (B)	72
FIGURA 62 - LIGAÇÃO ENTRE MOVIMENTO HORIZONTAL E SUPORTE CÉLULA DE CARGA	73
FIGURA 63 - (A) PARAFUSO ISO 7379 [32]; (B) LIGAÇÃO ENTRE CÉLULA DE CARGA E O BRAÇO; (C) REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA LIGAÇÃO ENTRE A CÉLULA DE CARGA E O BRAÇO	73
FIGURA 64 - CÉLULA DE CARGA HBM S2M 500N [33]	74

FIGURA 65 – RESULTADO FEA - DESLOCAMENTO ESTRUTURA CÉLULA DE CARGA	76
FIGURA 66 - ESTRUTURA DO TRIBÓMETRO	77
FIGURA 67 - PÉ NIVELADOR ELESA LV.A-60 [34]	77
FIGURA 68 - RESERVATÓRIO DE LUBRIFICANTE: (A) VISTA ISOMÉTRICA; (B) MONTAGEM NO TRIBOMETRO	78
FIGURA 69 - SISTEMA DE FIXAÇÃO RESERVATÓRIO DE LUBRIFICANTE	78
FIGURA 70 –KEYENCE GT2-P12(A) [35]; ABRAÇADEIRA DE FIXAÇÃO (B) [35]; (C) MONTAGEM	79
FIGURA 71 - MEDIDOR DE BINÁRIO HBM T5 [36]	80
FIGURA 72 - APLICAÇÃO DO MEDIDOR DE BINÁRIO NO SISTEMA	80
FIGURA 73 - CAPA EXTERIOR DO ROLAMENTO CÓNICO 33113	81
FIGURA 74 - SISTEMA DE ENSAIO DE CAPAS DE ROLAMENTO CÓNICO 33113: VISTA ISOMÉTRICA(A); VISTA DE CORTE (B)	81
FIGURA 75 - VISTA GERAL DO TRIBÓMETRO PROJETADO	86

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - TABELA DE COEFICIENTES DE ATRITO [3] [9] [10]	12
TABELA 2 - DIFERENTES TIPOS DE CONTACTO	30
TABELA 3 - OBJETIVOS E ESPECIFICAÇÕES IMPOSTAS PARA O TRIBÓMETRO	41
TABELA 4 - MÉTODOS DE APLICAÇÃO DA CARGA NORMAL	44
TABELA 5 – SÍNTESE DOS SISTEMAS E SUBSISTEMAS DO TRIBÓMETRO PROJETADO	51
TABELA 6 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS UTILIZADOS	52
TABELA 7 – REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA O DISCO	56
TABELA 8 - REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA O MOTOR COM APLICAÇÃO DE REDUTOR DE I=3	56
TABELA 9 - CARACTERÍSTICAS DO SERVOMOTOR 1FK7080-2AF70-1AG1	57
TABELA 10 - CARACTERÍSTICAS DO REDUTOR NP035S-MF1-3-011-1S	58
TABELA 11 – CARACTERÍSTICAS DA UNIÃO DE VEIOS	59
TABELA 12 – CONDIÇÕES DO ESTUDO FEA DA BARRA DE SUPORTE (3.1.2)	67
TABELA 13 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA CÉLULA DE CARGA HBM S2M 500N	75
TABELA 14 – CONDIÇÕES DO ESTUDO FEA DA ESTRUTURA DE SUPORTE DA CÉLULA DE CARGA	75
TABELA 15 - CARACTERÍSTICAS DO LVDT KEYENCE GT2-P12	79
TABELA 16 – CARACTERÍSTICAS DO MEDIDOR DE BINÁRIO HBM T5	80
TABELA 17 - ORÇAMENTAÇÃO DO TRIBÓMETRO	82
TABELA 18 - CARACTERÍSTICAS DO TRIBÓMETRO PROJETADO	85

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	3
1.1	Enquadramento.....	3
1.2	Objetivos	4
1.3	Metodologia	4
1.4	Estrutura do trabalho	5
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1	História e importância da tribologia	9
2.2	Conceitos tribológicos.....	10
2.2.1	Atrito	11
2.2.2	Desgaste	14
2.2.3	Lubrificação	18
2.3	Parâmetros que influenciam o comportamento tribológico de materiais	20
2.3.1	Rugosidade	20
2.3.2	Dureza	21
2.3.3	Velocidade de deslizamento	22
2.3.4	Carga normal	22
2.3.5	Temperatura	23
2.3.6	Lubrificação	25
2.3.7	Tratamentos superficiais e revestimentos de superfície	26
2.3.8	Comportamento dinâmico das máquinas de ensaio	27
2.4	Tribómetros.....	29
2.4.1	Tipos de contato (geometrias)	30
2.4.2	Análise de equipamentos existentes	31
2.4.3	Resultados tribológicos	35
3	DESENVOLVIMENTO	41
3.1	Especificações do tribómetro.....	41
3.2	Funções do tribómetro	42
3.2.1	Seleção do tipo de motor	43
3.2.2	Seleção do método de aplicação da carga normal	44
3.2.3	Seleção dos sistemas de aquisição de dados	45

3.3	Princípio de funcionamento (primeiros esboços)	46
3.4	Vista geral do tribómetro projetado	49
3.4.1	Organização do projeto	51
3.4.2	Materiais utilizados	52
3.5	Sistema do disco (movimento rotativo)	53
3.5.1	Conjunto do motor	53
3.5.2	Chumaceira principal	60
3.5.3	Geometria e fixação do disco	63
3.6	Sistema do bloco	65
3.6.1	Carga normal (e movimento vertical)	66
3.6.2	Chumaceira vertical	69
3.6.3	Movimento horizontal	70
3.6.4	Fixação do bloco	71
3.7	Sistema de aquisição da força de atrito	72
3.8	Estrutura	77
3.9	Ensaio com lubrificação	78
3.10	Sistemas auxiliares	79
3.10.1	Medição do desgaste	79
3.10.2	Medidor de binário	80
3.10.3	Sistema de ensaio de capas de rolamento cónico 33113	81
3.11	Orçamentação	82
4	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	85
4.1	CONCLUSÕES	85
4.2	PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	87
5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO	91
6	ANEXOS	97
6.1	ANEXO 1 – TABELA COMPARATIVA CARACTERÍSTICAS TRIBOMETROS EXISTENTES	97
6.2	ANEXO 2 – DATASHEET FORNECEDORES	98
6.2.1	DATASHEET SERVOMOTOR	98
6.2.2	DATASHEET REDUTOR	100
6.2.3	DATASHEET BUCHA RLK 110	101

6.2.4	<i>DATASHEET</i> CELULA CARGA HBM S2M 500N	103
6.2.5	<i>DATASHEET</i> KEYENCE GT2-P12	105
6.2.6	<i>DATASHEET</i> HBM T5	106
6.2.7	<i>DATASHEET</i> BUCHA BIKON 1003-040-65	108
6.3	ANEXO 3 – DESENHOS	109

INTRODUÇÃO

- 1.1 Enquadramento**
- 1.2 Objetivos**
- 1.3 Metodologia**
- 1.4 Estrutura do trabalho**

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Para o estudo da Tribologia, ciência que visa o entendimento dos fenómenos relativos ao atrito, desgaste e lubrificação, são utilizados equipamentos denominados de tribómetros. O objetivo geral dos ensaios realizados com estes equipamentos é estudar a interação entre superfícies de materiais em contacto com movimento relativo. A utilização de tribómetros para estudar o atrito e desgaste apresenta uma série de vantagens. De facto, permite uma mais fácil instrumentação do ensaio, de grande importância, pois é responsável por toda a medição, registo e controlo de variáveis físicas. Além disso, possibilita um menor tempo na execução dos testes, redução dos custos envolvidos e reprodução das interações tribológicas em condições próximas às reais. Proporciona também a análise do efeito de cada parâmetro durante o ensaio, podendo-se quantificar a representatividade de cada um, sobre os fenómenos de atrito e desgaste. Entre estes parâmetros temos, por exemplo: carga normal, velocidade de deslizamento, rugosidade superficial e lubrificação.

São inúmeros os exemplos que demonstram a relevância da Tribologia. A importância económica está no facto de que uma parte significativa (cerca de 30%) da energia gerada no mundo industrial é dissipada em processos envolvendo o atrito [1]. Por seu lado, o desgaste traduz-se numa perda de material e possível falha do componente. Máquinas com melhores soluções tribológicas aumentam a produção e o lucro, pois menor será a frequência de paragens para troca de peças desgastadas. Perante isto, o estudo desta ciência visa uma redução dos custos através da diminuição da energia dissipada no atrito e do desgaste de materiais.

Tal como referido, o estudo tribológico de pares de materiais é frequentemente realizado através da utilização de tribómetros, que permitem a obtenção do coeficiente de atrito e do desgaste para diferentes condições (parâmetros) de ensaio, como a carga normal, a velocidade de deslizamento, a rugosidade das superfícies em contacto, as condições ambientais, a lubrificação, entre outras que possam influenciar a interação das superfícies em contacto.

Neste trabalho desenvolveu-se o projeto de um tribómetro bloco-disco, robusto, com soluções engenhosas e que permite a aplicação da carga normal através de pesos mortos, avaliar a força de atrito e realizar ensaios com ou sem lubrificante. A carga normal máxima é de 20 kg e a velocidade de rotação máxima do disco é de 5 m/s. Os provetes (disco e bloco) podem apresentar diversas dimensões e é possível regular a

posição do bloco relativamente à largura do disco. O tribómetro desenvolvido, em vez do disco, admite a utilização de um determinado tipo de anel de rolamentos diminuindo, assim, o custo associado a este provete.

De salientar que este trabalho surgiu da necessidade de projetar um tribómetro para o Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP, que atualmente, apesar de lecionar conteúdos relacionados com a Tribologia, não possui nenhum equipamento deste tipo.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo realizar o projeto mecânico de um tribómetro com a configuração bloco-disco capaz de executar ensaios tribológicos em determinadas condições, que seja robusto e de grande fiabilidade. O tribómetro deverá permitir:

- a aplicação de diferentes cargas normais (máximo 20 kg) e regular a velocidade de rotação do disco (máximo de 5 m/s);
- a utilização de discos e blocos com diferentes dimensões e, além disso, permitir a utilização de capas exteriores de rolamentos;
- medir a força de atrito;
- realizar ensaios a seco e com lubrificação.

Pretende-se também estimar o custo associado à conceção do tribómetro projetado.

1.3 Metodologia

O método utilizado para a realização deste trabalho envolveu as seguintes fases:

- Breve estudo sobre tribologia com principal incidência nos parâmetros que influenciam o comportamento tribológico de materiais em contacto e com movimento relativo;
- Análise de tribómetros existentes no mercado;
- Projeto mecânico do tribómetro realizado com recurso a modelos tridimensionais através da ferramenta CAD 3D – Solidworks, (pertencente ao grupo 3DS), cuja licença é disponibilizada aos alunos do ISEP. Execução de desenhos técnicos para fabricação de peças, listas de peças e, quando necessário, cálculos de dimensionamento.
- Seleção de materiais para diversos componentes do tribómetro, do conjunto do motor, de rolamentos, de guias lineares, das buchas para fixação do disco e capas externas de rolamentos;
- Estimativa do custo associado à construção do tribómetro projetado.

1.4 Estrutura do trabalho

A dissertação encontra-se dividida em 4 capítulos.

O capítulo 1 (INTRODUÇÃO) engloba um enquadramento do trabalho desenvolvido, os objetivos, a metodologia adotada e a estrutura da dissertação.

No capítulo 2 (REVISÃO BIBLIOGRÁFICA) apresentam-se os principais conceitos associados à tribologia e os parâmetros que influenciam o comportamento tribológico dos materiais. Este capítulo termina com a identificação de diferentes tipos de tribómetros, analisando algumas das suas características.

O capítulo 3 (DESENVOLVIMENTO) começa com a indicação dos requisitos do tribómetro e apresenta a descrição de todo o projeto desenvolvido, que inclui:

- Funções do tribómetro;
- Princípio de funcionamento (primeiros esboços);
- Vista geral do tribómetro projetado;
- Sistema do disco (movimento rotativo);
- Sistema do bloco;
- Sistema de aquisição da força de atrito;
- Ensaio com lubrificação;
- Sistemas auxiliares.

Este capítulo termina com a orçamentação do tribómetro projetado.

No capítulo 4 encontram-se as principais conclusões e propostas para trabalhos futuros que poderão contribuir para uma evolução do tribómetro projetado.

O presente documento é finalizado com a apresentação das referências bibliográficas utilizadas e com os anexos que contêm: uma tabela comparativa entre tribómetros já existente no mercado que foram alvo de análise, os *datasheet* dos componentes mais importantes e os desenhos técnicos.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- 2.1 História e importância da tribologia**
- 2.2 Conceitos tribológicos**
- 2.3 Parâmetros que influenciam o comportamento tribológico de materiais**
- 2.4 Tribômetros**

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este trabalho tem como principal objetivo a execução do projeto mecânico de um equipamento, tribómetro, que se destina a realizar ensaios tribológicos. Assim, numa primeira fase, foi necessário estudar o que se entende por tribologia, a sua importância, os fatores que influenciam o comportamento tribológico dos materiais e, por fim, os tribómetros existentes no mercado. O resultado desse estudo é apresentado, de forma sucinta, neste capítulo.

2.1 História e importância da tribologia

A palavra tribologia deriva da palavra grega “*tribos*” que tem como significado atrito e “*logos*” cujo significado é ciência. Tribologia é a ciência que estuda o atrito, ou seja, a interação entre superfícies em movimento. A principal consequência do atrito é o desgaste das superfícies e a forma principal de reduzir o atrito é através da lubrificação.

É uma ciência multidisciplinar que faz apelo aos conhecimentos da elasticidade e da plasticidade, dos materiais, da mecânica dos fluidos, da física, da química e de outras para a resolução dos problemas do contacto [1].

Os humanos há muito que procuram formas de reduzir o atrito. Uma solução consistiu na invenção da roda que possibilitou deslocamentos mais rápidos e seguros, outra foi o uso de “trenós” que permitiu a deslocação de objetos de grande massa tendo como objetivo a construção de grandes estruturas [3]. As figuras seguintes ilustram estes dois desenvolvimentos alcançados há milhares de anos.

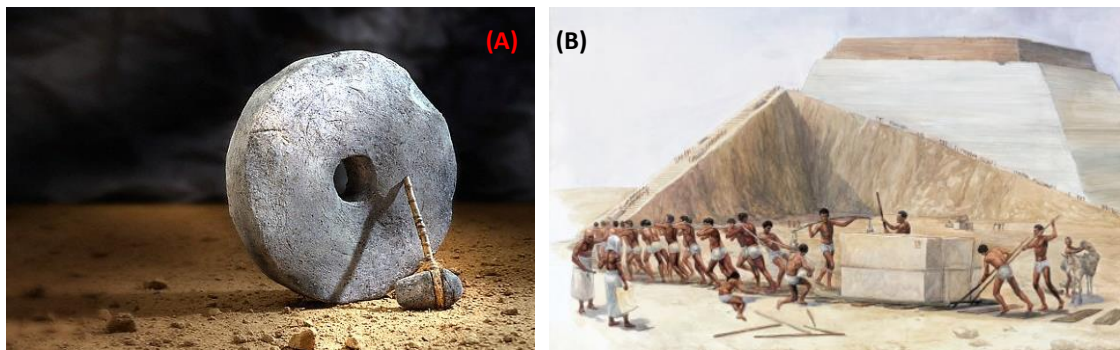


Figura 1 - A invenção da roda (A); uso de trenós em construções (B) (referências [4] e [5])

Mais recentemente, na década de 1960, verificou-se um grande número de avarias, nos países mais industrializados, essencialmente provocadas pelo desgaste e a causas associadas. Este facto foi provado pelos especialistas da altura e apresentadas em publicações sobre a situação da época. Contudo, só em outubro de 1964, numa conferência, organizada pela *Institution of Mechanical Engineers* em Londres, foi reconhecida a necessidade de melhorar os ensinamentos e liderar a investigação [6].

Em 1996 foi considerado, em Inglaterra, que se poderiam poupar cerca de 700 milhões de libras por ano se se aplicassem os conceitos da tribologia, e fossem corrigidos aspetos na lubrificação, na manutenção mas essencialmente no projeto de máquinas [1].

Atualmente os sistemas são cada vez mais complexos e apresentam riscos mais elevados em caso de anomalia no seu funcionamento. Em todos estes sistemas complexos existem componentes em contacto com movimento relativo, e sujeitos a determinadas condições de serviço (carga, velocidade relativa,...) cada vez mais exigentes. Assim sendo, as falhas mecânicas, especialmente as de origem tribológica, como o desgaste, são hoje uma das principais causas das avarias em equipamentos ou sistemas, com a sua perda de disponibilidade e perda de segurança operacional que, por sua vez, são inadmissíveis na sociedade em que vivemos [2].

Com o intuito de avaliar o comportamento tribológico, das mais diversas combinações de materiais e lubrificantes, foi desenvolvido o tribómetro. Este equipamento permite estudar o atrito e o desgaste em função de determinados fatores como, por exemplo, a carga, a velocidade, a temperatura, entre outros. Os conceitos de atrito e desgaste, bem como os fatores que os condicionam, são apresentados nos subcapítulos seguintes.

2.2 Conceitos tribológicos

O desempenho de muitas máquinas presentes no nosso dia-a-dia depende das superfícies em contato e com movimento relativo. Com frequência, essas superfícies precisam de ser lubrificadas para terem a durabilidade e a eficiência energética adequadas. Sem lubrificação, o atrito e o desgaste provocam dano nessas superfícies, que precisa de ser controlado para atingir os parâmetros de desempenho projetados. O conhecimento necessário para fazer isto está no ramo da ciência conhecido como Tribologia.

As forças de atrito têm uma grande importância nos mais diversos processos e em alguns casos o seu aumento é conveniente ao processo, porém noutros a sua ausência seria o ideal. Embora o atrito e o desgaste sejam fenómenos distintos, eles estão relacionados um com o outro. O atrito é o principal fator que origina desgaste resultando num desperdício de material, perda de eficiência e custos devidos a falhas mecânicas. Os conceitos de atrito, desgaste e lubrificação são abordados nos subcapítulos seguintes.

2.2.1 Atrito

O atrito é a resistência encontrada quando duas superfícies sólidas escorregam ou tendem a escorregar entre si [1]. O atrito não é uma propriedade dos materiais, mas sim uma resposta do sistema na forma de força de reação [3].

A força aplicada no momento antes das superfícies escorregarem é designada a força de atrito estática. A partir do momento em que as superfícies deslizam, uma sobre a outra, designa-se de força de atrito dinâmico ou cinético.

O coeficiente de atrito estático é geralmente maior que o coeficiente de atrito dinâmico, pois é necessário vencer a acomodação das superfícies que estão paradas, quebrando ligações que se possam ter formado. Uma das formas de baixar substancialmente o atrito é através do uso de lubrificantes [7].

A Figura 2 mostra o diagrama de corpo livre (DCL) genérico para qualquer corpo, que serve de apoio para o cálculo da força de atrito.

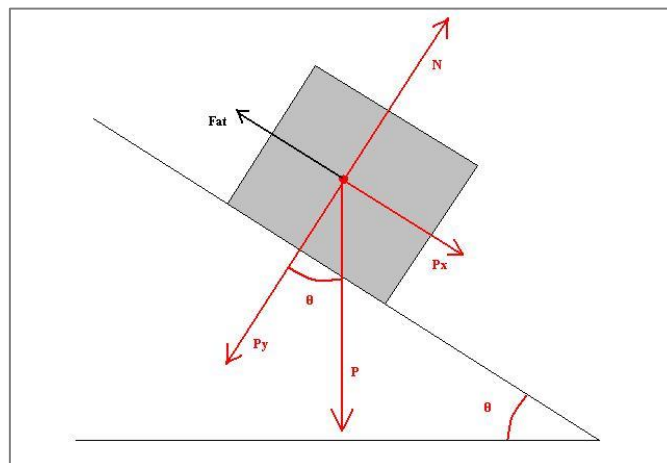


Figura 2 - DCL genérico para cálculo da força de atrito [8]

A força de atrito pode ser calculada da seguinte forma:

$$F_a = N \mu$$

Equação 1 - Cálculo força de atrito

Para o caso mais simples, num movimento horizontal:

$$N = P = m g$$

então:

$$F_a = m g \mu$$

Equação 2 - Cálculo força de atrito num movimento horizontal

Em que μ é o coeficiente de atrito estático ou dinâmico conforme o caso em estudo. N a força normal, força de reação do contacto entre as superfícies, sendo esta sempre perpendicular à direção do contacto, mesmo em planos inclinados. Neste último caso a força é afetada pela inclinação do plano de contacto entre superfícies.

O coeficiente de atrito é característico para cada par de materiais e em certas condições, como o acabamento das superfícies, a temperatura de contacto, entre outras. Existem diversas tabelas dos coeficientes de atrito na bibliografia da especialidade. Na Tabela 1 são apresentados alguns exemplos para atritos estáticos e dinâmicos com e sem lubrificação [3] [9] [10]. De referir que o valor do coeficiente de atrito é adimensional.

Tabela 1 - Tabela de coeficientes de atrito [3] [9] [10]

Par de materiais	Atrito dinâmico	Atrito estático	Atrito estático com lubrificação
Aço / Aço	0,7-0,8	0,5-0,8	0,16
Alumínio / Alumínio	0,8-1,2	1,35-1,05	0,3
Cobre / Cobre	0,8-1,2	1	0,08
Bronze / Aço	0,6-0,7	0,35	0,19
Prata / Prata	0,8-1	1,4	0,55
Polietileno / Aço	0,37	0,2	0,2

Apesar da sua importância, e de séculos de investigação, ainda não existe uma explicação consensual física completa para o atrito.

Uma das primeiras tentativas para explicar o fenómeno foi realizada por Bowden e Tabor em 1950. Eles acreditavam que quando as asperezas (pontos mais altos da superfície) de duas superfícies são forçadas a contacto, estas soldam-se devido à adesão entre os materiais, como se mostra na Figura 3 (a). Quando um dos corpos é movido tangencialmente, relativamente a outro, estas quebram-se e criam-se estas micro-soldaduras constantemente, o que gere a força de resistência ao movimento.

Ainda no mesmo ano introduziram o conceito de “*Ploughing*”, Figura 3 (b). Quando uma partícula dura penetra num material mais macio abre-lhe uma ranhura por deformação plástica criando resistência ao movimento.

Green, em 1955, completa a teoria mostrando que as asperezas são deformadas plasticamente à medida que deslizam umas sobre as outras, criando resistência ao movimento e perda de material. Este fenómeno designa-se por deformação de aspereza e pode-se ver na Figura 3 (c) [3].

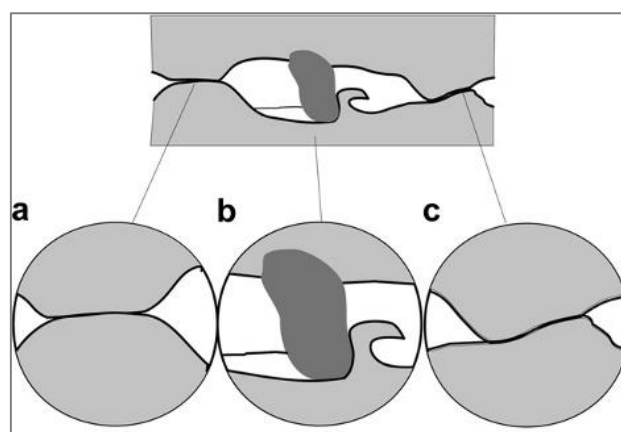


Figura 3 - As 3 fases de atrito dinâmico: (A) Adesão; (B) *Ploughing*; (C) Deformação de asperezas (adaptado de Holmberg, 2009 [3])

Um contacto dinâmico atravessa diferentes estágios de atrito, desde a rodagem até ao período estacionário. Suh e Sin em 1981 identificaram 5 estágios que ocorrem num contacto entre amostras de aço, antes de se atingir o período estacionário que corresponde ao sexto estágio [3]. A Figura 4 demonstra a evolução do coeficiente de atrito com a distância percorrida identificando os diferentes estágios.

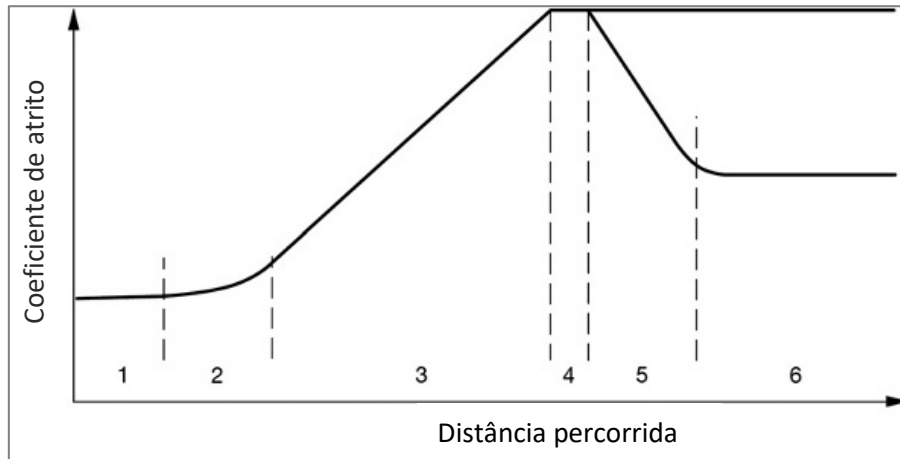


Figura 4 - Evolução do atrito com o tempo (Suh and Sin, 1981 - adaptado de Holmberg, 2009 [3])

1. Nesta fase inicial ocorre a deformação das asperezas (os picos destroem-se uns contra os outros) e as superfícies ficam polidas. O fator da adesão não ocorre devido à contaminação das superfícies. O coeficiente de atrito, nesta fase, é independente da combinação de materiais, das condições de superfície ou ambientais.
2. O processo de desgaste do estágio 1 eliminou as impurezas das superfícies. O atrito aumenta lentamente devido à adesão entre as superfícies.
3. Neste estágio o coeficiente de atrito aumenta devido ao maior número de partículas de desgaste aprisionadas no contacto, contribuindo para o “*plowing*”, ou seja, a criação, por deformação plástica, de ranhuras na superfície do material mais macio. O polimento das superfícies pode tornar-se maior, aumentando a adesão.
4. O número de partículas que sai do contacto é igual ao que entra, permanecendo constante. A adesão permanece constante assim como a rugosidade, pois o desgaste cria novas superfícies. Estágio estacionário para materiais idênticos.
5. Em alguns casos, como na situação em que existe um contacto com deslizamento entre um material de elevada dureza com um material macio, as asperezas da superfície dura são gradualmente removidas, criando uma superfície lisa com aspeto espelhado. A força de atrito diminui, devido à diminuição da deformação das asperezas e do efeito de “*plowing*” e porque as partículas de desgaste não podem ancorar tão facilmente a uma superfície polida.
6. O coeficiente de atrito diminui lentamente e tende para um valor constante. À medida que a superfície de maior dureza se torna mais espelhada também a superfície mais macia adquire um acabamento espelhado.

2.2.2 Desgaste

Designa-se por desgaste o fenómeno da progressiva perda de material pela superfície ativa de um corpo, resultante de movimento relativo nessa superfície, sendo a principal consequência do atrito.

Os principais tipos de desgaste são: desgaste por deslizamento (*sliding wear*), por fadiga de contacto (*contact fatigue, rolling wear*) e por impacto, podendo ainda considerar-se a erosão, o *fretting* e a cavitação [3]. De seguida são apresentados cada um destes tipos de desgaste. As suas representações encontram-se na Figura 5.

- a) *Sliding wear*: consiste no desgaste gerado pelo escorregamento de uma superfície sólida ao longo de outra superfície;
- b) *Rolling wear*: caracteriza-se pelo desgaste de uma superfície sólida provocado pelo contacto por rolamento entre as superfícies em contacto. É um movimento mais suave que o *sliding*. É característico dos rolamentos;
- c) Impacto: pode ser definido como o desgaste provocado pelo impacto repetido entre duas superfícies [10];
- d) Erosão: consiste na perda progressiva de material de uma superfície sólida através do impacto de partículas sólidas presentes num fluido. As partículas impactantes são muito menores do que a superfície submetida a erosão [11];
- e) *Fretting*: ocorre em contactos sujeitos a pequenos movimentos oscilatórios, muitas vezes associados a vibrações. As partículas de desgaste permanecem no interior do contacto, causando abrasão a três corpos e desgaste rápido, que pode levar à destruição das superfícies [11];
- f) Cavitação: é a perda progressiva de material de um sólido devido à ação de bolhas em um líquido colapsando próximo à superfície deste sólido. Este fenómeno traduz-se pela vaporização de um líquido devido à redução da pressão, durante seu movimento. O colapso das bolhas de vapor, que se formaram no escoamento devido à baixa pressão, gera ondas de choque que podem provocar o desgaste das superfícies das peças [11].

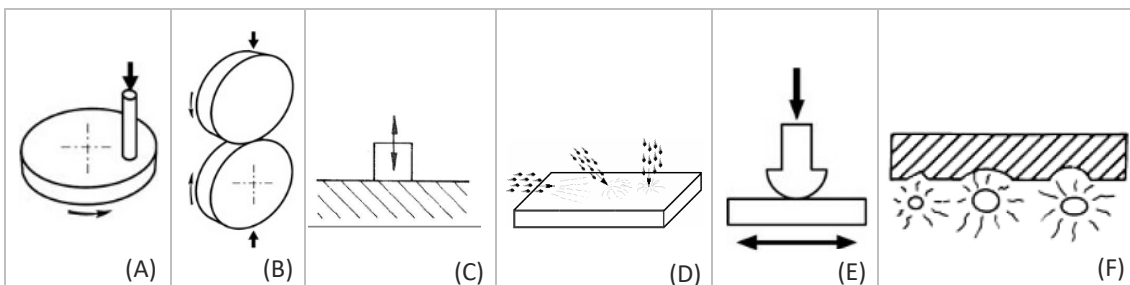


Figura 5 - Diferentes tipos de desgaste: *Sliding* (A) [3]; *Rolling* (B) [3]; Impacto (C); Erosão (D) [11]; *Fretting* (E) [3]; Cavitação – bolhas de vapor atingindo uma superfície (F)

O desgaste pode ser classificado em vários mecanismos: adesivo, abrasivo, fadiga e químico. Vários mecanismos podem ocorrer em simultâneo e da sua combinação resulta um tipo específico de desgaste [3]. A Figura 6 esquematiza os diferentes mecanismos de desgaste e nos pontos seguintes é realizada uma breve explicação de cada um deles.

- a) Desgaste adesivo: as rugosidades de uma superfície entram em contato com as rugosidades da contra-superfície provocando deformação plástica, adesão (microsoldaduras) e conseqüentemente a formação de junções localizadas. O deslizamento relativo das duas superfícies em contacto provoca a rotura dessas junções acompanhada, frequentemente, da transferência de material de uma superfície para a outra. Posteriormente, os fragmentos aderidos a uma superfície podem destacar-se e em seguida voltar à superfície inicial, ou podem ser convertidos em partículas de desgaste.
- b) Abrasivo: ocorre em contatos onde uma das superfícies é consideravelmente mais dura que a outra, ou com a presença de outro corpo sólido entre as superfícies, chamando-se abrasão a três corpos. As rugosidades da superfície mais dura são pressionadas contra a superfície mais macia de onde resulta o arranque de partículas e origem de sulcos na superfície.
- c) Fadiga: é caracterizado pela formação de fissuras e a posterior fragmentação do material provocado pelo carregamento cíclico e repetido de superfícies sólidas. A aplicação repetida de elevadas pressões de contacto provoca fendas na superfície, ou abaixo desta que se irão alastrar e chegar à superfície, provocando uma cratera na superfície e libertação das partículas para abrasão a três corpos.
- d) Químico: o processo é caracterizado pelas reações químicas que prejudicam o contacto. Estas podem “amaciar” as superfícies, tornando-as mais fracas ao contacto. O processo químico de desgaste provoca rápida corrosão nas superfícies. Ambiente corrosivos são catalisadores para este processo.

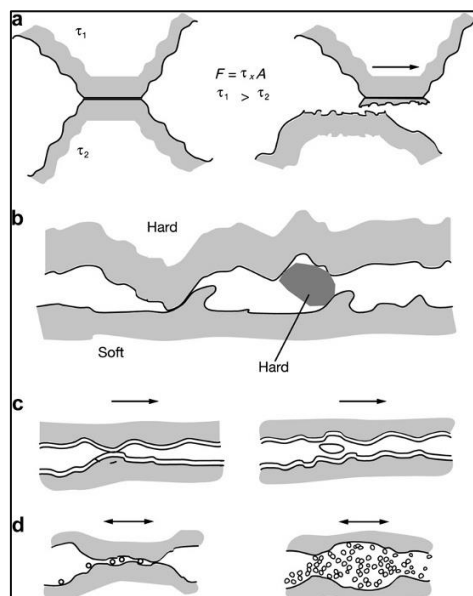


Figura 6 - Mecanismos de desgaste: (A) Adesivo; (B) Abrasivo; (C) Fadiga; (D) Químico. (adaptado de Holmberg, 2009 [3])

A evolução normal do desgaste entre duas superfícies em contacto com movimento relativo, passa por três fases [1]:

1. Fase de rodagem – desgaste rápido, normalmente controlado, em que os picos frágeis das superfícies em contacto vão sofrer rotura. Esta fase dá origem a superfícies de melhor qualidade, com maior área de contacto.
2. Funcionamento normal – a taxa de desgaste é baixa relativamente à fase anterior.
3. Avaria – a taxa de desgaste aumenta, agora a uma taxa crescente, até que o componente já não é capaz de cumprir as suas funções.

A Figura 7 mostra uma curva típica de desgaste acumulado, numa peça genérica, ao longo do tempo durante as diferentes fases de desgaste.

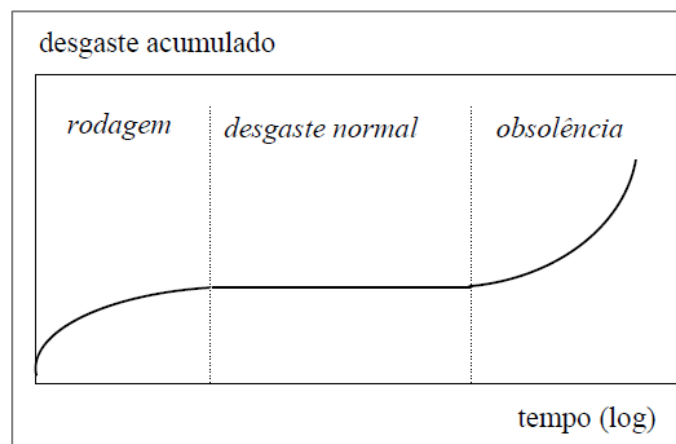


Figura 7 - Evolução do desgaste com o tempo [7]

O atrito e o desgaste são resultados do mesmo processo de contacto tribológico. No entanto, sendo espectável que para coeficientes de atrito mais altos correspondessem taxas de desgaste mais altas, tal situação nem sempre se verifica [3]. Provando assim a necessidade de realizar ensaios para cada par de materiais.

Usualmente o desgaste é quantificado através dos seguintes parâmetros [11]:

A taxa de desgaste (K') é o quociente entre o volume de material removido (V) e a distância percorrida no contacto (x), para determinada carga e velocidade relativa das superfícies:

$$K' = \frac{V}{x} \left[\frac{\text{mm}^3}{\text{m}} \right]$$

Equação 3 - Taxa de desgaste

O coeficiente de desgaste (K) relaciona o volume perdido com a distância percorrida (x) e a força normal (F):

$$K = \frac{K'}{F} \left[\frac{\text{mm}^3}{\text{Nm}} \right]$$

Equação 4 - Coeficiente de desgaste

Ou:

$$V = KFx [mm^3]$$

Equação 5 – Cálculo do volume perdido com recurso à taxa de desgaste

A taxa normalizada de desgaste (lei de Archard) Ka é dada pelo quociente entre a taxa de desgaste a seco (w), a área (A) e a pressão média no contacto (P):

$$Ka = \frac{W}{AP} \left[\frac{m^2}{N} \right]$$

Equação 6 - Taxa normalizada de desgaste (lei de Archard)

Uma forma rápida de medir o volume de material desgastado é através da diferença de massas das amostras (antes e depois do ensaio). A medição terá de ser realizada por equipamentos de precisão, já que os valores podem ser muito pequenos. Um exemplo do tipo de balança a usar é o modelo APX-200 da Denver Instrument existente no ISEP (Figura 8). Esta balança mede com uma precisão de 0,0001 g, sendo a medição realizada no interior de uma “caixa de vidro”. As amostras devem ser cuidadosamente limpas antes da medição da sua massa [10].



Figura 8 - Balança de precisão – Denver Instrument - APX 200

No caso de um contacto entre um bloco (patim) e um disco, tal como se pode observar na Figura 9, o volume de material perdido pelo bloco pode ser calculado usando a equação seguinte:

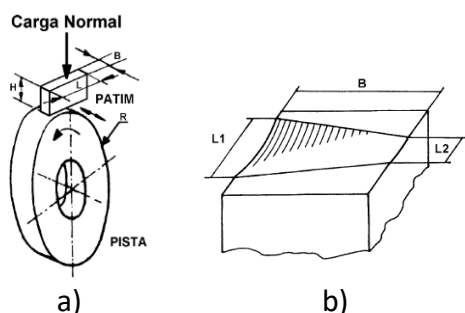


Figura 9 - Geometria do contacto (a) e aspeto da face desgastada do patim (b).

$$V = B \left(R^2 \sin^{-1} \left(\frac{L_0}{2R} \right) - \frac{L_0}{2} \sqrt{R^2 - \left(\frac{L_0}{2} \right)^2} \right)$$

Equação 7 – Expressão para cálculo do volume desgastado no bloco.

Onde V é o volume de material perdido pelo bloco ou volume desgastado; B é a espessura do provete; R é o raio do disco, L_0 é a média das duas extensões da impressão de desgaste, medidas nos dois lados do patim [$L_0 = (L_1 + L_2)/2$].

2.2.3 Lubrificação

Tal como já foi referido, a ciência da tribologia estuda a interação entre superfícies em contacto e com movimento relativo, e inclui a análise do atrito, do desgaste e da lubrificação. A lubrificação permite diminuir o atrito e o desgaste entre as superfícies sólidas em movimento relativo separando-as parcialmente ou completamente.

É designado contacto com lubrificação quando existe um filme de fluido viscoso entre as superfícies de contacto. Este fluido pode ser óleo, água, gás compressível ou até ar [1]. Este fluido tem a função de separar as superfícies do contacto com a finalidade de reduzir o atrito e o desgaste, e também retirar calor e detritos do sistema que se geram com a interação das superfícies. As pressões entre as superfícies deixam de existir e passam a ser “distribuídas” da primeira superfície para o lubrificante e do lubrificante para a segunda superfície, com uma melhor distribuição de tensões. A Figura 10 esquematiza os diferentes regimes de lubrificação.

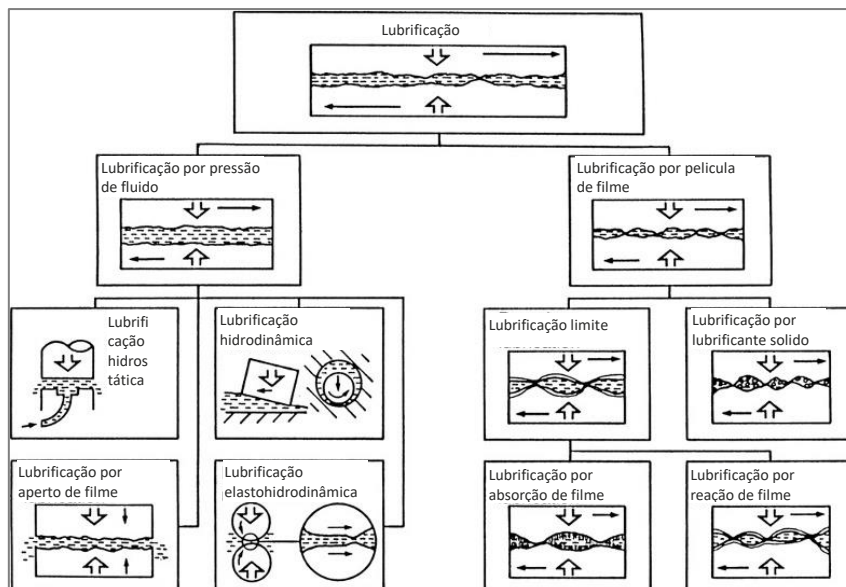


Figura 10 - Classificação dos regimes de lubrificação (adaptado de Holmberg, 2009 [3])

Existem vários regimes de lubrificação, que podem ser divididos em dois grandes grupos:

1. Lubrificação por pressão de fluido – as superfícies são mantidas separadas pela pressão de fluido dentro do contacto. A lubrificação é completa.
2. Lubrificação por película de filme – as superfícies são parcialmente separadas por uma película de lubrificante que se “agarrou” às superfícies.

Na lubrificação hidrodinâmica a pressão é criada pelo deslocamento relativo entre as superfícies. A pressão do lubrificante é baixa em comparação com as propriedades de resistência dos sólidos, não causando deformação local apreciável.

Para lubrificação de elementos de máquinas neste regime, a espessura de filme é entre 10 a 100 vezes a altura das irregularidades das superfícies. O coeficiente de atrito é tipicamente na ordem dos 0,001 a 0,01 [3].

A lubrificação hidrostática é semelhante à lubrificação hidrodinâmica, no entanto distingue-se pelo facto de a pressão ser colocada no contacto por sistemas externos e não pelo deslocamento das superfícies [13].

No regime de lubrificação elastohidrodinâmica existe deformação elástica das superfícies. O regime pode ser dividido em três categorias:

1. Lubrificação completa - o que permite um filme de lubrificante coerente, impedindo que as rugosidades das superfícies se toquem.
2. Lubrificação mista - quando o filme não garante a total e constante separação entre as superfícies, podendo existir contacto pontuais entre elas.
3. Lubrificação limite - quando existem contactos frequentes entre superfícies.

A Figura 11 apresenta a distribuição da pressão e a forma do filme lubrificante num contacto entre dois discos rotativos no caso de lubrificação completa.

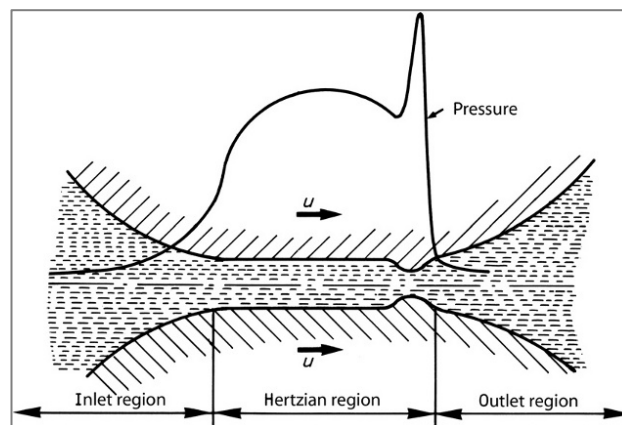


Figura 11 - Distribuição da pressão e forma do filme num contacto lubrificado elastohidrodinâmica de 2 discos rotativos (adaptado de Holmberg, 2009 [3])

Na lubrificação limite, a interação entre as rugosidades das superfícies é considerada. Uma camada muito fina de lubrificante impossibilita a soldadura entre picos das superfícies, por este motivo e por o lubrificante ter menor resistência ao corte que as superfícies sólidas, o atrito e o desgaste são diminuídos quando comparados com movimentos sem lubrificação [3].

2.3 Parâmetros que influenciam o comportamento tribológico de materiais

São diversos os fatores que condicionam o comportamento tribológico dos materiais e numerosos os seus efeitos, tal como se pode observar na Figura 12. Alguns desses fatores são a rugosidade superficial, a dureza das superfícies, velocidade, lubrificação, entre outras. Nem todos os materiais se comportam da mesma forma quando sujeitos a variações dos parâmetros supracitados. Materiais cerâmicos, polímeros e metais comportam-se, de modo geral, de formas distintas, pelo que o estudo tribológico deve ser realizado de forma diferenciada.

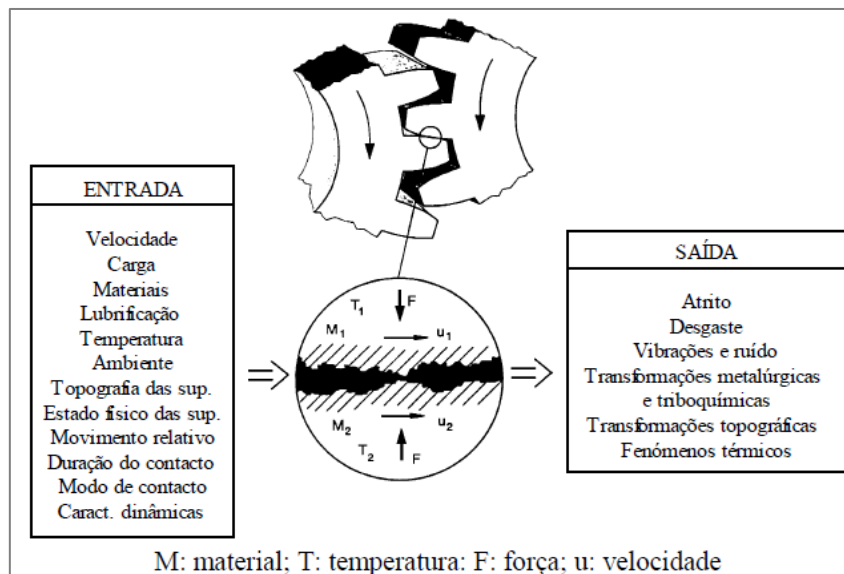


Figura 12 – Fatores e efeitos de um sistema tribológico [12]

2.3.1 Rugosidade

O efeito da rugosidade, tal como de outros parâmetros, no atrito e desgaste é um assunto complexo. De facto, em superfícies muito lisas o atrito tende a ser elevado devido ao aumento da área de contacto, enquanto nas superfícies muito rugosas o atrito também pode ser alto porque, neste caso, a força necessária para promover o deslizamento entre as superfícies é alta, pois é necessário vencer a interação entre as asperezas das superfícies. Uma situação em que uma superfície mais rugosa gera mais atrito do que uma lisa, é quando um corpo com elevada dureza desliza sobre um corpo mais macio. Neste caso, as asperezas do corpo mais duro penetram no material mais macio aumentando a resistência ao movimento, ou seja, o atrito.

Nos sistemas lubrificados, a formação completa do filme só acontece quando este separa completamente as superfícies, pelo que a sua espessura pode ser tanto menor quanto menor a rugosidade das superfícies.

Na Figura 13 pode-se verificar um caso em que o aumento da rugosidade se traduz num aumento do coeficiente de atrito, no caso de contactos lubrificados [10].

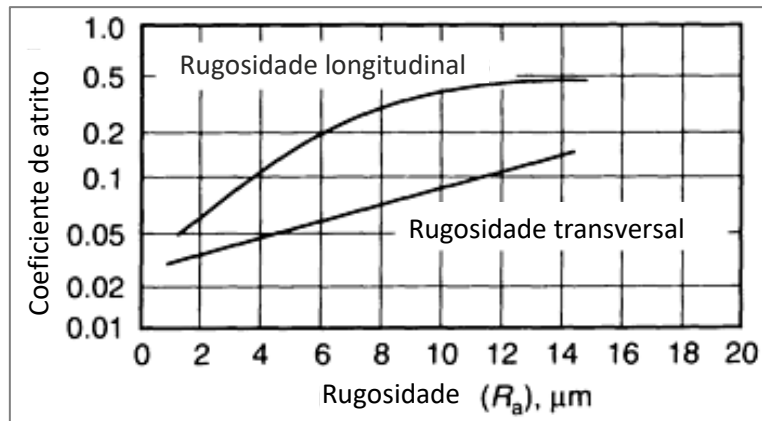


Figura 13 - Efeito da rugosidade em contactos lubrificadas hidrodinâmicos (adaptado [10])

2.3.2 Dureza

De uma forma geral, dentro de cada classe de materiais, o desgaste por abrasão diminui com o aumento da dureza superficial, como comprova o diagrama de Ashby (Figura 14) que relaciona a taxa de desgaste com a dureza dos materiais.

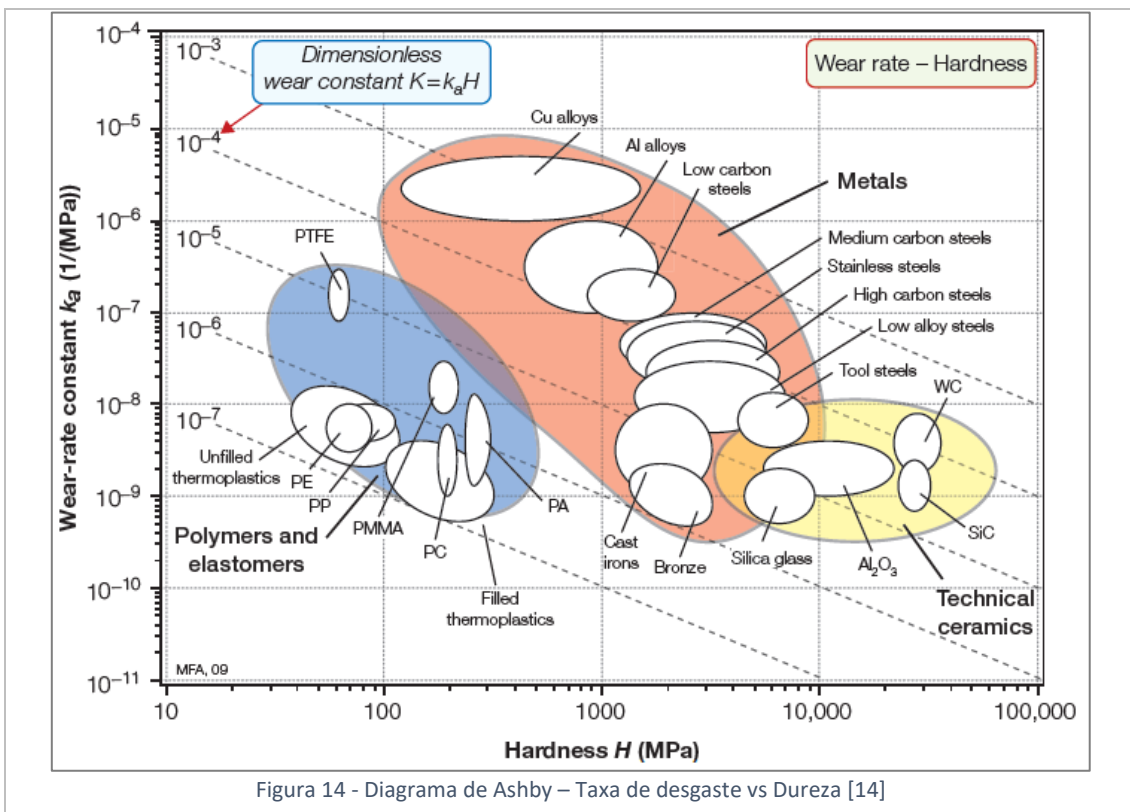


Figura 14 - Diagrama de Ashby – Taxa de desgaste vs Dureza [14]

O eixo vertical representa a taxa de desgaste, K_a , enquanto o eixo horizontal apresenta a evolução da dureza em MPa. As linhas diagonais assinalam o produto entre a dureza e a taxa de desgaste, que auxilia a seleção da melhor relação entre dureza e desgaste. Verifica-se que o bronze é o metal com menor taxa de desgaste e para a classe dos cerâmicos são os cerâmicos técnicos os mais resistentes ao desgaste.

A taxa de desgaste (K') é o quociente entre o volume de material removido da superfície de contacto (V) e a distância percorrida no contacto (x):

$$K' = \frac{V}{x} \left[\frac{mm^3}{m} \right]$$

A taxa normalizada de desgaste (lei de Archard) Ka é dada pelo quociente entre taxa de desgaste (K') e a força normal (F):

$$Ka = \frac{K'}{F} \left[\frac{m^2}{N} \right]$$

Estas expressões já foram introduzidas no subcapítulo 2.2.2 (página 17)

Uma elevada dureza superficial pode ser benéfica para uma maior resistência ao desgaste por abrasão. Contudo, o mesmo não acontece para todos os casos como, por exemplo, para situações de desgaste por impacto.

2.3.3 Velocidade de deslizamento

A velocidade de deslizamento é um fator a ter em consideração no comportamento tribológico dos materiais. O efeito deste parâmetro depende do sistema tribológico. O aumento da velocidade de deslizamento provoca um aumento da quantidade de calor gerado na interface, o qual pode resultar na formação de um filme de óxido superficial de baixa resistência ao corte e, em casos extremos, na fusão local, diminuindo o atrito, pois o filme de metal líquido funciona com lubrificante.

Por outro lado, o aumento da ductilidade dos materiais, devido ao aumento da temperatura, criada pelo aumento da velocidade de deslizamento, facilita a deformação plástica do material e por consequência aumenta o desgaste.

No caso de contactos lubrificados, a velocidade de deslizamento influencia o regime de lubrificação e consequentemente o atrito e o desgaste.

Ou seja, torna-se difícil prever o efeito da velocidade de deslizamento no comportamento tribológico.

2.3.4 Carga normal

Em condições de atrito por deslizamento, o desgaste dos metais é caracterizado por dois regimes: regime de desgaste suave e regime de desgaste severo. Um dos fatores que provoca a passagem de um regime para outro é a carga normal. O regime de desgaste suave é proporcionado por baixas cargas normais e baixas velocidades de deslizamento. Condições de trabalho severas (esforços e velocidades elevadas e ausência completa de lubrificação) promovem o desgaste severo.

Um exemplo da relação entre desgaste, velocidade e carga pode ser visualizado na Figura 15, para duas superfícies de ferro. O desgaste, de modo geral, aumenta gradualmente com o aumento da carga e da velocidade. O grande aumento de desgaste acontece do primeiro para o segundo patamar, devendo-se à mudança da estrutura da superfície de contacto entre Fe_2O_3 , Fe_3O_4 e FeO . A diminuição do desgaste no terceiro patamar deve-se à formação de outro óxido desenvolvido a uma temperatura de contacto mais elevada [10].

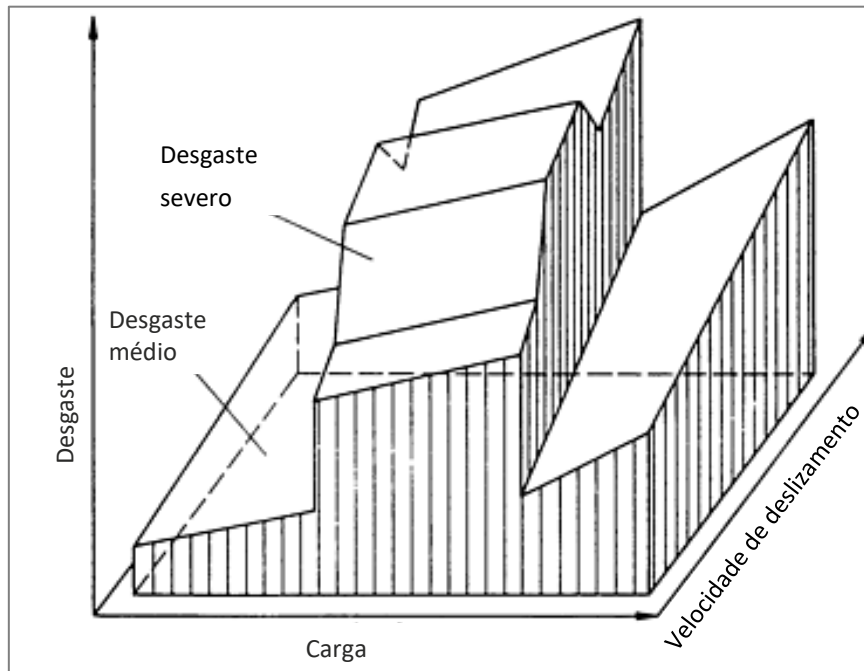


Figura 15 - Desgaste vs carga vs velocidade deslizamento em duas superfícies de ferro (escalas logarítmicas) (adaptado [10])

2.3.5 Temperatura

A temperatura é outro fator que influencia o comportamento tribológico dos materiais, pois afeta a temperatura das superfícies em deslizamento. Os efeitos da temperatura num sistema tribológico são vários, podendo [15]:

1. Alterar propriedades mecânicas como a ductilidade e a resistência ao corte dos materiais e da interface;
2. Alterar a reatividade das superfícies, por exemplo acelerar as reações de oxidação;
3. Causar transformações de fase;
4. Alterar a viscosidade dos lubrificantes [15].

O aumento da temperatura reduz a dureza e aumenta a ductilidade dos materiais, facilitando o crescimento da área real de contacto provocando um aumento do coeficiente de atrito.

Contudo, existem exemplos, em que o aumento da temperatura pode originar uma diminuição do coeficiente de atrito, tal como se pode observar no exemplo da Figura 16, onde as superfícies em contacto são de PTFE e aço (AISI 52100, 800 HV, $R_a = 0,02 \mu\text{m}$).

De facto, no caso de metais, o aumento da temperatura pode facilitar a formação de camadas de óxido que protegem o metal, resultando em menor adesão e menor coeficiente de atrito.

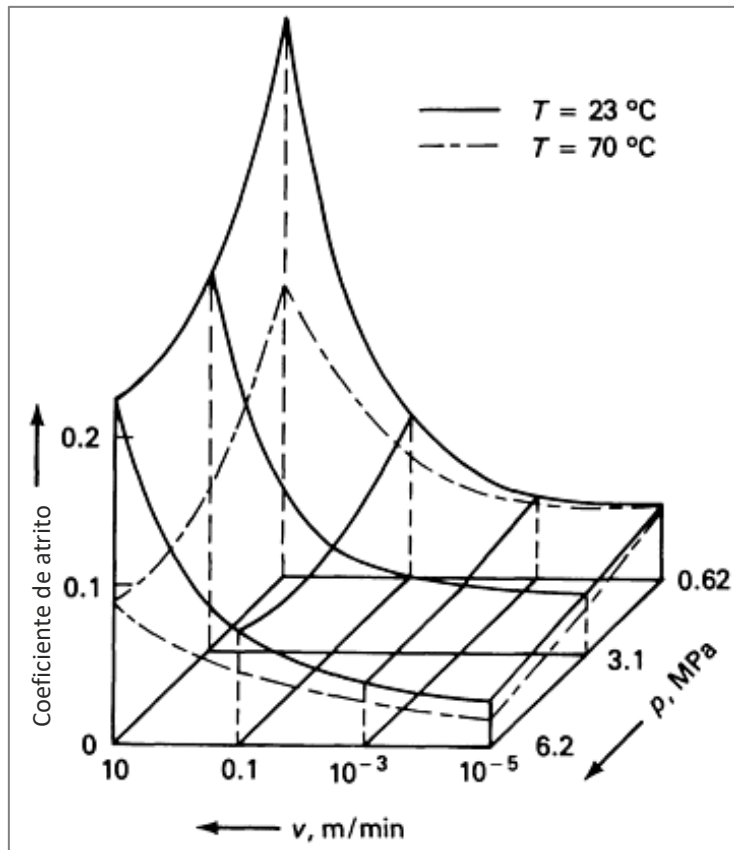


Figura 16 - Variação do coeficiente de atrito em função da temperatura, velocidade e pressão (adaptado [10])

2.3.6 Lubrificação

A lubrificação influencia diretamente o comportamento tribológico dos materiais. Os lubrificantes são utilizados no sentido de melhorar o desempenho dos sistemas, diminuir o atrito, a temperatura, o ruído e fundamentalmente aumentar a durabilidade de órgãos de máquinas. Pois, como já referido no capítulo 2.2.3, a lubrificação tem como principais objetivos: separar as superfícies eliminando grande parte dos problemas por fadiga, retirar partículas do contacto evitando abrasão a três corpos, baixar a temperatura do contacto evitando o fenómeno de adesão das superfícies.

O efeito da lubrificação varia com o regime de lubrificação. A Figura 17 exibe a evolução do coeficiente de atrito consoante o regime de lubrificação. Verifica-se que a severidade do contacto diminui com o aumento da espessura da película de filme lubrificante. O coeficiente de atrito diminui com o aumento da espessura de filme até chegar ao regime hidrodinâmico. A eficácia de uma película lubrificante depende de vários fatores como, por exemplo, da rugosidade das superfícies, da carga, da velocidade, da temperatura, entre outros.

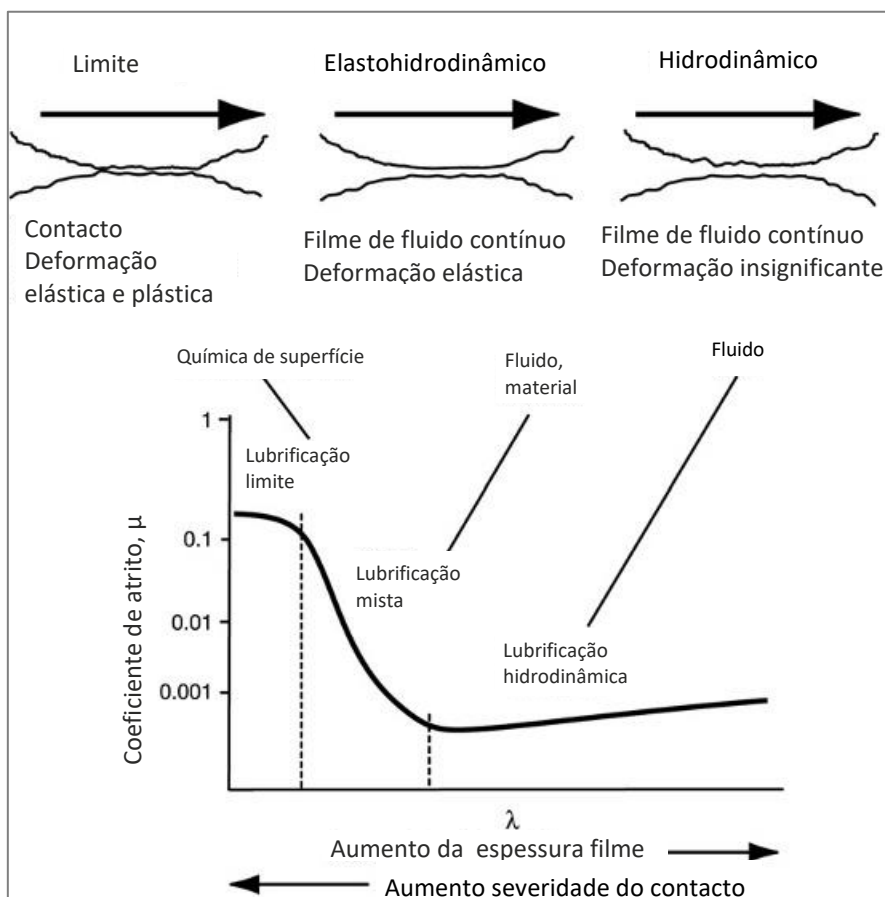


Figura 17 – Comparação do coeficiente de atrito com os diferentes regimes de lubrificação (adaptado de Holmberg, 2009 [3])

2.3.7 Tratamentos superficiais e revestimentos de superfície

Durante o projeto de componentes mecânicos é comum a necessidade de uma grande resistência ao desgaste na superfície, que implica uma elevada dureza da superfície, e uma grande tenacidade requerida para o núcleo, capaz de resistir a grandes esforços. A melhor forma de resolver o problema passa pela modificação das características das superfícies. Esta modificação pode ser feita por diferentes métodos [16]:

- Tratamentos superficiais – incorporação de um ou mais elementos na superfície do material de base, pela ação de atmosferas ricas em determinados elementos químicos;
- Revestimentos – deposição de filmes finos sobre a superfície.

Os revestimentos são amplamente utilizados para controlar (reduzir) o coeficiente de atrito e o desgaste. Os respetivos coeficientes podem ser reduzidos em várias ordens de grandeza. Os resultados foram conseguidos através de tentativa e erro, variando-se o material do revestimento, rugosidade da superfície, dureza e espessura do revestimento, pois não existe um conceito teórico que compreenda satisfatoriamente o que acontece no contacto tribológico revestido [3].

A espessura do revestimento é um parâmetro muito importante pois influencia diretamente a pressão de contacto. É difícil saber qual a espessura ótima para a obtenção dos melhores resultados para cada aplicação [3]. A dureza do revestimento também é um parâmetro muito importante, assim como a sua ligação com o substrato. A utilização de revestimentos duros com substratos macios faz diminuir o desgaste, enquanto a utilização de revestimentos macios em substratos duros faz diminuir o coeficiente de atrito, sendo as duas opções estudadas separadamente e utilizadas para diferentes aplicações.

São exemplos de aplicação de revestimentos macios em núcleos duros: rolamentos, rolamentos deslizantes, engrenagens, excêntricos. Enquanto ferramentas de corte e de conformação de metais são exemplos de aplicação de revestimentos duros em núcleos macios.

Diversos estudos são feitos na área da biomédica com o objetivo de aprimorar características não corrosivas, não tóxicas, sendo os recursos biocompatíveis combinados com alta resistência mecânica e tenacidade à fratura [3].

Como referido anteriormente a área dos tratamentos superficiais e dos revestimentos alberga as mais diversas aplicações, existindo uma quantidade enorme de variantes à alteração das características das superfícies.

2.3.8 Comportamento dinâmico das máquinas de ensaio

Pode-se considerar o comportamento dinâmico das máquinas de ensaio como um parâmetro que influencia o comportamento de um sistema tribológico, embora não estando ligado às propriedades dos materiais nem sequer das condições de ensaio, como velocidade, temperatura, como muitas outras, mas tem influência direta nos resultados de ensaio.

Na Figura 18 é possível visualizar os resultados de um estudo realizado no âmbito do programa VAMAS, em que 23 laboratórios, dispersos por 11 países, realizaram mais de 200 ensaios de atrito e desgaste. Os ensaios foram realizados nas mesmas condições (materiais, carga, velocidade, ambiente, distância de escorregamento, tipo de contacto, etc.) mas, evidentemente, cada laboratório utilizou o seu tribómetro pino-disco. O CETRIB/INEGI foi o laboratório português que participou nesta atividade. Constatou-se que os resultados obtidos pelos diferentes laboratórios apresentaram uma significativa dispersão, que poderá dever-se às características dinâmicas dos tribómetros utilizados.

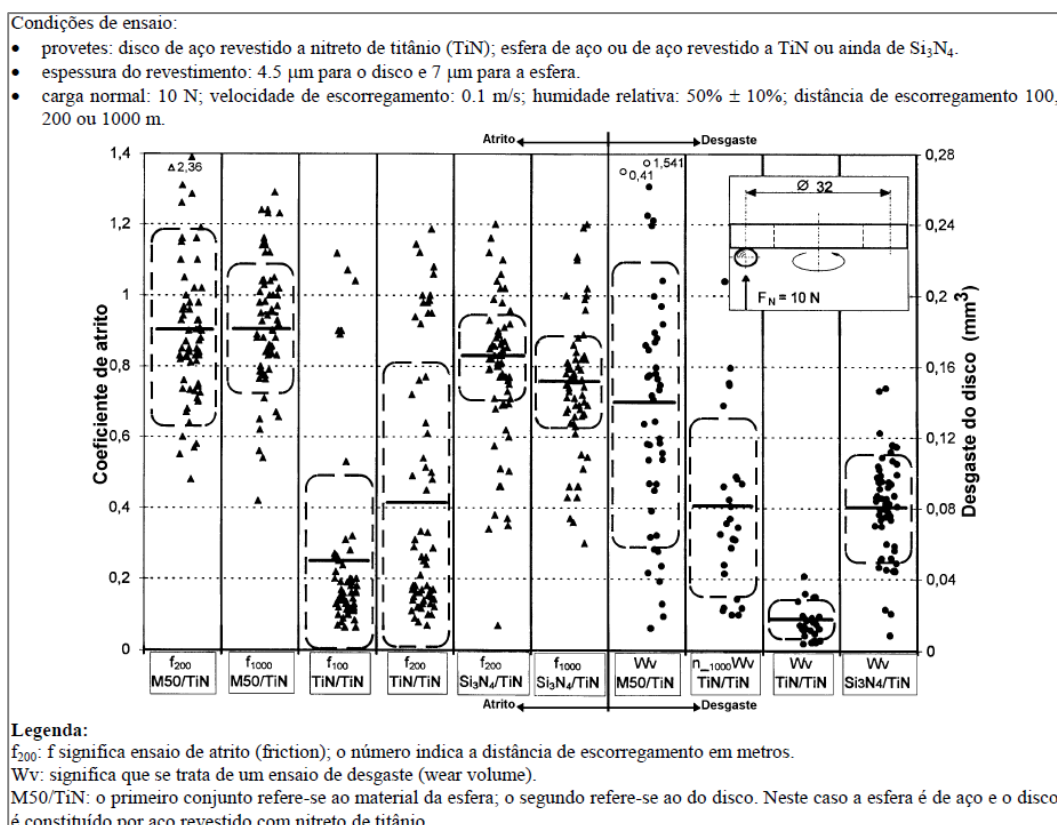


Figura 18 - Santner, E. e Kobhler, K., "Tribological testing of TiN-coatings in dry sliding contacts-Evaluation of an international multilaboratory project", World Tribology Congress London, 1997, p. 501 [12]

As vibrações da máquina originadas no próprio contacto, ou noutra ponto da cadeia cinemática, mais ou menos amplificadas em função das características de rigidez e de amortecimento, podem ser um fator de perturbação nos resultados apresentados na figura anterior. De facto, diferentes fabricantes de máquinas de ensaio (tribómetros) apresentam diferentes projetos, estruturas, métodos de aplicação da carga, métodos de

leitura da força de atrito, etc., que condicionam o comportamento dinâmico das respectivas máquinas e que, por sua vez, podem influenciar os resultados tribológicos obtidos nesses tribômetros [12].

Para finalizar este breve estudo sobre alguns dos parâmetros que influenciam o comportamento tribológico de materiais, interessa salientar que este estudo é complexo porque há uma interdependência entre eles e, além disso, os efeitos de cada parâmetro não são sempre os mesmos, dependem do sistema tribológico. Por exemplo, o atrito pode ser elevado quer para superfícies lisas quer para superfícies rugosas.

Na tentativa de realizar um estudo mais metódico dos fenómenos tribológicos foram desenvolvidas determinadas máquinas de ensaio que, tal com já foi referido, se designam por tribômetros.

2.4 Tribómetros

Para análise e compreensão, através de ensaios, dos fenômenos de atrito e desgaste são utilizados tribómetros. De forma muito simplificada, um tribómetro é um equipamento em que duas ou mais superfícies estão em contacto, sendo que pelo menos uma delas movimenta-se em relação à outra, e pelo menos uma delas tem aplicada uma carga. A partir das consequências desse movimento são retirados os resultados desse ensaio. Também são frequentemente utilizados para testar a capacidade e/ou compatibilidade de lubrificantes com certos materiais.

Um esquema dos parâmetros e características que englobam um teste tribológico encontra-se na Figura 19. Os parâmetros operacionais que podem ser considerados são o tipo de movimento, geometria de contacto, carga, velocidade, temperatura e duração do ensaio, que podem ser também considerados como *inputs*. A estrutura da configuração do teste é composta pelas duas superfícies, atmosfera e lubrificante (se existir). As superfícies têm como principais características a topografia das mesmas e as suas composições.

Com saídas (*outputs*) do ensaio temos essencialmente a força de atrito, coeficiente de atrito, ruído, vibrações, diferença de temperatura e desgaste.

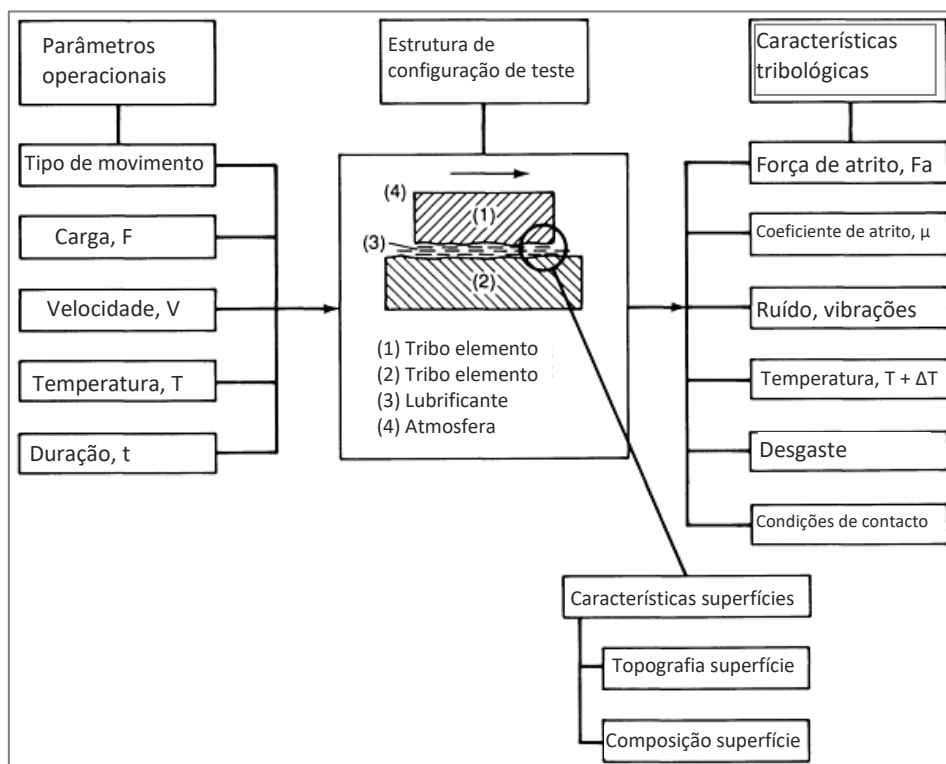
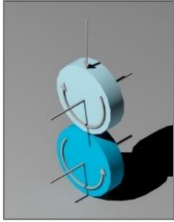

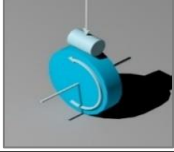
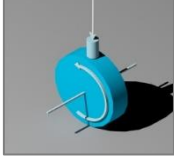

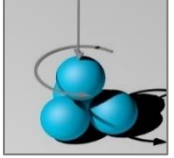
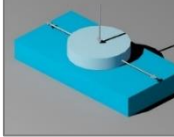
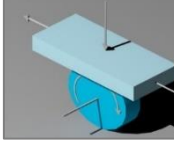


Figura 19 – Esquema das características básicas e parâmetros relevantes em testes tribológicos em laboratório (adaptado [10])

2.4.1 Tipos de contato (geometrias)

Existem diversos tipos de contactos para ensaios em tribómetros. Os contactos podem ser divididos em dois grandes grupos: lineares e rotativos, embora seja possível fazer conjugações entre ambos. Na Tabela 2 estão descritos os principais tipos [17].

Tabela 2 - Diferentes tipos de contacto

Tipo de contacto	Representação esquemática	Geometria de contacto teórico	Tipo tribómetro
Disco - disco		Linha	Rotativo
Esfera - disco		Ponto	Rotativo
Cilindro - disco		Ponto	Rotativo
Pino - disco		Linha	Rotativo
Pino - disco		Círculo	Rotativo
4 esferas		4 pontos	Rotativo
Placa - Disco		Círculo	Linear
Bloco - disco		Linha	Linear + rotativo

2.4.2 Análise de equipamentos existentes

Antes de iniciar o projeto do tribómetro alvo desta dissertação, foi necessário analisar diferentes tipos de tribómetros existentes no mercado para identificar as soluções adotadas, bem como as suas vantagens e desvantagens.

Foi efetuada uma pesquisa no sentido de se apurar a existência de tribómetros com a geometria pretendida, obtendo um resultado quase nulo com a exceção de um construído pela FEUP. Contudo foi possível verificar que dentro dos tribómetros rotativos a geometria pino- disco é a dominante.

Os grandes fabricantes de tribómetros, PLINT, NANOEVA, ANTON PAAR, BRUKER, adotam diferentes opções para atingir os diferentes objetivos, mas apenas foi possível encontrar uma solução para a geometria pretendida, bloco-disco, um opcional do tribómetro da PLINT modelo TE88/B.

A grande diferença construtiva entre o tipo de geometria dominante, pino-disco (Figura 20), e o tipo de geometria pretendido para o tribómetro desta dissertação, bloco-disco (Figura 21), é que no caso do pino-disco o disco geralmente encontra-se com o eixo de rotação perpendicular à mesa, sendo o contacto realizado sobre a face plana do mesmo. No caso do bloco-disco, o disco apresenta geralmente o eixo de rotação paralelo à mesa, sendo a superfície de ensaio o diâmetro exterior.

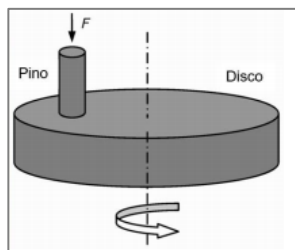


Figura 20 – Configuração pino-disco

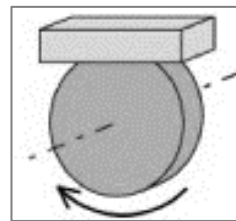


Figura 21 – Configuração bloco-disco

Nos subcapítulos seguintes são apresentados alguns tribómetros analisados no âmbito deste trabalho. No Anexo 6.1 encontra-se uma tabela comparativa de todos os tribómetros analisados de diferentes fabricantes, mesmo os que apresentam diferentes geometrias de contacto. Foram ainda analisadas e comparadas as velocidades de ensaio, as geometrias das amostras, o método de aplicação de carga e a existência (ou não) de leitura da força de atrito, entre outras.

2.4.2.1 Tribómetro de Blouet

O tribómetro de *Blouet*, equipamento existente no INEGI, fabricado em 1980, possuiu a capacidade de obter leitura da força de atrito, de alterar a carga e velocidade de deslizamento. Além disso, permite a realização de ensaios com lubrificação. Este tribómetro, bloco-disco, pode ser observado nas figuras seguintes.

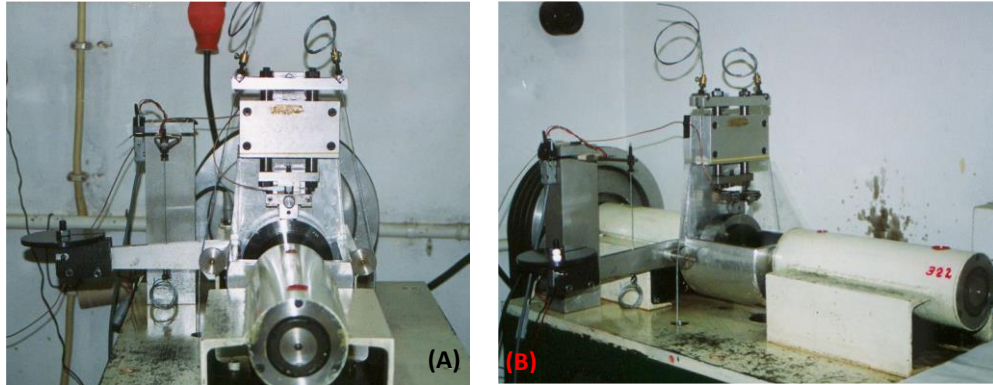


Figura 22 - Tribómetro de *Blouet* - vista frontal (A) e vista lateral (B) [12]

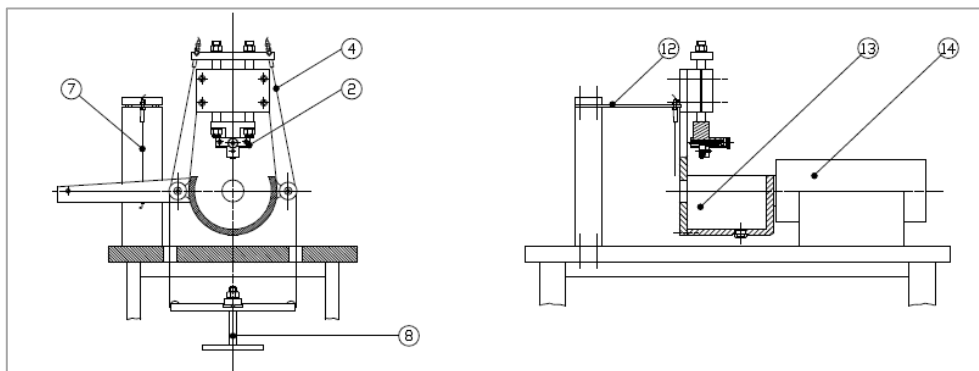


Figura 23 - Esquema do tribómetro de *Blouet* (1) [12]

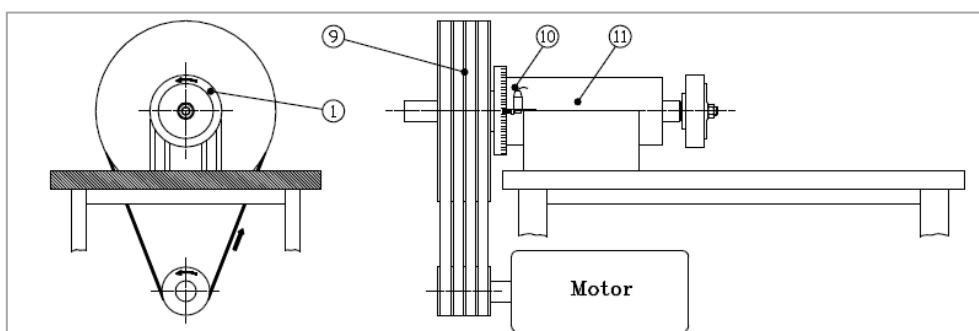


Figura 24 - Esquema do tribómetro de *Blouet* (2) [12]

Este tribómetro pode ser dividido em duas partes, a parte do acionamento (lado do disco), onde o disco está apoiado numa chumaceira e é acionado pelo motor. A segunda parte engloba o bloco e está toda ela apoiada noutra chumaceira alinhada com a chumaceira do disco. Devido à força de atrito gerada no contacto entre os provetes, o bloco tende a acompanhar o movimento de rotação do disco, mas tal é impedido pela célula de carga [12].

2.4.2.2 Tribómetro PLINT TE88

Outro dos tribómetros analisados foi o PLINT TE88. É um equipamento versátil que permite vários tipos de ensaio com diferentes tipos de contacto. A carga é aplicada por um sistema pneumático, ligado a uma célula de carga que indica com exatidão a força aplicada, a regulação desta é feita por um regulador de pressão manual. Tem leitura da força de atrito e mede o desgaste até 1,5 mm através de um LVDT. O fabricante anuncia que em todas as versões, existe o opcional de realizar três ensaios ao mesmo tempo. Uma das versões disponíveis é a linear, designada por TE88/R Modulo Pino-Placa. O movimento de vaivém é feito por um sistema braço-manivela. Permite ensaios com lubrificação, tem ainda um termopar para leitura de temperaturas até 400°C.

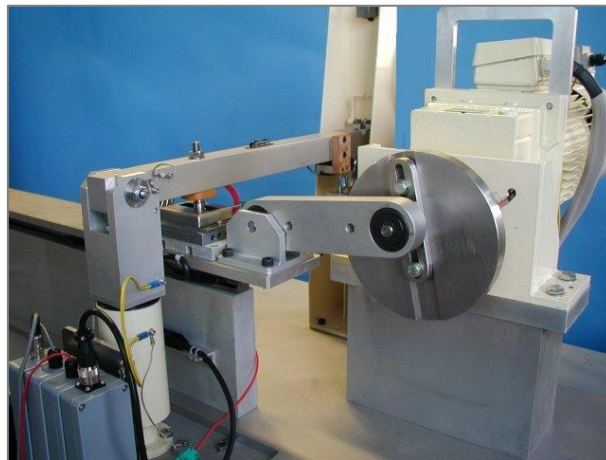


Figura 25 - Tribómetro PLINT TE88/R [18]

Outra das versões disponíveis é a versão pino-disco, designada de TE88/P. Como é habitual neste tipo de geometria de contacto o disco é que se movimenta. Está disponível ainda uma opção para ensaios a altas temperaturas, TE88/HT.

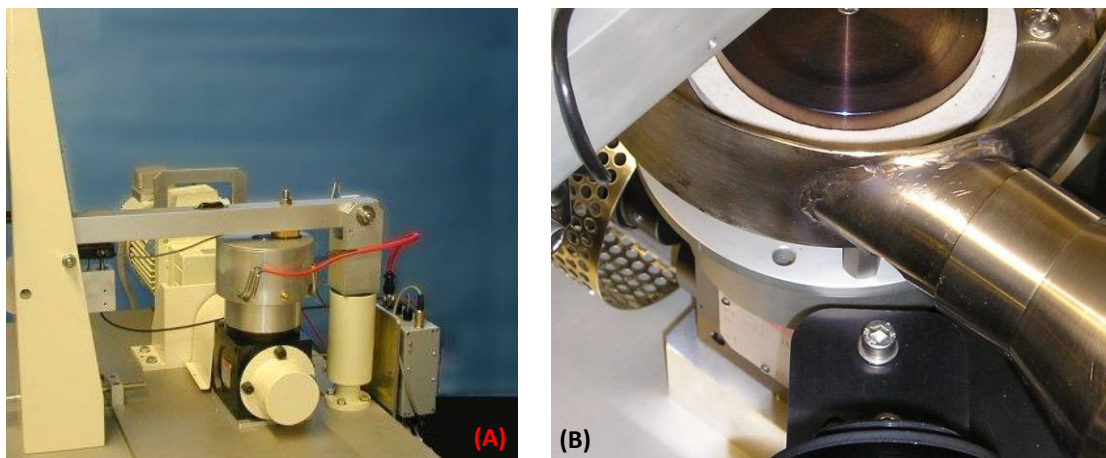


Figura 26 – (A) Tribómetro PLINT TE88/P; (B) TE88/HT Versão para altas temperaturas [18]

A última versão disponível é a bloco-disco. Neste caso já não são possíveis ensaios com lubrificação nem a altas temperaturas, apenas ensaios às condições ambientais.

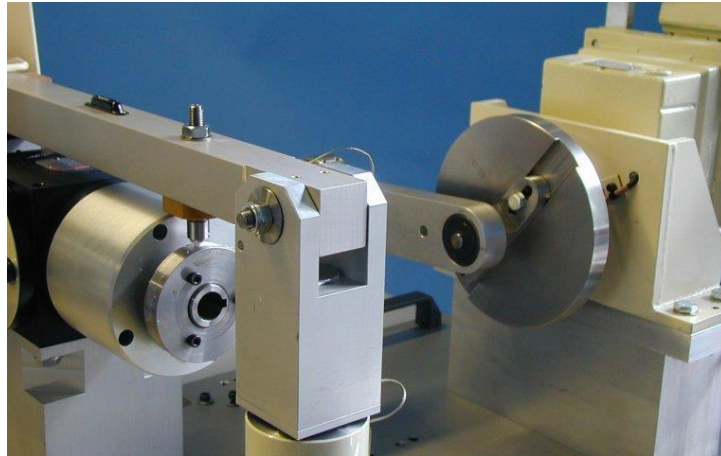


Figura 27 - Tribómetro PLINT TE88/B [18]

2.4.2.3 Tribómetro UTS T10

O tribómetro da marca UTS, de origem turca, modelo T10, apresenta um contacto do tipo pino-disco. A construção aparenta ser baseada no modelo THT da ANTON PAAR. A carga é aplicada por pesos colocados diretamente por cima do pino, sendo equipado com sensor de desgaste com leitura até 4 mm, leitura da força de atrito e permite ensaios a altas temperaturas. O corpo é construído a partir de alumínio anodizado de alta resistência. O afastamento/aproximação do centro do disco é feita através do movimento de todo o sistema do pino.



Figura 28 - Tribómetro UTS T10 [19]

2.4.3 Resultados tribológicos

Os resultados tribológicos são geralmente apresentados de três formas: gráficos tribológicos, diagramas de transição ou mapas tribológicos [10].

Os gráficos tribológicos apresentam a medição do atrito e do desgaste em função dos diferentes parâmetros com que foram obtidos:

- Operacionais: carga, velocidade, temperatura e duração do teste;
- Estruturais: pares de materiais, microestrutura, dureza e rugosidade;
- Interação: pressão de contacto e regime de lubrificação.

A Figura 29 demonstra a evolução do coeficiente de atrito e do desgaste, em ensaios típicos de metal contra metal, ao longo do tempo e através de gráficos tribológicos.

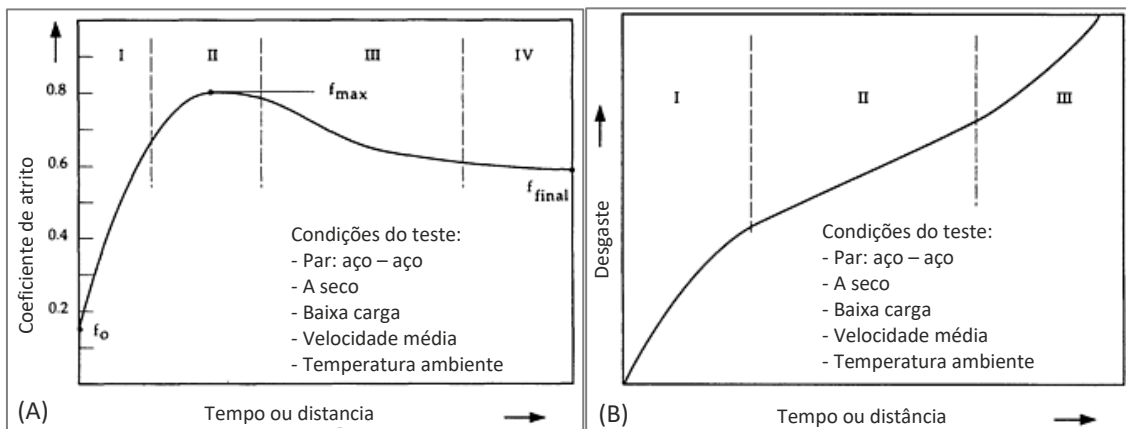


Figura 29 - Gráficos tribológicos: (A) Coeficiente de atrito em função do tempo; (B) Desgaste acumulado em função do tempo (adaptado [10])

Podem ser construídos gráficos da evolução do desgaste em função do tempo, ou em função da alteração de parâmetros operacionais como os já referidos no capítulo 2.3, como é o exemplo da Figura 15 que relaciona o desgaste com a velocidade e a carga.

Os diagramas de transição caracterizam as condições críticas de parâmetros operacionais e separam o regime de eficiência de desempenho dos regimes de falha. Um exemplo é o exibido na Figura 30 em que mantendo a velocidade, o tempo de ensaio, a temperatura e variando apenas a carga, verifica-se que mesmo com o aumento da carga aplicada, o coeficiente de atrito e o desgaste mantêm-se constantes até ao ponto de transição, caracterizando-se por um aumento exponencial. A partir desse ponto o desempenho é ineficiente.

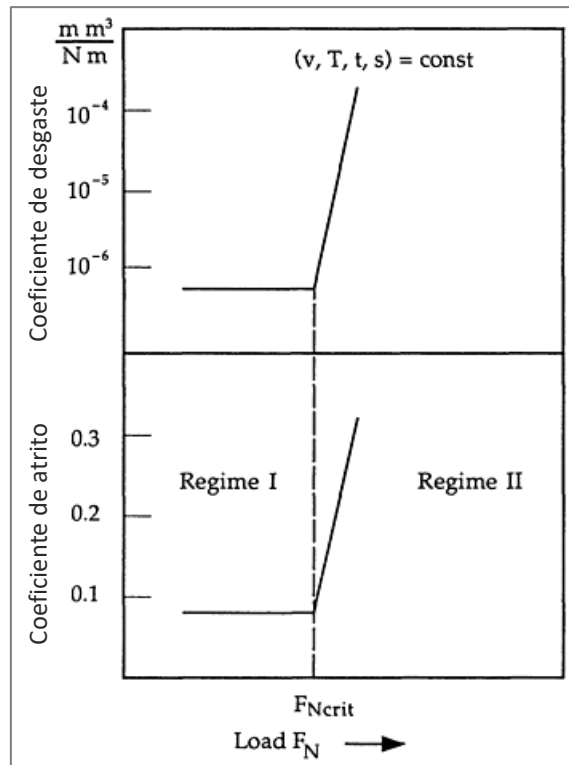


Figura 30 - Regime de transição (adaptado [10])

Os mapas tribológicos caracterizam as condições operacionais que separam os diferentes regimes de mecanismo de desgaste ou diferentes faixas de dados de desgaste. Estes mapas conjugam os parâmetros: velocidade, volume perdido e pressão nominal normalizados num só mapa, o que pode ser extremamente útil, por exemplo na escolha de materiais. Na Figura 31 encontra-se representado o mapa de desgaste do aço a deslizar sobre aço na configuração pino-sobre-disco, ao ar e à temperatura ambiente.

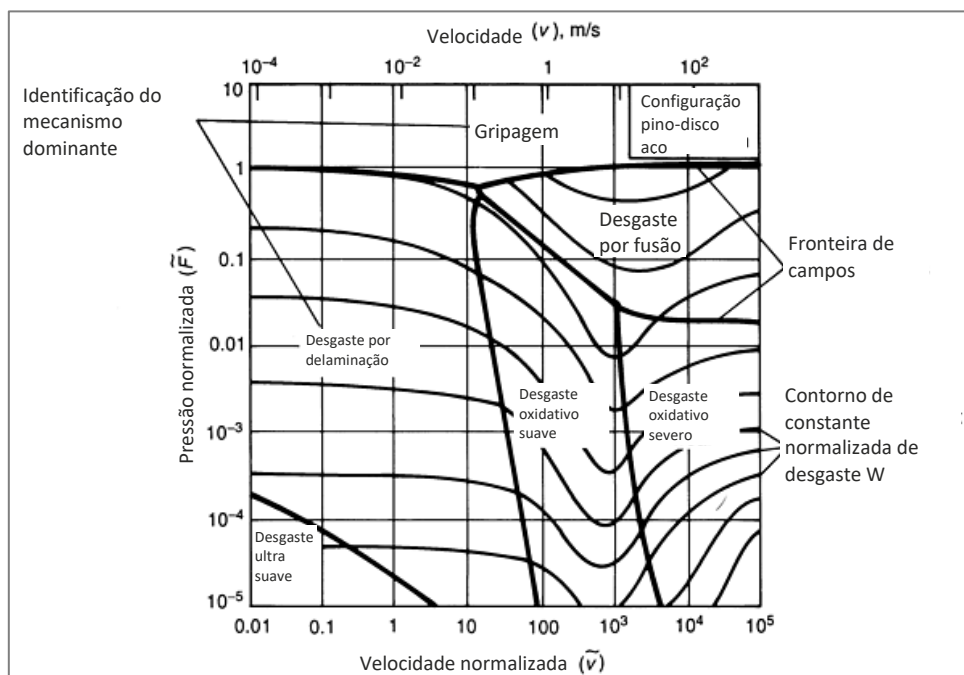


Figura 31 - Mapa do mecanismo de desgaste para aço (configuração pino-no-disco) (adaptado [10])

No eixo das ordenadas e das abcissas do mapa da Figura 31 estão os valores normalizados de pressão e velocidade, respetivamente. A pressão normalizada é definida como sendo a força normal a dividir pela área nominal de contacto multiplicada pela dureza do material menos duro, e a velocidade normalizada como a velocidade de deslizamento multiplicada pelo raio da área nominal de contacto e a dividir pela difusividade térmica [10]. No eixo das abcissas, em cima, são também representados os valores de velocidade de deslizamento em m/s. Através da determinação da pressão e velocidade normalizada aplicadas a um determinado sistema tribológico, consegue-se descobrir que tipo de regime de desgaste é teoricamente expectável de ser observado.

DESENVOLVIMENTO

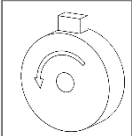
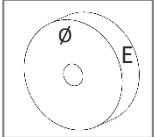
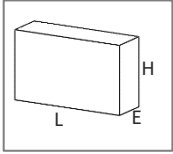
- 3.1 Especificações do tribómetro**
- 3.2 Funções do tribómetro**
- 3.3 Princípio de funcionamento (primeiros esboços)**
- 3.4 Vista geral do tribómetro projetado**
- 3.5 Sistema do disco (movimento rotativo)**
- 3.6 Sistema do bloco**
- 3.7 Sistema de aquisição da força de atrito**
- 3.8 Estrutura**
- 3.9 Ensaios com lubrificação**
- 3.10 Sistemas auxiliares**
- 3.11 Orçamentação**

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Especificações do tribómetro

O tribómetro a projetar terá de cumprir as características enumeradas na Tabela 3.

Tabela 3 - Objetivos e especificações impostas para o tribómetro

Descrição	Objetivo	
Tipo de ensaio tribológico	<ul style="list-style-type: none"> Deslizamento (escorregamento). 	
Configuração do ensaio	<ul style="list-style-type: none"> Bloco – disco (no início do ensaio o contacto entre o bloco e o disco é um contacto linear). 	
	<ul style="list-style-type: none"> Disco: Geometria cilíndrica com as seguintes dimensões de referência: $\varnothing = 120$ mm e $E = 30$ mm. 	
Provetes (geometria)	<ul style="list-style-type: none"> Bloco: Geometria prismática retangular com as dimensões de referência: $E = 3$ mm; $L = 12$ mm; $H = 6$ mm. Contudo o sistema deve permitir blocos com outras dimensões. 	
Velocidade máxima	<ul style="list-style-type: none"> 5 m/s 	
Carga máxima	<ul style="list-style-type: none"> 200 N 	
Dados a adquirir dos ensaios	<ul style="list-style-type: none"> Carga (pressão de contacto) Velocidade do contacto Força de atrito (e coeficiente de atrito) Desgaste Número de rotações do disco (ou distância percorrida); 	
Outras caraterísticas	<ul style="list-style-type: none"> Robustez do equipamento; Rápido e simples <i>setup</i> da máquina; Permitir ensaios com lubrificação; 	

3.2 Funções do tribómetro

Tal como já foi referido o objetivo global deste trabalho foi o desenvolvimento de um tribómetro bloco-disco com determinadas especificações, apresentadas no ponto anterior, e com a capacidade de desempenhar diversas funções.

A Figura 32 apresenta a árvore de funções definida para este projeto. A função global do tribómetro é a realização de ensaios tribológicos que permitam estabelecer uma relação entre os parâmetros de entrada e os de saída. Para que isto seja possível, o equipamento necessita de vários sistemas que desempenhem diversas funções como, por exemplo, movimento das amostras, aplicação da carga normal e aquisição de dados. Nesta árvore pode-se, em alguns casos, observar várias soluções para os vários sistemas necessários para o tribómetro.

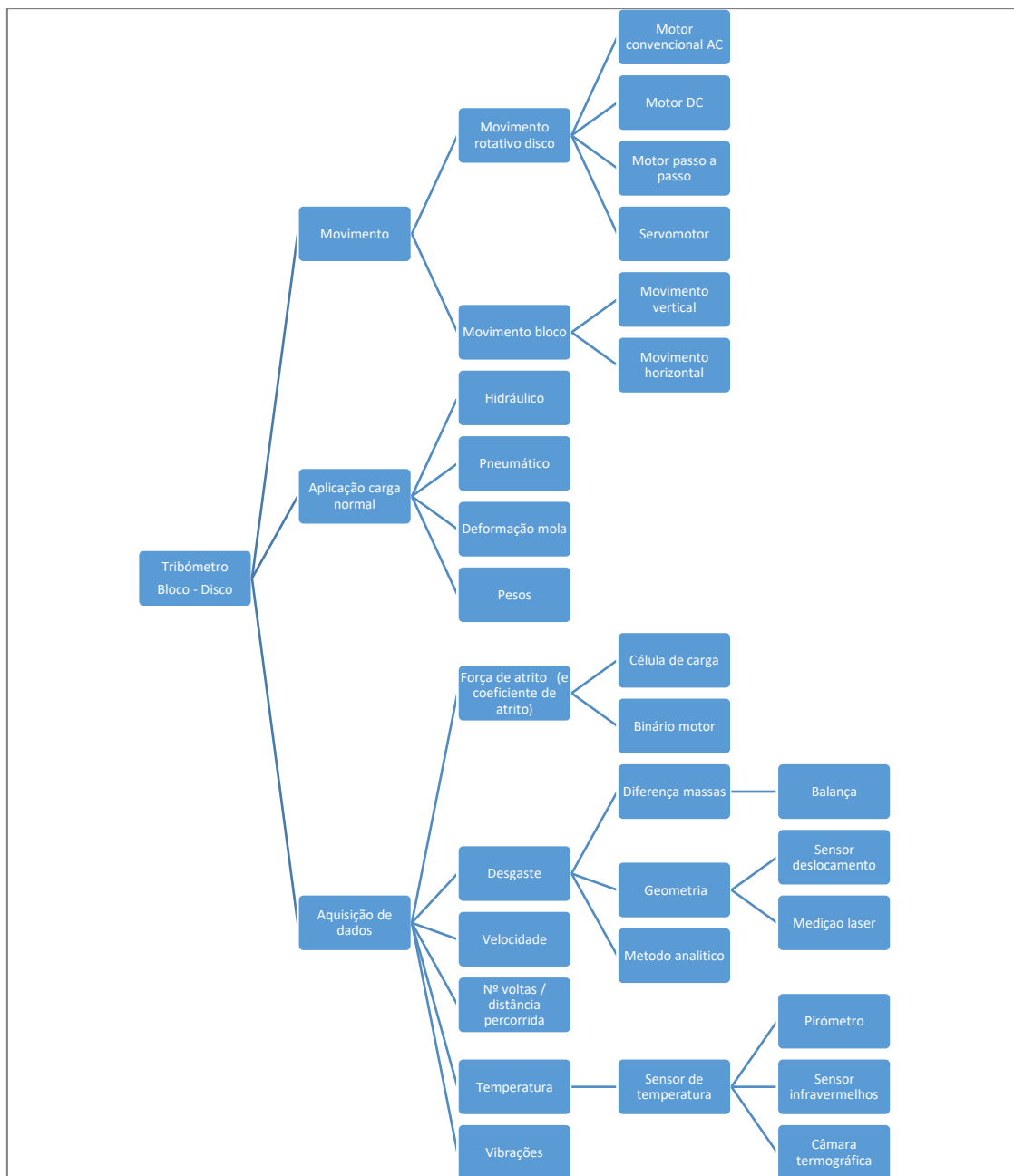


Figura 32 – Definição de funções do tribómetro a projetar

3.2.1 Seleção do tipo de motor

Para este projeto é necessário a escolha do motor mais apropriado atendendo às características da aplicação. Os diferentes tipos de motores têm diferentes características sendo cada um deles mais apropriados a um certo tipo de aplicações.

Existem 4 grandes grupos de motores:

- Motores de corrente contínua
- Motores de passo a passo
- Motores monofásicos ou trifásicos do tipo universal
- Servomotores

Os motores de corrente contínua são normalmente usados em sistemas cuja alimentação é de corrente contínua como, por exemplo, as baterias dos automóveis. Têm como vantagens o elevado binário mesmo no arranque a baixas rotações, mas requerem manutenção mais frequente que os motores universais [20].

Nos motores passo a passo o binário debitado diminui imenso com o aumento da velocidade. Como o próprio nome indica, sendo passo a passo é simples controlar o posicionamento. São construídos para baixas solicitações, pelo que não são opção para este projeto.

Os motores universais (corrente alternada) monofásicos ou trifásicos são as soluções mais encontradas em equipamentos industriais. Devido à ampla gama disponível, devido a serem os mais económicos e pela manutenção simples. Quando usados em aplicações de posicionamento requerem um sistema paralelo de leitura do posicionamento e um sistema eletrónico que faça arrancar e parar o motor.

Com o desenvolvimento tecnológico das últimas décadas foram criados os servomotores. Estes motores podem ser de corrente contínua ou alternada, mas têm a enorme vantagem de trazerem sistema de leitura, posicionamento e controlo já integrados. Dependendo do modelo, a velocidade atingida pode chegar até às 10.000 rpm podendo ser selecionada eletronicamente. O binário disponível mantém-se em grande parte da gama de velocidades.

Para este projeto foi selecionado o servomotor como tipo de motor a utilizar. As justificações para a sua escolha são: a sua adaptabilidade a diferentes velocidades (que se torna muito interessante para este projeto); e fundamentalmente pela sua rápida capacidade de reação a alterações nas condições de trabalho. De facto, durante os ensaios tribológicos o esforço a que o motor está sujeito não é constante o que poderia provocar variações na velocidade de escorregamento.

Com a eletrónica do conjunto do servomotor essas variações serão compensadas instantaneamente.

3.2.2 Seleção do método de aplicação da carga normal

Existem vários métodos possíveis de aplicação da carga normal. Na Tabela 4 são apresentadas as vantagens e desvantagens de alguns desses métodos.

Tabela 4 - Métodos de aplicação da carga normal

	Vantagens	Desvantagens
Pesos mortos	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzido custo; • Conhecimento exato da carga aplicada; • Simplicidade do sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> • “Método artesanal”; • <i>Suscetível a erro humano</i>; • <i>Setup</i> demorado.
Hidráulico	<ul style="list-style-type: none"> • Rápido <i>setup</i> para as diferentes gamas de carga; • Grande amplitude de cargas disponíveis; • Boa precisão e fiabilidade. 	<ul style="list-style-type: none"> • Complexidade do sistema; • Necessárias válvulas de precisão; • Fluido poluente; • Elevado custo de aquisição e de manutenção.
Pneumático	<ul style="list-style-type: none"> • Fluido de trabalho não poluente - “sala limpa”; • Simplicidade do sistema quando comparado com o método hidráulico; • Manutenção simples. 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de precisão; • Custo; • Necessita de instalação de ar comprimido.

O método de aplicação de pesos mantém este tribómetro simples e de baixo custo, e dá garantias da carga aplicada durante cada ensaio.

3.2.3 Seleção dos sistemas de aquisição de dados

A aquisição de dados é de grande importância para o projeto deste e qualquer outro tribómetro, pois sem esta aquisição antes, durante e após os ensaios não será possível compreender os fenómenos tribológicos. A Figura 32 apresentada anteriormente exhibe, em síntese, os dados possíveis de retirar de cada um dos ensaios.

A programação da velocidade e o controlo da mesma será da responsabilidade do sistema eletrónico do servomotor, assim como o número de rotações do disco, que facilmente se traduz em distância percorrida, através do perímetro do disco.

A medição da força de atrito, e correspondente coeficiente de atrito, pode ser feito através de vários métodos:

- Célula de carga, dispositivo que mede a força aplicada. Consiste basicamente num aparelho, fabricado apenas com o propósito de medição de força. É constituído normalmente por extensómetros que medem o deslocamento. Esta tem a vantagem de ser de simples aplicação.
- A medição da força de atrito pode também ser feita pelo binário “consumido” no contacto, a leitura pode ser feita através de dispositivos designados de sensores de binário.

A medição do desgaste pode ser feita de várias formas:

- Pela diferença de massas (medição antes e depois do ensaio);
- Pela medição da geometria das amostras (antes e depois do ensaio) seja por métodos tradicionais, recorrendo a uso de paquímetro ou a métodos mais modernos como o uso do perfilómetro (conforme o aumento da precisão desta medição, mais precisos são os resultados);
- Em tempo real com recurso a sensores de deslocamento.

A medição da temperatura de contacto pode ser feita através de contacto indireto ou sem contacto. Não é possível que o sensor possa tocar no contacto, daí o contacto não poder ser direta, mas o sensor pode ficar próximo do contacto de forma a que a temperatura atinja o sensor por condução. Neste caso a leitura pode ser feita com recurso a termopares, por exemplo.

A medição da temperatura também pode ser feita sem contacto, com recurso por exemplo a: Pirómetros, Sensores de infravermelhos ou a Câmaras termográficas.

A medição das vibrações do tribómetro, com vista a conhecer o comportamento dinâmico, pode ser executada com recurso a acelerómetros.

De referir que a medição da temperatura de contacto e a medição das vibrações do tribómetro não pertencem ao âmbito deste trabalho. Assim, o tribómetro desenvolvido não contempla este tipo de transdutores.

3.3 Princípio de funcionamento (primeiros esboços)

Após uma análise de equipamentos já existentes (capítulo 2.4.2) e da definição das funções do tribómetro (capítulo 3.2) podemos considerar que estão reunidas as condições para o desenvolvimento de um novo equipamento.

Como ponto de partida foi considerado o tribómetro de *Blouet*, existente na FEUP, pois utiliza o mesmo tipo de contacto entre as amostras (bloco-disco). Contudo, com este trabalho pretende-se desenvolver um tribómetro mais evoluído em diversos aspetos como, por exemplo, na aquisição da força de atrito, transmissão do movimento de rotação ao disco e sistemas de fixação do disco e do bloco.

O princípio de funcionamento basilar deste tribómetro consiste em pressionar um bloco contra uma pista animada de movimento de rotação, tal como se pode observar no esboço da Figura 33, e permita a leitura da força de atrito resultante do deslizamento entre os dois corpos em contacto.

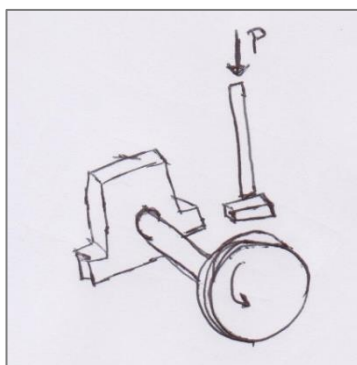


Figura 33 – Esboço da definição do contacto (contacto)

Para a medição da força de atrito, uma solução seria a utilização de uma célula de carga acoplada com o porta-bloco tal como mostra o esboço da Figura 34. Neste caso a força de atrito, tangencial ao disco na zona de contacto, não solicita a célula de carga à tração e/ou compressão. Uma vez que as células de carga que trabalham à tração e/ou compressão são mais simples, mais comuns e de mais baixo custo, esta solução não foi adotada.

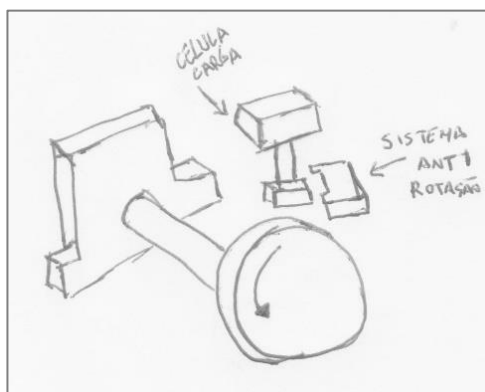


Figura 34 – Esboço de aplicação célula de carga multi eixos

Assim, numa primeira fase pensou-se na solução apresentada na Figura 35, em que o movimento do bloco, provocado pelo contacto com o disco animado de rotação, é

impedido por um dispositivo que contém a célula de carga mas que neste caso irá trabalhar à tração e/ou compressão. Com esta solução os pesos são colocados na extremidade de uma barra permitindo, através do efeito de alavanca, amplificar a carga normal aplicada no contacto entre o bloco e o disco. Contudo, nesta solução, à medida que ocorre o desgaste nas amostras, a barra que contém os pesos e o porta-bloco vai rodando em torno do seu apoio na chumaceira vertical obrigando o bloco a deixar de ter um contacto regular com o disco. Ou seja, o bloco, ao longo da sua espessura, deixaria de contactar de igual forma com a superfície do disco; a marca do desgaste na superfície do bloco deixava de ser uniforme ao longo da sua espessura e o ensaio seria considerado inválido.

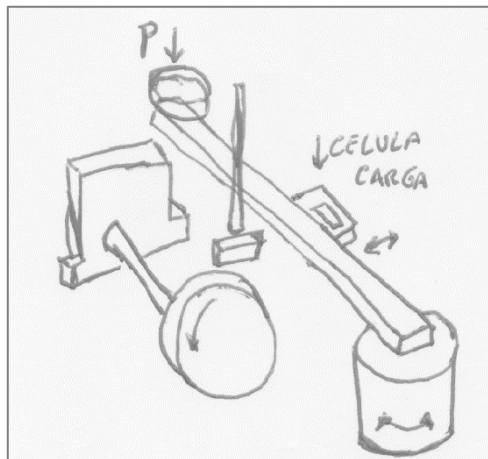


Figura 35 – Esboço da 1ª hipótese deslocamento vertical do bloco

Para ultrapassar este inconveniente optou-se por apoiar a barra que contém o porta-bloco e os pesos na extremidade oposta à da chumaceira (Figura 36). Assim, este braço fica apoiado de um lado numa chumaceira e do outro por um rolamento. O veio que suporta o porta-bloco é livre de se movimentar na vertical, através de um furo passante existente na barra, permitindo que o bloco se ajuste ao disco à medida que o desgaste progride. O aspeto negativo desta solução é que os pesos têm de ser aplicados diretamente no veio do porta-bloco, impossibilitando a utilização da barra como alavanca de forma a multiplicar a carga dos pesos na zona de contacto.

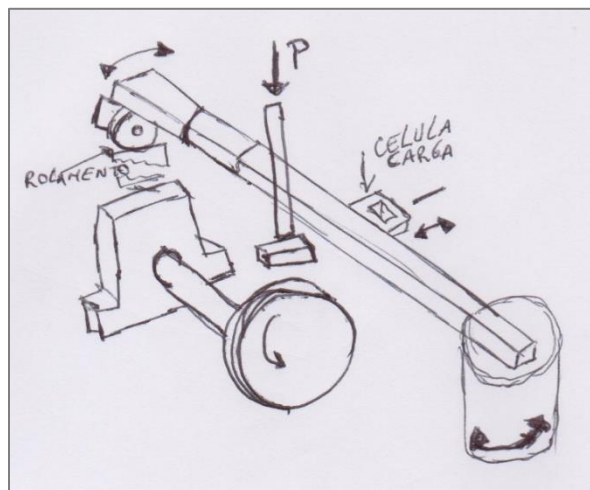


Figura 36 – Esboço da 2ª hipótese deslocamento vertical do bloco

Um dos objetivos deste tribómetro é a possibilidade de realização de ensaios em diferentes posições do disco como ilustrado na Figura 37.

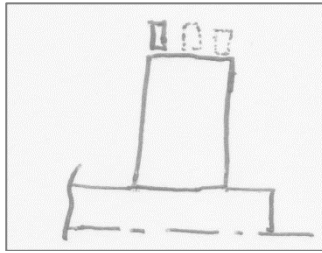


Figura 37 – Esboço representativo do bloco em diferentes posições

Uma solução seria o deslocamento do bloco, este apertado entre duas barras. Este pequeno conjunto deslocar-se-ia dentro de uma estrutura própria, esta fixa relativamente ao resto do tribómetro. A Figura 38 ilustra a possibilidade referida anteriormente.

Para a correta leitura da força de atrito, a distância do bloco à célula de carga tem de se manter fixa, o que não acontece na solução referida anteriormente, tornando-a inválida.

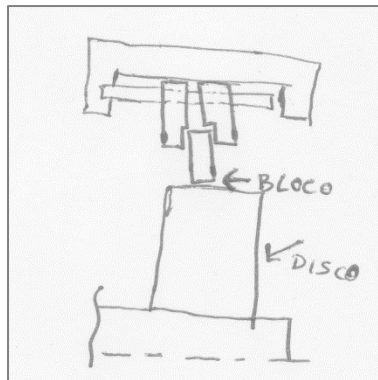


Figura 38 – 1ª hipótese deslocamento horizontal do bloco

Então a solução para a possibilidade de execução de ensaios em diferentes posições do disco passa por deslocar todo o sistema do bloco que inclui: a chumaceira vertical, o sensor de carga e o próprio sistema de fixação do bloco. A colocação de guias lineares na base de todo o sistema do bloco, foi a solução adotada, como mostra a Figura 39. A utilização de guias lineares é uma forma recorrentemente adotada quando são necessários movimentos precisos.

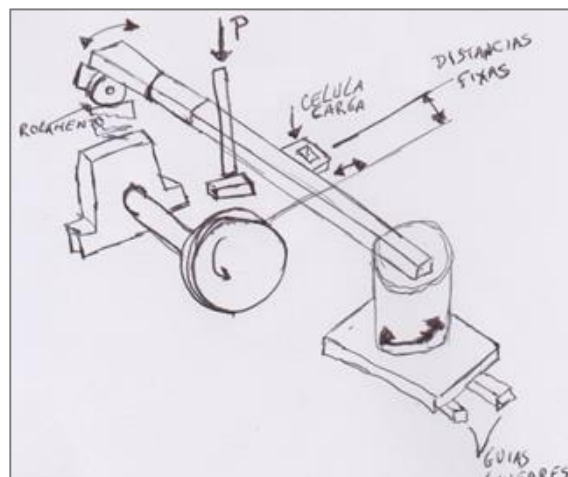


Figura 39 – Esboço do movimento horizontal do bloco

3.4 Vista geral do tribómetro projetado

Para a descrição do desenvolvimento do tribómetro optou-se por começar com a apresentação global do equipamento e só depois detalhar cada um dos sistemas que o constitui.

Assim, na Figura 40 pode-se observar uma vista geral do tribómetro incluindo a sua estrutura de suporte. A Figura 41 e Figura 42 apresentam as vistas de frente e de trás do tribómetro. Nestas figuras pode-se observar os componentes necessários para transmitir o movimento de rotação ao disco, ou seja, o servomotor, o redutor e a chumaceira principal. Quanto ao bloco este é carregado contra o disco por ação de pesos mortos. Os veios que transmitem a carga ao porta-bloco atravessam uma barra horizontal apoiada de um lado numa chumaceira vertical e do outro por um rolamento. A movimentação desta barra, devido à força de atrito, é impedida pela célula de carga que se encontra ligada à referida barra e a um suporte triangular. A movimentação do bloco e da célula de carga é facilitado por ação de um manípulo (ver componente 3.3 da Figura 42) que faz atuar um fuso que por sua vez faz movimentar as mesas que contêm o sistema do bloco. A Figura 43 mostra mais em detalhe o contacto entre o bloco e o disco.

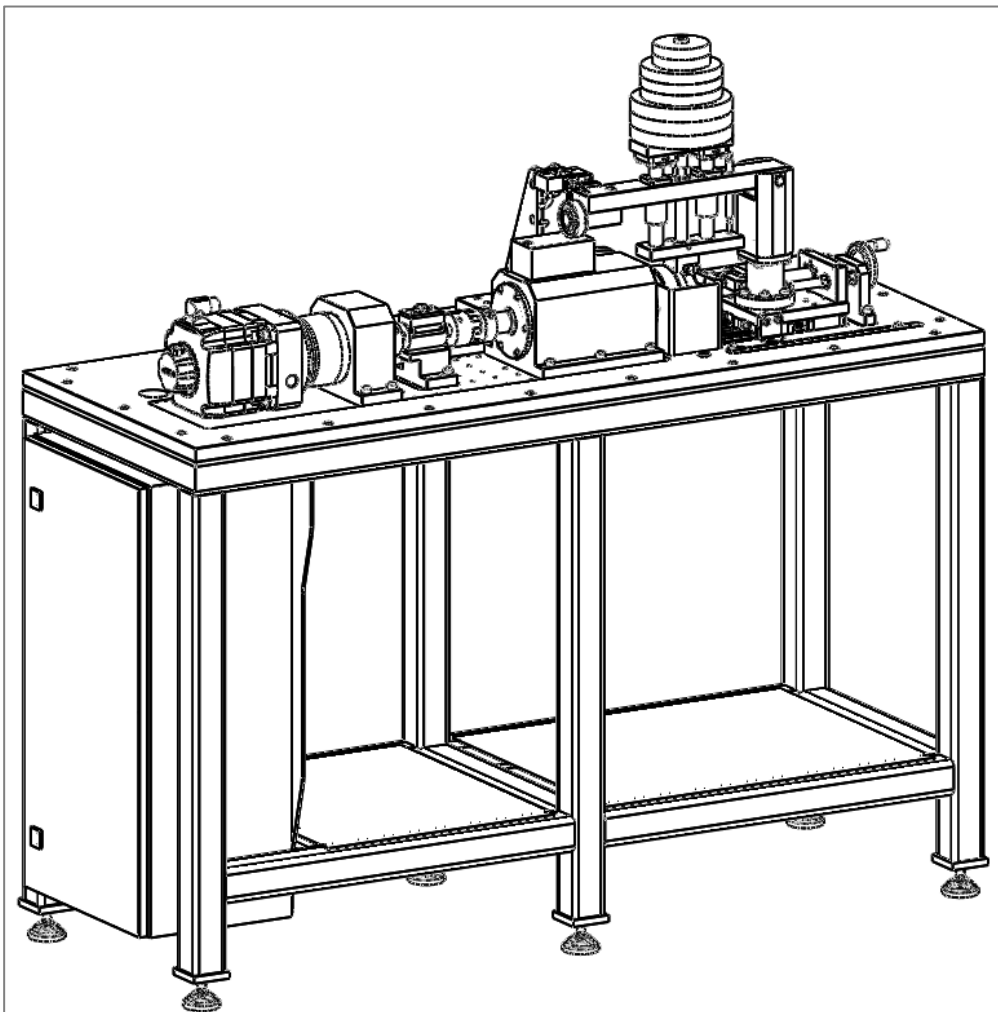
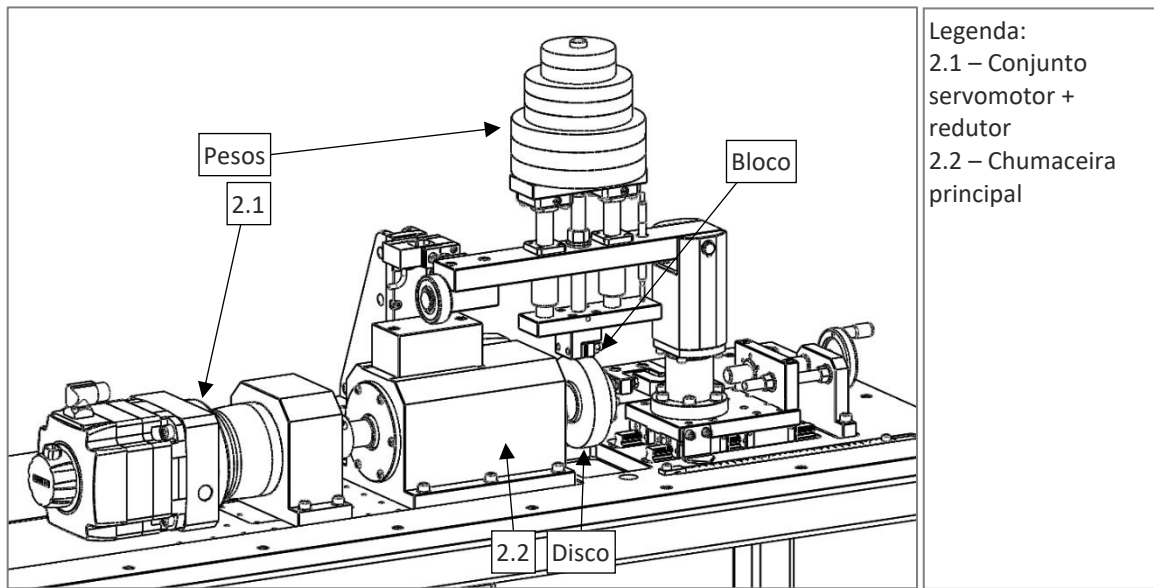
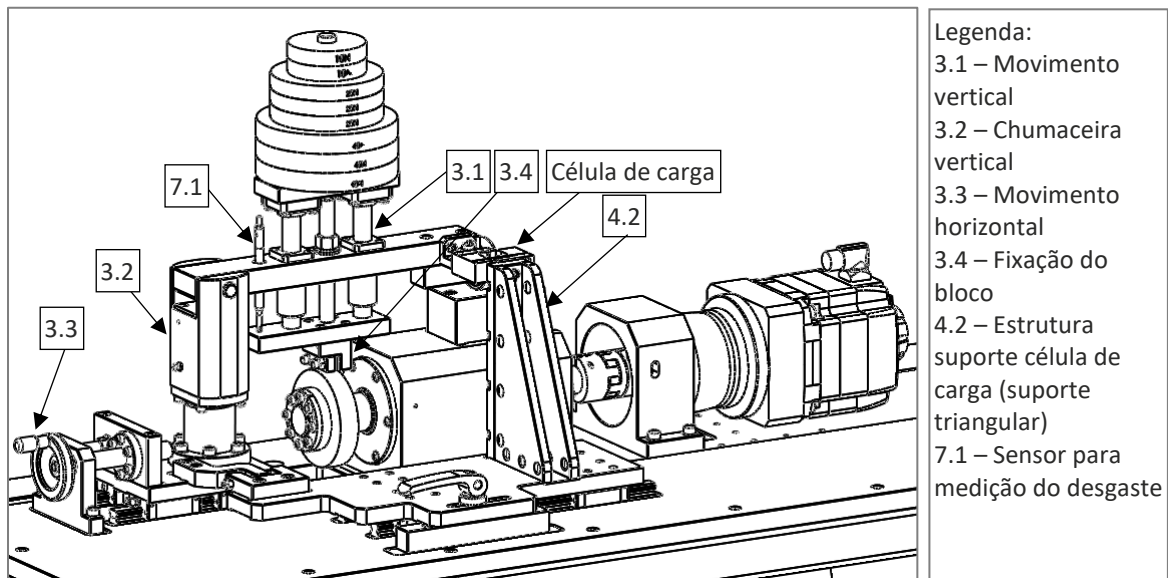


Figura 40 - Vista geral do tribómetro projetado



Legenda:
 2.1 – Conjunto servomotor + reductor
 2.2 – Chumaceira principal

Figura 41 - Vista geral do tribómetro - vista da frente



Legenda:
 3.1 – Movimento vertical
 3.2 – Chumaceira vertical
 3.3 – Movimento horizontal
 3.4 – Fixação do bloco
 4.2 – Estrutura suporte célula de carga (suporte triangular)
 7.1 – Sensor para medição do desgaste

Figura 42 - Vista geral do tribómetro - Vista de trás

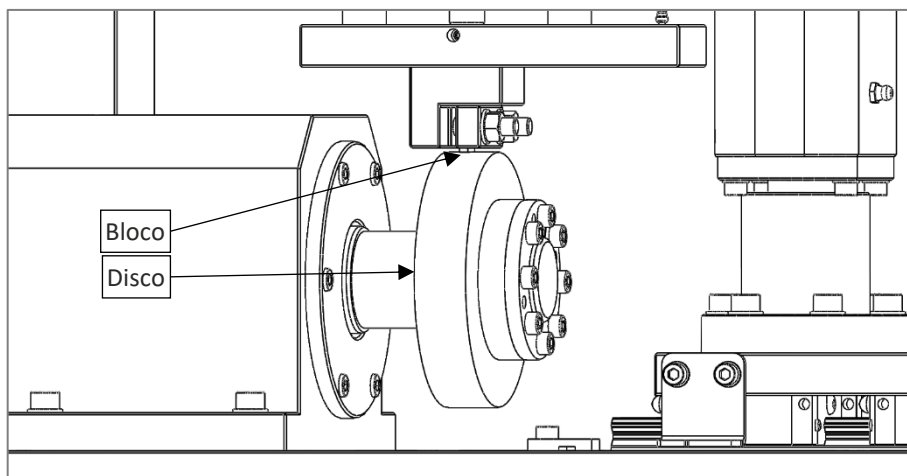


Figura 43 - Vista geral do tribómetro - pormenor do contacto bloco - disco

3.4.1 Organização do projeto

As peças de fabrico estão codificadas de forma sequencial com números de 5 algarismos, estas são precedidas da abreviatura JPS que significa José Pedro Santos. A primeira referência é a JPS.00001. Enquanto que o material de mercado (rolamentos, vedantes, etc.) está codificado pela referência da própria marca. Todos os desenhos podem ser consultados no Anexo 6.3.

Na Tabela 5 pode-se encontrar uma síntese, com as referências dos desenhos de conjunto, dos diferentes sistemas e subsistemas do tribómetro projetado. A coluna da esquerda enumera os sistemas para fácil identificação nas figuras ao longo deste capítulo.

Tabela 5 – Síntese dos sistemas e subsistemas do tribómetro projetado

Num.	Sistema	Subsistema	Referência
1	Tribómetro completo	-----	JPS.00069
2.1	Sistema do disco	Conjunto motor	JPS.00007
2.2	Sistema do disco	Chumaceira principal	JPS.00001
2.3	Sistema do disco	Fixação do disco	-----
3.1	Sistema do bloco	Movimento vertical	JPS.00024
3.2	Sistema do bloco	Chumaceira vertical	JPS.00010
3.3	Sistema do bloco	Movimento horizontal	JPS.00033
3.4	Sistema do bloco	Fixação do bloco	JPS.00047
4	Força de atrito	Célula de carga	JPS.00031
5	Estrutura	Estrutura	JPS.00063
6	Ensaio com lubrificação	Reservatório de óleo	JPS.00055
7.1	Sistemas auxiliares	Medição do desgaste	-----
7.2	Sistemas auxiliares	Medidor de binário	JPS.00008
7.3	Sistemas auxiliares	Ensaio de capa de rolamentos 33113	JPS.00044

3.4.2 Materiais utilizados

Neste projeto, em que as forças envolvidas são pequenas, não são necessários materiais de elevada performance, mas sim precisão no fabrico e componentes de qualidade para eliminar o mais possível a existência de folgas na máquina.

Os materiais selecionados são de uso corrente, como o alumínio da série 5000 para peças de baixas solicitações, aço de construção C45E, aço S275JR, aço inoxidável AISI 304 quando a prevenção à corrosão é importante e ainda o aço 42 CrMo4, também designado de cromoníquel. Na Tabela 6 apresentam-se as principais características dos materiais utilizados [21][22][23][24][25].

Nos desenhos das peças, apresentados em anexo, é indicado o material utilizado.

Tabela 6 - Principais características dos materiais utilizados

Característica	EN AW 5754	EN C45E	EN S275JR	AISI 304	EN 42 CrMo4
Tensão limite elástico [MPa]	≥ 80	≥ 310	≥ 255	215	510
Tensão rotura [MPa]	190-240	590-740	410-560	505	770
Módulo de elasticidade [GPa]	70,5	210	210	193	210
Massa volúmica [g/cm ³]	2,66	7,8	7,8	8	7,7
Extensão após rotura [%]	≥ 17	14	20-22	70	≥ 10

3.5 Sistema do disco (movimento rotativo)

O sistema do disco tem como objetivos oferecer o binário, a velocidade e a potência necessárias para o cumprimento dos requisitos do tribómetro, absorver as forças envolvidas (resultante do contacto entre o disco e o bloco), a fixação do disco e a ligação deste conjunto (sistema do disco) à restante máquina.

A Figura 44 mostra a solução adotada sendo esta constituída por:

- Conjunto do motor (motor, redutor e fixação);
- Chumaceira principal;
- Fixação do disco.

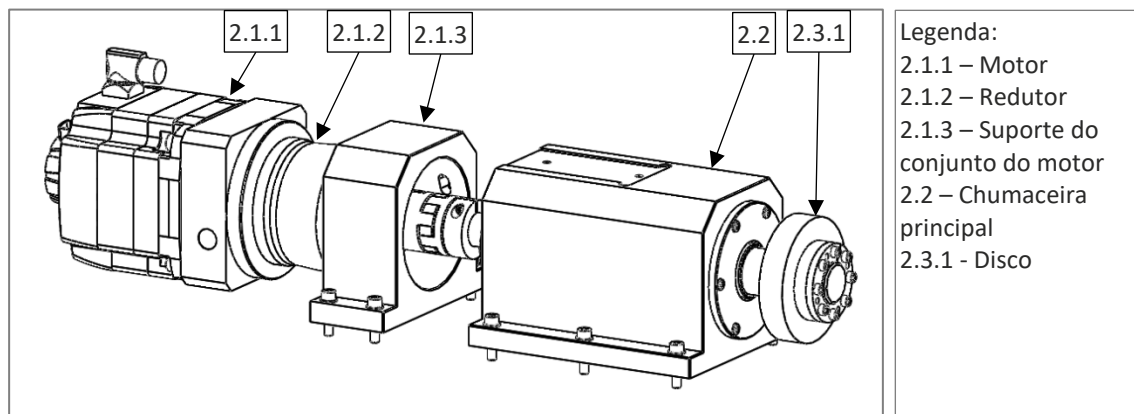


Figura 44 - Sistema do disco

3.5.1 Conjunto do motor

O motor deve ser capaz de prover ao sistema a velocidade, a potência e o binário necessários. Para isso é essencial saber os valores dos parâmetros para a sua correta seleção.

Dependendo da velocidade necessária para o funcionamento do sistema pode ser possível o uso de um redutor, o que faz diminuir o binário do motor necessário.

Os cálculos devem ser feitos para o diâmetro máximo do disco e para o diâmetro menor, ou seja, $\varnothing 120$ mm e $\varnothing 80$ mm.

Cálculo da velocidade

A velocidade de rotação do disco depende do diâmetro e da velocidade de contacto pretendida.

Foi considerada a velocidade máxima de ensaio de 5 m/s no diâmetro máximo de 120 mm e no diâmetro mínimo de 80 mm, então:

$$V = \omega r \Leftrightarrow \omega = \frac{V}{r}$$

e

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

Então:

$$\frac{V}{r} = \frac{2\pi n}{60} \Leftrightarrow n = \frac{V \times 60}{2\pi r}$$

Equação 8 - Cálculo rpm necessário para o diâmetro de 120 mm

Em que:

V – Velocidade tangencial do contacto [m/s]

ω – Velocidade angular [rad/s]

n – Velocidade de rotação [rpm]

r – Raio do disco [m]

Para \varnothing 120 mm:

$$n = \frac{V \times 60}{2\pi r} = \frac{5 \times 60}{2\pi 0,06} = 796 \text{ rpm}$$

Equação 9 - Cálculo rpm necessário para disco de \varnothing 120 mm

Para \varnothing 80 mm:

$$n = \frac{V \times 60}{2\pi r} = \frac{5 \times 40}{2\pi 0,04} = 1194 \text{ rpm}$$

Equação 10 - Cálculo rpm necessário para disco de \varnothing 800 mm

Cálculo do binário

Para o cálculo do binário máximo necessário é preciso entrar com o coeficiente de atrito máximo encontrado entre um par de materiais, garantindo-se a realização de qualquer ensaio. Os coeficientes encontram-se na Tabela 1 (página 12), sendo que o valor mais elevado se encontra no par de materiais: alumínio – alumínio, sendo este 1,35.

Para o cálculo do binário necessário, é indispensável saber as forças envolventes no contacto.

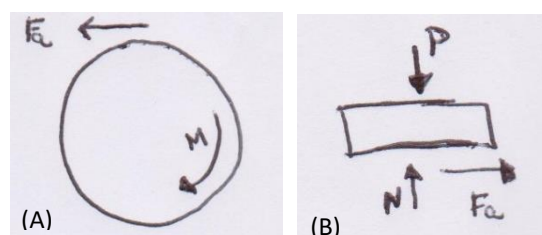


Figura 45 - DCL do disco (A); DCL do bloco (B)

Após recurso ao DCL, diagrama de corpo livre, do disco (Figura 45), verifica-se que não existe nenhuma outra força aplicada a não ser a força de atrito, F_a (não considerando a carga normal). Para o cálculo desta, é necessário recorrer ao DCL do bloco, em que é possível visualizar que no sentido horizontal apenas existe a força de atrito. Esta depende de N, força normal, sendo que esta depende de P, peso, que depende da massa aplicada e da aceleração da gravidade, g , sendo esta uma constante de valor conhecido de $9,81 \text{ m/s}^2$.

$$M = F_a \cdot r$$

$$F_a = \mu \cdot N$$

$$N = P$$

$$F = m \cdot g$$

Então, por substituição tem-se que:

$$M = r \cdot \mu \cdot m \cdot g$$

Equação 11 – Cálculo do binário na pista

Em que:

M – Binário [N.m]

F – Carga aplicada [N]

F_a – Força de atrito [N]

N – Força normal [N]

m – Massa aplicada [kg]

g – Aceleração da gravidade [m/s²]

μ - Coeficiente de atrito [-]

Para o Ø 120 mm:

$$M = 0,06 \times 1,35 \times 20 \times 9,81 = 15,9 \text{ N.m}$$

Equação 12 – Cálculo do binário para disco de Ø 120 mm

Para o Ø 80 mm:

$$M = 0,04 \times 1,35 \times 20 \times 9,81 = 10,6 \text{ N.m}$$

Equação 13 – Cálculo do binário para disco de Ø 80 mm

Cálculo da potência

Para a escolha de um servomotor não é usual o uso da potência necessária, já que a limitação se encontra frequentemente no binário, no entanto o cálculo da potência é apresentado em baixo.

$$P = \frac{M \times n \times 2\pi}{60}$$

Equação 14 - Cálculo da potência necessária

Em que:

P – Potência [W]

M – Binário [N.m]

n – Velocidade de rotação [rpm]

Para Ø 120 mm:

$$P = \frac{M \times n \times 2\pi}{60} = \frac{15,9 \times 796 \times 2\pi}{60} = 1325 \text{ W}$$

Equação 15 - Cálculo da potência necessária para Ø 120 mm

Para Ø 80 mm:

$$P = \frac{M \times n \times 2\pi}{60} = \frac{10,6 \times 1194 \times 2\pi}{60} = 1325 \text{ W}$$

Equação 16 - Cálculo da potência necessária para Ø 120 mm

Os resultados dos cálculos anteriores encontram-se sintetizados na Tabela 7.

Tabela 7 – Requisitos necessários para o disco

Parâmetro	Ø 120 mm	Ø 80 mm
Velocidade [rpm]	796	1194
Binário [N.m]	15,9	10,6
Potência [W]	1325	1325

Como se pode observar na Tabela 7, os valores da velocidade de rotação (rpm) necessários para atingir a velocidade de deslizamento máxima são relativamente baixos quando comparados com as velocidades de rotação comuns dos servomotores.

A utilização de um redutor permite a seleção de um motor com menor diâmetro e com uma velocidade dentro dos parâmetros mais comuns. Desta forma o motor terá dimensões mais reduzidas e será mais económico.

A redução deve ser feita de forma a que a velocidade de rotação do motor fique próxima dos 3000 rpm. Então a relação (i) deverá ser de 1 para 3, ou seja:

$$n1 = n2 \cdot i$$

Equação 17 - Velocidade do motor

$$M1 = \frac{M2}{i}$$

Equação 18 - Binário do motor

Sendo:

n1 – Velocidade de saída do redutor [rpm]

n2 – Velocidade do motor [rpm]

M1 - Binário de saída do redutor [Nm]

M2 - Binário do motor [Nm]

i – Relação do redutor

Após os cálculos, os resultados da velocidade e binário do motor foram sintetizados na Tabela 8. A potência mantém-se constante, pois é resultado do binário e da velocidade como se pode verificar na Equação 14.

Tabela 8 - Requisitos necessários para o motor com aplicação de redutor de i=3

Parâmetro	Ø 120 mm	Ø 80 mm
Velocidade [rpm]	2388	3582
Binário [N.m]	5,3	3,5

Escolha do motor:

Com os dados da Tabela 8 é possível escolher o motor certo para a aplicação. Após consulta na Siemens foi selecionado o servomotor 1FK7080-2AF70-1AG1. A Figura 46 mostra o componente.



Figura 46 - Servomotores Siemens da série S-1FK7 [26]

A Tabela 9 exhibe as principais características do servomotor selecionado, sendo os valores mais importantes a potência de 2,1 kW e do binário nominal de 6,8 Nm, que cumprem os requisitos.

Tabela 9 - Características do servomotor 1FK7080-2AF70-1AG1

Característica	Valor
Binário estático	8,0 N.m
Binário nominal	6,8 N.m
Rotação nominal	3000 rpm
Potência nominal	2,1 kW
Veio de saída	Ø 32 mm
Peso	10,3 kg

Apesar da velocidade nominal do servomotor ser de 3000 rpm, pela consulta da curva de binário (Figura 47) é possível verificar que a velocidade máxima do motor é 5000 rpm, sendo superior à velocidade máxima necessária.

Confrontando a Tabela 8 com a curva de binário (Figura 47) é possível verificar que o servomotor cumpre os requisitos necessários.

O coeficiente de segurança do binário do motor, para a situação mais crítica, é de 1,3, como demonstra o cálculo realizado através da Equação 19.

$$c. s. = \frac{M_{nominal}}{M_{sistema}} = \frac{6,8}{5,3} = 1,3$$

Equação 19 - Cálculo coeficiente segurança binário servomotor

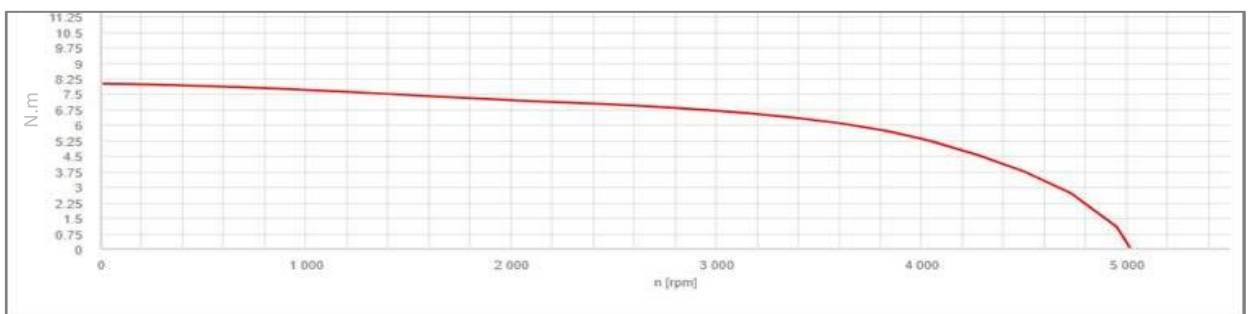


Figura 47 - Curva de Binário do servomotor Siemens 1FK7080-2AF70-1AG1

Escolha do redutor:

De seguida foi selecionado um redutor planetário apropriado para servos da marca *Winttenstein* que, por ser uma marca conceituada, que garante a performance e a durabilidade, não sendo das marcas mais económicas.

Os redutores para servos têm de ser específicos para cada servo, pois há uma grande variação de flanges.

Cumprindo as características necessárias, o redutor selecionado foi o seguinte: NP035S-MF1-3-0I1-1S. A Tabela 10 apresenta as suas principais características e na Figura 48 pode-se observar uma imagem ilustrativa deste tipo de redutores.

Sendo o rendimento do redutor de 97 % não foram recalculados os valores de binário à saída do motor, pois não provoca um aumento de binário necessário considerável.

Tabela 10 - Características do redutor NP035S-MF1-3-0I1-1S

Característica	Valor
Relação de transmissão	3
Binário máximo de saída	410 N.m
Rotação máxima de entrada	6000 rpm
Rotação nominal de entrada	2500 rpm
Força axial máxima	4000 N
Força radial máxima	5000N
Veio de saída	32 mm
Peso	9,4 kg
Rendimento (η)	97 %



Figura 48 - Servo redutor *Winttenstein alpha* série CP [27]

As forças admissíveis no veio do redutor não são importantes para esta aplicação, pois a carga não está aplicada diretamente no veio do redutor, mas na chumaceira principal do tribómetro.

União de veios

Para ligar os veios (da chumaceira principal e do redutor) é necessário utilizar uma união de veios. Esta tem de ter a capacidade de suportar o binário máximo do sistema e capacidade de permitir e absorver pequenos desalinhamentos que poderão existir.

Foi escolhida a união de veios da marca RW COUPLINGS modelo: EK2/60/A. Segundo a marca, este modelo é isento de folgas e é de montagem rápida. A Tabela 11 mostra as suas principais características enquanto a Figura 49 exhibe o componente selecionado.

Tabela 11 – Características da união de veios

Característica	Valor
Binário nominal [N.m]	60
Binário máximo [N.m]	120
Comprimento [mm]	78
Intervalo diâmetro interior [mm]	16-32
Diâmetro exterior [mm]	56
Peso aproximado [kg]	0,35
Velocidade nominal [rpm]	11000
Desalinhamento lateral máximo [mm]	0,08
Desalinhamento angular máximo [°]	1
Desalinhamento axial máximo [mm]	±1



Figura 49 – União de veios RW COUPLINGS EK2 [28]

Verificação da capacidade da união de veios

Para verificar se a união de veios tem a capacidade necessária para o sistema é necessário comparar a sua capacidade com o binário máximo que o sistema poderá atingir, este é o binário do motor multiplicado pela relação do redutor.

$$M_{\text{ sistema }} = M_{\text{ motor }} \times i$$

$$M_{\text{ sistema }} = 6,8 \times 3 = 20,4 \text{ [Nm]}$$

Equação 20 - Cálculo binário máximo do sistema

Ou seja, o binário nominal da união de veios (60 Nm) é bastante inferior ao binário máximo do sistema (20,4 Nm). O respetivo coeficiente de segurança pode ser calculado pela expressão seguinte:

$$c. s. = \frac{M_{\text{ nominal }}}{M_{\text{ sistema }}} = \frac{60}{20,4} = 2,9$$

Equação 21 - Cálculo do coeficiente segurança união de veios

3.5.2 Chumaceira principal

A chumaceira tem a função de proteger o redutor e servomotor dos esforços e de suporte a todo o sistema do disco. É ainda responsável pela nivelção do sistema do disco e do sistema do bloco (será explicado mais à frente), garantido o correto alinhamento horizontal entre os principais sistemas, pelo que o projeto e fabrico devem ser realizados da forma mais cuidada possível.

Para a sua construção foram escolhidos os rolamentos cónicos INA 32209 tendo como carga dinâmica máxima de 83 kN [29].

Os rolamentos cónicos têm como características: são desmontáveis, possuem excelente capacidade de carga na direção radial e axial, permitem algum desalinhamento, apresentam elevada rigidez e precisão.

A chumaceira foi projetada de forma aos rolamentos poderem ser lubrificados e protegidos do ambiente exterior através de retentores (vedantes de eixo).

Para os retentores não desgastarem o veio, entre estes componentes foram aplicados anéis internos (que costumam ser utilizados nos rolamentos de agulhas) “fixos” ao veio. Desta forma evita-se o desgaste do veio, no seu lugar os anéis são sujeitos ao desgaste sendo estes mais económicos e mais simples de trocar.

O corpo da chumaceira é provido de um lubrificador para entrada de massa lubrificante e um furo para saída de ar. Pode-se verificar a sua construção na Figura 50.

Uma consideração importante a ter nos desenhos de execução e conseqüentemente no fabrico são as concentricidades entre os dois rolamentos e a espiga para aplicação do disco. Caso existam desalinhamentos, o disco ficará excêntrico relativamente à chumaceira. Esta situação provocará oscilações verticais no bloco, o qual, durante os ensaios, está pressionado contra o disco.

O veio desta chumaceira é um dos componentes do tribómetro que está sujeito a um maior nível de esforços. Por este motivo, e pelo desgaste de colocar / retirar o disco, o veio deve ser feito a partir de aço de alta resistência. Assim, foi escolhido o aço 42CrMo4, ou como é habitualmente designado de cromoníquel.

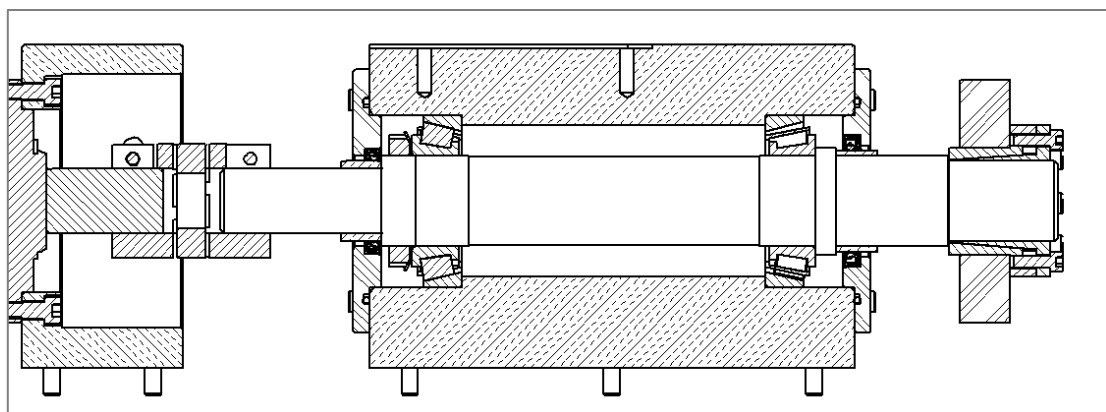


Figura 50 - Chumaceira principal + ligação ao redutor – vista de corte

Um dos principais componentes em todo o sistema é o veio da chumaceira principal, fazendo parte do sistema base de toda a máquina, a sua fiabilidade é de extrema importância, pelo que se justifica fazer um estudo da resistência à fadiga. Este veio é acionado pelo motor que provoca força rotativa (binário) numa extremidade enquanto que na outra extremidade tem uma solicitação vertical (carga normal) traduzindo assim uma solicitação alternada pura.

Para executar uma simulação à fadiga no *Solidworks* é necessário seguir os seguintes passos:

- 1) Executar uma simulação estática definindo as solicitações, apoios e malha do componente;
- 2) Introduzir pontos para criação da curva S-N ou introdução da equação da curva;
- 3) Definir como variam as forças ao longo do tempo;
- 4) Executar a simulação.

Na execução do 1º ponto, na primeira simulação estático, a ferramenta de simulação apresenta o resultado de tensão máxima de 45 MPa tal como se pode observar na Figura 51. Num primeiro ensaio a tensão máxima é sempre maior do que a real devido à malha não estar ainda afinada, pelo que após o refinamento os valores da tensão máxima diminuem.

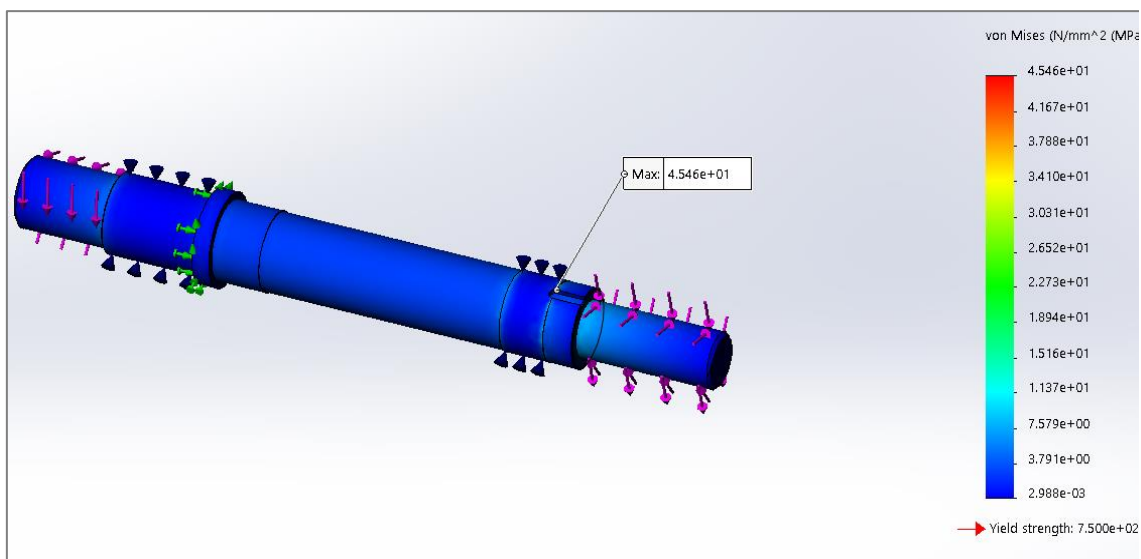


Figura 51 - 1º Teste estático - Veio chumaceira principal

Durante o 2º passo (criação da curva S-N no software), após a análise ao gráfico S-N do material, da Figura 52, verifica-se que este material apenas está sujeito a fadiga para valores de tensão superiores a 520 MPa.

Podendo-se concluir que fadiga não será um problema para este componente.

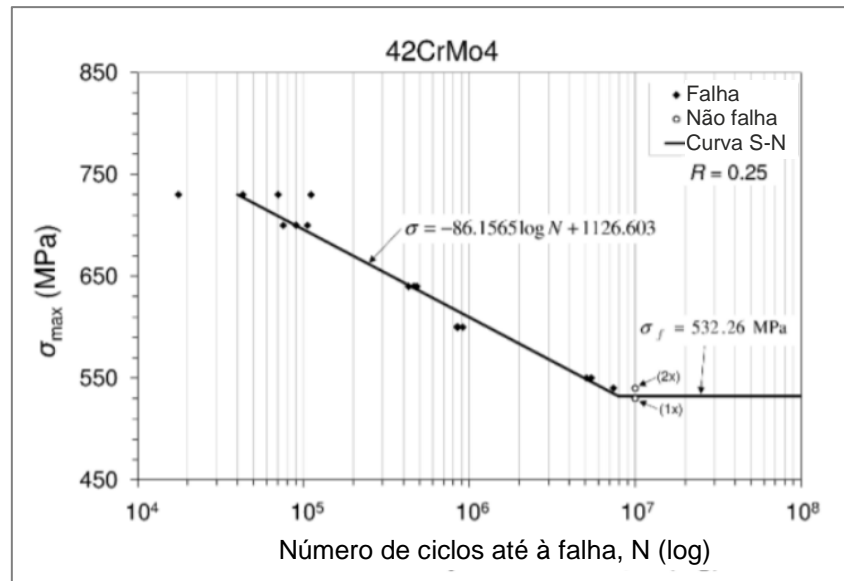


Figura 52 - Curva S-N - Aço 42CrMo4 [30]

3.5.3 Geometria e fixação do disco

O modo de fixação do disco (ou pista) no sistema deverá garantir a concentricidade entre o veio e o disco. Além disso, a solução adotada deverá permitir uma montagem rápida e que o fabrico seja o mais simples possível.

As soluções mais usadas para este tipo de problemas são:

- Disco com furo central em cone;
- Disco com escatel;
- Disco fixados em furos de cavilha e/ou parafusos.

Após análise das hipóteses anteriores verificou-se que estas requerem operações de fabrico complexas e de precisão.

Outra solução, menos usual, é a utilização de uma peça auxiliar – designada de bucha autocentrada (2.3.2). Com a sua utilização garante-se a concentricidade na ligação, fácil troca de pista e simplicidade de fabrico da pista. A pista é apenas um disco com um furo central, sem furos de fixação ou rasgos, como se comprova na Figura 53.

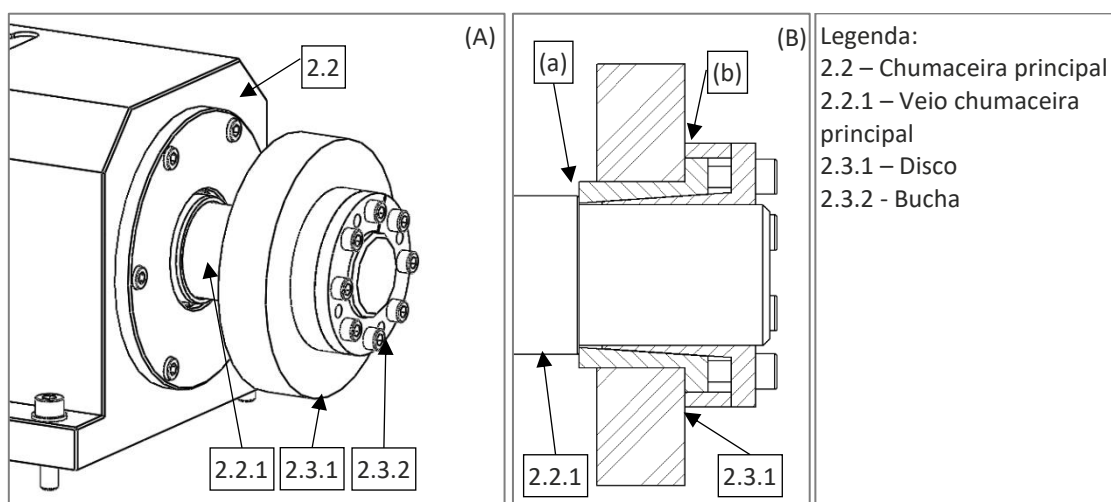


Figura 53 - Fixação do disco; (A) vista isométrica; (B) vista de corte

Foi selecionada a bucha da marca RINGSPANN e modelo RLK110 40x53. Este modelo caracteriza-se por ser auto centrante, espessura fina (no local do contacto) e grande área de contacto, devido ao elevado comprimento. A representação da bucha encontra-se na Figura 54.

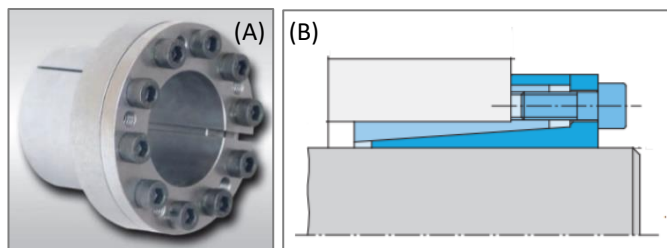


Figura 54 - Bucha RINGSPANN RLK110 [31]; (A) vista isométrica; (B) vista em corte

O tribómetro encontra-se preparado para discos com diâmetro máximo de 120 mm e diâmetro mínimo de 80 mm, enquanto que a largura é de 25 mm, embora sendo possível a utilização de pistas com larguras diferentes, já que pela forma de montagem não existem constrangimentos.

Procedimento para instalação do disco:

1. Inserir o disco no veio;
2. Inserir a bucha até o batente do veio [ver Figura 53 (a)];
3. Puxar o disco de forma a entrar na bucha e até bater no desta [ver Figura 53 (b)];
4. Apertar os parafusos de forma cruzada;
5. Reapertar parafusos até o binário recomendado pelo fabricante da Bucha (ver *Data Sheet* – Anexo 6.2.3).

Nota: é necessário limpar as superfícies de contacto, para evitar amolgadelas desnecessárias nos componentes e para evitar escorregamento entre as peças.

Para retirar o disco é apenas necessário aliviar os parafusos de bloqueio, retirar a bucha e retirar a pista.

Caso o disco não se desloque é possível forçar o disco a sair com o uso de parafusos de alívio, estes são apertados nos furos entre os parafusos de aperto da bucha.

3.6 Sistema do bloco

O sistema do bloco é responsável pela fixação do bloco, aplicação da carga normal através de pesos mortos e movimentação longitudinal do bloco relativamente ao eixo de rotação do disco para que, desta forma, o bloco possa ter diferentes posições ao longo da largura do disco.

Este sistema encontra-se subdividido em:

- Carga normal (e movimento vertical);
- Chumaceira vertical;
- Movimento horizontal;
- Porta-amostra.

A Figura 55 (A) permite observar parte do sistema associado ao disco e o sistema do bloco. Enquanto que na Figura 55 (B) apresenta-se apenas o sistema do bloco e a identificação de cada um dos subsistemas e os seus principais componentes.

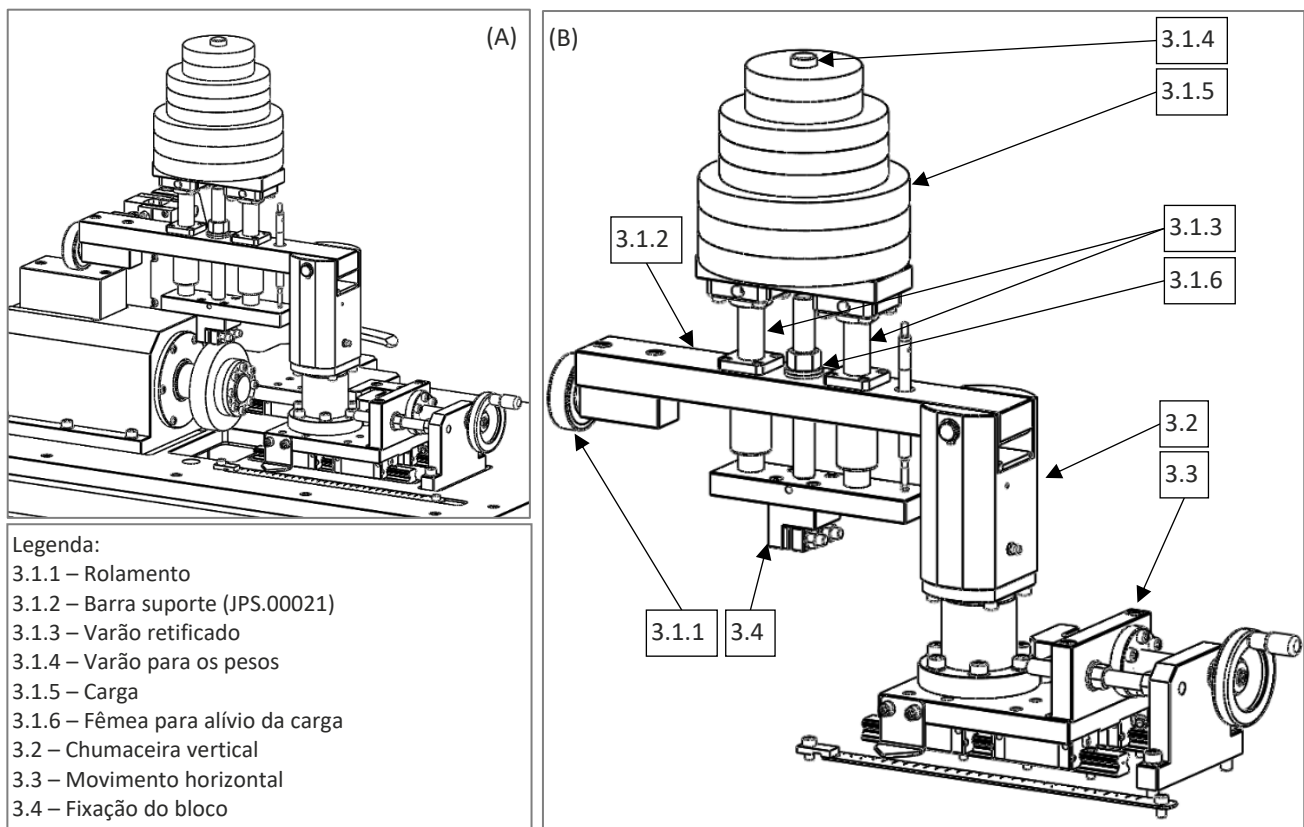


Figura 55 - Sistema do bloco: Montado no tribómetro (A); Isolado (B)

3.6.1 Carga normal (e movimento vertical)

Um dos requisitos para o tribómetro desenvolvido neste trabalho é que permita utilizar diferentes cargas normais, com um máximo de 20 kg. Para tal, será necessário fabricar discos com diferentes diâmetros e, se necessário, diferentes espessuras. A Figura 56 mostra um exemplo de um peso que pode ser utilizado no tribómetro.

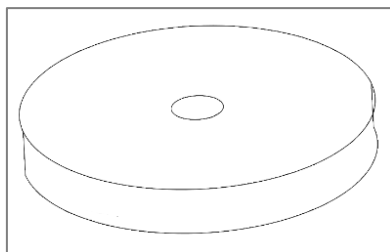


Figura 56 - Carga de 2 kg

Contudo, é essencial ter em conta que a carga na zona de contacto entre o bloco e o disco depende dos seguintes fatores:

- dos pesos mortos (3.1.5) colocados no tribómetro;
- do peso de todos os componentes que suportam os pesos mortos e transferem a carga até ao porta-bloco (peso do sistema móvel);
- do peso do porta-bloco e do próprio bloco.

Assim, a carga na zona de contacto pode ser calculada pela equação seguinte:

$$Carga\ normal = Pesos\ mortos + massa\ sistema\ móvel + massa\ porta-bloco + massa\ bloco$$

$$Carga\ normal = Pesos\ mortos + 2,85 + 0,15 + massa\ bloco [kg]$$

Equação 22 - Cálculo carga normal aplicada

A partir da equação anterior pode-se verificar que o peso do sistema móvel e do porta-bloco é de 3 kg. Ou seja, desprezando o peso do bloco, e não colocando qualquer peso adicional no tribómetro, a carga mínima que é possível utilizar com este tribómetro é de (29,5 N). Estes 3 kg devem ser sempre contabilizados à carga aplicada pelos pesos mortos.

Um componente importante do sistema do bloco é a barra suporte (3.1.2) que se encontra paralela ao eixo de rotação da pista e está apoiada de um lado por um rolamento de esferas (3.1.1) e do outro por uma chumaceira vertical (3.2). O varão (3.1.4) serve para a colocação dos pesos mortos (3.1.5). Estes devem possuir um furo central para que possam ser inseridos no referido varão.

A carga gerada pela aplicação dos pesos mortos é transmitida ao bloco, e consequentemente à zona de contacto com o disco, através de dois varões retificados (3.1.3) com 20 mm de diâmetro. Estes varões podem deslocar-se verticalmente pois encontram-se apoiados em rolamentos lineares da BOSCH REXROTH do modelo KBMFT-20-DD. Este modelo apresenta um comprimento maior que o habitual, pois cada

elemento é constituído por 2 rolamentos lineares, garantindo uma maior resistência aos momentos a que estarão sujeitos.

O sistema está desenvolvido de forma a permitir um deslocamento vertical de aproximadamente 35 mm permitindo, assim, a utilização de discos com diâmetros entre 120 e 80 mm, deixando ainda uma margem de segurança.

Além disso, durante os ensaios tribológicos os provetes (bloco e disco) vão sofrer desgaste pelo que o bloco deverá ter a possibilidade de se deslocar verticalmente de forma a manter o contacto com o disco. Tal é garantido pela capacidade que os varões retificados (3.1.3) têm de se deslocar, pois como já referido, estão alojados em rolamentos axiais.

Foi ainda previsto um varão roscado, situado entre os dois varões retificados (3.1.3), para alívio da carga aplicada entre o bloco e o disco. Apertando a porca (3.1.6), existente no referido varão roscado, o porta-bloco (3.4) sobe relativamente ao disco. Durante os ensaios a porca deve estar desapertada e estar bem acima da barra suporte (3.1.2), para permitir o correto contacto entre o bloco e o disco.

A barra de suporte (3.1.2) é um dos componentes mais importantes no sistema, pois é nesta barra que é garantido o alinhamento do bloco com o eixo do disco. Apesar de esta não estar sujeita a esforços durante os ensaios, servindo apenas de apoio para os varões retificados, está sujeita a esforços quando existe o alívio da carga sobre disco. Para verificar a resistência desta barra foi realizado um estudo de elementos finitos, as condições do estudo encontram-se na Tabela 12.

Tabela 12 – Condições do estudo FEA da barra de suporte (3.1.2)

Condições do estudo	
Força aplicada [N]	200
Fixação 1	Encastramento no veio da chumaceira vertical
Fixação 2	Apoio simples no local do rolamento
Malha	
Tipo de elemento	tetraédrico
Pontos jacobianos	4
Tamanho máx. elemento	5
Tamanho min. elemento	1,5
Qualidade <i>mesh</i>	alta
Nº de nós	81314
Mº de elementos	54179

Como se pode verificar na Figura 57, a barra está sujeita a apenas 3,4 MPa, sendo a tensão de limite elástico do material de 80 MPa, conclui-se que a barra tem resistência suficiente para a aplicação.

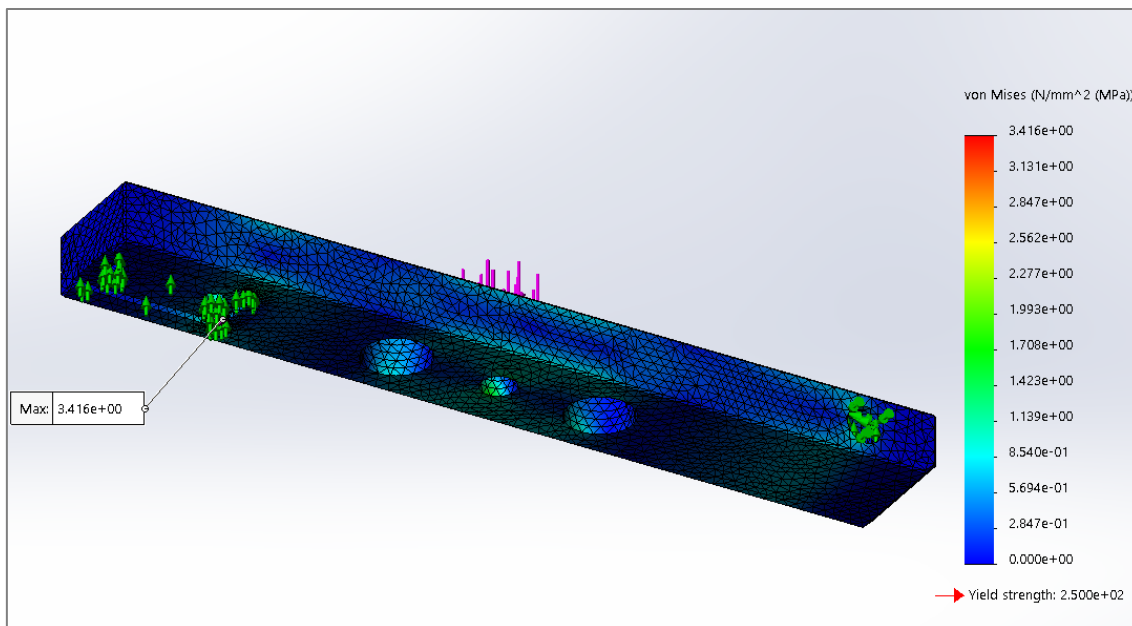


Figura 57 - Resultado FEA – Tensões na barra de suporte (3.1.2)

3.6.2 Chumaceira vertical

A chumaceira vertical tem a função de apoiar a barra de suporte (3.1.2) numa das suas extremidades e permitir que esta rode em torno do veio (3.2.1) de forma a facilitar remoção do bloco e do disco, tal como se pode observar na Figura 58 (C).

Outra da função desta chumaceira é permitir a rotação da amostra, permitindo a leitura da força de atrito.

Outra das funções desta chumaceira é permitir a rotação do bloco. Isso é feito recorrendo a dois rolamentos cónicos que permitem a sua rotação em torno do seu eixo vertical. Contudo, este movimento, que será motivado pela força de atrito gerada entre o bloco e o disco, é impedido pela célula de carga, permitindo assim a leitura da força de atrito.

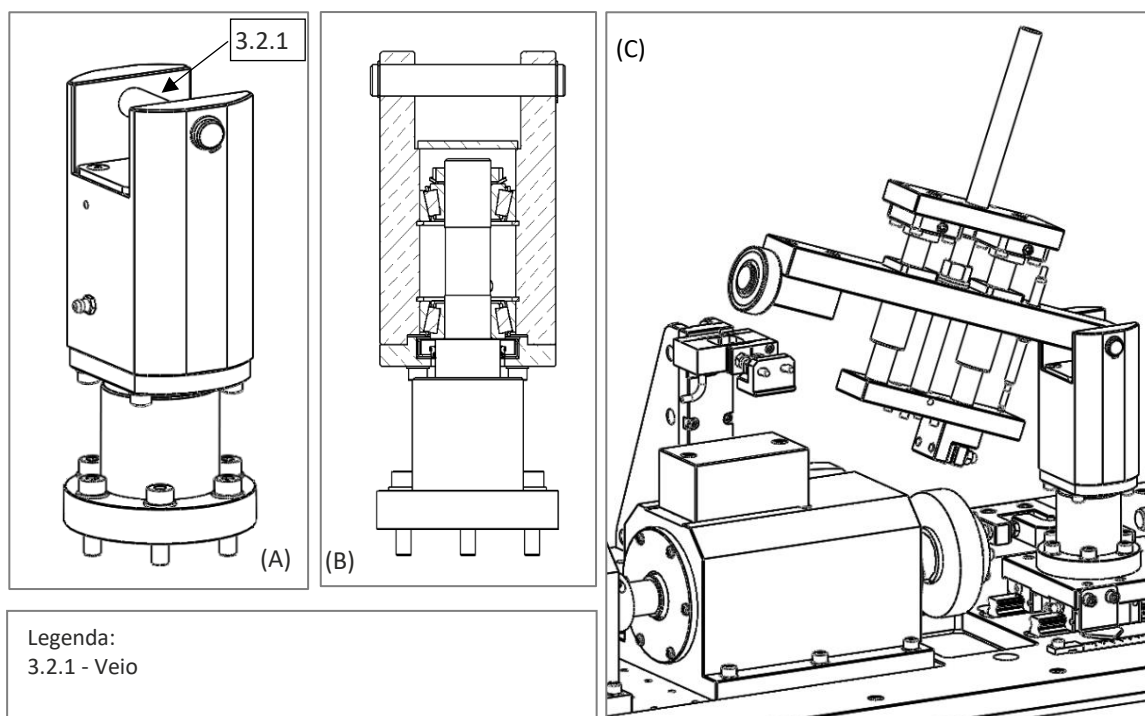


Figura 58 - Chumaceira vertical: (A) vista isométrica; (B) vista de corte; (C) Braço suporte rodado para facilitar remoção/fixação dos provetes

3.6.3 Movimento horizontal

Este sistema tem como principal função o deslocamento longitudinal e paralelo ao eixo do disco de todo o sistema do bloco de forma a permitir o contacto do bloco ao longo de toda a largura do disco.

Para isso foram colocadas, por baixo da chumaceira vertical (no início do sistema da amostra), guias lineares (3.3.5) para movimentação de todo o sistema. As guias lineares garantem precisão no movimento, não possibilitando folgas nos restantes eixos. A célula de carga precisa de se movimentar juntamente com este sistema. A descrição da movimentação da célula de carga encontra-se no capítulo 3.7.

Para facilitar a regulação do movimento foram adicionados: um fuso (3.3.3) acionado por manivela (3.3.4) para fácil movimentação e uma régua (3.3.2) para rápida identificação da posição. O movimento é bloqueado por aperto de fêmeas (3.3.1). A Figura 59 exhibe o sistema do movimento horizontal e indica os seus principais componentes.

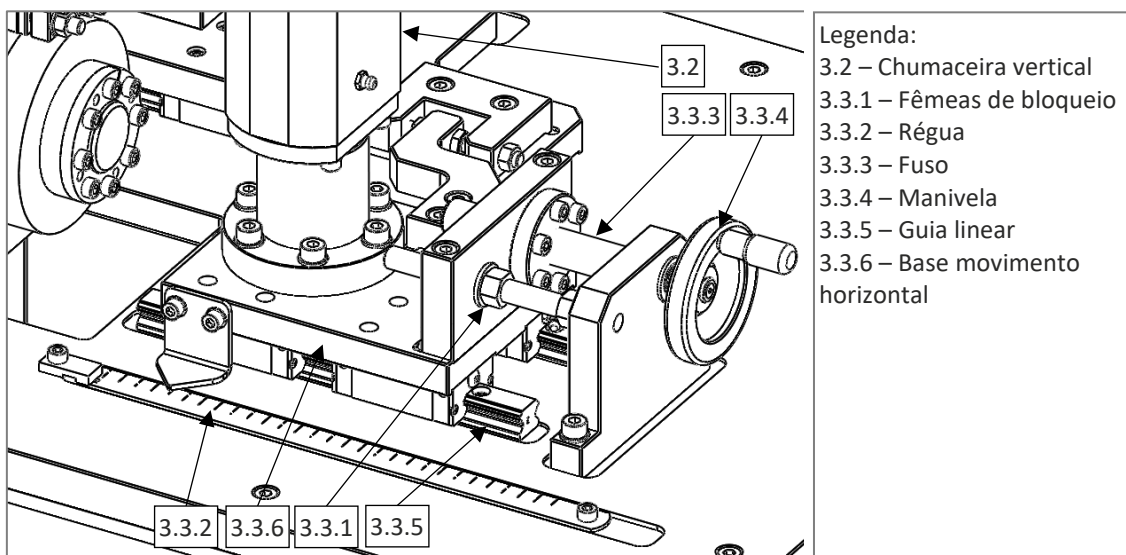


Figura 59 - Movimento horizontal

Este sistema permite a deslocação horizontal da amostra, tendo um curso aproximado de 55 mm, possibilitando o uso da largura total do disco.

3.6.4 Fixação do bloco

Este conjunto tem como objetivo fixar o bloco no tribómetro. Foi desenvolvido um sistema em que o bloco é encaixado numa peça designada de porta-bloco, sendo apenas necessário apertar as fêmeas para o bloco ficar totalmente fixo, como se pode comprovar na Figura 60.

Este porta-bloco está projetado para blocos até 15 mm de espessura, 12 mm de comprimento fixo. Em altura, esta deve ter no mínimo 6 mm pois 4 mm ficam encaixados no sistema garantindo que esta não se mexe, ficando 2 mm de fora.

O bloco deve ficar sempre centrado no porta-bloco para garantir o correto alinhamento com a célula de carga e, para isso, devem ser utilizadas chapas espaçadoras (3.4.4) que dependem da espessura do bloco. Estas devem ficar encostadas à face fixa do porta-bloco, tal como se pode observar na Figura 60 (A). Com a Equação 23 é facilmente calculada a espessura das chapas a utilizar.

$$\text{Espessuras das chapas} = 15/2 - \text{espessura bloco}/2$$

Por exemplo para bloco com espessura 5mm:

$$\text{Espessuras das chapas} = 15/2 - 5/2 = 5 \text{ mm}$$

Equação 23 - Cálculo da espessura das chapas a utilizar para centrar bloco

Se o bloco não ficar centrado no porta-bloco, a distância entre o bloco e a célula de carga é alterada, provocando uma leitura errada da força de atrito.

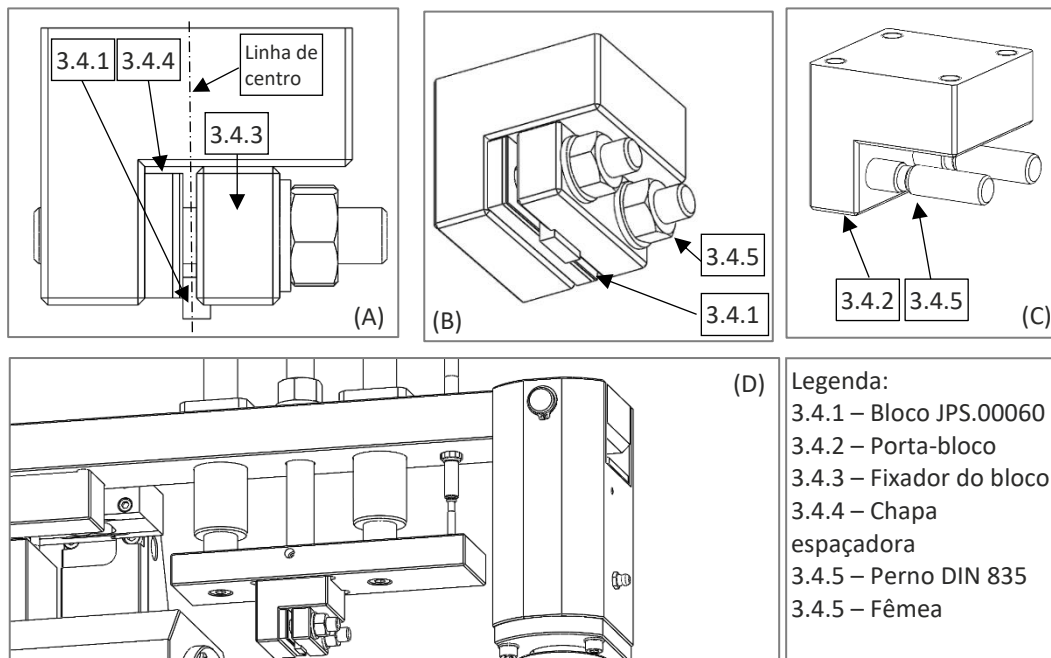


Figura 60 - Fixação do bloco: (A) Vista lateral, (B e C) vistas isométricas; (D) integração no tribómetro

Da forma como o sistema está projetado é simples desenvolver um porta-bloco para amostras com outras dimensões e geometrias como, por exemplo, esféricas, cilíndricas e paralelepípedicas. Com a condição de que a parte superior, a face que encaixa no sistema do movimento vertical, se mantenha com as mesmas dimensões (Figura 60 (C)).

3.7 Sistema de aquisição da força de atrito

Este sistema tem como objetivo a aquisição da força de atrito, como a aquisição eletrónica dos dados não faz parte deste trabalho, fazendo parte de trabalhos futuros de melhoria a este projeto, compete apenas a aplicação de uma célula de carga no tribómetro.

Para a sua aplicação, como já explicado no capítulo 3.3 - Princípio de funcionamento (primeiros esboços), é necessário que a célula de carga impeça o movimento da amostra que tende a seguir o movimento da pista. A célula é então instalada próxima do sistema de fixação do bloco, na barra de suporte do porta-bloco. Com isto é necessária a criação de uma estrutura de aperto para a célula de carga e que esta se mova juntamente com o movimento horizontal, mantendo a distância da célula ao bloco constante.

Na Figura 61 pode-se visualizar o sistema adotado. O movimento fica a cargo de duas guias lineares tal como no movimento horizontal do bloco.

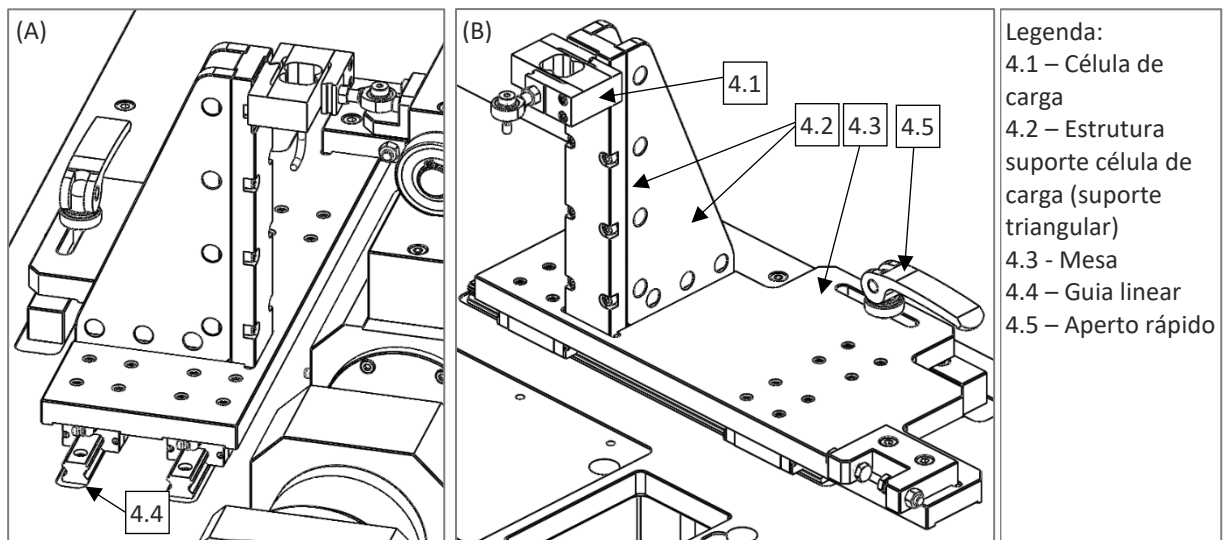


Figura 61 - Representação do sistema adotado de medição da força de atrito: no sistema completo (A); Isolado (B)

Pode-se ainda destacar o facto que de a célula de carga se encontrar posicionada ao dobro da distância relativamente à chumaceira vertical que a amostra, isto amplia a tentativa de deslocamento duas vezes, aumentando a força duas vezes e o respetivo sinal eletrónico, permitindo uma leitura mais rigorosa.

A solução encontrada para união entre os sistemas de movimento (movimento da célula de carga e movimento horizontal) encontra-se ilustrada na Figura 62, ficando a cargo de duas peças apertadas em cada um dos sistemas uma designada de macho e outra fêmea, este sistema permite a correção da distância relativa entre os dois sistemas.

Apesar do movimento ficar “trancado” pelo sistema de movimento horizontal, existe ainda a possibilidade de bloquear o deslocamento da célula de carga através do aperto rápido instalado para o efeito.

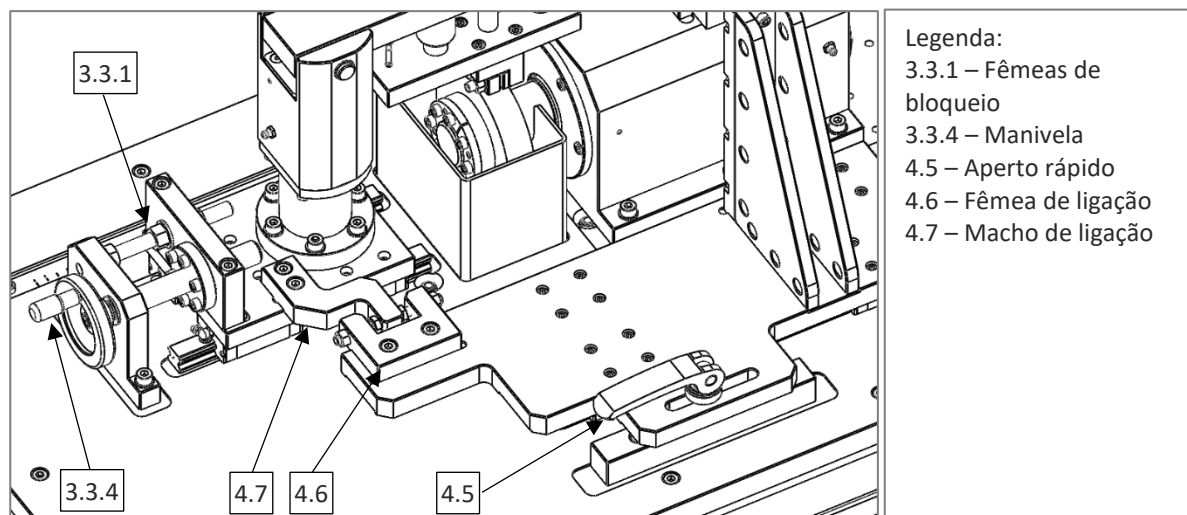


Figura 62 - Ligação entre movimento horizontal e suporte célula de carga

De seguida são apresentados os passos para o deslocamento horizontal do bloco.

1. Desbloquear as fêmeas de bloqueio do movimento horizontal (3.3.1);
2. Desbloquear a manivela que bloqueia o movimento horizontal da célula de carga (4.5);
3. Rodar a manivela (3.3.4), atuando o fuso, até à posição pretendida;
4. Bloquear fêmeas (3.3.1);
5. Bloquear manivela (4.5).

De acordo com a recomendação do fabricante a célula de carga deve ser montada, de um lado, com recurso a uma rótula, e do outro encastrada. Então a célula é ligada à barra de suporte (3.1.2) através de uma rótula, por outro lado a célula é fixada na estrutura de suporte.

Esta ligação tem de ser “desligada” para acesso ao bloco. Com ligações aparafusadas comuns, em que existe sempre uma folga entre os parafusos e os furos, a célula de carga pode não ser apertada sempre no mesmo sítio. Para evitar este potencial erro, a ligação entre a rótula e a barra de suporte é feita por um parafuso de corpo retificado ISO 7379. A Figura 63 exhibe o parafuso e a respetiva ligação com o sistema do movimento vertical.

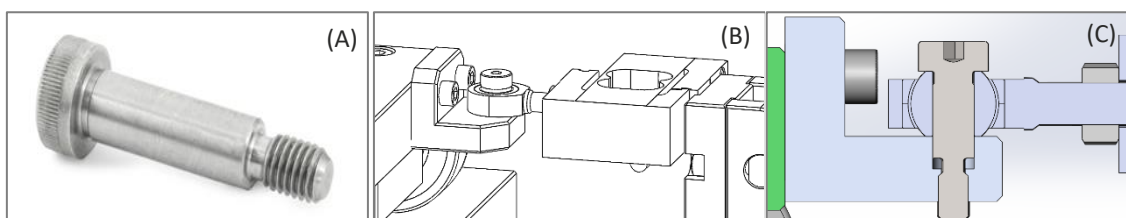


Figura 63 - (A) Parafuso ISO 7379 [32]; (B) Ligação entre célula de carga e o braço; (C) Representação esquemática da ligação entre a célula de carga e o braço

Seleção da célula de carga

A escolha da célula recaiu sobre a marca HBM e modelo S2M, segundo a marca é um modelo com excelente relação qualidade / preço e a mais precisa da categoria. Esta célula permite a leitura de forças de compressão e de tração, tornando irrelevante o sentido de rotação do motor e abrindo a possibilidade de ensaios oscilatórios. A Figura 64 exhibe o componente em causa.



Figura 64 - Célula de carga HBM S2M 500N [33]

É ainda necessário escolher a capacidade mais apropriada da célula de carga. As forças nominais disponíveis são: 10 N, 20 N, 50 N, 100 N, 200 N, 500 N e 1000 N.

A força máxima que a célula terá de “captar” é a multiplicação da força máxima necessária pela relação das distâncias da célula e da distância do bloco desde a chumaceira vertical sendo esta relação 2:1. A força depende do coeficiente de atrito, da carga aplicada e da aceleração da gravidade. Para o cálculo deverão ser usados os valores máximos de carga aplicada e de coeficiente de atrito.

O atrito estático apenas acontece no arranque do ensaio, no momento imediatamente anterior ao disco se mover em relação ao bloco. Enquanto que o atrito dinâmico é aquele que acontece durante todo o restante ensaio.

$$F_{max. \text{ leitura célula estática}} = F_{a \text{ max.}} \times \text{distância célula} / \text{distância bloco}$$

$$F_{max. \text{ leitura célula estática}} = \mu \cdot P \cdot g \times \text{distância célula} / \text{distância bloco}$$

$$F_{max. \text{ leitura célula estática}} = 1,35 \cdot 20 \cdot 9,81 \times 2 = 588,6 \text{ [N]}$$

Equação 24 - Cálculo de força aplicada na célula de carga no arranque (atrito estático)

O cálculo efetuado anteriormente diz respeito à força de atrito máxima que acontece no arranque. Após o arranque, a força de atrito baixa como é possível comprovar no cálculo seguinte:

$$F_{max. \text{ leitura célula dinâmica}} = F_{a \text{ max.}} \times \text{distância célula} / \text{distância bloco}$$

$$F_{max. \text{ leitura célula dinâmica}} = \mu \cdot P \cdot g \times \text{distância célula} / \text{distância bloco}$$

$$F_{max. \text{ leitura célula dinâmica}} = 1,20 \cdot 20 \cdot 9,81 \times 2 = 470,9 \text{ [N]}$$

Equação 25 - Cálculo de força aplicada na célula de carga com movimento (atrito dinâmico)

O fabricante refere que a célula de carga tem a capacidade de leitura até 150% da capacidade nominal. A força máxima que esta tem de suportar é de 589N, pelo que a célula com a capacidade nominal de 500 N é a mais indicada para este tribómetro. A

razão para não ter sido escolhida a célula de 1000 N é que nesse caso iriam ficar cerca de 530 N inutilizados durante os ensaios, diminuindo para cerca de metade a sensibilidade da mesma.

A Tabela 13 exibe algumas das suas principais características (para mais informações consultar *datasheet* do componente – ANEXO 6.2.4).

Tabela 13 - Principais características da célula de carga HBM S2M 500N

Característica	Valor
Força nominal [N]	500
Repetibilidade [%]	0,02
Classe de precisão	0,02
Efeito da temperatura [%/10K]	0,02
Sensibilidade nominal [mv/V]	2
Força máxima operação [% da F nominal]	150
Força limite [% da F nominal]	1.000
Grau de proteção (EN60529)	IP67
Massa (com cabo) [kg]	0,5

A estrutura que suporta a célula é de extrema importância, o seu incorreto dimensionamento irá provocar deslocamento, que não será lido pela célula de carga e permitindo que o sistema do bloco rode.

O sistema de suporte da célula de carga tem uma altura apreciável e apesar de se encontrar reforçado à flexão por dois reforços triangulares torna-se vital verificar se a estrutura é suficientemente rígida.

É necessário recorrer a um estudo de elementos finitos (*Finite Elements Analysis* – FEA). O objetivo é ter menos de 0,02mm de flexão máxima, desde a base até ao local de aperto da célula de carga. A Tabela 14 mostra as condições aplicadas no estudo.

Tabela 14 – Condições do estudo FEA da estrutura de suporte da célula de carga

Condições do estudo	
Força aplicada [N]	600
Fixação	Encastramento de toda a base inferior
Malha	
Tipo de elemento	tetraédrico
Pontos jacobianos	4
Tamanho elemento	4,25
Qualidade mesh	alta
Nº de nós	162293
Mº de elementos	1047964

Como se pode verificar na Figura 65, o deslocamento da zona de aperto da célula de carga é de 0,017 mm. Então a estrutura encontra-se validada.

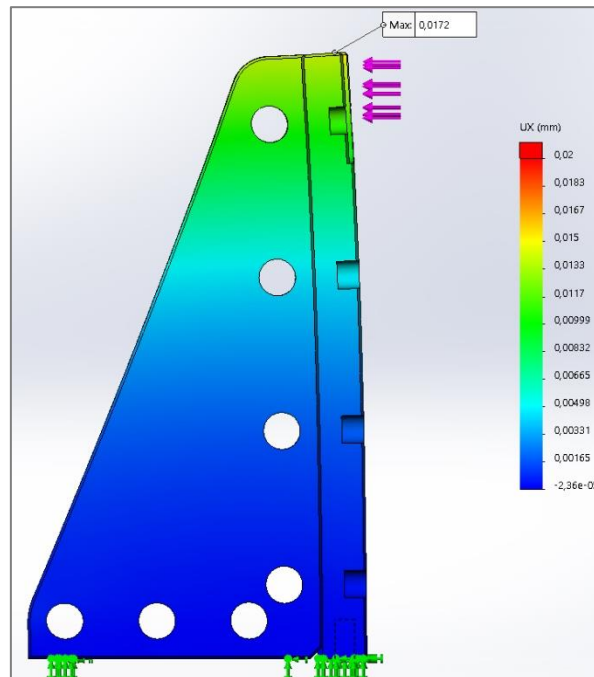


Figura 65 – Resultado FEA - Deslocamento estrutura célula de carga

3.8 Estrutura

A estrutura tem a função de fixar e suportar toda a máquina numa altura confortável para o operador. Esta é rígida, pois é construída a partir de tubos de aço quadrado de espessura 3 mm e de perfil quadrangular de 60 mm. Esta estrutura suporta a mesa do tribómetro a aproximadamente 1000 mm do chão, tendo como comprimento e largura aproximadamente 1560 mm e 590 mm respetivamente. A Figura 66 representa esta estrutura.

A estrutura incluiu prateleiras para acondicionar todo o material a utilizar no tribómetro. Prevendo também a acomodação para o quadro elétrico, que será aparafusado a uma chapa fabricada e soldada na estrutura para o efeito.

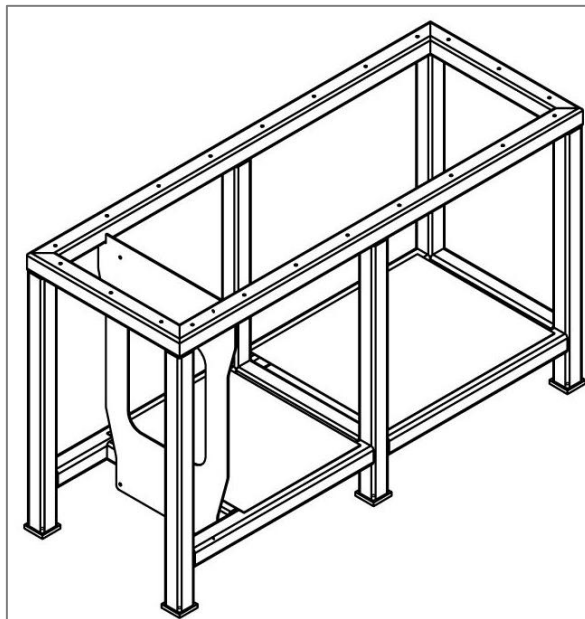


Figura 66 - Estrutura do tribómetro

A nivelção fica a cargo dos pés niveladores da marca ELESA e modelo LV.A-60-14-M10x43 mm, representados na Figura 67, sendo que cada um destes elementos suporta até 1400 kg.



Figura 67 - Pé nivelador ELESA LV.A-60 [34]

3.9 Ensaio com lubrificação

Para ensaios com lubrificação, que utilizem óleos ou massas lubrificantes, projetou-se um reservatório simples e de aplicação rápida. Fabricado a partir de um tubo retangular e uma chapa, ambos de aço inoxidável. Para usar basta colocar lubrificante dentro do reservatório até que no mínimo este toque no disco, o movimento vai fazer com que o lubrificante seja arrastado até ao contacto. A Figura 68 mostra o reservatório isoladamente e o mesmo montado no tribómetro.

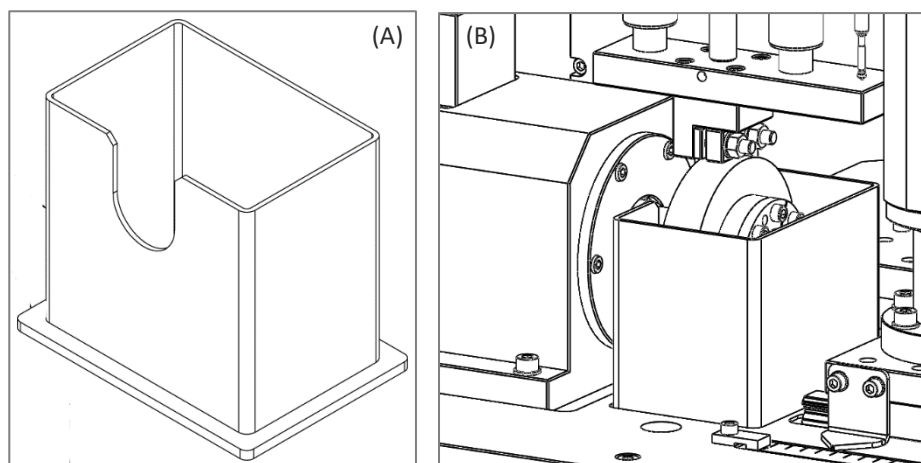


Figura 68 - Reservatório de lubrificante: (A) vista isométrica; (B) montagem no tribómetro

Este reservatório foi projetado para ser facilmente montado / desmontado, bastando encaixá-lo na estrutura, acionar o aperto rápido e rodar os suportes anti queda. Este sistema pode ser visto na Figura 69.

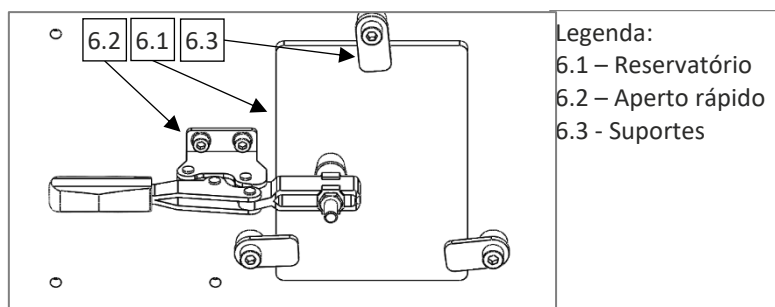


Figura 69 - Sistema de fixação reservatório de lubrificante

Passos para a sua utilização:

1. Garantir a limpeza do reservatório;
2. Apontar o reservatório por baixo da mesa do tribómetro;
3. Rodar os suportes (6.3) para o reservatório não cair;
4. Puxar a manivela do aperto rápido (6.2) para garantir a posição;
5. Encher com o lubrificante até que este toque no disco de ensaio.

3.10 Sistemas auxiliares

3.10.1 Medição do desgaste

Como referido no capítulo 2.2.2, o desgaste pode ser medido através da diferença de massas das amostras antes e depois do ensaio ou através da Equação 7 que relaciona a marca deixado no bloco com o volume gasto.

Existe uma forma alternativa e mais rápida de medir o desgaste. Partindo do facto de que os intervenientes se desgastam ficando mais pequenos, e como consequência o porta-bloco desloca-se na vertical. Este deslocamento pode ser medido por um sensor de deslocamento vertical (LVDT). Isto permite que o desgaste seja lido em direto e permite que gráficos, como o da Figura 29, sejam construídos em tempo real. A Figura 70 mostra o sensor e a montagem do mesmo.

Foi selecionado o sensor GT2-P12 da marca KEYENCE. A Figura 70 mostra o componente na sua montagem enquanto que a Tabela 15 contém as suas principais características (para mais informações, consultar *datasheet* - anexo 6.2.5). Este é fixado na barra de suporte do movimento vertical e a sua parte móvel toca na barra do porta-bloco. Sempre que o bloco se movimenta o sensor lê este movimento.

A sua fixação é extremamente simples, é feita com recurso a uma abraçadeira de fixação (Figura 70 - B). A abraçadeira no interior é cónica e quando apertada, comprime-se e “esmaga” o sensor, fixando-se contra si.

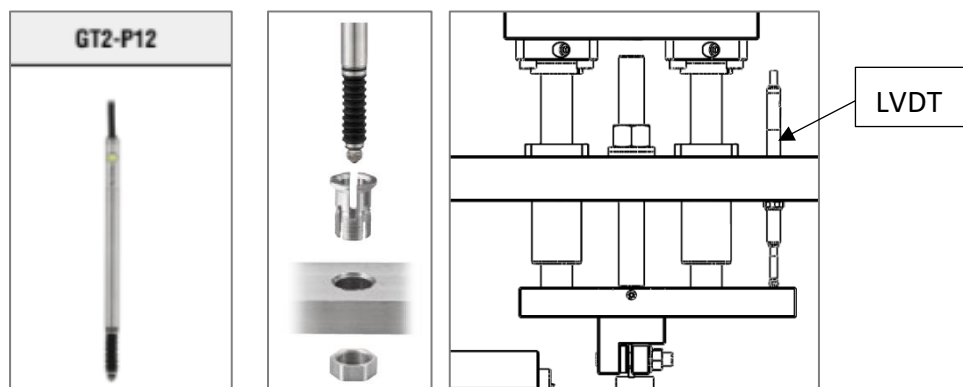


Figura 70 –KEYENCE GT2-P12(A) [35]; Abraçadeira de fixação (B) [35]; (C) Montagem

É necessário ter em atenção que este componente é frágil, devendo ser tratado com o máximo cuidado. A regulação em altura deste sensor deve ser feita sempre que alterado o diâmetro do disco.

Tabela 15 - Características do LVDT KEYENCE GT2-P12

Característica	Valor
Resolução [μm]	0,5
Precisão [μm]	2
Deslocamento [mm]	12
Diâmetro corpo [mm]	8
Peso (sem cabo) [g]	35

3.10.2 Medidor de binário

Uma forma alternativa ou de confirmação da força de atrito é a medição do binário do sistema. Com a aplicação de um sensor de binário depois do motor sabe-se o binário debitado no sistema. A escolha recai sobre o modelo T5 da HBM, e existem os seguintes tamanhos: 10, 20, 50, 100 e 200 Nm.



Figura 71 - Medidor de binário HBM T5 [36]

Sendo o binário máximo do sistema de 27 Nm como comprovado na Equação 20, selecionou-se o sensor da HBM modelo T5 de 50 Nm. As suas principais características podem ser consultadas na Tabela 16 (o *datasheet* do componente encontra-se no anexo 6.2.6).

Tabela 16 – Características do medidor de binário HBM T5

Característica	Valor
Binário nominal [Nm]	50
Velocidade máxima [rpm]	4000
Classe de precisão	0,1
Efeito da temperatura [%/10K]	0,1
Sensibilidade nominal [mv/V]	2
Binário máximo operação [% M nominal]	150
Binário limite [% M nominal]	300
Massa [kg]	0,6

A sua aplicação no sistema é simples, no local onde existe a união de veios entre o redutor e a chumaceira principal, coloca-se este medidor. Necessita de levar um pequeno parafuso para não rodar. A chumaceira principal fica no mesmo sítio e o conjunto do redutor e motor desloca-se para a esquerda, as ligações fazem-se com recurso a uniões de veios. A mesa já contém todas as furações necessárias. Na Figura 72 pode-se verificar a montagem no tribómetro.

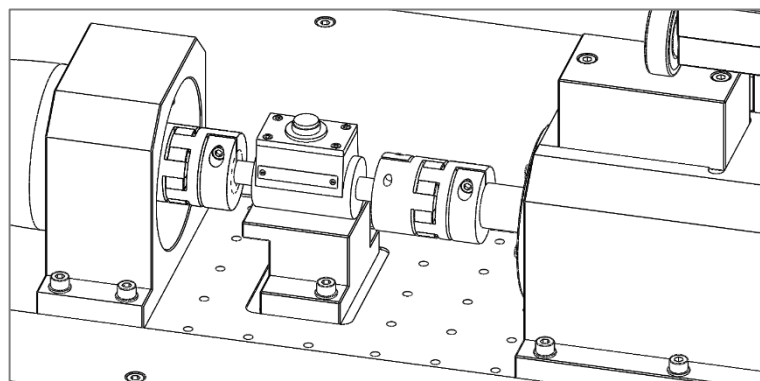


Figura 72 - Aplicação do medidor de binário no sistema

3.10.3 Sistema de ensaio de capas de rolamento cónico 33113

Um dos objetivos deste tribómetro é permitir o ensaio a capas exteriores de rolamentos cónicos com diâmetro exterior 110 mm, transformando o habitual disco nesta capa. Para este diâmetro o rolamento mais usado é 33113, foi então desenvolvido um sistema para este caso específico, pois cada rolamento cónico tem inclinação diferente. A representação desta capa pode ser encontrada na Figura 73.

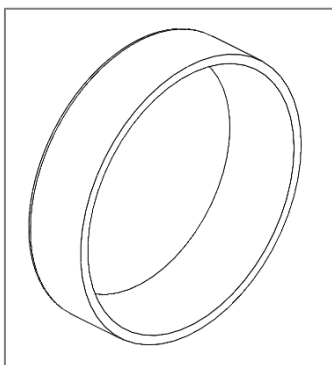


Figura 73 - Capa exterior do rolamento cónico 33113

O sistema consiste num acoplamento especial, uma bucha auto-centrante da BIKON modelo 1003-040-065, um anel de encosto e uma fêmea de passo fino com bloqueio da BOSCH REXROTH modelo NMZ M80x2. O funcionamento é simples, o acoplamento especial é apertado no veio através da bucha, depois insere-se a capa no acoplamento, depois o anel espaçador e de seguida a fêmea, aperta-se a fêmea e bloqueia-se esta através de um perno lateral, o esquema e montagem deste sistema pode ser consultado na Figura 74.

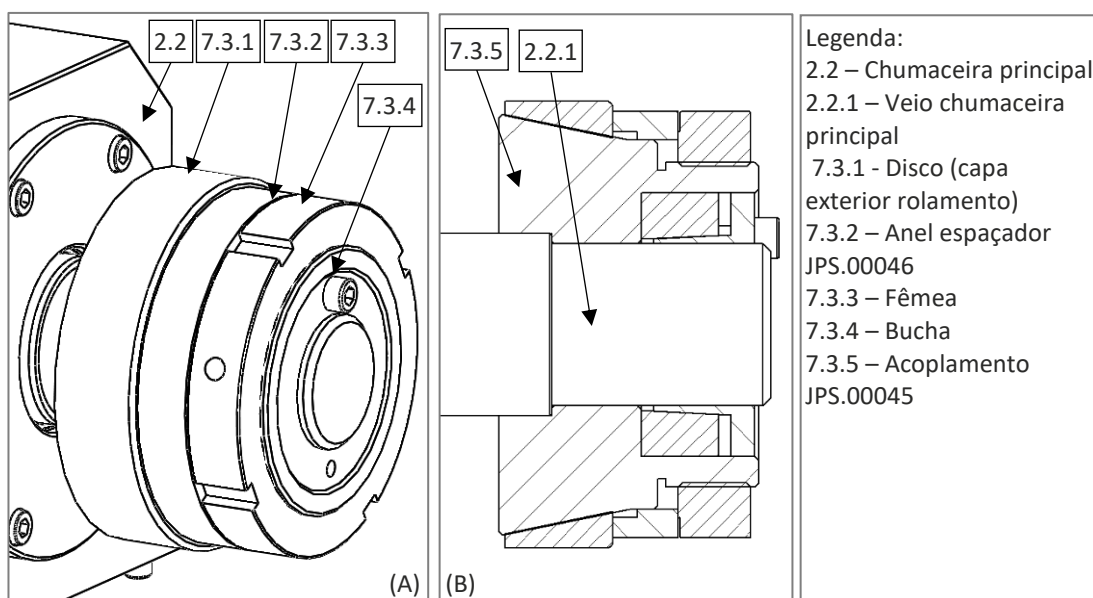


Figura 74 - Sistema de ensaio de capas de rolamento cónico 33113: Vista isométrica(A); Vista de corte (B)

3.11 Orçamentação

Durante o projeto de qualquer equipamento é importante conhecer os custos associados. Assim, foram contactados os diversos fornecedores para orçamentação dos materiais e fabrico ou aquisição dos diversos componentes necessários.

A Tabela 17 apresenta o custo associado a cada sistema ou subsistema.

Tabela 17 - Orçamentação do tribómetro

Sistema	Subsistema	Custo estimado [€]
Sistema do disco	Conjunto motor	3080
Sistema do disco	Chumaceira principal	510
Sistema do disco	Fixação do disco	30
Sistema do bloco	Movimento vertical	740
Sistema do bloco	Chumaceira vertical	320
Sistema do bloco	Movimento horizontal	570
Sistema do bloco	Fixação do bloco	120
Força de atrito	Célula de carga	1200
Estrutura	Estrutura	480
Ensaio com lubrificação	Reservatório de óleo	100
Sistemas auxiliares	Medição desgaste (LVDT)	970
Sistemas auxiliares	Medidor de binário	3280
Sistemas auxiliares	Ensaio de capas rolamentos 33113	490
Diversos	PLC	900
Diversos	Material elétrico diverso	800
TOTAL		13590

O valor total indicado na tabela anterior incluiu o custo de aquisição dos componentes necessários, faltando ainda o custo de montagem, custo de programação eletrónica e custos administrativos. Considerando esses custos da ordem de 70%, podemos estimar que o custo final do tribómetro rondará os 23100 €.

De referir que alguns componentes podem ser adquiridos após a máquina já estar em funcionamento, podendo-se considerar como extras que, caso não existam, a máquina pode funcionar sem qualquer problema. Entre estes componentes podemos incluir, por exemplo, o LVDT, o medidor de binário, o sistema para ensaio de capas de rolamentos ou até o reservatório para ensaios com lubrificação.

CONCLUSÕES

4.1 CONCLUSÕES

4.2 PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 CONCLUSÕES

Este trabalho surgiu da necessidade em projetar um tribómetro para o Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP que, atualmente, não possui nenhum equipamento deste tipo.

O tribómetro bloco-disco projetado no âmbito deste trabalho, e apresentado no capítulo anterior, cumpre com os requisitos inicialmente definidos. As suas principais características encontram-se na Tabela 18 e o seu aspeto geral pode ser observado na Figura 75.

Tabela 18 - Características do tribómetro projetado

Tipo de contacto tribológico	Deslizamento rotativo
Configuração do ensaio	Bloco – disco
Provetes	Disco: <ul style="list-style-type: none"> • Dimensões máximas: Ø 120 mm x 55 mm • Dimensões mínimas: Ø 80 mm x 30 mm Bloco (paralelepípedo): <ul style="list-style-type: none"> • Dimensões mínimas: 12x6x3 • Dimensões máximas: 12x6x15
Velocidade máxima	5 m/s
Método de aplicação da carga	Pesos mortos
Carga	<ul style="list-style-type: none"> • Carga máxima: 20 kg • Carga mínima: 3 kg
Ensaio com lubrificação	✓ através da utilização de um reservatório
Leitura da força de atrito	✓ através de uma célula de carga
Leitura da velocidade	✓ através do servomotor
Controlo da distância percorrida (número de rotações)	✓ através do número de rotações do disco
Ensaio de capas exteriores de rolamentos cónicos 33113	✓ utilizando uma bucha autocentrante
Dimensões de atravancamento (comprimento x largura x altura)	1620 mm x 600 mm x 1560 mm
Peso total aproximado	265 Kg

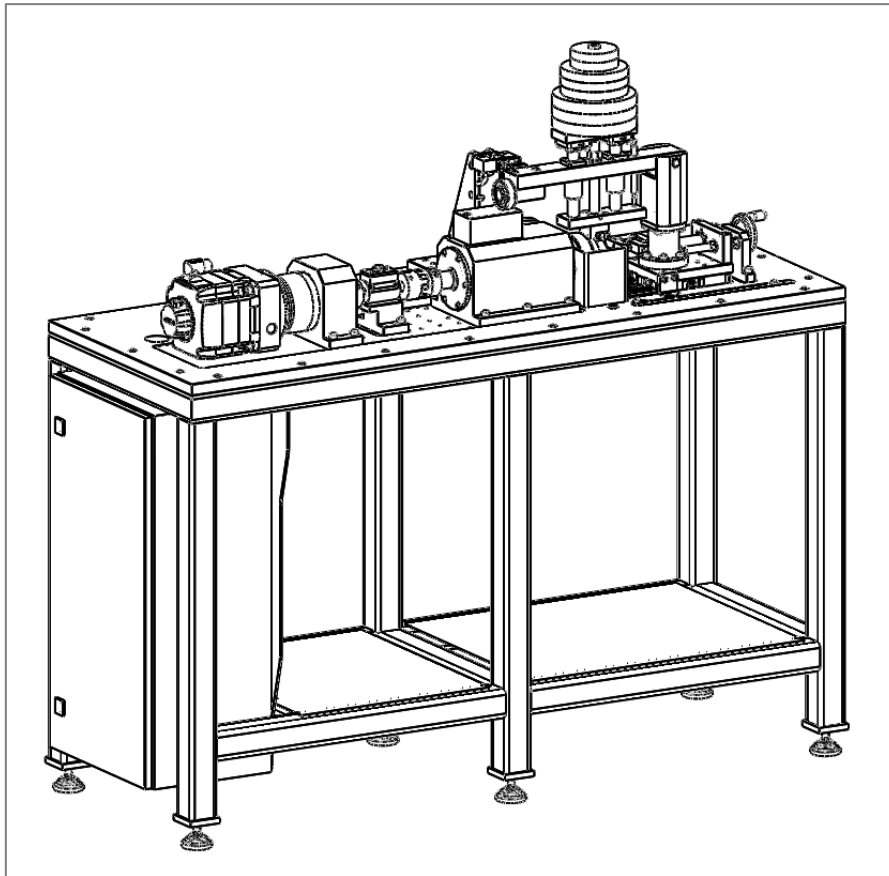


Figura 75 - Vista geral do tribómetro projetado

Há ainda a destacar outras características do equipamento:

- Estrutura em tubo de aço quadrado com 60 mm de lado e espessura de 3mm, conferindo robustez e rigidez à máquina;
- O uso de componentes de elevada qualidade, garantindo durabilidade;
- Rápido *setup* do equipamento. A colocação ou remoção dos provetes é fácil e rápida;
- O bloco pode ser deslocado horizontalmente permitindo cobrir toda a largura do disco. Ou seja, é possível ajustar a zona de contacto entre o bloco e o disco. Este deslocamento é realizado com recurso a um fuso com manivela, para rápida e simples movimentação, e guias lineares que mantém todo o sistema do bloco numa posição rígida (sem folgas). O deslocamento máximo é de 55 mm, que corresponde à largura máxima do disco;
- O bloco tem uma forma paralelepipedica. Contudo, é possível utilizar diferentes geometrias como, por exemplo, esférica e cilíndrica. No entanto, será necessário substituir o porta-amostra;
- A célula de carga pode trabalhar à tração e à compressão o que torna irrelevante o sentido de rotação do disco. Além disso, permite a realização de ensaios oscilatórios;
- O sensor de deslocamento (LVDT) permite monitorizar, durante o ensaio e de forma indireta, o desgaste dos provetes;
- O medidor de binário, colocado no sistema do disco, permite avaliar a força de atrito, através da leitura do binário “consumido” pelo sistema.

Prevê-se que o fabrico, montagem e programação do tribómetro apresente um custo de aproximadamente 23100 €. Contudo, este custo pode ser reduzido se não forem incluídos alguns componentes que não afetam o funcionamento do equipamento, tais como o LVDT e o medidor de binário.

4.2 PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

Como propostas de trabalhos futuros, sugerem-se as seguintes:

- Construção do tribómetro projetado;
- Projeto e fabrico de sistemas (porta-amostras) que permitam a utilização de amostras com outras dimensões e geometrias;
- Criação de sistema para leitura da temperatura no contacto;
- Implementação de um sistema para aquecimento do lubrificante utilizado nos ensaios de atrito e desgaste;
- Desenvolvimento de um sistema para controlo do tribómetro, nomeadamente a velocidade de rotação da pista, da distância percorrida e para aquisição dos dados provenientes dos sensores;
- Criação do manual de funcionamento e de manutenção.
- Aplicação de normas de segurança segundo a diretiva máquinas.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES
DE INFORMAÇÃO**

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- [1] FERREIRA, Luís Andrade – TRIBOLOGIA, Notas de curso – Lubrificação e Lubrificantes. 2ª Edição. Publindústria, 1998.
- [2] FERREIRA, L.A. – A importância da tribologia para a manutibilidade no projeto de novos equipamentos. IBERTIB 2005 – III Congresso Ibérico de tribologia.
- [3] HOLMBERG, Kenneth - COATINGS TRIBOLOGY - Properties, Mechanisms, Techniques and Applications in Surface Engineering. 2ª Edição. Elsevier, 2009
- [4] <http://phbcity.com/invencao/>, consultado em: 12 agosto 2019
- [5] <https://torredebabel.blogs.sapo.pt/saiba-como-os-egipcios-construam-as-117149>, consultado em: 12 agosto 2019
- [6] SILVA, F. A. Pina da – TRIBOLOGIA, I Volume, - Noções Gerais. 2ª Edição. Fundação Calouste Gulbenkian, 2000.
- [7] MAGALHÃES, Luís - CONTACTOS MECÂNICOS: superfícies, materiais e desgaste. Apontamentos para as aulas. ISEP, 2013
- [8] <https://www.infoescola.com/fisica/forcas-no-plano-inclinado/>, consultado em: 12 agosto 2019
- [9] https://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d_778.html, consultado em 28 agosto 2018
- [10] ASM HANDBOOK VOLUME 18 - Friction, Lubrication, and Wear Technology, 1992
- [11] MAGALHÃES, Luís – Tribologia, texto de apoio. Apontamentos para as aulas. ISEP, 2017
- [12] PINTO, Arnaldo Manuel Guedes - INFLUÊNCIA DO COMPORTAMENTO DINÂMICO, Dissertação de Mestrado, Faculdade Engenharia da Universidade do Porto, 2000
- [13] <https://www.mecanicaindustrial.com.br/lubrificacao-hidrostatica>, consultado em: 08 outubro 2018
- [14] Material and Process Selection Charts. Version MFA 10. Cambridge University, 2010
- [15] FERREIRA, Ana Beatriz Silvestre - Comportamento Tribológico de Superfícies Metálicas Nanotexturadas com Lasers de Femtosegundo, Dissertação de Mestrado, Técnico Lisboa, 2017
- [16] SILVA, Francisco José Gomes – Revestimento duros ultrafinos executados por P.V.D., Dissertação de Mestrado, Faculdade Engenharia da Universidade do Porto, 1997
- [17] <http://www.ttz.de/products/tribometers.en>, consultado em: 28 agosto 2018
- [18] <http://www.phoenix-tribology.com/at2/leaflet/te88>, consultado em: 05 setembro 2018
- [19] <http://www.uts-design.com/index.php?page=urundetay&uid=1>, consultado em: 05 setembro 2018
- [20] Siemens – Motores de corrente contínua, Guia rápido para uma especificação precisa – 01.2006

- [21] <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=cfbf543c11e743b388385df32c1ca874>, consultado em: 10 outubro 2019
- [22] <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=c63e73e4a831418985cece9dd2607269>, consultado em: 10 outubro 2019
- [23] <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=537458cba3254a95a678cb9355758444>, consultado em: 10 outubro 2019
- [24] <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=abc4415b0f8b490387e3c922237098da>, consultado em: 10 outubro 2019
- [25] <https://www.thyssenkrupp-materials.co.uk/aluminium-5754.html> consultado em: 10 outubro 2019
- [26] Siemens – Motion control drives - SINAMICS S120 and Simotics – Catalog D 21.4. 2017
- [27] WITTENSTEIN - alpha Basic Line & alpha Value Line. 2018
- [28] R+W Couplings - Servomax® - 602/03/12/1.800
- [29] Schaeffler Technologies AG & Co. KG - Rolling Bearings - MATNR 029679141-0000 / HR 1 / 01 / GB-D / 20180630
- [30] <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/378/1/012007/pdf>
- [31] RINGSPANN – Shaft-Hub-Connections – Edition 2017/2018
- [32] <https://www.elesa-ganter.com/en/www/shoulder-screws-iso-7379>, consultado em: 10 outubro 2019
- [33] HBM - Sensores de força da HBM para indústria e pesquisa - S4358-2.0 pt
- [34] <https://www.elesa-ganter.com/en/www/products/levelling-elements-eg-en-levelling-elements-and-supports-sales--1/levelling-elements-iva#categoryid=12523&sortby=0&facetvalue=&searchtopcategoryid=12501&searchparentcategoryid=12523>, consultado em: 10 outubro 2019
- [35] KEYENCE High-Accuracy Digital Contact Sensor – GT2 series - GT2Short-KA-C-US 1086-1 611C71. 2016
- [36] HBM - Torque measurement technology from HBM - S0903-9.0 en

Bibliografia consultada não referenciada no texto

- [37] CAMPOS, Armando José Vilaça de - MECÂNICA DO CONTACTO. Apontamentos para as aulas. ISEP, 2014
- [38] RODRIGUES, Bruno Rafael Boaventura - PROJETO E FABRICO DE UM TRIBÓMETRO BLOCO – DISCO. Universidade de Aveiro, 2016
- [39] MARTINS, José Pedro Lopes - Estudo, conceção, desenvolvimento e construção de um tribómetro linear para ensaios em superfícies flexíveis, Dissertação de mestrado, Universidade do Minho, 2013.
- [40] Ashby, Michael - Materials selection in mechanical design. 2ªedição. Butterworth-Heinemann. 1999
- [41] J.S.D - FADIGA. Apontamentos para as aulas. ISEP, 2011
- [42] KATO, koji - Wear Mechanisms. Tohoku University, 2001
- [43] Richard Castro¹, Milton Pereira², Maico Furmanski³, João M. Neto⁴ e Cleber L. Izidoro⁵ - Desenvolvimento do sistema de aquisição e supervisão de dados para um

- tribómetro rotativo do tipo pino sobre disco; Revista Ciência e Tecnologia, v. 18, n.32, p.1-8, jan./jun. 2015 - ISSN: 2236-6733
- [44] Mo, J.L. - Impact wear and abrasion resistance of CrN, AlCrN and AlTiN PVD coatings. Elsevier. 2012
- [45] Anton Paar – Tribometers, XCSIP004EN-B. 2016
- [46] Sikder, Arun K. - Tribo-testing Applications in Automotive and Effective Characterization of the Tribo-tests; Bruker. 2014
- [47] Ducom - Pin on disc tribometer CM-9112. 2012
- [48] FALEX - Block-on-Ring Test Machine
- [49] Li, Duanjie - Block-on-ring sliding wear evaluation.
- [50] Nanoeva - Tribometers
- [51] UTS - Tribometer T30M-HT
- [52] <http://www.phoenix-tribology.com/at2/index/prodlist>, consultado a 28 agosto 2018
- [53] <https://www.anton-paar.com/br-pt/produtos/grupo/tribometro/>, consultado a 28 agosto 2018
- [54] <https://ducom.com/test-instruments/tribometers/rotary-pinball-on-disk-tribometer/>, consultado a 28 agosto 2018
- [55] <https://www.falex.com/>, consultado a 28 agosto 2018
- [56] <https://www.tainstruments.com/an-introduction-to-tribology-ta-techtips/>, consultado a 28 agosto 2018
- [57] <https://www.ac2t.at/en/competences/pools/tribosystem-characterisation-tri/infrastructure-pool-tri/>, consultado a 28 agosto 2018
- [58] http://www.nanoprofile.de/Tribometrie/Leistungsverzeichnis/01_Block_auf_Ring_ASTM_G137.html, consultado a 28 agosto 2018
- [59] <http://nanovea.com/tribometers/>, consultado a 28 agosto 2018
- [60] <https://rtec-instruments.com/pin-on-disk-tribometer.html>, consultado a 28 agosto 2018
- [61] <http://www.uts-design.com/index.php?page=urundetay&uid=1>, consultado a 28 agosto 2018
- [62] <https://www.youtube.com/watch?v=65XbmgqIz3I>, consultado a 28 agosto 2018
- [63] Schaeffler Technologies AG & Co. KG - Plain Bearings - MATNR 083165991-0000 / HG 1 / 02 / GB-D / 2016031.5
- [64] Schaeffler Technologies AG & Co. KG – Shaft guidance systems - MATNR 034139060-0000 / WF 1 / 01 / GB-D / 2014028
- [65] Schaeffler Technologies AG & Co. KG – Monorail guidance systems - MATNR 035795131 / PF 1 / 01 / GB-D / 2015112
- [66] SIMRIT – Simmerrings and rotary seals – catalog 2007
- [67] SIMRIT – O-rings and static seals – catalog 2007
- [68] SIMRIT – O-rings and static seals – technical manual 2007
- [69] ROLISA – Catálogo técnico – transmissões - CAT. TRANSMISSÕES 1 / 2007
- [70] REXROTH – Linear bushings - R999000488 (2015-02)
- [71] TECNOPOWER- Husillos de rosca trapecial - HU TR-12/2017

- [72] HIWIN – Linear guideways – GW-10-3-EN-1708-K
- [73] <https://www.hbm.com/pt/6697/artigo-como-um-sensor-de-forca-realmente-funciona/>
- [74] ELDON – Armários de montagem na parede - catálogo
- [75] KEYENCE – Appli sensor general catalog - AppliSensor-KA-GC-US 1027-1 611E29. 2017
- [76] BIKON – Shaft-to-hub connection. 2015
- [77] REXROTH – Screw assemblies. R999001185 (2016.11)
- [78] <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/fab-prod-media-bin/documents/small-Book-pt-PT.pdf> – Fabory, consultado a 14 outubro 2019
- [79] Siemens - MOTOX Geared Motors - Catalog D 87.1. 2011
- [80] MORAIS, Simões – Desenho técnico básico. 24ª edição
- [81] SOLIDWORKS – Simulation – PMT1840-ENG
- [82] SOLIDWORKS – Simulation Professional – PMT1841-ENG

ANEXOS

- 6.1 ANEXO 1 – TABELA COMPARATIVA CARACTERISTICAS TRIBOMETROS EXISTENTES
- 6.2 ANEXO 2 – *DATASHEET* FORNECEDORES
- 6.3 ANEXO 3 – DESENHOS

6. ANEXOS

6.1 ANEXO 1 – TABELA COMPARATIVA CARACTERISTICAS TRIBOMETROS EXISTENTES

MARCA	MODELO	geometria contacto	dimensoes bloco [mm]	dimensões disco [mm]	velocidade [rpm]	velocidade contacto [m/s]	sistema carga	carga [N]	medição força atrito?	permite teste de lubrificante?	permite altas temperaturas ?	permite teste oscilatório?	leitura temperatura?
FALEX	BLOCK ON RING	Bloco - anel	-	-	60-3600	?	pneumático	45-450; 220-590	sim, até 1330	sim	sim, 250°C	sim, 5°-720°	sim
ITE	T 05 BLOCK ON RING	Bloco - anel	largura 35	Ø35	-	até 5,5	-	até 3150	sim	não	sim, até 150°C	sim, até 90°, até 8Hz	sim
ITE	T13 CROSSED CYLINDER	Cilindro 90° - anel	Ø18	Ø25	960	1,3	-	400	não	sim	não	não	não
ITE	TE 53	Bloco - anel	12,7	Ø60	30-850	até 4	pesos	50-750	sim	sim	não	-	sim
ITE	TE 72 TWO ROLLER MACHINE	2 rolos	-	Ø50-Ø120 x 30(max.)	3000	-	pneumático	5000	não	não	sim, até 150°C	-	não
DUCOM	CM-9112	Pino/esfera - disco	04-010	Ø10-Ø100	001-2000	-	-	até 60	sim, até 20N	sim	sim, até 800°C	sim, até 90°, até 5Hz	não
ANTON PAAR	TBR	Pino - Disco	-	Ø60(max.) x 15(max.)	1-500	-	-	até 10	sim, até 10N	não	não	-	não
NANOPROFILE		Bloco - anel	4x4x17	Ø60xØ50 x28	-	0,007-3	pesos	3-200	sim, até 200N	sim	sim	-	sim
NANOVEA	T50	-	-	Ø100	0-5000	-	-	40	sim, até 20N	não	sim, até 1000°C	-	sim
NANOVEA	T500	-	-	Ø100	0-5000	-	-	500	sim, até 250N	não	sim, até 1000°C	-	sim
BRUKER	UMT	-	-	-	-	-	-	-	não	não	não	-	não
UTS DESIGN	T10	Pino - disco	04-010	Ø110	50-1000	-	pesos	001-060	sim, até 60N	sim, opcional	não	não	sim, opcional
FEUP	Tribómetro de Blouet	Bloco - disco	3x11x6	Ø120x30	-	até 4?	pesos	até 370?	sim	sim	não	não	não
novaswiss	-	-	-	Ø40	1-1500	-	-	1-150	não	sim	sim, até 750°C	-	não

6.2 ANEXO 2 – DATASHEET FORNECEDORES

6.2.1 DATASHEET SERVOMOTOR

SIEMENS

Data sheet for SIMOTICS S-1FK7 servo geared motor




Figure similar

MLFB-Ordering data **1FK7080-2AF71-1BG1-Z**
J29

Client order no. :
Order no. :
Offer no. :
Remarks :

Item no. :
Consignment no. :
Project :

Engineering data	Mechanical data
Rated speed (100 K) 3000 rpm	Motor type Permanent-magnet synchronous motor
Number of poles 8	Motor type Compact
Rated torque (100 K) 6.8 Nm	Shaft height 80
Rated current 4.4 A	Cooling Natural cooling
Static torque (60 K) 6.60 Nm	Radial runout tolerance 0.050 mm
Static torque (100 K) 8.0 Nm	Concentricity tolerance 0.10 mm
Stall current (60 K) 4.00 A	Axial runout tolerance 0.10 mm
Stall current (100 K) 4.90 A	Vibration severity grade Grade A
Moment of inertia 22.640 kgcm ²	Connector size 1
	Degree of protection IP65
	Design acc. to Code I IM B5 (IM V1, IM V3)
	Temperature monitoring Pt1000 temperature sensor
	Electrical connectors Connectors for signals and power rotatable
	Color of the housing Standard (Anthracite RAL 7016)
	Holding brake without holding brake
	Shaft extension Plain shaft
	Encoder system Encoder AS24DQI: absolute encoder single-turn 24 bits

Physical constants	
Torque constant	1.61 Nm/A
Voltage constant at 20° C	105.0 V/1000*min ⁻¹
Winding resistance at 20° C	0.98 Ω
Rotating field inductance	17.2 mH
Electrical time constant	17.50 ms
Mechanical time constant	1.52 ms
Thermal time constant	40 min
Shaft torsional stiffness	120000 Nm/rad
Net weight of the motor	27.5 kg

Recommended Motor Module	
Rated inverter current	5 A
Maximum inverter current	15 A
Maximum torque	22.10 Nm

Technical data are subject to change! There may be discrepancies between calculated and rating plate values.

Page 1 of 2 Generated Fri Oct 11 22:51:49 CEST 2019

SIEMENS

MLFB-Ordering data
**1FK7080-2AF71-1BG1-Z
J29**

Figure similar
Gearbox data

Gearbox type	Planetary gearbox SP+	Moment of inertia of gearbox	8.440 kgcm ²
Designation	SP 1405-MF1	Radial output shaft loading, max.	9450 N
Gearbox shaft end	Without feather key	Axial output shaft load, max.	9870 N
Gear ratio + steps	10 (1-step)	Efficiency of gearbox	0.97
Motor speed S3-60 %	4000 rpm	Torsional backlash	3'
Motor speed S1	2600 rpm	Gearbox weight	17.20 kg
Output torque S1	220 Nm		
Rated output torque at duty type S3-60 %	480 Nm		

Special design

J29 Mounting of SP+ planetary gearbox

Limiting data

Max. permissible speed (mech.)	6000 rpm
Max. permissible speed (inverter)	5500 rpm
Maximum torque	25.0 Nm
Maximum current	18.0 A

Technical data are subject to change! There may be discrepancies between calculated and rating plate values.

Page 2 of 2

Generated Fri Oct 11 22:51:49 CEST 2019

6.2.2 DATASHEET REDUTOR



Datasheet

alpha Value Line

NP 035 STANDARD

The efficient allrounder for universal use



Gearbox characteristics		Performance data	
Ordering code	NP035S-MF1-3-011-1S	Max. torque T_{25}	320 Nm
Gearbox type	NP	Emergency stop torque	600 Nm
Size	035	Max. input speed	6000 min ⁻¹
Type code	Standard	Nominal input speed	2300 min ⁻¹
Gearbox variation	Motor attachment	Max. tilting moment	317 Nm
Gearbox model	Standard	Max. axial force	4000 N
Stages	1	Max. radial force	6000 N
Ratio	3	Moment of inertia	7.2 kgcm ²
Output type	Smooth output shaft	Weight	9.4 kg
Clamping hub diameter	32 mm	Lubrication	Lubricated for life
Backlash	Standard ≤ 8 arcmin	Max. operating temperature	90 °C
Gearbox material number	10033321	Protection class	IP 64
		Operating noise	≤ 70 dB(A)
		Paint	Dark pearl gray / innovation blue

Motor mounting parts	
Motor	SIEMENS AG 1FK7080-2AF71
Adapter plate material number	10032950

Creation date: 10.11.2019

Created with SIZING ASSISTANT
Page 1

6.2.3 DATASHEET BUCHA RLK 110

Cone Clamping Elements RLK 110

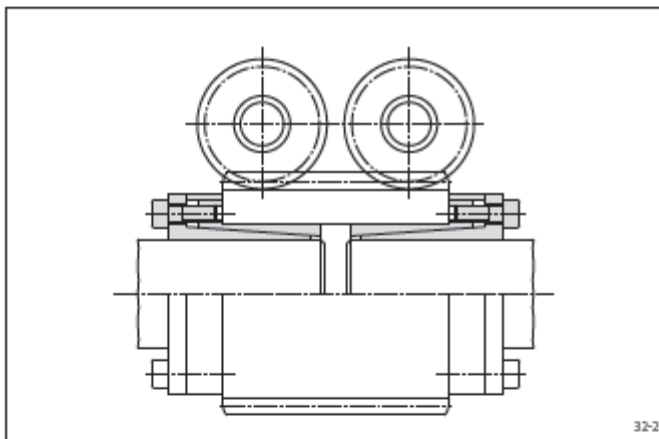
centres the hub to the shaft
radial flat height

RINGSPANN®

32-1

Features

- Centres the shaft to the hub
- High transmissible torques
- Radial flat height is particularly suitable for small hub outer diameters
- No axial displacement between hub and shaft during clamping procedure due to fixed backstop point
- Transmissible torque of 17 Nm up to 18000 Nm
- For shaft diameters between 6 mm and 120 mm



32-2

Application example

Backlash free connection of a screw gear and simultaneous coupling of the divided drive shaft of a continuous heating furnace with two Cone Clamping Elements RLK 110. A simple and cost-effective solution, because clamping the screw gear and coupling the shaft ends is achieved simultaneously by the Cone Clamping Elements.

Transmissible torques and axial forces

The transmissible torques or axial forces listed on the following page are subject to the following tolerances, surface characteristics and material requirements. Please contact us in the case of deviations.

Tolerances

- h8 for shaft diameter d
- H8 for hub bore D

Surfaces

Average surface roughness at the contact surfaces between the shaft and the hub bore:
 $R_a = 10 \dots 25 \mu\text{m}$.

Materials

The following apply to the shaft and the hubs:

- E-module $\geq 170 \text{ kN/mm}^2$

Installation

Please request our installation and operating instructions for Cone Clamping Elements RLK 110.

Simultaneous transmission of torque and axial force

The transmissible torques M which are shown in the tables apply for axial forces $F = 0 \text{ kN}$ and conversely, the indicated axial forces F apply to torques $M = 0 \text{ Nm}$. If torque and axial force are to be transmitted simultaneously, the transmissible torque and the transmissible axial force are reduced. Please refer to the technical points on pages 72 and 73.

Example for ordering

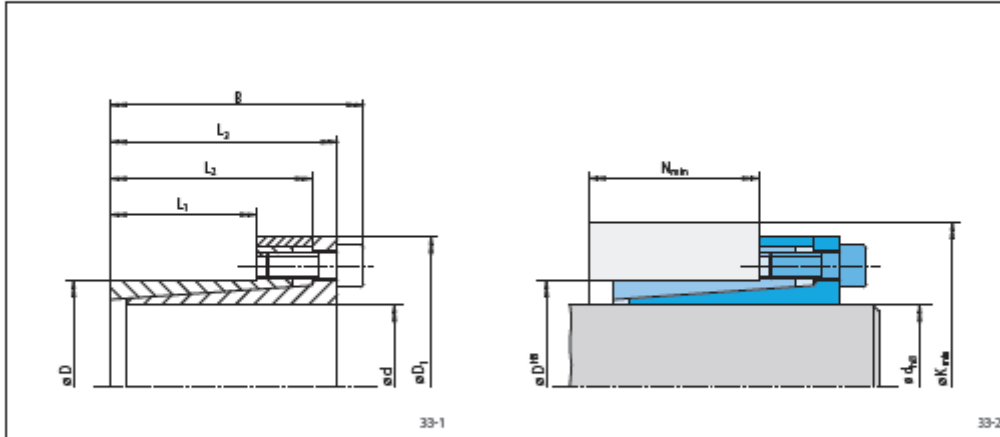
Cone Clamping Element RLK 110 for shaft diameter $d = 100 \text{ mm}$:

- RLK 110, size 100 x 125
Article number 4206-100001-000000

Cone Clamping Elements RLK 110




centres the hub to the shaft
radial flat height



d mm	D mm	D ₁ mm	B mm	Dimensions			Yield strength R _e of the hub material (N/mm ²)						Transmissible torque or axial force		Contact pressure at Shaft / Hub		Clamping screws		Weight kg	Article number		
				L ₁ mm	L ₂ mm	L ₂ mm	200 K _{min} mm	200 N _{min} mm	320 K _{min} mm	320 N _{min} mm	500 K _{min} mm	500 N _{min} mm	M N	F kN	P _{Sh} N/mm ²	P _H N/mm ²	Tightening torque M _s Nm	Num- ber			Size	Length mm
6	14	25	24	10	19	21	33	15	23	13	19	12	17	5,8	255	110	2,1	4	M 3	10	0,1	4206-005001-000000
8	15	27	29	12	22	25	38	18	26	15	21	14	31	7,8	216	115	5,1	3	M 4	10	0,1	4206-008001-000000
9	16	28	30	14	23	26	45	22	29	18	23	16	47	10	219	123	5,1	4	M 4	10	0,1	4206-009001-000000
10	16	29	30	14	23	26	45	22	29	18	23	16	52	10	197	123	5,1	4	M 4	10	0,2	4206-010001-000000
11	18	32	30	14	23	26	43	21	30	17	25	16	57	10	179	110	5,1	4	M 4	10	0,2	4206-011001-000000
12	18	32	30	14	23	26	43	21	30	17	25	16	62	10	164	110	5,1	4	M 4	10	0,2	4206-012001-000000
14	23	38	30	14	23	26	42	19	33	17	29	16	73	10	141	86	5,1	4	M 4	10	0,2	4206-014001-000000
15	24	44	42	16	29	36	84	31	52	23	38	20	180	24	261	164	17,4	4	M 6	18	0,2	4206-015001-000000
16	24	44	42	16	29	36	84	31	52	23	38	20	190	24	245	164	17,4	4	M 6	18	0,3	4206-016001-000000
17	26	47	44	18	31	38	75	31	49	24	38	21	200	24	205	134	17,4	4	M 6	18	0,3	4206-017001-000000
18	26	47	44	18	31	38	75	31	49	24	38	21	210	24	194	134	17,4	4	M 6	18	0,3	4206-018001-000000
19	27	48	44	18	31	38	73	30	49	24	39	21	220	24	184	129	17,4	4	M 6	18	0,3	4206-019001-000000
20	28	49	44	18	31	38	72	29	49	24	40	21	240	24	174	125	17,4	4	M 6	18	0,3	4206-020001-000000
22	32	54	51	25	38	45	58	32	45	29	40	27	260	24	114	79	17,4	4	M 6	18	0,3	4206-022001-000000
24	34	56	51	25	38	45	59	32	47	29	42	27	280	24	105	74	17,4	4	M 6	18	0,3	4206-024001-000000
25	34	56	51	25	38	45	59	32	47	29	42	27	300	24	101	74	17,4	4	M 6	18	0,3	4206-025001-000000
28	39	61	51	25	38	45	80	36	60	31	51	28	500	35	135	97	17,4	6	M 6	18	0,4	4206-028001-000000
30	41	62	51	25	38	45	80	35	61	30	53	28	530	35	126	92	17,4	6	M 6	18	0,4	4206-030001-000000
32	43	65	51	25	38	45	100	40	71	32	59	29	760	47	157	117	17,4	8	M 6	18	0,5	4206-032001-000000
35	47	69	56	30	43	50	90	41	69	36	60	34	830	47	120	89	17,4	8	M 6	18	0,5	4206-035001-000000
38	50	72	56	30	43	50	91	41	71	36	63	34	900	47	110	84	17,4	8	M 6	18	0,6	4206-038001-000000
40	53	75	56	30	43	50	92	40	74	36	65	33	940	47	105	79	17,4	8	M 6	18	0,6	4206-040001-000000
42	55	78	65	32	50	57	142	54	97	43	78	38	1800	86	171	130	42,2	8	M 8	22	0,9	4206-042001-000000
45	59	85	73	40	57	65	122	56	90	48	77	45	1950	86	128	97	42,2	8	M 8	22	1,0	4206-045001-000000
48	62	87	78	45	62	70	114	58	89	52	78	48	2050	86	106	82	42,2	8	M 8	22	1,0	4206-048001-000000
50	65	92	78	45	62	70	136	63	100	54	85	50	2700	110	128	98	42,2	10	M 8	22	1,3	4206-050001-000000
55	71	98	83	50	67	75	129	65	101	58	88	55	3000	110	104	81	42,2	10	M 8	22	1,5	4206-055001-000000
60	77	104	83	50	67	75	131	64	106	58	94	55	3200	110	96	75	42,2	10	M 8	22	1,7	4206-060001-000000
65	84	111	83	50	67	75	135	63	112	57	101	55	3500	110	88	69	42,2	10	M 8	22	1,9	4206-065001-000000
70	90	119	101	60	80	91	166	79	129	70	113	66	5900	170	108	84	83,0	10	M 10	25	2,9	4206-070001-000000
75	95	126	101	60	80	91	168	79	133	70	117	66	6400	170	101	80	83,0	10	M 10	25	2,3	4206-075001-000000
80	100	131	106	65	85	96	184	86	143	76	125	72	8200	200	104	84	83,0	12	M 10	25	3,3	4206-080001-000000
85	106	137	106	65	85	96	186	85	148	76	131	72	8700	200	98	79	83,0	12	M 10	25	3,6	4206-085001-000000
90	112	143	106	65	85	96	218	92	167	79	143	73	11500	250	116	93	83,0	15	M 10	25	4,0	4206-090001-000000
95	120	153	106	65	85	96	219	90	173	79	151	73	12100	250	110	87	83,0	15	M 10	25	4,5	4206-095001-000000
100	125	162	114	65	89	102	245	95	188	81	161	74	15000	300	123	98	144,0	12	M 12	30	5,5	4206-100001-000000
110	140	180	140	90	114	128	217	110	182	101	165	97	16500	300	81	64	144,0	12	M 12	30	8,0	4206-110001-000000
120	155	198	140	90	114	128	228	109	196	101	180	97	18000	300	74	57	144,0	12	M 12	30	10,5	4206-120001-000000

6.2.4 DATASHEET CELULA CARGA HBM S2M 500N



S2M

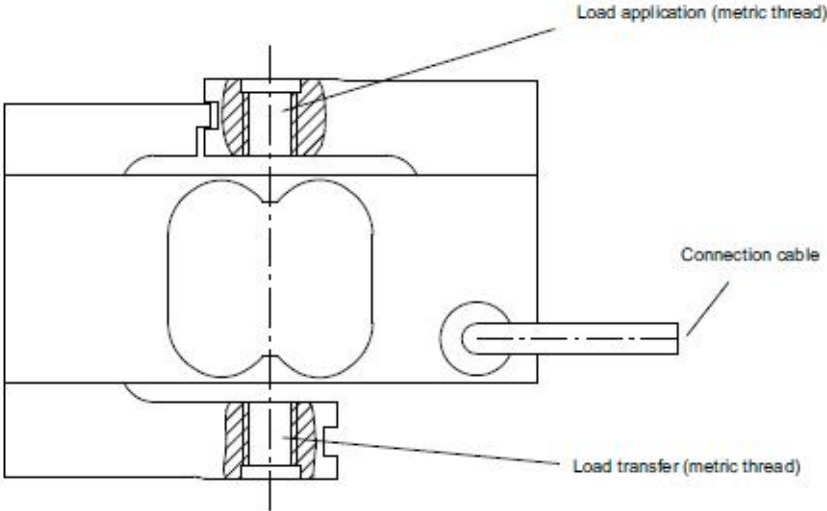
Force Transducer

Special features


- Tensile/compressive force transducer
- Accuracy class 0.02
- Nominal (rated) forces: 10 N ... 1000 N
- High protection class (IP67)
- High lateral force stability
- Six-wire circuit

Data sheet

Principle of the S2M force transducer





B3594-1.3 en



Specifications (data per VDI/DE/DKD 2638 standards)

Type		S2M							
Nominal (rated) force	F_{nom}	N	10	20	50	100	200	500	1000
Accuracy									
Accuracy class			0.02						
Relative reproducibility and repeatability errors without rotation	d_{rg}	%	0.02						
Relative reversibility error	v		0.02						
Non-linearity	d_{lin}		0.02						
Relative creep over 30 min.	$d_{cr, F+E}$		0.02						
Effect of the bending moment at 10% F_{nom} * 10 mm	d_{bE}		0.02						
Effect of lateral forces (lateral force = 10% F_{nom})	d_Q		0.02						
Effect of temperature on sensitivity	TK_C		% / 10 K	0.02					
Effect of temperature on zero signal	TK_0	0.02							
Electrical characteristic values									
Nominal (rated) sensitivity	C_{nom}	mV/V	2						
Relative zero signal error	$d_{0,0}$	%	5						
Relative sensitivity error	d_c		0.25						
Rel. tensile/compression sensitivity variation	d_{zD}		0.1						
Input resistance	R_i	Ω	> 345						
Output resistance	R_o		350 \pm 50						
Insulation resistance	R_{is}	G Ω	> 2						
Operating range of the excitation voltage	$E_{U,0}$	V	0.5 ... 12						
Reference excitation voltage	U_{ref}		5						
Connection			Six-wire circuit						
Temperature									
Nominal (rated) temperature range	$B_{T,nom}$	$^{\circ}C$	-10 ... +45						
Operating temperature range	$B_{T,0}$		-10 ... +70						
Storage temperature range	$B_{T,S}$		-10 ... +85						
Mechanical characteristic quantities									
Max. operating force	F_O	%	150						
Limit force	F_L		1000						
Breaking force	F_B		1000						
Limit torque	M_L	Nm	4	8	25	28			
Limit bending moment	$M_{b,perm}$		6	25	34	50	71	95	125
Static lateral limit force	F_Q	% of F_{nom}	100						
Nominal (rated) displacement	s_{nom}	mm	0.27	0.21	0.18	0.15	0.13	0.12	0.13
Fundamental resonance frequency	f_G	Hz	94.4	146	243	358	475	582	618
Relative permissible oscillatory stress	F_{rb}	% of F_{nom}	140						
General data									
Degree of protection per EN 60529			IP 67						
Measuring body material			Aluminum						
Potting material			Silicone						
Cable			Six-wire circuit, PUR insulation, drag chain compliant						
Cable length		m	6						
Mass (with cable)	m	kg	0.5						

6.2.5 DATASHEET KEYENCE GT2-P12

Data Sheet		KEYENCE
		
GT2-P12 Stylus type General-purpose Sensor head 		
SPECIFICATIONS		
Model	GT2-P12 ¹	
Deflection system	Scale Shot System II, absolute (no tracking errors) type	
Measuring range	12 mm 0.47 ²	
Resolution	0.5 μm 0.02 Mil	
Indicated accuracy	2 μm 0.08 Mil (p-p) ²	
Measuring force	Downward mounting	1.0 N ³
	Side mounting	0.95 N ³
	Upward mounting	0.9 N ³
Sampling cycle	4 ms	
Mechanical response	10 Hz ²	
Operation indicator light	2-color LED (red, green)	
Environmental resistance	Enclosure rating	IP67G (JIS) ⁴ , IP67 (IEC), NEMA Type 13 ⁴
	Ambient temperature	-10 to +55 °C 14 to 131 °F (No freezing)
	Relative humidity	35 to 85 % RH (No condensation)
	Vibration resistance	10 to 55 Hz, Double amplitude 1.5 mm 0.06 ⁵ ; 2 hours in each of the X, Y, and Z directions
	Shock resistance	1,000 m/s ² (IEC60068-2-27)
Materials	Main body	Main body case: SUS 303, Status Indicator: PET, Sensor head-relay connector cable: PUR, Relay connector: PBT
	Dust boot	NBR
	Contact	SUS304, SUS440C ⁶
Sensor head cable	Optional (connect to relay connector)	
Weight	Approx. 35 g (excluding cable) ⁶	
¹ Note: You may not be able to connect the sensor head to the amplifier unit depending on when the amplifier unit was purchased. For details, contact your local sales office. ² Value when the ambient temperature is 20 °C 68 °F. ³ Value at center of measuring range. Please note that the measurement force changes depending on the installation state of the dust boots. ⁴ When an M8 oil-resistant cable (GT2-CHP2M/CHP5M/CHP10M) is used for the sensor head cable. ⁵ The contact is included with the sensor. ⁶ Including the relay connector.		

6.2.6 DATASHEET HBM T5

T5

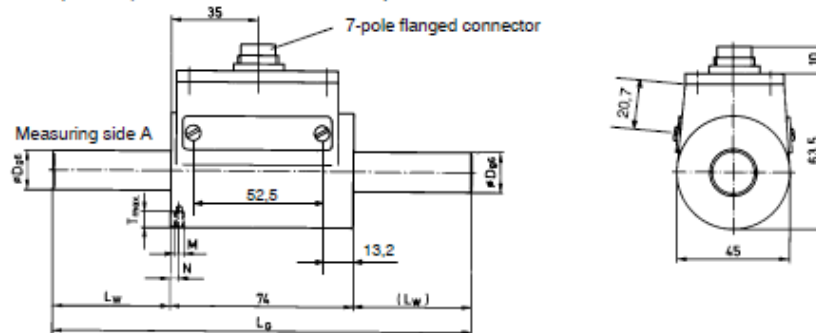
Torque Transducer

Data Sheet

**Special features**

- Measurement of torques in any direction of rotation
- Nominal torques 10 N-m, 20 N-m, 50 N-m, 100 N-m and 200 N-m
- Cylindrical shaft-stubs for no-play friction joints
- Small and handy

Dimensions (in mm; 1 mm= 0.03937 inches)



Type	L_G	L_W	$\varnothing D_{qs}$	M	N	T_{max}
T5/10 N-m	132	29	14	M4	3.5	8
T5/20 N-m	132	29	16	M4	3.5	8
T5/50 N-m	158	42	16	M4	3.5	8
T5/100 N-m	158	42	20	-	-	-
T5/200 N-m	188	47	20	-	-	-

B0071-1.2 en



Specifications

Type		T5				
Accuracy class		0,1				
Nominal torque	N m	10	20	50	100	200
Nominal sensitivity (nominal output signal at nominal torque)	mV/V	2				
Sensitivity tolerance	%	< ± 0,2				
Temperature effect per 10 K in the nominal temperature range	%	< ± 0,1				
On output signal (related to actual value)	%	< ± 0,1				
On zero signal (related to nominal sensitivity)	%	< ± 0,1				
Linearity deviation, including hysteresis, related to nominal sensitivity	%	< ± 0,1				
Relative standard deviation of reproducibility according to DIN 1319 (related to variation of output signal)	%	< ± 0,05				
Input resistance at reference temperature	Ω	350 ± 1,8				
Output resistance at the reference temperature	Ω	350 ± 1,5				
Maximum permissible excitation voltage	V	20				
Nominal range of the excitation voltage	V	0,5...12				
Reference temperature	°C [°F]	+23 [+73,4]				
Nominal temperature range	°C [°F]	+10...+80 [+50...+140]				
Service temperature range	°C [°F]	-10...+80 [+14...+140]				
Storage temperature range	°C [°F]	-50...+70 [-13...+158]				
Mechanical values (related to nominal torque)						
Static limit load	%	150				
Static breaking load	%	300				
Bending limit moment ¹⁾	N·m	1,2	2,3	6	11	23
Axial limit force ¹⁾	kN	0,6	1,9	3,5	5,5	8,8
Lateral limit force ¹⁾	N	9	28	50	80	125
Torsion angle at nominal torque, approx.	degrees	0,85				
Moment of inertia	kg·m ² ·10 ⁻⁸	0,041		0,047		
Maximum permissible speed	rpm	4000				
Service life of the slipping system, approx.	revol.	3·10 ⁸				
Vibration amplitude to ISO/R 373 (related to the nominal torque M _N) ²⁾	%	70 (Peak-to-peak)				
Additional reliability data						
Mechanical impact test, degree of precision to IEC 68-2-27-1987						
Number	n	1000				
Duration	ms	3				
Acceleration	m/s ²	500				
Vibration stress test, degree of precision to IEC 68-2-6-1982						
Frequency range	Hz	5...65				
Duration	h	1,5				
Acceleration	m/s ²	50				
Protection class according to EN 60529		IP 50				
Weight, approx.	kg	0,5		0,8		

¹⁾ Each type of irregular stress can only be permitted with its given limit value (bending moment, side load or axial load, exceeding the nominal speed) if none of the others can occur. Otherwise the limit values must be reduced. If for instance 30 % of the bending moment and also 30 % of the side load are present, only 40 % of the axial load are permitted, provided that the nominal torque is not exceeded. With maximum additional loading, measuring errors of the order of 1 % of the nominal torque can occur.

²⁾ The nominal torque must not then be exceeded.

Accessories (to be ordered separately):

Connecting cable Kab 139A-6, length 6 m (423-free ends)

Modifications reserved.

All details describe our products in general form only. They are not to be understood as express warranty and do not constitute any liability whatsoever.

B0071-1.2 en

Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH


Postfach 10 01 51, D-64201 Darmstadt
Im Tiefen See 45, D-64283 Darmstadt
Tel.: +49/61 51/ 8 03-0; Fax: +49/61 51/ 8039100
E-mail: support@hbm.com www.hbm.com

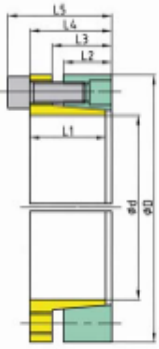


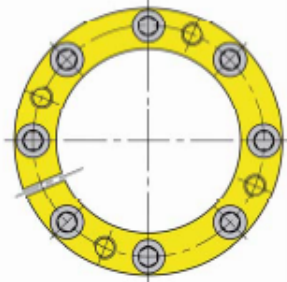
measurement with confidence

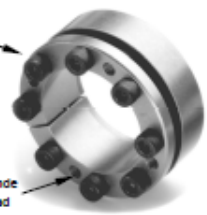
6.2.7 DATASHEET BUCHA BIKON 1003-040-65

BIKON 1003 (Standard)










Spanschraube
Locking screw
Vite trasmettrice di tensione

Abdrückgewinde
Release thread
Filetto di estrazione

Spannsatz Abmessungen Dimensione Locking Device Dimensioni						Übertr. Kräfte transm. Forcée Forze trasmissibili			Flächenpressung Surface Pressure Pressione superf.		Schrauben Screws Viti di serraggio			Gewicht Weight Peso	
Ød	ØD	L1	L2 mm	L3	L4	L5	T (F _{ax} =0) Nm	M _b Nm	F _{ax} (T=0) kN	p _W N/mm ²	p _N N/mm ²	n	DIN 912-12.9	T _A Nm	G kg
40	65	25	17	22	28	34	1 160	405	58	227	140	8	M6	14	0,38
42	75	30	20	25	33	41	2 010	700	95	303	170	7	M8	35	0,69
45	75	30	20	25	33	41	2 150	755	95	283	170	7	M8	35	0,64
48	80	30	20	25	33	41	2 300	805	95	265	159	7	M8	35	0,70
50	80	30	20	25	33	41	2 390	835	95	254	159	7	M8	35	0,69
55	85	30	20	25	33	41	3 010	1 050	109	264	171	8	M8	35	0,75
60	90	30	20	25	33	41	3 280	1 150	109	242	162	8	M8	35	0,80
63	95	30	20	25	33	41	3 880	1 350	123	260	172	9	M8	35	0,90
65	95	30	20	25	33	41	4 000	1 400	123	252	172	9	M8	35	0,86
70	110	37	24	30	40	50	6 140	2 150	175	277	176	8	M10	70	1,54
75	115	37	24	30	40	50	6 580	2 300	175	259	169	8	M10	70	1,61
80	120	37	24	30	40	50	7 020	2 450	175	243	162	8	M10	70	1,71
85	125	37	24	30	40	50	8 390	2 930	197	257	175	9	M10	70	1,80
90	130	37	24	30	40	50	8 880	3 110	197	243	168	9	M10	70	1,89
95	135	37	24	30	40	50	10 400	3 540	219	255	180	10	M10	70	1,97
100	145	41	26	32	44	56	13 200	4 640	265	271	187	8	M12	125	2,60
110	155	41	26	32	44	56	14 600	5 100	265	246	175	8	M12	125	2,80
120	165	41	26	32	44	56	17 900	6 270	298	254	185	9	M12	125	3,03
130	180	49	33	39	52	64	25 800	9 060	398	246	178	12	M12	125	4,34
140	190	52	33	39	54	68	27 300	9 580	391	225	165	9	M14	190	4,90
150	200	52	33	39	54	68	32 500	11 400	434	233	175	10	M14	190	5,22
160	210	52	33	39	54	68	38 200	13 300	478	240	183	11	M14	190	5,56
170	225	60	44	50	65	79	44 300	15 500	521	185	140	12	M14	190	7,70
180	235	60	44	50	65	79	46 900	16 400	521	175	134	12	M14	190	8,16
190	250	60	44	50	65	79	61 900	21 600	651	207	157	15	M14	190	9,44
200	260	60	44	50	65	79	65 100	22 800	651	196	151	15	M14	190	9,88
220	285	68	50	56	74	90	78 700	27 500	716	173	133	12	M16	295	13,42
240	305	68	50	56	74	90	107 400	37 600	895	198	156	15	M16	295	14,46
260	325	68	50	56	74	90	139 600	48 800	1 074	219	175	18	M16	295	16,11
280	355	80	60	68	88	106	160 900	56 300	1 149	182	143	16	M18	405	23,44
300	375	80	60	68	88	106	193 900	67 800	1 293	191	152	18	M18	405	25,28
320	405	96	74	83	105	125	270 400	94 600	1 690	189	150	18	M20	580	36,94
340	425	96	74	83	105	125	335 100	117 300	1 971	208	166	21	M20	580	39,00
360	455	111	86	95	120	142	372 500	130 400	2 069	177	140	18	M22	780	54,00
380	475	111	86	95	120	142	458 800	160 500	2 414	196	157	21	M22	780	56,20
400	495	111	86	95	120	142	482 900	169 000	2 414	186	150	21	M22	780	58,85
420	515	111	86	95	120	142	507 100	177 400	2 414	177	145	21	M22	780	61,50
440	535	111	86	95	120	142	531 200	185 900	2 414	169	139	21	M22	780	64,15
460	555	111	86	95	120	142	581 800	203 600	2 529	170	141	22	M22	780	66,75
480	575	111	86	95	120	142	662 300	231 800	2 759	177	148	24	M22	780	69,40
500	595	111	86	95	120	142	689 900	241 400	2 759	170	143	24	M22	780	72,00

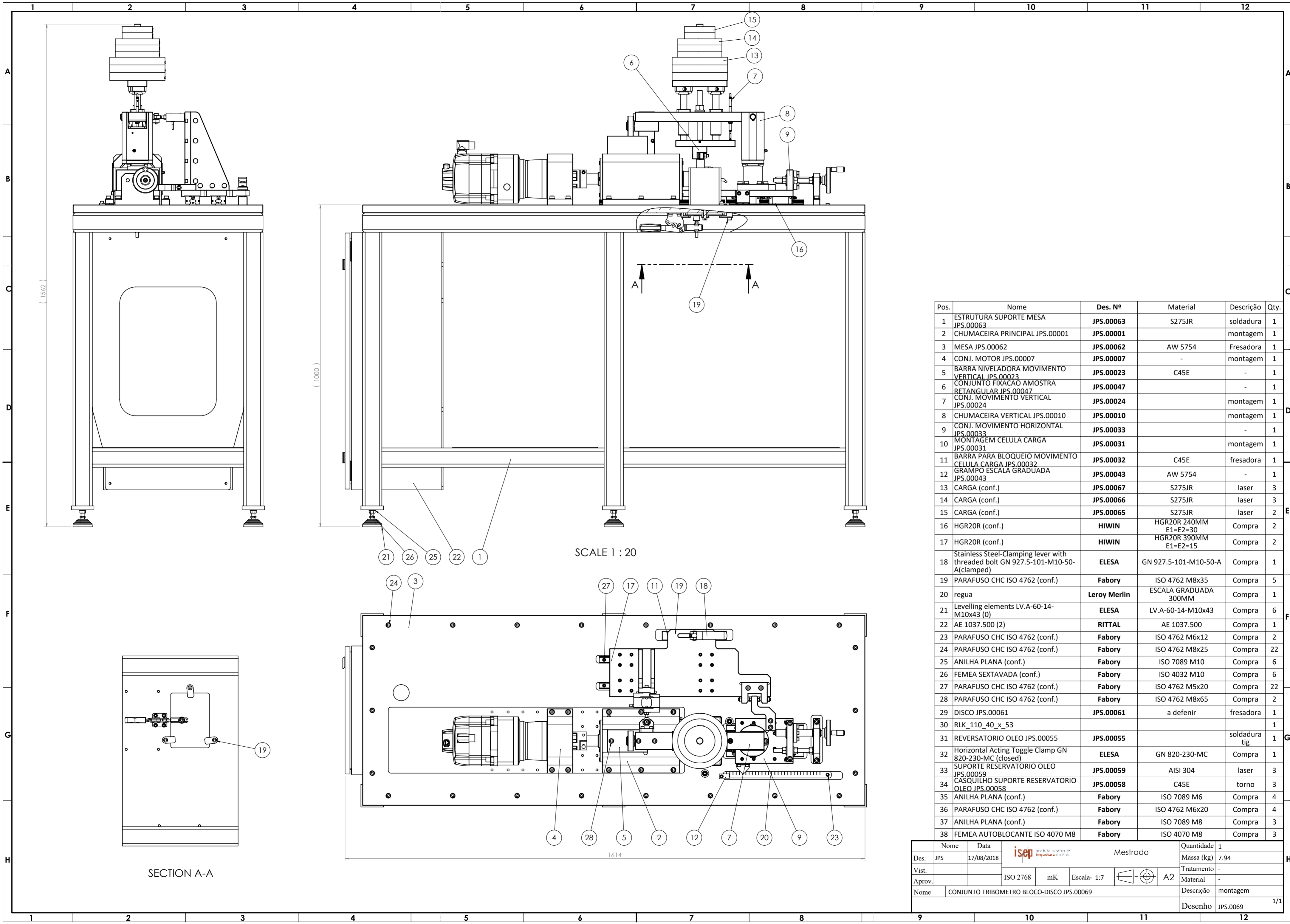
Angaben ohne Sicherheitsfaktoren • Weitere Größen auf Anfrage • Änderungen und Rechte vorbehalten • weitere Informationen auf Anfrage
 All data without safety factor • Additional sizes on request • Subject to alteration • All rights reserved • more information on request
 Tutti i dati senza fattore di servizio • Misure addizionali a richiesta • Dati con riserva di modifica • Tutti i diritti riservati • Ulteriori informazioni a richiesta
 Bestellbeispiel für Durchmesser • Example order information for diameter • Esempio ordine per diametro: Ød = 20 mm: **BIKON 1003-020-047**



BIKON-Technik GmbH
 Hansemannstrasse 11 • D-41468 Neuss • Germany
 Tel. (02131) 71889-0 • Fax (02131) 71889-20 • <http://www.bikon.com> • E-Mail Info@bikon.de

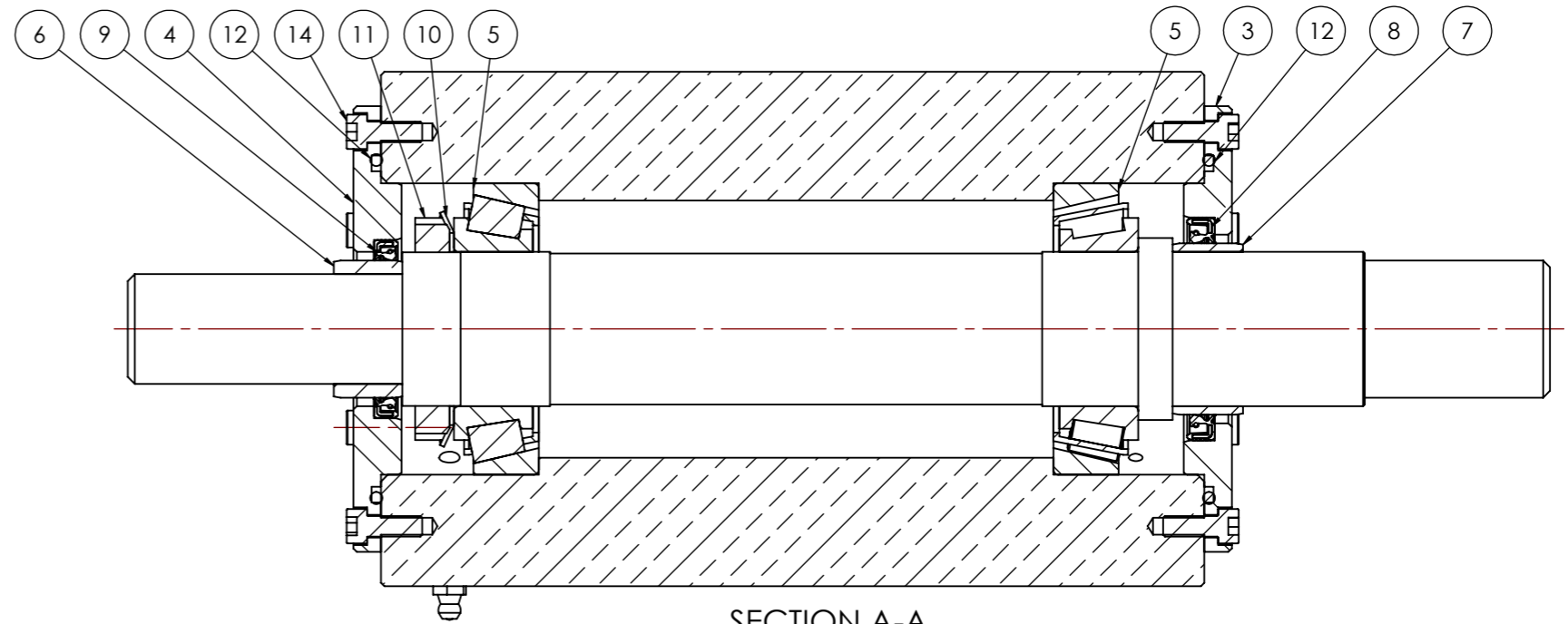
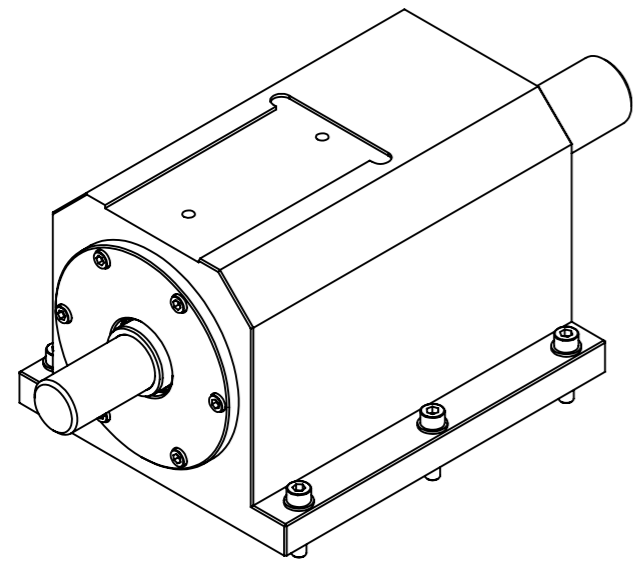
10

6.3 ANEXO 3 – DESENHOS



Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Qty.
1	ESTRUTURA SUPORTE MESA JPS.00063	JPS.00063	S275JR	soldadura	1
2	CHUMACEIRA PRINCIPAL JPS.00001	JPS.00001		montagem	1
3	MESA JPS.00062	JPS.00062	AW 5754	Fresadora	1
4	CONJ. MOTOR JPS.00007	JPS.00007	-	montagem	1
5	BARRA NIVELADORA MOVIMENTO VERTICAL JPS.00023	JPS.00023	C45E	-	1
6	CONJUNTO FIXAÇÃO AMOSTRA RETANGULAR JPS.00047	JPS.00047		-	1
7	CONJ. MOVIMENTO VERTICAL JPS.00024	JPS.00024		montagem	1
8	CHUMACEIRA VERTICAL JPS.00010	JPS.00010		montagem	1
9	CONJ. MOVIMENTO HORIZONTAL JPS.00033	JPS.00033		-	1
10	MONTAGEM CELULA CARGA JPS.00031	JPS.00031		montagem	1
11	BARRA PARA BLOQUEIO MOVIMENTO CELULA CARGA JPS.00032	JPS.00032	C45E	fresadora	1
12	GRAMPO ESCALA GRADUADA JPS.00043	JPS.00043	AW 5754	-	1
13	CARGA (conf.)	JPS.00067	S275JR	laser	3
14	CARGA (conf.)	JPS.00066	S275JR	laser	3
15	CARGA (conf.)	JPS.00065	S275JR	laser	2
16	HGR20R (conf.)	HIWIN	HGR20R 240MM E1=E2=30	Compra	2
17	HGR20R (conf.)	HIWIN	HGR20R 390MM E1=E2=15	Compra	2
18	Stainless Steel-Clamping lever with threaded bolt GN 927.5-101-M10-50-A(clamped)	ELESA	GN 927.5-101-M10-50-A	Compra	1
19	PARAFUSO CHC ISO 4762 (conf.)	Fabory	ISO 4762 M8x35	Compra	5
20	regua	Leroy Merlin	ESCALA GRADUADA 300MM	Compra	1
21	Levelling elements LV.A-60-14-M10x43 (0)	ELESA	LV.A-60-14-M10x43	Compra	6
22	AE 1037.500 (2)	RITTAL	AE 1037.500	Compra	1
23	PARAFUSO CHC ISO 4762 (conf.)	Fabory	ISO 4762 M6x12	Compra	2
24	PARAFUSO CHC ISO 4762 (conf.)	Fabory	ISO 4762 M8x25	Compra	22
25	ANILHA PLANA (conf.)	Fabory	ISO 7089 M10	Compra	6
26	FEMEA SEXTAVADA (conf.)	Fabory	ISO 4032 M10	Compra	6
27	PARAFUSO CHC ISO 4762 (conf.)	Fabory	ISO 4762 M5x20	Compra	22
28	PARAFUSO CHC ISO 4762 (conf.)	Fabory	ISO 4762 M8x65	Compra	2
29	DISCO JPS.00061	JPS.00061	a defenir	fresadora	1
30	RLK_110_40_x_53				1
31	REVERSATORIO OLEO JPS.00055	JPS.00055		soldadura tig	1
32	Horizontal Acting Toggle Clamp GN 820-230-MC (closed)	ELESA	GN 820-230-MC	Compra	1
33	SUPORTE RESERVATORIO OLEO JPS.00059	JPS.00059	AISI 304	laser	3
34	CASQUILHO SUPORTE RESERVATORIO OLEO JPS.00058	JPS.00058	C45E	torno	3
35	ANILHA PLANA (conf.)	Fabory	ISO 7089 M6	Compra	4
36	PARAFUSO CHC ISO 4762 (conf.)	Fabory	ISO 4762 M6x20	Compra	4
37	ANILHA PLANA (conf.)	Fabory	ISO 7089 M8	Compra	3
38	FEMEA AUTOBLOCANTE ISO 4070 M8	Fabory	ISO 4070 M8	Compra	3

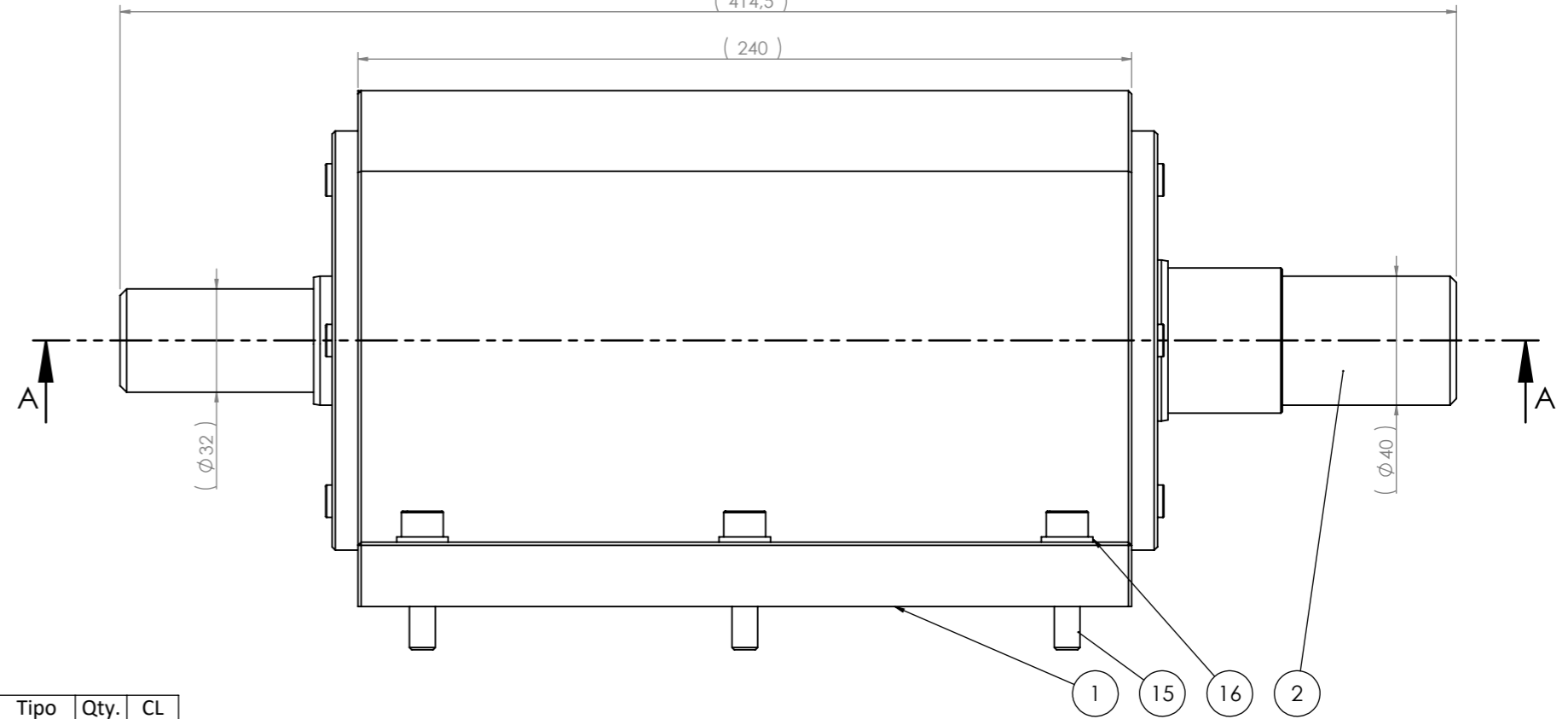
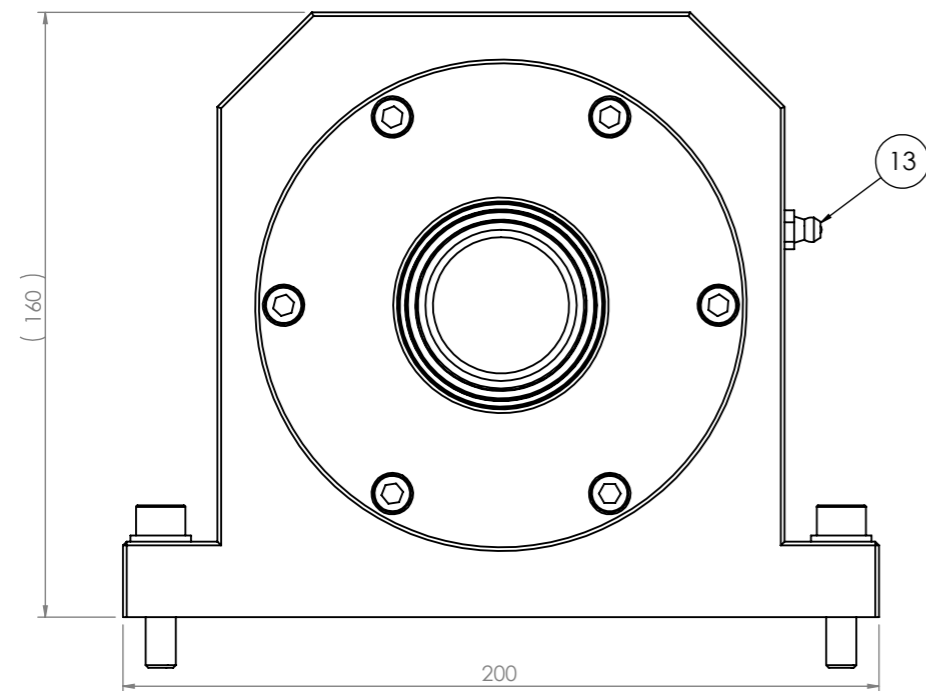
Nome	Data	isep			Mestrado		Quantidade	1
Des.	JPS	17/08/2018					Massa (kg)	7.94
Vist.							Tratamento	-
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:7	A2	Material	-
Nome	CONJUNTO TRIBOMETRO BLOCO-DISCO JPS.00069						Descrição	montagem
							Desenho	JPS.0069 1/1



SECTION A-A

(414,5)

(240)

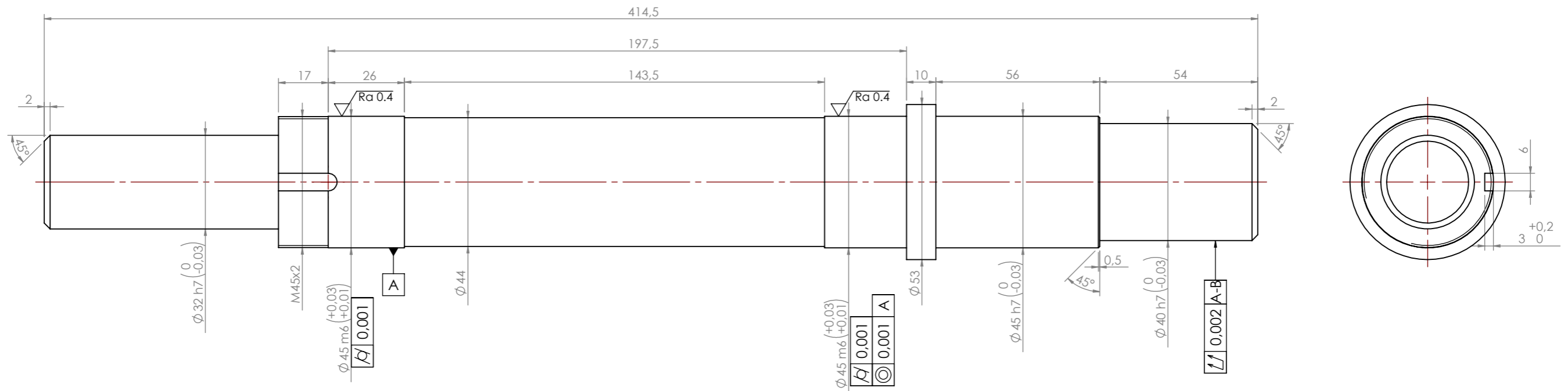


Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Tipo	Qty.	CL
E 1	CORPO CHUMACEIRA PRINCIPAL JPS.00003	JPS.00003	AW 5754	fresadora		1	
2	VEIO CHUMACEIRA PRINCIPAL JPS.00002	JPS.00002	42CRM04	torno		1	
3	TAMPA CHUMACEIRA PRINCIPAL (conf.)	JPS.00005	C45E	torno		1	
4	TAMPA CHUMACEIRA PRINCIPAL (conf.)	JPS.00004	C45E	torno		1	
5	ROLAMENTO inafag_32209-a	INA	32209 A	Compra		2	
6	anel interno FAG	INA	40x32x20	Compra		1	
7	anel interno FAG	INA	50x45x20.5	Compra		1	
8	BAUMSLX7 50 65 8 410188 (0)	Simrit	BAUMSLX7 50 65 8	Compra		1	
9	BAUMSLX7 40 52 7 521007 (0)	Simrit	BAUMSLX7 40 52 7	Compra		1	
F 10	ARRUELA DE SEGURANÇA FAG (conf.)	INA	Ø45 KB9	Compra		1	
11	porca de eixo FAG	INA	M45x1,5 KM9	Compra		1	
12	O-Ring (conf.)	Simrit	Ø95x3.55	Compra		2	
13	lubrificador DIN 71412-A M8x1.0	-	DIN 71412-A M8x1.0	Compra		1	
14	PARAFUSO CHC ISO 4762 (conf.)	Fabory	ISO 4762 M6x16	Compra		12	
15	PARAFUSO CHC ISO 4762 (conf.)	Fabory	ISO 4762 M8x35	Compra		6	
16	ANILHA PLANA (conf.)	Fabory	ISO 7089 M8	Compra		6	

Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1
Des. JPS	14/03/2018					Massa (kg)	18.71
Vist.						Tratamento	-
Aprov.						Material	
Nome CHUMACEIRA PRINCIPAL JPS.00001						Descrição	montagem
						Desenho	JPS.00001 1/1

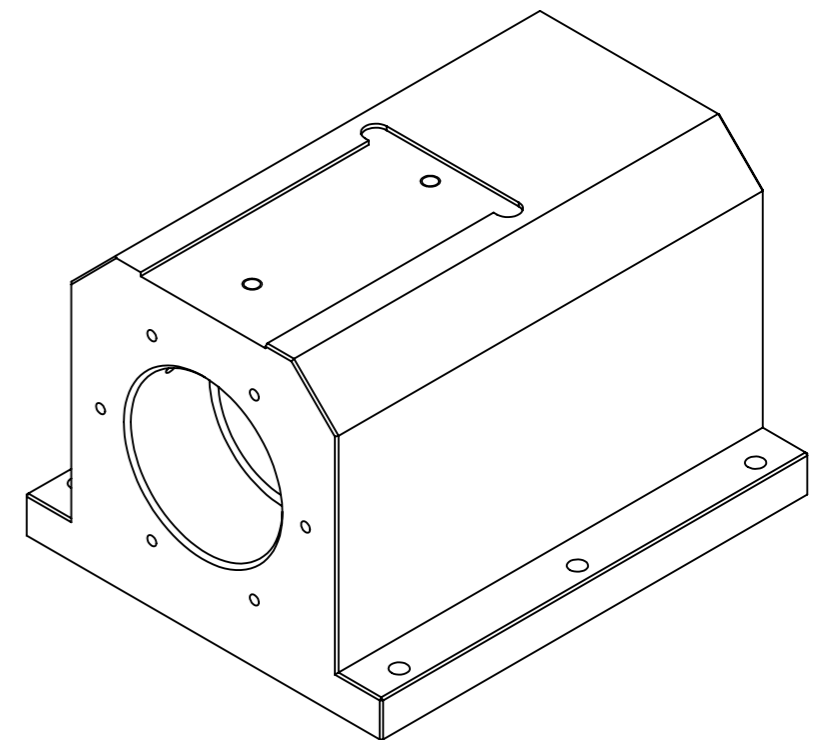
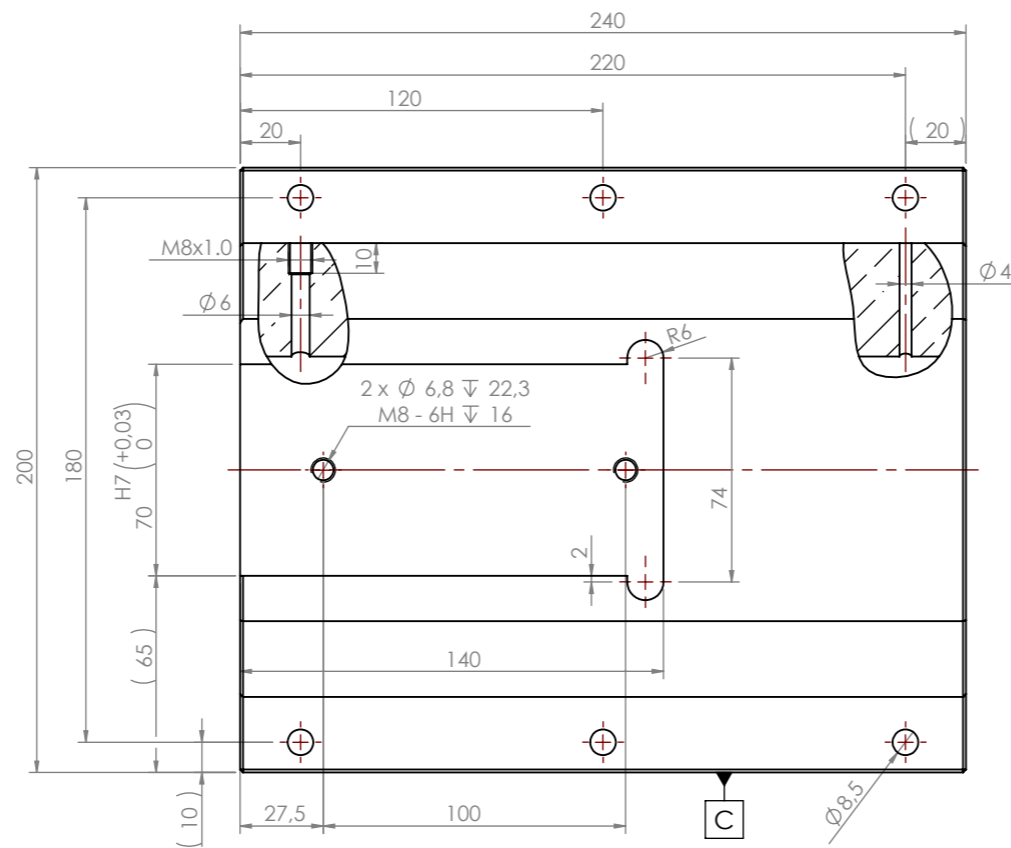
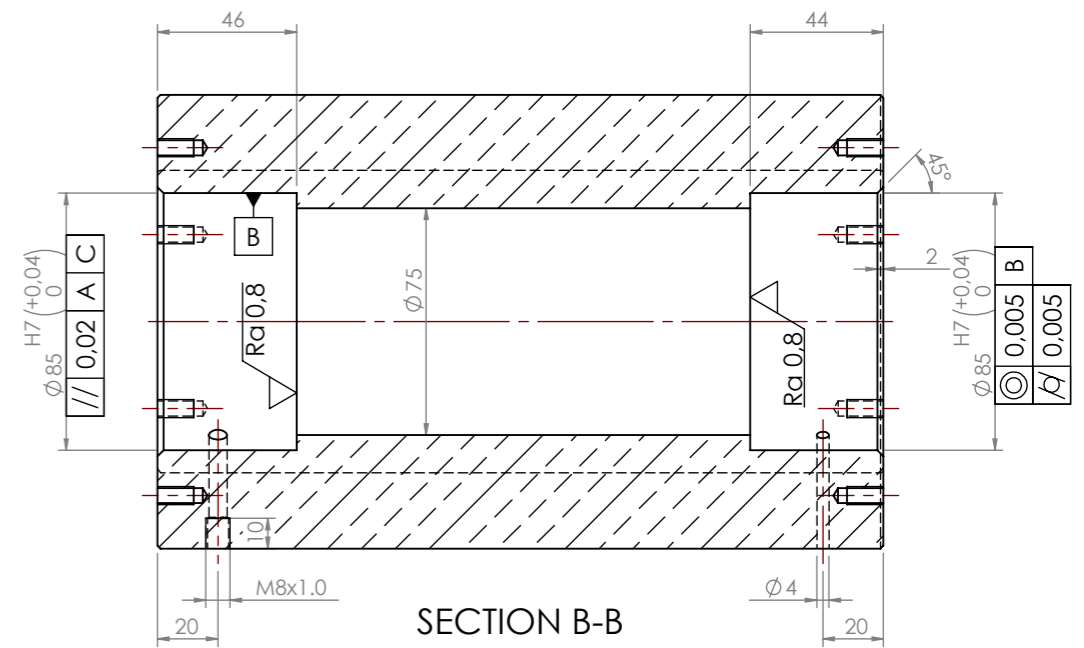
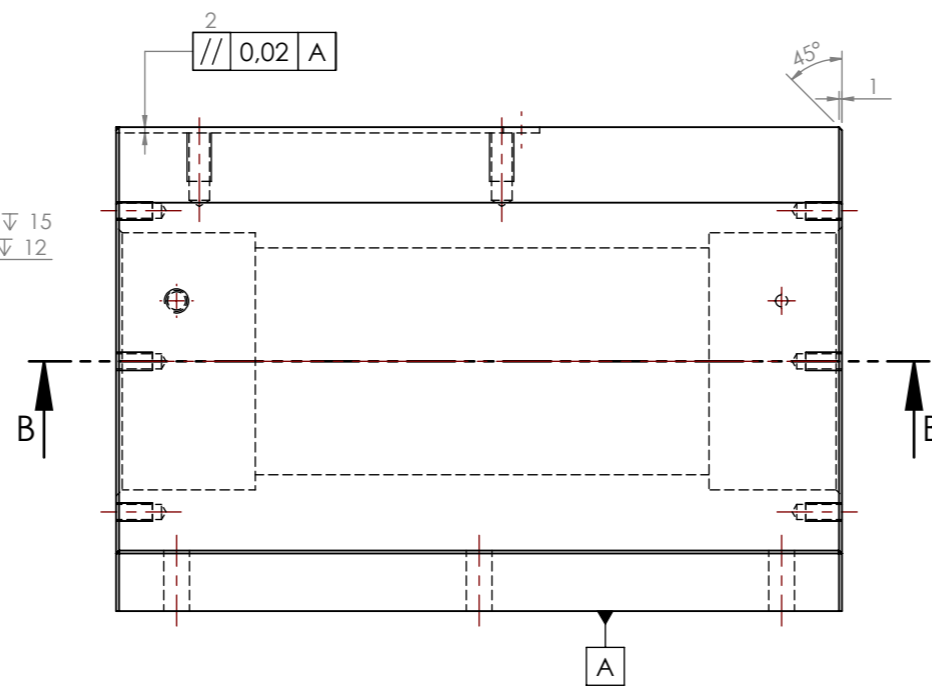
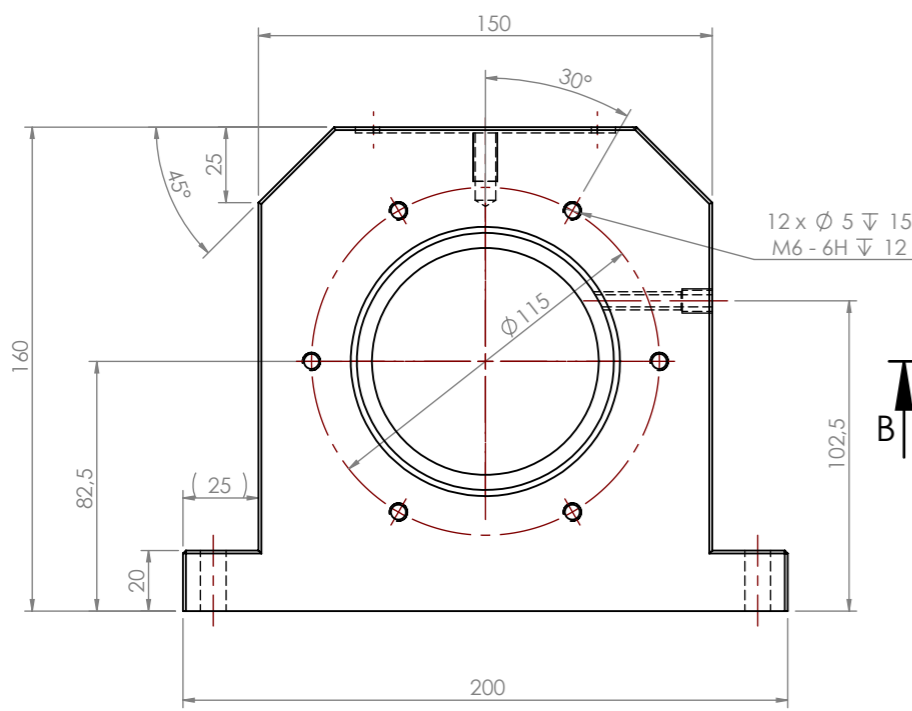
1 2 3 4 5 6 7 8

A
B
C
D
E
F

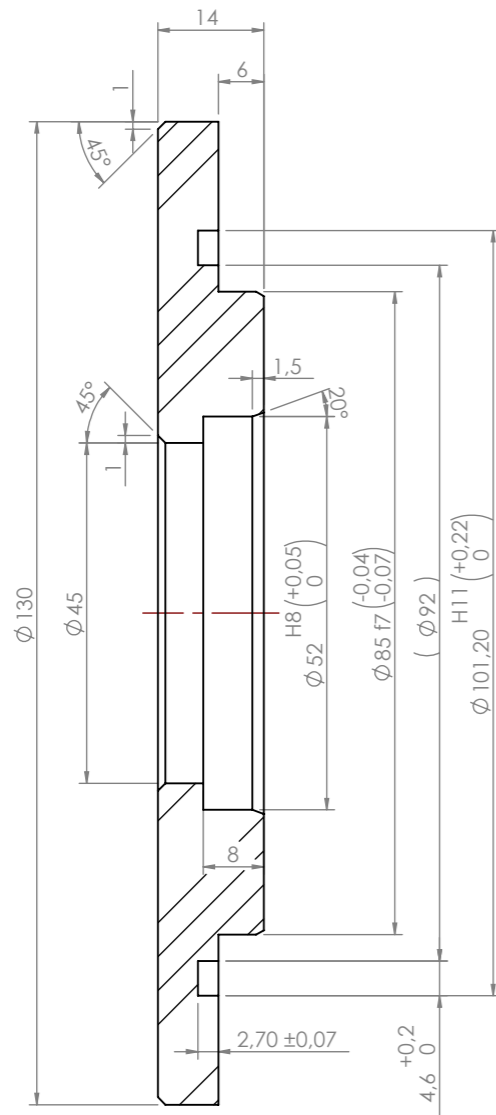


Nome	Mestrado			Quantidade	1
Des.	JPS	Data	12/03/2018	Massa (kg)	4472.66
Vist.				Tratamento	-
Aprov.				Material	42CRMo4
Nome	VEIO CHUMACEIRA PRINCIPAL JPS.00002			Descrição	torno
				Desenho	JPS.00002 1/1

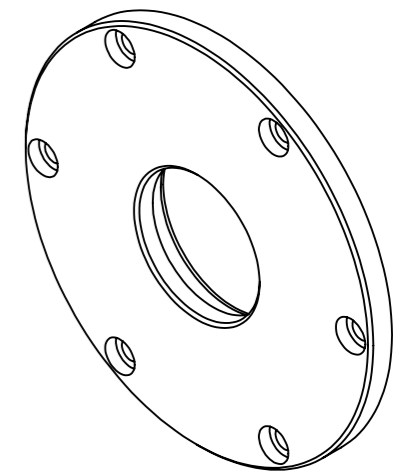
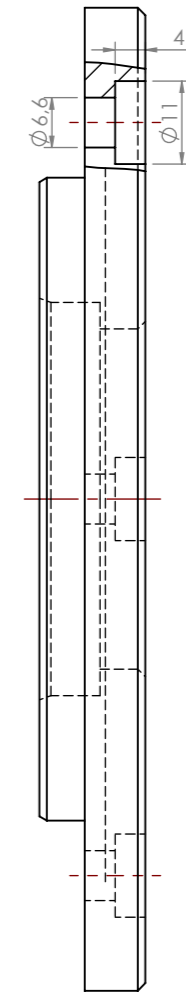
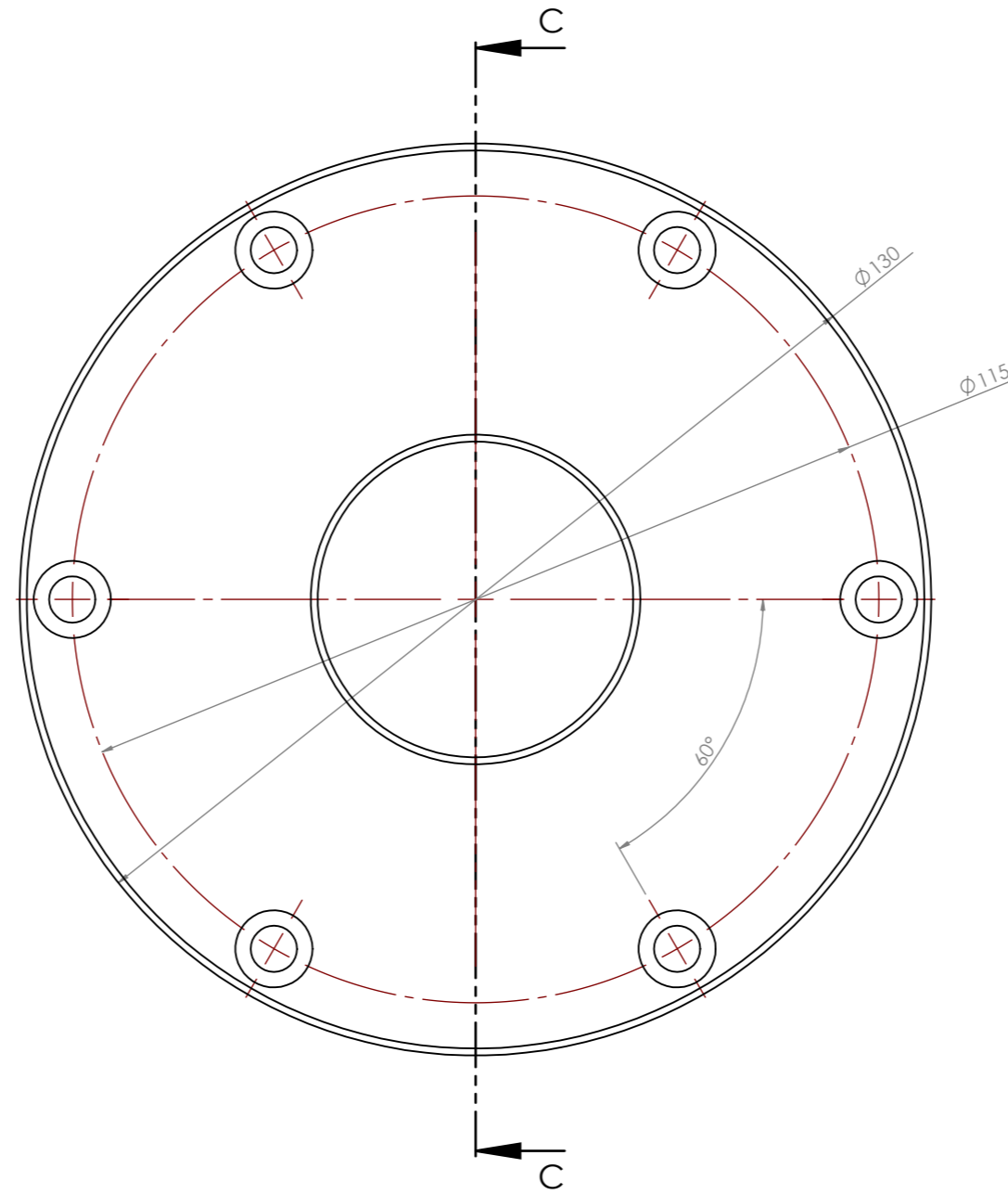
1 2 3 4 5 6 7 8



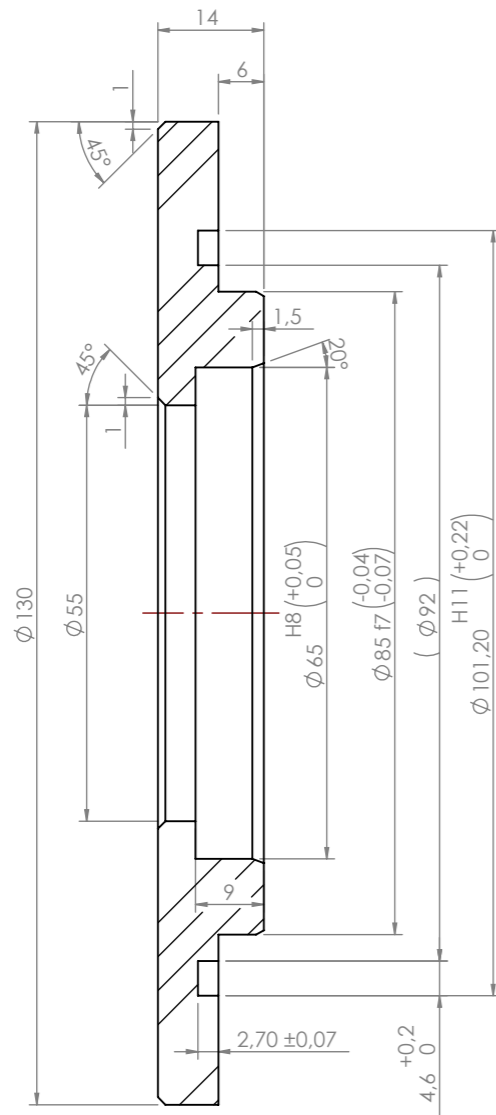
Nome	JPS	Data	12/03/2018	Mestrado			Quantidade	1
Des.				Escala- 1:2.5			Massa (kg)	12.35
Vist.				A3			Tratamento	-
Aprov.				ISO 2768 mK			Material	AW 5754
Nome	CORPO CHUMACEIRA PRINCIPAL JPS.00003						Descrição	fresadora
							Desenho	JPS.00003 1/1



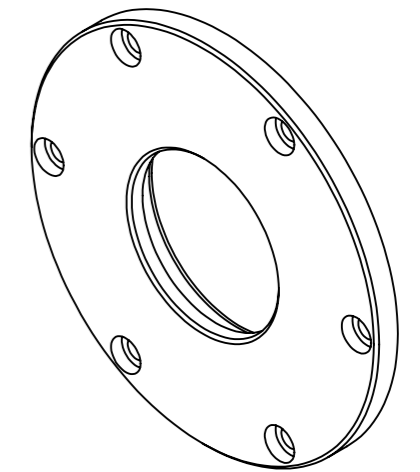
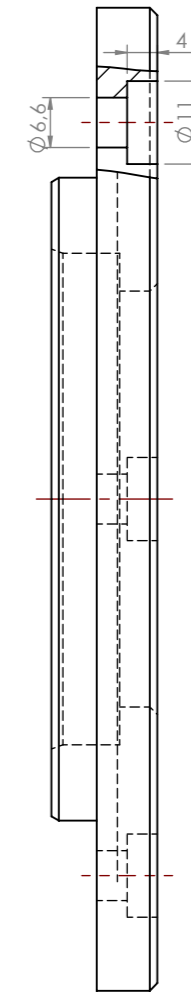
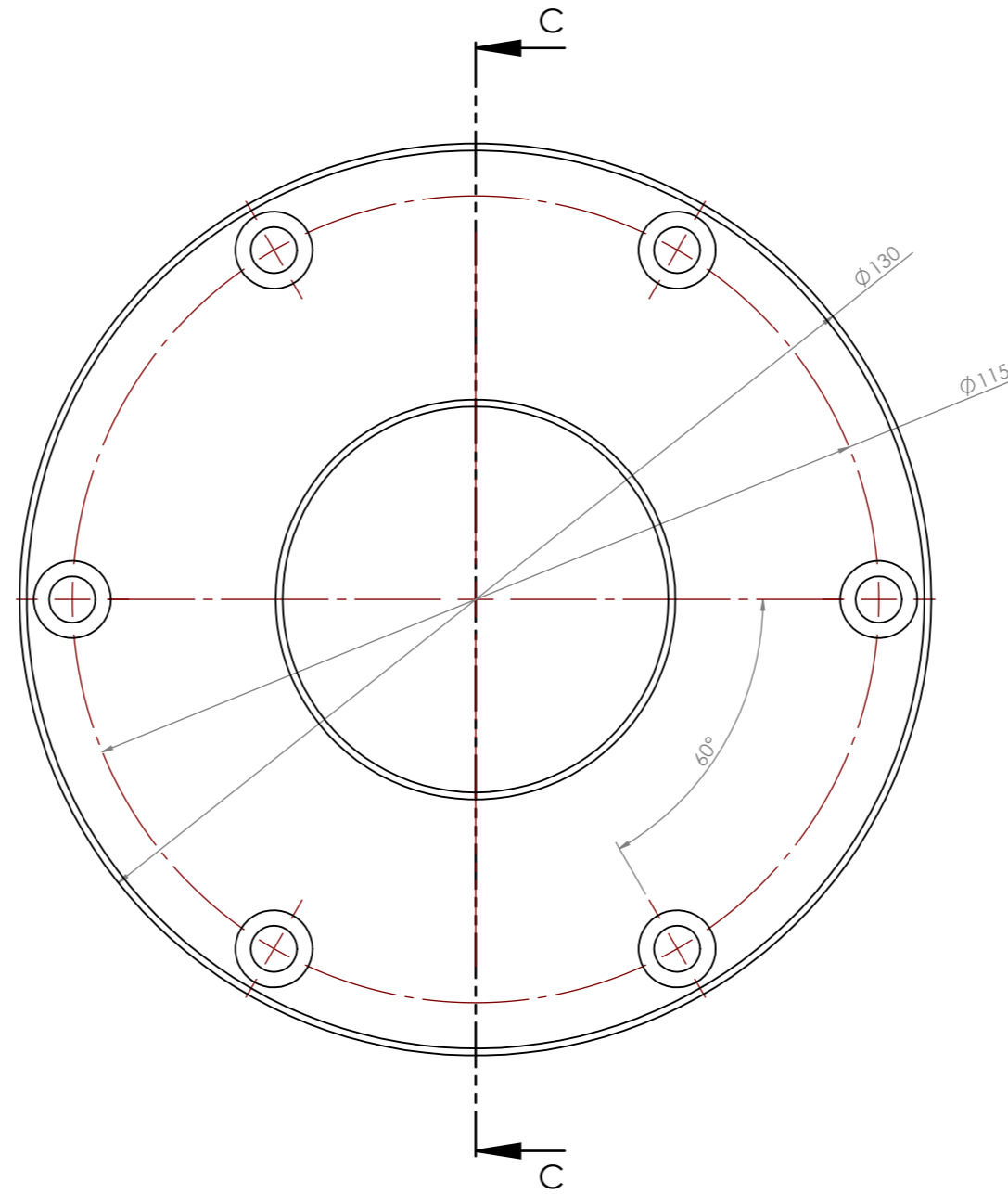
SECTION C-C



Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1	
Des.	JPS	13/03/2018				Massa (kg)	0.71	
Vist.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1	Tratamento	-	
Aprov.						A3	Material	C45E
Nome						TAMPA CHUMACEIRA PRINCIPAL (conf.)	Descrição	torno
							Desenho	JPS.00004 1/1

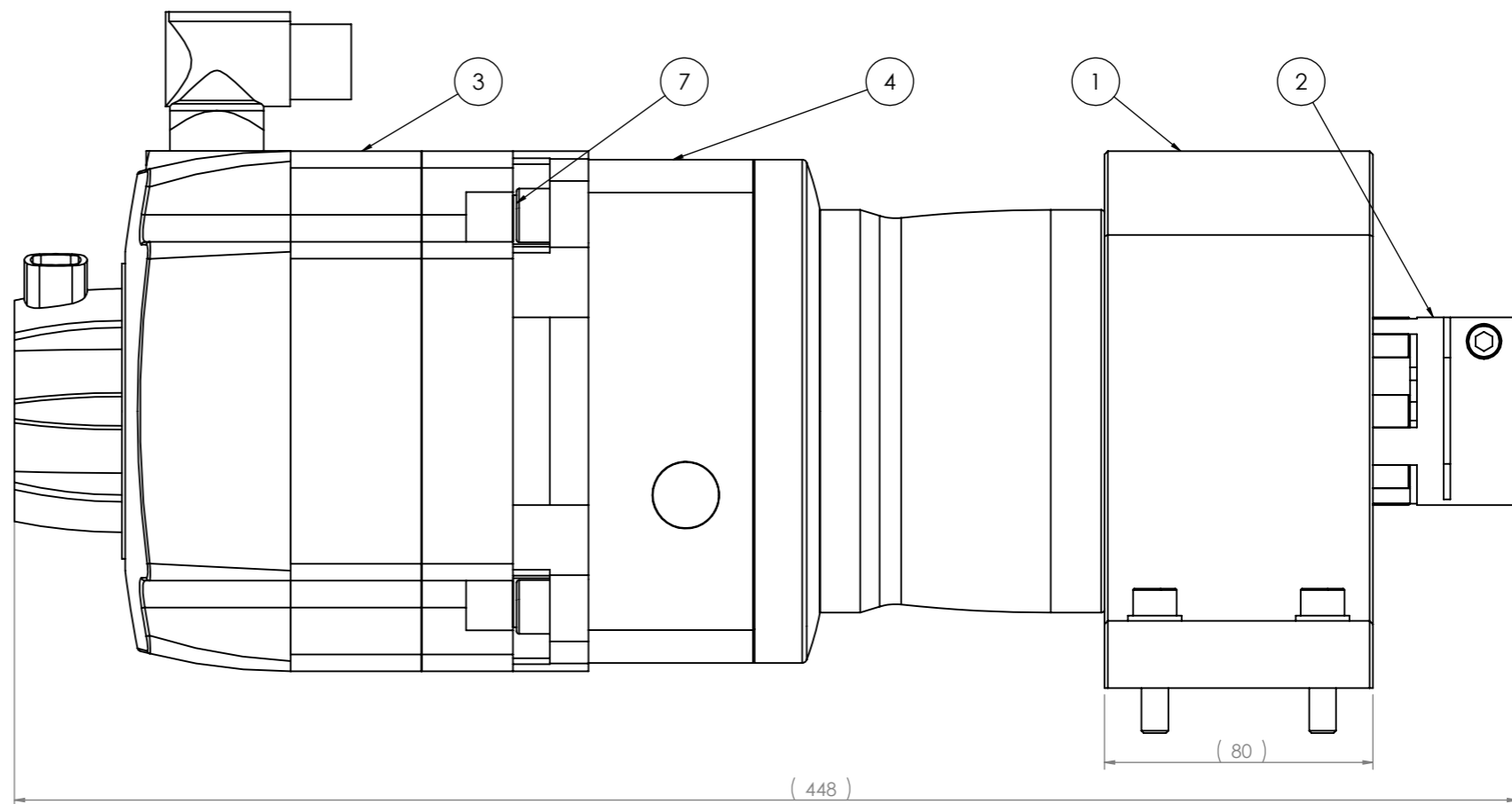
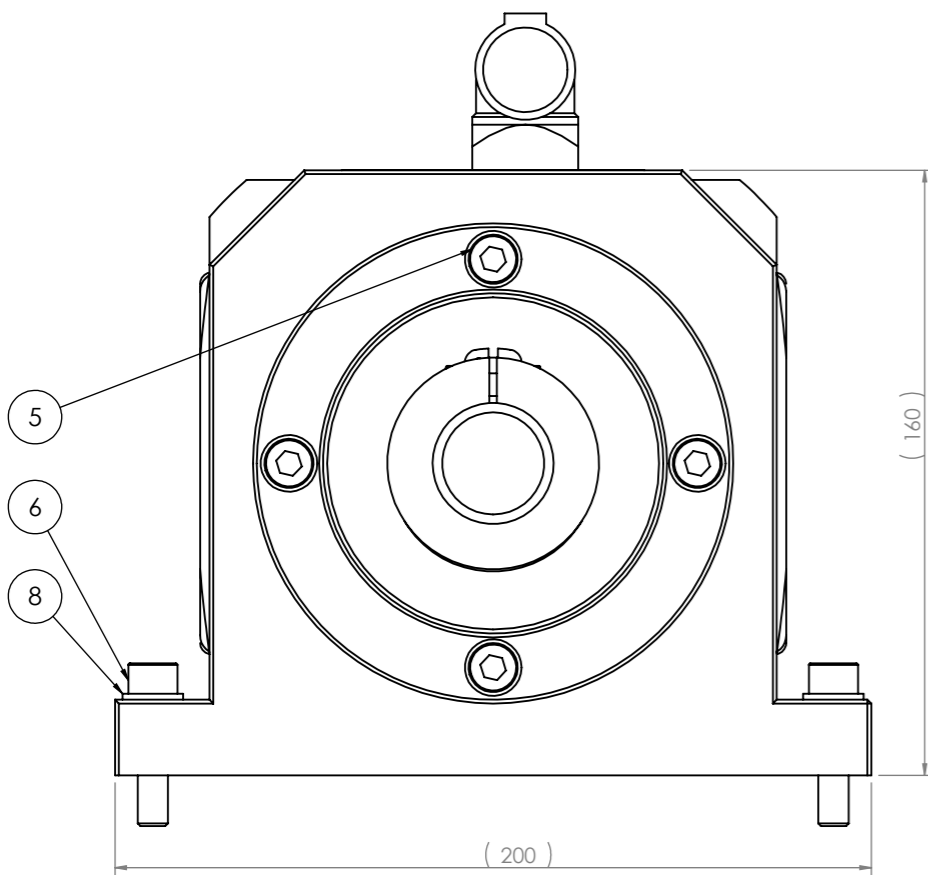
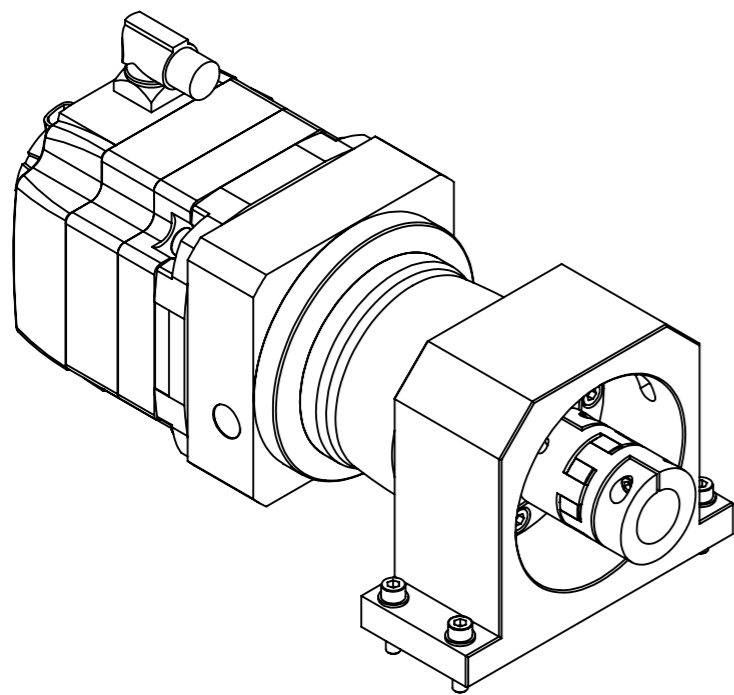


SECTION C-C



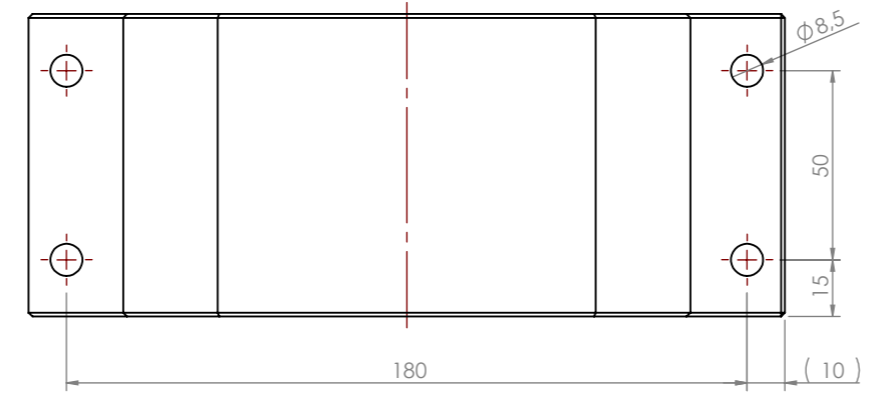
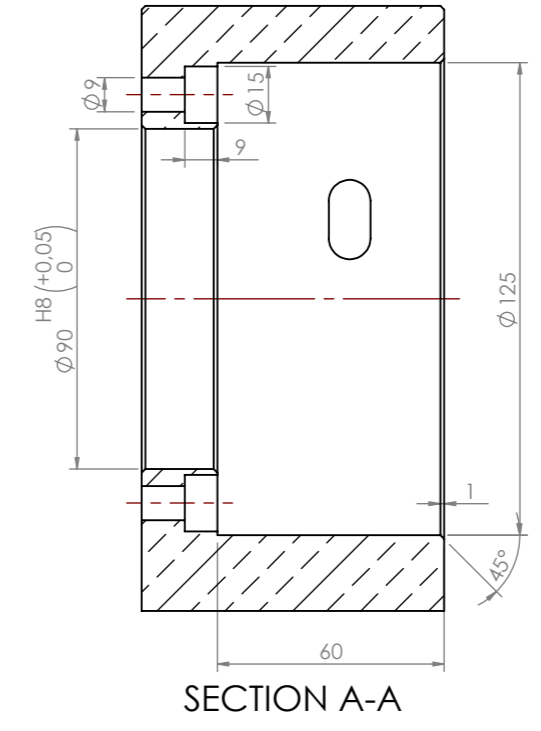
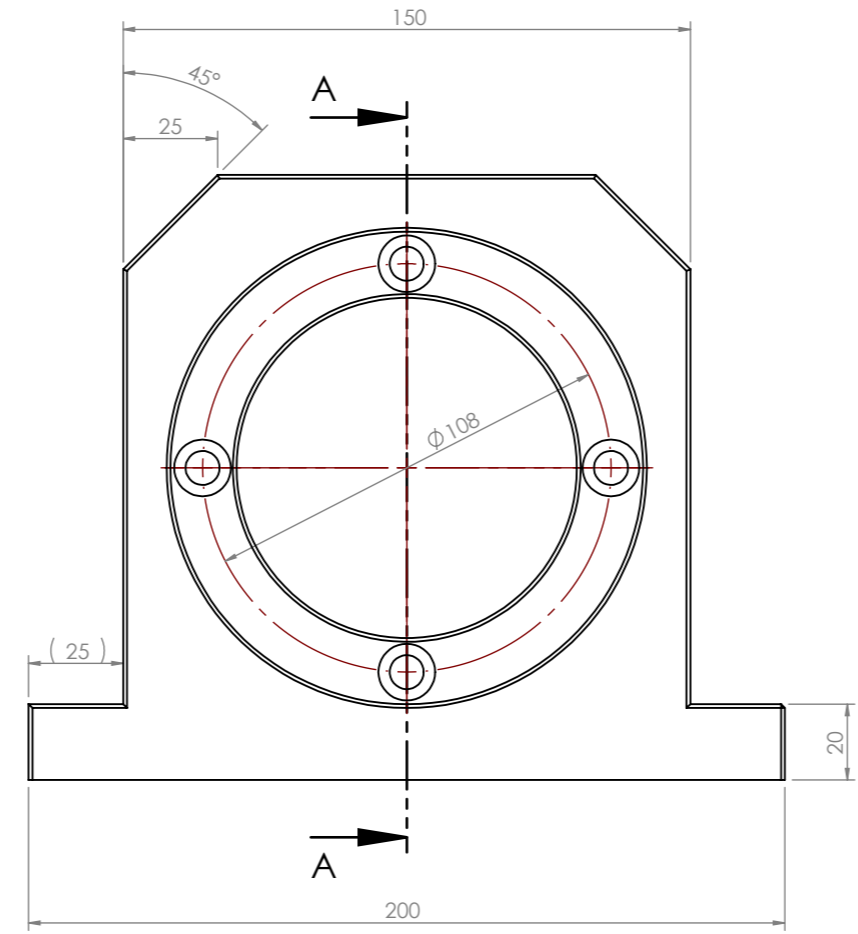
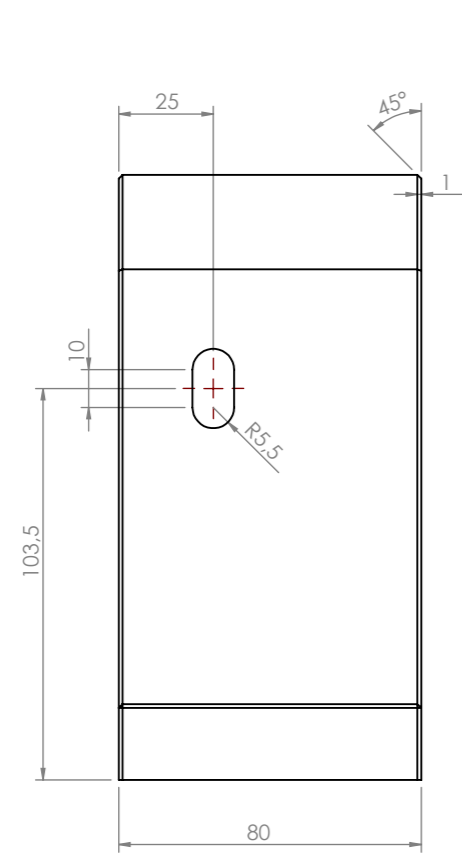
Nome	TAMPA CHUMACEIRA PRINCIPAL (conf.)			Quantidade	1
Des.	JPS	Data	13/03/2018	Massa (kg)	0.71
Vist.				Tratamento	-
Aprov.				Material	C45E
Nome	TAMPA CHUMACEIRA PRINCIPAL (conf.)			Descrição	torno
				Desenho	JPS.00005 1/1

Mestrado
 ISO 2768 mK Escala- 1:1 A3


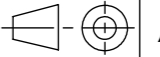


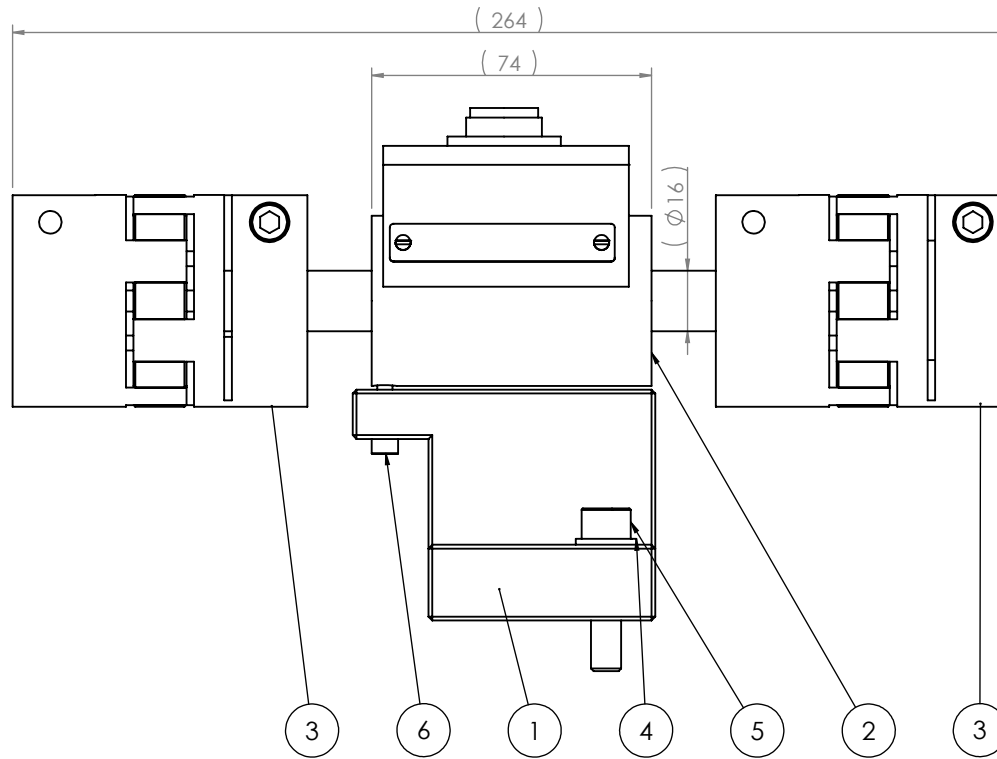
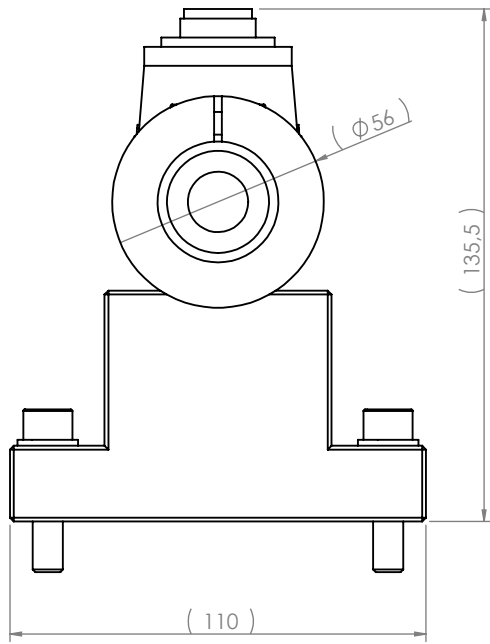
Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Qty.
1	SUPORTE REDUTOR JPS.00006	JPS.00006	AW 5754	fresadora	1
2	RW COUPLINGS EK2_60 A 12 12 1	RW COUPLINGS	EK2_60 A Ø32 Ø32	Compra	1
3	1FK7080-2AF71-1BG1	SIEMENS	1FK7080-2AF71-1BG1	Compra	1
4	NP035S-MF1-3-0I1-1S	WITTENSTEIN	NP035S-MF1-30I1-1S	Compra	1
5	PARAFUSO CHC ISO 4762 (conf.)	Fabory	ISO 4762 M8x30	Compra	4
6	PARAFUSO CHC ISO 4762 (conf.)	Fabory	ISO 4762 M8x35	Compra	4
7	PARAFUSO CHC ISO 4762 (conf.)	Fabory	ISO 4762 M10x30	Compra	4
8	ANILHA PLANA (conf.)	Fabory	ISO 7089 M8	Compra	4

Nome	Data	Mestrado				Quantidade
Des. JPS	14/03/2018	isep Instituto Superior de Engenharia do Porto				1
Vist.		ISO 2768	mK	Escala- 1:2	A3	Massa (kg) 8.18
Aprov.						Tratamento -
Nome CONJ. MOTOR JPS.00007						Material -
						Descrição montagem
						Desenho JPS.00007 1/1




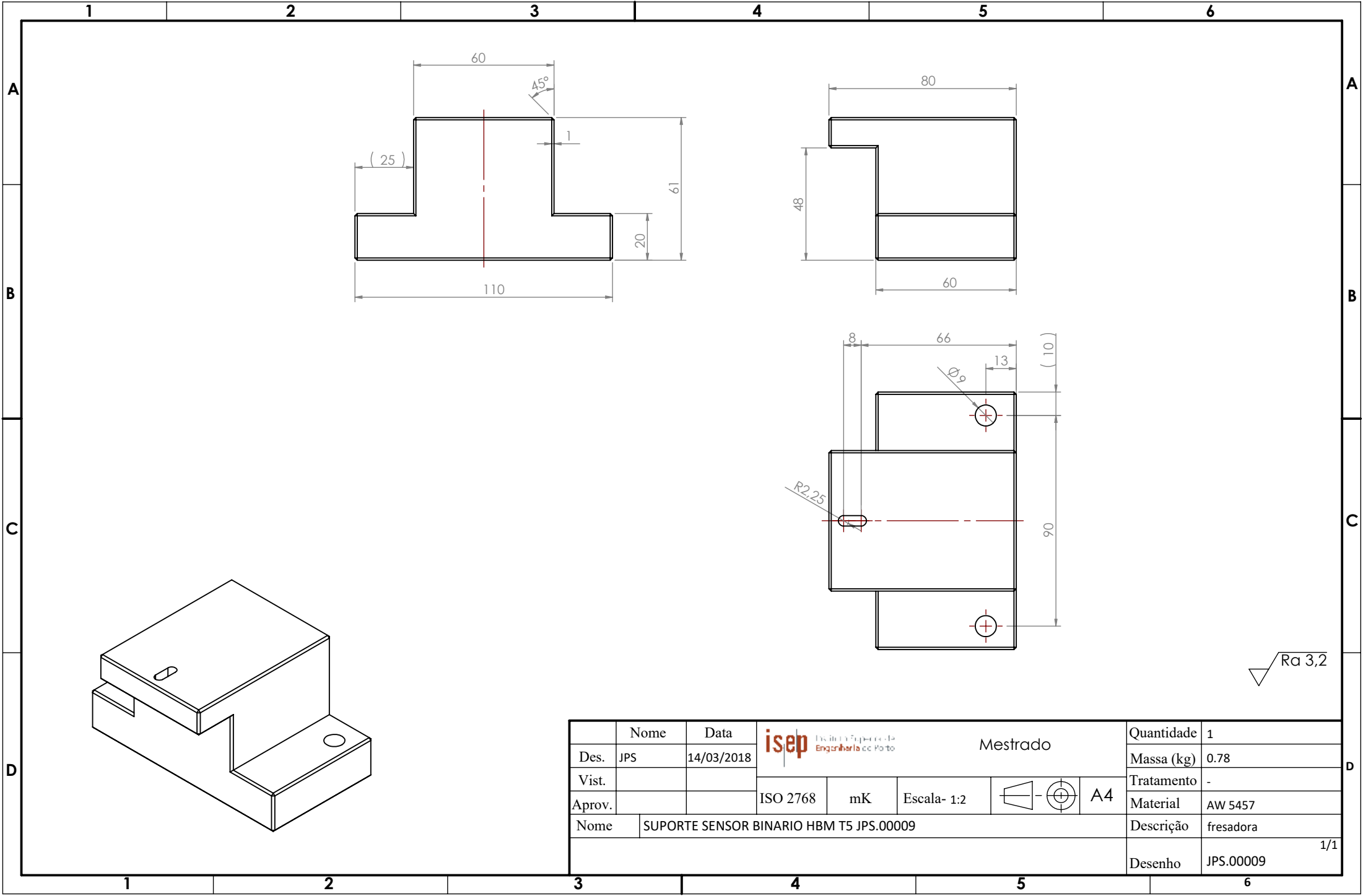
$\sqrt{\text{Ra } 3,2}$



Nome	JPS	Data	14/03/2018	 Instituto Superior de Engenharia de Lisboa			Mestrado	Quantidade	1	
Vist.				ISO 2768	mK	Escala-	1:2	 A3	Massa (kg)	2.84
Aprov.									Tratamento	-
Nome	SUPORTE REDUTOR JPS.00006							Descrição	fresadora	
								Desenho	JPS.00006	1/1

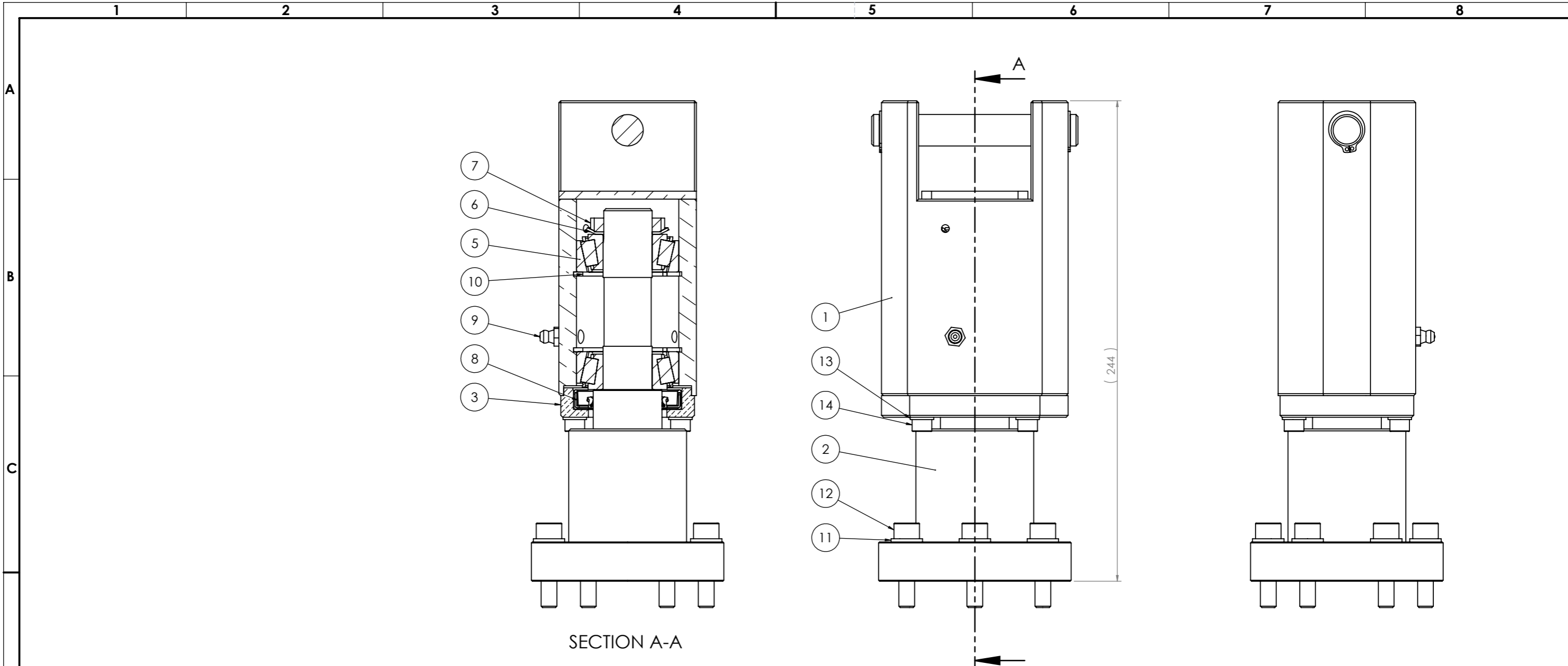


Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Qty.
1	SUPORTE SENSOR BINARIO HBM T5 JPS.00009	JPS.00009	AW 5457	fresadora	1
2	T5_50NM	HBM	T5_50NM	Compra	1
3	RW COUPLINGS EK2_60_A_12_12_1	RW COUPLINGS	EK2_60 A Ø32 Ø16	Compra	2
4	ANILHA PLANA (conf.)	Fabory	ISO 7089 M8	Compra	2
5	PARAFUSO CHC ISO 4762 (conf.)	Fabory	ISO 4762 M8x35	Compra	2
6	PARAFUSO CHC ISO 4762 (conf.)	Fabory	ISO 4762 M4x20	Compra	1

Nome	CONJ. MEDIDOR DE BINARIO JPS.00008					Quantidade	1
Des.	JPS	14/03/2018	Mestrado			Massa (kg)	1.26
Vist.			ISO 2768	mK	Escala- 1:2	Tratamento	-
Aprov.						Material	
Nome	CONJ. MEDIDOR DE BINARIO JPS.00008					Descrição	montagem
						Desenho	JPS.00008
							1/1

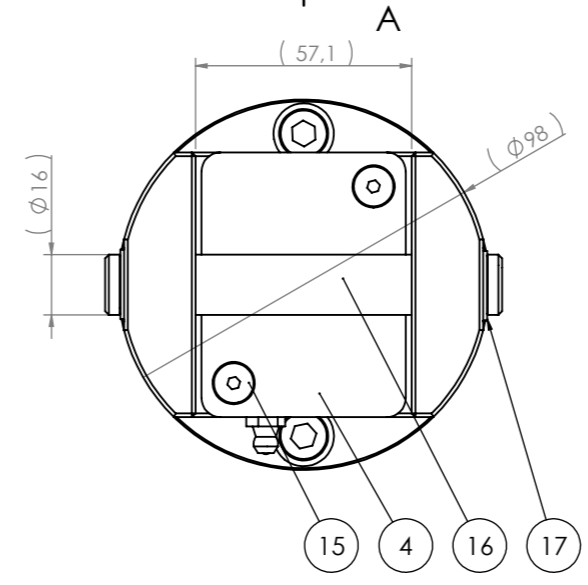


	Nome	Data	 isep Instituto Superior de Engenharia do Porto			Mestrado		Quantidade	1
Des.	JPS	14/03/2018						Massa (kg)	0.78
Vist.								Tratamento	-
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:2		A4	Material	AW 5457
Nome	SUPORTE SENSOR BINARIO HBM T5 JPS.00009							Descrição	fresadora
								Desenho	JPS.00009 1/1

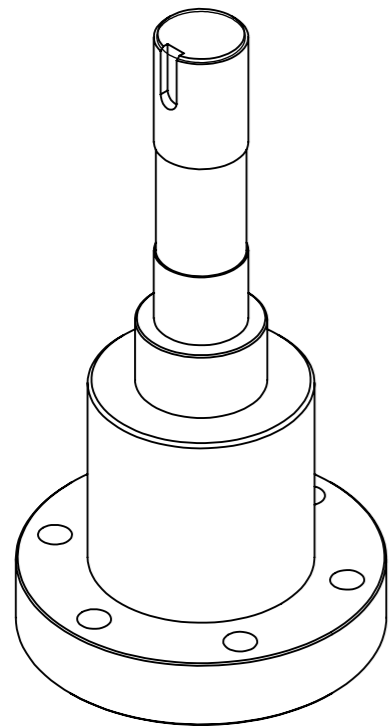
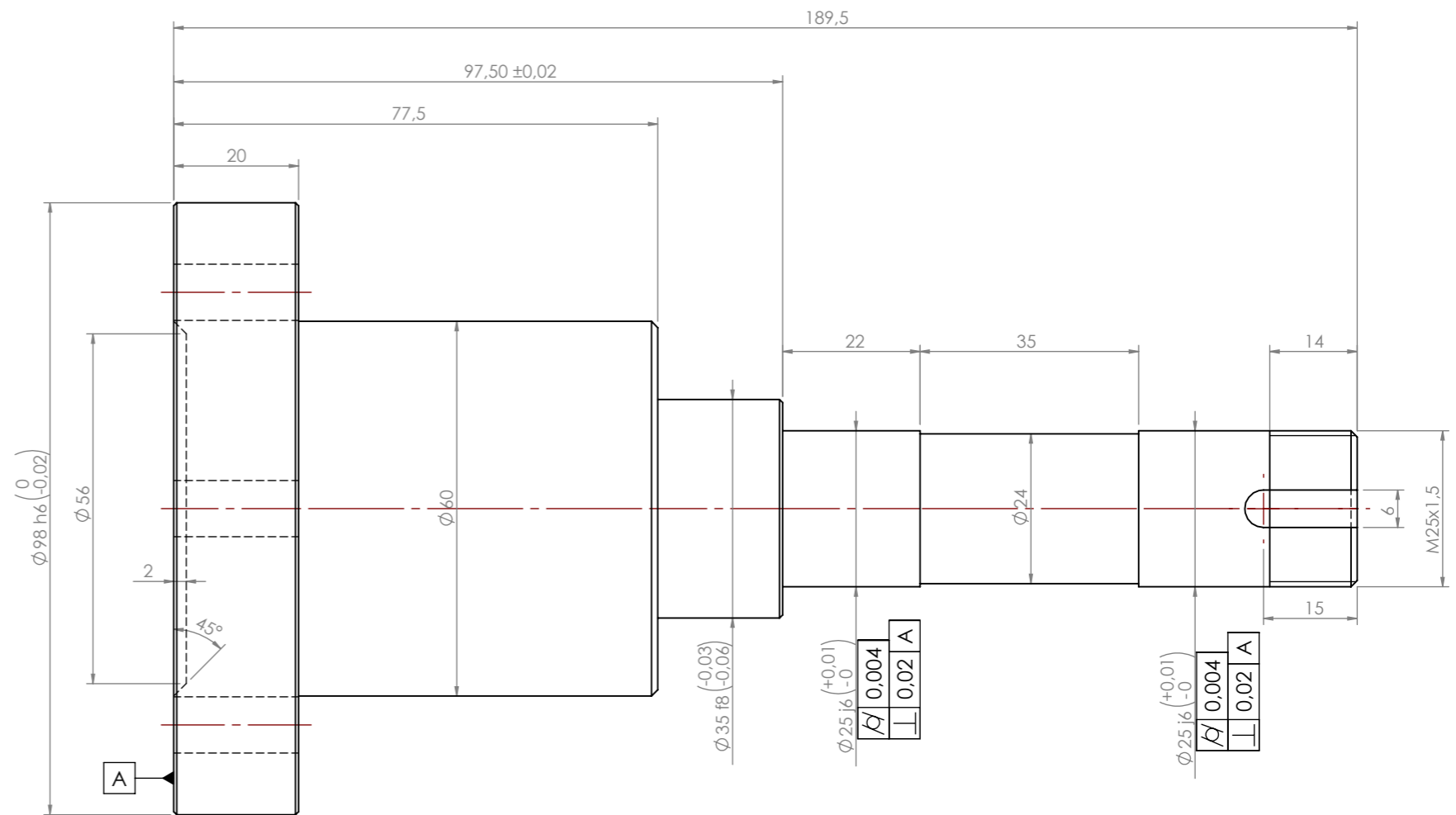
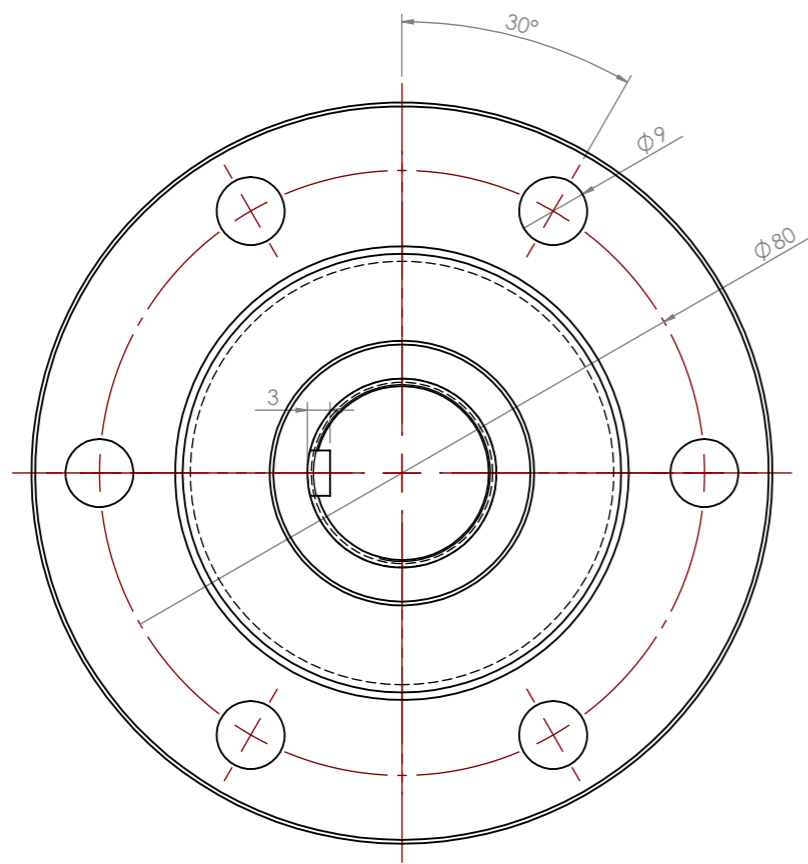


SECTION A-A

Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Qty.
1	CORPO CHUMACEIRA VERTICAL JPS.00012	JPS.00012	AW 5754	torno	1
2	VEIO CHUMACEIRA VERTICAL JPS.00011	JPS.00011	C45E	torno	1
3	TAMPA INFERIOR CHUMACEIRA VERTICAL JPS.00013	JPS.00013	AW 5754	torno	1
4	TAMPA SUPERIOR CHUMACEIRA VERTICAL JPS.00014	JPS.00014	AW 5754	laser	1
5	inafag_32205	INA	32205	Compra	2
6	ARRUELA DE SEGURANÇA FAG (conf.)	INA	Ø25 KB5	Compra	1
7	porca de eixo FAG	INA	M20x1,5 KM5	Compra	1
8	BAUSL 35 55 10 301731 (0)	SIMRIT	BAUSL 35 55 10 301731	Compra	1
9	lubrificador DIN 71412-A M8x1.0	-	DIN 71412-A M8x1.0	Compra	1
10	FREIO INTERIOR DIN472 Ø52x2	Fabory	DIN472 Ø52x2	Compra	2
11	ANILHA PLANA (conf.)	Fabory	ISO 7089 M8	Compra	6
12	PARAFUSO CHC ISO 4762 (conf.)	Fabory	ISO 4762 M8x35	Compra	6
13	ANILHA PLANA (conf.)	Fabory	ISO 7089 M6	Compra	4
14	PARAFUSO CHC ISO 4762 (conf.)	Fabory	ISO 4762 M6x20	Compra	4
15	PARAFUSO FHC ISO 10642 (conf.)	Fabory	ISO 10642 M5x12	Compra	2
16	VEIO ROTACAO BARRA DESLOCAMENTO VERTICAL JPS.00015	JPS.00015	C45E	torno	1
17	FREIO EXTERIOR DIN471 Ø16x1	Fabory	DIN471 Ø16x1	Compra	2

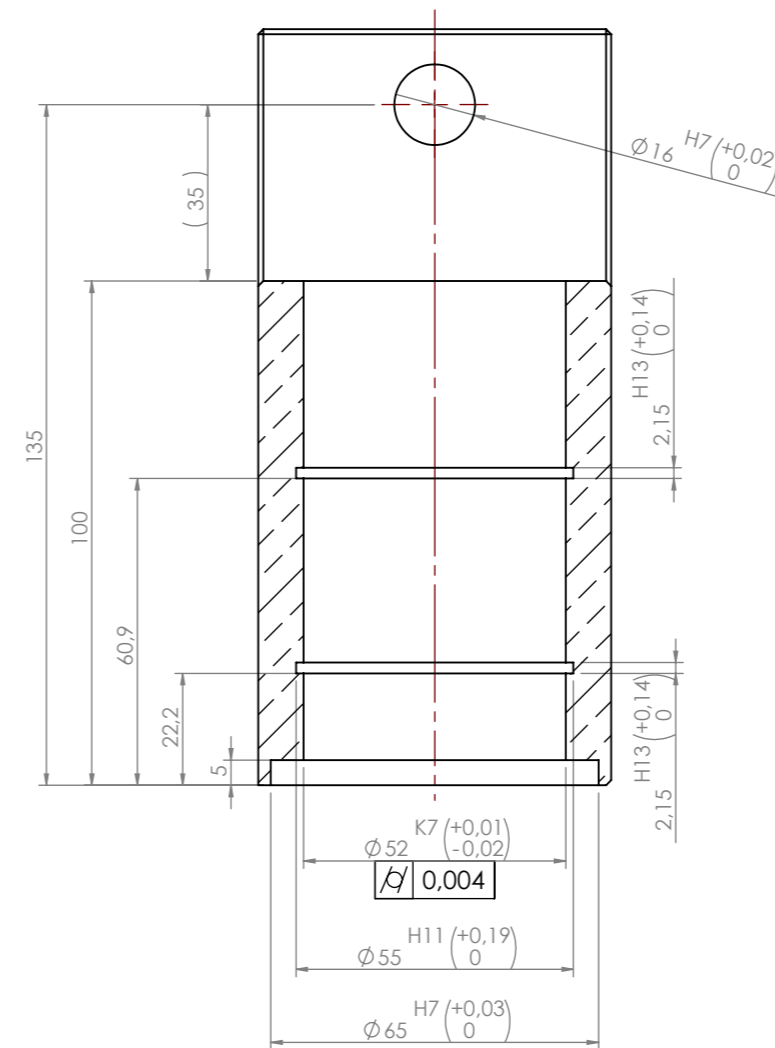
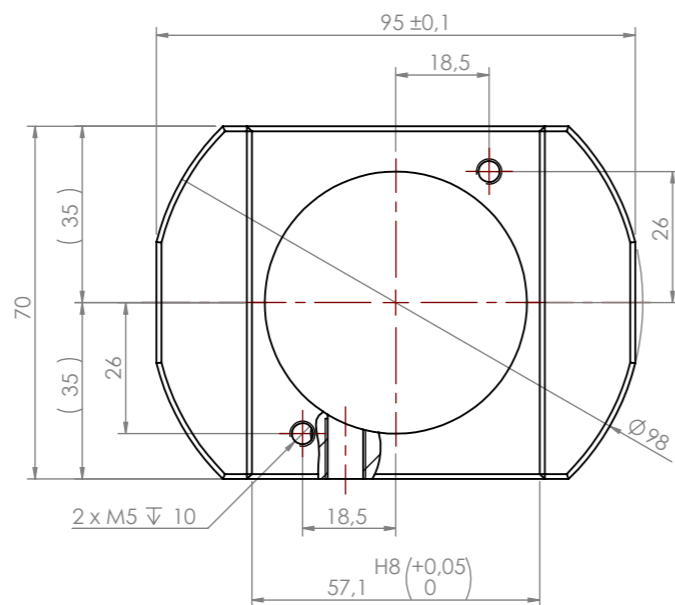
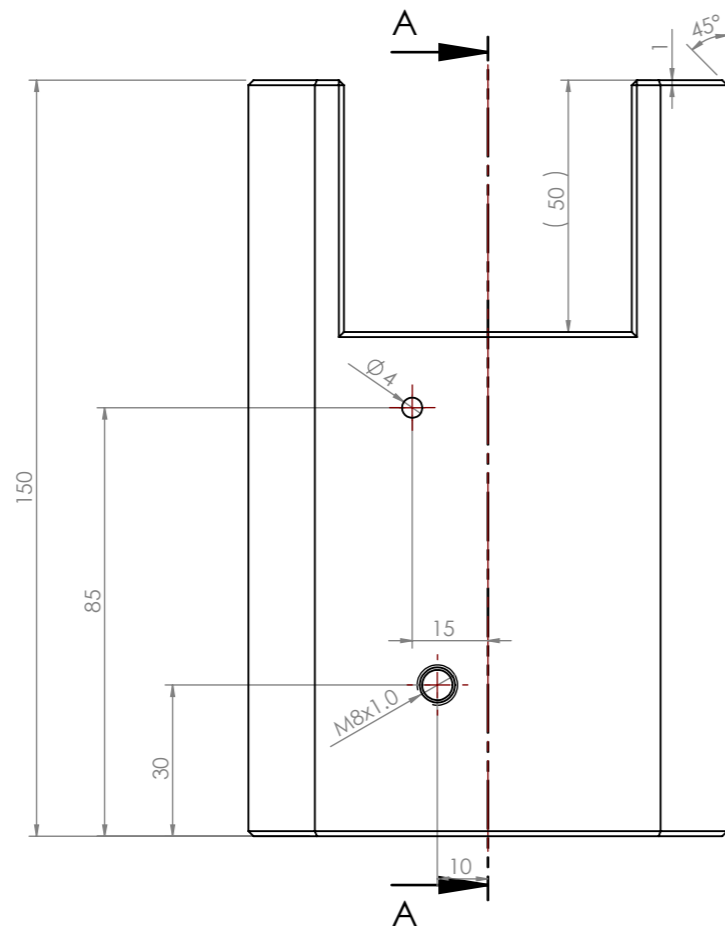
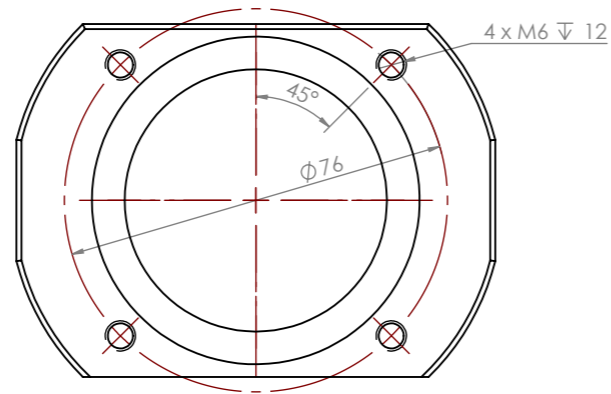


Nome	Data	Mestrado			Quantidade	1
Des. JPS	20/03/2018	isep Instituto Superior de Engenharia de Lisboa			Massa (kg)	2.59
Vist.		ISO 2768	mK	Escala- 1:2	Tratamento	-
Aprov.		A3			Material	
Nome CHUMACEIRA VERTICAL JPS.00010					Descrição	montagem
					Desenho	JPS.00010 1/1

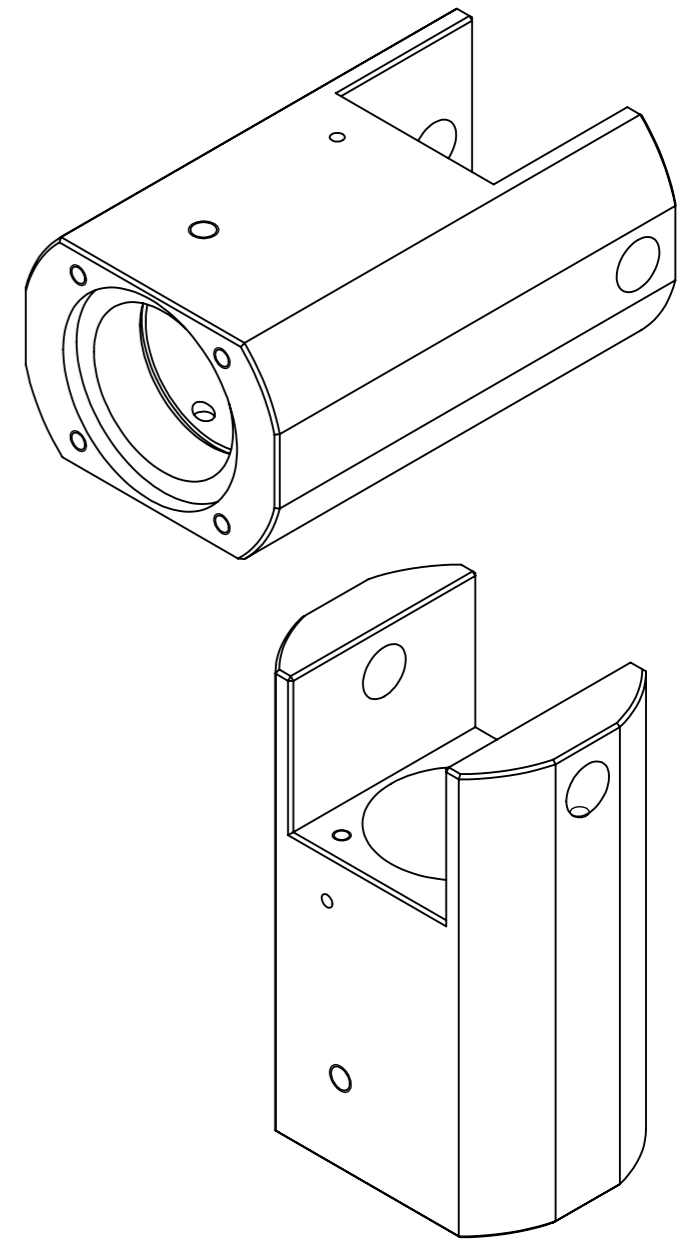


Ra 3,2

Nome	Data	Mestrado			Quantidade	1
Des. JPS	20/03/2018	isep Instituto Superior de Engenharia de Lisboa			Massa (kg)	0.98
Vist.		ISO 2768	mK	Escala- 1:1	Tratamento	-
Aprov.					Material	C45E
Nome VEIO CHUMACEIRA VERTICAL JPS.00011					Descrição	torno
					Desenho	JPS.00011 1/1

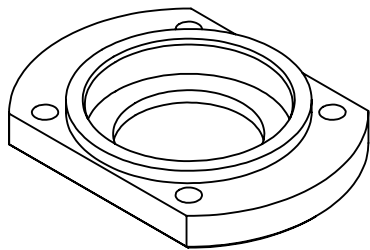
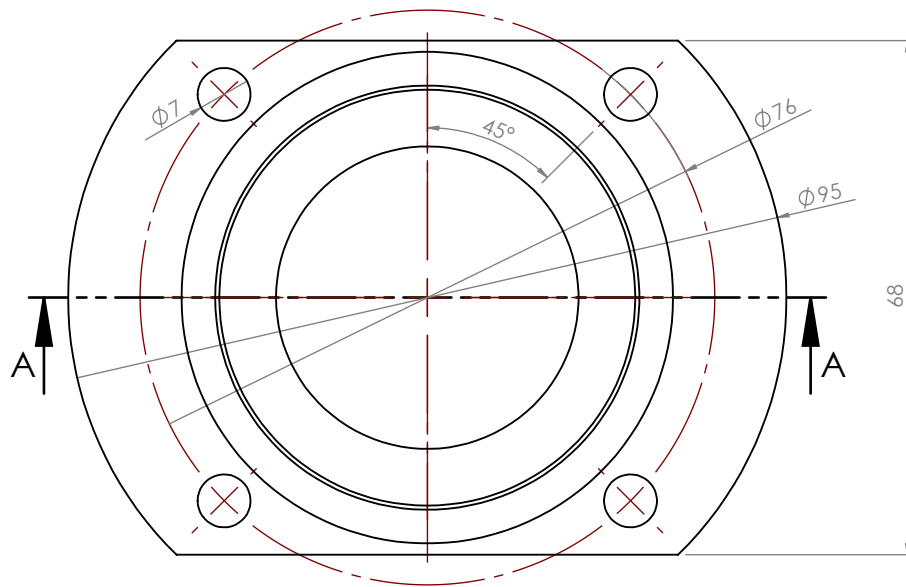
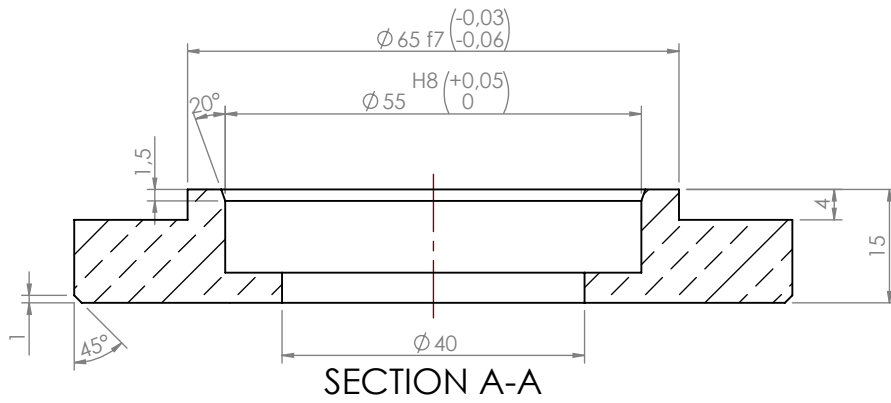


SECTION A-A





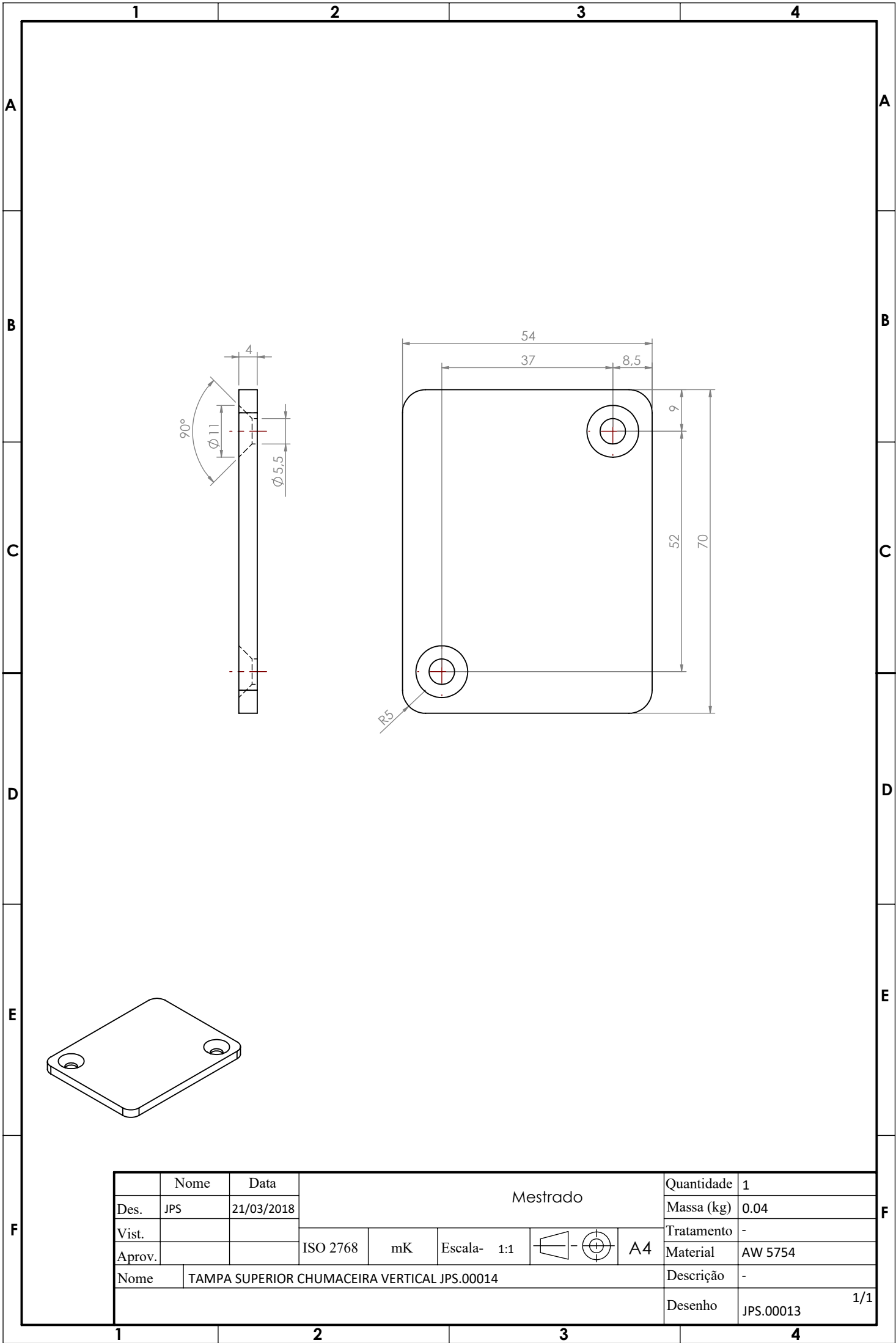
∇ Ra 3,2

Nome	JPS	Data	20/03/2018	isep Instituto Superior de Engenharia do Porto			Mestrado	Quantidade	1	
Des.				ISO 2768	mK	Escala- 1:1.5		A3	Massa (kg)	1.32
Vist.									Tratamento	-
Aprov.									Material	AW 5754
Nome	CORPO CHUMACEIRA VERTICAL JPS.00012							Descrição	torno	
								Desenho	JPS.00012	1/1

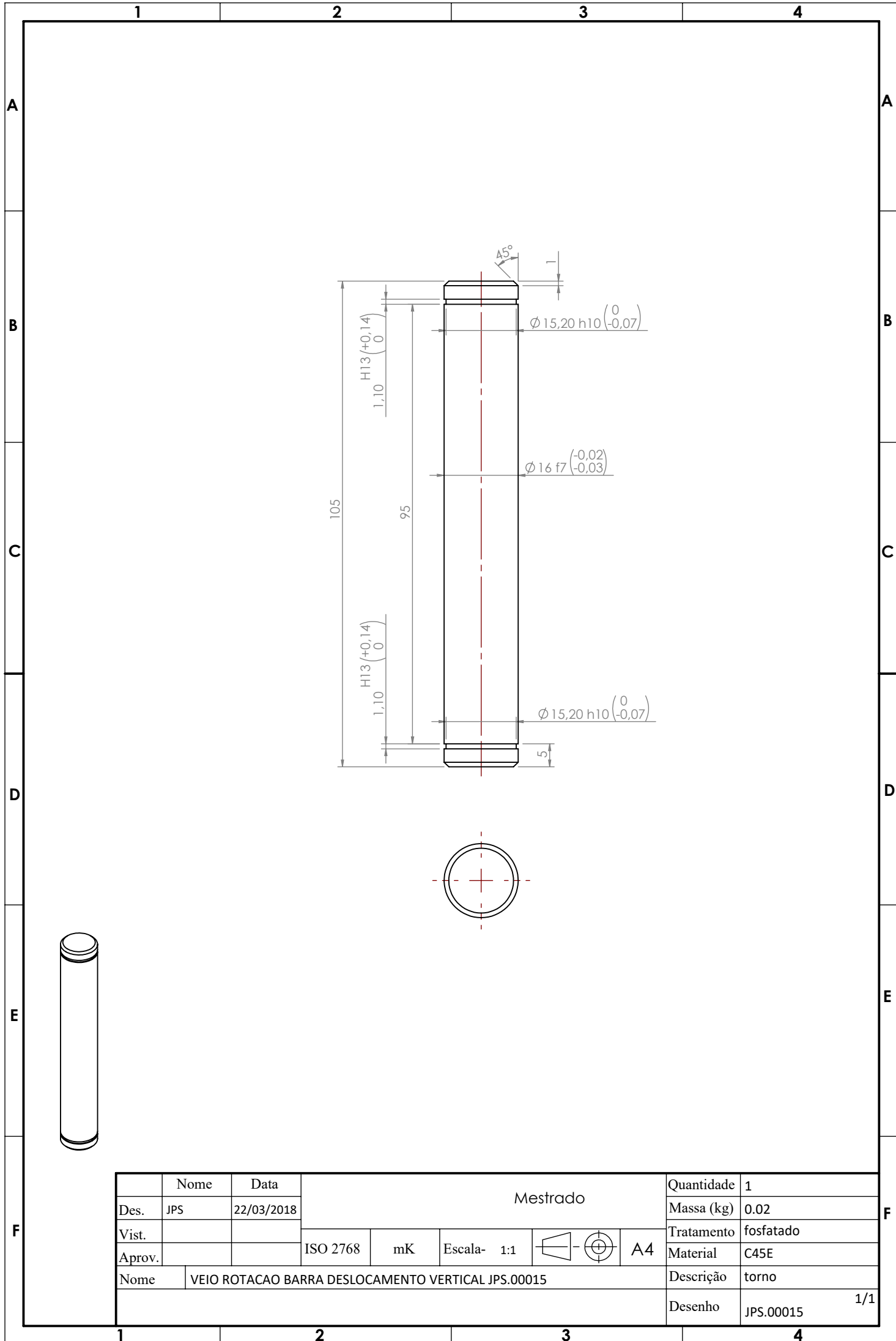


$\sqrt{\text{Ra } 3,2}$

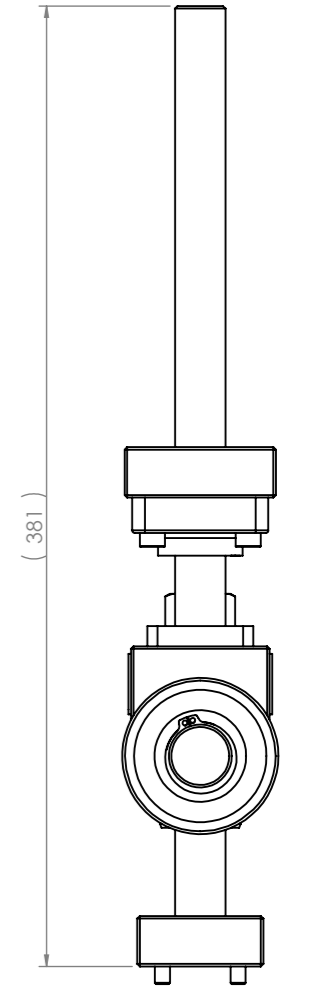
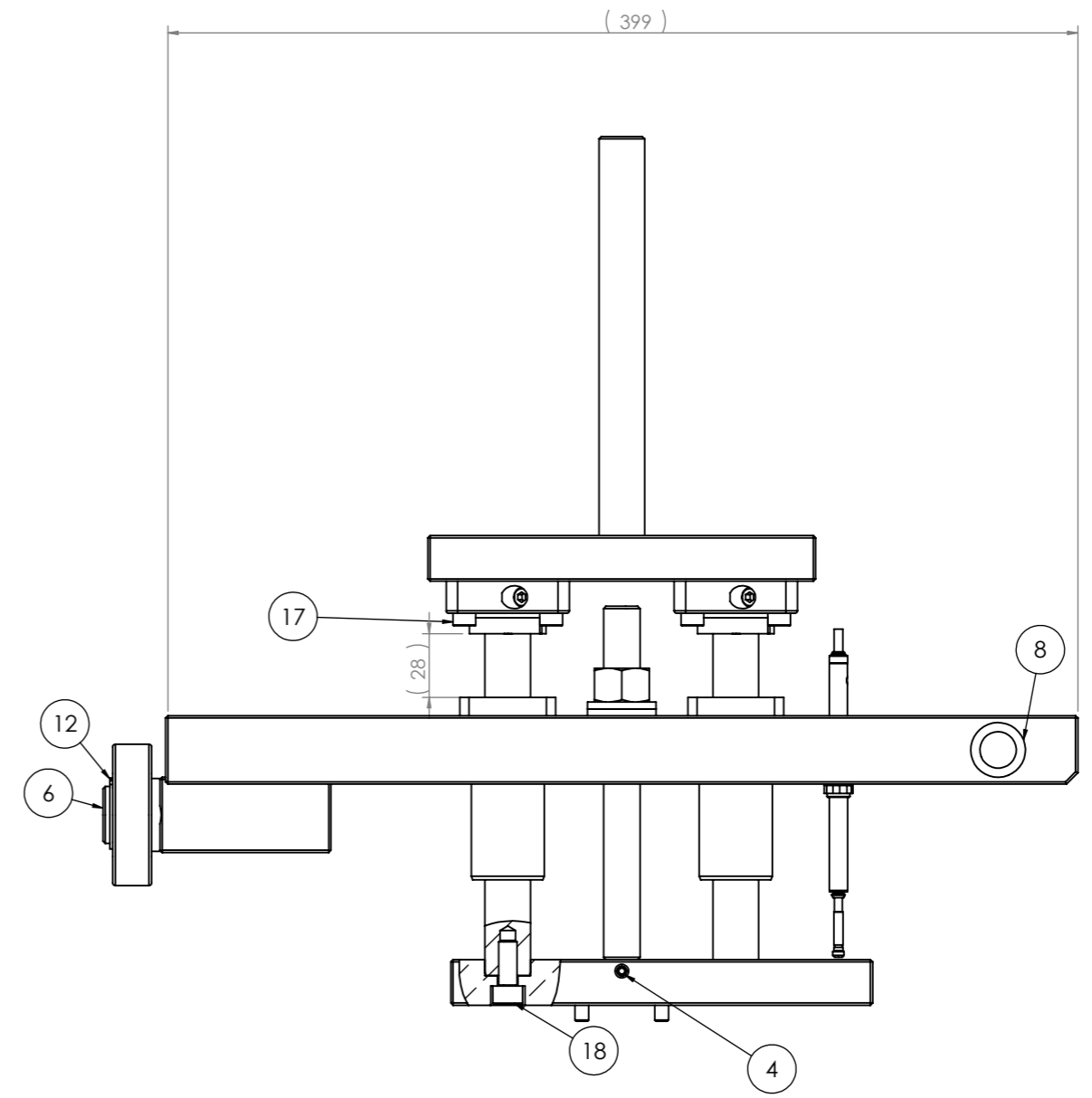
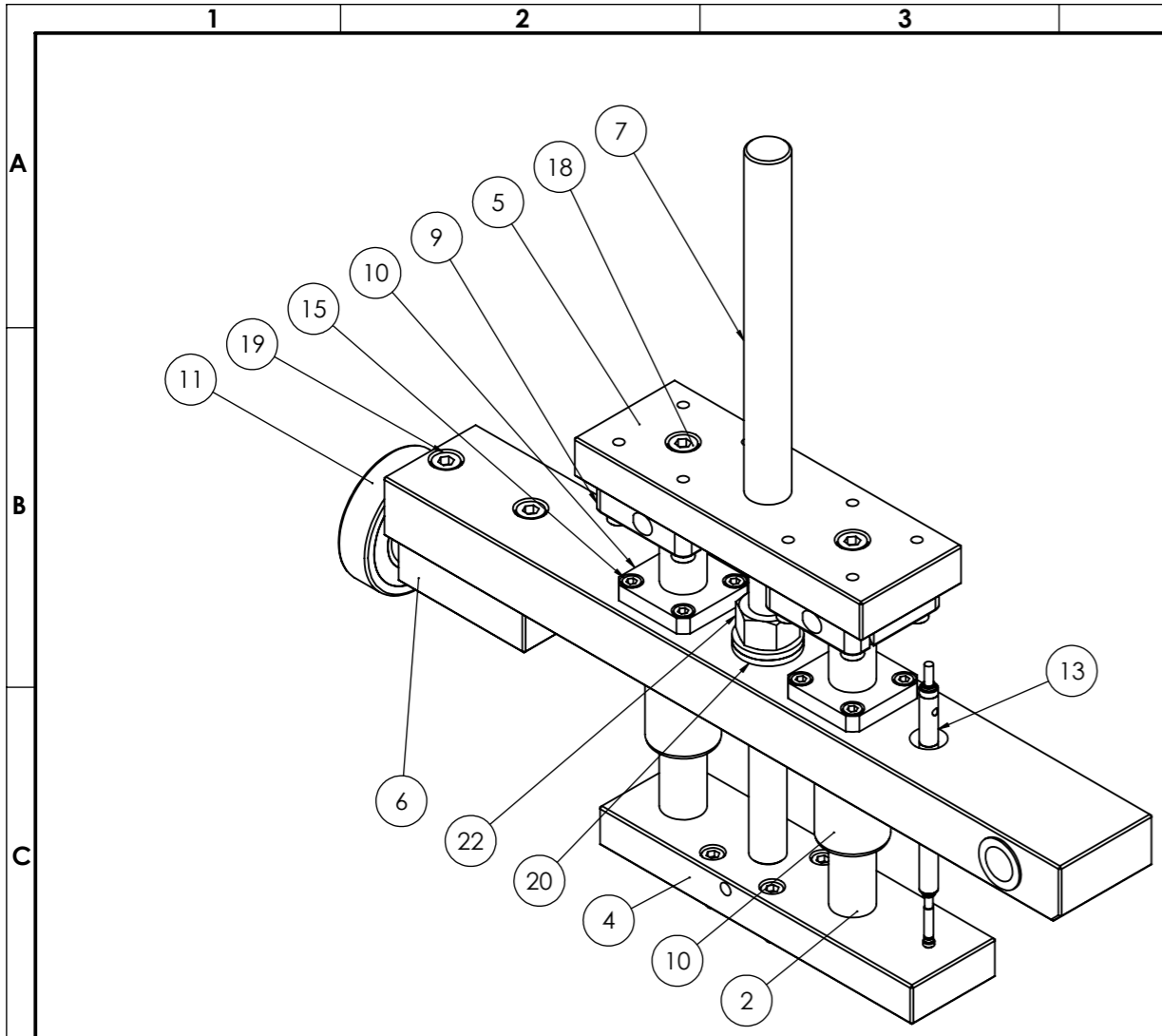
	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1
Des.	JPS	21/03/2018					Massa (kg)	0.12
Vist.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1	  A4	Tratamento	-
Aprov.							Material	AW 5754
Nome	TAMPA INFERIOR CHUMACEIRA VERTICAL JPS.00013						Descrição	torno
							Desenho	JPS.00013 1/1



	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1
Des.	JPS	21/03/2018					Massa (kg)	0.04
Vist.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1		Tratamento	-
Aprov.						A4	Material	AW 5754
Nome	TAMPA SUPERIOR CHUMACEIRA VERTICAL JPS.00014						Descrição	-
							Desenho	JPS.00013 1/1



	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1	
Des.	JPS	22/03/2018					Massa (kg)	0.02	
Vist.							Tratamento	fosfatado	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1		A4	Material	C45E
Nome	VEIO ROTACAO BARRA DESLOCAMENTO VERTICAL JPS.00015					Descrição		torno	
							Desenho	JPS.00015 1/1	



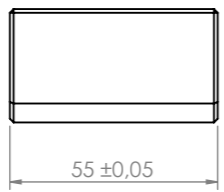
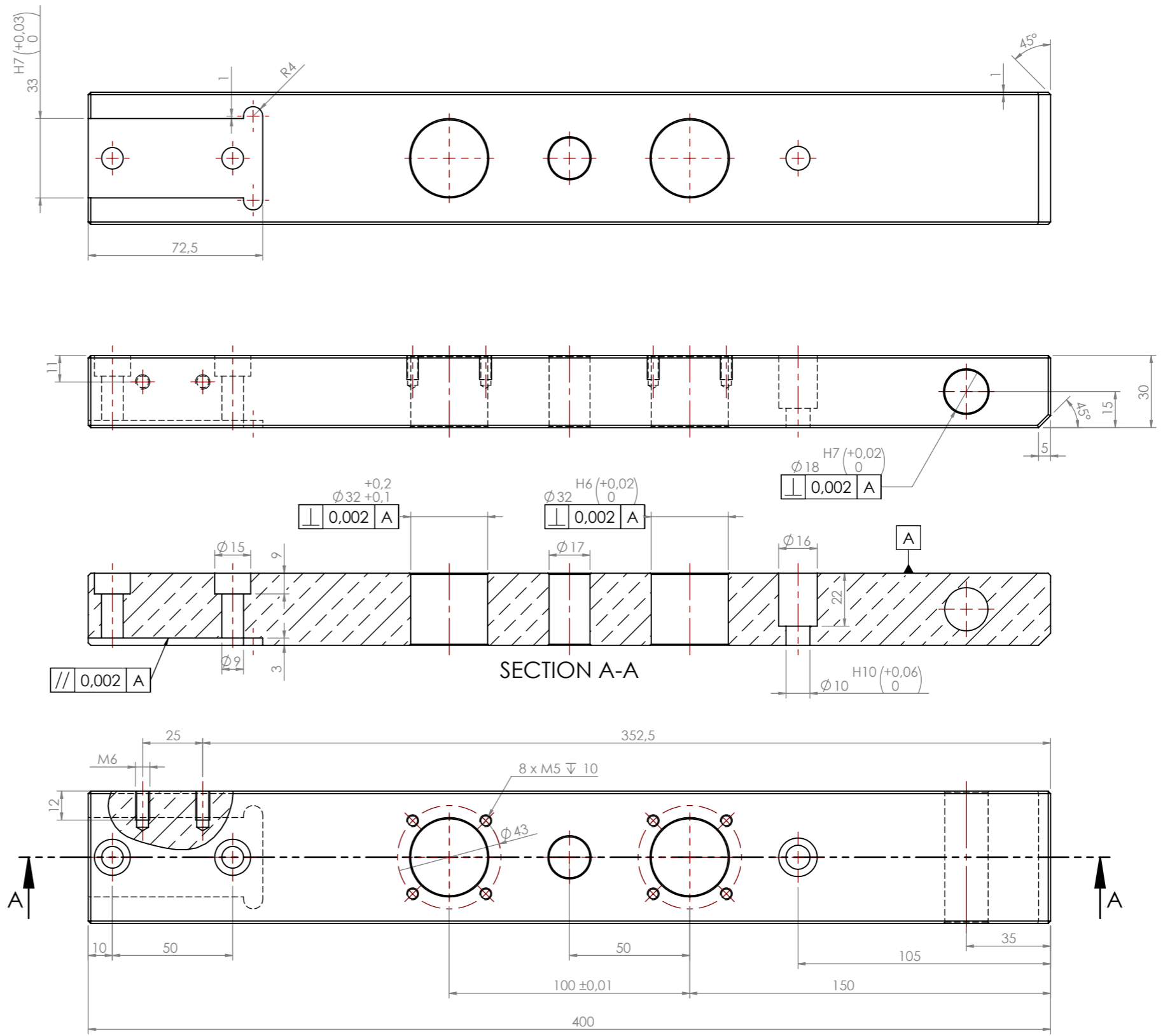
SCALE 1 : 3

SCALE 1 : 3

Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Qty.
1	BARRA SUPORTE MOVIMENTO VERTICAL JPS.00016	JPS.00016	AW 5754	fresadora	1
2	VEIO MOVIMENTO VERTICAL INA W20 JPS.00018	JPS.00018	Cf 53 (1.1213)	compra	2
3	VARAO ROSCADO ALIVIO CARGA JPS.00022	JPS.00022	C45E	torno	1
4	BARRA SUPORTE CARGA JPS.00019 SUPORTE AMOSTRA JPS.00021	JPS.00021	AW 5754	fresadora	1
5	BARRA SUPORTE CARGA JPS.00019 SUPORTE AMOSTRA JPS.00021	JPS.00019	AW 5754	fresadora	1
6	SUPORTE ROLAMENTO NIVELADOR MOVIMENTO VERTICAL JPS.00017	JPS.00017	AW 5754	torno	1
7	VEIO POSICAO CARGA JPS.00020	JPS.00020	C45E	torno	1
8	casquilho ina (conf.)	INA	F 16x18x17 E40	Compra	2
9	inafag_fw20	INA	FW20	Compra	2
10	FLANGELIN.BUSHINGKBMFT-20-DD R074152000	Rexroth	KBMFT-20-DD	Compra	2
11	inafag_6305-2rsr	INA	6305 2RS	Compra	1
12	FREIO EXTERIOR DIN471 Ø25x1.2	Fabory	DIN471 Ø25x1,2	Compra	1
13	keyence GT2-P12L	KEYENCE	GT2-P12L	Compra	1
14	OP-76874_2	Keyence	OP-76874	Compra	1
15	PARAFUSO CHC ISO 4762 (conf.)	Fabory	ISO 4762 M5x12	Compra	8
16	PARAFUSO CHC ISO 4762 (conf.)	Fabory	ISO 4762 M6x12	Compra	1
17	PARAFUSO CHC ISO 4762 (conf.)	Fabory	ISO 4762 M6x25	Compra	8
18	PARAFUSO CHC ISO 4762 (conf.)	Fabory	ISO 4762 M8x20	Compra	5
19	PARAFUSO CHC ISO 4762 (conf.)	Fabory	ISO 4762 M8x30	Compra	2
20	ANILHA PLANA (conf.)	Fabory	ISO 7089 M16	Compra	2
21	PERNO PONTA PLANA ISO 4026 (conf.)	Fabory	ISO 4026 M5x10	Compra	1
22	FEMEA SEXTAVADA (conf.)	Fabory	ISO 4032 M16	Compra	1
23	PARAFUSO CHC ISO 4762 (conf.)	Fabory	ISO 4762 M6x20	Compra	4

Nome	CONJ. MOVIMENTO VERTICAL JPS.00024			Descrição	montagem
Des.	JPS	Data	15/05/2018	Quantidade	1
Vist.				Massa (kg)	5.23
Aprov.				Tratamento	-
				Material	
				Desenho	JPS.00024
					1/1

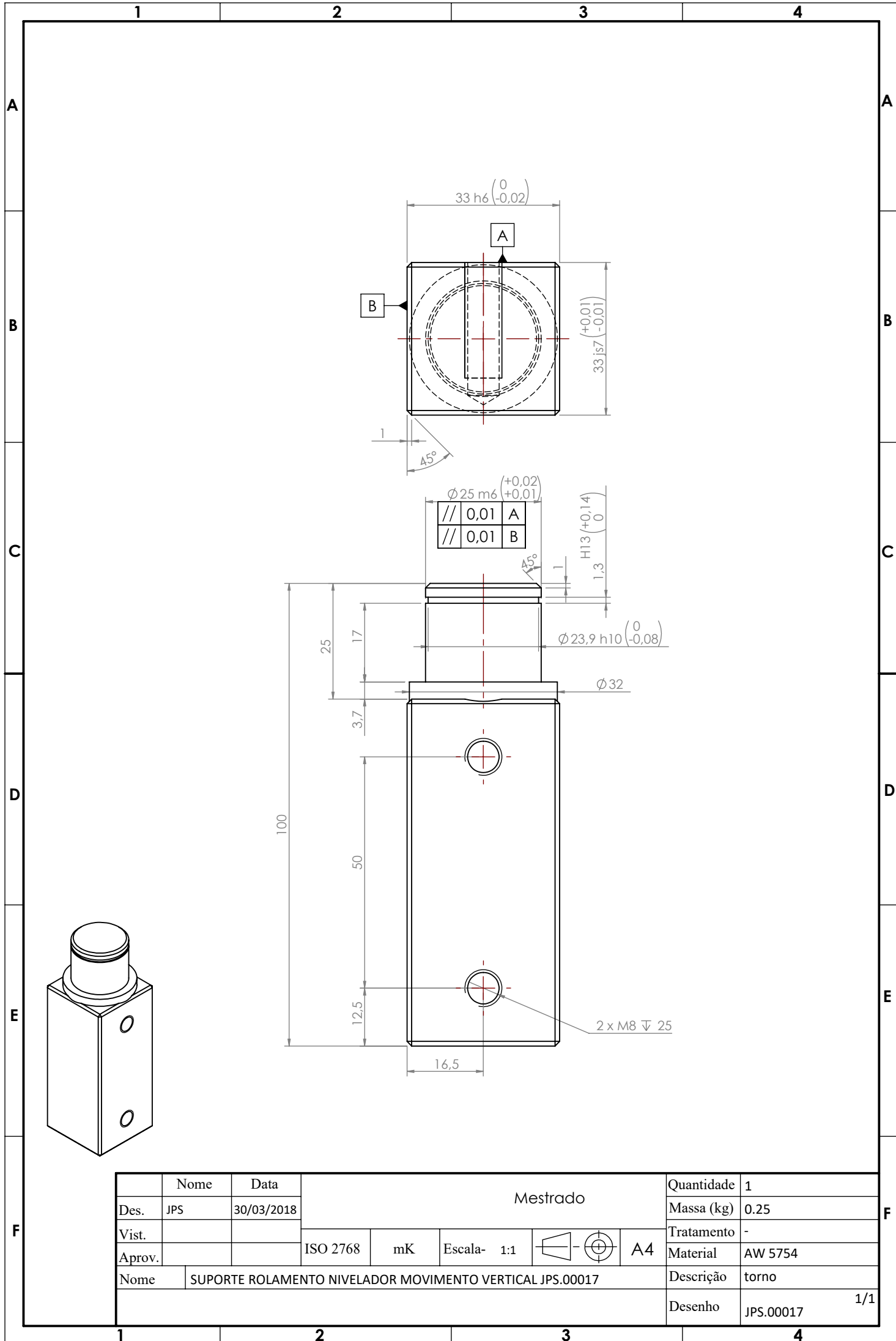
isep Instituto Superior de Engenharia de Lisboa
 Mestrado
 ISO 2768 mK Escala- 1:5 A3



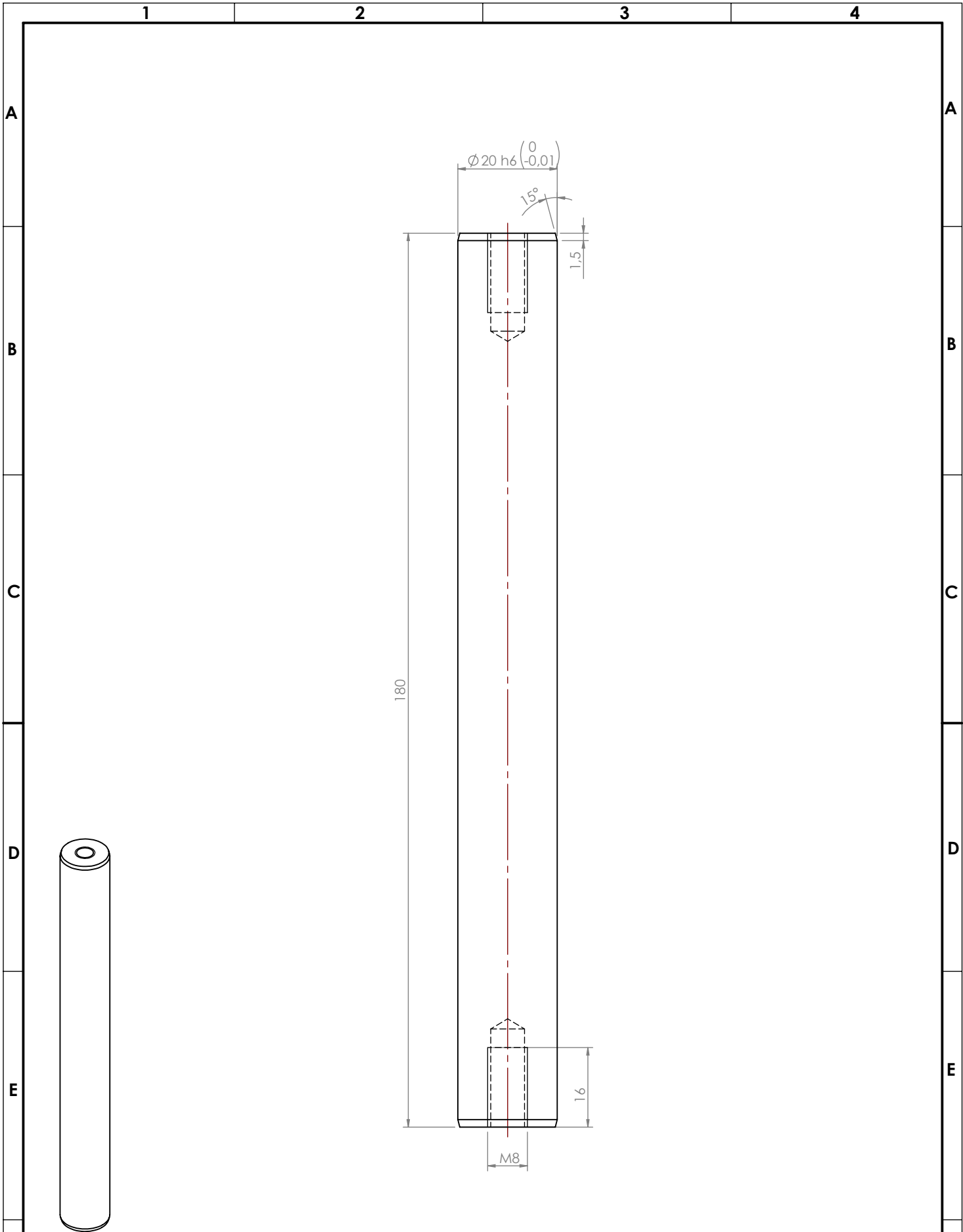
SECTION A-A

Ra 3,2

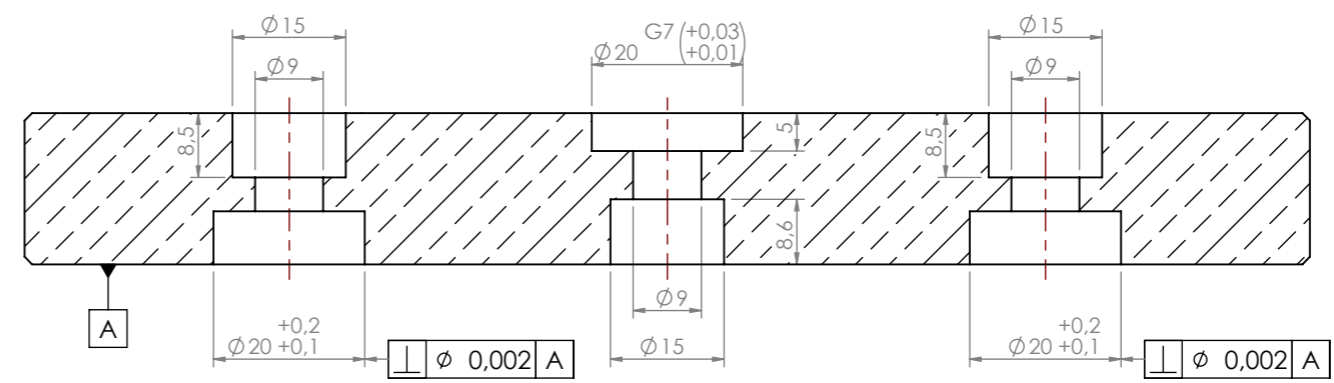
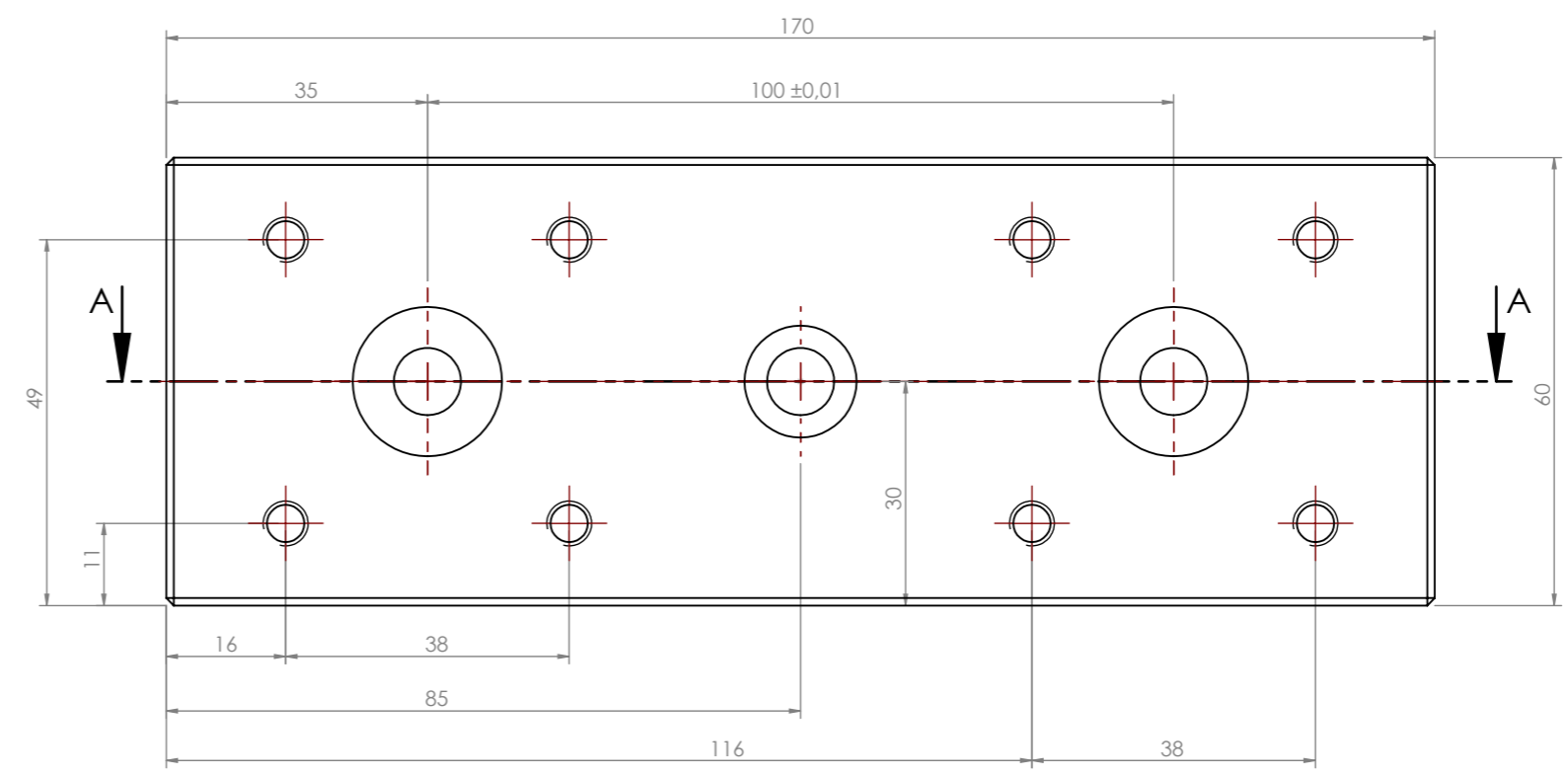
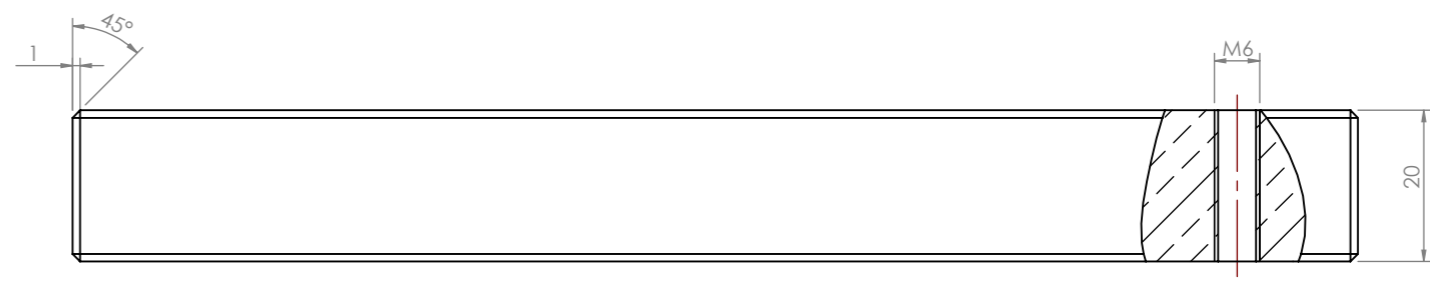
Nome	Data	 <small>Instituto Superior de Engenharia de Lisboa</small>	Mestrado			Quantidade	1
Des.	28/03/2018		ISO 2768	mK	Escala- 1:2	Massa (kg)	1.51
Vist.					Tratamento	-	
Aprov.					Material	AW 5754	
Nome BARRA SUPORTE MOVIMENTO VERTICAL JPS.00016						Descrição	fresadora
						Desenho	JPS.00016 1/1



	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1	
Des.	JPS	30/03/2018					Massa (kg)	0.25	
Vist.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1		A4	Tratamento	-
Aprov.							Material	AW 5754	
Nome	SUPORTE ROLAMENTO NIVELADOR MOVIMENTO VERTICAL JPS.00017						Descrição	torno	
							Desenho	JPS.00017 1/1	

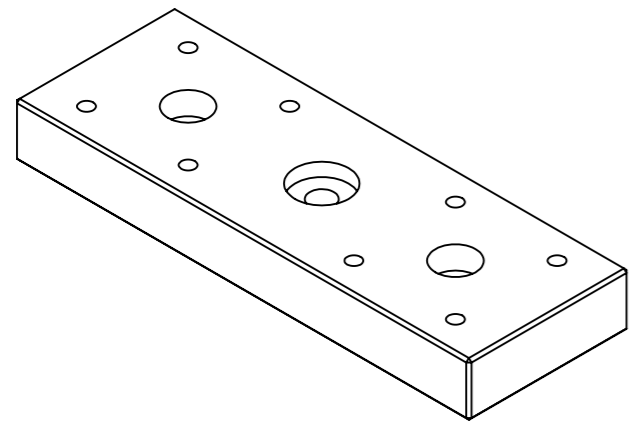


	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1
Des.	JPS	30/03/2018					Massa (kg)	0.43
Vist.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1		Tratamento	cromado
Aprov.						A4	Material	Cf 53 (1.1213)
Nome	VEIO MOVIMENTO VERTICAL INA W20 JPS.00018						Descrição	compra
							Desenho	JPS.00018 1/1

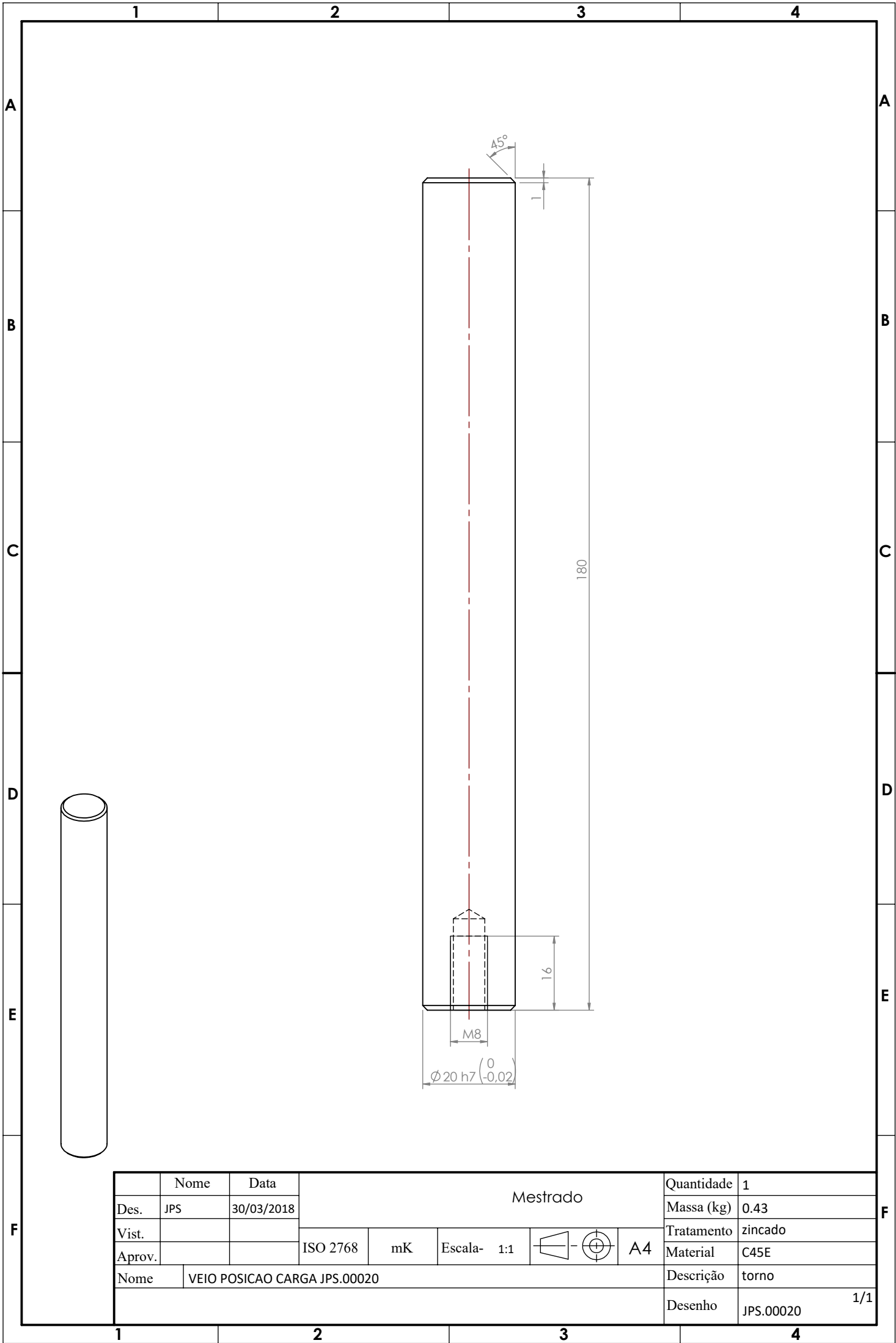


SECTION A-A

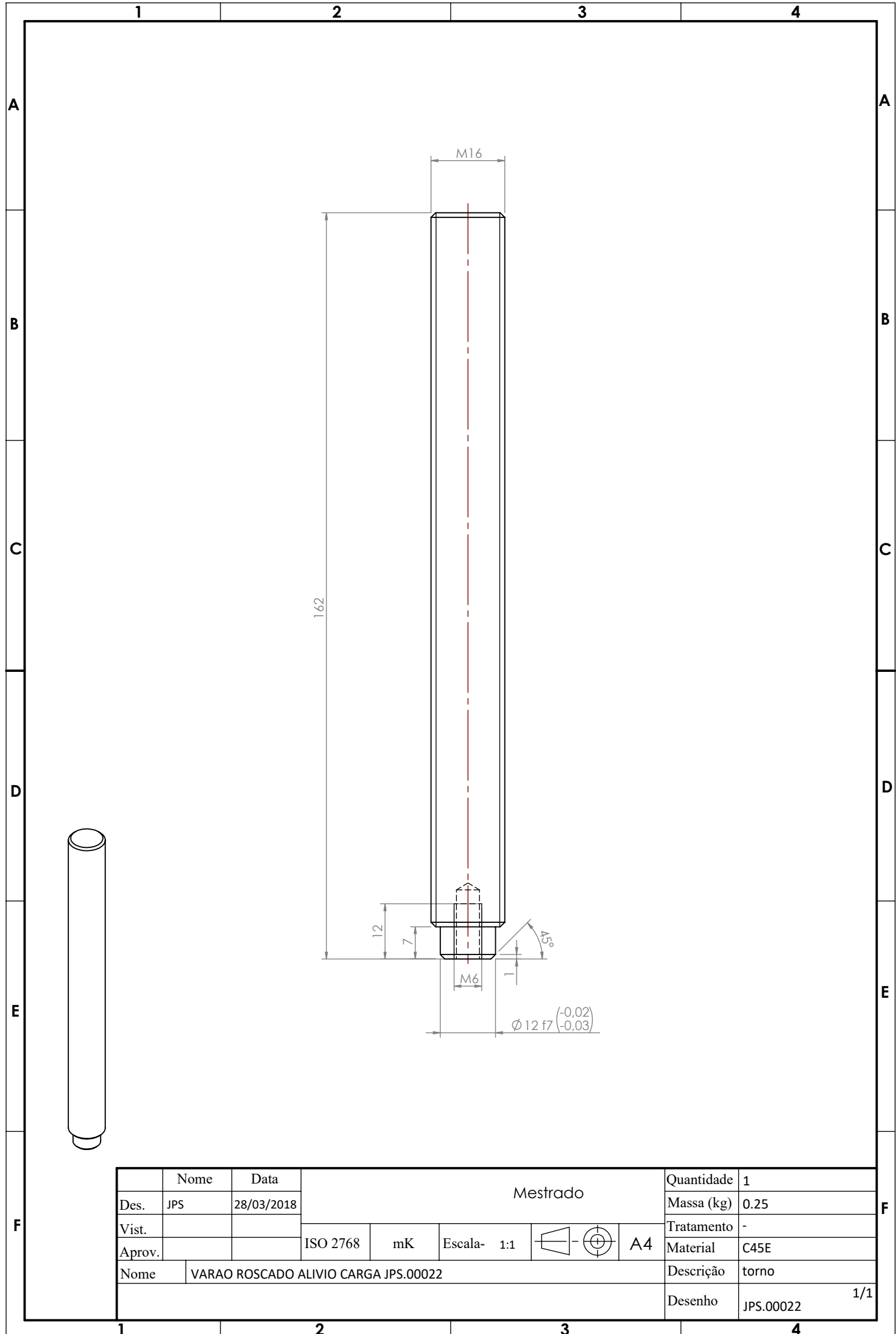
Ra 3,2



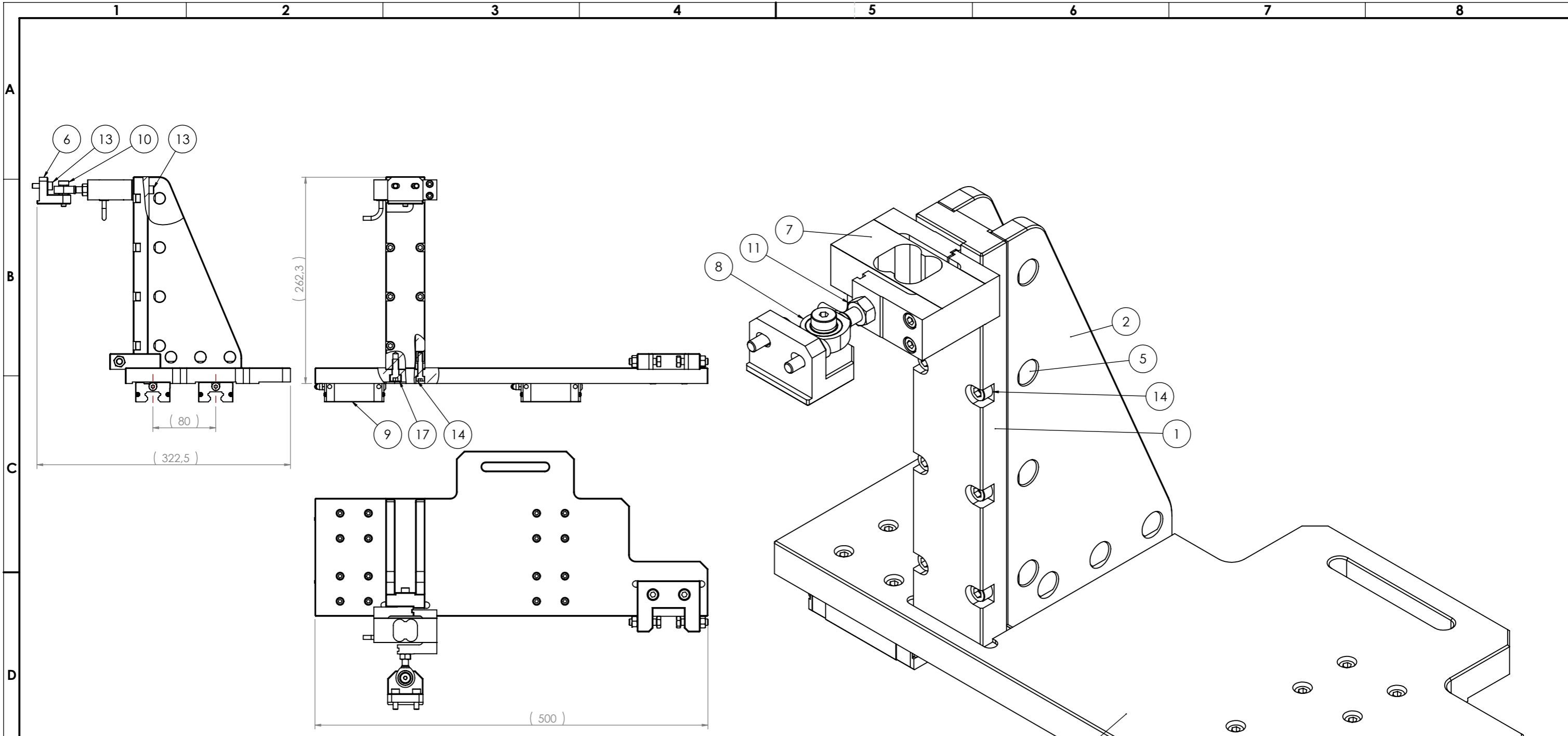
Nome	Mestrado			Quantidade	1
Des.	JPS	Data	28/03/2018	Massa (kg)	0.44
Vist.		ISO 2768	mK	Tratamento	-
Aprov.		Escala-	1:1	Material	AW 5754
Nome	BARRA SUPORTE CARGA JPS.00019 SUPORTE AMOSTRA JPS.00021			Descrição	fresadora
				Desenho	JPS.00019 1/1




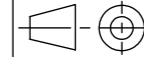
	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1
Des.	JPS	30/03/2018					Massa (kg)	0.43
Vist.							Tratamento	zincado
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1		Material	C45E
Nome	VEIO POSICAO CARGA JPS.00020						Descrição	torno
							Desenho	JPS.00020 1/1

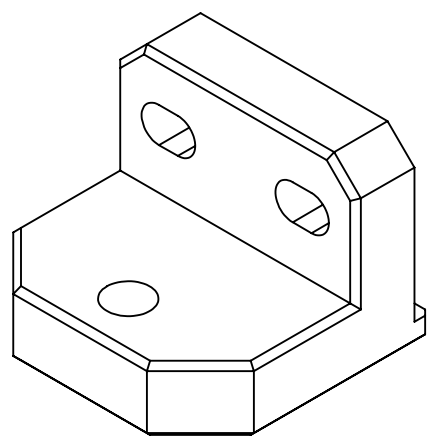
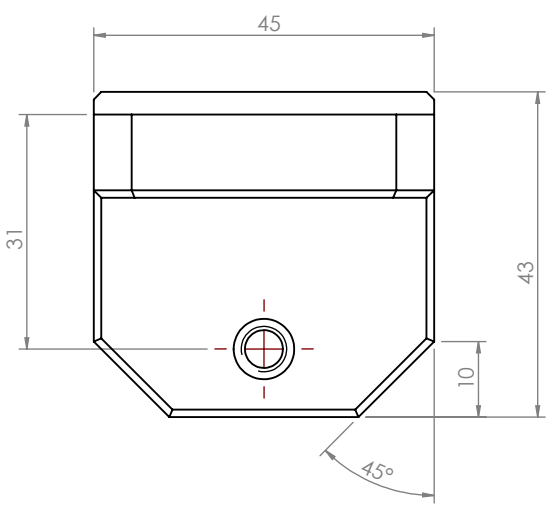
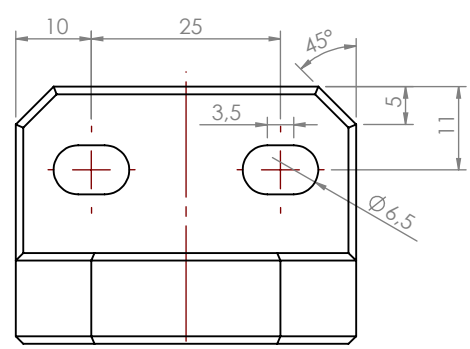
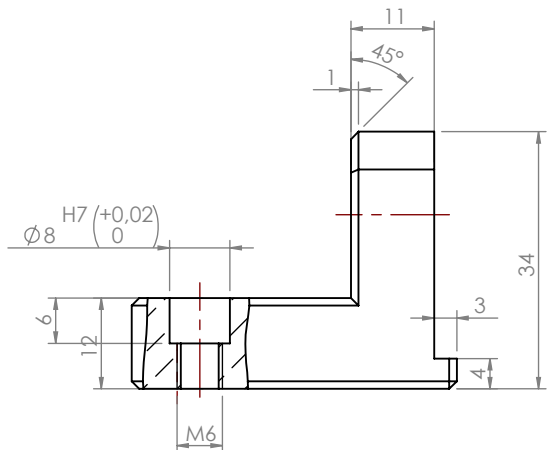


	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1	
Des.	JPS	28/03/2018					Massa (kg)	0.25	
Vist.							Tratamento	-	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1		A4	Material	C45E
Nome	VARAO ROSCADO ALIVIO CARGA JPS.00022						Descrição	torno	
							Desenho	JPS.00022 1/1	



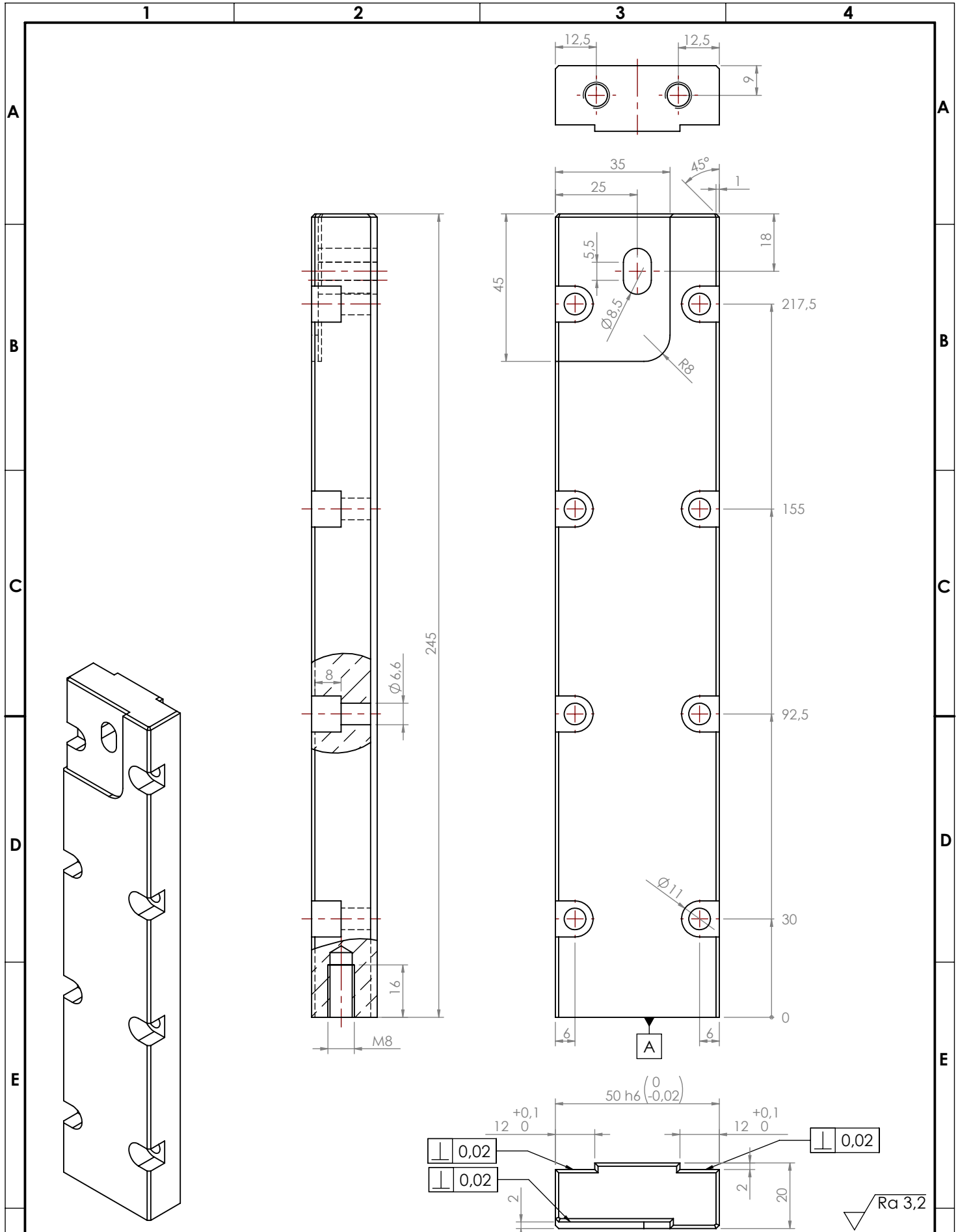
Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Qty.
1	SUPORTE CELULA DE CARGA JPS.00026	JPS.00026	AW 5754	fresadora	1
2	REFORCO SUPORTE CELULA DE CARGA JPS.00027	JPS.00027	AW 5754	fresadora	2
3	BASE MOVIMENTO CELULA DE CARGA JPS.00029	JPS.00029	AW 5754	fresadora	1
4	FEMEA MOVIMENTACAO CELULA DE CARGA JPS.00030	JPS.00030	AW 5754	fresadora	1
5	FEMEA CIRCULAR Ø14xM6 JPS.00028	JPS.00028	C45E	torno	14
6	SUPORTE ROTULA CELULA DE CARGA JPS.00025	JPS.00025	AW 5754	fresadora	1
7	CELULA DE CARGA HBM S2M_500N_1_105	HBM	HBM S2M 500N	compra	1
8	inafag_gakr8-pw	INA	GAKR8-PW	compra	1
9	HGH20CA_Z0_H_SS_1	Hiwin	HGH20CA_Z0_H_SS_1	Compra	4
10	PARAFUSO RETIFICADO ISO 7379 Ø8x16 M6	Fabory	DIN 7379 Ø8x16 M6	Compra	1
11	FEMEA SEXTAVADA (conf.)	Fabory	ISO 4032 M8	Compra	3
12	PARAFUSO SEXTAVADO (conf.)	Fabory	ISO 4017 M8x35	Compra	2
13	PARAFUSO CHC ISO 4762 (conf.)	Fabory	ISO 4762 M6x20	Compra	3
14	PARAFUSO CHC ISO 4762 (conf.)	Fabory	ISO 4762 M6x30	Compra	14
15	PARAFUSO CHC ISO 4762 (conf.)	Fabory	ISO 4762 M5x16	Compra	16
16	PARAFUSO CHC ISO 4762 (conf.)	Fabory	ISO 4762 M8x30	Compra	2
17	PARAFUSO CHC ISO 4762 (conf.)	Fabory	ISO 4762 M8x20	Compra	2

Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia de Lisboa	Mestrado			Quantidade	1		
Des.	JPS		13/04/2018				Massa (kg)	0.55	
Vist.			ISO 2768	mK	Escala- 1:5		Tratamento	-	
Aprov.						A3	Material		
Nome						MONTAGEM CELULA CARGA JPS.00031		Descrição	montagem
								Desenho	JPS.00031 1/1

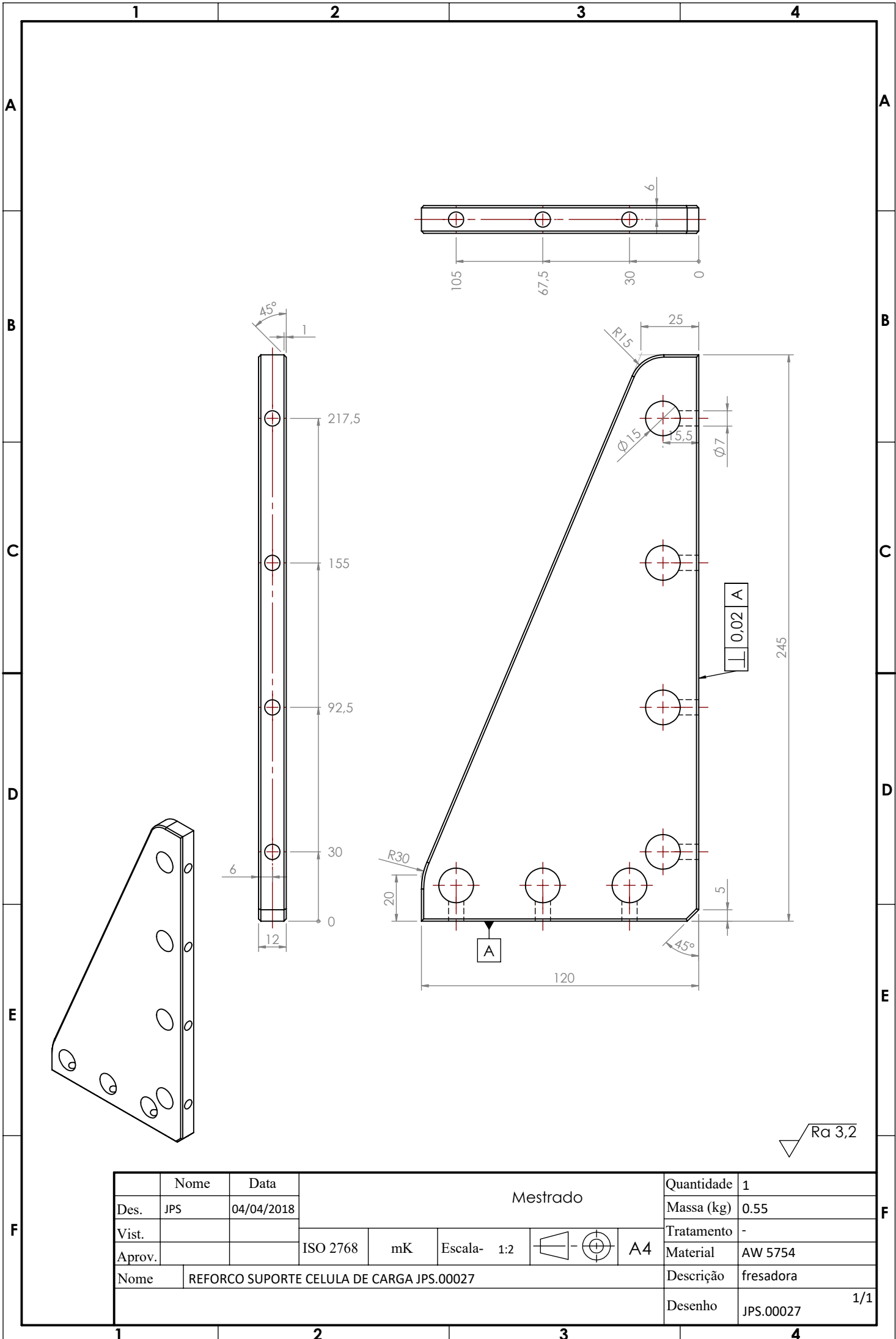


√ Ra 3,2

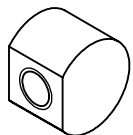
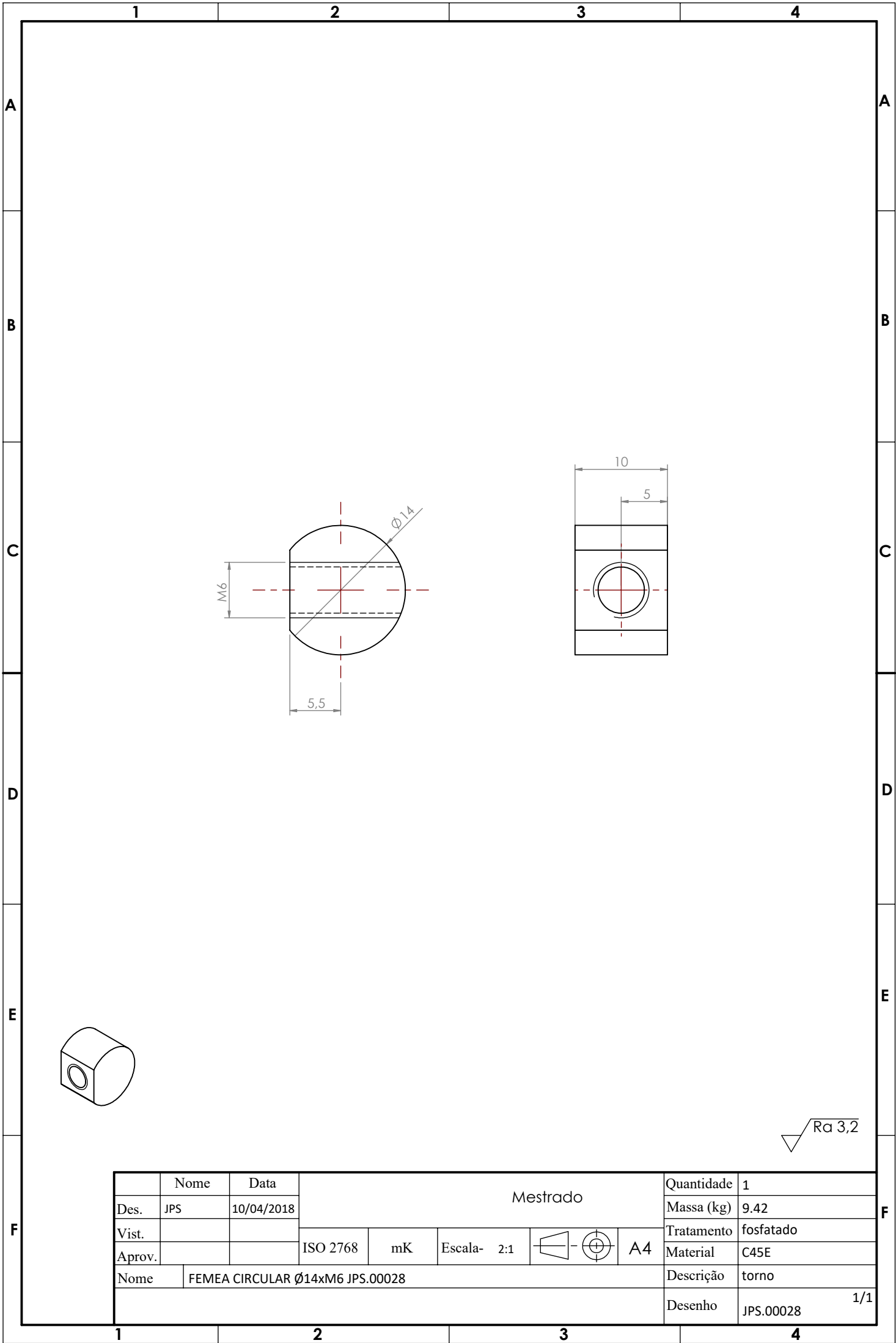
	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1	
Des.	JPS	04/04/2018					Massa (kg)	0.08	
Vist.							Tratamento	-	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1		A4	Material	AW 5754
Nome	SUPORTE ROTULA CELULA DE CARGA JPS.00025						Descrição	fresadora	
							Desenho	JPS.00025 1/1	



	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1
Des.	JPS	04/04/2018					Massa (kg)	0.57
Vist.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1.5		Tratamento	-
Aprov.						A4	Material	AW 5754
Nome	SUPORTE CELULA DE CARGA JPS.00026						Descrição	fresadora
							Desenho	JPS.00026 1/1

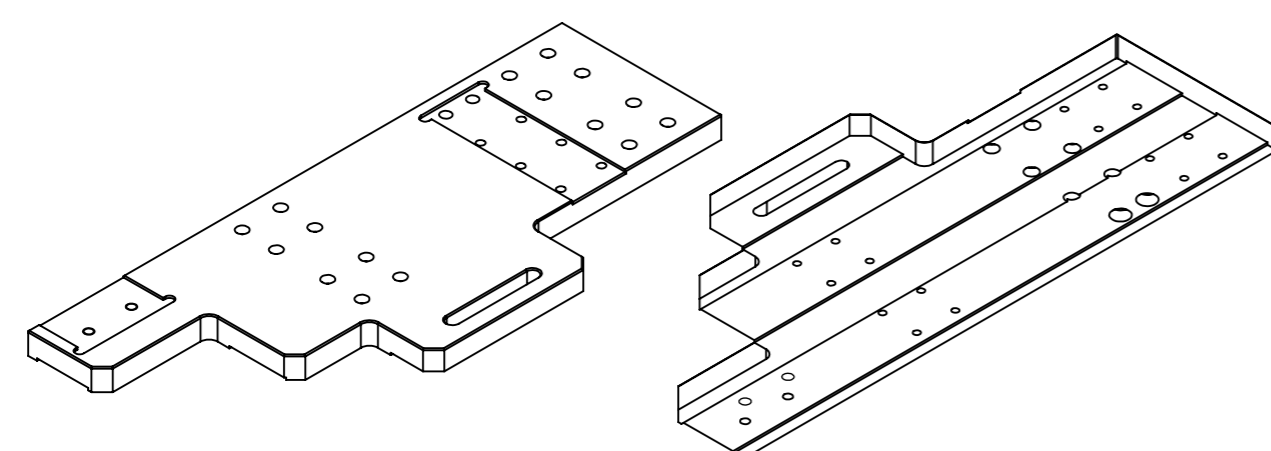
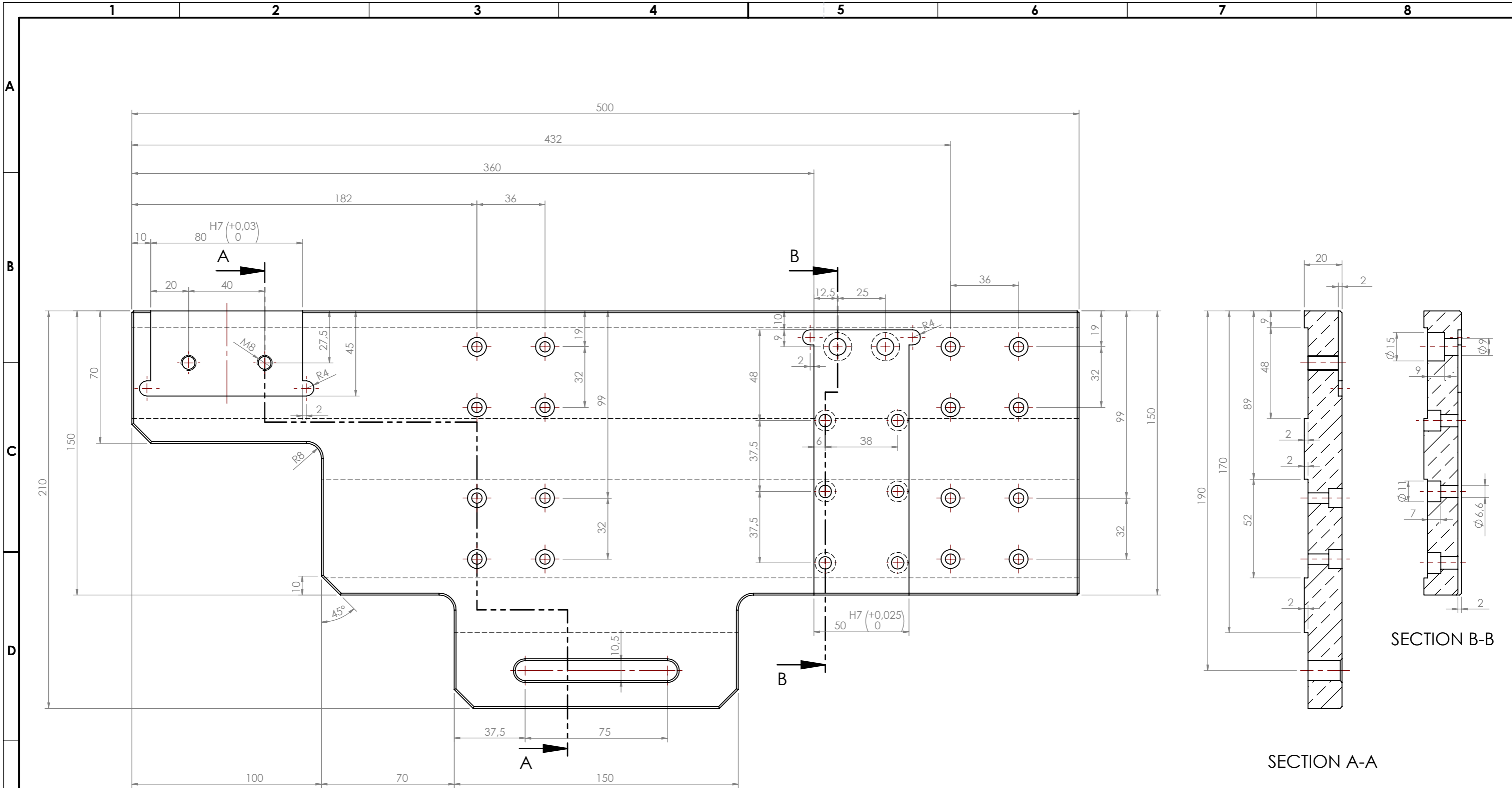


	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1	
Des.	JPS	04/04/2018					Massa (kg)	0.55	
Vist.			ISO 2768	mK	Escala- 1:2		A4	Tratamento	-
Aprov.							Material	AW 5754	
Nome	REFORCO SUPORTE CELULA DE CARGA JPS.00027						Descrição	fresadora	
							Desenho	JPS.00027 1/1	



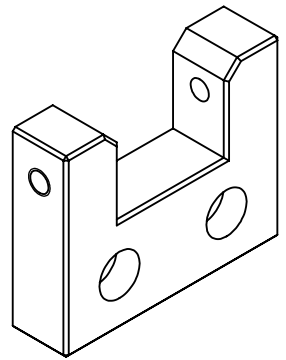
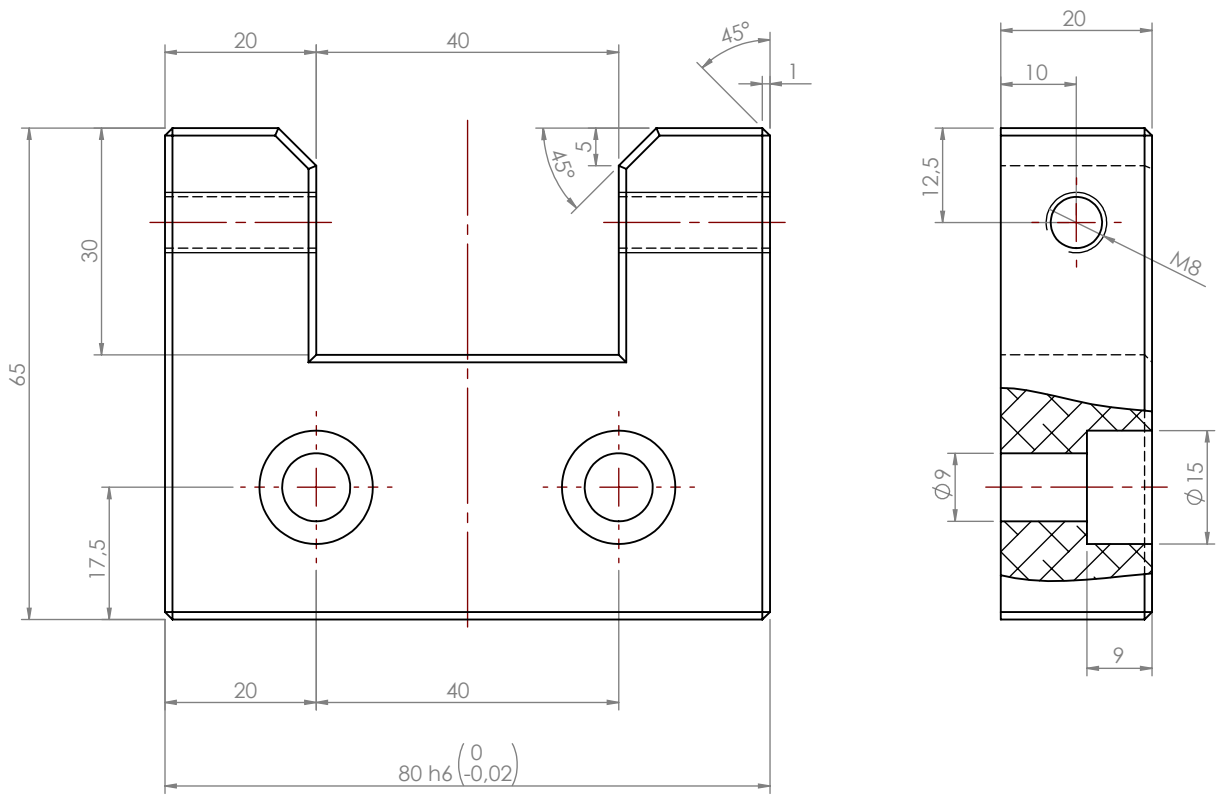
√ Ra 3,2

	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1	
Des.	JPS	10/04/2018					Massa (kg)	9.42	
Vist.							Tratamento	fosfatado	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 2:1		A4	Material	C45E
Nome	FEMEA CIRCULAR Ø14xM6 JPS.00028						Descrição	torno	
							Desenho	JPS.00028 1/1	



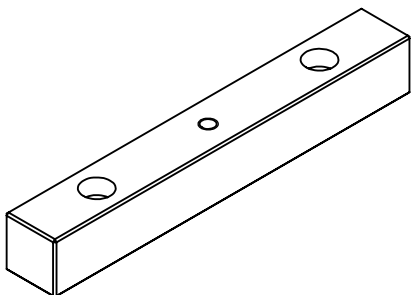
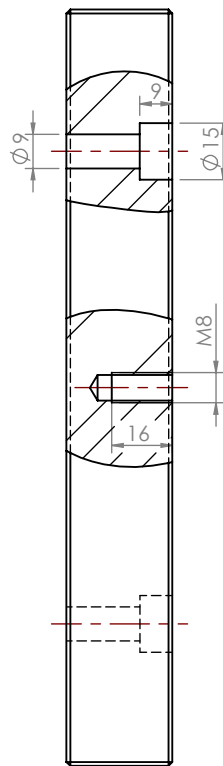
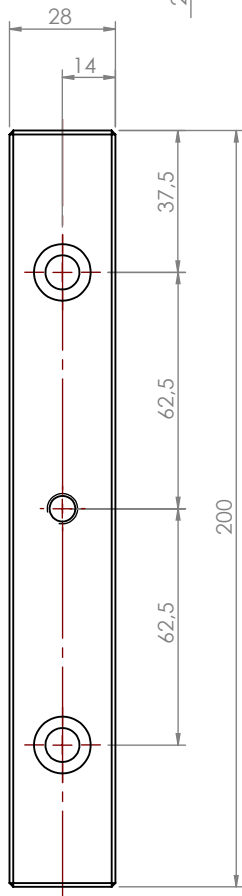
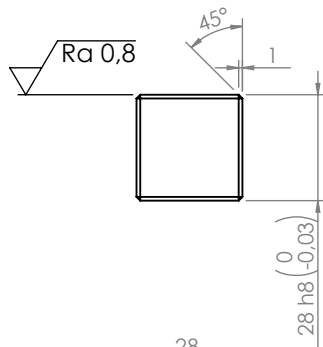
Ra 3,2

Nome	Data	Mestrado			Quantidade	1
Des. JPS	13/04/2018	isep Instituto Superior de Engenharia do Porto			Massa (kg)	7.94
Vist.		ISO 2768	mK	Escala- 1:2	Tratamento	-
Aprov.					Material	AW 5754
Nome BASE MOVIMENTO CELULA DE CARGA JPS.00029					Descrição	fresadora
					Desenho	JPS.00029 1/1



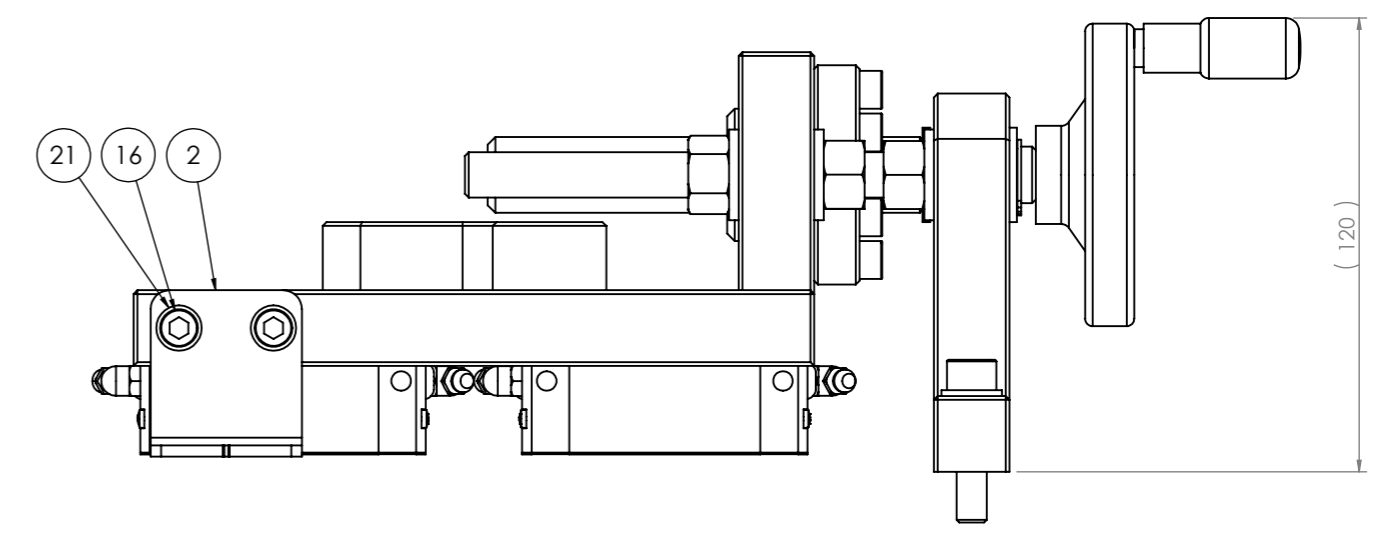
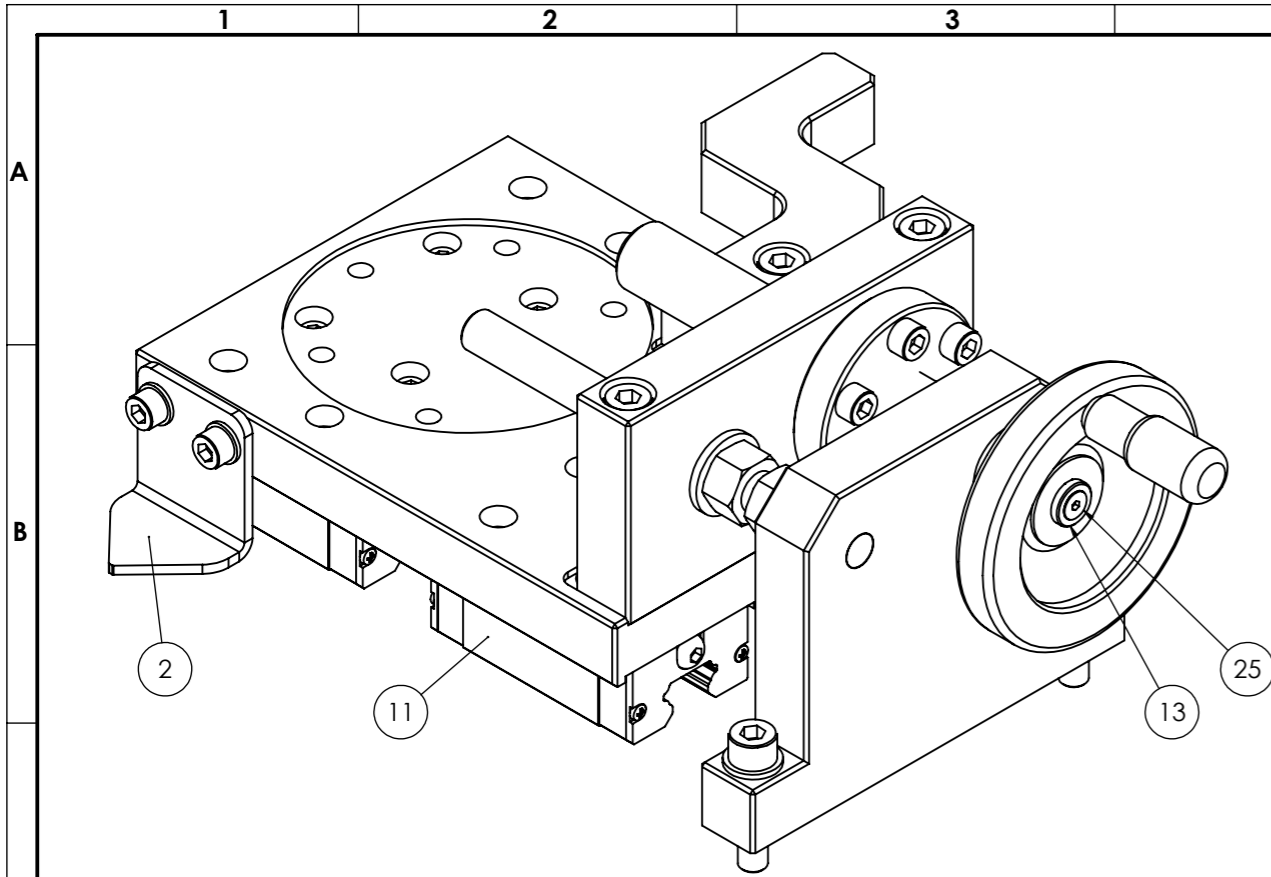
Ra 3,2

	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1	
Des.	JPS	13/04/2018					Massa (kg)	0.20	
Vist.							Tratamento	-	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1		A4	Material	AW 5754
Nome	FEMEA MOVIMENTACAO CELULA DE CARGA JPS.00030					Descrição		fresadora	
							Desenho	JPS.00030 1/1	

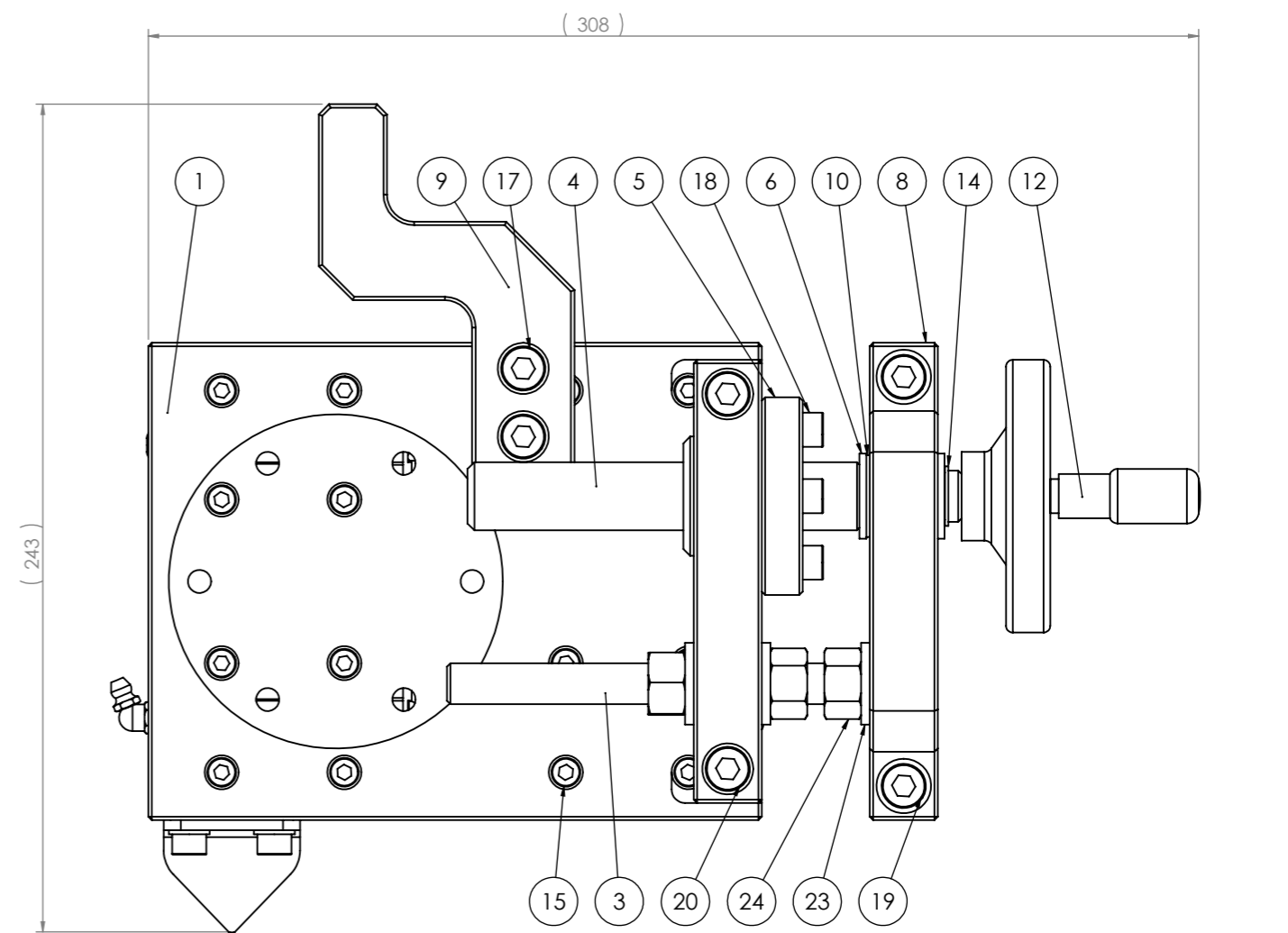


Ra 3,2

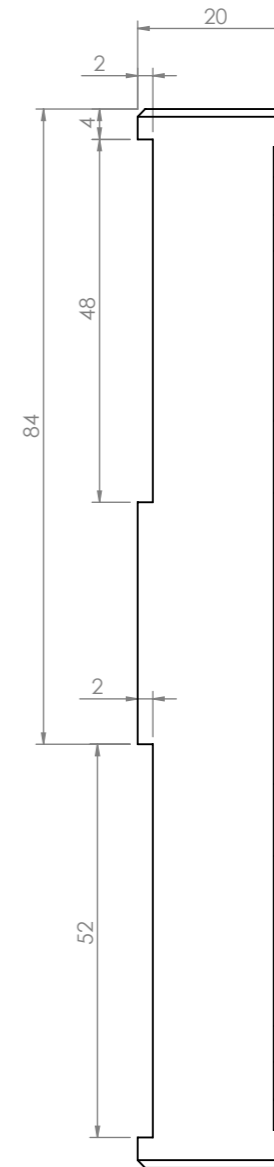
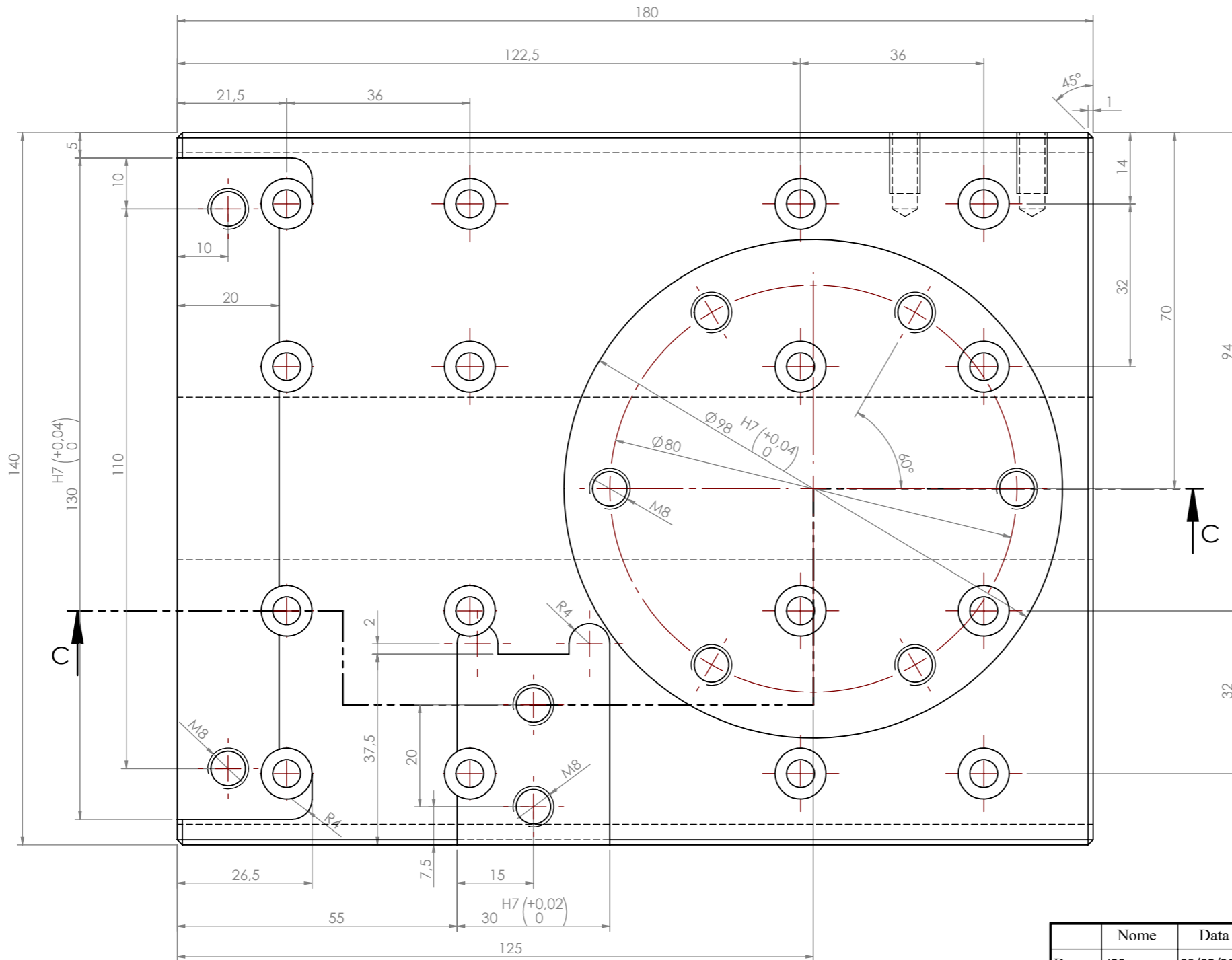
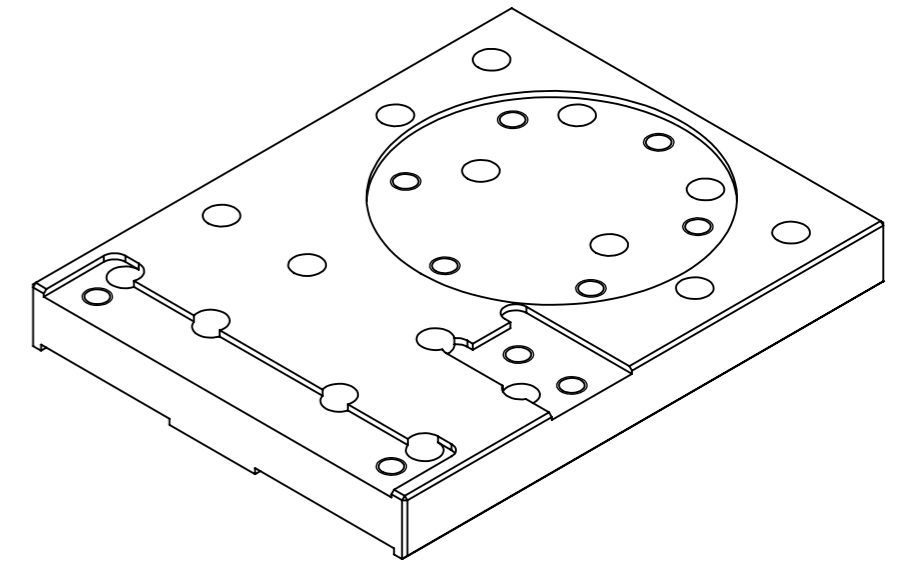
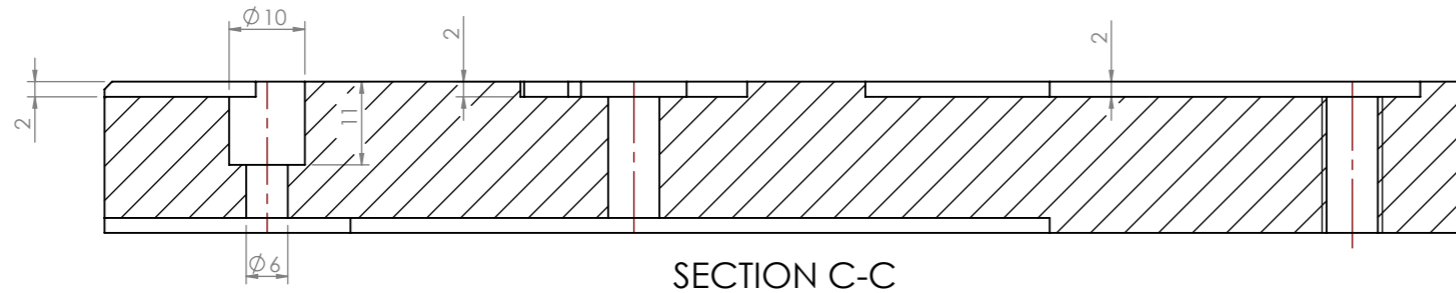
	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1	
Des.	JPS	13/04/2018					Massa (kg)	1.17	
Vist.			ISO 2768	mK	Escala- 1:2		A4	Tratamento	-
Aprov.							Material	C45E	
Nome	BARRA PARA BLOQUEIO MOVIMENTO CELULA CARGA JPS.00032					Descrição		fresadora	
							Desenho	JPS.00032 1/1	



Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Qty.
1	BASE MOVIMENTO HORIZONTAL JPS.00034	JPS.00034	AW 5754	fresadora	1
2	SETA INDICADORA POSICAO MOVIMENTO HORIZONTAL JPS.00038	JPS.00038	AISI 304	laser	1
3	VARAO BLOQUEIO MOVIMENTO HORIZONTAL JPS.00040	JPS.00040	C45E	corte	1
4	FUSO MOVIMENTO HORIZONTAL JPS.00041	JPS.00041	C45E	torno	1
5	FEMEA FUSO MOVIMENTO HORIZONTAL JPS.00037	JPS.00037	CuSn4	torno	1
6	ANILHA FUSO MOVIMENTO HORIZONTAL JPS.00042	JPS.00042	C45E	torno	2
7	SUPORTE FEMEA FUSO MOVIMENTO HORIZONTAL JPS.00036	JPS.00036	AW 5754	fresadora	1
8	CHUMACEIRA SUPORTE FUSO MOVIMENTO HORIZONTAL JPS.00039	JPS.00039	AW 5754	fresadora	1
9	MACHO MOVIMENTACAO CELULA DE CARGA JPS.00035	JPS.00035	AW 5754	fresadora	1
10	CASQUILHO INA (conf.)	INA	F 16x18x17 E40	Compra	1
11	HGH20CA_Z0_H_SS_1	Hiwin	HGH20CA_Z0_H_SS_1	Compra	4
12	Disc handwheel GN 321-80-K10-R	Elesa	GN 321-80-K10-R	Compra	1
13	Washer GN 6341-ST-4-13-B-ZB	ELESA	GN 6341-ST-4-13-B-ZB	Compra	1
14	FREIO EXTERIOR DIN471 Ø15x1	Fabory	DIN471 Ø15x1	Compra	1
15	PARAFUSO CHC ISO 4762 (conf.)	Fabory	ISO 4762 M5x12	Compra	16
16	PARAFUSO CHC ISO 4762 (conf.)	Fabory	ISO 4762 M6x12	Compra	2
17	PARAFUSO CHC ISO 4762 (conf.)	Fabory	ISO 4762 M8x25	Compra	2
18	PARAFUSO CHC ISO 4762 (conf.)	Fabory	ISO 4762 M6x30	Compra	6
19	PARAFUSO CHC ISO 4762 (conf.)	Fabory	ISO 4762 M8x35	Compra	2
20	PARAFUSO CHC ISO 4762 (conf.)	Fabory	ISO 4762 M8x70	Compra	2
21	ANILHA PLANA (conf.)	Fabory	ISO 7089 M6	Compra	2
22	ANILHA PLANA (conf.)	Fabory	ISO 7089 M8	Compra	2
23	ANILHA PLANA (conf.)	Fabory	ISO 7089 M12	Compra	3
24	FEMEA SEXTAVADA (conf.)	Fabory	ISO 4032 M12	Compra	3
25	PARAFUSO FHC ISO 10642 (conf.)	Fabory	M4x10	Compra	1
26	CHAVETA PARALELA A ISO 773 (conf.)	Fabory	ISO 773 A 3x3x10	Compra	1

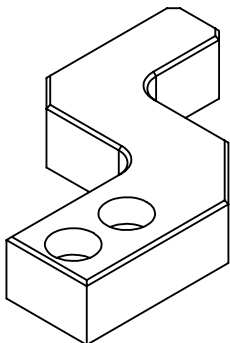
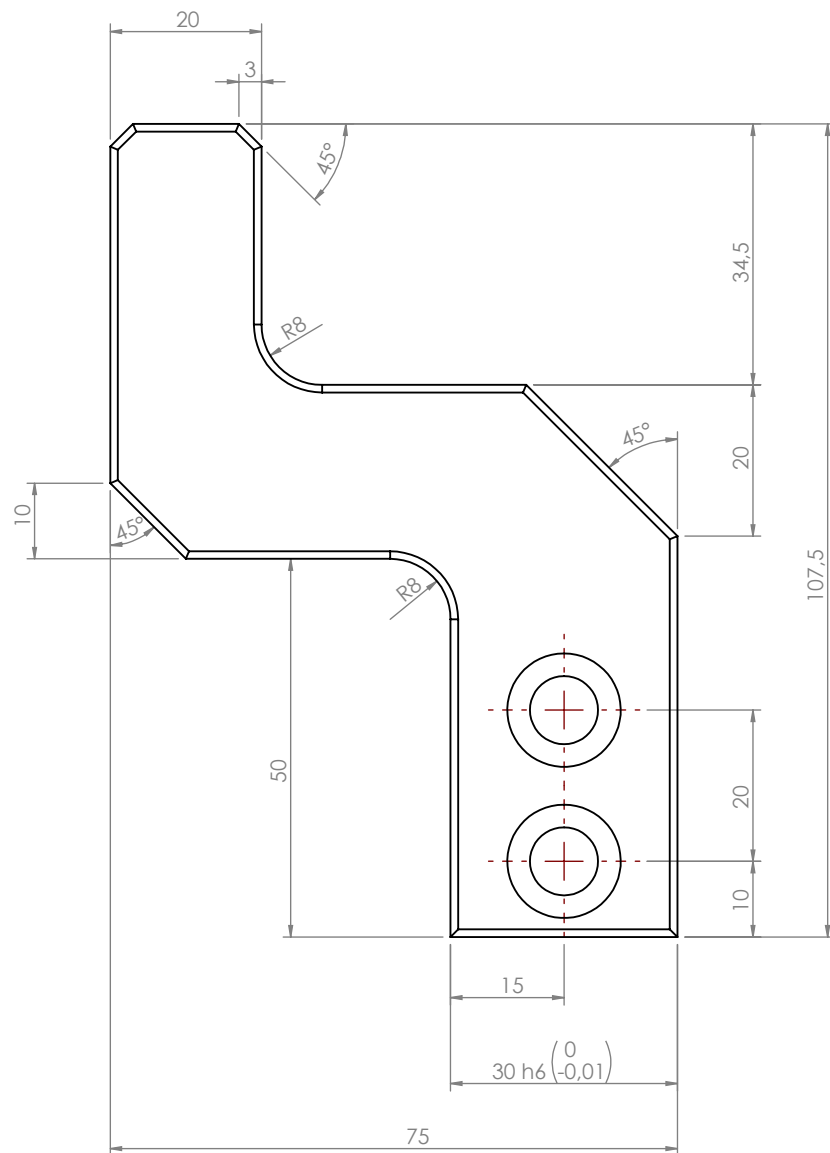
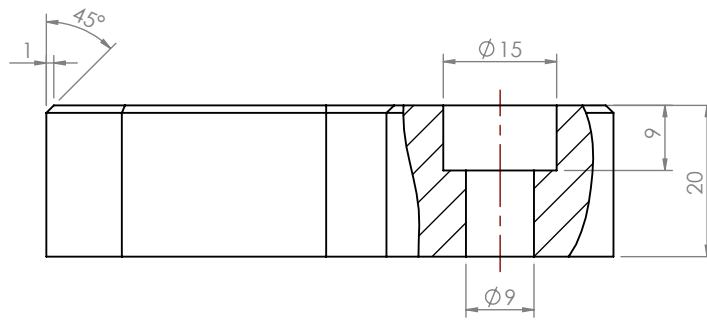


Nome	Data	Instituto Superior de Engenharia de Lisboa				Quantidade	1
Des.	JPS	14/05/2018	Mestrado			Massa (kg)	2.68
Vist.					Tratamento	-	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:2	Material	
Nome	CONJ. MOVIMENTO HORIZONTAL JPS.00033					Descrição	-
					Desenho	JPS.00033	1/1

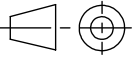


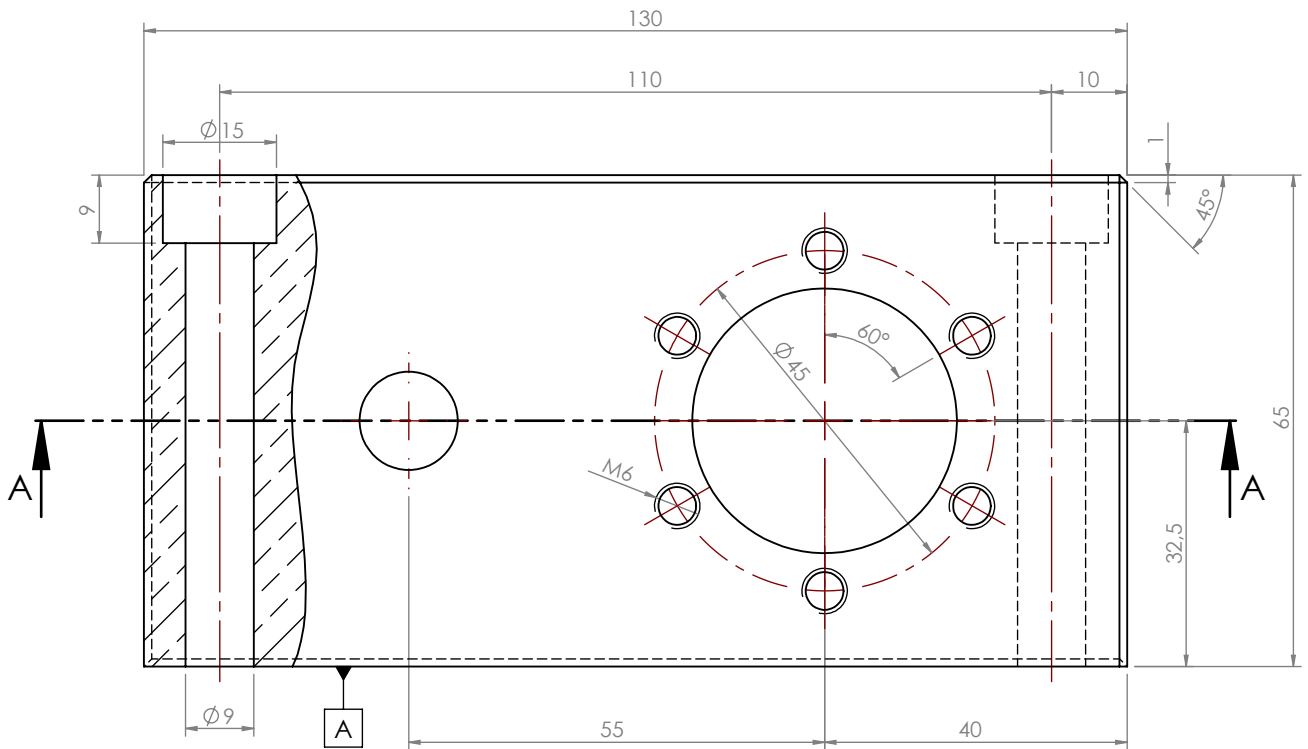
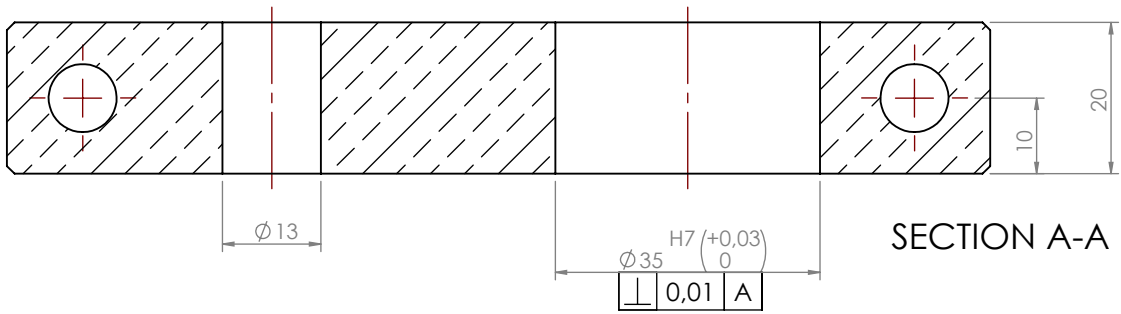
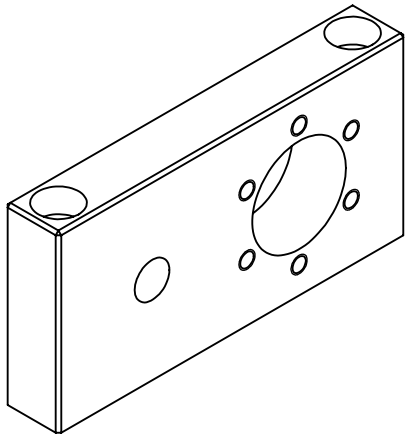
$\sqrt{Ra 3,2}$

Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1	
Des.	JPS	09/05/2018	isep Instituto Superior de Engenharia do Porto			Massa (kg)	0.42	
Vist.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1	Tratamento	-	
Aprov.					A3	Material	AW 5754	
Nome						BASE MOVIMENTO HORIZONTAL JPS.00034	Descrição	fresadora
						Desenho	JPS.00034 1/1	



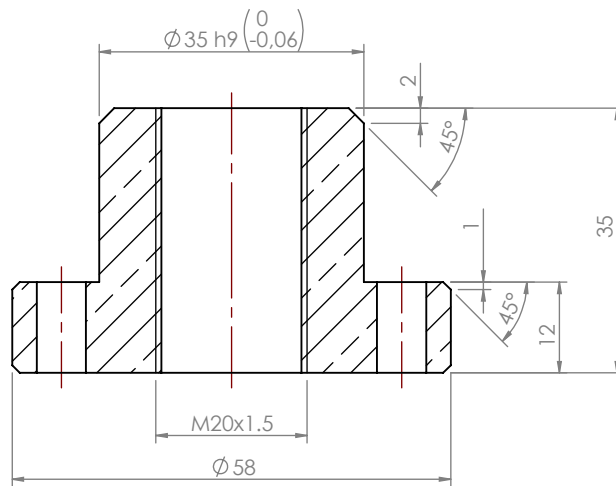
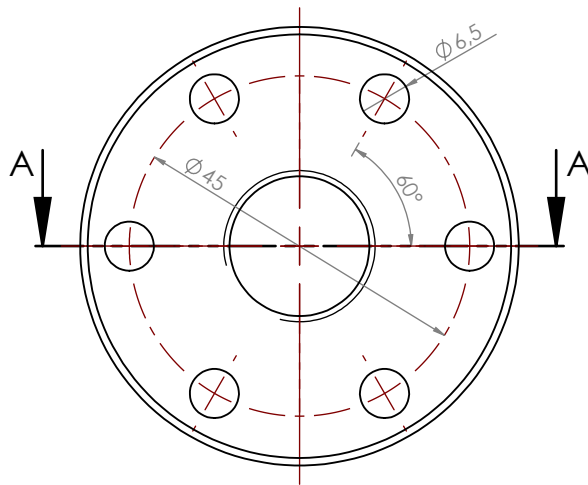
√ Ra 3,2

	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1	
Des.	JPS	09/05/2018					Massa (kg)	0.07	
Vist.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1		A4	Tratamento	-
Aprov.							Material	AW 5754	
Nome	MACHO MOVIMENTACAO CELULA DE CARGA JPS.00035						Descrição	fresadora	
							Desenho	JPS.00035 1/1	

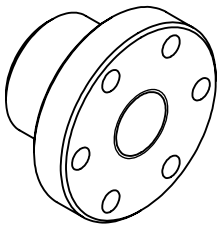


$\sqrt{Ra\ 3,2}$

	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1
Des.	JPS	14/05/2018					Massa (kg)	0.36
Vist.							Tratamento	-
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala-	1:1	Material	AW 5754
Nome	SUPORTE FEMEA FUSO MOVIMENTO HORIZONTAL JPS.00036					Descrição		fresadora
						Desenho		JPS.00036 1/1



SECTION A-A



$\sqrt{Ra\ 3,2}$

	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1	
Des.	JPS	14/05/2018					Massa (kg)	0.37	
Vist.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1		A4	Tratamento	-
Aprov.							Material	CuSn4	
Nome	FEMEA FUSO MOVIMENTO HORIZONTAL JPS.00037					Descrição	torno		
						Desenho	JPS.00037 1/1		

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

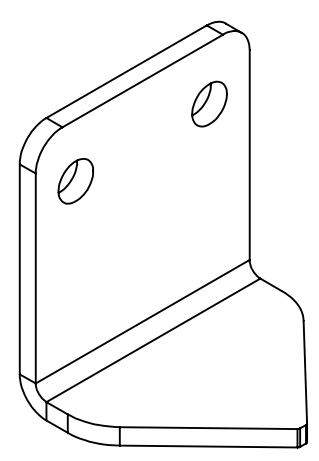
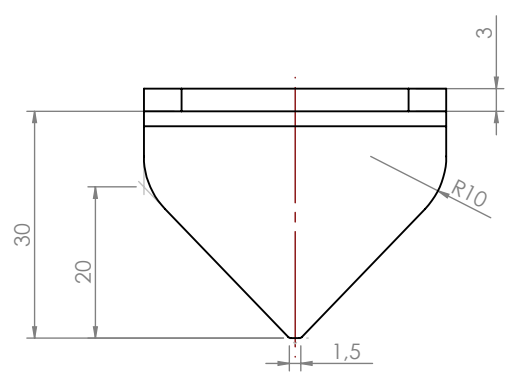
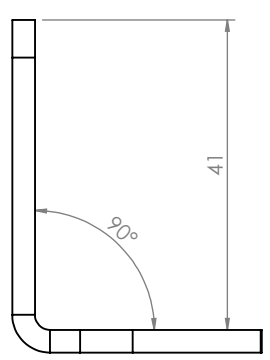
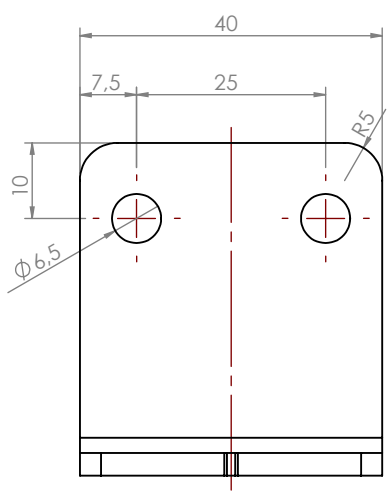
D

E

E

F

F



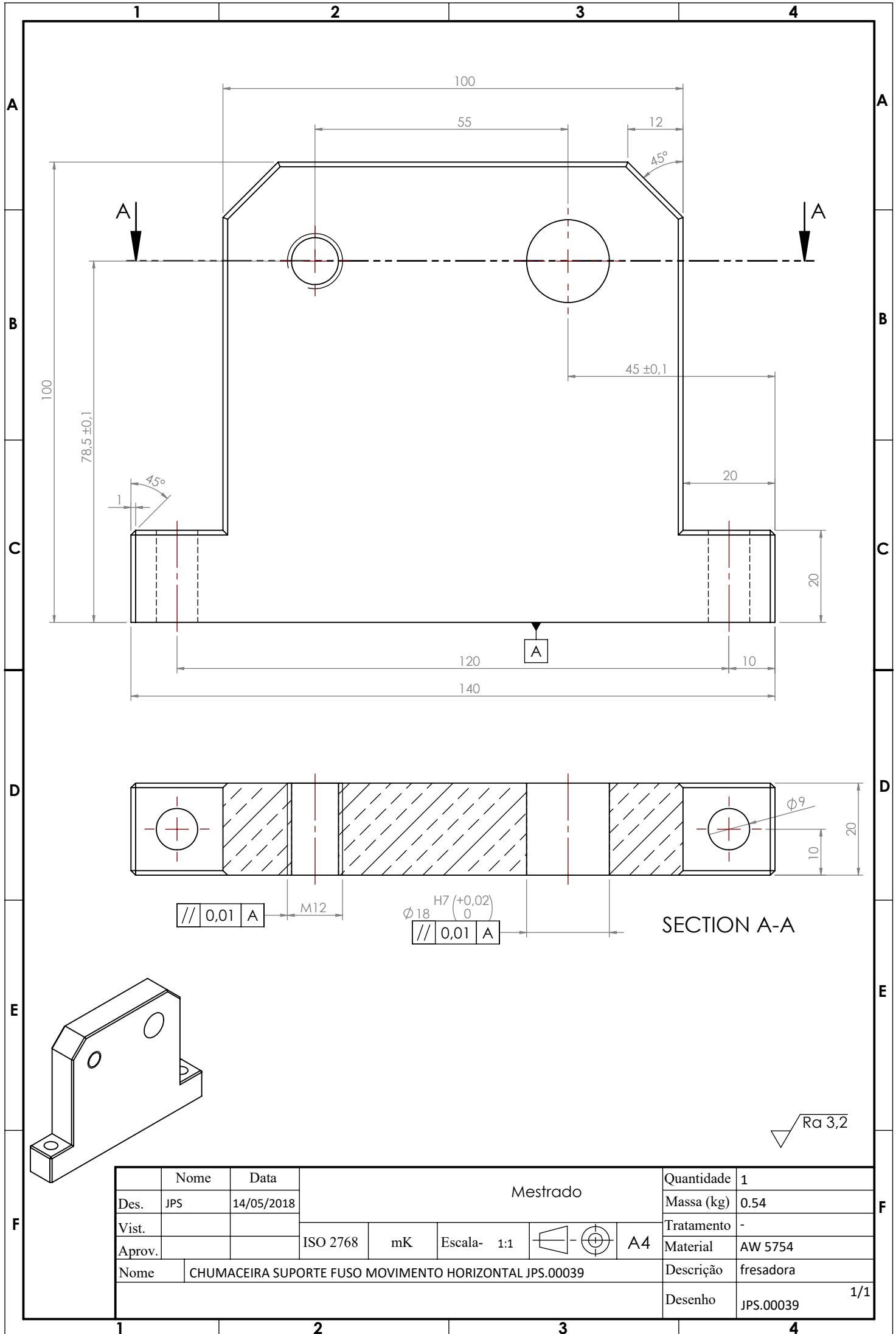
	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1	
Des.	JPS	14/05/2018					Massa (kg)	0.06	
Vist.							Tratamento	-	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1		A4	Material	AISI 304
Nome	SETA INDICADORA POSICAO MOVIMENTO HORIZONTAL JPS.00038						Descrição	laser	
							Desenho	JPS.00038 1/1	

1

2

3

4



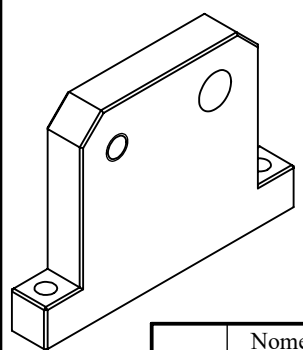
/// 0,01 A

M12

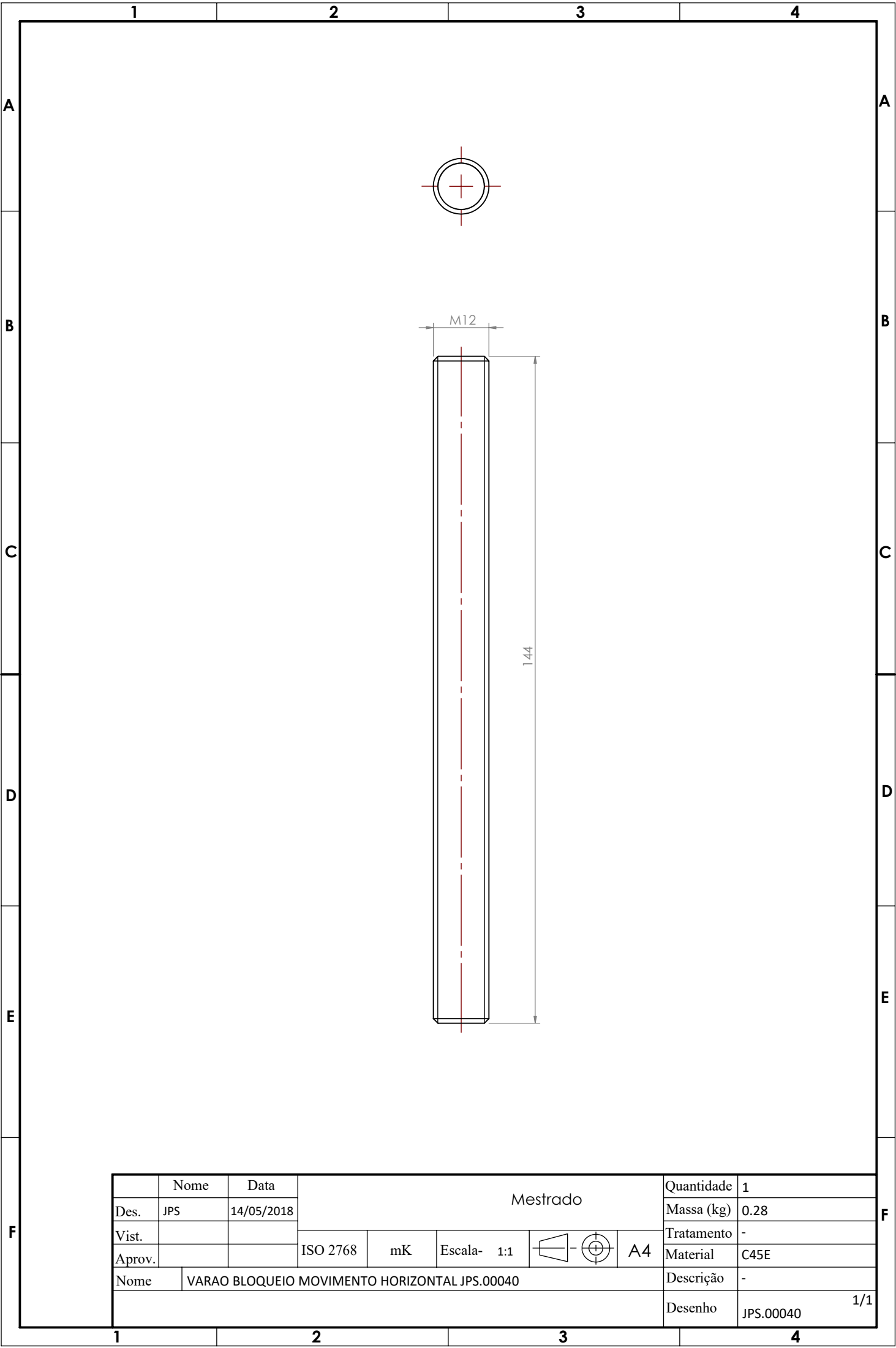
$\phi 18 \begin{matrix} H7 (+0,02) \\ 0 \end{matrix}$
 /// 0,01 A

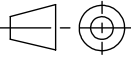
SECTION A-A

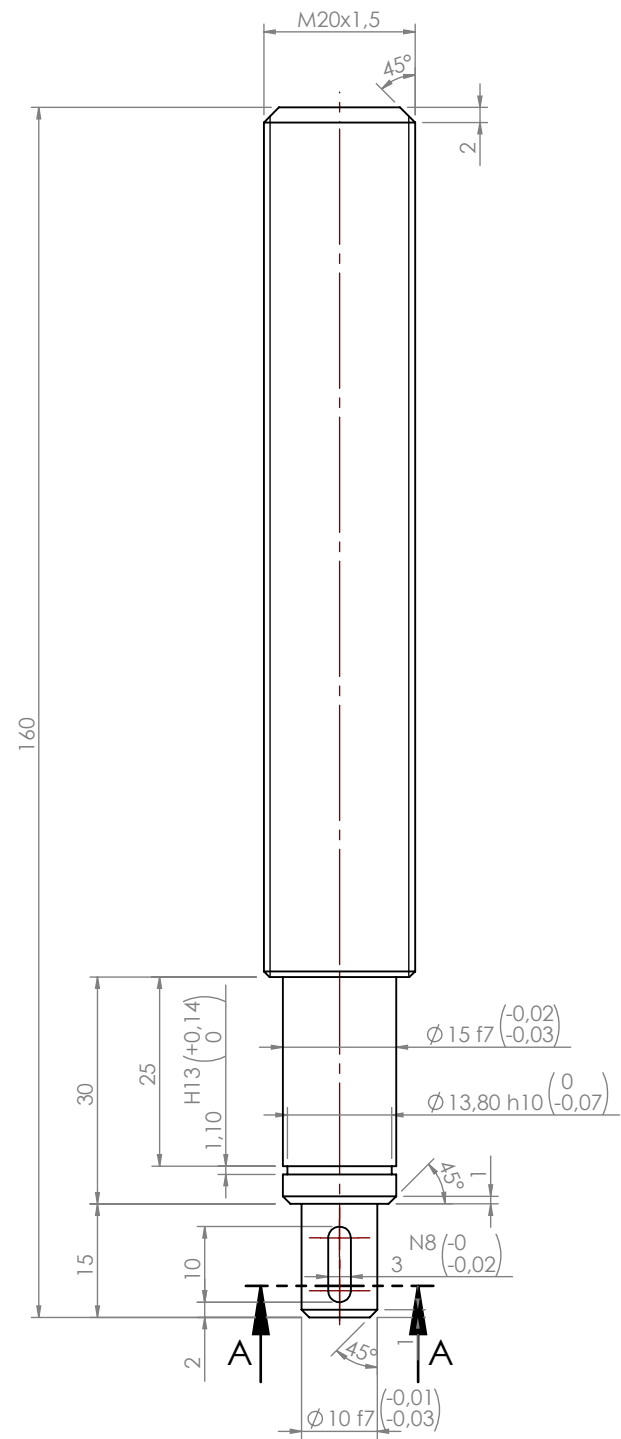
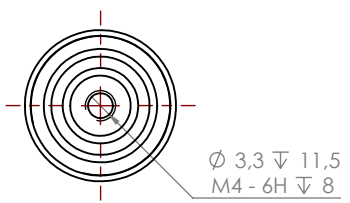
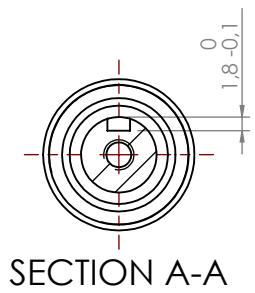
$\sqrt{Ra 3,2}$



	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1	
Des.	JPS	14/05/2018					Massa (kg)	0.54	
Vist.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1		A4	Tratamento	-
Aprov.							Material	AW 5754	
Nome	CHUMACEIRA SUPORTE FUSO MOVIMENTO HORIZONTAL JPS.00039					Descrição	fresadora		
						Desenho	JPS.00039 1/1		



	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1	
Des.	JPS	14/05/2018					Massa (kg)	0.28	
Vist.							Tratamento	-	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1		A4	Material	C45E
Nome	VARAO BLOQUEIO MOVIMENTO HORIZONTAL JPS.00040							Descrição	-
								Desenho	JPS.00040 1/1



Ra 3,2

	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1
Des.	JPS	14/05/2018					Massa (kg)	0.33
Vist.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1		Tratamento	-
Aprov.						A4	Material	C45E
Nome	FUSO MOVIMENTO HORIZONTAL JPS.00041						Descrição	torno
							Desenho	JPS.00041 1/1

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

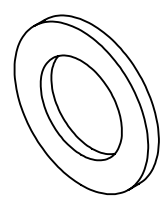
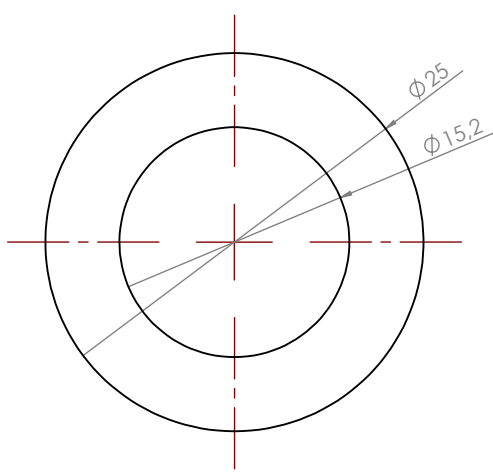
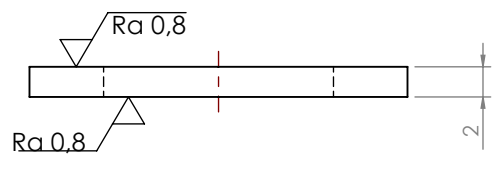
D

E

E

F

F



$Ra\ 3,2$

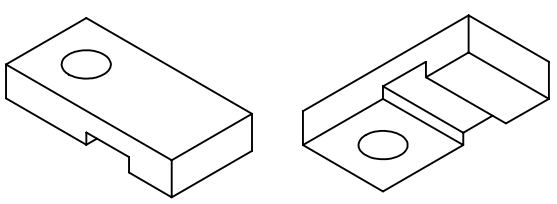
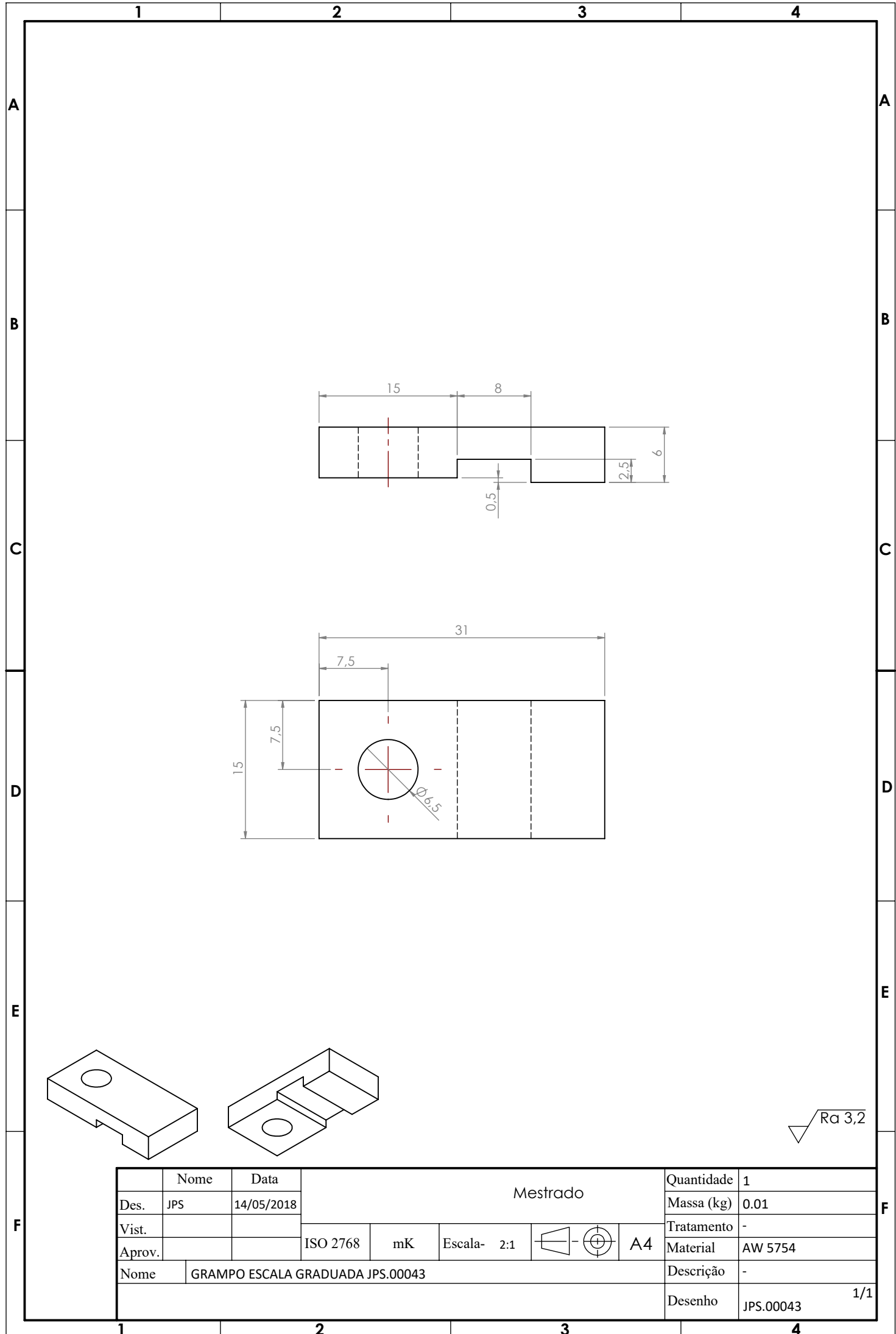
	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1	
Des.	JPS	14/05/2018					Massa (kg)	0.00	
Vist.							Tratamento	-	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 2:1		A4	Material	C45E
Nome	ANILHA FUSO MOVIMENTO HORIZONTAL JPS.00042					Descrição		torno	
							Desenho	JPS.00042 1/1	

1

2

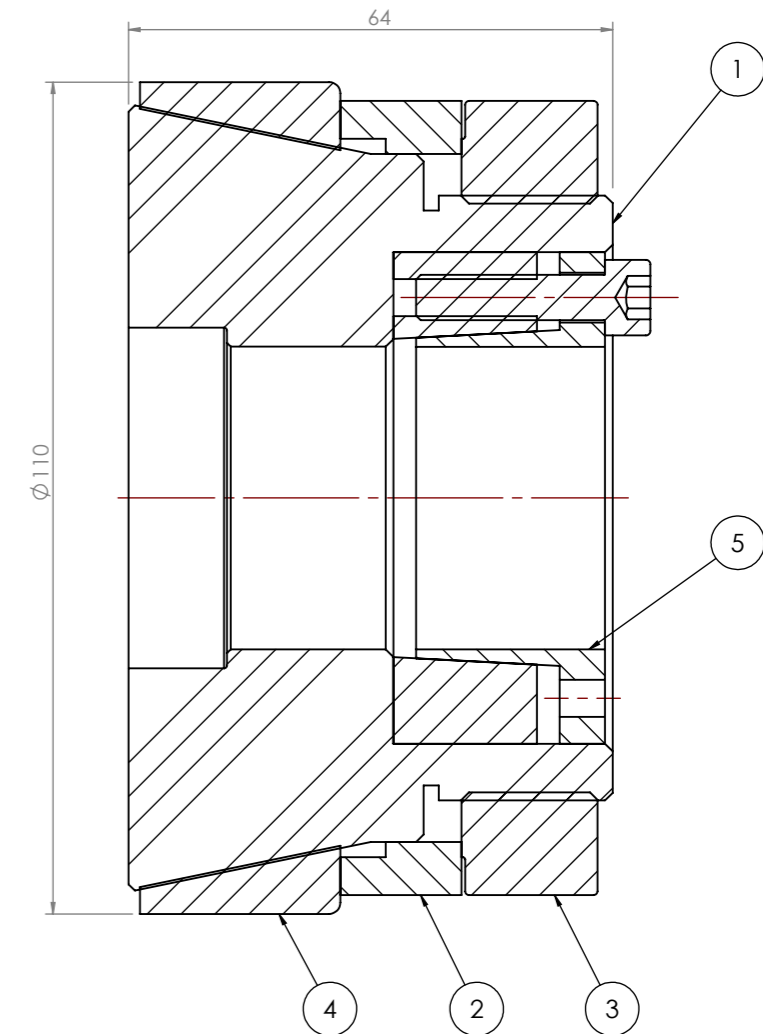
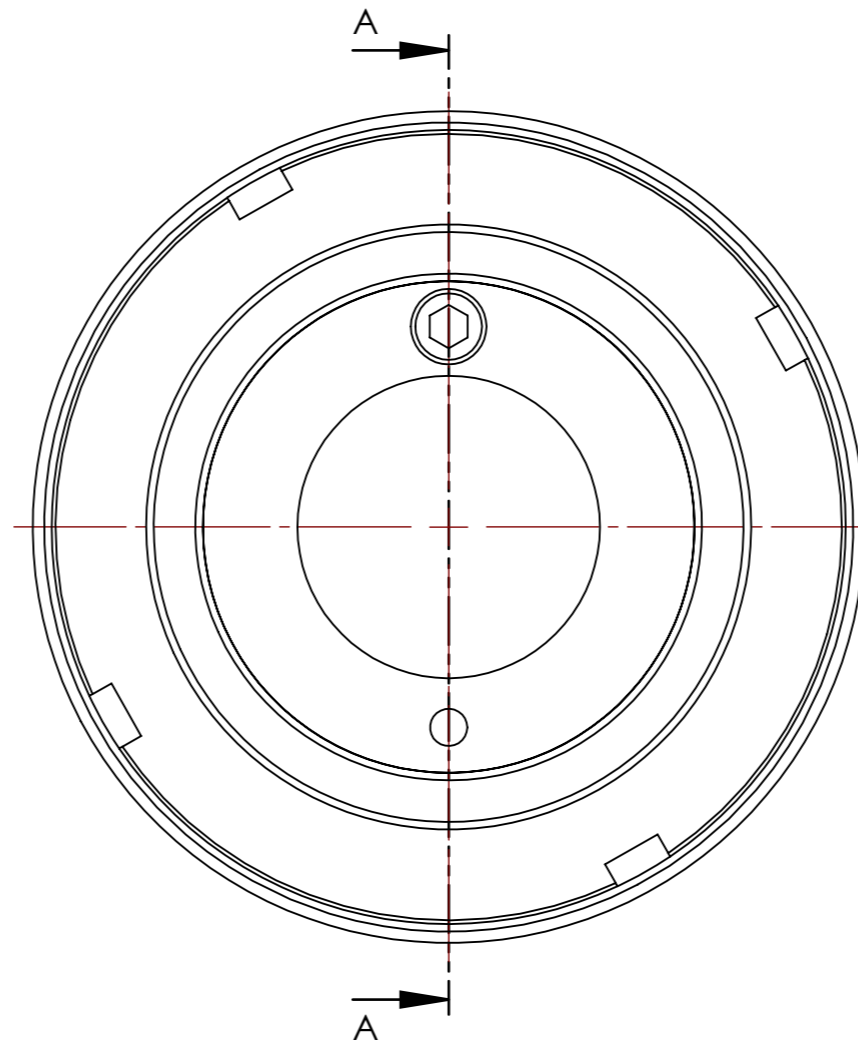
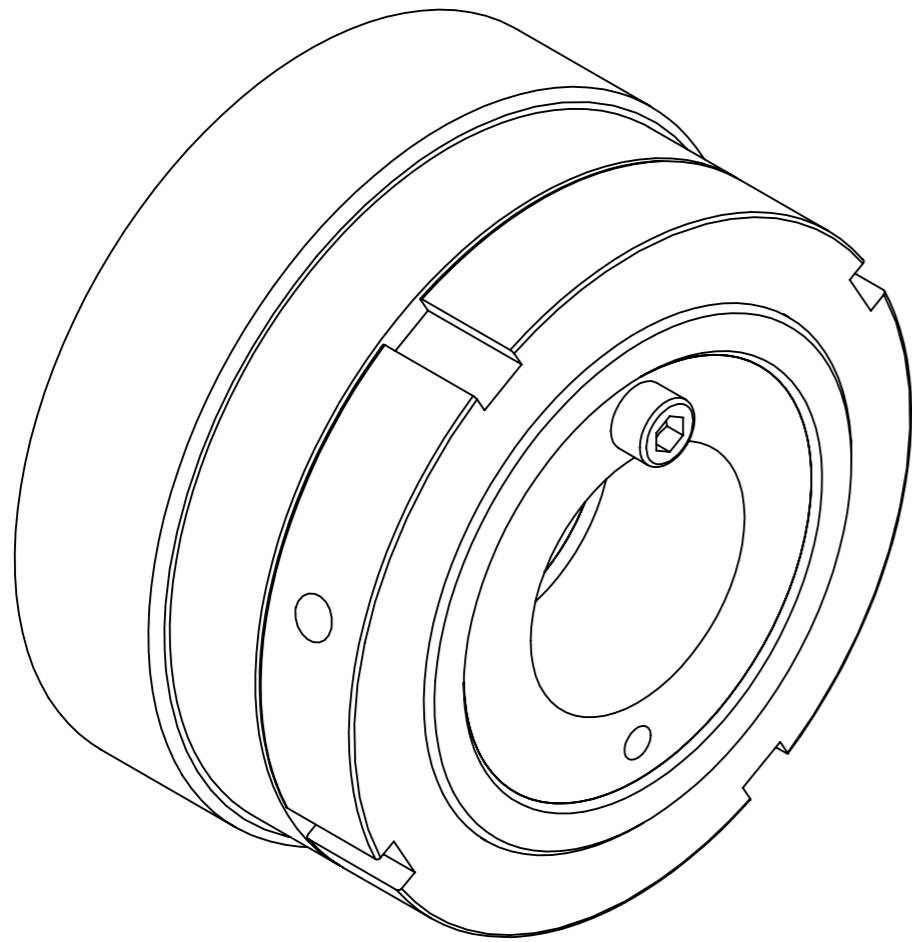
3

4



$\sqrt{\text{Ra } 3,2}$

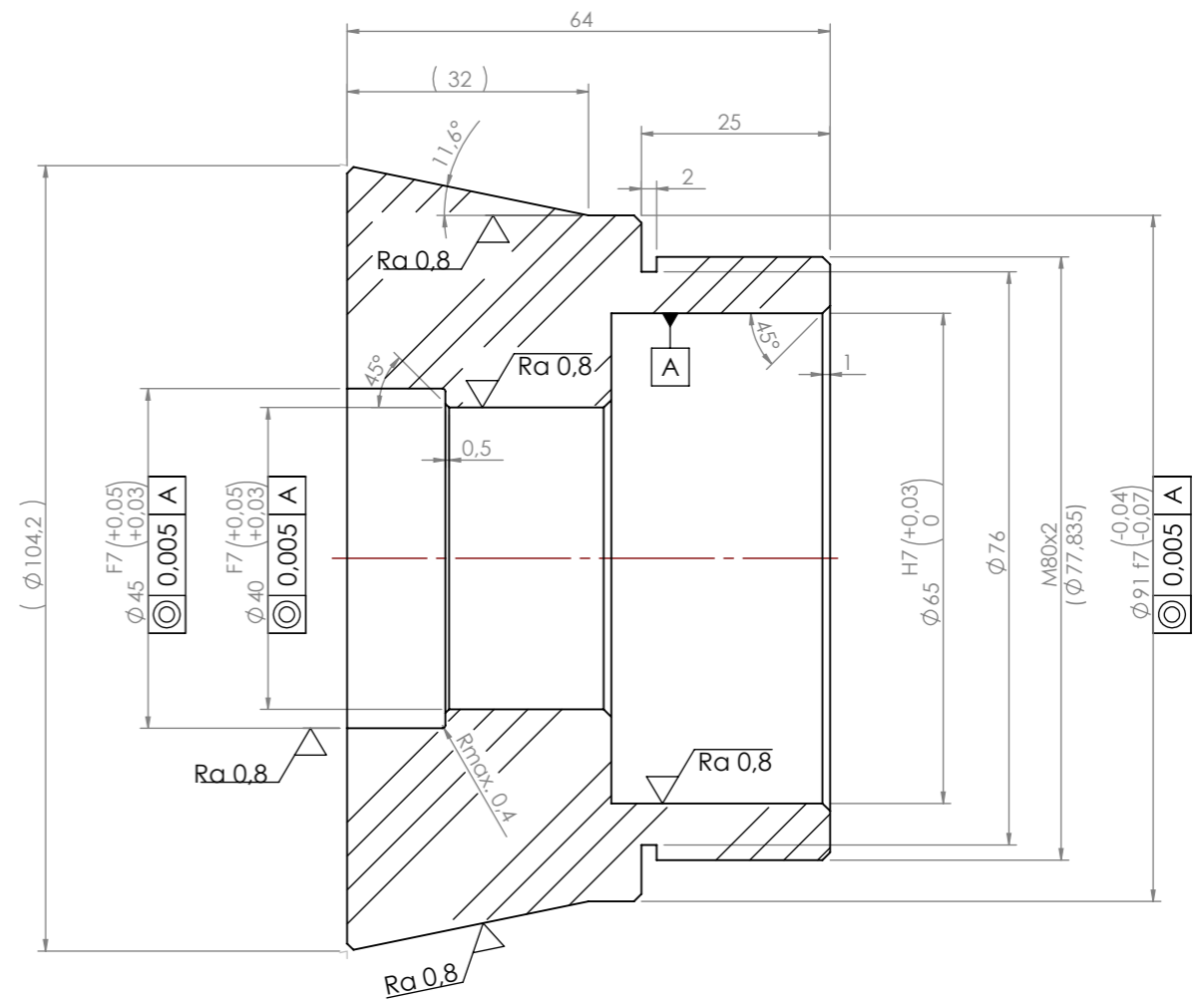
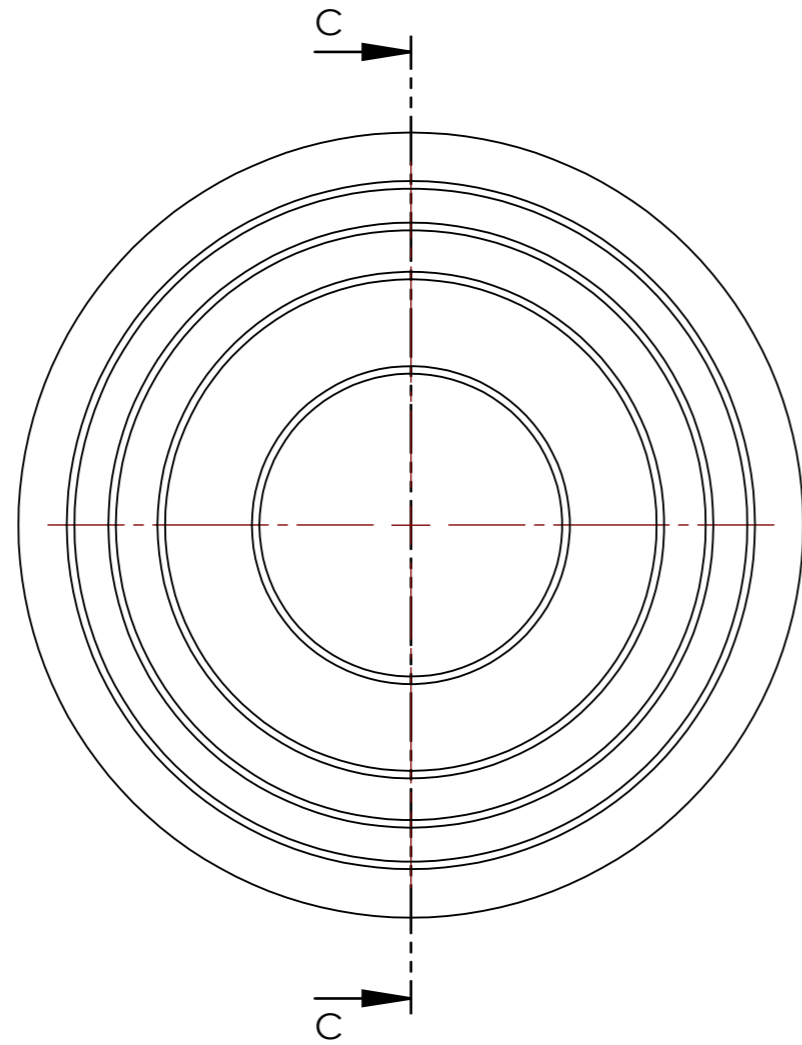
	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1
Des.	JPS	14/05/2018					Massa (kg)	0.01
Vist.			ISO 2768	mK	Escala- 2:1		Tratamento	-
Aprov.						A4	Material	AW 5754
Nome	GRAMPO ESCALA GRADUADA JPS.00043						Descrição	-
							Desenho	JPS.00043 1/1



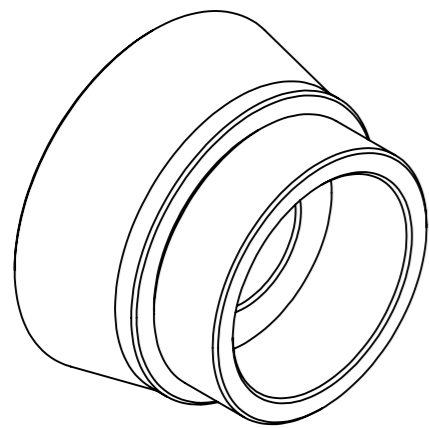
SECTION A-A

Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Qty.
1	ACOPLAMENTO ENSAIO CAPA ROLAMENTO 33113 JPS.00045	JPS.00045	42CrMo4	torno	1
2	ANEL ENCOSTO CAPA ROLAMENTO 33113 JPS.00046	JPS.00046	C45E	torno	1
3	Porca ranhurada NMZ M80x2 R344603504	REXROTH	NMZ M80x2	Compra	1
4	inafag_33113	INA	33113	Compra	1
5	BIKON 1003-040-065	BIKON	1003-040-065	Compra	1


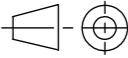
Nome	Data	Mestrado				Quantidade
Des. JPS	15/05/2018	isep Instituto Superior de Engenharia do Porto				1
Vist.		ISO 2768	mK	Escala- 1:1	A3	Massa (kg) 2.27
Aprov.						Tratamento -
Nome MONTAGEM ENSAIO CAPA ROLAMENTO 33113 JPS.00044						Material
						Descrição montagem
						Desenho JPS.00044 1/1

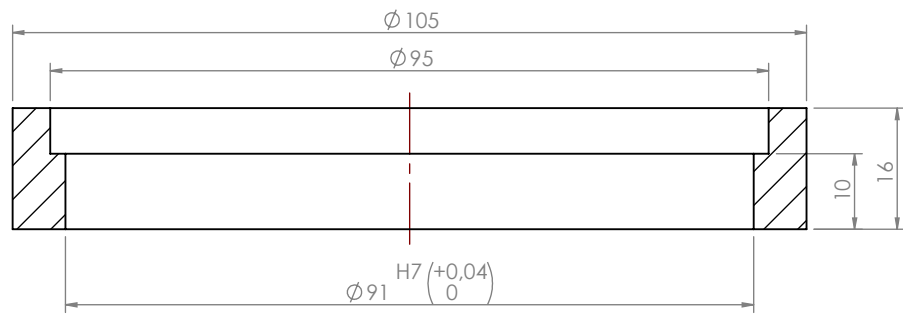


SECTION C-C

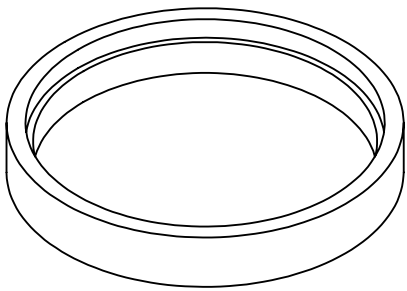
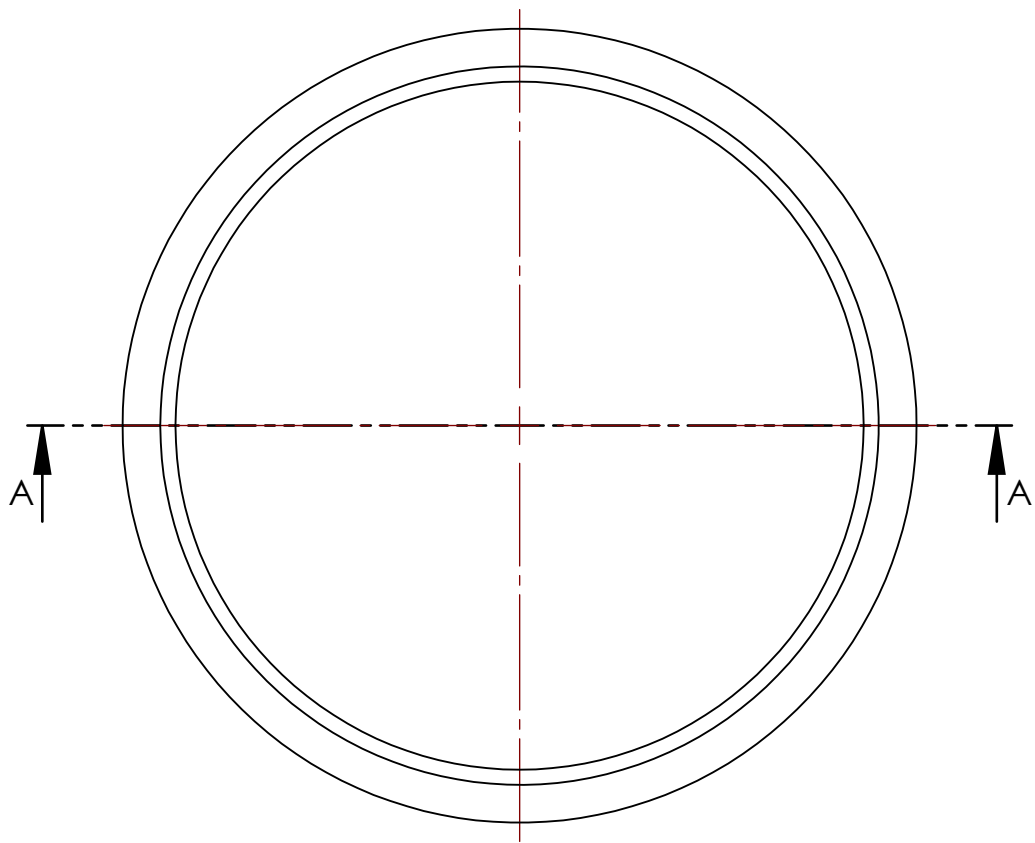


$\sqrt{Ra\ 3,2}$

Nome	JPS	Data	15/05/2018	 Instituto Superior de Engenharia do Porto Mestrado			Quantidade	1	
Des.				ISO 2768	mK	Escala- 1:1	Tratamento	-	
Vist.				 A3			Material	42CrMo4	
Aprov.							Descrição	torno	
Nome							ACOPLAMENTO ENSAIO CAPA ROLAMENTO 33113 JPS.00045	Desenho	JPS.00045 1/1

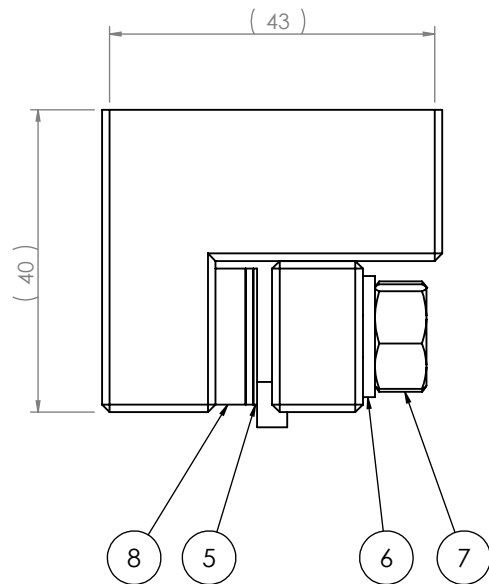
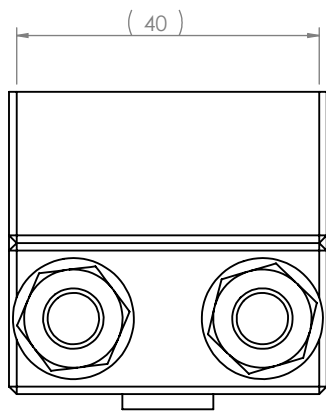
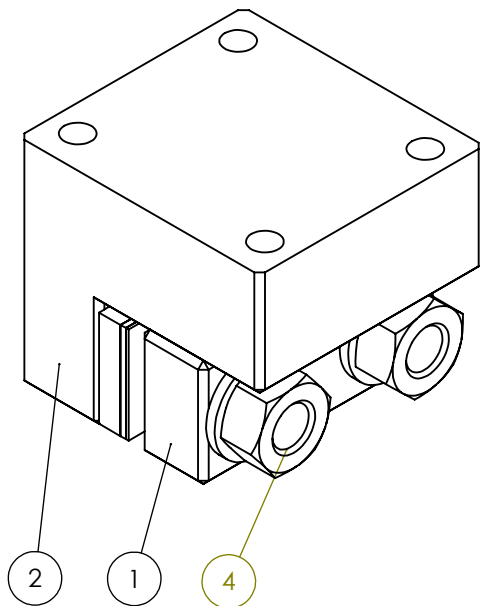


SECTION A-A



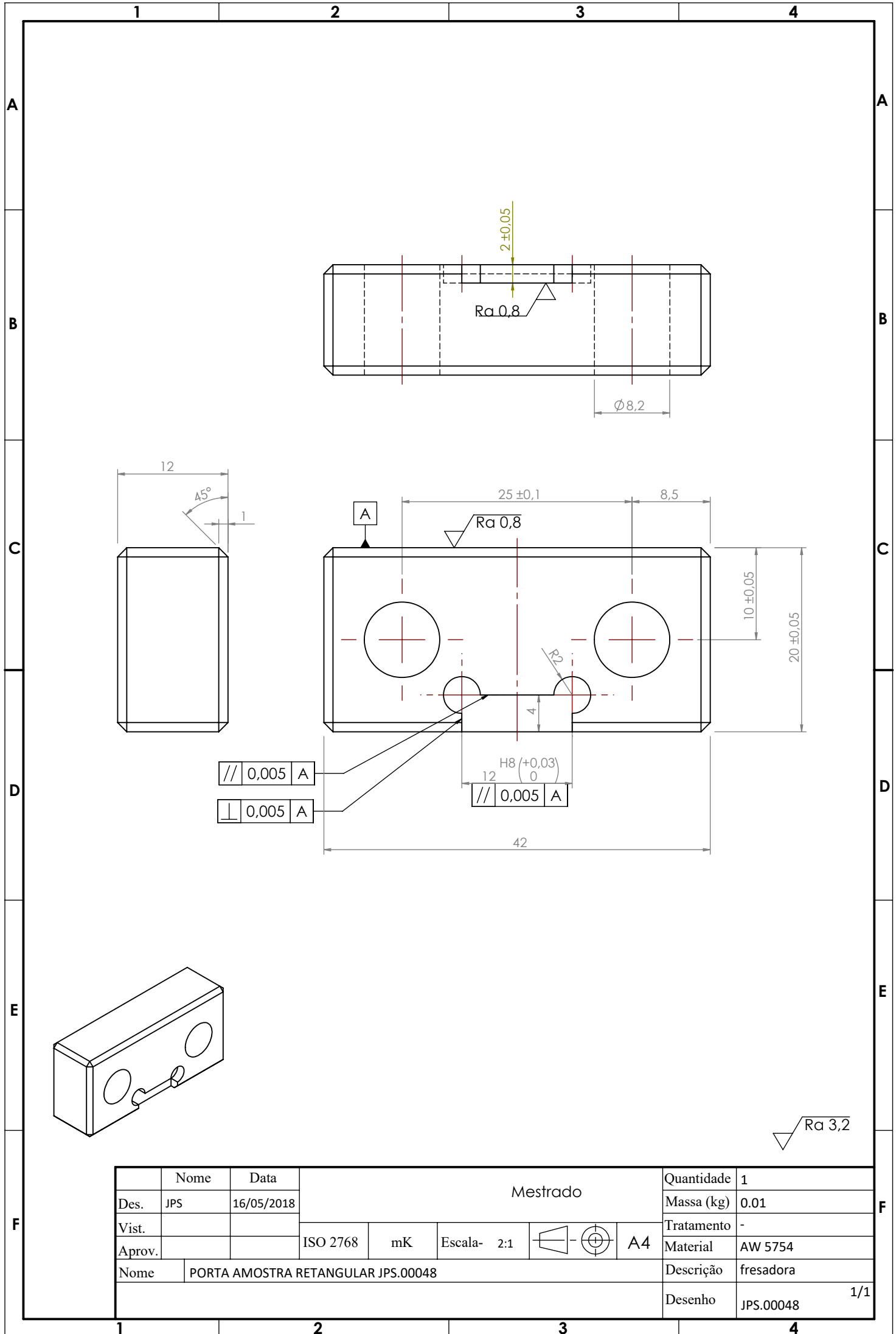
$\sqrt{\text{Ra } 3,2}$

	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1	
Des.	JPS	15/05/2018					Massa (kg)	0.03	
Vist.							Tratamento	-	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1		A4	Material	C45E
Nome	ANEL ENCOSTO CAPA ROLAMENTO 33113 JPS.00046						Descrição	torno	
							Desenho	JPS.00046 1/1	

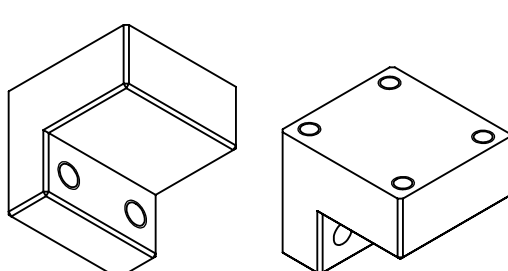
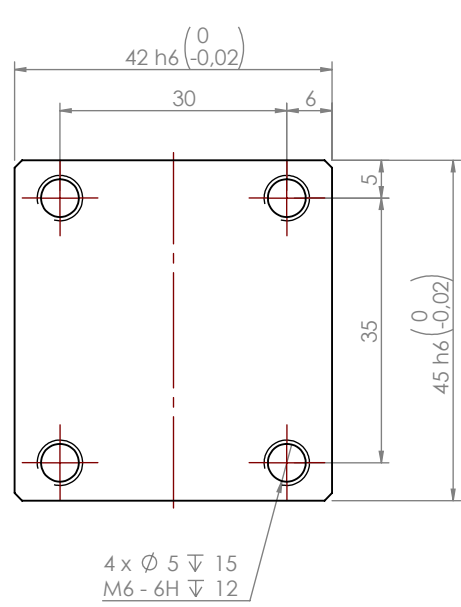
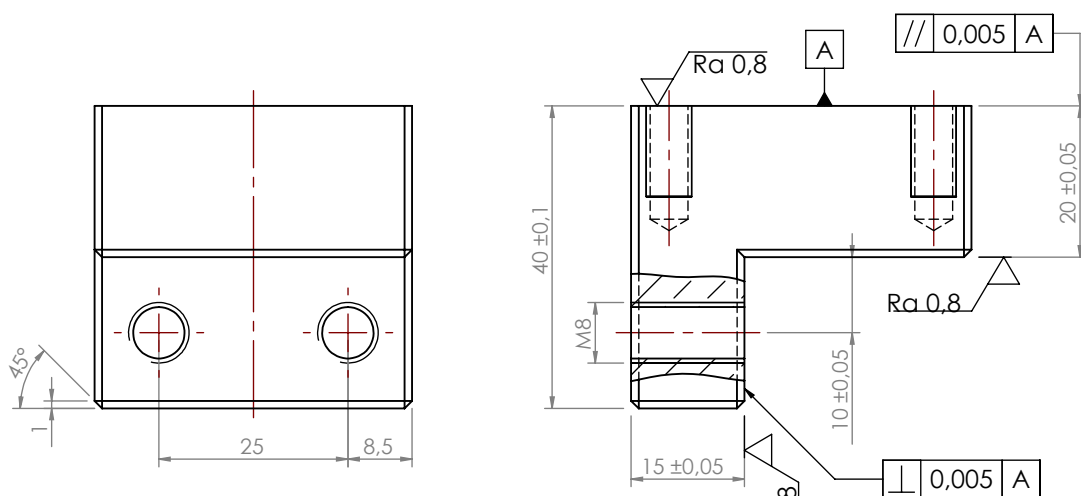


Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Qty.
1	PORTA AMOSTRA RETANGULAR JPS.00048	JPS.00048	AW 5754	fresadora	1
2	FIXADOR AMOSTRA RETANGULAR JPS.00049	JPS.00049	AW 5754	fresadora	1
3	AMOSTRA RETANGULAR (BLOCO) JPS.00060	JPS.00060	a defenir	fresadora	1
4	PERNO DIN835 M8x35				2
5	CHAPA ESPACADORA AMOSTRA RETANGULAR (conf.)	JPS.00050	AISI 304	fresadora	1
6	ANILHA PLANA (conf.)	Fabory	ISO 7089 M8	Compra	2
7	FEMEA SEXTAVADA (conf.)	Fabory	ISO 4032 M8	Compra	2
8	CHAPA ESPACADORA AMOSTRA RETANGULAR (conf.)	JPS.00054	AISI 304	fresadora	1
9	CHAPA ESPACADORA AMOSTRA RETANGULAR (conf.)	JPS.00051	AISI 304	fresadora	1

	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1
Des.	JPS	16/05/2018					Massa (kg)	0.17
Vist.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1		Tratamento	-
Aprov.							Material	
Nome	CONJUNTO FIXACAO AMOSTRA RETANGULAR JPS.00047					Descrição	-	
						Desenho	JPS.00047 1/1	



	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1
Des.	JPS	16/05/2018					Massa (kg)	0.01
Vist.			ISO 2768	mK	Escala- 2:1		Tratamento	-
Aprov.						A4	Material	AW 5754
Nome	PORTA AMOSTRA RETANGULAR JPS.00048						Descrição	fresadora
							Desenho	JPS.00048 1/1



√ Ra 3,2

	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1	
Des.	JPS	16/05/2018					Massa (kg)	0.13	
Vist.							Tratamento	-	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1		A4	Material	AW 5754
Nome	FIXADOR AMOSTRA RETANGULAR JPS.00049						Descrição	fresadora	
							Desenho	JPS.00049 1/1	

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

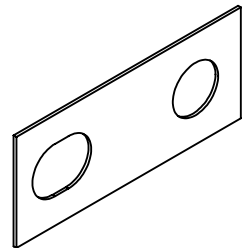
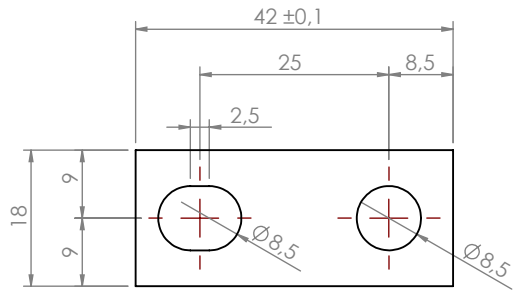
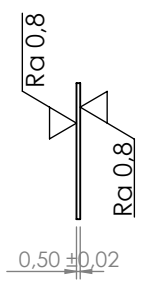
D

E

E

F

F



	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	2	
Des.	JPS	16/05/2018					Massa (kg)	0.00	
Vist.							Tratamento	-	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1		A4	Material	AISI 304
Nome	CHAPA ESPACADORA AMOSTRA RETANGULAR (conf.)						Descrição	fresadora	
							Desenho	JPS.00050 1/1	

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

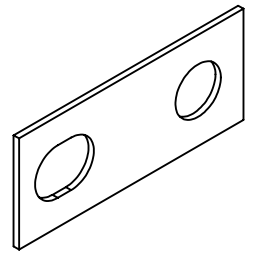
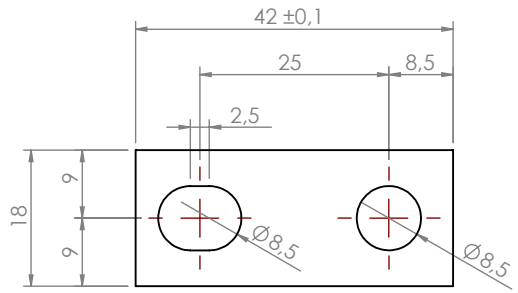
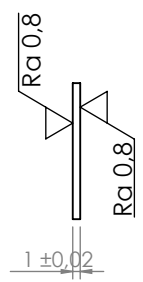
D

E

E

F

F



	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	2	
Des.	JPS	16/05/2018					Massa (kg)	0.00	
Vist.							Tratamento	-	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1		A4	Material	AISI 304
Nome	CHAPA ESPACADORA AMOSTRA RETANGULAR (conf.)						Descrição	fresadora	
							Desenho	JPS.00051 1/1	

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

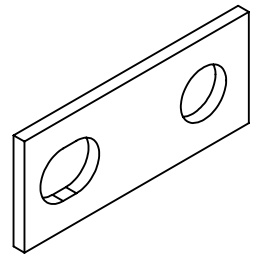
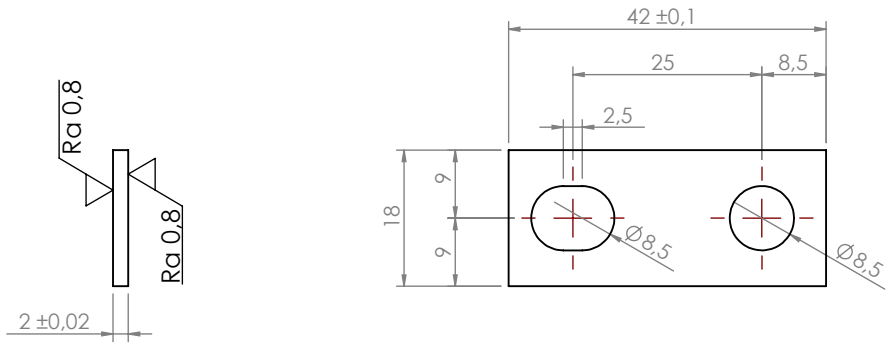
D

E

E

F

F



	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	2	
Des.	JPS	16/05/2018					Massa (kg)	0.01	
Vist.							Tratamento	-	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1		A4	Material	AISI 304
Nome	CHAPA ESPACADORA AMOSTRA RETANGULAR (conf.)						Descrição	fresadora	
							Desenho	JPS.00052 1/1	

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

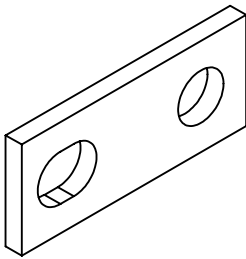
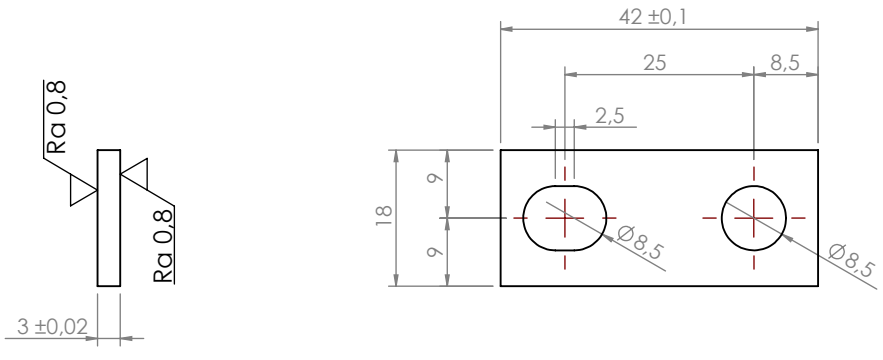
D

E

E

F

F



	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	2	
Des.	JPS	16/05/2018					Massa (kg)	0.01	
Vist.							Tratamento	-	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1		A4	Material	AISI 304
Nome	CHAPA ESPACADORA AMOSTRA RETANGULAR (conf.)						Descrição	fresadora	
							Desenho	JPS.00053 1/1	

1

2

3

4

1 2 3 4

A

A

B

B

C

C

D

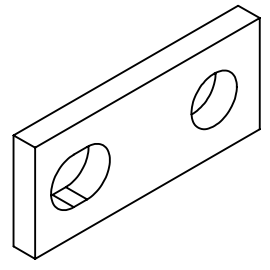
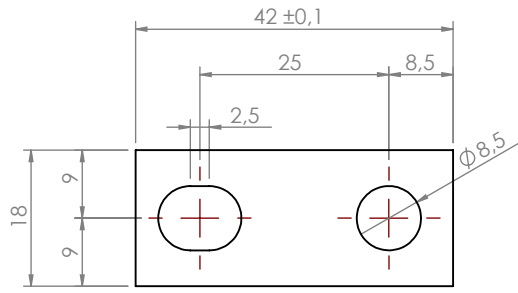
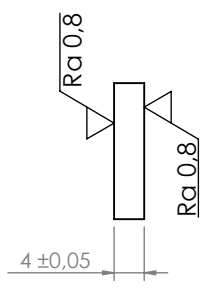
D

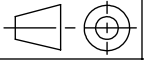
E

E

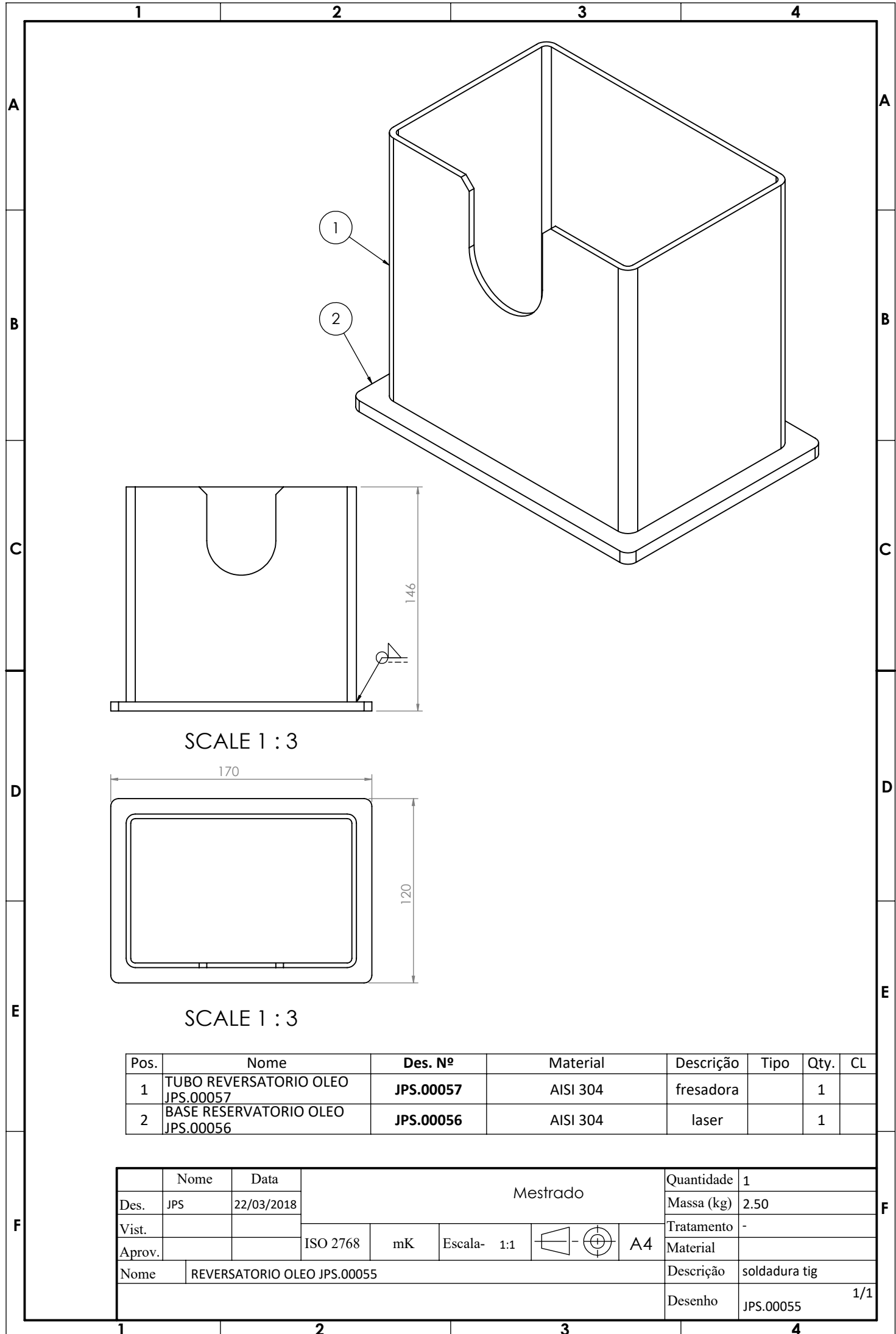
F

F



	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	2	
Des.	JPS	16/05/2018					Massa (kg)	0.00	
Vist.							Tratamento	-	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1		A4	Material	AISI 304
Nome	CHAPA ESPACADORA AMOSTRA RETANGULAR (conf.)						Descrição	fresadora	
							Desenho	JPS.00054 1/1	

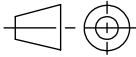
1 2 3 4



SCALE 1 : 3

SCALE 1 : 3

Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Tipo	Qty.	CL
1	TUBO REVERSATORIO OLEO JPS.00057	JPS.00057	AISI 304	fresadora		1	
2	BASE RESERVATORIO OLEO JPS.00056	JPS.00056	AISI 304	laser		1	

	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1
Des.	JPS	22/03/2018					Massa (kg)	2.50
Vist.							Tratamento	-
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1		A4	Material
Nome	REVERSATORIO OLEO JPS.00055					Descrição	soldadura tig	
						Desenho	JPS.00055	1/1

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

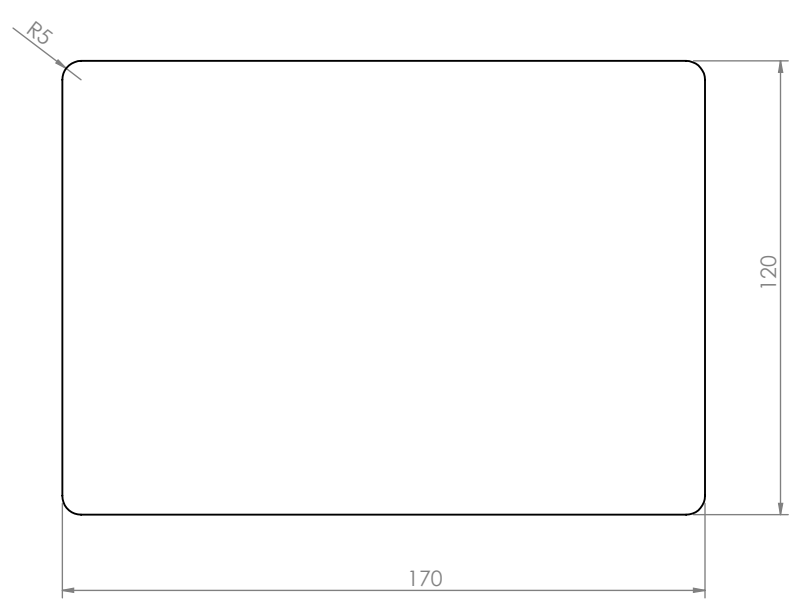
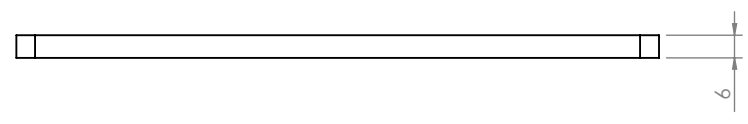
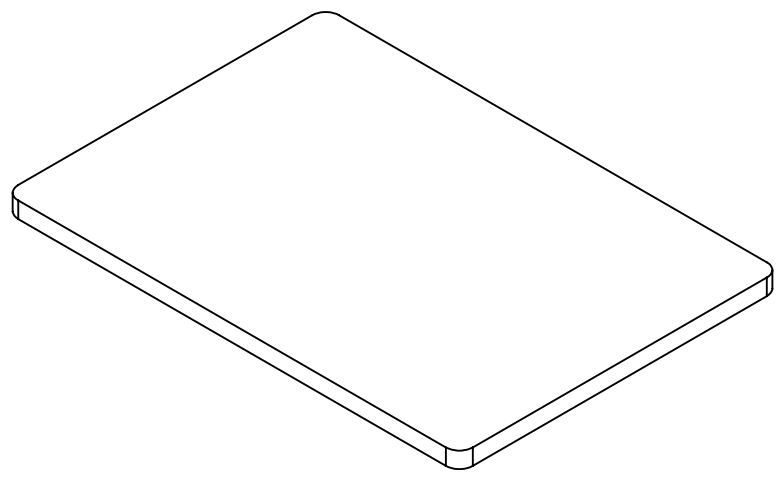
D

E

E

F

F



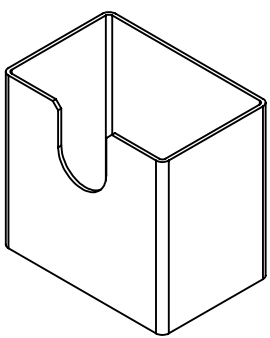
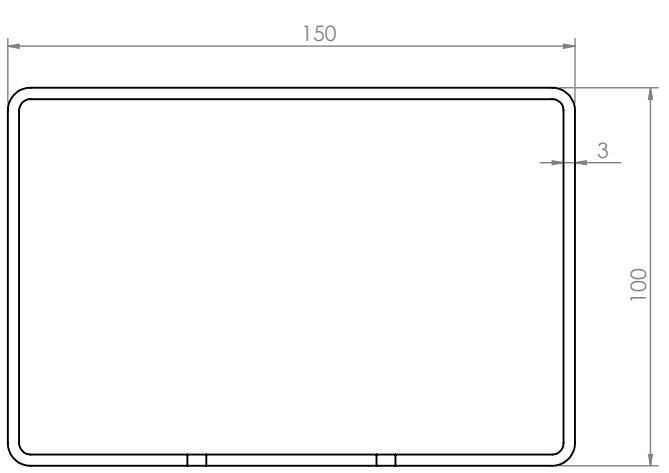
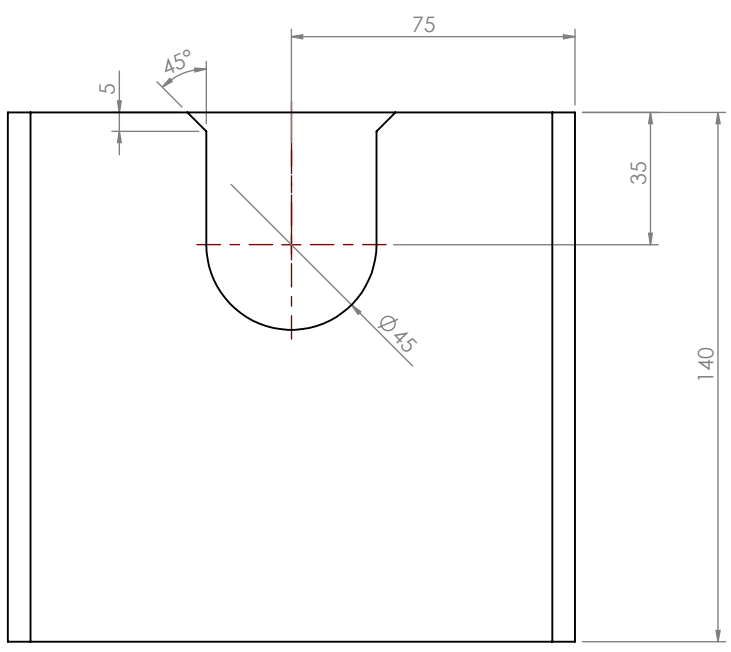
	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1	
Des.	JPS	22/05/2018					Massa (kg)	0.97	
Vist.							Tratamento	-	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:2		A4	Material	AISI 304
Nome	BASE RESERVATORIO OLEO JPS.00056						Descrição	laser	
							Desenho	JPS.00056 1/1	

1

2

3

4



	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1	
Des.	JPS	22/05/2018					Massa (kg)	1.54	
Vist.							Tratamento	-	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:2		A4	Material	AISI 304
Nome	TUBO REVERSATORIO OLEO JPS.00057						Descrição	fresadora	
							Desenho	JPS.00057 1/1	

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

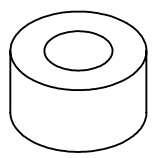
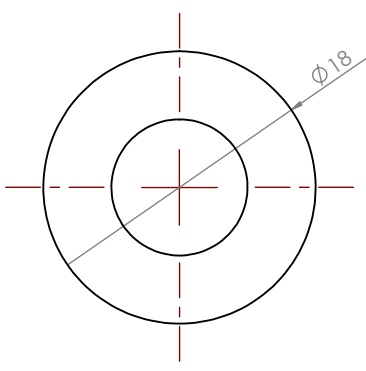
D

E

E

F

F



	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	3	
Des.	JPS	22/05/2018					Massa (kg)	0.03	
Vist.			ISO 2768	mK	Escala- 2:1		A4	Tratamento	zincado
Aprov.								Material	C45E
Nome	CASQUILHO SUPORTE RESERVATORIO OLEO JPS.00058						Descrição	torno	
							Desenho	JPS.00058	1/1

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

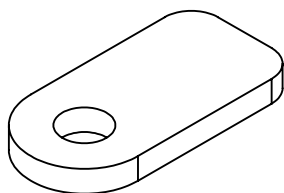
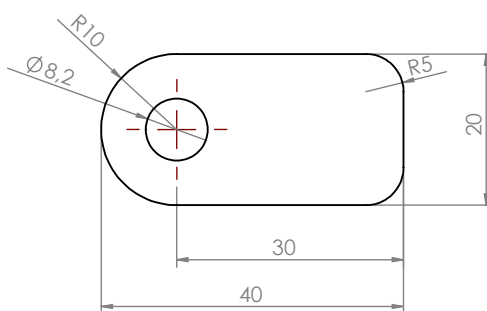
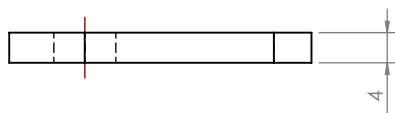
D

E

E

F

F



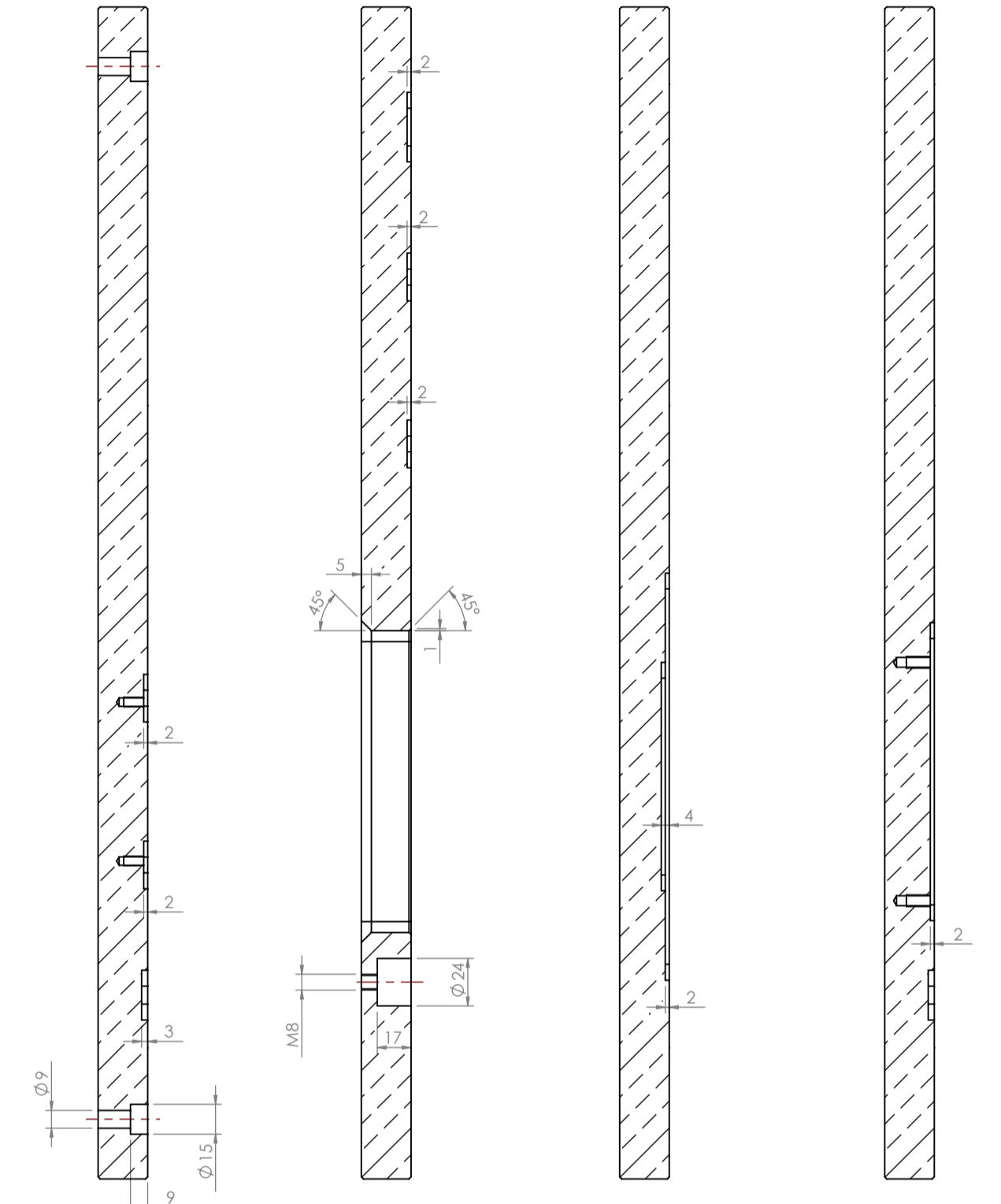
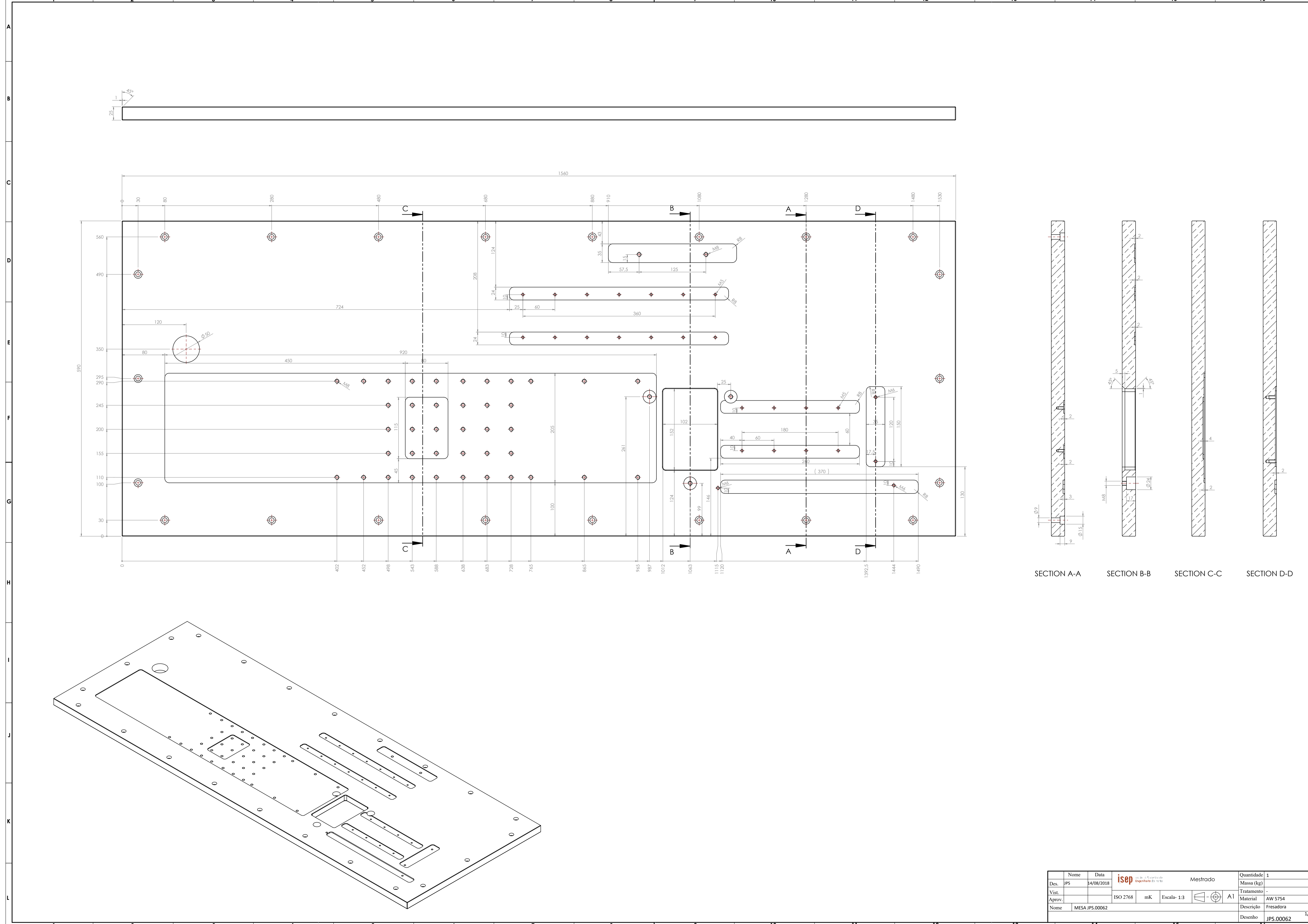
	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	3	
Des.	JPS	22/05/2018					Massa (kg)	0.02	
Vist.							Tratamento	-	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1		A4	Material	AISI 304
Nome	SUPORTE RESERVATORIO OLEO JPS.00059						Descrição	laser	
							Desenho	JPS.00059 1/1	

1

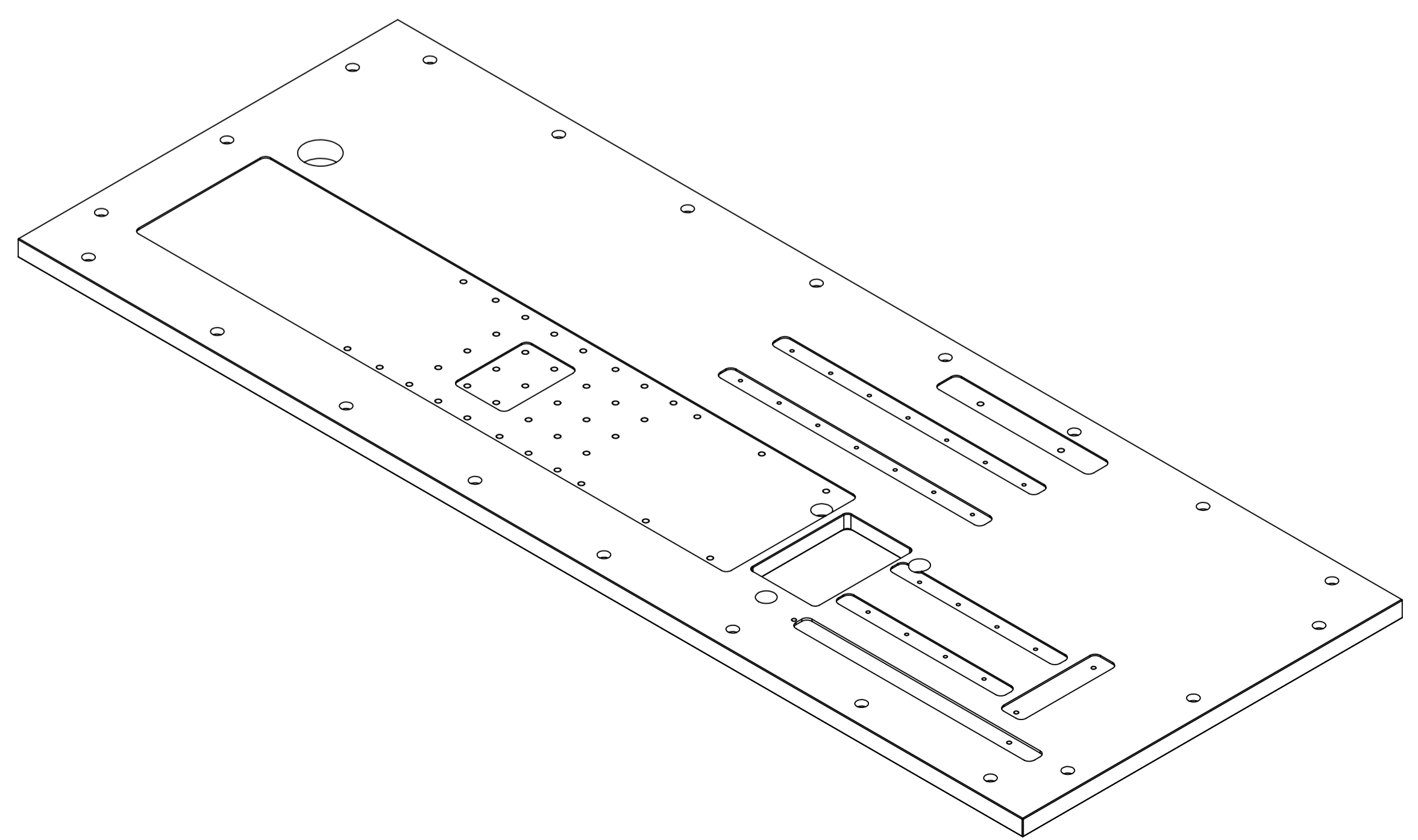
2

3

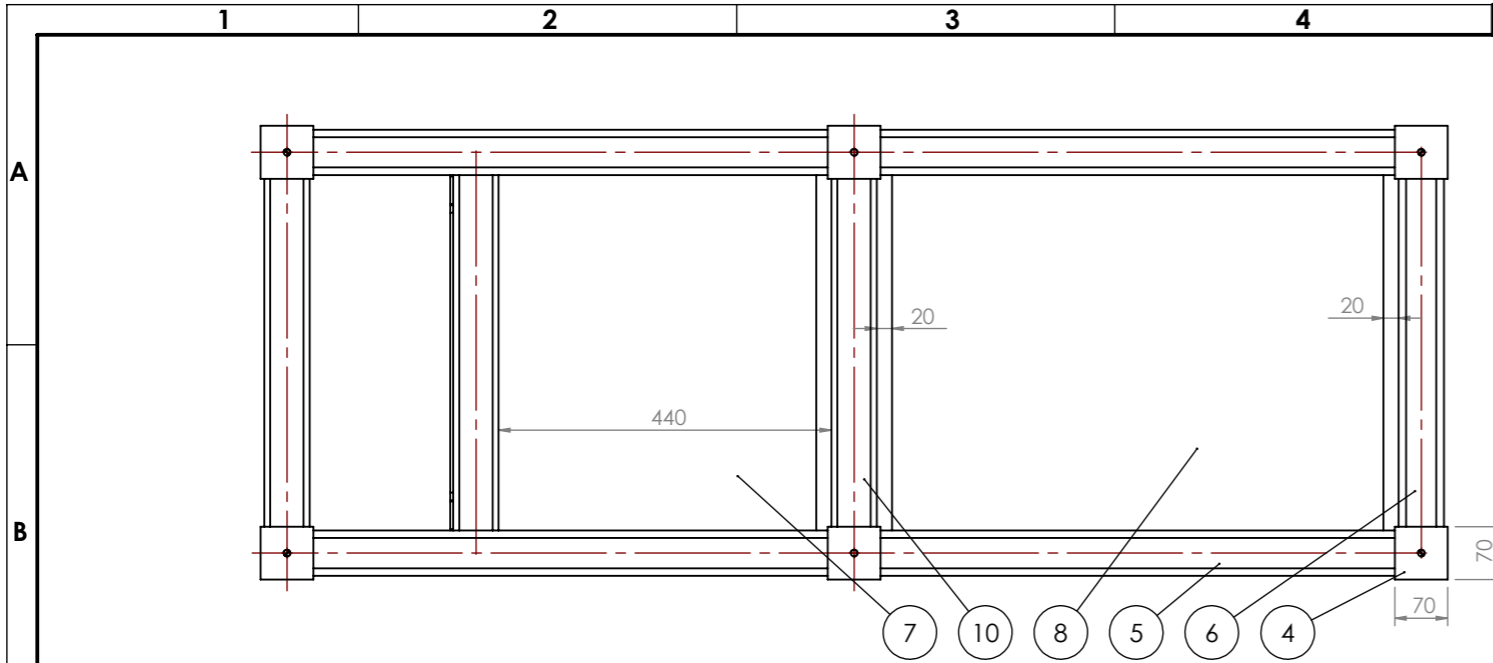
4



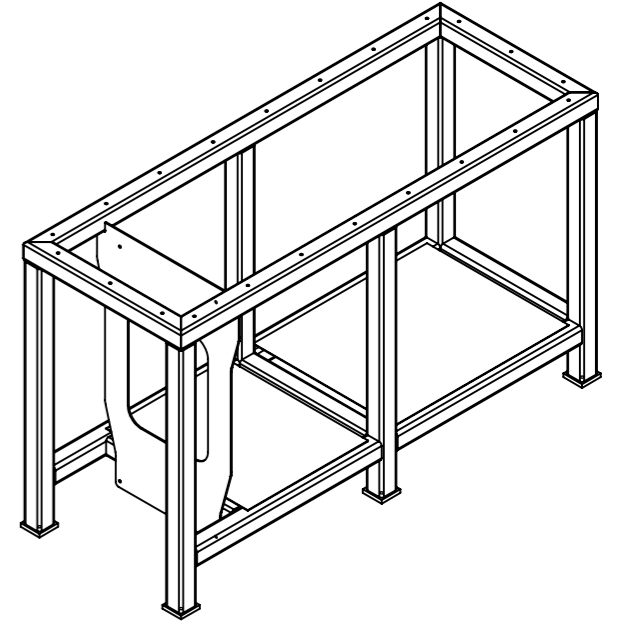
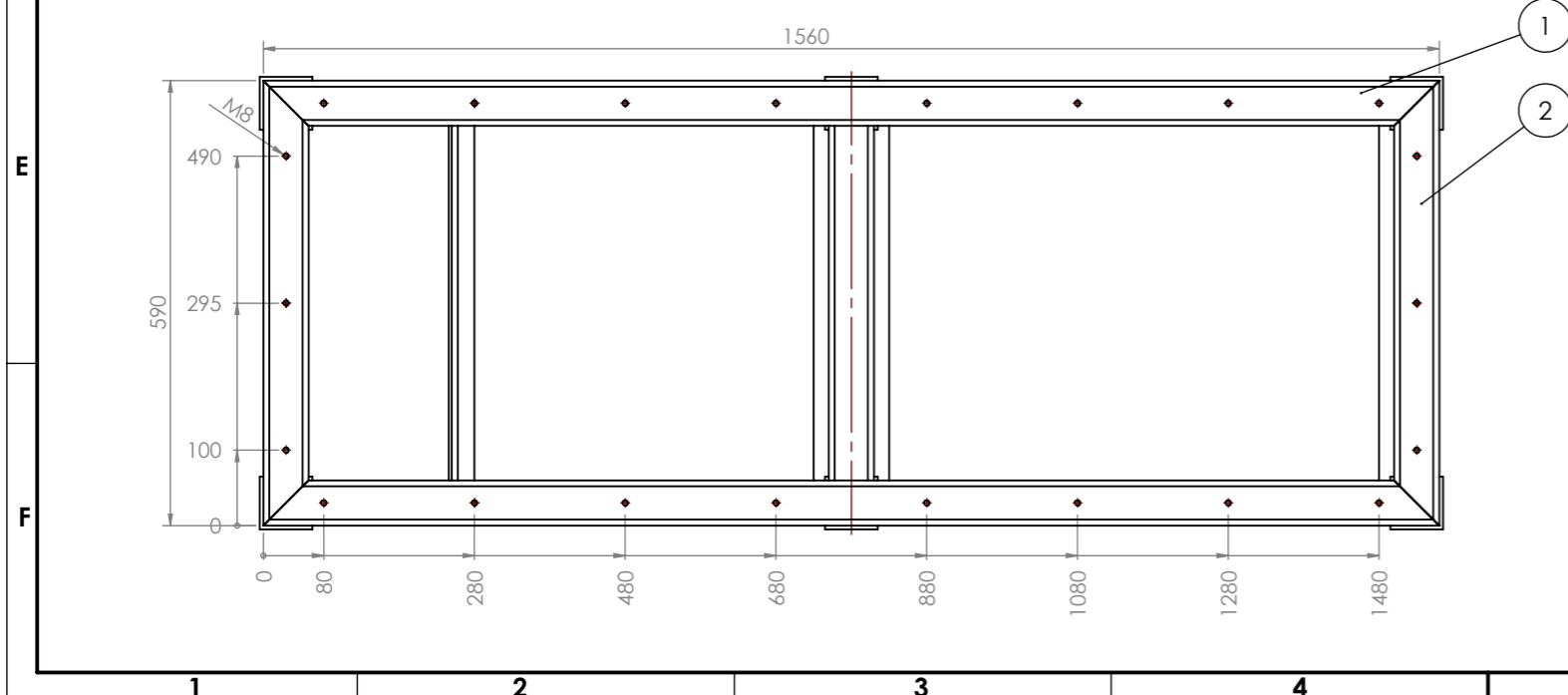
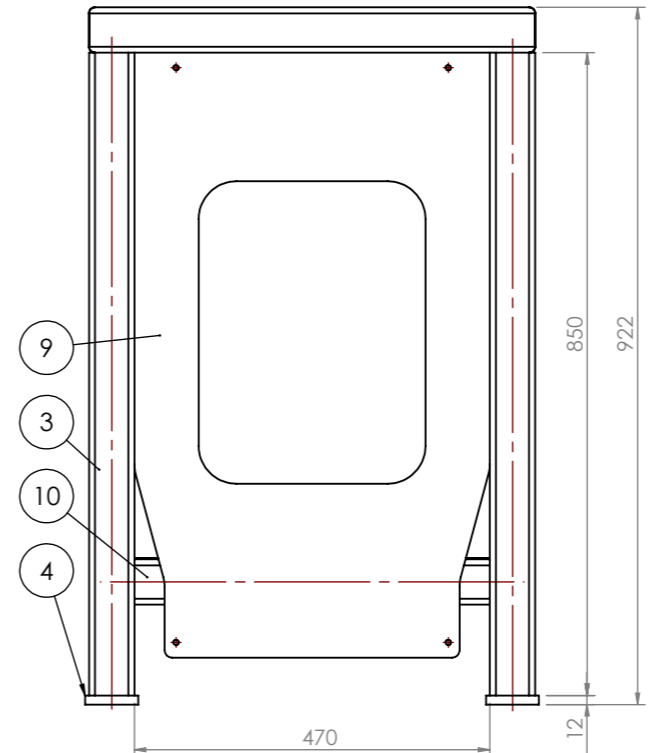
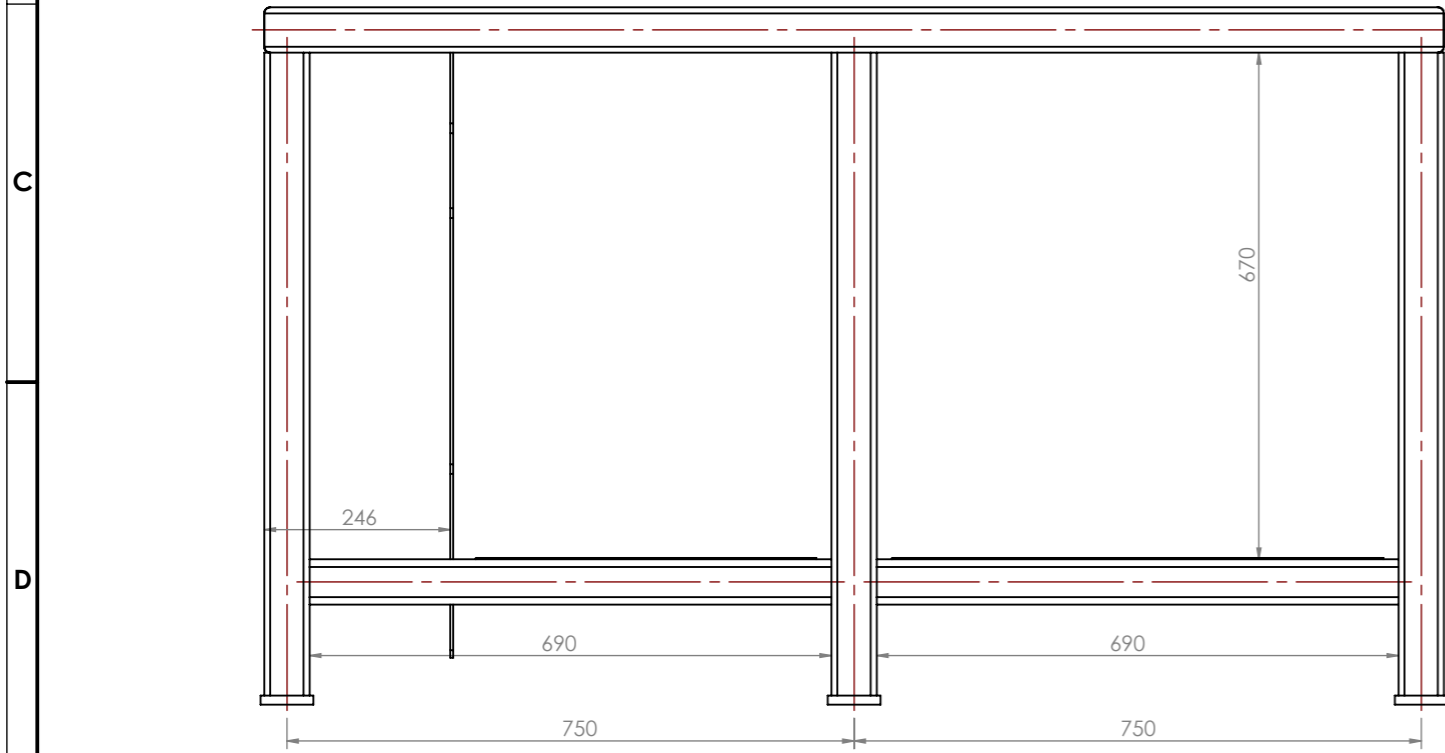
SECTION A-A SECTION B-B SECTION C-C SECTION D-D



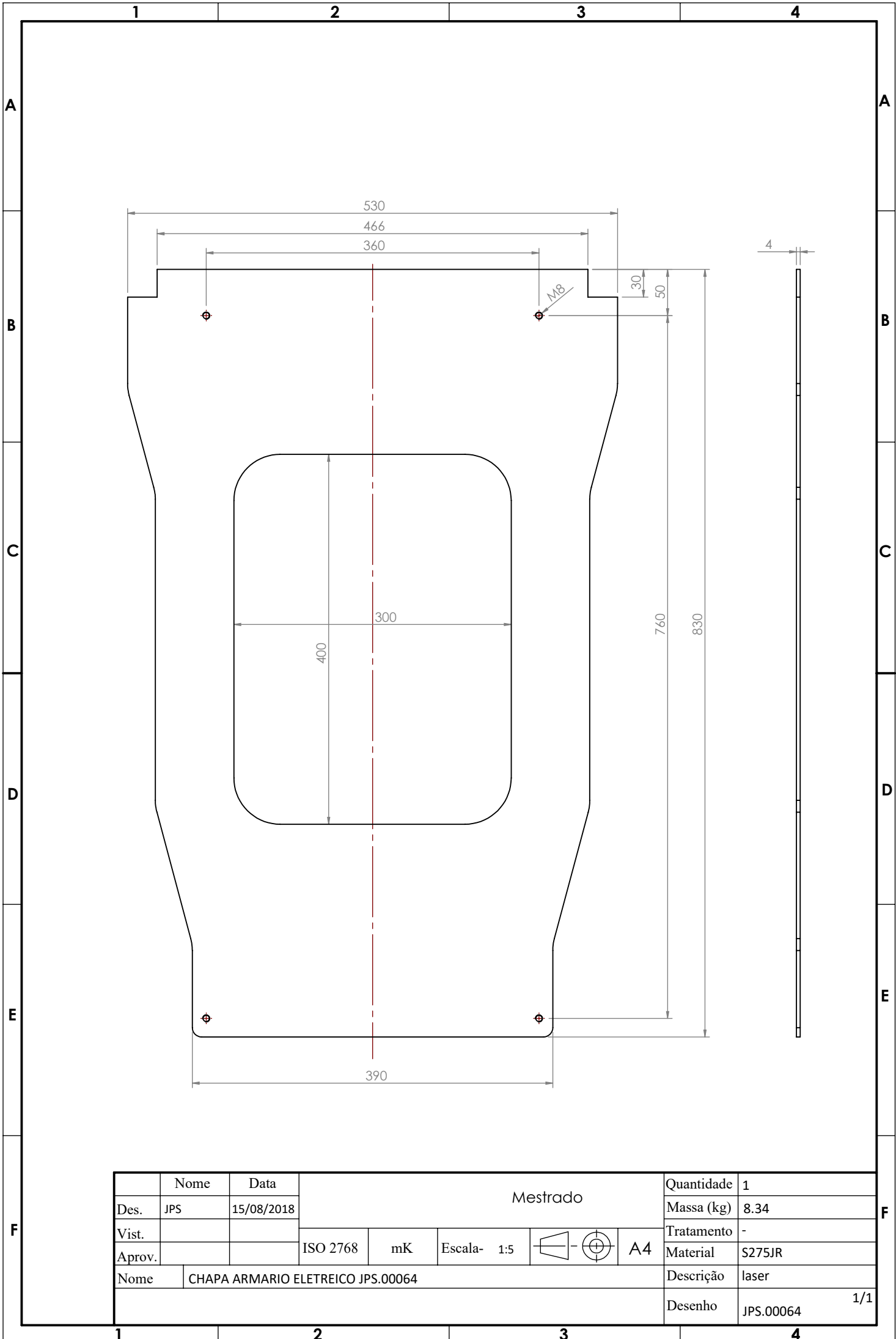
Nome	Data		Mestrado	Quantidade	1
Des.	14/08/2018			Massa (kg)	-
Vist.		ISO 2768	mK Escala: 1:3	Material	AW 5754
Aprov.				Descrição	Fresadora
Nome	MESA JPS.00062			Desenho	JPS.00062 1/1

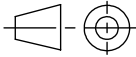


ITEM NO.	QTY.	DESCRIPTION	LENGTH
1	2	60 x 60 x 4.0	1560
2	2	60 x 60 x 4.0	590
3	6	60 x 60 x 4.0	850
4	6		
5	4	60 x 60 x 5.0	690
6	1	60 x 60 x 5.0	470
7	1	Chapa 2x530x450	
8	1	Chapa 2x530x650	
9	1	JPS.00064	
10	2	60 x 60 x 4.0	470



Nome	Data	Mestrado			Quantidade	1		
Des. JPS	14/08/2018				Massa (kg)	113.57		
Vist.		ISO 2768	mK	Escala- 1:10			Tratamento	Pintura: RAL 9002
Aprov.					Material	S275JR		
Nome					ESTRUTURA SUPORTE MESA JPS.00063		Descrição	soldadura
							Desenho	JPS.00063 1/1



	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1	
Des.	JPS	15/08/2018					Massa (kg)	8.34	
Vist.							Tratamento	-	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:5		A4	Material	S275JR
Nome	CHAPA ARMARIO ELETREICO JPS.00064						Descrição	laser	
							Desenho	JPS.00064 1/1	

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

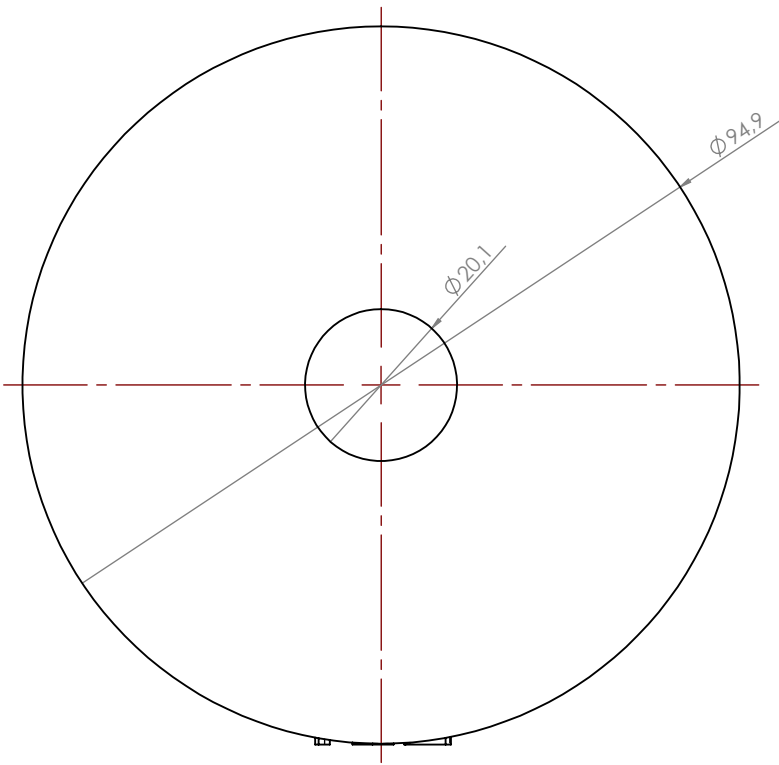
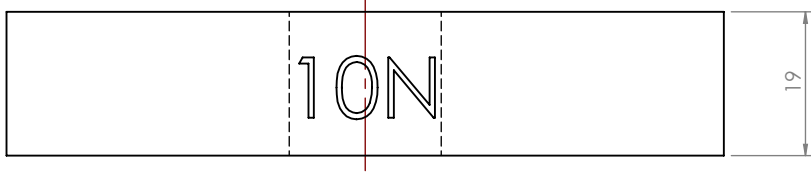
D

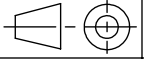
E

E

F

F



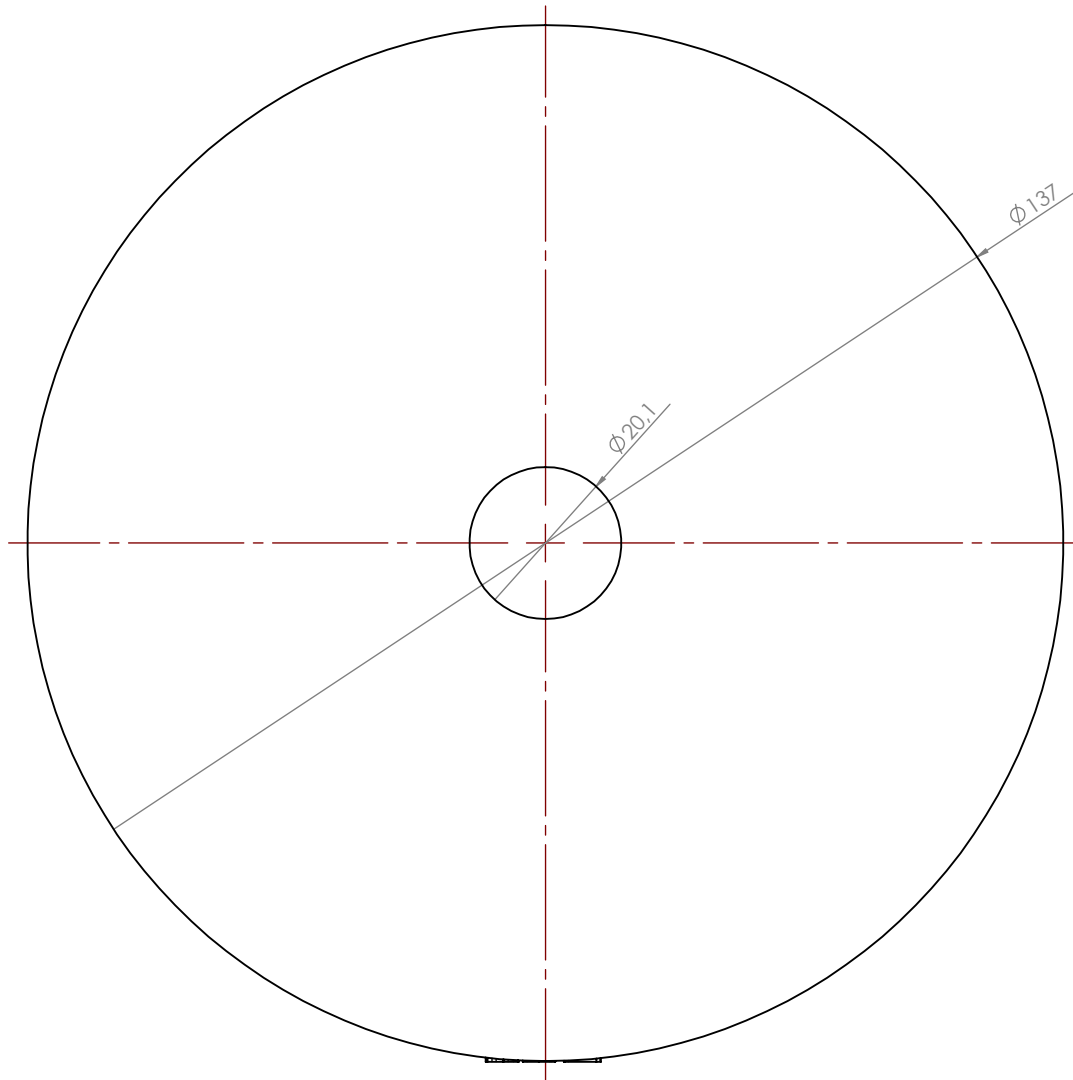
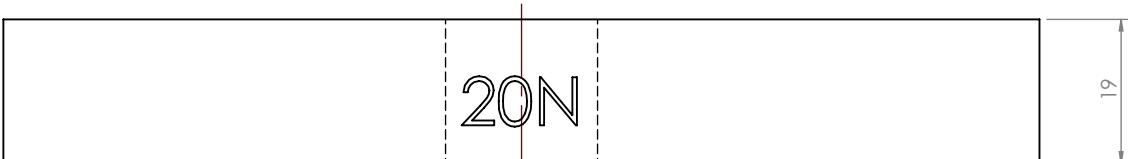
	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1	
Des.	JPS	15/08/2018					Massa (kg)	1000.26	
Vist.							Tratamento	-	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1		A4	Material	S275JR
Nome	CARGA (conf.)						Descrição	laser	
							Desenho	JPS.00065 1/1	

1

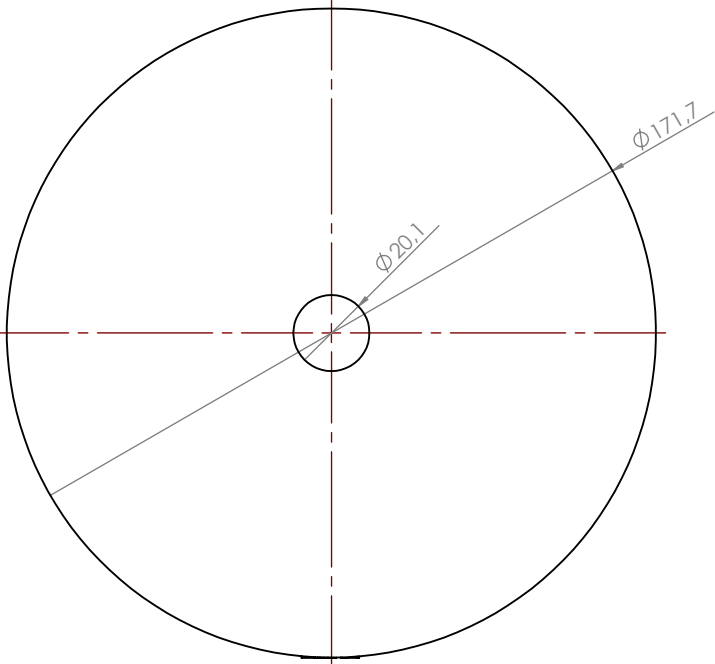
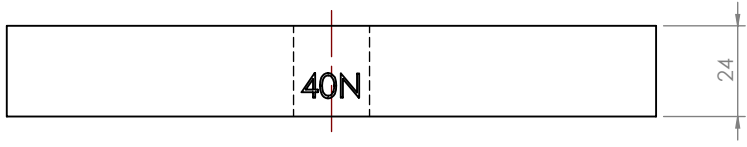
2

3

4



	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1	
Des.	JPS	15/08/2018					Massa (kg)	2000.64	
Vist.							Tratamento	-	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1		A4	Material	S275JR
Nome	CARGA (conf.)						Descrição	laser	
							Desenho	JPS.00066 1/1	



	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1	
Des.	JPS	15/08/2018					Massa (kg)	4.00	
Vist.							Tratamento	-	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:2		A4	Material	S275JR
Nome	CARGA (conf.)						Descrição	laser	
							Desenho	JPS.00067 1/1	

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

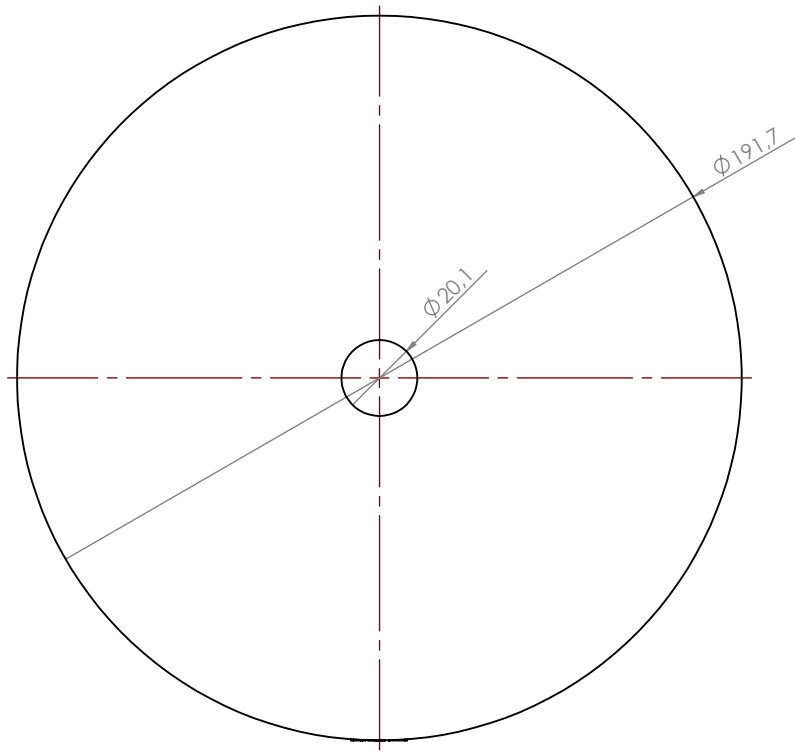
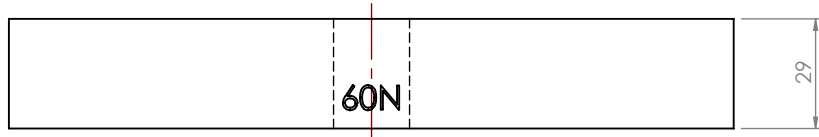
D

E

E

F

F



	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1	
Des.	JPS	15/08/2018					Massa (kg)	6.04	
Vist.							Tratamento	-	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:2		A4	Material	S275JR
Nome	CARGA (conf.)						Descrição	laser	
							Desenho	JPS.00068 1/1	

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

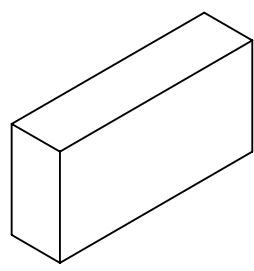
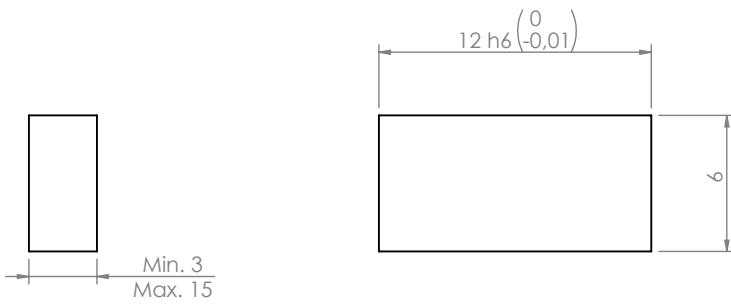
D

E

E

F

F



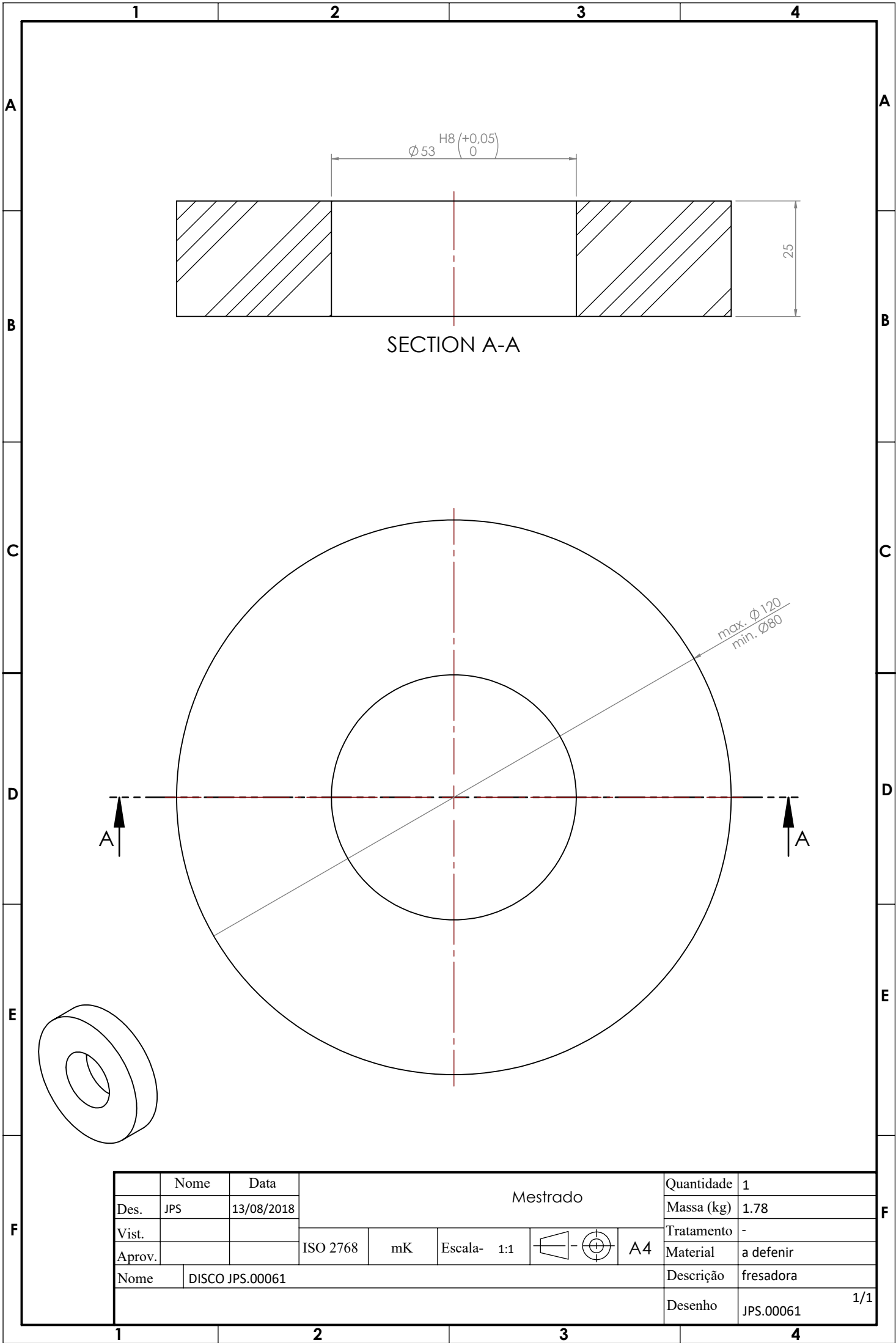
	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1	
Des.	JPS	13/08/2018					Massa (kg)	0.22	
Vist.							Tratamento	-	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 3:1		A4	Material	a defenir
Nome	AMOSTRA RETANGULAR (BLOCO) JPS.00060						Descrição	fresadora	
							Desenho	JPS.00060 1/1	

1

2

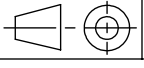
3

4



SECTION A-A

max. $\varnothing 120$
min. $\varnothing 80$

	Nome	Data	Mestrado				Quantidade	1	
Des.	JPS	13/08/2018					Massa (kg)	1.78	
Vist.							Tratamento	-	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1		A4	Material	a defenir
Nome	DISCO JPS.00061						Descrição	fresadora	
							Desenho	JPS.00061 1/1	