

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA

TIAGO CIESLINSKY

PROJETO DE UM BRAÇO DE REAÇÃO

Joinville

2022

TIAGO CIESLINSKY

PROJETO DE UM BRAÇO DE REAÇÃO

Trabalho apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel no Curso de Graduação em Engenharia Automotiva do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Dr. Evandro Cardozo da Silva

Joinville

2022

TIAGO CIESLINSKY

PROJETO DE UM BRAÇO DE REAÇÃO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Automotiva, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville (SC), 13 de dezembro de 2022.

Banca Examinadora:

Dr. Evandro Cardozo da Silva
Orientador/Presidente

Dr. Andrea Piga Carboni
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

Dr. Marcos Alves Rabelo
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho a família, amigos e professores contribuintes nesta jornada.

RESUMO

Este trabalho é o desenvolvimento de um projeto mecânico, o qual será projetado um braço de reação. Mecanismo construído em perfis de aço, com um sistema pneumático realizando a sua função peso zero a estrutura. O trabalho corresponde na utilização da ferramenta de modelagem CAD (SolidWorks®), com a modelagem das peças e conjuntos de montagem, análise estática dos elementos estruturais. Complementando o mecanismo teremos a seleção dos rolamentos, parafusos e demais componentes pneumáticos necessários para o funcionamento do braço de reação, além de conter os desenhos técnicos 2D dos componentes projetados.

Palavras-chave: Projeto Mecânico. Robótica. Cinemática de Mecanismos.

ABSTRACT

This work is the development of a mechanical project, which will design a reaction arm. Mechanism built in steel profiles, with a pneumatic system performing its function zero weight to the structure. The work corresponds to the use of the CAD modeling tool (SolidWorks®), with the modeling of parts and assembly sets, static analysis of the structural elements. Complementing the mechanism, we will have the selection of bearings, screws and other pneumatic components necessary for the operation of the reaction arm, in addition to containing the 2D technical drawings of the designed components.

Keywords: Mechanical Project. Robotic. Cinematics of Mechanisms.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mecanismo com juntas completas e múltiplas	18
Figura 2 - Lubrificação hidrodinâmica de um mancal deslizante	19
Figura 3 - Terminal esférico	19
Figura 4 - Definição do eixo neutro para tensões nulas	20
Figura 5 - Definição do fator de segurança do projeto	21
Figura 6 - Sistema cartesiano no espaço	22
Figura 7 - Opções de ferramentas SolidWorks®	23
Figura 8 - Construção de esboço para peças soldadas	24
Figura 9 - Esboço de criação para perfis	25
Figura 10 - Exemplo de uma simulação estática	26
Figura 11 - Processo de corte com jato de oxigênio	27
Figura 12 - Divisão dos processos de fabricação	28
Figura 13 - Deposição de material no processo MIG	29
Figura 14 - Definição da simbologia para soldagem	31
Figura 15 - Tipos de cordões de soldagem	32
Figura 16 – Rolamento de esferas	33
Figura 17 - Construção dos filetes de rosca	34
Figura 18 - Cilindro dupla ação	36
Figura 19 - Válvula reguladora de pressão	36
Figura 20 - Braço de reação MTZ Brasil	39
Figura 21 - Braço de reação Atlas Copco	40
Figura 22 - Braço de reação FAMAK	40
Figura 23 - Propriedades mecânicas para aços	44
Figura 24 - Base de fixação	45
Figura 25 - Ferramentas de soldagem	46
Figura 26 - Filetes com 6 milímetros de espessura	46
Figura 27 - DCL Base de fixação	47
Figura 28 - Tensão resultante da base e deslocamento	50
Figura 29 - Hastes de movimento	51
Figura 30 - Usinagem da extremidade das hastes	51
Figura 31 - Modelamento da haste	52

Figura 32 - Criação do perfil quadrado.....	53
Figura 33 - DCL da haste	54
Figura 34 - Tensões resultantes da haste	55
Figura 35 - Propriedade mecânica do aço 0145.....	57
Figura 36 - Tensões resultantes do eixo.....	58
Figura 37 - Rolamento de esferas.....	59
Figura 38 - Cilindro de dupla ação FESTO	60
Figura 38 - DCL cilindro dupla ação	61
Figura 40 - Forças de cilindros DSBC	62
Figura 41 - DCL sistema pneumático	62
Figura 42 - Válvula reguladora de pressão de precisão.....	64
Figura 43 - Diagrama pneumático braço de reação.....	65
Figura 44 - Tipos de furação	66
Figura 45 - Características parafusos DIN 912.....	67
Figura 46 - Biblioteca Toolbox	67
Figura 47 - Ferramenta assistente de furação	68
Figura 48 - Configuração de furo	69
Figura 49 - Travamento Porca KM e Arruela MB	70
Figura 50 - Montagem fixação do pedestal	71
Figura 51 - Montagem centro de giro	72
Figura 52 - Montagem fixação da ferramenta	73
Figura 53 - Braço de Reação.....	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Quantidade de passes para dada espessura de chapa.....	30
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação Peso x Pressão	64
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
SAE – Society of Automotive Engineers International
CAD – Computer Aided Design
GDL – Graus de Liberdade
MIG – Metal inert Gas
MAG – Metal Active Gas
GMAW – Gas Metal Arc Welding
AWS – American Welding Society
CNC – Controle Numérico Computadorizado
ISO – Internacioanl Standards Organization
DIN – Deutsches Intituit fur Normung
CSG – Constructive Solid Geometry
FEA – Finite Element Analysis

LISTA DE SÍMBOLOS

$\sigma_{m\acute{a}x}$	Tensão máxima
M	Momento fletor
c	Distância do eixo neutro
I	Momento de inércia
K_t	Fator concentração de tensão em flexão
q	Sensibilidade ao entalhe
\sqrt{a}	Constante de Neuber
r	Raio
π	Pi
F	Força de ação
d	Diâmetro
σ_1	Tensão Principal
σ'	Tensão equivalente de von Mises
S_y	Limite de escoamento na tração
n	Fator de segurança
b	Base
h	Altura
S_e	Limite de resistência a fadiga corrigido
K_f	Fator de concentração de tensão em fadiga
T_m	Torque médio
M_a	Momento alternado
N_f	Fator de segurança
S_{ut}	Limite de ruptura na tração
C	Carga dinâmica básica
P	Carga dinâmica
A	Área interna do cilindro
P	Pressão da linha
F	Força do cilindro
D	Diâmetro embolo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. OBJETIVOS	16
1.1.1. Objetivo Geral	16
1.1.2. Objetivos Específicos	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.	17
2.1. CINEMÁTICA E DINÂMICA DE MECANISMOS	17
2.2 RESISTÊNCIA MECÂNICA.....	20
2.2.1 Deformação por flexão	20
2.2.2. Coeficiente de segurança para projetos	21
2.3. FERRAMENTAS DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO	21
2.4. PROCESSOS DE FABRICAÇÃO	26
2.4.1. OXI-Corte	27
2.4.2. Usinagem	28
2.4.3. Soldagem MIG/MAG	29
2.4.3.1. <i>Símbolos para soldagem</i>	30
2.5. ELEMENTOS DE MÁQUINAS	32
2.5.1. Rolamentos	32
2.5.2. Fixadores	33
2.5.3. Sistemas Pneumáticos	35
2.6 REQUISITOS DO PROJETO	37
2.5.1 Benchmark	38
3. METODOLOGIA	41
3.1 SELEÇÃO DOS CONCEITOS	41
3.2 ETAPAS DO PROJETO	42
4. PROJETO BRAÇO DE REAÇÃO	44
4.1. PROJETO BASE DE FIXAÇÃO	44
4.1.1 Análise estática	47
4.2. PROJETO DAS HASTES	50
4.2.1. Análise estática	53
4.3. DIMENCIONAMENTO DOS EIXOS	56
4.4. SELEÇÃO DOS ROLAMENTOS.....	58

4.5. DIMENCIOANAMENTO DO SISTEMA PENUMÁTICO	60
4.6. COMPONENTES DE FIXAÇÃO.....	65
4.7. MONTAGEM DOS COMPONENTES.....	70
4.8. PROJETO FINAL	73
5. CONCLUSÃO	75
REFERÊNCIAS.....	77

1. INTRODUÇÃO

A demanda por tecnologias que auxiliam o trabalhador na indústria, no movimentando de cargas e utilização de ferramentas por um longo período de tempo, cresce a cada dia mais, alinhado com a preocupação na ergonomia dos trabalhadores, segurança e o aumento da produtividade nas empresas. Assim, a saúde dos trabalhadores na indústria mecânica, torna-se de grande importância para a engenharia e este projeto.

Conforme Padilha (2011), o levantamento manual de cargas, sobrecarrega os músculos paravertebrais, e gera um desgaste na estrutura da coluna e discos vertebrais. Os discos vertebrais, são as partes mais frágeis da coluna, que naturalmente são áreas propensas a degeneração precoce. Assim, todo o aumento de pressão sobre esta regiões do corpo aumentam significativamente o seu desgaste (PADILHA, 2011).

Assim, o objetivo da Ergonomia é a adaptação do posto de trabalho, dos instrumentos, das máquinas, dos horários, do meio ambiente. A realização de tais objetivos, em nível industrial, propicia uma facilidade do trabalho e um rendimento do esforço humano. A Ergonomia Proativa, iniciasse no planejamento da estação de trabalho, através de um estudo aprofundado do ambiente, da prescrição da tarefa, do conforto e postura do trabalhador, das perspectivas de produção, durante a concepção da estação, criando assim um posto de trabalho adequado ergonomicamente.

Segundo Padilha (2011), por volta de 1750, o trabalho era basicamente realizado por energia física, pelo homem ou tração animal, e nenhuma forma de energia ou mecanismo era utilizada para ajudar na produção. Por volta de 1780, iniciou-se o uso do vapor para uma série de invenções. Mas ainda com um número excessivo de horas de trabalho, péssimas condições e frequentes acidentes de trabalho.

Apenas durante a Segunda Guerra Mundial, surgiu a nova ciência, a ergonomia, que uniu esforços entre a tecnologia, as ciências humanas e biológicas. Fisiologistas, psicólogos, antropólogos, médicos e engenheiros, trabalharam juntos para resolver os problemas causados pela operação de equipamentos militares

complexos. Os resultados dessa uniam correspondem a crescente preocupação com a ergonomia dos trabalhadores na indústria até os dias atuais.

Em função dos riscos para a saúde do trabalhador, que é submetido a longas jornadas de trabalho e tarefas repetitivas, este projeto tem como ideia o desenvolvimento de um braço de reação, que minimizará os esforços mecânicos realizados dentro de células de trabalho.

Um braço de reação pode ser comparado a um braço robô automatizado, o braço irá exercer uma força de reação diminuindo o esforço realizado pelo operador. Porém, o desenvolvimento de um braço de reação é mais barato, desde o projeto, custo de fabricação e instalação na linha de produção.

A escolha em projetar este equipamento, veio de aplicações desenvolvidas no ambiente de estágio. Durante este período pude participar na elaboração de projetos de máquinas para a indústria automotiva, com o foco na montagem de sistemas mecânicos e inspeção de peças. Os conceitos empregados nestes trabalhos são reproduzidos neste projeto, utilizando de sistemas mecânicos e pneumáticos para a movimentação de peças e manuseio de ferramentas como parafusadeiras.

Para o estudo das limitações mecânicas e demandas da indústria, o presente trabalho será realizado um breve estudo da cinemática e dinâmica dos componentes mecânicos de translação. Além disso, serão calculados os esforços submetidos em componentes fabricados e comerciais, realizando simulações estáticas das peças mais exigidas.

O desenvolvimento do projeto se dará com a utilização da ferramenta CAD (SolidWorks®), nos permite modelar com eficácia todos os elementos do mecanismo, podendo representar os processos de fabricação desejados na fabricação de peças e estruturas soldadas, além de, ser possível a representação de componentes comerciais, e suas características físicas.

A correta seleção dos itens comerciais, se dará pela pesquisa, entre os fabricantes que detêm as melhores qualidades do mercado, e garantem a disponibilidade com pronta entrega.

Para os fins de fabricação futura, será desenvolvido um manual mecânico contendo o desenvolvimento do braço de reação, desenhos 2D para a fabricação e um manual de montagem. Todos estes passos ocorrerão com a utilização da ferramenta CAD SolidWorks®.

1.1. OBJETIVOS

Projetar um mecanismo ergonômico, para a auxiliar os trabalhadores da indústria automotiva na movimentação de peças e operação de ferramentas, aplicando o conceito de uma estrutura estática, onde o mecanismo tem peso zero.

1.1.1. Objetivo Geral

Desenvolver um braço de reação para a movimentação de peças e ferramentas dentro de estações de montagem na indústria automotiva. Com o objetivo de analisar os elementos estaticamente e selecionar os componentes necessários para o seu funcionamento e apresentar os detalhamentos 2D das peças.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Apresentar o embasamento teórico da cinemática de mecanismos e elementos de máquinas;
- Pesquisar os projetos já existentes no mercado.
- Desenvolver e representar peças em 3D, com o uso da ferramenta CAD (SolidWorks®);
- Aplicar os conhecimentos em processos de fabricação, para a confecção mecânica de um braço de reação;
- Dimensionar o circuito pneumático;
- Análise de esforços estáticos na estrutura;
- Apresentar os desenhos 2D de peças e montagem.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.

Na fundamentação teórica serão apresentados as teorias, métodos e ferramentas de modelagem que deram suporte na criação do projeto. Primeiramente, será apresentado os conceitos e funcionalidades da ferramenta CAD (SolidWorks®), bem como criar um projeto e a utilização de suas ferramentas na criação de peças e conjuntos. Em seguida serão expostos os conceitos de cinemática e dinâmica na criação de mecanismo, na execução de movimentos e tarefas, análise de partes móveis, juntas e noções de funcionamento de equipamentos. Esses tópicos são fundamentais para os próximos capítulos.

Além, dos conceitos de fabricação, como processos de usinagem, soldagem e de conformação mecânica. Além, dos principais conceitos de elementos de máquinas para a seleção de rolamentos e fixadores.

2.1. CINEMÁTICA E DINÂMICA DE MECANISMOS

No desenvolvimento de um projeto mecânico, as noções do funcionamento de um mecanismo quase sempre resultarão na existência de algum tipo de transferência de energia envolvida. Neste projeto, é criado um mecanismo com partes móveis, e seus movimentos são caracterizados como lentos, assim, é possível desprezar a sua aceleração, sendo necessário apenas uma análise estática das forças (NORTON, 2010).

Um dos principais conceitos da cinemática é representar movimentos desejados dos elementos mecânicos e conseqüentemente calcular suas posições e velocidades. Neste projeto, são classificados os mecanismos de baixo carregamento e velocidades de funcionamento. Portanto, são tratados estritamente como dispositivos cinemáticos. Torna-se então, de grande importância o estudo da cinemática como primeiro passo para fornecer os movimentos desejados.

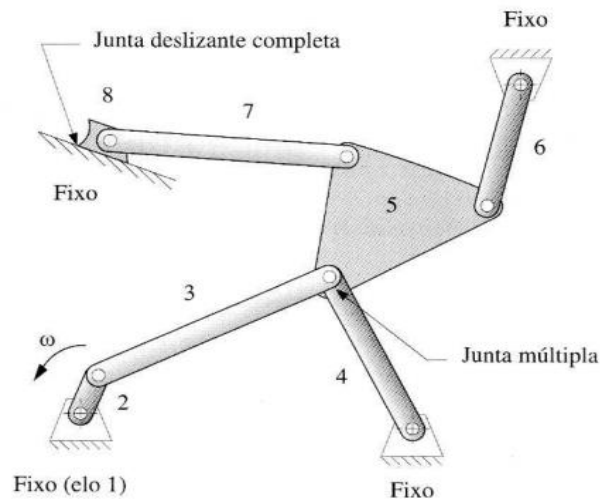
A mobilidade de um sistema mecânico pode ser classifica de acordo com o número de graus de liberdade (GDL) que possui, representando a soma de movimentos possíveis em cada direção (NORTON, 2010).

Após a definição dos graus de liberdade, podemos tratar o mecanismo como um corpo rígido, que se moverá dentro de uma estrutura referencial, realizando uma

combinação simultânea de rotação e translação. Devemos ainda, tratar nosso mecanismo em espaços tridimensionais aonde realizará rotações em juntas com eixos e também translação simultânea.

Para a compreensão de um mecanismo, devemos ter a habilidade de identificar seus elos e juntas. Podemos representar uma junta como a conexão entre dois ou mais elos, permitindo o seu movimento (NORTON, 2010). Assim, para identificar os GDL devemos considerar o número de elos e juntas e as suas ligações, (Figura 1).

Figura 1 - Mecanismo com juntas completas e múltiplas

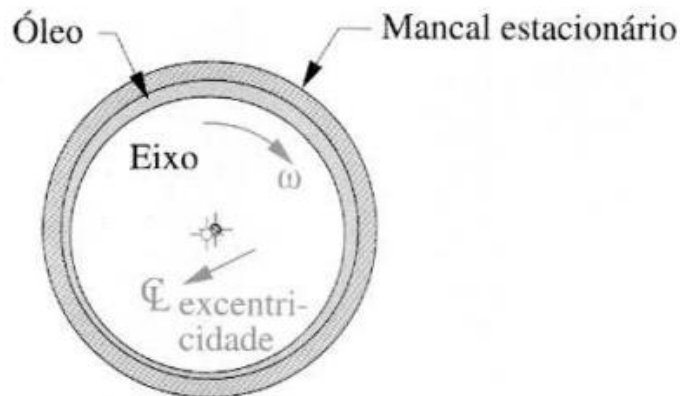


Fonte: Norton (2010, p. 59).

Após conseguirmos reconhecer as características de um mecanismo, podemos analisar as melhores soluções para o desenvolvimento do projeto. Podemos descrever escolhas eficazes como a utilização de juntas simples como uma solução de projeto com baixo custo.

A geometria de um mancal deslizante (Figura 2), onde retém um filme de lubrificação entre eles, em que a ação capilar promove o efeito chamado de lubrificação hidrodinâmica, de forma que os componentes são separados por uma fina camada de lubrificante (NORTON, 2010).

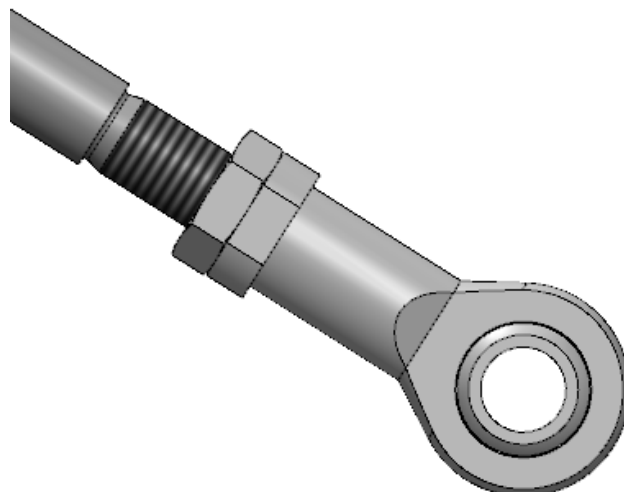
Figura 2 - Lubrificação hidrodinâmica de um mancal deslizante



Fonte: Norton (2010, p. 88)

A escolha para este projeto é um modelo de mancal para a montagem de pivôs, conhecido como terminal esférico (Figura 3), este componente possui filme de lubrificação no anel esférico que se auto alinha com o eixo, que não está paralelo a ele, seu corpo roscado pode ser conectado aos elos, permitindo a fabricação de elos como barras de aço, apenas com as suas extremidades usinadas uma rosca, permitindo o ajuste de comprimento do elo.

Figura 3 - Terminal esférico



Fonte: Autores (2022)

Terminais esféricos, são componentes comerciais de fácil acesso no mercado, abrangendo uma larga gama de tamanhos e relativamente baratos.

2.2 RESISTÊNCIA MECÂNICA

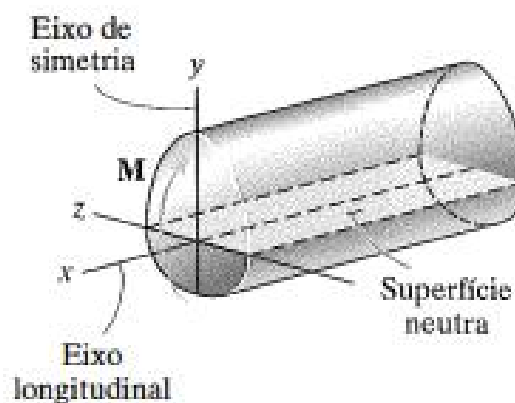
Para determinar a geometria e as dimensões de um elemento de um sistema é preciso determinar a sua resistência pela análise de cargas e tensões.

2.2.1 Deformação por flexão

Para Hibbeler (2010), a deformação por flexão ocorre quando uma viga ou eixo está submetido a uma carga, onde esta força gera um momento fletor, de modo que a peça tende a deformar de forma curva na direção da força.

Esta deformação normalmente ocorre nas fibras longitudinais do corpo, referente ao lado oposto em que a carga é aplicada, com isso as fibras são submetidas a tração aumentando sua extensão, já na face onde a carga esta aplicada as fibras são submetidas a compressão, reduzindo de tamanho. Entre estas duas superfícies ou fibras, se localiza o eixo neutro (Figura 4), onde a tensão e a deformação são nulas, e o comprimento não se altera (HIBBELER, 2010).

Figura 4 - Definição do eixo neutro para tensões nulas



Fonte: Hibbeler (2010, p. 201)

Assim relacionando a distribuição de tensão longitudinal em uma viga ou eixo, o momento fletor interno resultante que está agindo na seção transversal, descrevemos a tensão normal máxima no elemento, que está ocorrendo em um ponto da seção transversal mais longe do eixo neutro (Equação 2.1).

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{Mc}{I} \quad (2.1)$$

Onde M é o momento interno resultante, determinado pelo método das seções e pelas equações de equilíbrio, I é o momento de inercia da seção transversal em torno de um eixo neutro, e c é a distância perpendicular mais afastada do eixo neutro onde a tensão máxima está agindo.

2.2.2. Coeficiente de segurança para projetos

A escolha do coeficiente de segurança pode ser pensada como uma medida de incerteza para evitar a falha de uma peça ou mecanismo, a definição de um coeficiente ideal de segurança é muito relativa, desde que inúmeros fatores do projeto devem ser analisados, como propriedades do material, ambiente, aplicação, entre outros. Para o desenvolvimento deste projeto vamos tomar como base as informações da (Figura 5), que mostra um conjunto de fatores para materiais dúcteis, onde podemos escolher o fator de segurança com base na qualidade das informações que o engenheiro tem do seu projeto.

Figura 5 - Definição do fator de segurança do projeto

Informações	Qualidade das informações	Fator
Dados das propriedades dos materiais disponíveis a partir de testes	O material realmente utilizado foi testado	1,3
	Dados representativos de testes do material estão disponíveis	2
	Dados razoavelmente representativos de testes do material estão disponíveis	3
	Dados insuficientemente representativos de testes do material estão disponíveis	5+
		E1
Condições ambientais nos quais será utilizado	São idênticas às condições dos testes de materiais	1,3
	Essencialmente igual ao ambiente de um laboratório comum	2
	Ambiente moderadamente desafiador	3
	Ambiente extremamente desafiador	5+
		E2
Modelos analíticos para forças e tensões	Os modelos foram testados em experimentos	1,3
	Os modelos representam precisamente o sistema	2
	Os modelos representam aproximadamente o sistema	3
	Os modelos são aproximações grosseiras	5+
		E3

Fonte: Norton (2013, p.19)

2.3. FERRAMENTAS DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO

O uso de ferramentas CAD (*Computer-Aided Design* – Projeto Assistido por Computador), está presente em todas as áreas da engenharia, para a criação e

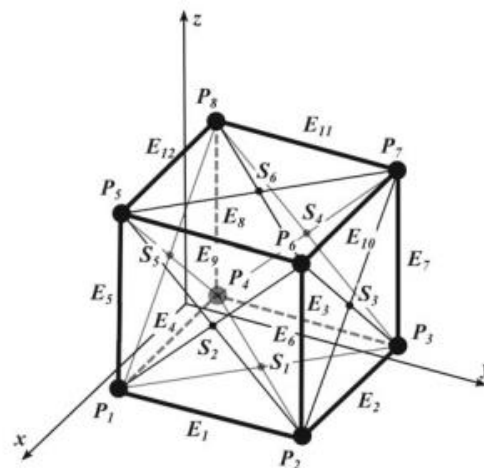
otimização de projetos, o SolidWorks® é usado tanto na indústria como no meio acadêmico. Desde o segundo semestre da graduação, os conhecimentos de CAD já são expostos para os estudantes de engenharia, pois a cada ano que se passa ela torna-se um pré-requisito para as mais diversas vagas de emprego na indústria.

Uma ferramenta CAD, como o SolidWorks®, possui uma vasta gama de funcionalidades, desde a criação de desenhos 2D e 3D para componentes mecânicos ou estruturais, com a possibilidade de realizar as mais diversas simulações estáticas durante o desenvolvimento do projeto. Além disso, possui recursos para criar manuais mecânicos, simulações de movimento e custos de fabricação.

Para o desenvolvimento de um projeto 3D dentro do CAD, devemos conhecer a topologia de um objeto no espaço, cada uma delas tendo as suas características, podendo descrevê-las como um ponto, aresta, linha, superfície e volume, as quais são representados em um modelo 3D (DUHOVNIK, DEMSAR E DRESAR, 2015).

Ainda, torna-se necessário a orientação utilizando o sistema de coordenadas cartesianas (Figura 6), distinguir planos. A fim de, atingir a capacidade de representar diferentes tipos de rotação e giro de uma peça, conceitos indispensáveis para a elaboração de um projeto.

Figura 6 - Sistema cartesiano no espaço

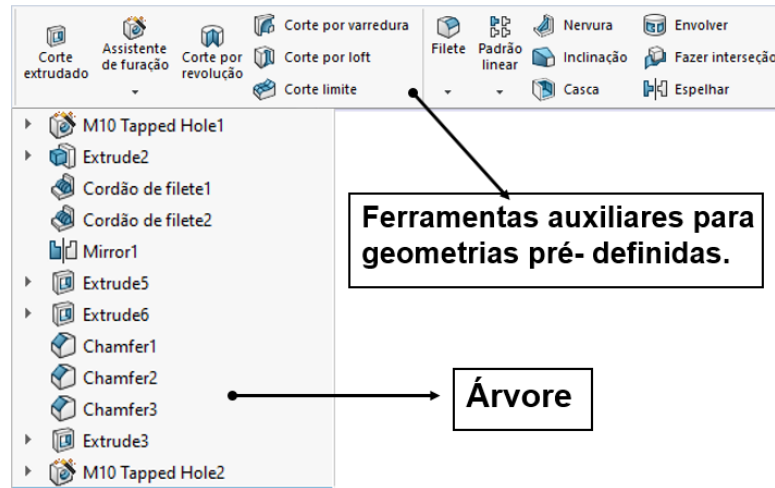


Fonte: Duhovnik et al. (2015, p. 51).

A evolução das ferramentas CAD nos proporcionou trabalhar com modelagem de recursos específicos, onde é possível construir um modelo em 3D com a combinação de geométricas sólidas CSG (Figura 7), além de, agregar informações como furos, ranhuras, filetes e inúmeras outras formas geométricas (DUHOVINIK et

al., 2015). Este recurso nos permite realizar operações e modificá-las de forma simples após a criação da geometria, podendo acessá-las na árvore do projeto.

Figura 7 - Opções de ferramentas SolidWorks®



Fonte: Autor (2022).

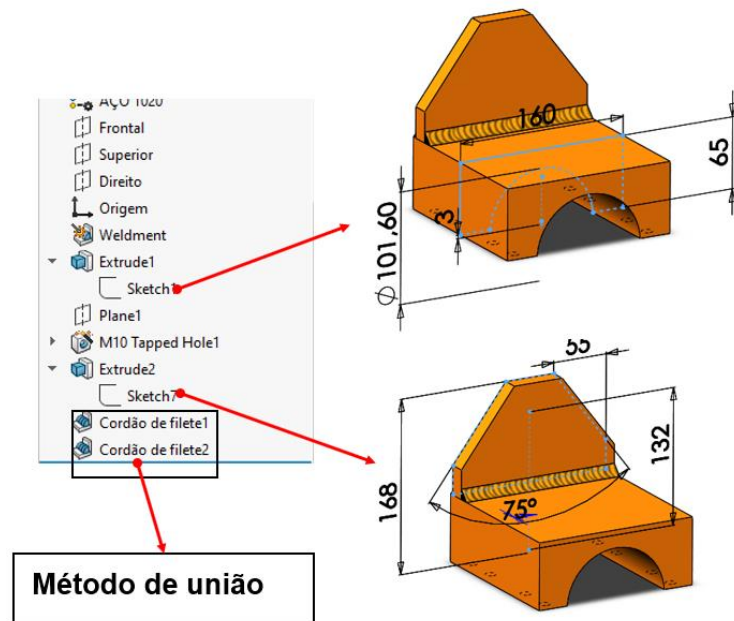
Assim, podemos perceber que na elaboração de um projeto cada passo deve ser sempre planejado, com isso, podemos extrair ao máximo da ferramenta, evitar a perda de tempo modelando geometrias já pré-definidas, e minimizar erros construtivos no esboço.

O modelamento de peças soldadas e estruturas, é apresentada como uma peça que consiste em vários corpos, que no momento de conectar estes elementos individuais, podemos definir o método de união e representar as simbologias de soldagem com as especificações necessárias para a fabricação.

Para peças solidas está metodologia construtiva se torna vantajosa quando analisamos o alto valor da hora de trabalho de um centro de usinagem CNC e o peso do aço, quando usinamos um bloco sólido até atingir as dimensões da peça. Portanto, usinar e soldar peças menores diminuem consideravelmente os custos do projeto.

Para o seu modelamento a peça soldada consiste na criação de cada geométrica da peça em um esboço diferente (Figura 8), criando corpos diferentes, mas sendo uma peça única, identificadas pela união do processo de soldagem.

Figura 8 - Construção de esboço para peças soldadas

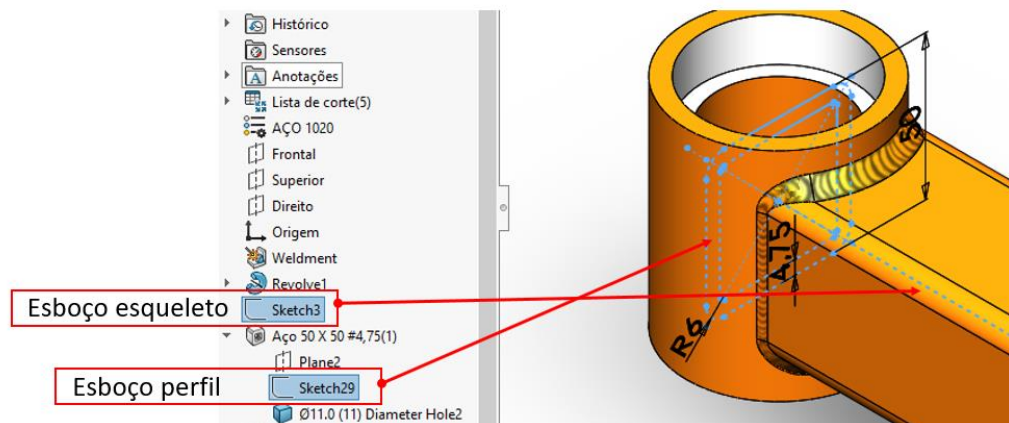


Fonte: Autor (2022).

Além da união de peças sólidas, a criação de estruturas metálicas se assemelha com a construção de diferentes esboços em uma peça. Neste caso, primeiramente é construído um esboço 2D ou 3D, que seguirá os contornos dando uma forma de esqueleto a nossa estrutura, permitindo definir seções transversais dos perfis individualmente no espaço para que o centro geométrico do perfil esteja no sistema de coordenadas local, neste caso o sistema de coordenadas corre a linha da estrutura do começo ao fim (DUHOVINIK *et al.*, 2015).

O *Solidworks* possui um recurso próprio para criação de perfis (Figura 9), a partir de uma biblioteca predefinida com modelo de perfis padrão, mas também podemos criar um formato desejado criando um arquivo similar aos existentes, pois requer uma forma específica e uma estrutura de diretórios e arquivos.

Figura 9 - Esboço de criação para perfis



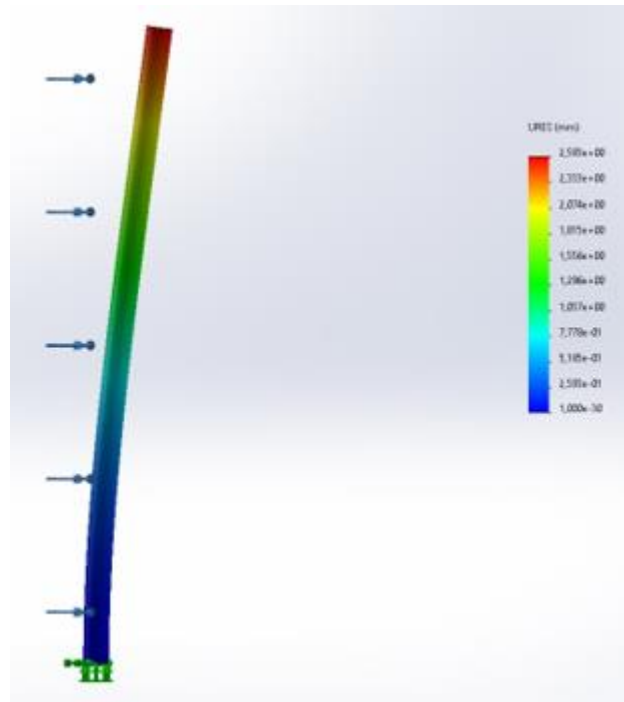
Fonte: Autor (2022).

Os conceitos e ferramentas apresentados para a elaboração deste projeto, juntamente com as metodologias apresentados nos capítulos seguintes, são de grande importância para uma modelagem eficiente junto com o domínio dos conhecimentos básicos em processos de fabricação, elementos de máquinas e normas regulamentadoras.

O uso da ferramenta para análises do desenvolvimento do projeto permite que o projetista avalie os mais variados efeitos em diferentes parâmetros escolhidos, como a mudança de geometria, forma construtiva, material, sistema de fixação, sem a necessidade que seja fabricado o modelo real.

A FEA (*Finite Element Analysis* – Análise de Elementos Finitos) é um método de entrada de valores de carga em um modelo matemático discretizado, com a intenção de demonstrar o deslocamento e tensões nos componentes (Figura 10). O engenheiro deve ter a capacidade de analisar os resultados, elaborar uma conclusão de desempenho do sistema, além de, especificar o seu comportamento.

Figura 10 - Exemplo de uma simulação estática



Fonte: Autores (2022).

Em simulações de elementos finitos cada geometria tem características distintas que impactam em seu resultado. Além disso, em simulações FEA devemos tratar as aproximações do modelo físico para o modelo finito, isso ocorre com a criação da malha, onde o método divide uma geometria em elementos e nós, atribuindo graus de liberdade para os nós, variando conforme cada tipo de elemento (BUDYNAS; NISBETT, 2011).

Com a evolução dos programas, e a não necessidade de um estudo aprofundado neste projeto, a geração da malha será a definida automaticamente pelo SolidWorks®.

2.4. PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

Podemos entender os processos de fabricação conforme as suas classificações em função da energia envolvida, temperatura de trabalho e tensão de trabalho. Estes processos para dar forma a peças metálicas, são definidos como:

- Conformação mecânica
- Fundição

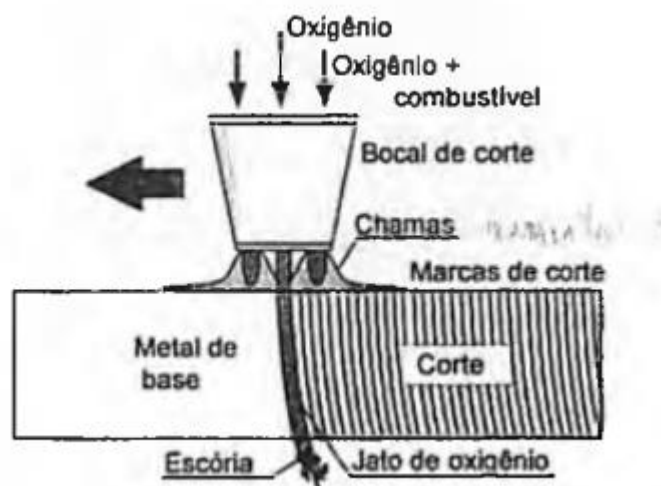
- Soldagem
- Metalurgia a pó
- Usinagem

A seguir vamos tratar de alguns processos, especificamente os utilizados no desenvolvimento do projeto.

2.4.1. OXI-Corte

Segundo (MARQUES, MODENESI E BRACARENSE, 2009) o processo de oxi-corte ou corte a gás é um processo no qual o corte do metal é obtido pela reação do oxigênio puro com o metal, a alta temperatura. Para a realização dessa operação o material é aquecido por uma chama de pré-aquecimento até atingir a temperatura que gera a reação do metal com oxigênio, chamada de temperatura de ignição, a partir desse ponto é liberado um jato de oxigênio de alta pureza que produz a oxidação, uma quantidade de calor suficiente para fundir o óxido formado, assim, sendo expulso pelo oxigênio e cortando o material (Figura 11).

Figura 11 - Processo de corte com jato de oxigênio



Fonte: Marques et al. (2009, p. 174)

Este processo de corte se torna muito polivalente, conseguindo cortar peças finas até peças com mais de um metro de espessura se tratando de aços. A operação

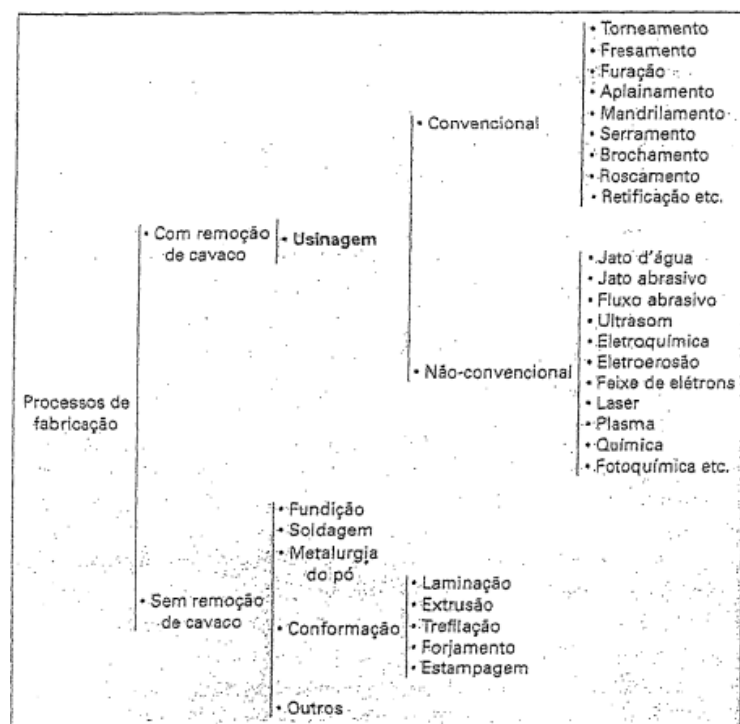
pode ser tanto manual como automatizados podendo realizar cortes com diferentes contornos.

2.4.2. Usinagem

Como operações de usinagem entendemos aquelas que, ao conferir a peça a forma, ou as dimensões ou o acabamento, ou ainda uma combinação qualquer destes três itens, produzem cavaco (FERRARESI, 1969). A usinagem é um dos processos mais populares que consiste em um processo complexo mais simples ao mesmo tempo. Podemos compreender como complexo a definição das condições ideais de corte, como a velocidade de rotação da peça, avanço, profundidade do corte e geometria da ferramenta, depois de todas estas variáveis serem definidas o processo se torna simples, o cavaco é gerado corretamente e em máquinas CNC o operador é dispensado de qualquer outra operação manual.

No desenvolvimento de um mecanismo as principais operação de usinagem são executadas, com a utilização de ferramentas de geometria definida, a (Figura 12) define como são tratadas cada operação de forma convencional e não-convencional.

Figura 12 - Divisão dos processos de fabricação



Fonte: Machado et al. (2009, p. 5)

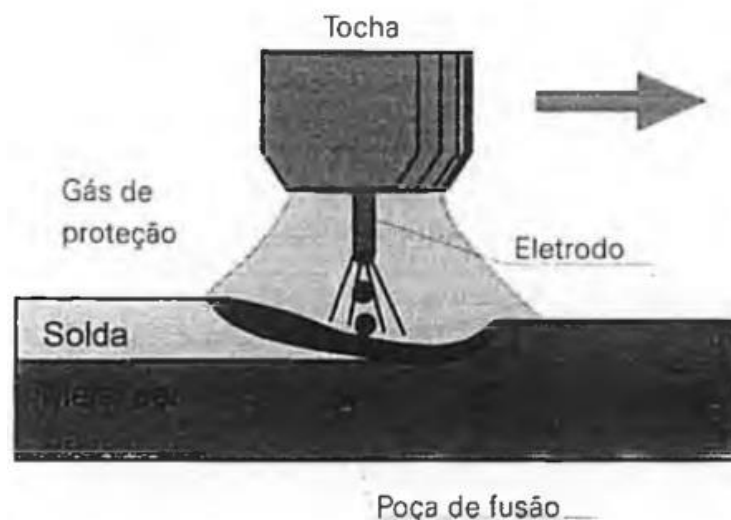
As operações de usinagem são subdivididas em desbaste e acabamento. O desbaste constitui na remoção grossiera de material, deixando apenas uma camada fina para a realização do acabamento, que visa atingir os parâmetros de rugosidade superficial da peça conforme explicitado pelo desenhista.

2.4.3. Soldagem MIG/MAG

A soldagem a arco com proteção gasosa (Gas Metal Arc Welding – GMAW) é um processo em que a união de peças metálicas é produzida pelo aquecimento destas com um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo metálico nu, consumível, e a peça de trabalho (MARQUES et al. 2009). Para evitar a contaminação da solda pelo ar atmosférico se utiliza um gás ou mistura de gases que são do tipo inertes ou ativos.

O processo MIG utiliza de gases inertes já o processo MAG usa gás ativo ou misturas ricas em gases ativos. A (Figura 13), representa como se dá esse processo, deposição do material e a ação dos gases de proteção.

Figura 13 - Deposição de material no processo MIG



Fonte: Marques et al. (2009, p. 234)

No processo de soldagem MIG/MAG, o arame é alimentado mecanicamente pela máquina e o operador é responsável por iniciar ou interromper o processo de soldagem, movendo a tocha pela junta e realizando a operação de decomposição de

material, a alimentação do arame é de forma contínua garantindo a manutenção do arco.

Este processo consegue depositar uma quantidade elevada de material, além de ser possível de executá-lo em todas as posições de soldagem, podemos também ressaltar como pontos positivos a não formação de escoria, uma penetração na raiz mais uniforme com a possibilidade de controlar a penetração durante a soldagem. Sendo o tipo de soldagem recomendada para aços-carbono, aços de baixa, média e alta liga, assim, atendendo a nossa demanda de projeto. Outra vantagem é que o processo de soldagem MIG/MAG pode ser usada em diferentes espessuras de material conforme a (Quadro 1).

Quadro 1 – Quantidade de passes para dada espessura de chapa

Espessura da chapa (mm)	0,4	1,6	3,2	4,8	10,0	12,7	...
Passo único sem preparação	X	X	X	X			
Passo único com preparação		X	X	X	X		
Passos múltiplos		X	X	X	X	X	...

Fonte: Adaptado de Marques *et al.* (2009)

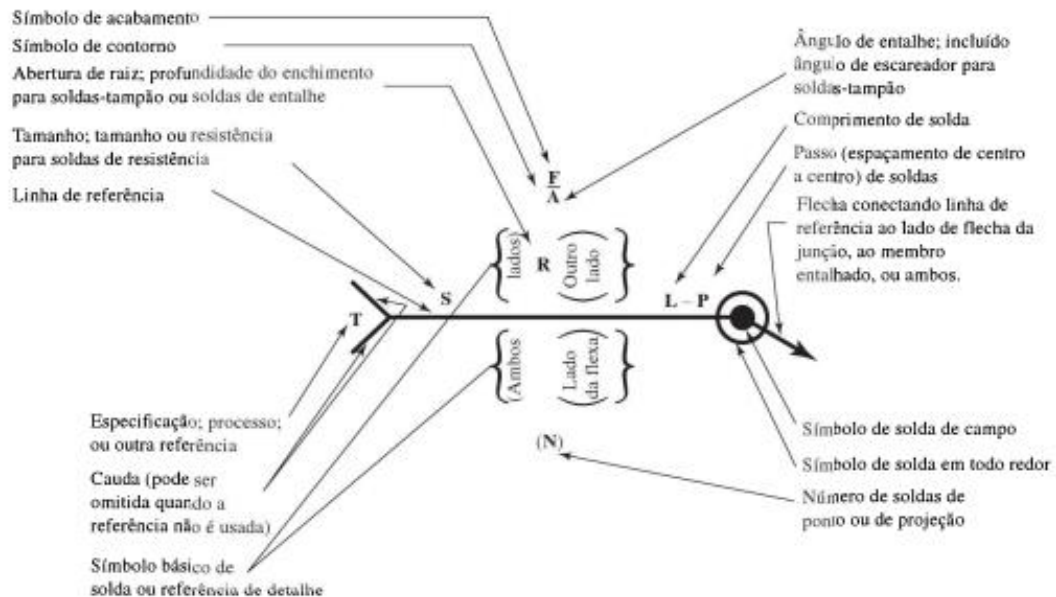
Conforme as características do projeto, conseguimos realizar uma soldagem plana, não necessitamos de uma grande penetração, com isso, o modo de transferência globular será usado, este processo ocorre em baixas densidades de corrente, assim podendo entregar um arco mais estável, além, de ser possível utilizar inúmeros gases para a proteção, mas na indústria é especialmente optado por CO_2 e hélio. Este processo tem como característica gerar bastante respingo, e a gota formada geralmente é maior que o diâmetro do eletrodo, desse modo, a transferência é feita pela gravidade.

2.4.3.1. Símbolos para soldagem

Quando realizamos uma soldagem precisamos fornecer informações sobre uma determinada operação ao operador, com isso, a norma AWS American Welding Society, criou uma simbologia padrão, com sinais e números orientados de forma

particular indicando as características da solda. A (Figura 14) nos mostra como se dá a distribuição dos processos seguindo uma linha de referência horizontal.

Figura 14 - Definição da simbologia para soldagem



Fonte: Budynas, Nisbett (2011, p. 484)

Acima da linha de referência são indicados os símbolos básicos de soldagem e suplentes, como o tipo de chanfro e as especificações para a sua construção, que podem ser a sua profundidade, ângulo do chanfro, tipo de contorno e acabamento e profundidade do enchimento. Ao seu lado será indicado a altura do filete de solda indicado em milímetros.

Deve-se ficar atento nesse passo se a simbologia é posicionada sobre a linha de referência indica que a solda deve ser feita do mesmo lado que aponta a seta, se a indicação está a baixo da linha de referência a solda deve ser realizado do lado oposto a seta. Na origem do vetor podemos indicar informações de soldagem em campo e contorno, já ponta indica o local da peça que será soldada.

A (Figura 15) nos mostra as tipologias mais frequentes utilizadas pelos projetistas na construção de máquinas e equipamentos, normalmente é utilizado a soldagem do tipo filete, sempre se atentando no projeto em deixar uma folga suficiente para o tamanho do filete e a construção do chanfro em casos que a raiz tem total penetração.

Figura 15 - Tipos de cordões de soldagem

Tipo de solda							
Conta (ou cordão)	Filete	Tampão ou fenda	Sulco				
			Quadrada	V	Biselada	U	J

Fonte: Budynas, Nisbett (2011, p. 485)

Caso as terminologias não forem utilizadas corretamente, pode haver colisões na montagem dos demais componentes, além, do calor alto exposto durante a operação alterar as propriedades metalúrgicas do material e o surgimento de tensões residuais. Sendo assim, necessário um tratamento térmico posterior com o intuito de aliviar essas tensões residuais.

2.5. ELEMENTOS DE MÁQUINAS

O engenheiro é responsável pela tarefa de definir, calcular, projetar e dimensionar os mais variados elementos que constituem uma máquina, com o intuito de alcançar um conceito final. Para isso, devemos projetar cada peça separadamente, conhecendo suas funções de operação resultantes em um conjunto final sem que o mecanismo possa falhar.

2.5.1. Rolamentos

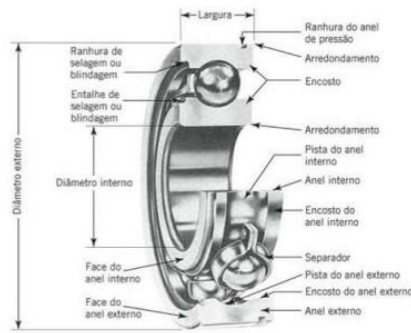
Segundo Collins, Busby, Staab (2010) os rolamentos são elementos de máquina que permitem o movimento relativo direcionado entre duas peças, de uma parte para a outra sem permitir o movimento da direção das cargas aplicadas.

Quando um projetista necessita selecionar um rolamento ele será limitado pelo diâmetro do eixo, quando pensamos em um eixo de diâmetro grande, o qual foi projetado para entregar baixas deflexões, e não sofrer com a falha por fadiga, o rolamento terá um diâmetro relativamente grande. Pois, comumente o eixo sempre será dimensionado antes do rolamento, além disso, quando projetamos um eixo devemos nos preocupar com a mudança de diâmetros para que seja possível encaixar

todos os rolamentos, assim, na maioria dos casos a geometria do rolamento será sempre suficiente, ou seja, a deflexão do eixo que é o critério que determina a dimensão do eixo, por sua vez já determina a dimensão do rolamento.

Se o rolamento estiver limpo e for lubrificado apropriadamente, for montado e vedado de maneira que evite a entrada de poeira ou sujeira, for mantido nesta condição e operado temperaturas razoáveis, a fadiga do metal será a única causa de falha (BUDYNAS; NISBETT, 2011). Elementos rolantes podem ser do tipo de esferas (Figura 16), rolamentos de esferas são capazes de entregar altas velocidades.

Figura 16 – Rolamento de esferas



Fonte: (a) Juvinal e Marshek (2013, p. 319).

Rolamentos de esferas, que vem de componentes nos quais os elementos rolantes são esferas de aço endurecido, fixados entre duas pistas, podendo suportar cargas axiais e radiais combinadas.

Assim este projeto se baseará em determinar a vida útil em fadiga do rolamento, para as condições estabelecidas no projeto, com isso, esta etapa se dará utilizando catálogos técnicos de fabricantes que nos fornecem as informações necessárias para a escolha do rolamento ideal em nossa aplicação.

2.5.2. Fixadores

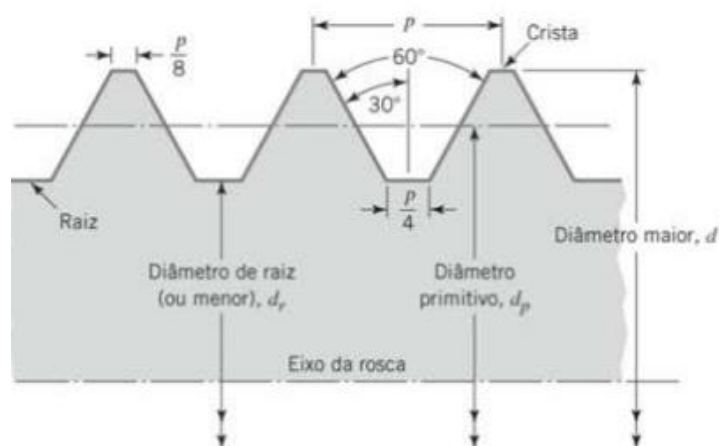
Segundo Norton (2013) a geometria comum entre os fixadores é a rosca, descrevemos a rosca como uma hélice, na qual gera um movimento que faz com que o parafuso avance sobre a peça ou elemento secundário como uma porca, quando rotacionado. Mas devemos lembrar que fixadores não-rosqueados como os rebites são vistos como parte desse grupo de recursos para união de peças. Quando

pensamos em fixadores, parece algo simples, mas, são inúmeras variáveis e detalhes técnicos que um engenheiro ou projetista mecânico deve conhecer. Visualizamos a devida importância para essa parte do projeto, quando analisamos o projeto de aviões de grande porte como Boeing 747, que necessitam de 2,5 milhões de fixadores em média, alguns com um custo muito elevado (BUDYNAS; NISBETT, 2011).

O propósito de um parafuso ou um conjunto de fixadores é criar uma força de aperto entre duas peças ou mais, a força de aperto inicial é gerada a partir de um torque inicial, denominada como pré-carga. Na existência de tensões entre juntas, o parafuso deve evitar a separação dos corpos e impedir o deslizamento. A tensão aplicada ao parafuso deve ser o suficiente a evitar que solte quando submetido a vibrações, ciclos térmicos e impactos.

A geometria de um fixador será sempre padronizada, tanto para elementos em polegada ou métricas, tanto para roscas internas quanto externas conforme padrão ISO e *Unified National*, sendo classificadas em roscas finas (UNF) e roscas grossas (UNC). Ambos os sistemas são desenvolvidos com um ângulo de 60° , definimos o diâmetro da rosca pelo diâmetro nominal externo (d), o passo da rosca (p) é a distância entre os filetes (Figura 17). O diâmetro primitivo d_p e o diâmetro de raiz d_r , são definidos a partir do passo (NORTON, 2013).

Figura 17 - Construção dos filetes de rosca



Juvinal e Marshek (2013, p. 218).

Outra característica importante para um fixador roscado, é um produto de múltiplas roscas, ou roscas de múltiplas entradas, uma rosca com duas entradas, possui um avanço do parafuso duas vezes mais rápido. Estas características de

múltiplas entradas, tem como vantagem um menor comprimento total, além da maior velocidade de aperto (NORTON, 2013).

No desenvolvimento deste projeto, são adotados parafusos da norma DIN, o tipo de parafuso será selecionado conforme cada aplicação. Estudos mais aprofundados nos quesitos de fratura e vibrações para os fixadores não são necessários, pois, o mecanismo não será exposto a vibrações contínuas e altas cargas cíclicas.

2.5.3. Sistemas Pneumáticos

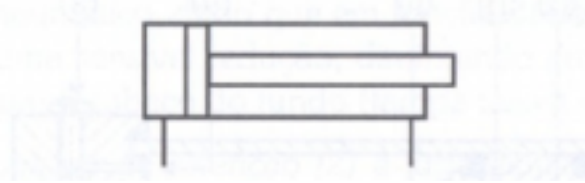
A definição da física para pneumática é o estudo da dinâmica e dos fenômenos relacionados aos gases e ao vácuo (FIALHO, 2011). Na engenharia estudamos a preparação, conservação e transformação da energia pneumática o ar comprimido em energia mecânica, utilizando elementos de trabalho como cilindros, motores e outros equipamentos.

O uso da pneumática na indústria possui vantagens em termos de custo, confiabilidade e potência específica, com os equipamentos robustos, precisos e de simples instalação. Podem, portanto, ser aplicados em sobrecargas prolongadas e em ambientes hostis sujeitos a poeira, umidade, atmosferas corrosivas e explosivas (FIALHO, 2011).

Devemos lembrar que para o ar comprimido chegar até a máquina, é necessário passar por etapas antes de ser utilizado. Estas etapas são a produção e o tratamento do ar até chegar na máquina. Após o ar ser captado e filtrado as impurezas, o ar é comprimido e resfriado, antes de chegar no equipamento final, em seguida ele passa por unidades de tratamento para retirar a sua umidade, assim, chegando na qualidade exigida pelo sistema que irá utilizá-lo.

Atuadores pneumáticos são elementos que produzem movimentos lineares, rotativos ou oscilantes. Neste projeto será utilizado cilindros pneumáticos, elementos que são construídos de forma que o embolo da haste divide o cilindro interno em duas cavidades, conforme as normas ISO 15552. Especificamente será usado cilindros de dupla ação (Figura 18), estes utilizam o ar comprimido para realizar trabalho em ambos os sentidos de movimento, avanço e retorno.

Figura 18 - Cilindro dupla ação

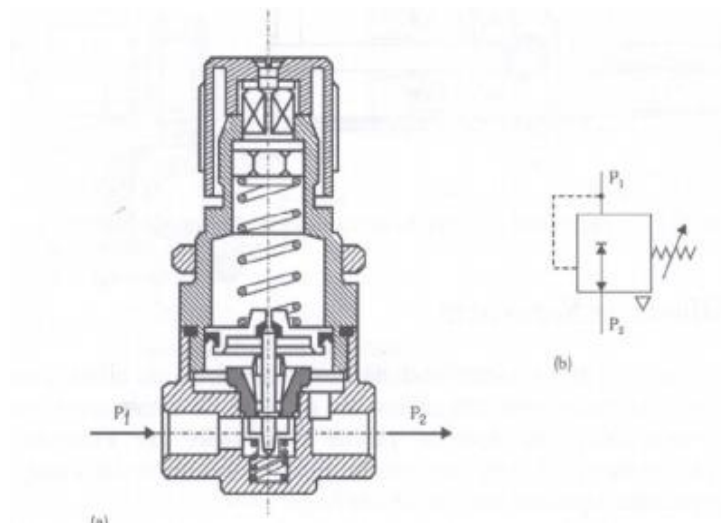


Fonte: Fialho (2011, p. 81)

As forças efetivas de um cilindro exercida na ponta de sua haste, depende de fatores como a pressão de trabalho do ar comprimido, diâmetro do cilindro, resistência ao atrito interno, e elementos de vedação. Estas informações já são informadas pelos fabricantes em seus catálogos técnicos, cabe a nós apenas dimensionar o cilindro conforme a pressão de ar do nosso sistema, distância necessária de alcance da haste a força máxima exercida e o ângulo do movimento.

Além, do cilindro pneumático vamos utilizar neste projeto reguladoras de pressão (Figura 19), este elemento tem a função de controlar a pressão fornecida ao sistema em questão. O seu funcionamento consiste na comparação da energia mecânica e da pressão, separadas por um diafragma com um conjunto obturador apoiado nele (FIALHO, 2011). Quando haver uma mudança de pressão, o sistema se movimenta e permite a equalização da pressão conforme foi regulada.

Figura 19 - Válvula reguladora de pressão



Fonte: Fialho (2011, p. 126)

2.6 REQUISITOS DO PROJETO

Os equipamentos para movimentação de cargas e manuseio de ferramentas, são máquinas manuais ou automatizados, utilizadas para mover cargas variadas, ferramentas pesadas ou com precisão na utilização, abrangendo diversos percursos, distância variadas, superfícies e espaços apropriados, em que a principal função é movimentar ou manejar uma peça ou ferramenta.

A escolha do tipo de equipamento a ser utilizado para a movimentação e operações deve ser baseada no tipo de produto a ser trabalhado e a área disponível para a instalação da estrutura.

Optar pela ferramenta ideal é fundamental para alcançar as principais metas de produção no que consiste em trabalhar no menor tempo, sem perder a qualidade dos produtos e visando sempre a redução de custos.

Os dispositivos braço articulado industrial é muito utilizado nos variados setores da indústria, pois possui duas características muito visadas, praticidade e flexibilidade. Ele foi idealizado para ajudar na montagem de produtos, por isso, tem um formato compacto e pouco peso. Sua instalação é simples, prática e rápida. No mercado, há alguns tipos de braços articulados tais como:

- Braço articulado bandeira;
- Biarticulado aéreo;
- Biarticulado fixo;
- Pantográfico aéreo;
- Pantográfico e fixo;
- Braço de reação;
- Braço congo balance fixo;
- Braço congo balance aéreo.

O braço articulado precisa ser fixado ao solo em cima de uma base, entretanto, cada tipo de braço tem suas especificações de instalação.

A sua construção comumente é feita de estruturas metálicas, como: tubos, perfis de aço, perfis especiais de alumínio e peças de fibra de carbono para aplicações específicas. Na maioria das aplicações suas características são definidas em função

do ambiente de trabalho, se este equipamento estará exposto a produtos químicos ou altas temperaturas, e a resistência mecânica da estrutura conforme a solicitação da carga aplicada e deslocamento mínimo desejado.

Outra vantagem deste tipo de mecanismo é a segurança na movimentação de peças e ferramentas, minimizando o risco de quedas que podem afetar a saúde do trabalhador ou danificar equipamentos. Além disso, estes equipamentos são projetados pensando na ergonomia do trabalhador, preservando sua saúde e proporcionando melhores condições de trabalho.

2.5.1 Benchmark

Uma importante etapa do projeto é a realização de um benchmark, no qual realiza-se uma avaliação entre os produtos existentes no mercado, os que são parecidos com aquele que está em desenvolvimento. Essa avaliação ocorre, tomando como base as informações dos clientes e do próprio produto. Dessa forma, verifica-se se esses produtos possuem os requisitos apresentados no estudo de equipamentos para a movimentação de cargas e operações com ferramentas, avalia-se as decisões tomadas estão acordadas com as tendências e refletem os desejos dos usuários.

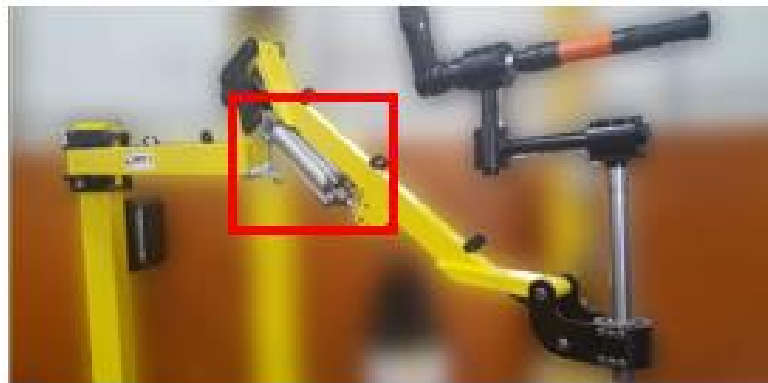
A pesquisa de benchmark focou nos modelos industriais mais comuns aplicados na indústria automotiva, foram avaliados fornecedores especializados em soluções para este setor. Os fornecedores selecionados, foram escolhidos a partir de pré-requisitos como:

- Atendem a NR-12;
- Atendem a ISO 13849;
- Altura mínima 1800 milímetros;
- Alcance mínimo 500 milímetros;
- Capacidade mínima de carga 15 Kg;
- Possibilidade de utilizar mais de uma ferramenta;
- Fácil montagem e instalação;

O primeiro modelo estudado é o braço de reação da MTZ Brasil (Figura 20), a empresa oferece produtos customizados para atender as mais variadas aplicações,

construindo braços que suportam cargas elevadas podendo chegar até 20 Kg, dependendo da configuração, com configurações de alcance de 500 a 1500 milímetros, possuem sistema yoke para a fixação da ferramenta, com aperto na vertical e horizontal, são fabricados em aço, pintura eletrostática a pó nas cores padrão da indústria, instalação e ajustes rápidos, seu funcionamento para criar o peso zero é pelo sistema pneumático.

Figura 20 - Braço de reação MTZ Brasil



Fonte: Adaptado de MTZ Brasil (2022)

Outro modelo estudado é o Braço de reação da Atlas Copco, este modelo utiliza de um balancim, para criar o peso zero da ferramenta (Figura 21), sua construção é similar ao anterior com perfis de aço, fixados em uma haste de sustentação que varia de 2 a 3 metros, seu alcance pode chegar até 1750 milímetros sem afetar o centro de gravidade da estrutura. A sua capacidade de carga é definida a partir do balancim a ser utilizado, o modelo com maior força, pode levantar 18 Kg, toda a estrutura é pintada pelo processo a pó, assim alcançando todas as arestas e evitando oxidações, permitido a sua utilização nos ambientes mais diversos.

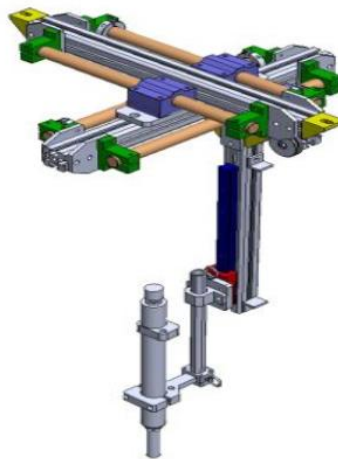
Figura 21 - Braço de reação Atlas Copco



Fonte: Adaptado de Atlas Copco (2022).

Visando uma terceira alternativa com características distintas aos anteriores, o braço de reação da FAMAK, construído com perfis de alumínio estrutural (Figura 22), pode ser projetado conforme a necessidade do cliente. Quando utilizamos os perfis de alumínio estrutural da FAMAK podemos construir o modelo mais adequado para aplicação, pois, a utilização deste modelo de perfil permite maior facilidade na fixação de outros equipamentos, estes perfis são modulares e com ranhuras para a fixação de outros elementos, mas este modelo tem possui um preço superior aos perfis de aço, assim, é mais recomendado para aplicações com menor alcance. O braço de reação FAMAK pode operar com um sistema pneumático ou com o uso de balancim.

Figura 22 - Braço de reação FAMAK



Fonte: Adaptado de FAMAK (2022)

3. METODOLOGIA

A escolha por projetar um braço de reação veio da experiência no estágio curricular, aonde tive um contato direto com o desenvolvimento de máquinas e estruturas mecânicas em geral. Logo, o intuito é aplicar todo o conhecimento obtido na graduação junto com a experiência de trabalho, criando um projeto que facilite a movimentação de peças pesadas e uso de ferramentas de fixação na indústria.

3.1 SELEÇÃO DOS CONCEITOS

Depois da definição dos requisitos dos projetos, e apresentar as melhores soluções do mercado que atendendo os requisitos impostos, é necessário gerar conceitos para o produto, pela combinação dos princípios de soluções individuais.

Para as características do braço de reação, foram avaliados os três modelos de braço de reação apresentados pelo benchmark, como os três modelos atendem aos requisitos do projeto, serão apresentados a seguir, cada característica do projeto, explicando a escolha de cada componente a partir dos conceitos que tem mais diferença entre os modelos como apresentado pelo benchmark. Nos quesitos como alcance e altura, carga suportada, tipo da estrutura, estes são os três requisitos que mais se diferem entre os modelos apresentados.

O modelo de braço de reação apresentado neste projeto, terá o seu corpo e base de fixação construído de perfis de aço estrutural, escolha por estes perfis metálicos é devido a sua fácil aplicação e união pelo processo de soldagem. Comparando com perfis de alumínio teremos uma redução pela metade no preço total da estrutura.

Com a utilização dos perfis de aço, podemos dimensionar o alcance e altura do projeto a partir da definição da relação dá média das alturas para bancadas de trabalho manual e esteiras transportadoras conforme solicitado pela NR-12, onde trabalhadores são submetidos a trabalhos manuais de operação na posição em pé ao lado destes equipamentos. Assim, o mecanismo será posicionado acima da bancada de trabalho, contendo um curso extra para o ajuste ideal de todo o conjunto mecânico.

O seu sistema de funcionamento escolhido será o pneumático, onde a reação que encadeara o peso zero será feita por um cilindro pneumático. A escolha pelo

sistema pneumático foi optada por ser mais versátil que um balancim. A regulagem da tensão da mola do balancim é mínima, com isso a cada ferramenta utilizada seria necessário a troca do balancim.

Já com a utilização de um sistema pneumático, especificamente o funcionamento do cilindro que exercerá a força no sistema, podemos regular a pressão de ar no sistema e trabalhar com uma variação de força de zero à força máxima de retorno do cilindro selecionado. O dimensionamento do cilindro deve suportar ferramentas de 0 Kg até 15 Kg, mais o peso que a estrutura irá exercer sobre todo o mecanismo.

3.2 ETAPAS DO PROJETO

O projeto será desenvolvido utilizando a ferramenta CAD SolidWorks®, como descrito na fundamentação teórica, será seguidos os passos para a criação de um mecanismo projetando cada elemento separadamente, mas sempre com a visão do todo, para ao final do projeto, todos os elementos do mecanismo funcionem corretamente.

A primeira parte a ser projetada é a estrutura rígida, aonde os componentes mecânicos serão fixados. A estrutura será constituída da torre de fixação, sendo ela a base de toda a estrutura, assim necessitando ser o componente mais robusto para sustentar todos os demais mecanismos.

O braço será construído com duas hastes rígidas, as quais se movimentam apenas em torno dos eixos fixados em suas extremidades, criando as reações de momento. Como ainda, a utilização de rolamentos e buchas deslizantes, diminuirá o atrito entre os componentes tornando leve a movimentação de todo o equipamento, uma vez que a força aplicada sempre virá do operador.

A alavanca que realizará a força contrária ao peso levantado pelo braço, será dado por um cilindro pneumático, aonde o controle da pressão para garantir a força de ação do cilindro seja suficiente, ocorrerá por uma válvula reguladora de pressão, onde os elementos serão dimensionados e selecionados a partir do fabricante FESTO.

Os demais componentes pneumáticos para o sistema, serão dimensionados conforme o tamanho do cilindro, além dos rolamentos e buchas que serão selecionados de acordo com tamanho da estrutura.

Após o término do projeto estrutural, será estudada a resistência mecânica dos elementos mais solicitados, aplicando cargas estáticas similares ao peso do produto, e avaliando as tensões e deslocamento da estrutura.

Como último item do projeto, será criado um manual de montagem mecânica, sendo desenvolvido quando todos os componentes comerciais estiverem selecionados e dimensionados, além das partes projetadas para o corpo do projeto. Este manual, conterá instruções de montagem, detalhamento mecânico 2D dos itens do projeto e características técnicas dos itens comerciais. Como ainda, um diagrama do sistema pneumático complementando o manual, para uma futura produção e instalação do projeto dentro da universidade.

4. PROJETO BRAÇO DE REAÇÃO

Neste capítulo vamos detalhar todos os componentes do projeto e os processos de fabricação utilizados, além, do dimensionamento do sistema pneumático e das peças comerciais conforme o fabricante indica em seus catálogos técnicos.

4.1. PROJETO BASE DE FIXAÇÃO

A base de fixação é responsável por suportar toda a estrutura do braço de reação, assim sendo o elemento do projeto com a maior robustez, além de, ser um elemento estável capaz de absorver as vibrações geradas pelo movimento do mecanismo, e não sofrer com os efeitos de flambagem quando os conjuntos estiver posicionado na sua extremidade mais alta.

Sua construção será em tubo de aço SAE 1020, laminado a frio conforme as propriedades definidas pela (Figura 23), com as dimensões de 4" polegadas de diâmetro externo, parede de 7,11 milímetros, medidas encontradas em catálogos que atendem as normas de fabricação, e um comprimento de 2 metros.

Figura 23 - Propriedades mecânicas para aços

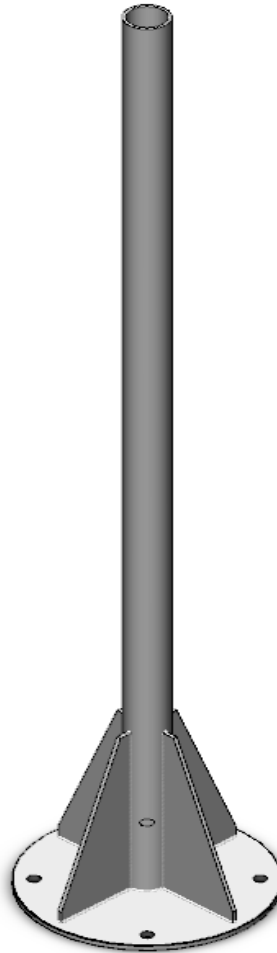
Número SAE / AISI	Condição	Resistência de escoamento em tração (0,2% de deformação)		Resistência máxima em tração		Elongação do corpo de ensaio de 2 in	Dureza Brinell
		kpsi	MPa	kpsi	MPa	(%)	-HB
1010	laminado a quente	26	179	47	324	28	95
	laminado a frio	44	303	53	365	20	105
1020	laminado a quente	30	207	55	379	25	111
	laminado a frio	57	393	68	469	15	131

Fonte: Norton (2013, p.992).

A escolha por tubos de aço, se dá pela sua alta resistência mecânica e consequentemente sua geometria vazada proporciona menos peso a estrutura. Já para a sua base, foi projetada com uma geometria circular, com um diâmetro de 550 milímetros, com uma chapa de aço SAE 1020 de 5/8 polegadas de espessura, com furações para a fixação ao solo por chumbadores mecânicos. Para aumentar a sua estabilidade e diminuir as tensões aplicadas da base com o tubo, será soldado quatro chapas estilo cantoneira com 3/8 polegadas de espessura do mesmo material que o

restante da estrutura. Na (figura 24), é apresentado o modelamento CAD no SolidWorks®.

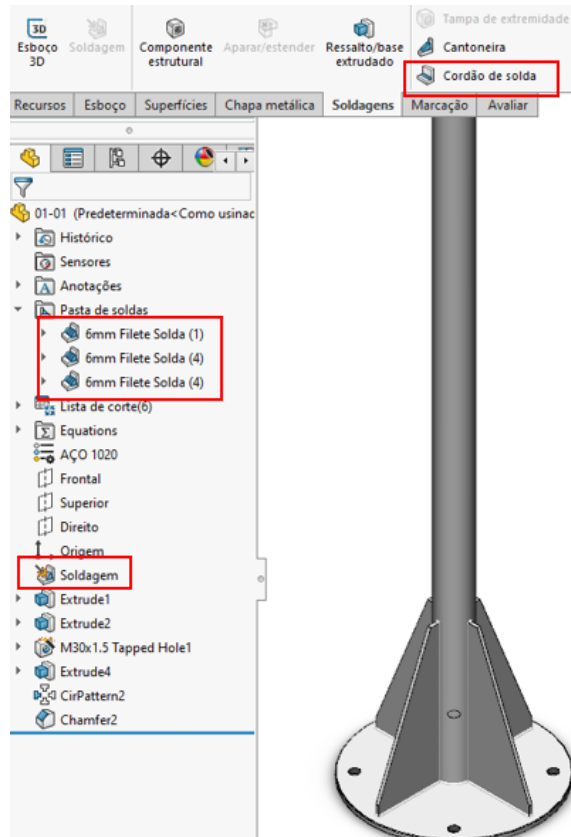
Figura 24 - Base de fixação



Fonte: Autor (2022).

Sua construção no CAD foi realizada pelo método de estruturas soldadas (Figura 25) onde temos três corpos sólidos, mas apenas uma peça. Essa metodologia é realizada a fim de utilizar os comandos de cordão de solda, além, do projeto conter uma menor quantidade de peças.

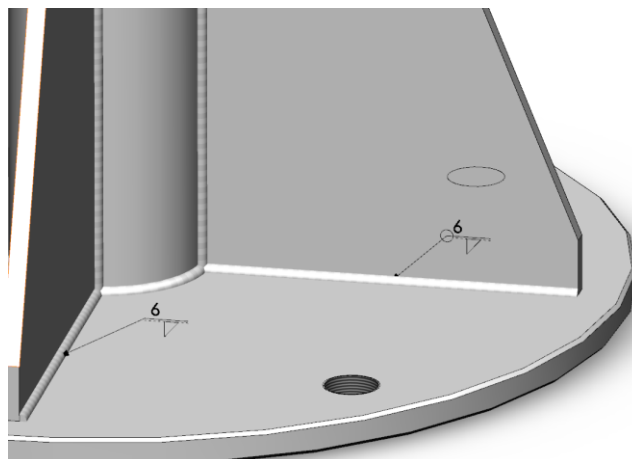
Figura 25 - Ferramentas de soldagem



Fonte: Autor (2022)

A junção das peças será pelo processo de soldagem MIG, com filetes contínuos contornando todas as arestas, a espessura do cordão de solda será de 6 milímetros, garantindo um cordão resistente sem que a solda atravesse as paredes do tubo (Figura 26).

Figura 26 - Filetes com 6 milímetros de espessura



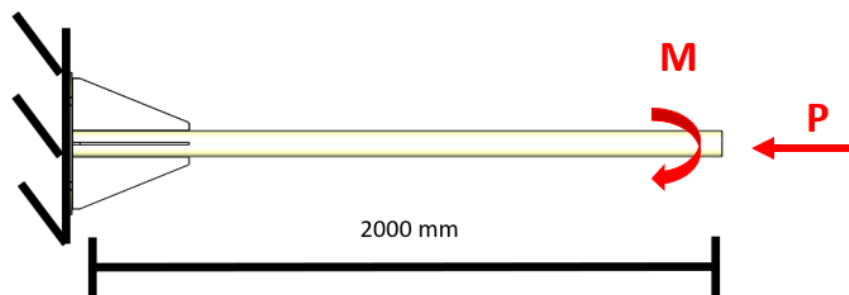
Fonte: Autor (2022).

A estrutura será pintada com a técnica a pó na cor RAL 7004, esta cor foi selecionada por ser comumente utilizada em componentes estruturais nos setores automotivos conforme ABNT-NBR 7195. Além disso, este processo de pintura eletrostática garante o acesso a todas as cavidades da peça evitando pontos de oxidação.

4.1.1 Análise estática

Considerando uma estrutura estática, podemos modelar o tubo como uma viga engastada, que estará sobre ação de uma força concentrada peso (P), esta força é dada pelo peso da haste, mais o peso do restante da estrutura fixada a ela, vezes a força da gravidade, a partir, da multiplicação obtemos uma força de 1540,05 N e um momento concentrado (M) a partir do centro de gravidade do restante da estrutura fixada de 62795,107 Nmm. Na (Figura 27) representamos o diagrama de corpo livre da haste para o modelamento estático, com a aplicação da força P e um comprimento de 2000 milímetros.

Figura 27 - DCL Base de fixação



Fonte: Autores 2022.

Analisando a geometria do tubo vazado, devemos calcular o seu momento de inércia, que é calculado a partir das suas características geométricas, conforme a (Equação 4.1).

$$I = \frac{\pi}{64} (r_2^4 - r_1^4) \quad (4.1)$$

Onde:

- I é o momento de inércia de uma seção circular vazada.
- r_1 raio interno do tubo.
- r_2 raio externo do tubo.

A partir dessas informações podemos calcular a tensão máxima de flexão que a haste irá suportar pela (Equação 2.1), apresentada no capítulo 2. O momento máximo será calculado pela (Equação 4.2).

$$M = F * d \quad (4.2)$$

Onde:

- M é o momento de inércia da haste.
- F é a força peso (P).
- d o comprimento da haste.

Quando calculamos o momento resultante da força peso, deveremos realizar o somatório dos momentos, somando o momento concentrado gerado pelo peso da estrutura fixada da haste de base.

A partir dos cálculos chegamos a uma $\sigma_{m\acute{a}x} = 242,36$ MPa. Como está é a única tensão aplicada, ela também será a tensão principal (Equação 4.3). Ainda, se tratando de um material dúctil e uma análise estática, podemos igualar a tensão principal com a tensão equivalente de von Mises (σ'). Que é definida como a tensão de tração uniaxial que cria a mesma energia de distorção que a criada pela combinação de todas as tensões aplicadas (NORTON, 2013).

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \sigma_1 \quad (4.3)$$

$$\sigma_1 = \sigma' \quad (4.4)$$

Portanto quando a tensão de von Mises atingir o limite de escoamento uniaxial do material, haverá a deformação plástica, assim podemos comparar com a tensão

de escoamento do material (Equação 4.5), e se a tensão de von Mises for maior ou igual a tensão de escoamento do material, ele irá falhar.

$$\sigma' \geq S_y \quad (4.5)$$

Em geral a tensão de von Mises é apenas uma tensão reduzida de comparação, que serve para estimar se haverá escoamento do material devido aos carregamentos aplicados.

Assumindo estas hipóteses podemos utilizar a (Equação 4.6) de projeto, e encontrando o fator de segurança ideal para o projeto.

$$\sigma' = \frac{S_y}{n} \quad (4.6)$$

Resolvendo a equação chegamos em um fator de segurança de $n = 1,64$, para a tensão de escoamento do material SAE 1020 laminado a frio e $\sigma_{m\acute{a}x} = 242,36$ MPa.

Devemos calcular o deslocamento da haste, referente a deflexão que o peso da estrutura pode proporcionar a haste base. Para este calculo utilizamos a (Equação 4.7) e (Equação 4.8):

$$\theta = \frac{PL^2}{2EI} \quad (4.7)$$

$$\Delta = \frac{PL^3}{3EI} \quad (4.8)$$

Onde:

- θ ângulo de inclinação
- Δ deslocamento por flexão
- E módulo de elasticidade do material
- I momento de inércia
- L comprimento da haste
- P força aplicada

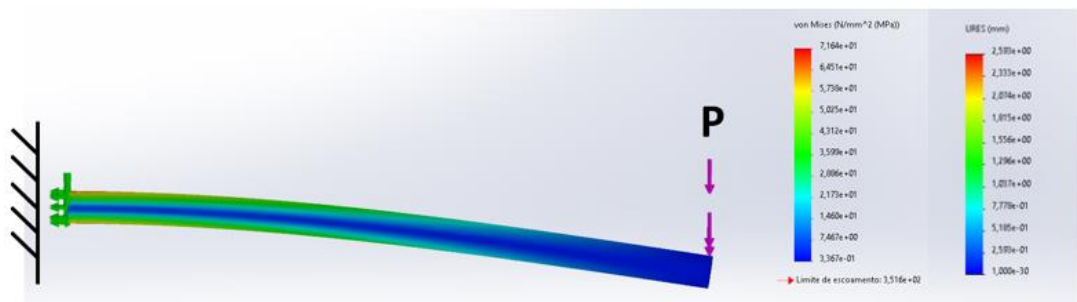
Aplicando as equações chegamos em um deslocamento de 0,00963 mm, com um ângulo de inclinação de 0,00012 mm, estes valores de deflexão são baixos e aceitáveis, não implicando no funcionamento do mecanismo, lembrando que não

foram considerados nos cálculos as cantoneiras de reforço, elas iram diminuir ainda mais o deslocamento do tubo.

Relacionado a tensão de escoamento do material com a tensão de von Mises, podemos notar a diferença entre elas assim respeitando a (Equação 4.5), esta diferença nos garante que o material não irá escoar. Além disso, podemos aumentar o nosso fator de segurança para $n = 2$, conforme as tratativas da (Figura 7) a fim de garantir a resistência do tubo caso o peso da estrutura aumente, em eventuais pontos adicionais de componentes a estrutura do braço de reação.

Assim, podemos concluir a análise da haste suporte do braço de reação, mas por garantia vamos apresentar as tensões de von Mises calculadas pelo SolidWorks® (Figura 28).

Figura 28 - Tensão resultante da base e deslocamento



Fonte: Autor (2022)

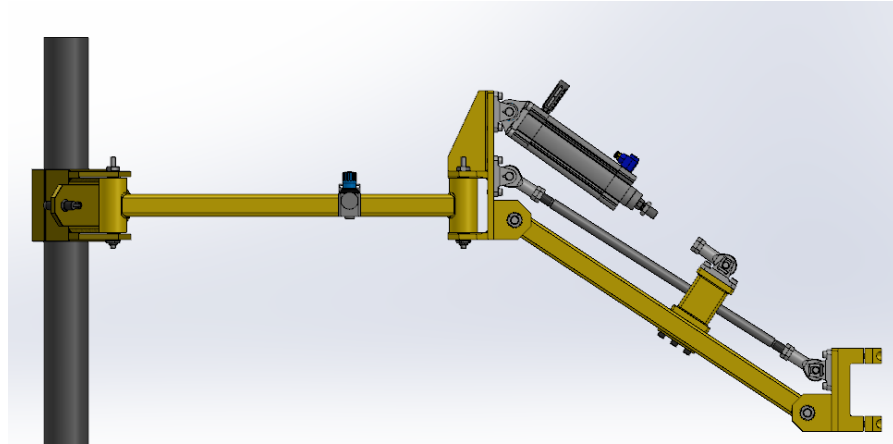
Podemos visualizar que a tensão de von Mises calculada é menor que a apresentada nos cálculos, isso é decorrente da hipótese atribuída da (Equação 4.4), pois a tensão calculada de von Mises a partir da definição completa da teoria da energia de cisalhamento, em cisalhamento puro além do deslocamento ficar dentro dos requisitos mínimos do projeto. Mas como a tensão diminuiu ainda continuamos com um projeto seguro.

4.2. PROJETO DAS HASTES

As hastes da estrutura têm como sua função abranger toda a área de atuação do mecanismo, e servir como base para a fixação dos demais componentes pneumáticos e de fixação. O projeto é composto de duas hastes, de geometria quadrada, com dimensões do tubo de 50x50 milímetros, com uma parede de 4,75

milímetros de espessura, medidas encontradas em catálogos que atendem as normas de fabricação, e um comprimento de 800 milímetros (Figura 29).

Figura 29 - Hastes de movimento

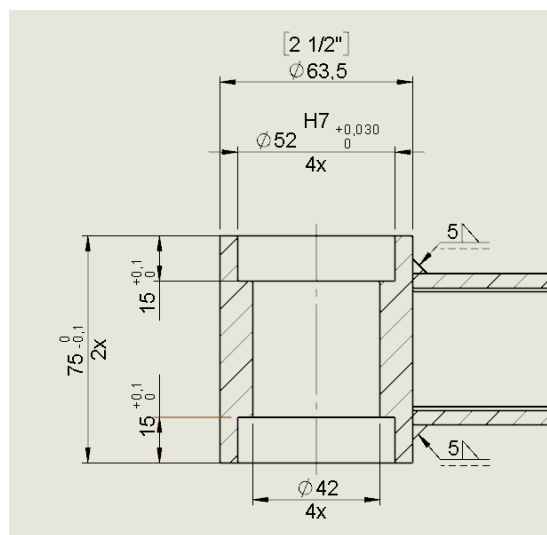


Fonte: Autor (2022)

Sua pintura usará a mesma técnica dos demais elementos do projeto, pintura pó amarelo MUNSELL 5Y 8/12. Esta cor é selecionada a partir dos requisitos da ABNT-NBR 7195, utilizada para identificar partes móveis e perigosas de máquinas e equipamentos.

Na extremidade das duas hastes será soldado uma peça usinada para acomodar os rolamentos (Figura 30), esta usinagem será de precisão, levando em consideração as tolerâncias do rolamento.

Figura 30 - Usinagem da extremidade das hastes

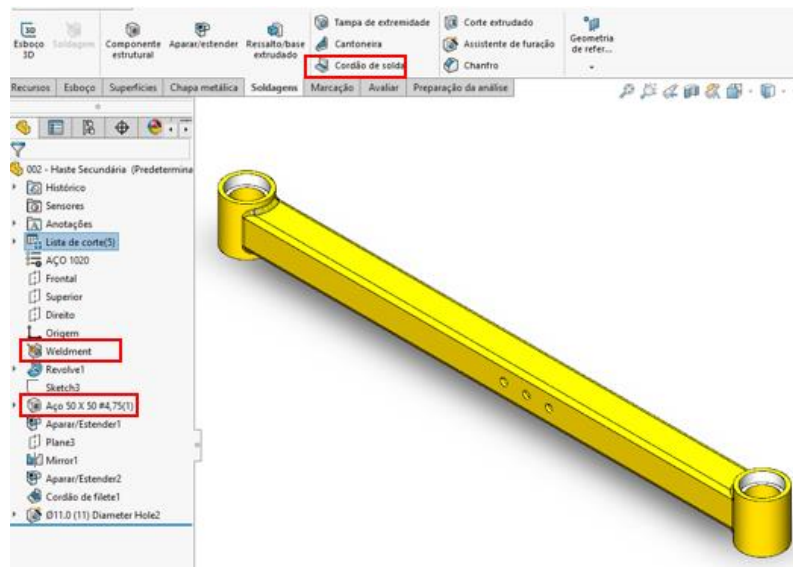


Fonte: Autor (2022)

O ajuste H7, adere o rolamento de rolos cônicos, conforme especificações do catálogo SKA, travando a sua carcaça externa e movimento apenas o seu centro. O ajuste demanda que o rolamento seja montado com o auxílio de um martelo, mas podendo ser desmontados futuramente sem danificá-lo.

Similar a haste de suporte sua construção no CAD foi realizada pelo método de estruturas soldadas, onde teremos três copos sólidos, mas apenas uma peça, possibilitando o uso do comando de cordão de solda (Figura 31).

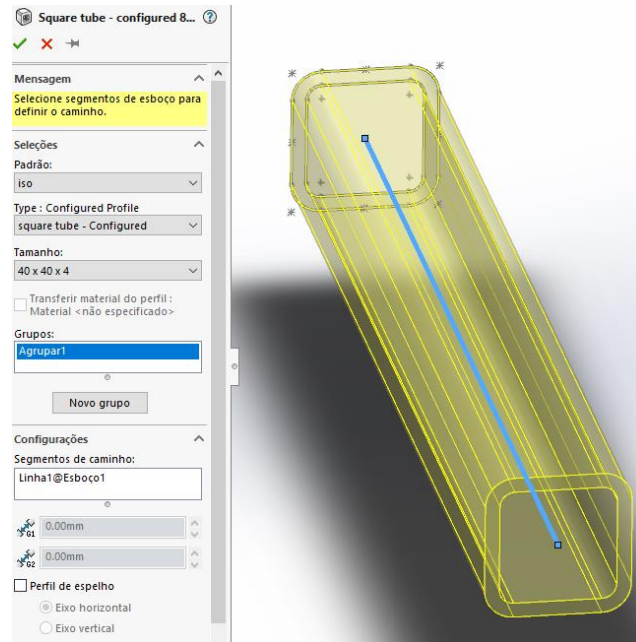
Figura 31 - Modelamento da haste



Fonte: Autor (2022)

Para a elaboração desta peça, foi utilizado um novo recurso do SolidWorks®, a biblioteca de tubos e perfis (Figura 32), esta biblioteca contém dimensões pré-definidas de tubos, e esboços prontos conforme detalhado no Capítulo 2.

Figura 32 - Criação do perfil quadrado



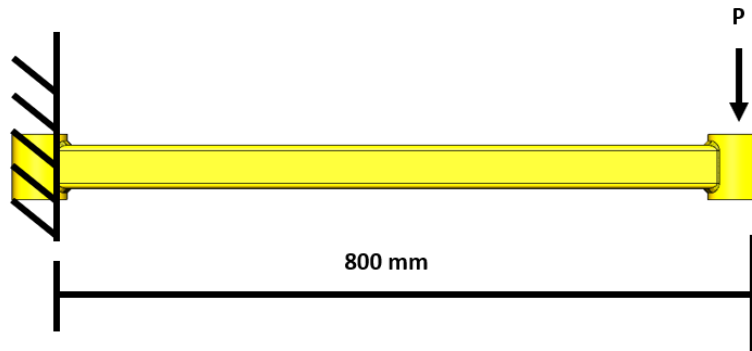
Fonte: Autor (2022)

A união do tubo com as peças será pelo processo de soldagem MIG, com filetes contínuos contornando todas as arestas, a espessura do cordão de solda será de 5 milímetros, garantindo um cordão resistente sem que a solda atravesse as paredes do tubo.

4.2.1. Análise estática

Para a análise estática seguiremos os mesmos passos do capítulo anterior, mas dessa vez será aplicado a um tubo de geometria quadrada de 800 milímetros de comprimento. Utilizaremos o material SAE 1020, conforme as propriedades já listadas. Adotaremos novamente a construção do diagrama de corpo livre da haste como uma viga engastada (Figura 33).

Figura 33 - DCL da haste



Fonte: Autor (2022)

Lembrando que são duas hastes, mas só é necessário calcular as reações na haste mais solicitada mecanicamente, sendo primeira haste, que suportará a maior quantidade de peso da estrutura. A partir dos dados coletados do SolidWorks®, é definido o peso total da estrutura e multiplicamos peça força da gravidade, assim encontramos uma força peso (P) de 657,33 N.

Com a força peso podemos calcular o momento máximo pela (Equação 4.2), e o cálculo do momento de inércia da seção do tubo utilizamos da (Equação 4.9).

$$I = \left(\frac{bh^3}{12} \right)_E - \left(\frac{bh^3}{12} \right)_I \quad (4.9)$$

Onde:

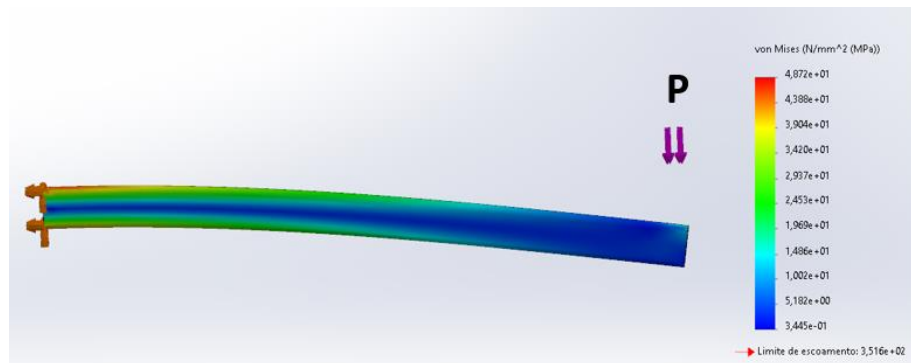
- b é a base do tubo.
- h altura do tubo.
- E medida externa do tubo.
- I medida interna do tubo.

Assim, utilizando a (Equação 2.1) chegamos no valor de $\sigma_{m\acute{a}x} = 153,76$ MPa, considerando as mesmas hipóteses do capítulo anterior, aplicamos a (Equação 4.3) e (Equação 4.4). Podemos analisar se a tensão de von Mises não ultrapassa a tensão de escoamento do material utilizando a (Equação 4.5), para uma tensão de escoamento do material SAE 1020 de 393 MPa. Portanto atendemos novamente a definição em que a tensão de von Mises não ultrapasse a tensão de escoamento, para que o a estrutura não falhe.

Para o fator de segurança, utilizando a tensão de von Mises na (equação 4.6), chegando em um fator de segurança $n = 2,55$. Neste caso chegamos a um fator de segurança maior que na análise da haste de suporte, com isso, vamos aumentar o fator de segurança do projeto para $n = 3$, atendendo as recomendações da (Figura 7), para projetos em que a modelagem representa aproximadamente o sistema real.

Concluindo o estudo, mas validar os cálculos simulando novamente a haste no SolidWorks®, e comparar os resultados dos cálculos com o resultado da simulação via *software* (Figura 34).

Figura 34 - Tensões resultantes da haste



Fonte: Autor (2022)

Chegamos novamente em uma diferença de tensão conforme o estudo anterior, chegou em uma tensão de von Mises de 48,72 MPa, metade da tensão calculada manualmente, resultado das hipóteses realizadas na simplificação para projeto da teoria da energia de cisalhamento.

Analisando esta simulação e a do capítulo anterior podemos pensar que o projeto está super dimensionado, e estamos utilizando de estruturas com diâmetros maiores que o necessário, pois as simulações, se aproximam mais a realidade do projeto.

Porém, é de grande importância ressaltar que este projeto está apenas analisando os componentes de forma estática, não estamos levando em consideração as tensões de deflexão, o quanto a combinação dos elementos estruturais irá se deformar.

Estas deflexões podem causar interferência entre as partes móveis, montagem dos componentes e um desalinhamento, assim, prejudicando na movimentação e na precisão do mecanismo (NORTON, 2013).

Outro requisito não avaliado seria as tensões nos cordões de solda, resultante da flexão da peça, além de um estudo sobre as possíveis tensões residuais encontradas nas soldas.

Portanto, quando elevamos o nosso fator de segurança do projeto para 3, não e mantemos uma estrutura mais robusta, com cordões de solda na espessura máxima resistida pela parede dos tubos, estamos minimizando que possíveis falhas não estudadas possam ocorrer.

4.3. DIMENCIONAMENTO DOS EIXOS

Os eixos do projeto têm a função da movimentação da estrutura tanto na vertical quanto na horizontal, eles terão que suportar os esforços de forma a evitar falhas provenientes das tensões axiais existentes do peso da estrutura, que podem resultar na quebra ou empenamento do eixo.

Para a realização da análise estática devemos fazer algumas considerações. O eixo não sofrera com um torque alto, o seu movimento será suave e baixas velocidades, e não serão empregados movimentos completos de giro (360°), assim, não será necessário considerar o torque e podemos realizar o estudo como uma peça estática.

Assim, para dar o início da nossa análise devemos conhecer os esforços máximos aplicados no eixo, momento máximo e força máxima. Deste modo, o momento máximo aplicado, será considerado o maior peso concentrado no eixo, dividido em dois pontos de apoio, um em cada rolamento. O peso que equivale os componentes suportados pelo eixo é 35 Kg, para uma distância entre rolamentos de 132 milímetros, assim chegamos no valor de 22661.1 N.mm.

Para o projeto serão dimensionados dois tamanhos de eixo, destes, dois serão responsáveis para a movimentação horizontal da haste primária, e mais dois na haste secundária para o deslocamento vertical do mecanismo.

Seu comprimento inicial é definido em função da largura dos acoplamentos projetados para fixar a estrutura, e contendo uma ponta roscada, com comprimento suficiente para o seu travamento com as porcas KM e arruelas aranhas.

O material utilizado será o SAE 1045 laminado a frio, será adotado os dados da (Figura 35).

Figura 35 - Propriedade mecânica do aço 0145

Número SAE / AISI	Condição	Resistência de escoamento em tração (0,2% de deformação)		Resistência máxima em tração		Elongação do corpo de ensaio de 2 in	Dureza Brinell
		kpsi	MPa	kpsi	MPa	(%)	-HB
1045	laminado a quente	45	310	82	565	16	163
	laminado a frio	77	531	91	627	12	179

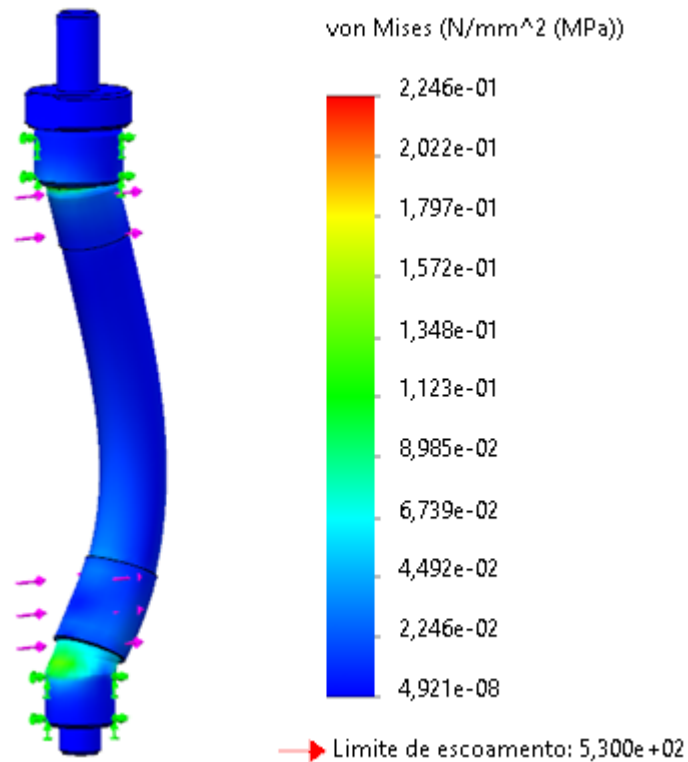
Fonte: Norton (2013, p. 992)

Assim, definimos todos os parâmetros necessários para avaliar o diâmetro necessário do eixo para suportar as cargas aplicadas, foram simulados diâmetros entre 15 e 25 milímetros, analisando as tensões de Von mises, e comparando com o escoamento do material.

Levando em consideração os mesmos critérios de avaliação dos capítulos passados, podemos definir o diâmetro do eixo em 20 mm, com o intuito de facilitar a seleção do rolamento e porcas KM, utilizando diâmetros catalogados e encontrados em prateleira.

Para que se possa reforçar a garantia dos valores encontrados, será realizado uma simulação no SolidWorks®, com o intuito da validação dos resultados. Estes são apenas valores qualitativos, ou seja, indicam somente a distribuição das tensões e a localização das tensões máximas. Aplicando as considerações iniciais do projeto obtemos os resultados da simulação conforme a (Figura 36).

Figura 36 - Tensões resultantes do eixo



Fonte: Autor (2022).

De acordo com os resultados obtidos, os maiores esforços gerados estão nos sulcos de alívio, usinados a partir do assento dos rolamentos, esta região se caracteriza na mudança de cor, pois, é aonde localizam-se os maiores concentradores de tensão. As demais áreas do eixo demonstram esforços muito abaixo para gerar qualquer falha estrutural.

Mesmo aplicando esforços com o dobro do real, essas regiões ainda estão distantes do limite de resistência de escoamento, representando o correto dimensionamento e apontando para uma vida infinita.

4.4. SELEÇÃO DOS ROLAMENTOS

Os rolamentos serão responsáveis pelo movimento entre as partes da estrutura, além de, resistirem as cargas radiais e axiais resultantes da geometria e do deslocamento do mecanismo. O dimensionamento de um rolamento se inicia a partir de sua aplicação, desempenho necessário e condições operacionais. A fim, de um

dimensionamento mais eficiente vamos basear a escolha do rolamento a partir do catálogo SKF (2015).

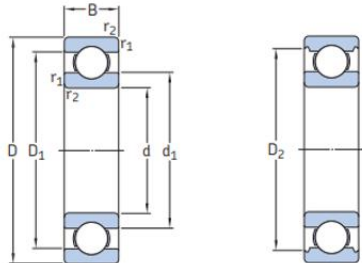
Com o projeto do eixo e acoplamentos já definidos, podemos fazer uma simples análise e visualizar as cargas solicitadas, o movimento gerado pela estrutura resultará em cargas axiais e radiais, além disso, a natureza do projeto não demanda de altas velocidades, elevada temperatura, precisão e características geométricas que definem um processo específico de montagem.

A partir, destas características podemos direcionar a escolha para um rolamento rígido de uma carreira de esferas, vedado e auto lubrificante. O diâmetro dos eixos foi definido em 20mm, a partir, dessa tipologia é possível obter a carga dinâmica C básica do rolamento, que é encontrada pelos testes realizados nos fabricantes. Com todas estas características definidas podemos calcular a vida em fadiga para os rolamentos a partir da (Equação 4.10).

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 \quad (4.10)$$

Onde, P é a carga dinâmica atuante no rolamento e L_{10} expressa a vida em milhões de revolução. A partir da equação podemos selecionar o rolamento da (Figura 37). Com diâmetro externo de 52 milímetro e interno de 20.

Figura 37 - Rolamento de esferas



Dimensões principais			Classificações básicas de carga		Limite de carga de fadiga P_u	Classificações de velocidade		Massa	Designação
d	D	B	dinâmica C	estática C_0		Velocidade de referência	Velocidade-limite		
mm			kN		kN	r/min		kg	-
20	32	7	4,03	2,32	0,104	45 000	28 000	0,018	61804
	37	9	6,37	3,65	0,156	43 000	26 000	0,037	61904
	42	8	7,28	4,05	0,173	38 000	24 000	0,05	* 16004
	42	12	9,95	5	0,212	38 000	24 000	0,067	* 6004
	47	14	13,5	6,55	0,28	32 000	20 000	0,11	* 6204
	47	14	15,6	7,65	0,325	32 000	20 000	0,098	6204 ETN9
	52	15	16,8	7,8	0,335	30 000	19 000	0,14	* 6304
	52	15	18,2	9	0,38	30 000	19 000	0,14	6304 ETN9
	72	19	30,7	15	0,64	24 000	15 000	0,41	6404

Fonte: SKF (2015, p. 324)

4.5. DIMENCIOANAMENTO DO SISTEMA PENUMÁTICO

O sistema pneumático do braço de reação exerce a principal função do mecanismo, assim, seus componentes pneumáticos tem o trabalho de gerar um equilíbrio estático para estrutura, utilizando de um cilindro como uma haste móvel para o deslocamento da ferramenta/garra até a bancada de trabalho.

Quando estamos com a estrutura em repouso, o cilindro está na posição de recuo, a pressão do ar está entrando no orifício frontal do cilindro, mantendo a haste recolhido e a estrutura estável. Para que este equilíbrio seja constante, utilizamos de uma válvula reguladora de pressão de precisão, este elemento permite ajustar a pressão do ar no sistema de forma precisa, podendo ser regulada de 0,05 a 8 bar de pressão, dependendo do seu modelo, além disso, ela pode manter a pressão do ar constante em sua aplicação independentemente da variação de pressão na linha.

Para o dimensionamento e escolha destes elementos pneumáticos e seus acessórios, foi realizado uma pesquisa a partir dos componentes disponíveis pelo fabricante FESTO.

Realizando a principal função do sistema pneumático, o cilindro exerce trabalho na posição de retorno, assim, fazendo necessário a escolha por um cilindro de dupla ação, que tem como a principal característica exercer trabalho no avanço e no retorno do pistão, com isso, sua construção possui duas entradas/saídas de ar comprimido conforme a (Figura 38).

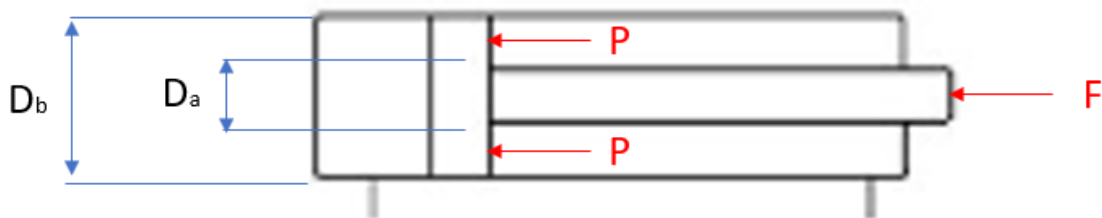
Figura 38 - Cilindro de dupla ação FESTO



Como primeiro critério, utilizado para selecionar as demais características do cilindro, será o tamanho da haste, ou o seu avanço de atuação que deve estar entre 150 e 160 milímetros, para que sua movimentação consiga levantar a peça da bancada de trabalho ou movimentar a ferramenta, possibilitando movê-las para outra posição de trabalho.

O próximo critério a ser definido é a força que o cilindro desempenhará na sua extremidade da haste. A (Figura 39), representa o diagrama de corpo livre de um cilindro pneumático de dupla ação em retorno.

Figura 39 - DCL cilindro dupla ação



Fonte: Autor (2022)

A força F que o cilindro desempenha pode ser calculada a partir da (Equação 4.11), onde a área do embolo A , está em milímetros quadrados e a pressão P em bar.

$$F = \frac{P * A}{10} \quad (4.11)$$

O cálculo da área do cilindro, é calculada pela (Equação 4.12), que se aplica a cilindros de dupla ação em movimento de retorno.

$$A = \frac{\pi(D_b^2 - D_a^2)}{4} \quad (4.12)$$

A (Figura 40), fornecida pelo fabricante FESTO, nos mostra as forças teóricas de retorno para diferentes diâmetros de pistão a partir de uma pressão teórica de 6 bar, utilizando das equações representadas acima para calcular. Deste modo, vamos calcular a força máxima exercida no cilindro, e assim, poder selecionar o diâmetro do pistão.

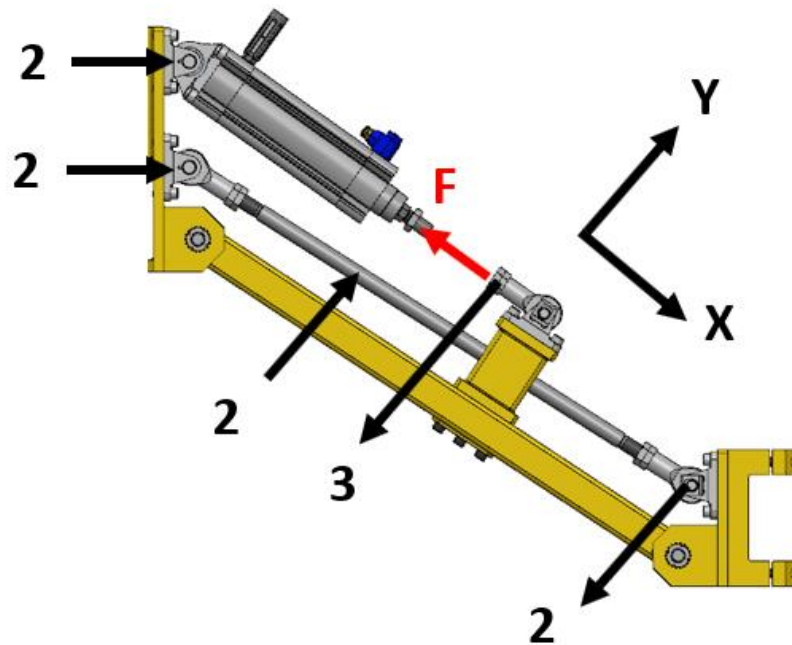
Figura 40 - Forças de cilindros DSBC

Forces [N] and impact energy [J]							
Piston diameter	32	40	50	63	80	100	125
Theoretical force at 6 bar, advancing	483	754	1178	1870	3016	4712	7363
Theoretical force at 6 bar, retracting	415	633	990	1682	2721	4418	6881
Max. impact energy in the end positions							
DSBC...	0.4 ¹⁾	0.7	1.0	1.3	1.8	2.5	3.3
DSBC...-L/-U/-T1/-T3/-T4	0.2 ¹⁾	0.35	0.5	0.65	0.9	1.25	1.65
DSBC...-L1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.9	1.25	1.65

Fonte: Festo (2022)

A força F aplicada na articulação esférica (1), (Figura 41), está relacionada a força que o cilindro deverá desempenhar na sua retração mantendo a estrutura em equilíbrio, o cilindro será fixado em flanges articuladas (2), a fim de absorverem as variações de montagem do mecanismo, e posicionar o cilindro paralelo a haste estabilizadora com regulagem (3), que através das suas pontas roscadas conseguimos definir o ângulo da parte frontal do mecanismo onde será posicionado a ferramenta.

Figura 41 - DCL sistema pneumático



Fonte: Autor 2022.

Para o cálculo da força F , vamos considerar primeiramente algumas hipóteses, a fim de simplificar o estudo, não será realizado o cálculo passo a passo das relações de transmissão do mecanismo, pois, na prática o cilindro sempre terá

uma atuação linear, resultado das flanges articuladas, mas a transmissão da força da articulação esférica (1), para o restante do mecanismo não será de forma linear.

Devemos adicionar somar a força (F), a força peso que estará agindo no elo (2) resultante do momento aplicado na junta esférica do conjunto de fixação da garra, assim, além da força peso da estrutura, vamos ter uma força de 675 N.

A fim de minimizar este erro de dimensionamento do cilindro, iremos considerar um fator de multiplicação da força F , de mais 50% da força resultante, portanto, o resultado do peso da estrutura, multiplicado pela força da gravidade, chegamos em uma força $F = 2245$ N, que está aplicada no centro de massa de todo o conjunto movimentado pelo cilindro.

Portanto, o cilindro selecionado deve ser capaz de movimentar esta força no seu sentido de retorno, além disso, o modelo selecionado deve possibilitar um ajuste adequado de pressão. A partir dos modelos fornecidos pelo fabricante da FESTO, o modelo mais adequado para o mecanismo proposto, considerando todos os aspectos apresentados deste capítulo selecionamos o cilindro DSBC-L-80-160-PPVA-N3, com o diâmetro do embolo de 80 milímetros, curso de 160 milímetros, e uma força de retração de 2721 N. A utilização deste cilindro atende os requisitos do projeto podendo movimentar uma ferramenta de até 15 Kg, sem exceder a força máxima do cilindro.

Como descrito anteriormente também será necessário a utilização de uma válvula reguladora de pressão de precisão, esta válvula permite o ajuste de pressão adequado para aplicações sensíveis, tanto em um sistema estático ou dinâmico, conseguindo entregar rápidas respostas nas mudanças de operação, pressão e vazão. Será utilizado uma reguladora do modelo LRP-1_4-4 (Figura 42), este modelo tem uma precisão de regulagem de 0,05 a 4 bar, com esse ajuste cobriremos as pressões necessárias para todas as aplicações do projeto.

Figura 42 - Válvula reguladora de pressão de precisão



Fonte: Festo (2022).

Considerando os diferentes casos possíveis a serem aplicados no projeto apresentados na (Tabela 1), como a força peso. Podemos calcular quais são as pressões necessárias para criar o equilíbrio da estrutura para as diferentes forças, assim, representando diversas aplicações do braço de reação dentro do limite de força máxima calculado no dimensionamento do cilindro. Para isso, vamos utilizar novamente a (Equação 4.11), isolando a força F , variando a pressão e utilizando a mesma área.

Tabela 1 - Relação Peso x Pressão

Força Peso (Estrutura + Peça) (N)	Pressão necessária (Bar)
500	1,1
750	1,7
1000	2,2
1250	2,8
1570	3,5

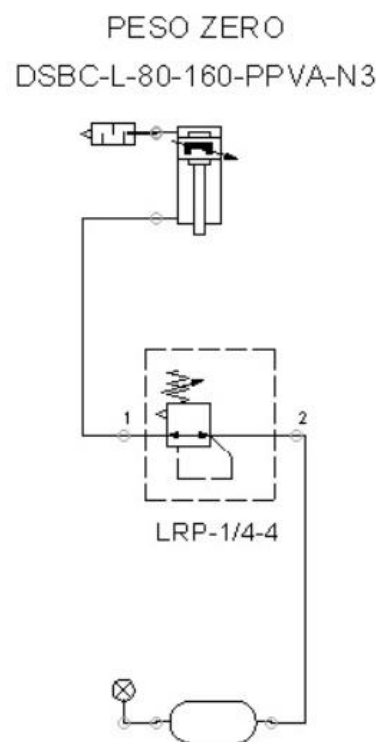
Fonte: Autor (2022)

Com isso, obtemos diferentes níveis de pressão para cada força requerida, como estamos utilizando a nossa válvula reguladora de pressão de precisão, conseguimos encontrar facilmente o ponto de equilíbrio do nosso braço de reação, um ajuste mais fino será necessário em uma aplicação real, pois, o cálculo das forças não representa fielmente a realidade.

Complementando todo o nosso sistema pneumático vamos necessitar de mais alguns itens, também encontrados no fornecedor FESTO. Estes itens serão um silenciador U-3/8, para liberar a pressão excessiva no cilindro no momento que a estrutura será movimentada. Uma conexão rápida roscada QS-3/8-10, para o cilindro, além de, mangueiras 8 milímetros para todo o sistema.

Após a seleção de todos os componentes podemos desenvolver o diagrama pneumático do sistema, representando todos o seu funcionamento, lembrando que a (Figura 43), representa apenas o braço de reação, para a sua instalação na indústria se torna necessário um estudo completo do sistema de ar, contendo unidades de tratamento e painel de válvulas para o controle.

Figura 43 - Diagrama pneumático braço de reação



Fonte: Autor (2022).

4.6. COMPONENTES DE FIXAÇÃO

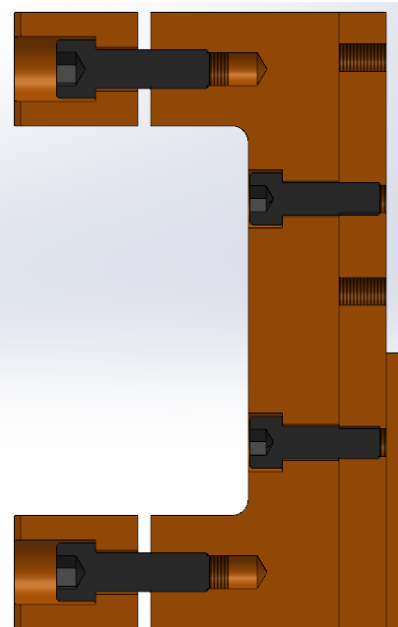
A seleção dos componentes de fixação, terão como premissa a padronização a partir da norma ISO para roscas métricas, o tipo e geometria de cada elemento de fixação será escolhida a partir dos itens comumente encontrados no mercado, modo

construtivo do mecanismo e espaço para a fixação. Com o intuito de garantir a qualidade, será exigido que sua fabricação atenda a norma DIN.

A finalidade dos elementos de fixação neste projeto, são de criar uniões provisórias e desmontáveis, ou seja, permitindo a montagem e desmontagem com facilidade sem danificar outros componentes. O parafuso é formado por um corpo cilíndrico roscado e por uma cabeça que pode ser hexagonal, sextavada, redonda ou formas especiais. Em geral, parafusos são fabricados em aço de baixo e médio teor de carbono, por meio de conformação ou usinagem, além de, receberem tratamentos superficiais como a galvanização, niquelagem, oxidação.

Os modos de união neste projeto, são basicamente casos simples, como parafusos sem porca ou não passante, são casos que não a espaço ou necessidade de haver uma porca, assim, é substituído por um furo roscado em uma das peças, realizando a união com a passagem do parafuso por um furo passante na primeira peça e o travamento na segunda peça por um furo roscado, conforme o exemplo da (Figura 44).

Figura 44 - Tipos de furação




Fonte: Autor (2022).

Pensando em evitar colisões durante a movimentação da estrutura a geometria dos furos foram projetadas com rebaixos para parafusos Allen, especificamente parafusos DIN 912 (parafuso de cabeça cilíndrica com sextavado

interno), ou DIN EN ISO 4762, estes são fabricados com aço de alta resistência a tração e submetidos a tratamento térmico após a conformação. A sua cabeça cilíndrica possui um furo hexagonal para o aperto, normalmente utilizados sem o uso de porcas para o aperto, onde sua cabeça é acomodada num rebaixo da peça fixada. Suas dimensões construtivas são variadas (Figura 45), atendendo a todos os requisitos do projeto.

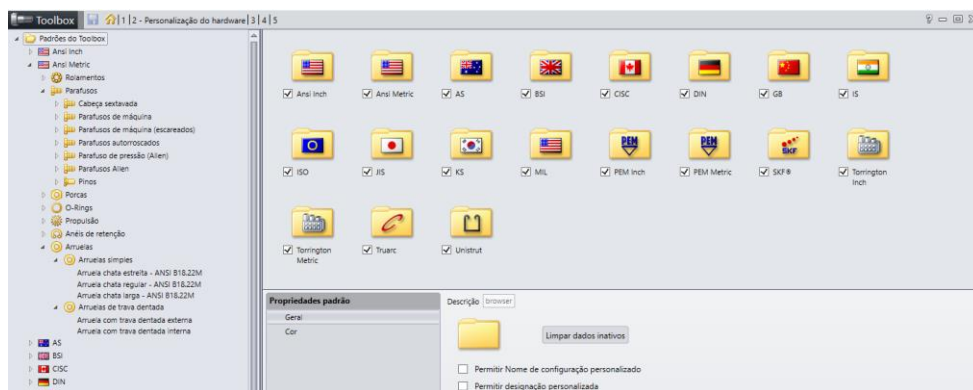
Figura 45 - Características parafusos DIN 912

Parafusos cabeça cilíndrica			
	com sextavado interno, rosca normal	M1,6 ... M64	DIN EN ISO 4762
	com sextavado interno, rosca fina	M8x1 ... M64x4	DIN EN ISO 21269
	com sextavado interno, cabeça baixa	M3 ... M24	DIN 7984

Fonte: Fischer et al. (2008, p. 209)

Conhecendo as características dos parafusos conforme exemplificado acima, não se tornou necessário o projeto destes elementos, assim, foi utilizado a biblioteca padrão do SolidWorks®, denominada de *ToolBox* (Figura 46).

Figura 46 - Biblioteca Toolbox



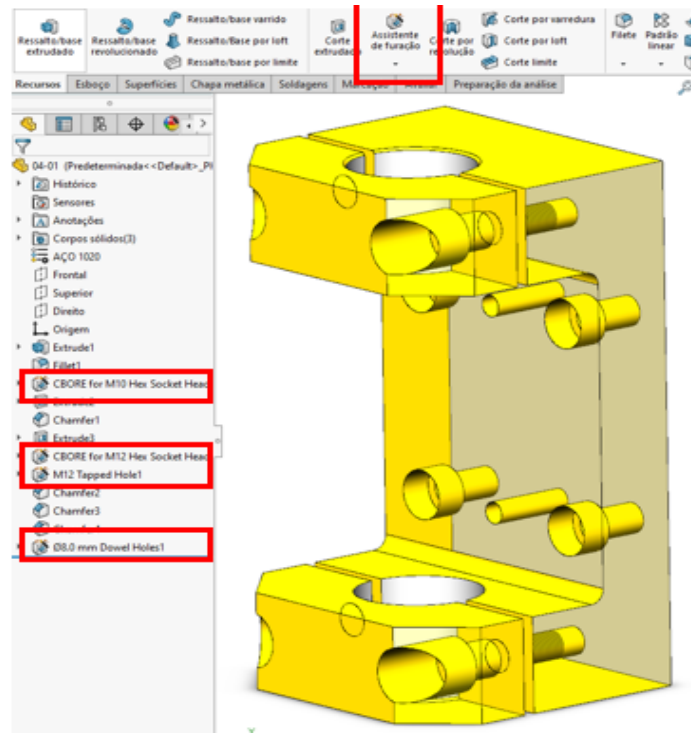
Fonte: Autor (2022).

Na biblioteca padrão do SolidWorks®, pode-se encontrar inúmeras normas para elementos de fixação, devemos tomar o cuidado e utilizar apenas componentes que se encontram no mercado nacional.

Outra ferramenta designada pela *ToolBox*, é o assistente de furação (Figura 47), esta ferramenta permite a criação dos furos, conforme as normas DIN, estas

ferramentas trabalham juntas com o intuito de facilitar o desenvolvimento do projeto, auxiliando o projetista a não realizar um furo diferente do parafuso dimensionado.

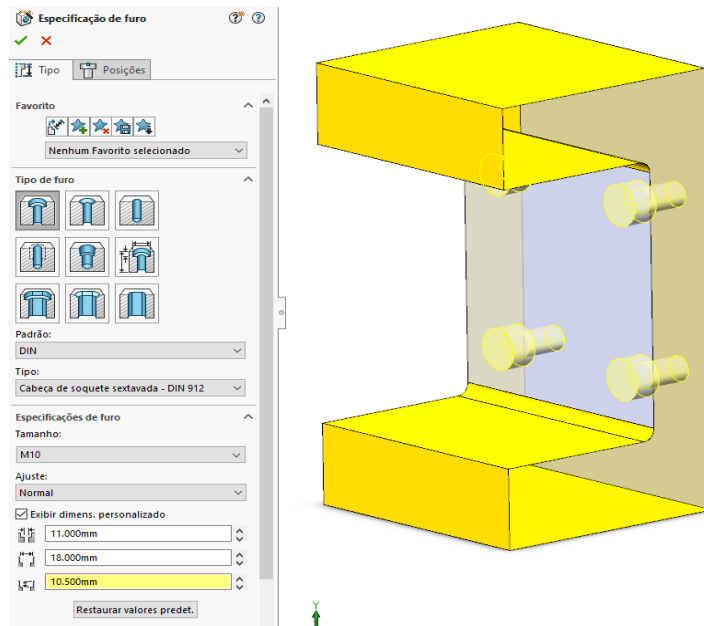
Figura 47 - Ferramenta assistente de furação



Fonte: Autor (2022).

Utilizando o recurso podemos executar de forma prática uma furação (Figura 48), selecionando o modelo do parafuso, e as dimensões de profundidade, rebaixo de cabeça e ajuste de folga.

Figura 48 - Configuração de furo

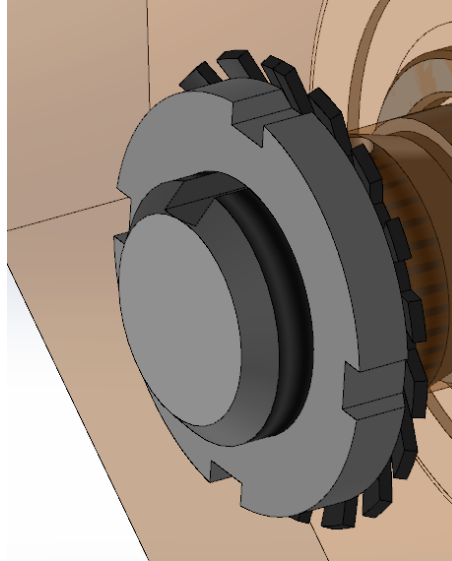


Fonte: Autor (2022).

Outros componentes do projeto são as porcas e arruelas, elementos de fixação com inúmeras variedades de modelo no mercado, cada uma com sua aplicação e geometria específica. Neste projeto vamos utilizar porcas KM (redonda com ranhuras), estas porcas tem a finalidade de um travamento axial, comumente aplicadas para cargas reduzidas, fixação de mancais de rolamento, com regulagem da folga. Possuem rosca métrica, e quatro ranhuras igualmente espaçadas ao seu redor para suportar o aperto por uma chave de impacto.

Visando evitar o afrouxamento da porca, será adicionado uma arruela de travamento, do tipo MB (aranha), este modelo tem um formato cônico, que ao ser pressionada pela porca, exerce uma pressão contrária ao sentido de aperto, travando a porca, assim evitando o seu afrouxamento ocasionado pelas vibrações do mecanismo. Para evitar que a arruela gire, no seu anel interno á um ressalto que será encaixado no eixo (Figura 49).

Figura 49 - Travamento Porca KM e Arruela MB



Fonte: Autor (2022).

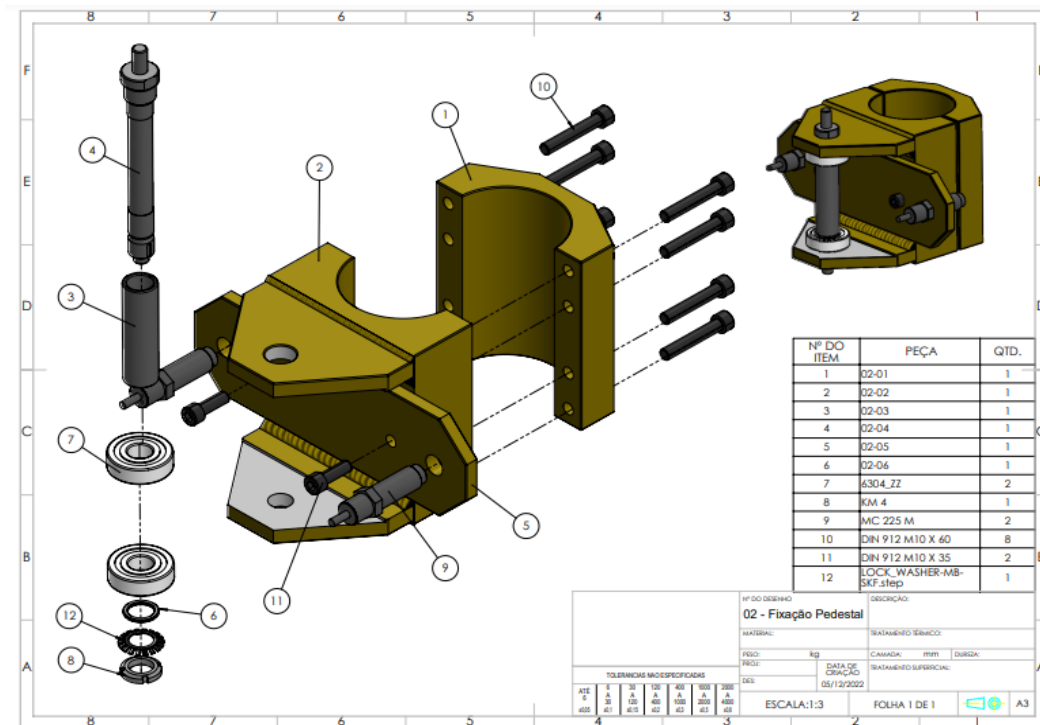
4.7. MONTAGEM DOS COMPONENTES

Otimizando o projeto e pensando em diminuir os custos com os processos de fabricação, alguns componentes comerciais foram selecionados a partir do fabricante FESTO. Dentre eles, a flange oscilante SNC-80 e a articulação esférica SGS-M10x1,25, como citadas anteriormente, possuem a capacidade de rotacionar os elementos fixados, exercer a função de regular a posição do cilindro, o ângulo da base de fixação da ferramenta através da haste de aço. Foram selecionados dois amortecedores industriais MC 225 M, do fabricante OBR, estes componentes possuem uma vida de mais de dois milhões de ciclos, com a função de limitar o raio de giro da estrutura principal.

As peças desenvolvidas para a fixação destes componentes e os demais necessários para o funcionamento do mecanismo, foram projetados com o aço SAE 1020, com uma junção de peças soldadas e usinadas, ou processo de caldeiraria como é conhecido na indústria, com a vantagem de ser mais barato que a completa usinagem de blocos sólidos.

A (Figura 50), é a peça com a função de regular a altura que o braço de reação ficará da bancada de trabalho, além, de se conectar com a haste primária e comportar os amortecedores.

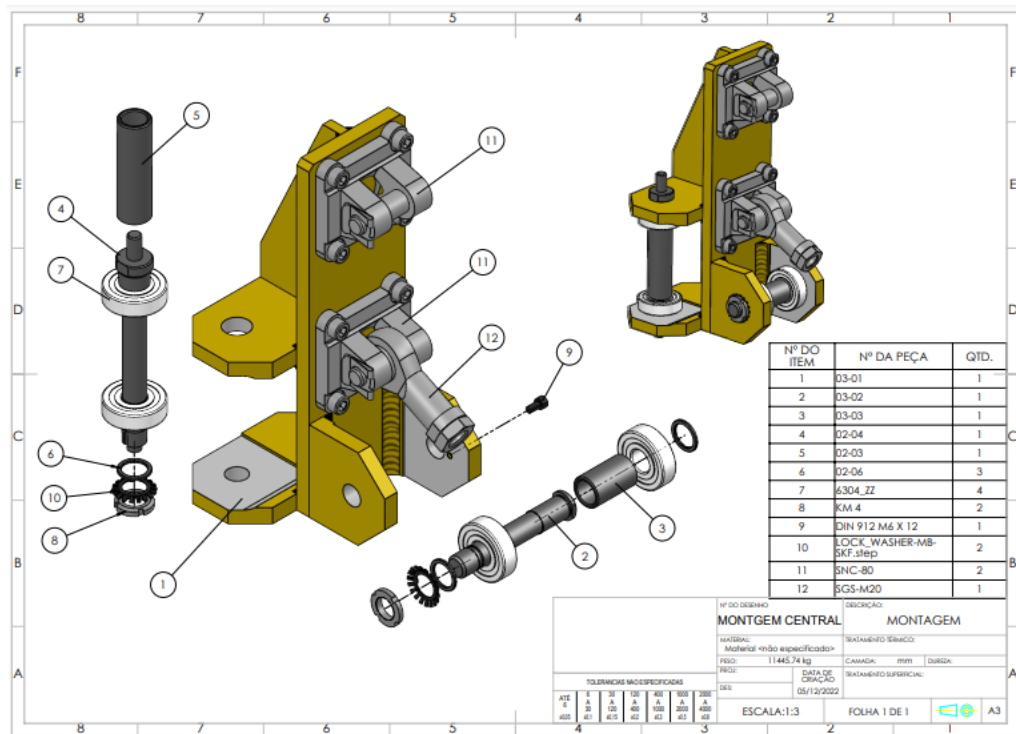
Figura 50 - Montagem fixação do pedestal



Fonte: Autor (2022).

O componente central do mecanismo terá a maior quantidade de elementos fixados em seu corpo, sua principal característica é alterar o sentido do movimento da estrutura, a haste primária exerce um movimento longitudinal, já a haste secundária tem o deslocamento vertical, assim, a peça foi construída com abas em direções opostas conforme a (Figura 51), com isto, conseguindo realizar esta mudança de movimento do mecanismo quando operado.

Figura 51 - Montagem centro de giro

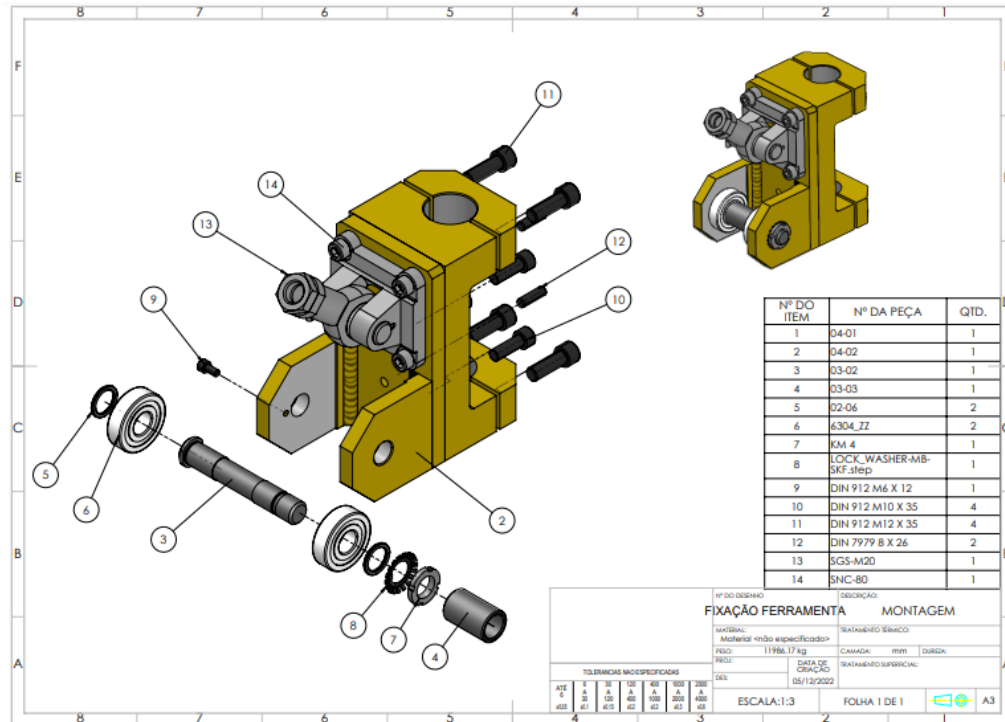


Fonte: Autor (2022).

Estes modos de movimento da estrutura atendem a muitas aplicações na indústria, desde que o mecanismo não precise entregar uma precisão exata como um robô industrial consegue atingir.

A peça que nomeamos como fixador da ferramenta (Figura 52), tem uma construção mecânica similar a peça que fixa a base com a haste primária, mas não sendo necessário tanta robustez, pois, a ferramenta não será tão pesada quanto toda a estrutura.

Figura 52 - Montagem fixação da ferramenta



Fonte: Autor (2022).

4.8. PROJETO FINAL

Assim, finalizamos o detalhamento e a descrição das funcionalidades de cada componente do nosso braço de reação. Além, das características geométricas, as tolerâncias construtivas, tolerâncias geométricas, geometria do cordão de solda e tipo de furações, poderá ser vista no (Apêndice A), que contém os desenhos técnicos 2D de todas as peças, lista de matérias completa, com os itens comerciais e as respectivas quantidades.

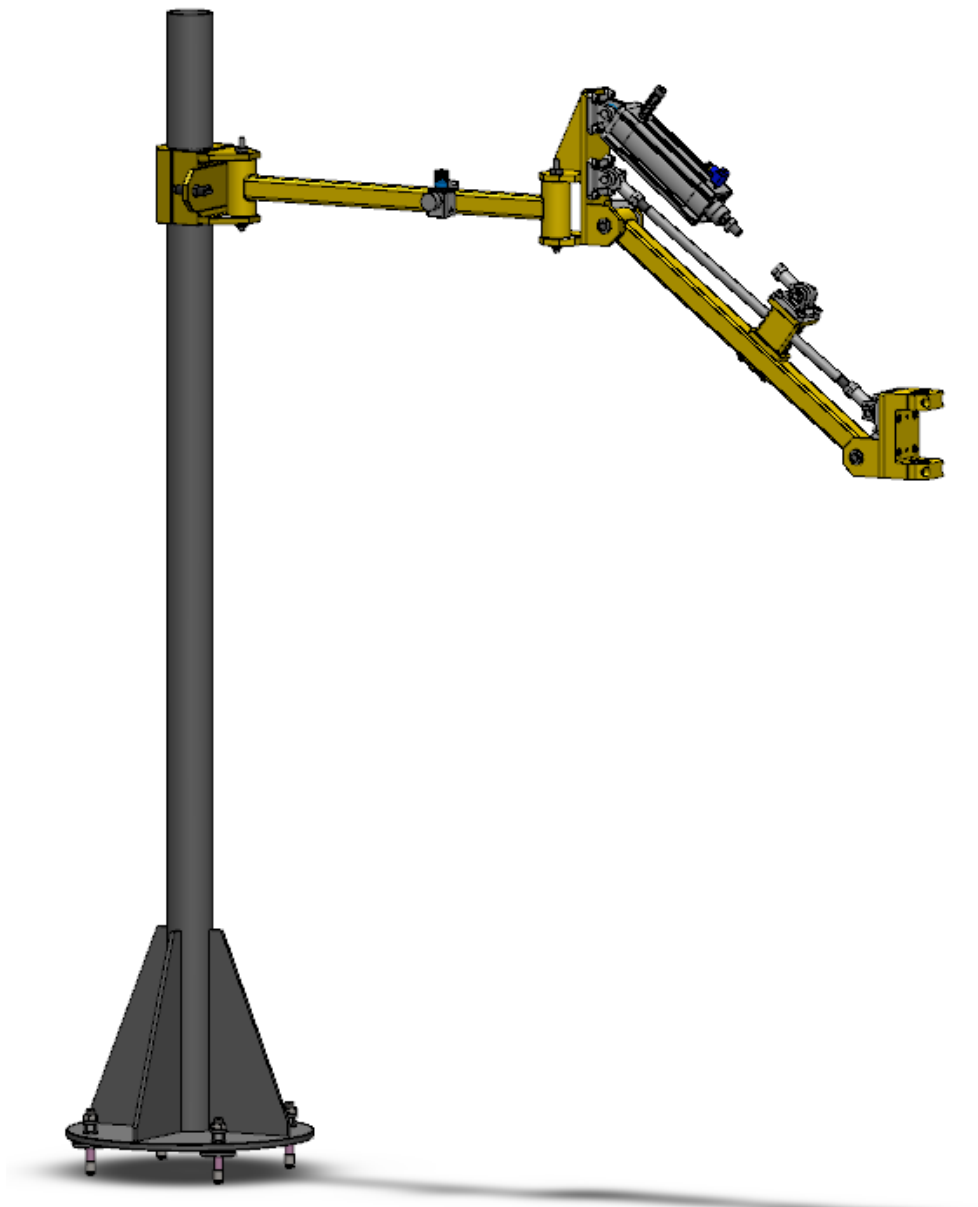
Os desenhos técnicos atendem todas as normas técnicas conforme a ABNT NBR 10647, que tem o objetivo de definir a nomenclatura, tipos de desenho, grau de elaboração, pormenorização, material utilizado, técnica de execução em um projeto mecânico, podendo ser interpretado por qualquer pessoa. Atentando-se sempre em deixar o mais claro possíveis as informações para não surgir dúvidas nos processos de fabricação.

Além disso, conterá no (Apêndice A), os desenhos com o procedimento de montagem, sequência de montagem dos elementos e as demais informações necessárias para sua construção.

Portanto, com a montagem do nosso braço de reação (Figura 53), conseguimos avaliar se os requisitos apresentados na definição de mecanismo foram atendidos. Onde, todas as peças se encaixaram sem colisões e interferências, além, dos movimentos desejados serão alcançados.

O funcionamento mecânico do sistema pneumático só pode ser testado se fosse possível representa-lo fisicamente, mas considerando que os cálculos do dimensionando dos componentes estão corretos, a estrutura será capaz de se movimentar atendendo o conceito de peso zero.

Figura 53 - Braço de Reação



Fonte: Autor (2022)

5. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como desafio elaborar um projeto mecânico exemplificando cada passo do seu desenvolvimento, foram apresentados conceitos teóricos focados na construção de mecanismos, estruturas móveis do tipo rígida, se movimentado por juntas simples de revolução ou pinadas, estudando as tensões estática destes elementos. Representando a sua construção utilizando a ferramenta de projeto SolidWorks®, com o dimensionamento dos componentes pneumáticos que realizam a função do projeto braço de reação.

O trabalho concretiza o correto dimensionamento dos elementos, aplicando os conceitos de deformação por flexão nos elementos de maior solicitação, analisando o efeito da maior tensão normal agindo na peça, tratando de um material dúctil, e relacionamos estes esforços com a tensão equivalente de von Mises. A partir, desta tensão, pode-se comparar com a tensão de escoamento do material da peça estudada, para então verificar se haverá o escoamento do material, se a deformação plástica for atingida. Assim, foi possível notar que os tubos estruturais estavam superdimensionados, mesmo aplicando um fator de segurança conservador, o limite de escoamento do material comparado com o do projeto estava muito distante.

Com isso pode-se utilizar de tubos com paredes menores, assim, reduzindo o custo com matéria prima, e reduzindo significativamente o peso da estrutura. E podendo utilizar um cilindro pneumático menos robusto.

Além das peças estruturais, os eixos foram elementos que se mostraram como críticos no projeto, sofrendo com as forças de flexão. Para minimizar possíveis falhas, os eixos do projeto foram dimensionados com uma análise estática. Assim, conseguimos encontrar um diâmetro mínimo e construir os eixos do projeto analisando todos as variáveis que possivelmente poderiam gerar uma falha, empenando o eixo e afetando o funcionamento do mecanismo, que irá se movimentar com o uso de rolamentos de esferas.

Se mostrou muito eficaz a validação com as simulações estáticas no SolidWorks®, os resultados gerados pelo *software*, ficaram muito próximos aos obtidos manualmente, podendo ser utilizado com uma prova real do estudo.

A função do sistema pneumático de gerar o peso zero para a estrutura foi atingido, o dimensionamento dos elementos pneumático representou a seleção de componentes um a um, possibilitando uma compra futura e montagem do projeto. Além, do seu funcionamento ser simulado.

A ferramenta de projeto SolidWorks®, foi primordial em todo o projeto, sua combinação de ferramentas de modelagem e detalhamento na elaboração de projetos mecânicos facilitou a construção das peças e desenhos técnicos, a sua interface de intuitiva entregou um projeto detalhado de fácil compreensão.

Infelizmente o projeto não pode ser fabricado fisicamente, mas a criação do manual de fabricação e montagem, atende a todas as normas técnicas, sendo possível a sua fabricação em todo território nacional. Os desenhos montagem orientam montadores mecânicos e listam os componentes comercial para a compra.

Como sugestão para trabalhos futuros podemos realizar a precificação do projeto, utilizando do benchmark para comparar fornecedores de qualidade como a FESTO, e também dimensionar uma ferramenta ou garra para operação do braço, caso seja possível, fabricar todos as peças e testar o seu funcionamento.

REFERÊNCIAS

ASME. **Design of transmission Shafting**. New York, United States of America: p.24,1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7195. Cores para segurança. 9 p. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ATLAS COPCO. **Ferramentas e Soluções Industriais**. Disponível em: <https://www.atlascopco.com/pt-br/itba/expert-hub/conheca-o-braco-de-reacao-ax-da-atlas-copco>. Acesso em: 04 nov. 2022.

ALVES FILHO, Avelino. **Elementos finitos: a base da tecnologia CAE**. 6. ed. São Paulo: Érica, 2013.

BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. **Elementos de máquinas de shigley: projeto de engenharia mecânica**. 8. ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2011.

COLLINS, J. A.; BUSBY, H. R.; STAAB, G. H. **Machine design of machine elements and machines**. 2. ed. New York, United States of America: John Wiley and Sons, 2010.

DOWLING, N. E. **Mechanical Behavior of Materials**. 4. ed. England: Pearson Education Limited, 2013.

DEUTSCHES INSTITUTE FUR NORMAUNG. DIN 509. Technical drawings Underscuts – Types ans dimensions. 11 p. Germany: DIN 2006.

DUHOVNIK, J; DEMSAR, I; DRESAR, P; **Space Modeling with SolidWorks and NX**. New York: Springer, 2015.

FAMAK. **SOLUÇÕES: Braço de Reação**. Disponível em: <http://www.famak.com.br/application/braco-de-reacao-dispositivo-ergonomico/>. Acesso em: 04 nov. 2022.

FISCHER et al. **Manual de tecnologia metal mecânica**. 43. ed. São Paulo: Edgar Blucher LTDA, 2008.

FIALHO, A. B. **Automação pneumática: Projetos, dimensionamento e análise de circuitos**. 7. ed. São Paulo: Érica, 2011.

FERRARESI, **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Paulo: Edgar Blucher LTDA, 1969.

FESTO. **Catálogo de produtos**. Disponível em: https://www.festo.com/br/pt/p/atuador-normalizado-id_DSBC/?q=dsbc~:festoSortOrderScored . Acesso em: 04 nov. 2022.

HIBBELER, R.C. **Resistência dos materiais**. 7. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

INTERNATIONAL STANDARD. ISO 15552. Pneumatic fluid power-Cylinders with detachable mountings, 1 000 kPa (10 bar) series, bores from 32 mm to 320 mm-Basic, mounting and accessories dimensions. 8 p. Switzerland: ISO, 2004.

JUVINALL, R.; MARSHEK, K. M. **Projeto de componentes de máquina**. 4. ed. Rio de Janeiro: John Wiley and Sons, 2013.

MARQUES, MODENESI E BRACARENSE. **Soldagem: Fundamentos e tecnologia**. 3. ed. UFMG, 2009.

MACHADO et al. **Teoria da Usinagem dos Materiais**. ed. São Paulo: Edgar Blucher LTDA, 2009.

MTZ. **Produtos: Braço de Reação**. Disponível em: <https://www.mtzbrasil.com.br/newpage>. Acesso em: 04 nov. 2022.

NORTON, R. L. **Cinemática e dinâmica dos mecanismos**. Porto Alegre: AMGH, 2010.

NORTON, R. L. **Projeto de máquinas: uma abordagem integrada**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

NORMA REGULAMENTADORA. NR-12. Máquinas e equipamentos Portaria N° 197. 167 p. Rio de Janeiro. 2010.

OBR. **Produtos: Amortecedores de impacto**. Disponível em: <https://www.obr.com.br/produtos/mc-225-m/>. Acesso em: 12 nov. 2022.

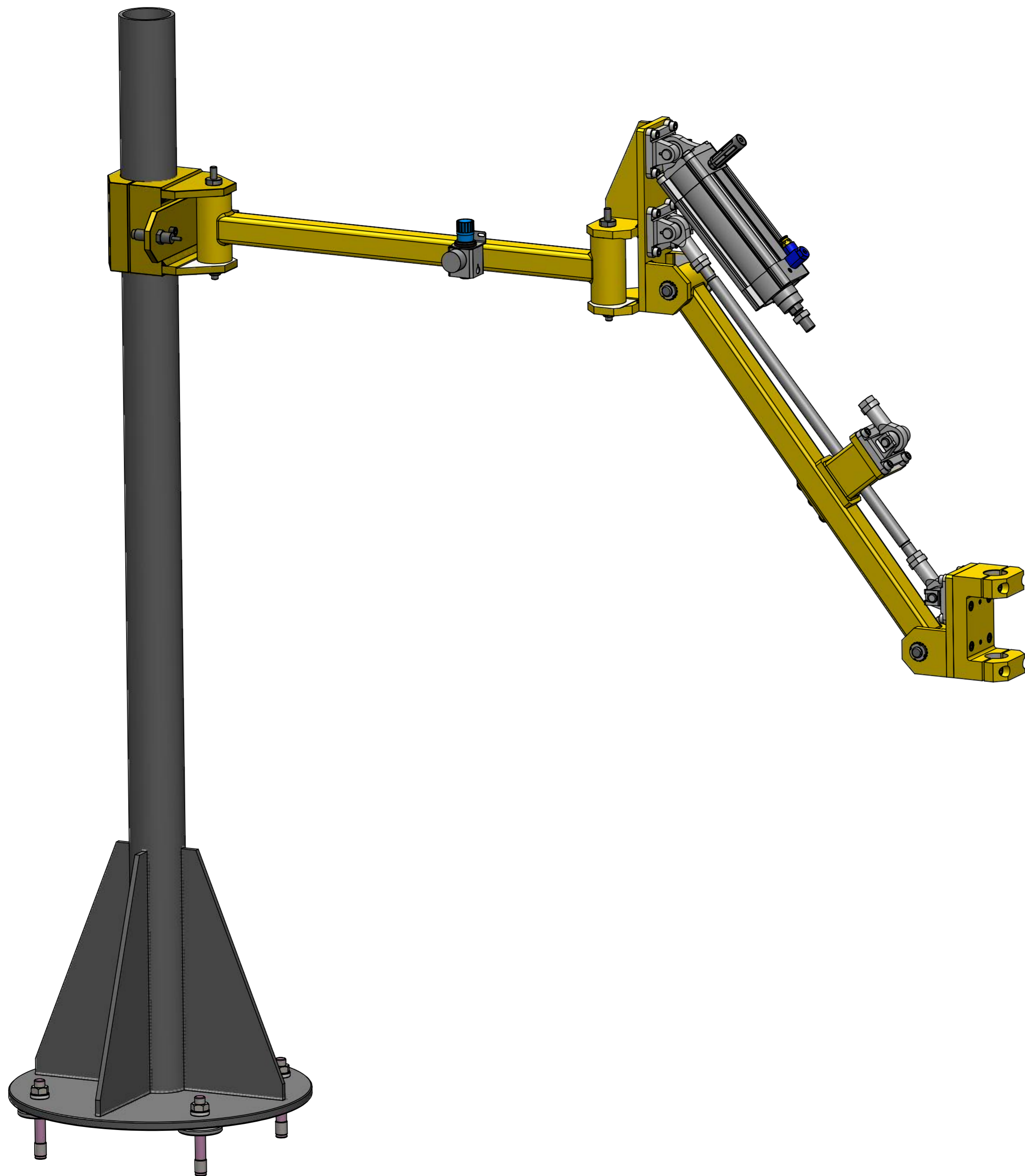
PADILHA, C. **Ergonomia e segurança industrial**. Indaial: ISBN, 2011.

SKF. **Produtos: Rolamentos**. Disponível em: <https://www.skf.com/br/products/rolling-bearings>. Acesso em: 12 nov. 2022.


SCHMID, S. R.; HAMROCK, B. J.; JACOBSON, B. O. **Fundamentals of machine elements**. 3. ed. Boca Raton, United States of America: CRC Press, 2014.

WAINER, BRANDI, MELLO. **Soldagem processos e metalurgia**. 4. ed. São Paulo: Edgar Blucher LTDA, 2004.

ANEXO A – Manual de montagem e fabricação



Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	DESCRIÇÃO	QTD.
1	01	PEDESTAL	1
2	02	FIXAÇÃO PEDESTAL	1
3	03	MONTAGEM CENTRAL	1
4	04	FIXAÇÃO FERRAMENTA	1
5	001	HASTE PRIMÁRIA	1
6	002	HASTE SECUNDÁRIA	1
7	003	HASTE DE REGULAGEM	1
8	004	SUPORTE	1
9	005	CALÇO	1
10	DSBC-L-80-160-PPVA-N3		1
11	CONECTOR-QS-3_8-10		1
12	GRLA_VÁLVULA REGULADORA DE FLUXO		1
13	HR-1_4-P		1
14	U-3/8-B		1
15	LRP-1_4-4		1
16	MAP-40-4-1_8		1
17	SNC-80		1
18	SNCS-80		1
19	SGS-M20x1_5		1
20	DIN 912 M10 X 70		3



UFSC

Nº DO DESENHO: **BRAÇO DE REAÇÃO**

DESCRIÇÃO: **BRAÇO DE REAÇÃO**

MATERIAL: Material <não especificado>

PESO: 149057.29 kg

PROJ: DATA DE CRIAÇÃO: 06/12/2022

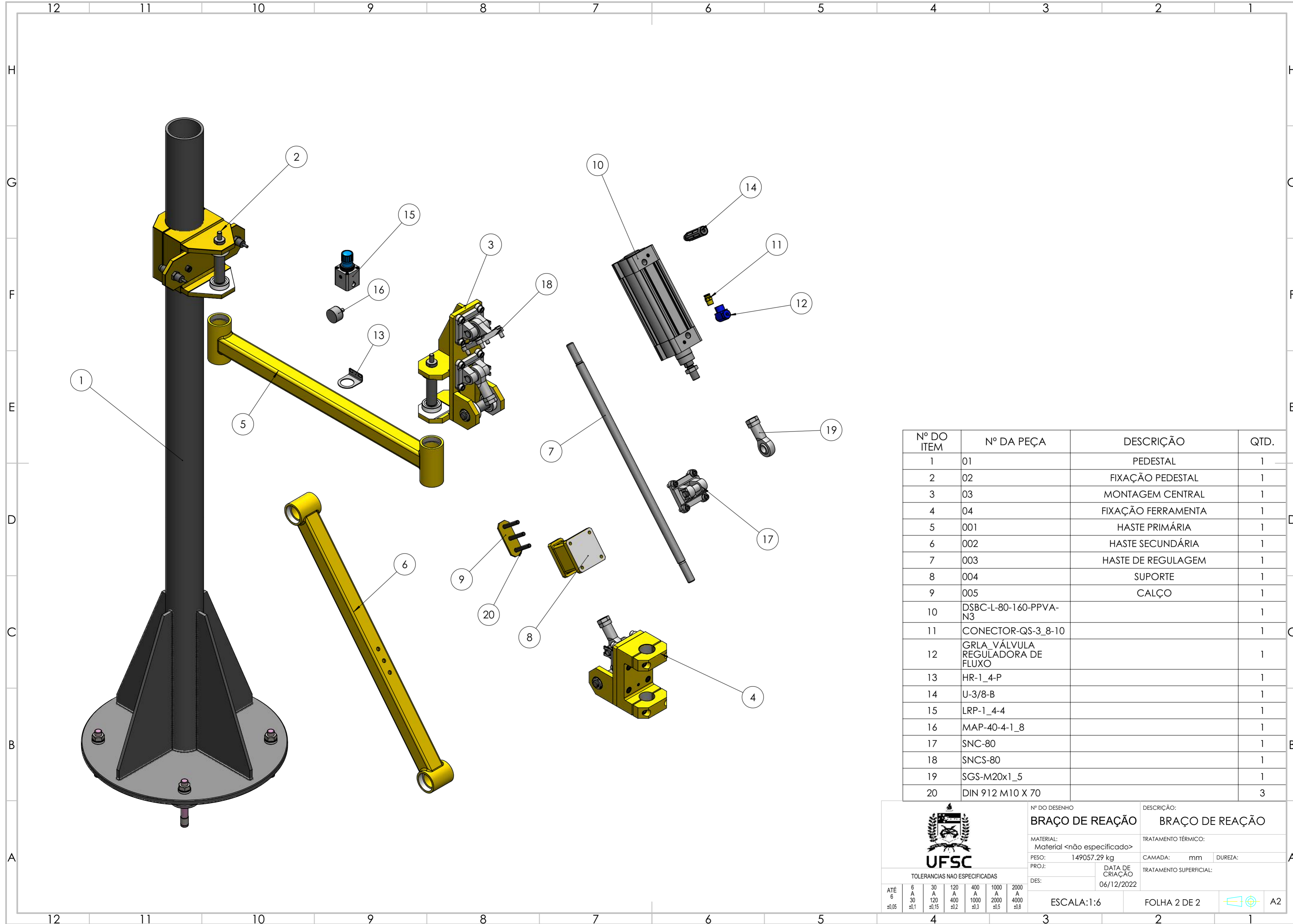
DES:

TOLERANCIAS NAO ESPECIFICADAS						
ATÉ	6	30	120	400	1000	2000
	A	A	A	A	A	A
	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5

ESCALA: 1:6

FOLHA 1 DE 2

A2



Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	DESCRIÇÃO	QTD.
1	01	PEDESTAL	1
2	02	FIXAÇÃO PEDESTAL	1
3	03	MONTAGEM CENTRAL	1
4	04	FIXAÇÃO FERRAMENTA	1
5	001	HASTE PRIMÁRIA	1
6	002	HASTE SECUNDÁRIA	1
7	003	HASTE DE REGULAGEM	1
8	004	SUPORTE	1
9	005	CALÇO	1
10	DSBC-L-80-160-PPVA-N3		1
11	CONECTOR-QS-3_8-10		1
12	GRLA_VÁLVULA REGULADORA DE FLUXO		1
13	HR-1_4-P		1
14	U-3/8-B		1
15	LRP-1_4-4		1
16	MAP-40-4-1_8		1
17	SNC-80		1
18	SNCS-80		1
19	SGS-M20x1_5		1
20	DIN 912 M10 X 70		3



UFSC

Nº DO DESENHO: **BRAÇO DE REAÇÃO**

DESCRIÇÃO: **BRAÇO DE REAÇÃO**

MATERIAL: Material <não especificado>

PESO: 149057.29 kg

PROJ: DATA DE CRIAÇÃO: 06/12/2022

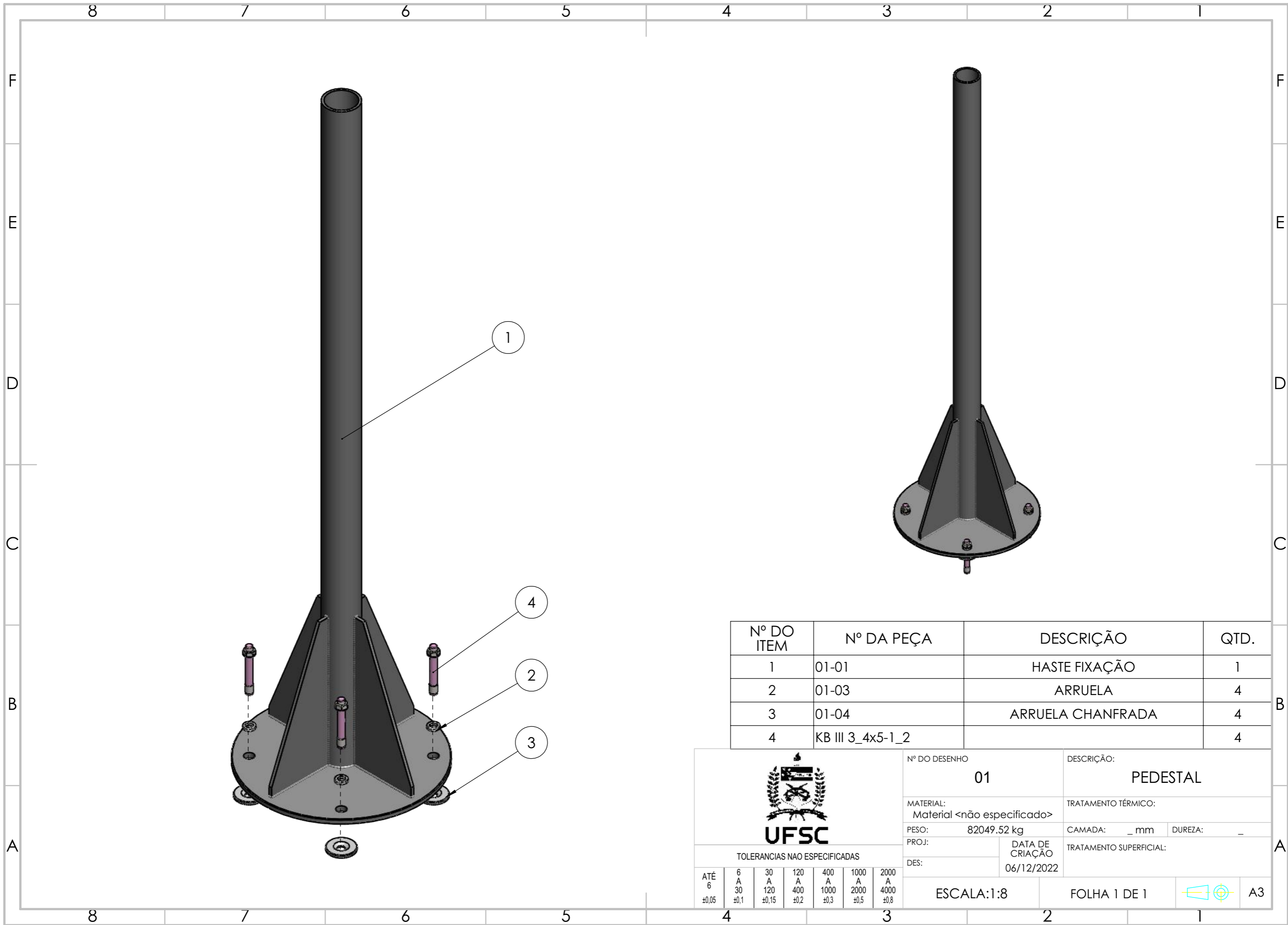
DES:

TOLERANCIAS NAO ESPECIFICADAS	
ATÉ 6	6 A 30
±0,05	±0,1
30 A 120	120 A 400
±0,15	±0,2
400 A 1000	1000 A 2000
±0,3	±0,5
2000 A 4000	
±0,8	



ESCALA: 1:6

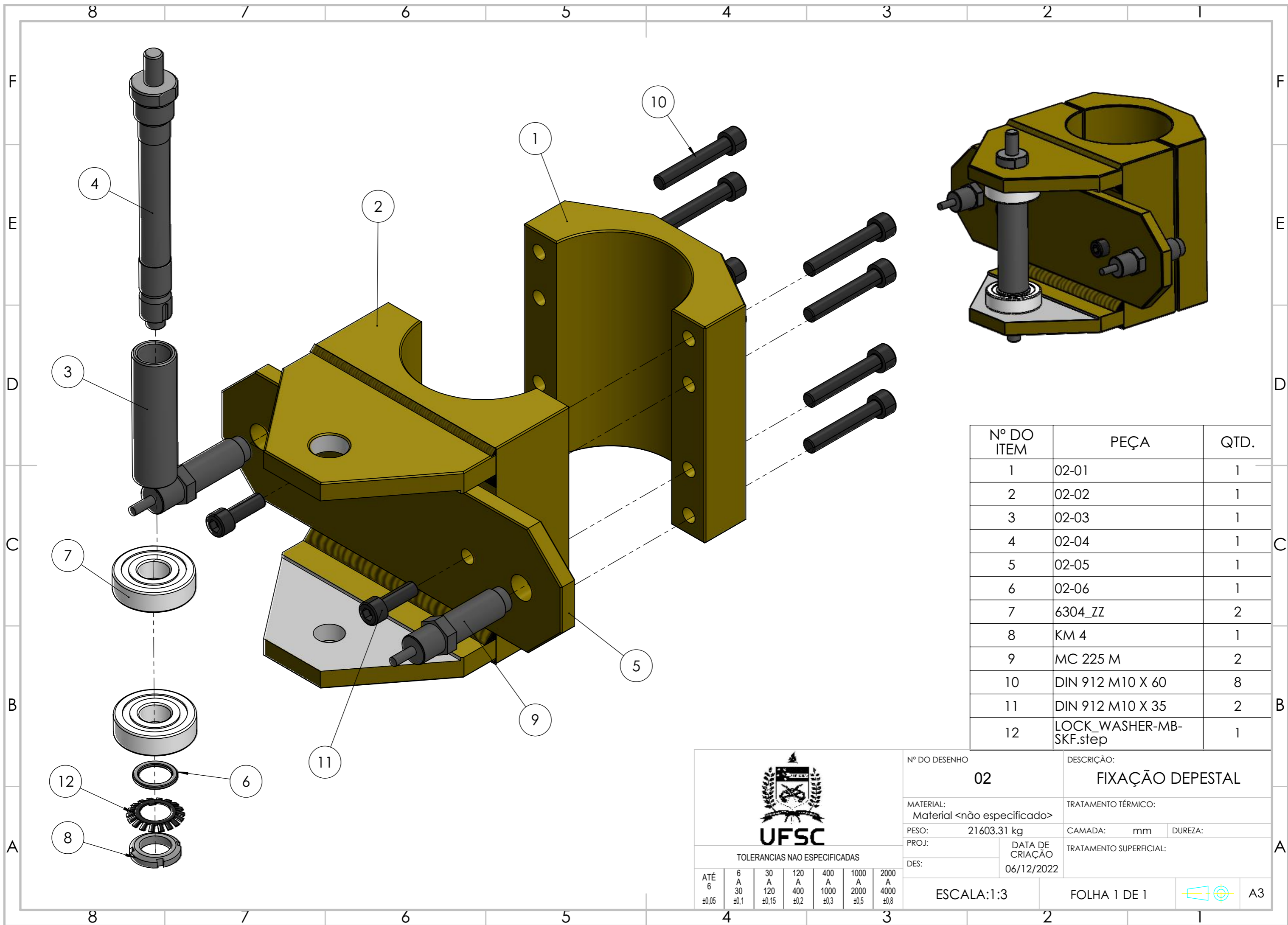
FOLHA 2 DE 2

A2




Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	DESCRIÇÃO	QTD.
1	01-01	HASTE FIXAÇÃO	1
2	01-03	ARRUELA	4
3	01-04	ARRUELA CHANFRADA	4
4	KB III 3_4x5-1_2		4

 UFSC	Nº DO DESENHO 01		DESCRIÇÃO: PEDESTAL																													
	MATERIAL: Material <não especificado>		TRATAMENTO TÉRMICO:																													
	PESO: 82049.52 kg	CAMADA: _ mm	DUREZA: _																													
	PROJ:	DATA DE CRIAÇÃO 06/12/2022	TRATAMENTO SUPERFICIAL:																													
DES:		ESCALA: 1:8		FOLHA 1 DE 1																												
TOLERANCIAS NAO ESPECIFICADAS <table border="1"> <tr> <td>ATÉ</td> <td>6</td> <td>30</td> <td>120</td> <td>400</td> <td>1000</td> <td>2000</td> </tr> <tr> <td></td> <td>A</td> <td>A</td> <td>A</td> <td>A</td> <td>A</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td></td> <td>±0,05</td> <td>±0,1</td> <td>±0,15</td> <td>±0,2</td> <td>±0,3</td> <td>±0,5</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>±0,8</td> </tr> </table>		ATÉ	6	30	120	400	1000	2000		A	A	A	A	A	A		±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5							±0,8			A3
ATÉ	6	30	120	400	1000	2000																										
	A	A	A	A	A	A																										
	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5																										
						±0,8																										



Nº DO ITEM	PEÇA	QTD.
1	02-01	1
2	02-02	1
3	02-03	1
4	02-04	1
5	02-05	1
6	02-06	1
7	6304_ZZ	2
8	KM 4	1
9	MC 225 M	2
10	DIN 912 M10 X 60	8
11	DIN 912 M10 X 35	2
12	LOCK_WASHER-MB-SKF.step	1



UFSC


TOLERANCIAS NAO ESPECIFICADAS

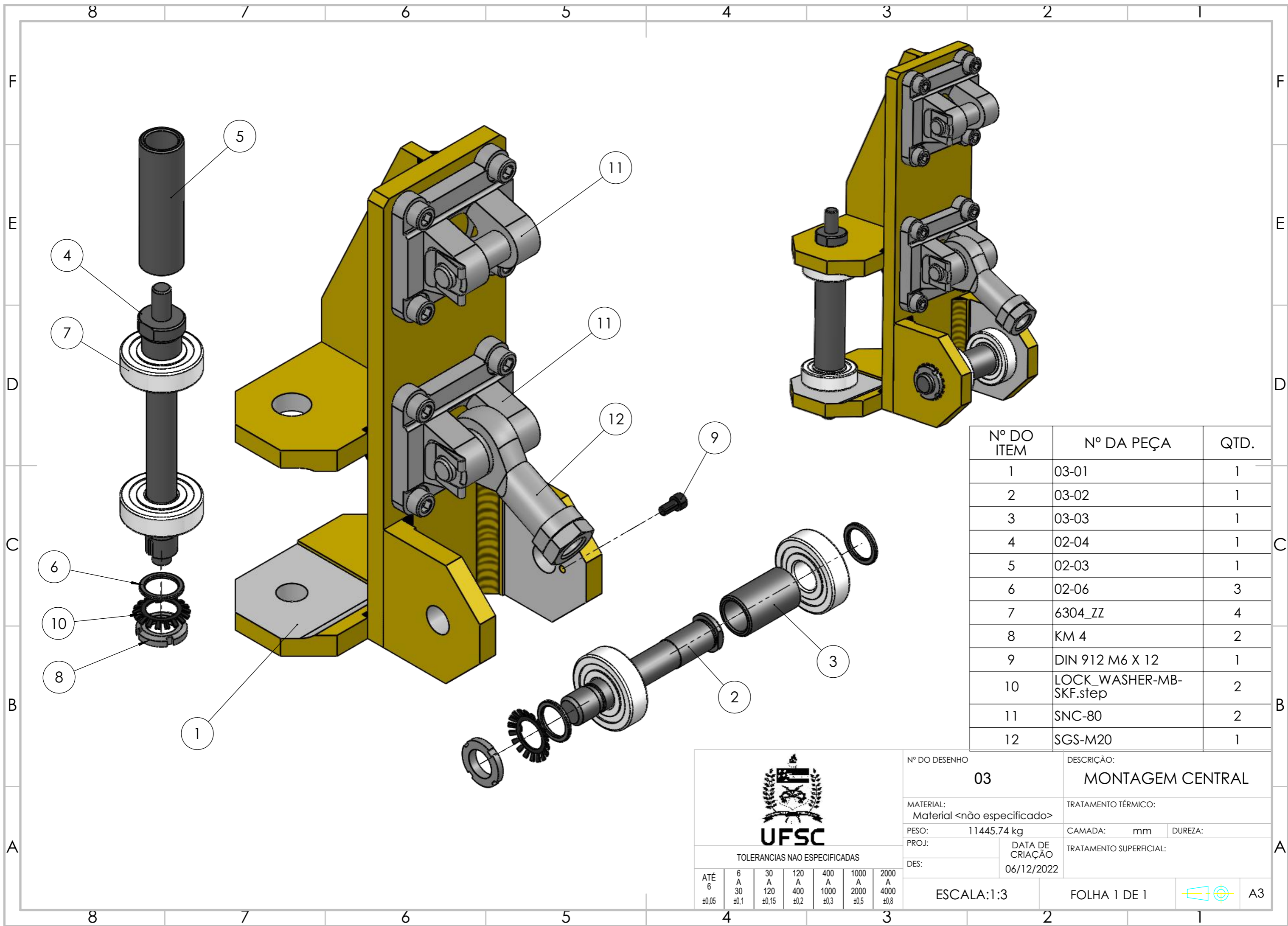
ATÉ	6	30	120	400	1000	2000
A	30	120	400	1000	2000	4000
±	0,05	0,1	0,15	0,2	0,3	0,5
						0,8

Nº DO DESENHO		DESCRÇÃO:	
02		FIXAÇÃO DEPESTAL	
MATERIAL:		TRATAMENTO TÉRMICO:	
Material <não especificado>			
PESO:	21603.31 kg	CAMADA:	mm
PROJ:		DUREZA:	
DES:		DATA DE CRIAÇÃO	06/12/2022
TRATAMENTO SUPERFICIAL:			


ESCALA:1:3

FOLHA 1 DE 1


A3



Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	QTD.
1	03-01	1
2	03-02	1
3	03-03	1
4	02-04	1
5	02-03	1
6	02-06	3
7	6304_ZZ	4
8	KM 4	2
9	DIN 912 M6 X 12	1
10	LOCK_WASHER-MB-SKF.step	2
11	SNC-80	2
12	SGS-M20	1



UFSC

TOLERANCIAS NAO ESPECIFICADAS

ATÉ	6	30	120	400	1000	2000
	A	A	A	A	A	A
	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5
						±0,8

Nº DO DESENHO: **03**

DESCRIÇÃO: **MONTAGEM CENTRAL**

MATERIAL: Material <não especificado>

PESO: 11445.74 kg

PROJ: DATA DE CRIAÇÃO: 06/12/2022


DES: TRATAMENTO TÉRMICO:

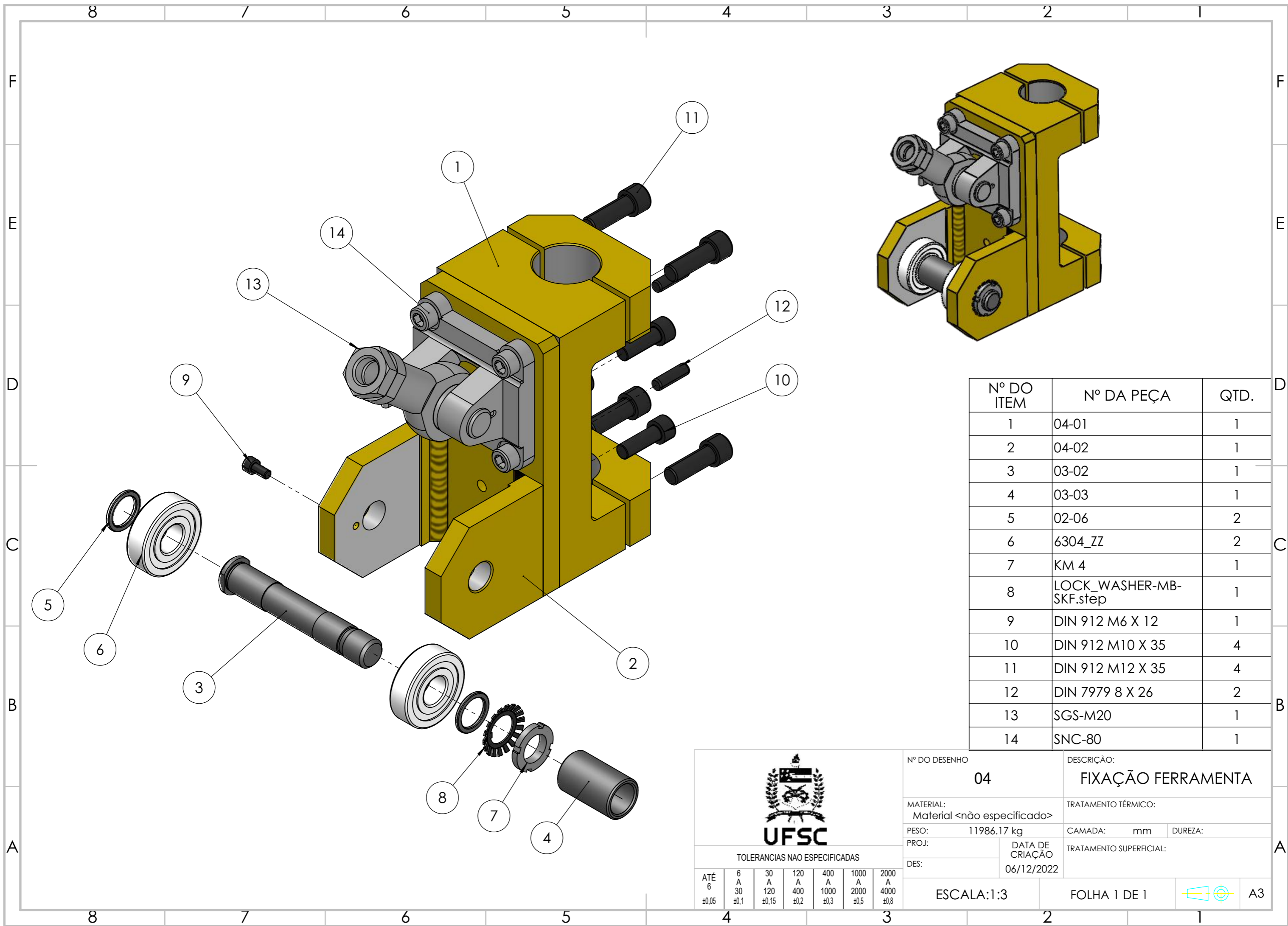
CAMADA: mm DUREZA:

TRATAMENTO SUPERFICIAL:

ESCALA: 1:3

FOLHA 1 DE 1


A3



Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	QTD.
1	04-01	1
2	04-02	1
3	03-02	1
4	03-03	1
5	02-06	2
6	6304_ZZ	2
7	KM 4	1
8	LOCK_WASHER-MB-SKF.step	1
9	DIN 912 M6 X 12	1
10	DIN 912 M10 X 35	4
11	DIN 912 M12 X 35	4
12	DIN 7979 8 X 26	2
13	SGS-M20	1
14	SNC-80	1



UFSC

Nº DO DESENHO: **04**

DESCRIÇÃO: **FIXAÇÃO FERRAMENTA**

MATERIAL: Material <não especificado>

PESO: 11986.17 kg

PROJ: DATA DE CRIAÇÃO: 06/12/2022

DES: TRATAMENTO TÉRMICO:

CAMADA: mm DUREZA:


TRATAMENTO SUPERFICIAL:

TOLERANCIAS NAO ESPECIFICADAS

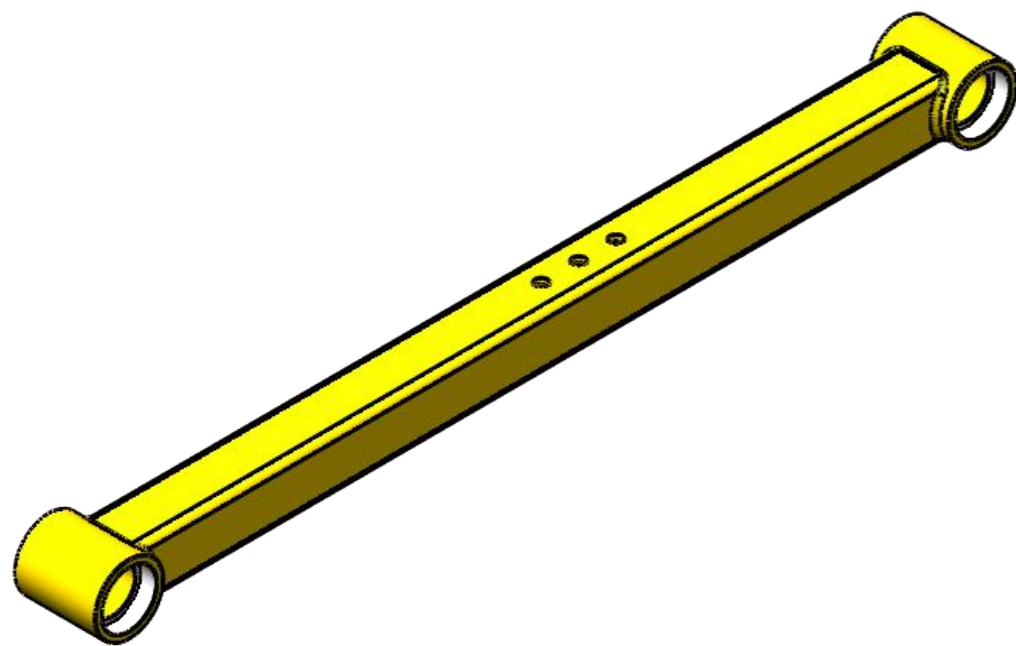
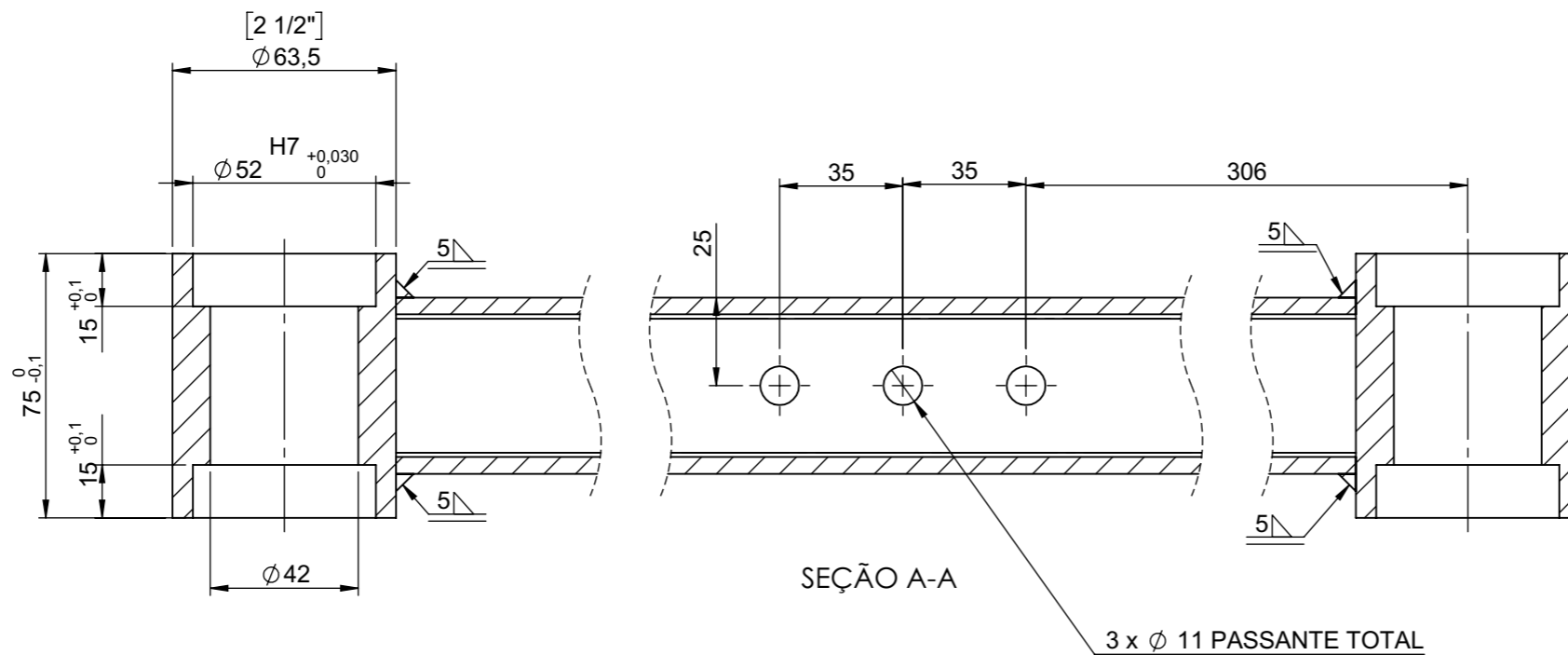
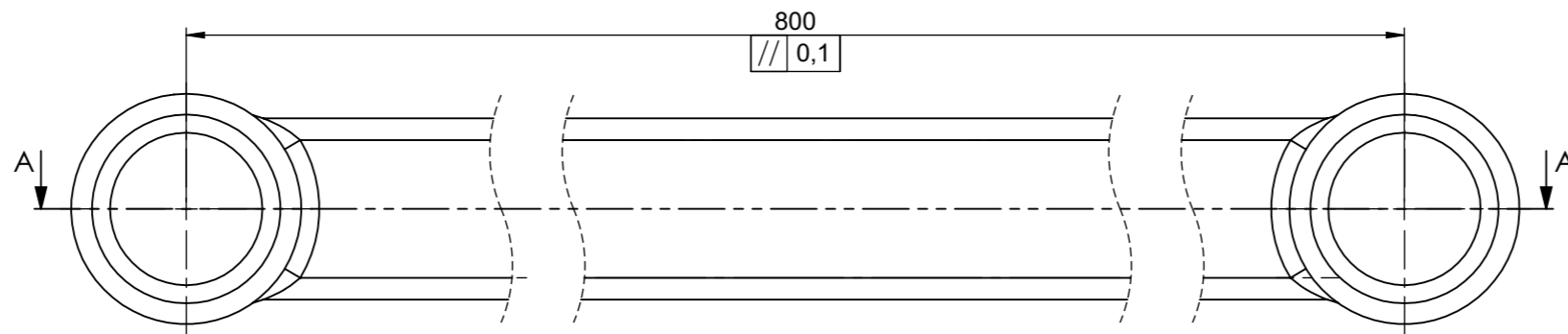
ATÉ	6	30	120	400	1000	2000
6	A	A	A	A	A	A
±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8



ESCALA: 1:3

FOLHA 1 DE 1



A3



 UFSC	Nº DO DESENHO 002		DESCRIÇÃO: HASTE SECUNDÁRIA																						
	MATERIAL: AÇO 1020		TRATAMENTO TÉRMICO:																						
	PESO: 6.67 kg		CAMADA: _ mm	DUREZA: _																					
	PROJ: T.CIESLINSKY	DATA DE CRIAÇÃO: 06/12/2022	TRATAMENTO SUPERFICIAL: PINT. PÓ AMARELO MUNSELL 5Y 8/12																						
DES: T.CIESLINSKY		ESCALA: 1:2		FOLHA 1 DE 1																					
TOLERANCIAS NAO ESPECIFICADAS <table border="1"> <tr> <td>ATÉ 6</td> <td>6</td> <td>30</td> <td>120</td> <td>400</td> <td>1000</td> <td>2000</td> </tr> <tr> <td>±0.05</td> <td>A 30</td> <td>A 120</td> <td>A 400</td> <td>A 1000</td> <td>A 2000</td> <td>A 4000</td> </tr> <tr> <td></td> <td>±0,1</td> <td>±0,15</td> <td>±0,2</td> <td>±0,3</td> <td>±0,5</td> <td>±0,8</td> </tr> </table>		ATÉ 6	6	30	120	400	1000	2000	±0.05	A 30	A 120	A 400	A 1000	A 2000	A 4000		±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8			A3
ATÉ 6	6	30	120	400	1000	2000																			
±0.05	A 30	A 120	A 400	A 1000	A 2000	A 4000																			
	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8																			

4 3 2 1

F

E

D

C

B

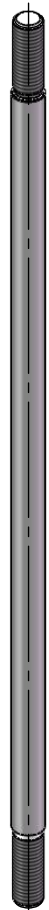
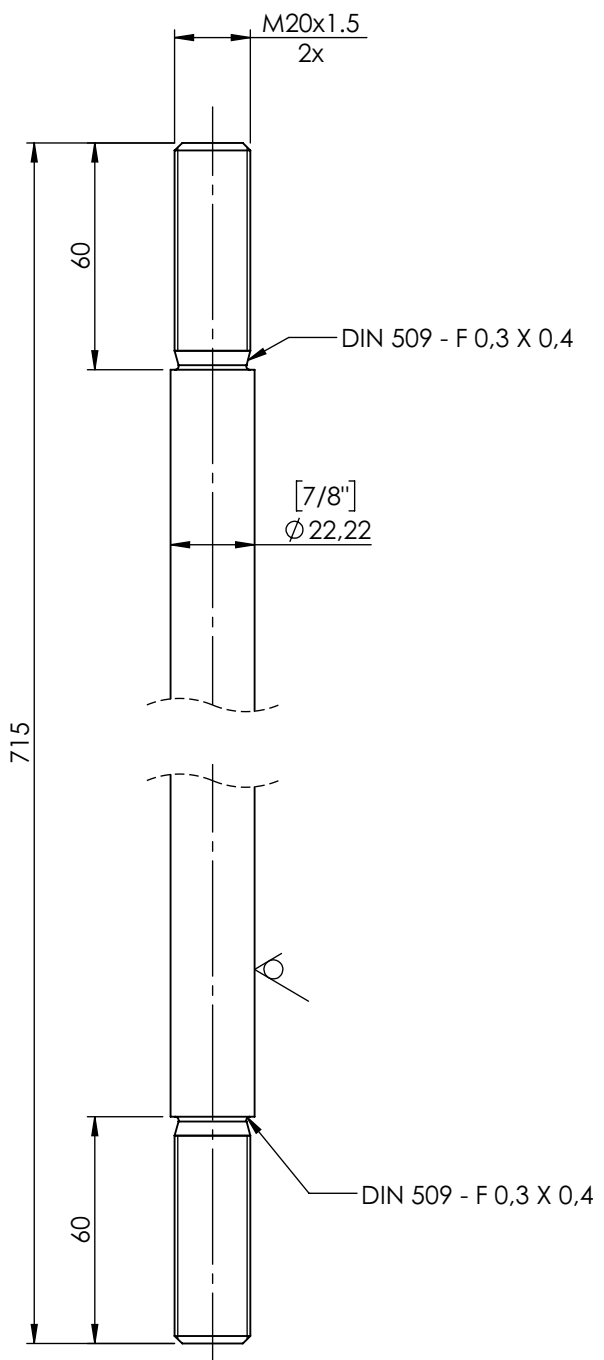
F

E

D

C

B



TOLERANCIAS NAO ESPECIFICADAS

ATÉ	6	30	120	400	1000	2000
6	A	A	A	A	A	A
±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8

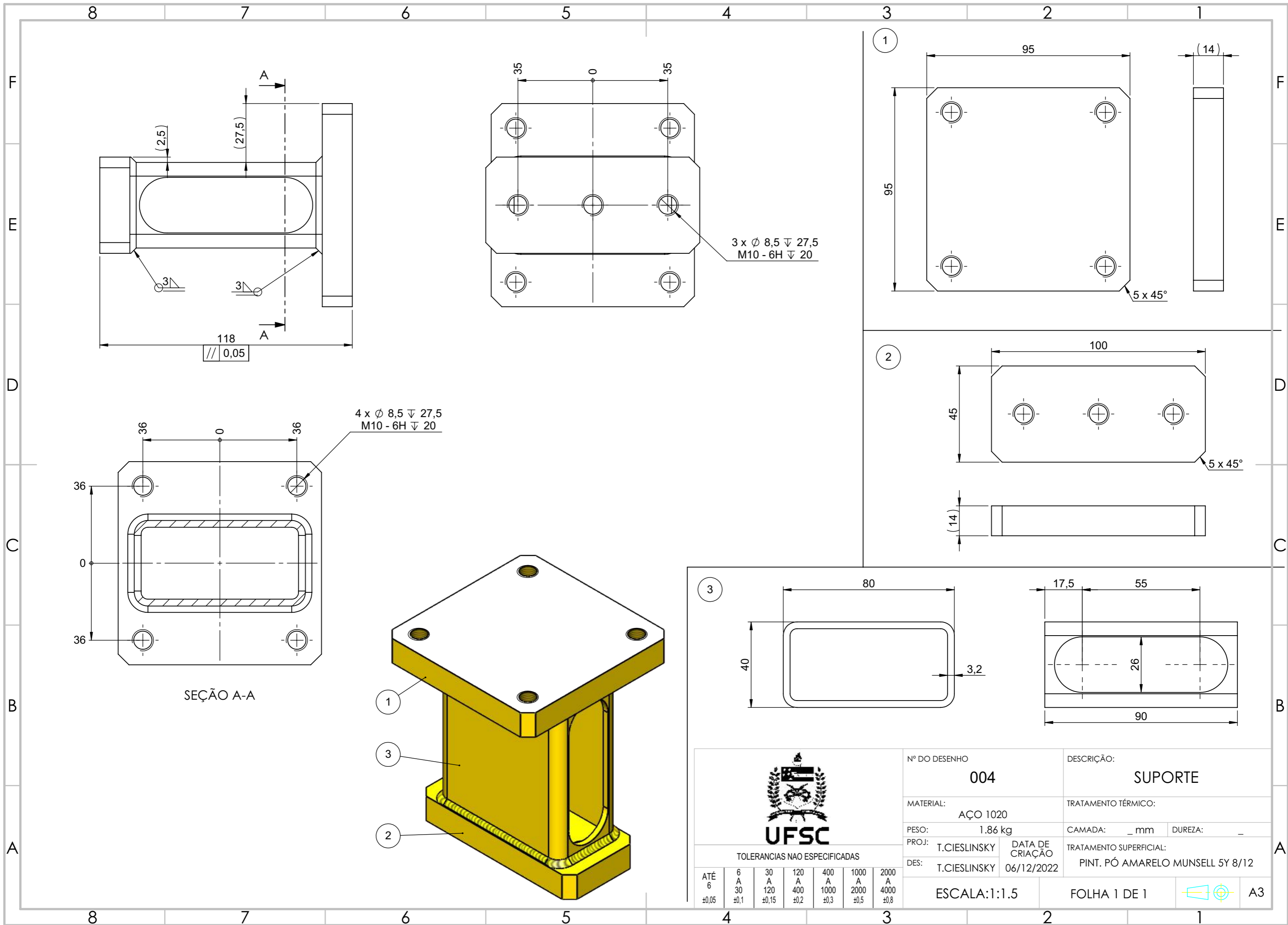
Nº DO DESENHO 003		DESCRIÇÃO: HASTE DE REGULAGEM	
MATERIAL: AÇO 1020		TRATAMENTO TÉRMICO:	
PESO: 2115.87 kg		CAMADA: _ mm	DUREZA: _
PROJ: T.CIESLINSKY	DATA DE CRIAÇÃO	TRATAMENTO SUPERFICIAL:	
DES: T.CIESLINSKY	06/12/2022		



ESCALA:1:2 FOLHA 1 DE 1 A4

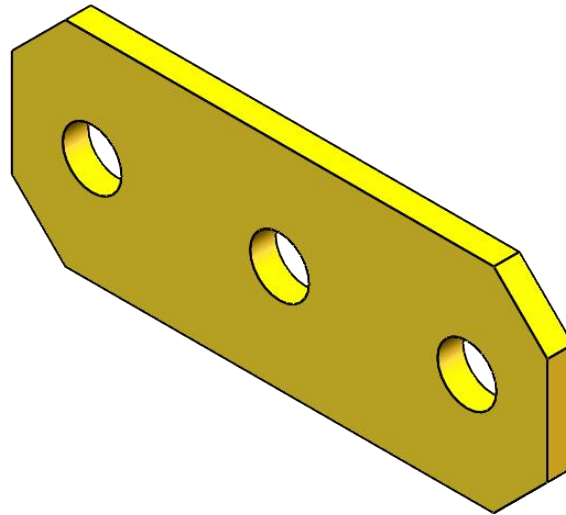
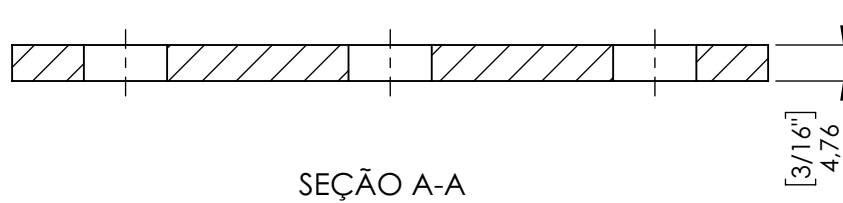
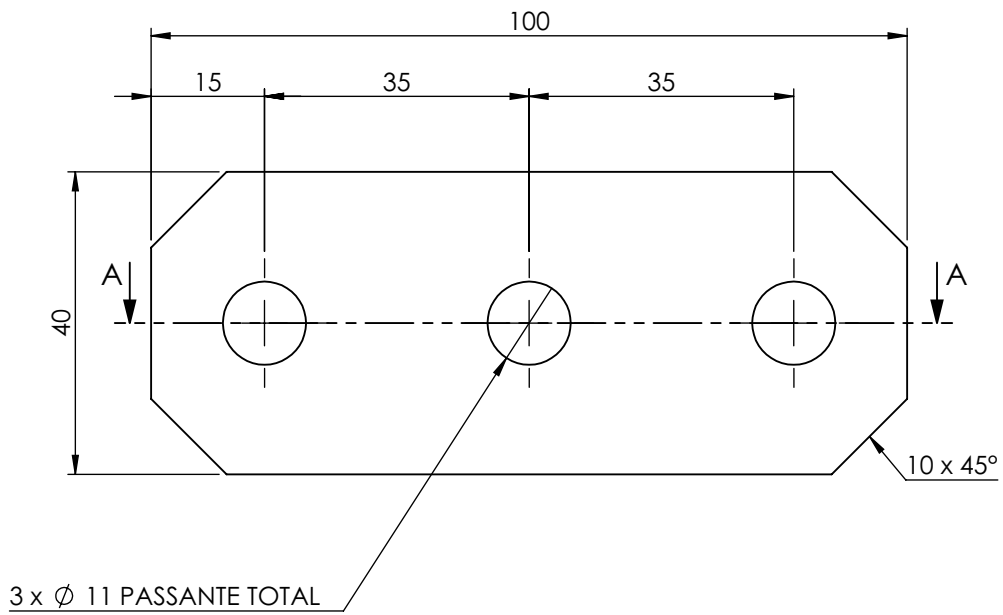
4 3 2 1

A

A



 UFSC TOLERANCIAS NAO ESPECIFICADAS	N° DO DESENHO 004		DESCRIÇÃO: SUPORTE	
	MATERIAL: AÇO 1020		TRATAMENTO TÉRMICO:	
	PESO: 1.86 kg		CAMADA: _ mm	DUREZA: _
	PROJ: T.CIESLINSKY	DATA DE CRIAÇÃO: 06/12/2022	TRATAMENTO SUPERFICIAL: PINT. PÓ AMARELO MUNSELL 5Y 8/12	
DES: T.CIESLINSKY	ESCALA: 1:1.5		FOLHA 1 DE 1	 A3



Nº DO DESENHO

005

DESCRIÇÃO:

REFORÇO

MATERIAL:

AÇO 1020

TRATAMENTO TÉRMICO:

PESO:

132.26 kg

CAMADA: _ mm

DUREZA: _

PROJ: T.CIESLINSKY

DATA DE CRIAÇÃO

TRATAMENTO SUPERFICIAL:

DES: T.CIESLINSKY

06/12/2022

PINT. PÓ AMARELO MUNSELL 5Y 8/12

TOLERANCIAS NAO ESPECIFICADAS

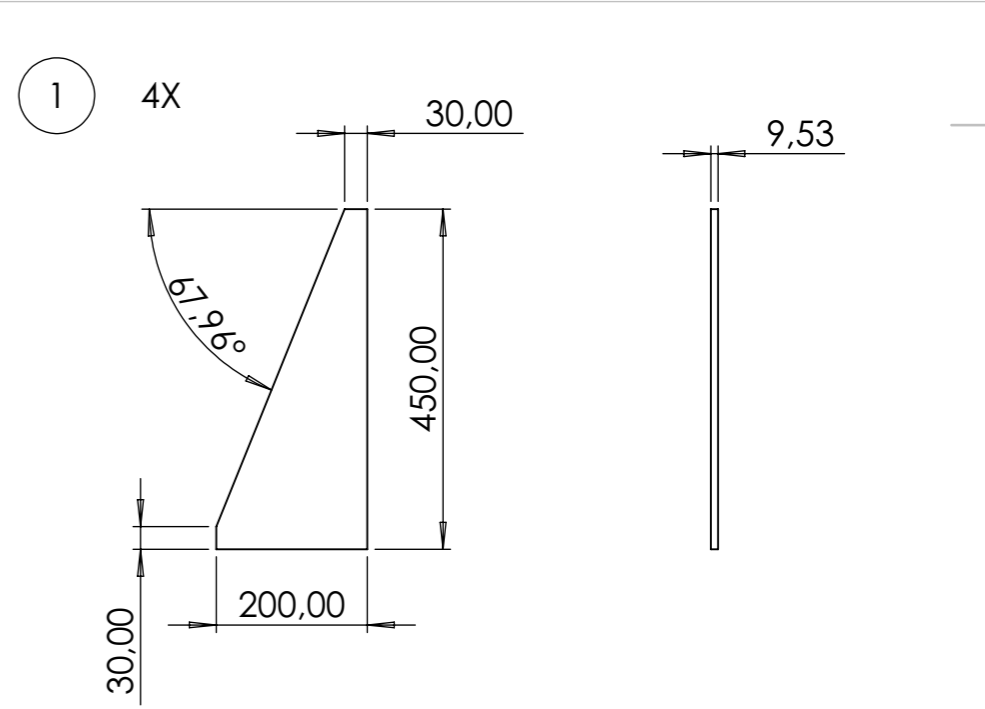
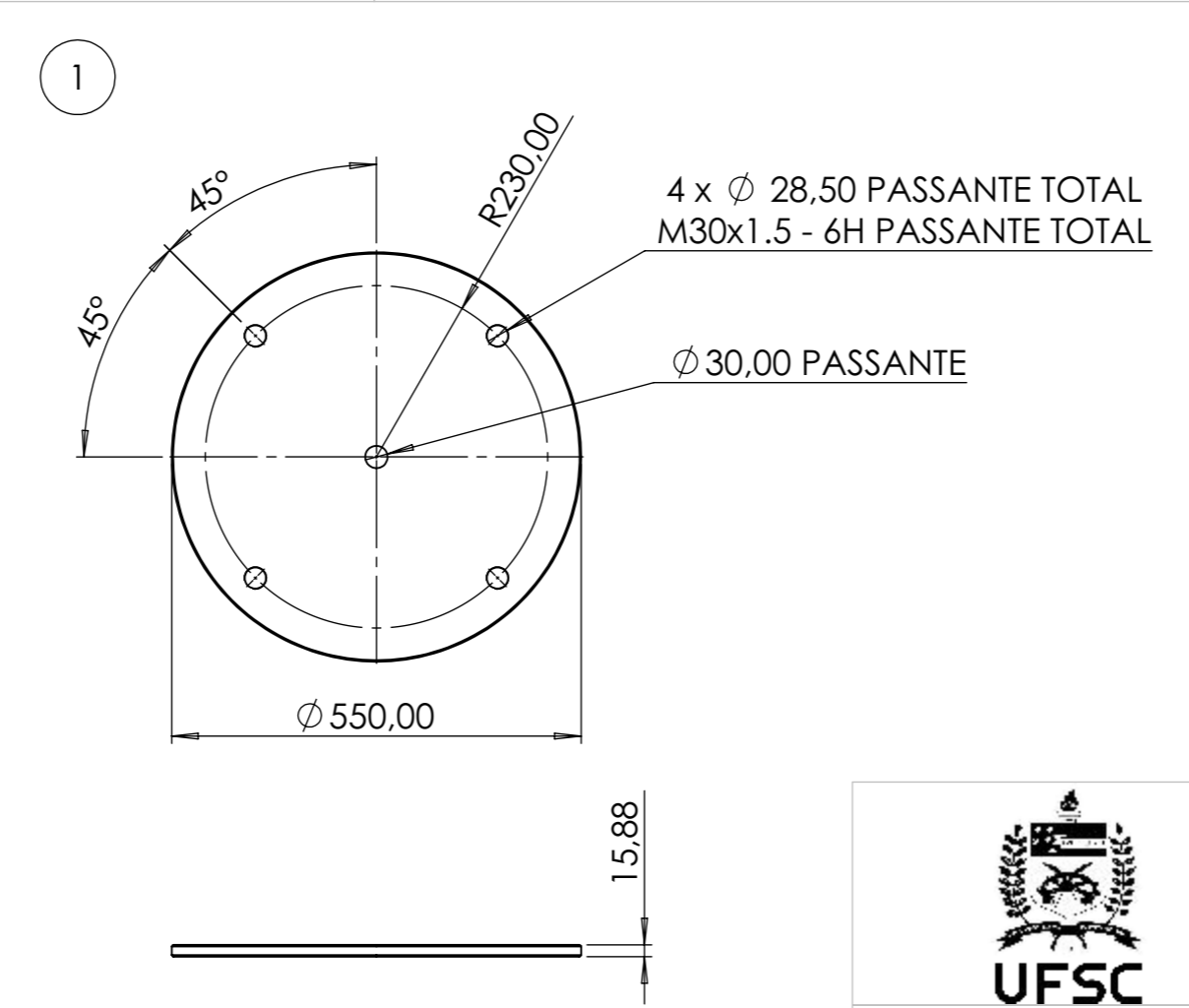
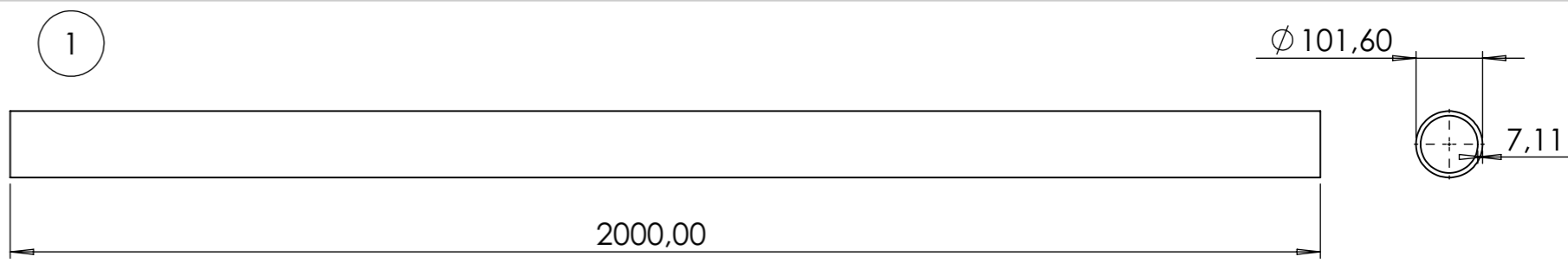
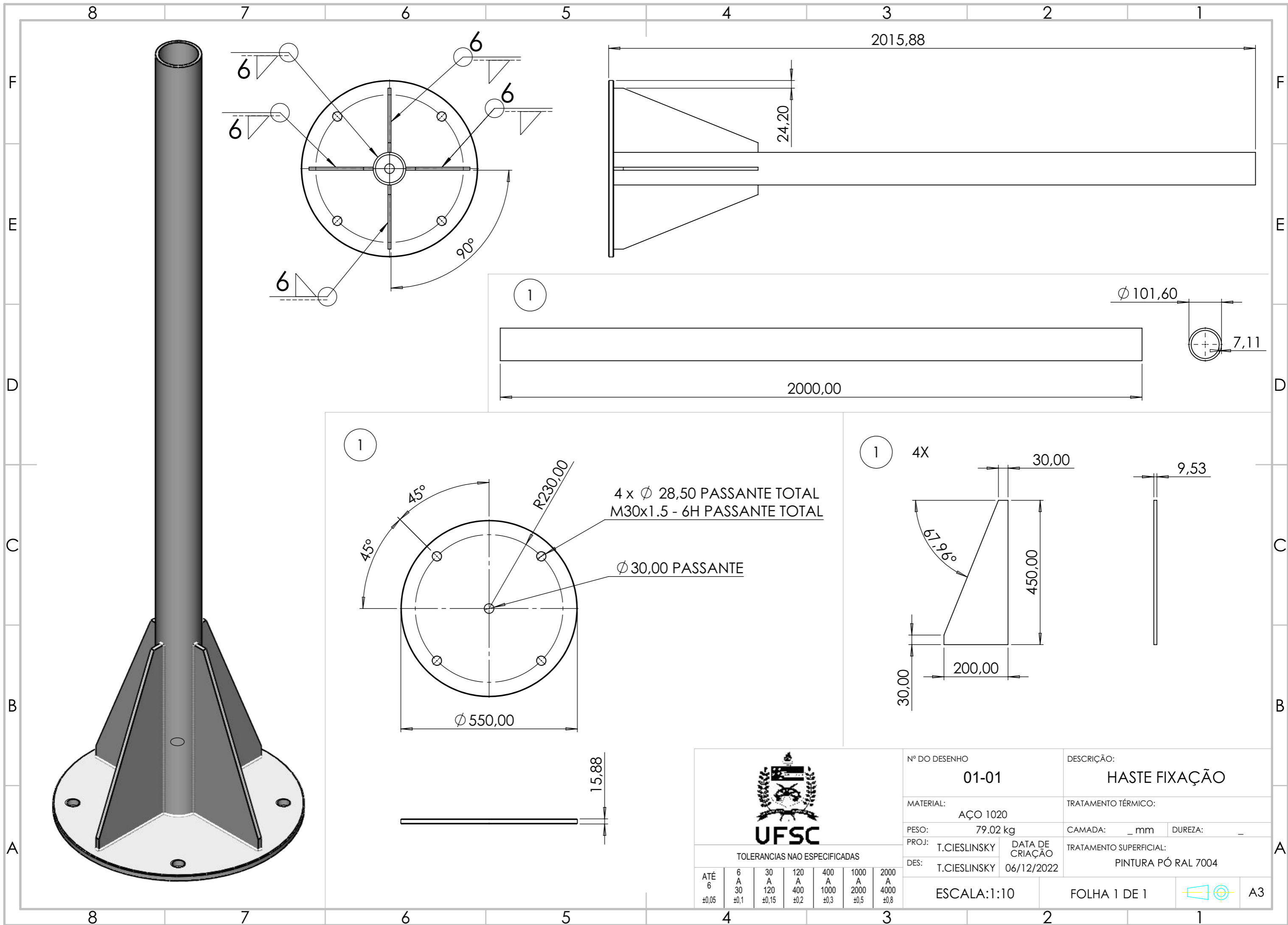
ATÉ	6	30	120	400	1000	2000
6	A	A	A	A	A	A
±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8


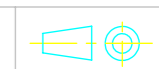
ESCALA:1:1

FOLHA 1 DE 1



A4

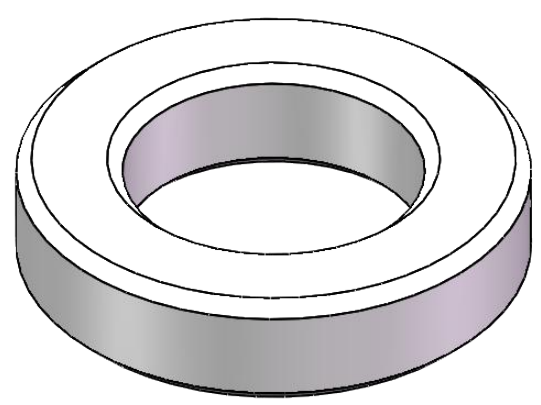
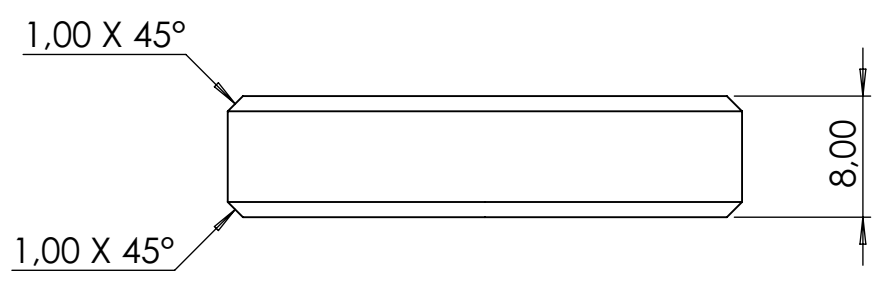
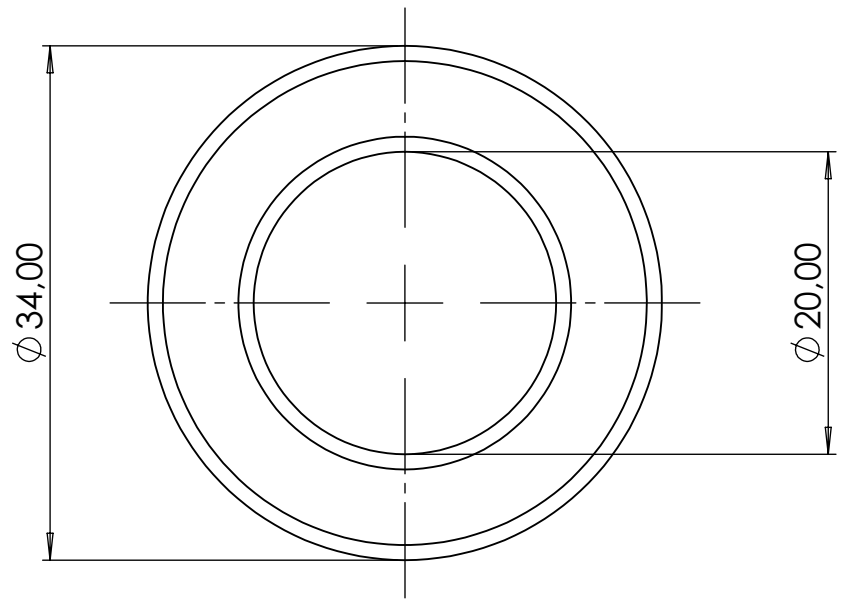


 UFSC		Nº DO DESENHO	DESCRÇÃO:																																												
		01-01	HASTE FIXAÇÃO																																												
MATERIAL:		TRATAMENTO TÉRMICO:																																													
AÇO 1020																																															
PESO:	79.02 kg	CAMADA:	_ mm																																												
PROJ:	T.CIESLINSKY	DATA DE CRIAÇÃO:	06/12/2022																																												
DES:	T.CIESLINSKY	TRATAMENTO SUPERFICIAL:																																													
		PINTURA PÓ RAL 7004																																													
TOLERANCIAS NAO ESPECIFICADAS <table border="1"> <tr> <td>ATÉ</td> <td>6</td> <td>30</td> <td>120</td> <td>400</td> <td>1000</td> <td>2000</td> </tr> <tr> <td></td> <td>A</td> <td>A</td> <td>A</td> <td>A</td> <td>A</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td></td> <td>±0,05</td> <td>±0,1</td> <td>±0,15</td> <td>±0,2</td> <td>±0,3</td> <td>±0,5</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		ATÉ	6	30	120	400	1000	2000		A	A	A	A	A	A		±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5																						ESCALA: 1:10	FOLHA 1 DE 1		A3
ATÉ	6	30	120	400	1000	2000																																									
	A	A	A	A	A	A																																									
	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5																																									

4 3 2 1

F
E
D
C
B
A

F
E
D
C
B
A



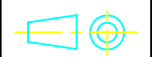
Nº DO DESENHO		DESCRIÇÃO:	
01-03		ARRUELA	
MATERIAL:		TRATAMENTO TÉRMICO:	
AÇO 1020			
PESO:		CAMADA:	DUREZA:
36.19 kg		_ mm	_
PROJ:	DATA DE CRIAÇÃO	TRATAMENTO SUPERFICIAL:	
T.CIESLINSKY	06/12/2022		
DES:	T.CIESLINSKY		

TOLERANCIAS NAO ESPECIFICADAS

ATÉ	6	30	120	400	1000	2000
6	A	A	A	A	A	A
±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8

ESCALA:1:1

FOLHA 1 DE 1

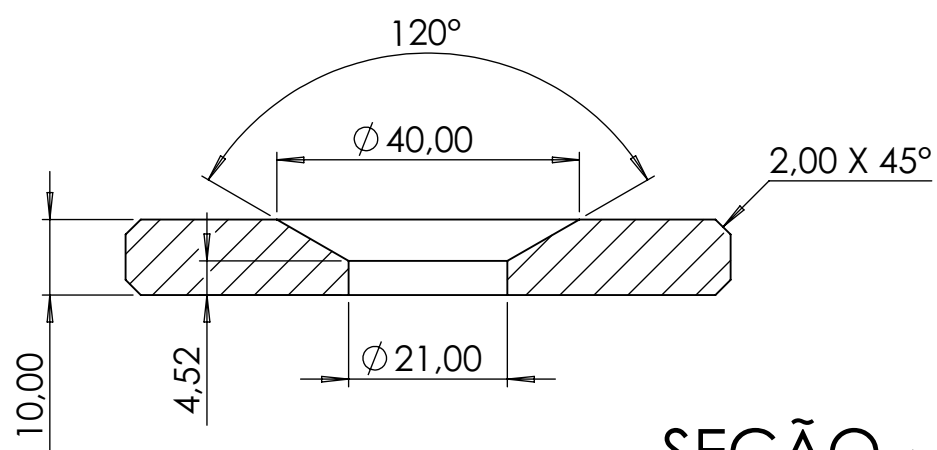
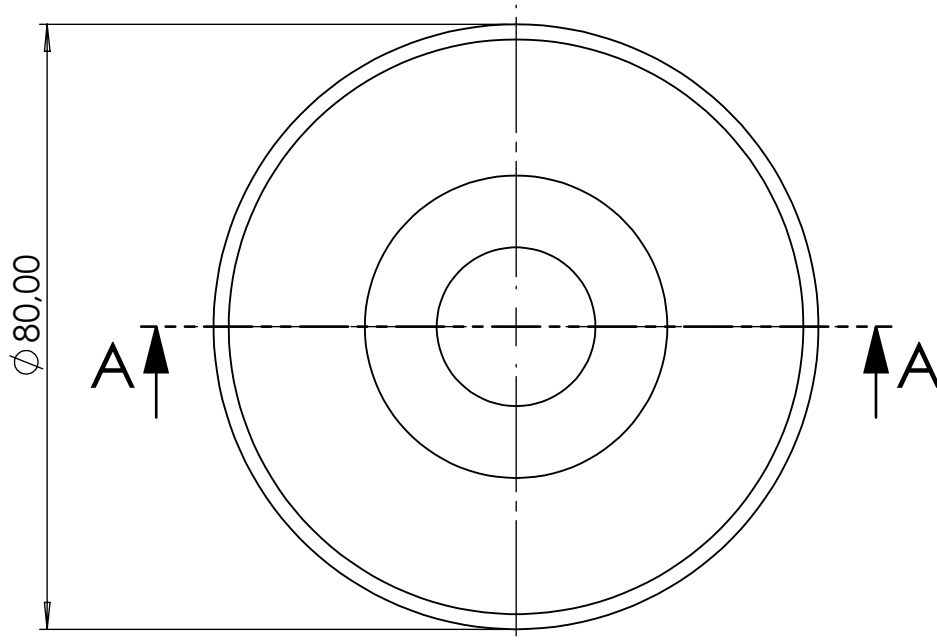


A4

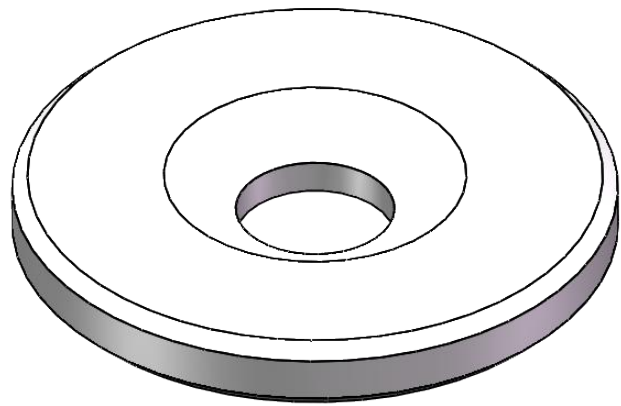
4 3 2 1

4 3 2 1

F
E
D
C
B
A



SEÇÃO A-A



F
E
D
C
B
A



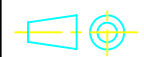
Nº DO DESENHO 01-04		DESCRIÇÃO: ARRUELA CHANFRADA	
MATERIAL: AÇO 1020		TRATAMENTO TÉRMICO:	
PESO: 344.25 kg		CAMADA: _ mm	DUREZA: _
PROJ: T.CIESLINSKY	DATA DE CRIAÇÃO	TRATAMENTO SUPERFICIAL:	
DES: T.CIESLINSKY	06/12/2022		

TOLERANCIAS NAO ESPECIFICADAS

ATÉ	6	30	120	400	1000	2000
6	A	A	A	A	A	A
±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8

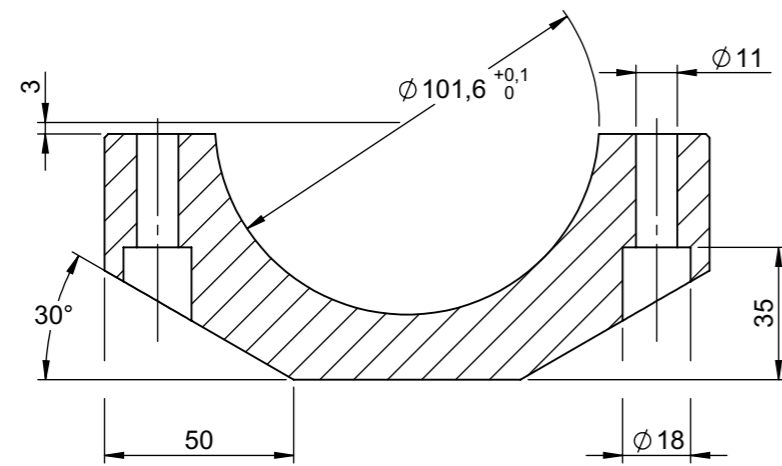
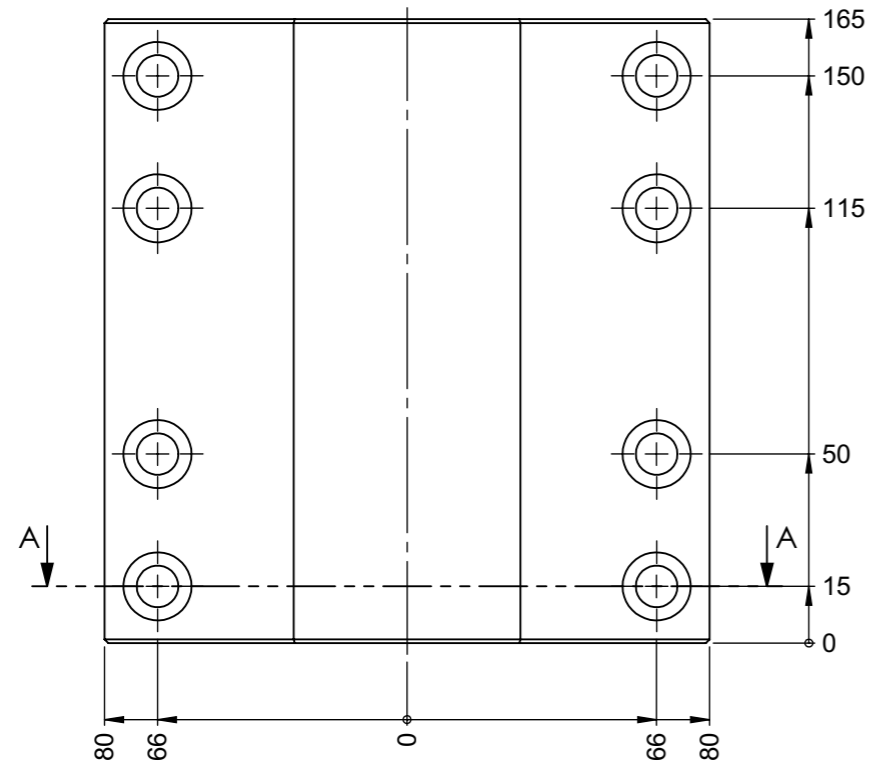
ESCALA: 1:1

FOLHA 1 DE 1

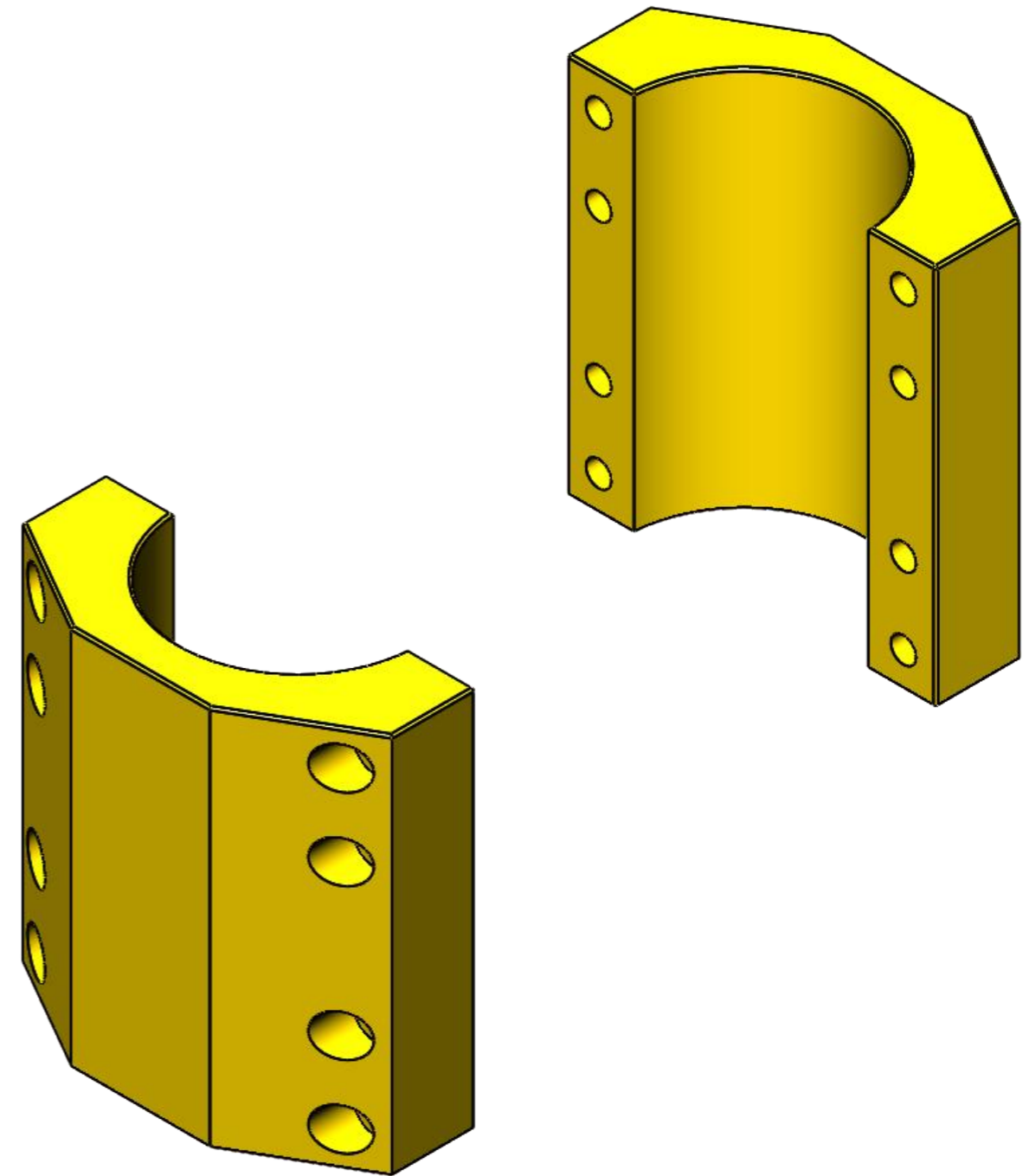



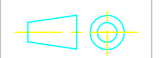
A4

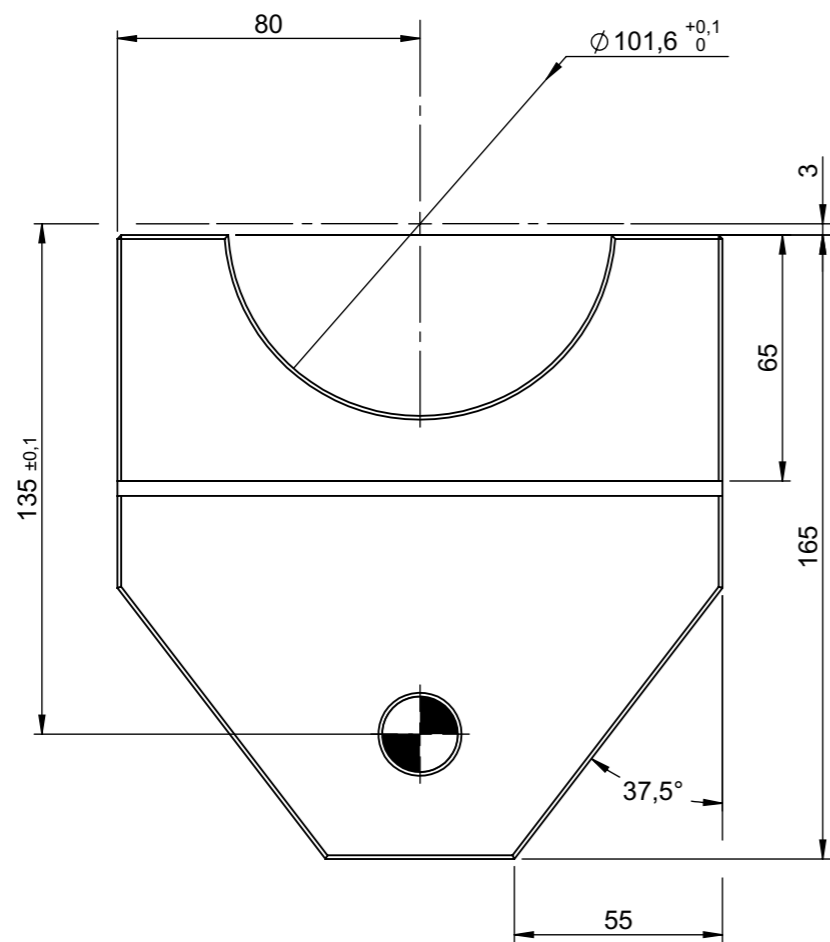
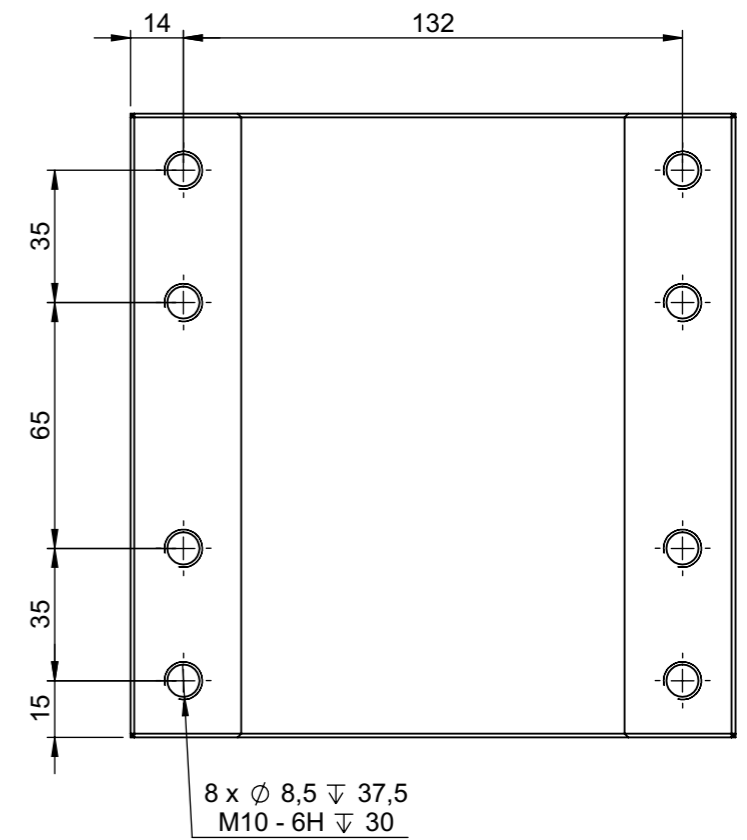
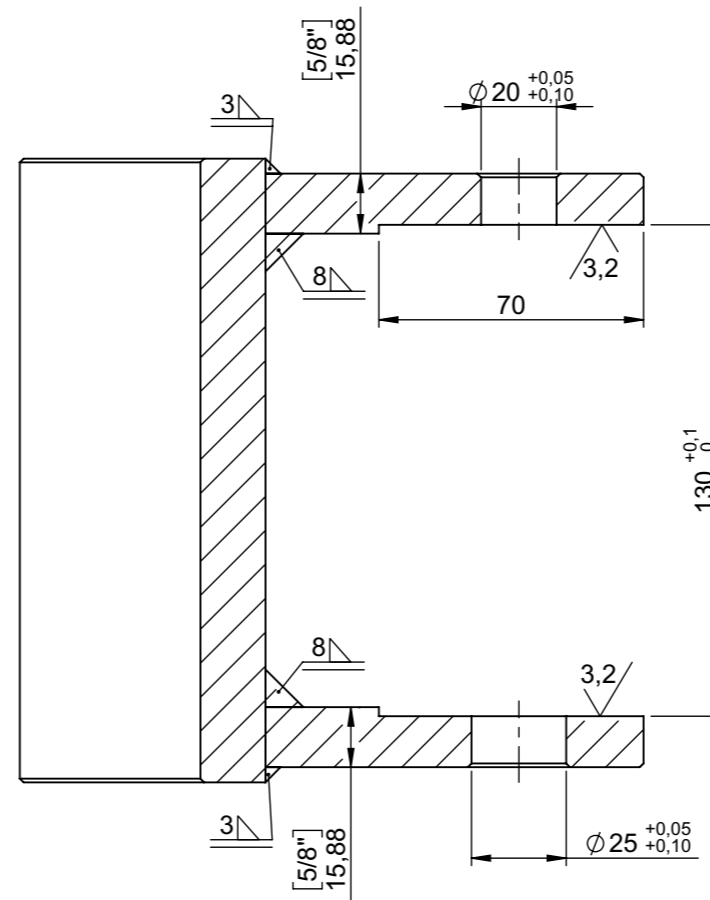
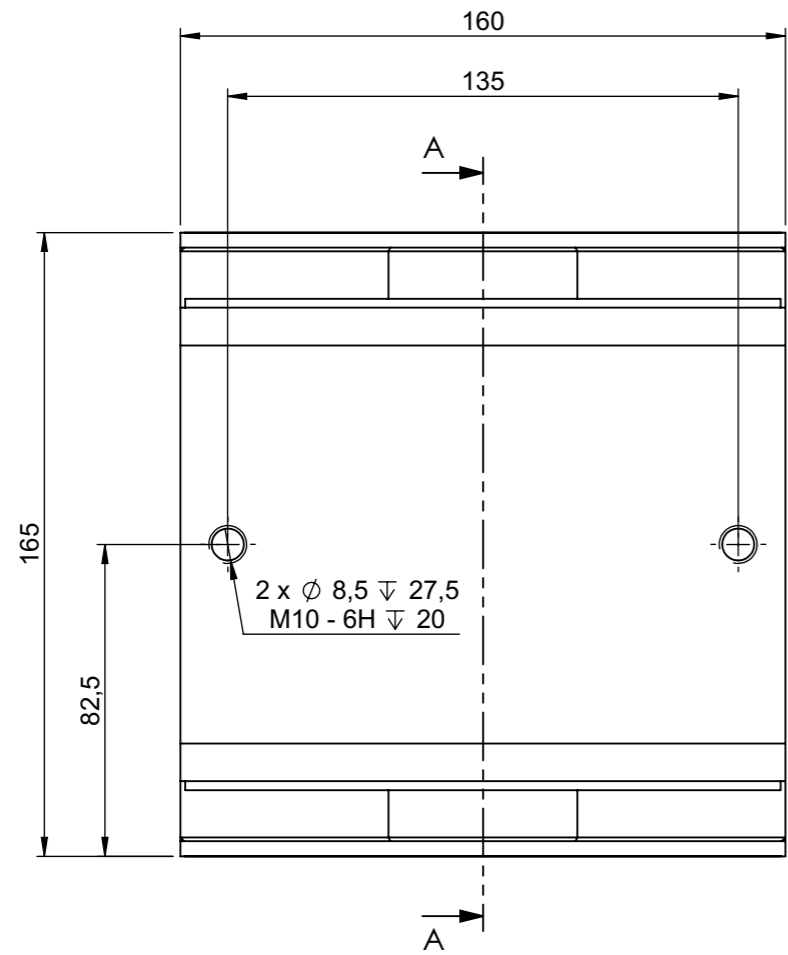
4 3 2 1



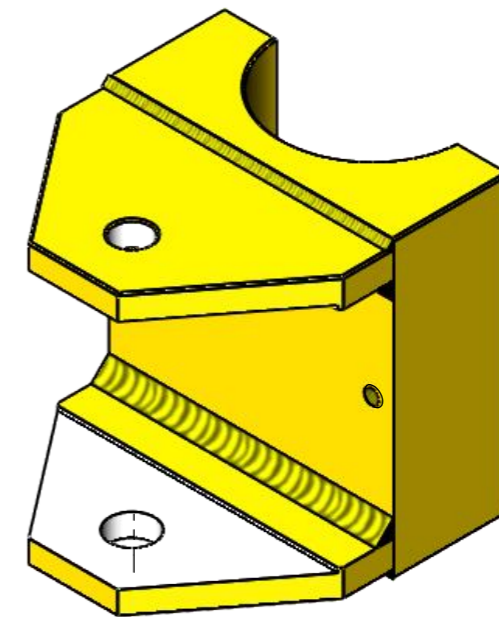
SEÇÃO A-A


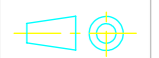


 UFSC	Nº DO DESENHO		DESCRÇÃO:			
	T_02-01		FIXAÇÃO SUPORTE			
	MATERIAL:		TRATAMENTO TÉRMICO:			
	AÇO 1020					
PESO:		CAMADA:		DUREZA:		
6.37 kg						
PROJ:	T.CIESLINSKY	DATA DE CRIAÇÃO	TRATAMENTO SUPERFICIAL:			
DES:	T.CIESLINSKY	02/12/2022	PINT. PÓ AMARELO MUNSELL 5Y 8/12			
TOLERANCIAS NAO ESPECIFICADAS						
ATÉ	6	30	120	400	1000	2000
6	A	A	A	A	A	A
±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8
ESCALA:1:2		FOLHA 1 DE 1			A3	



SEÇÃO A-A

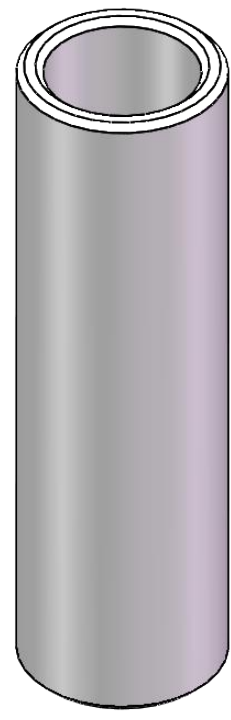
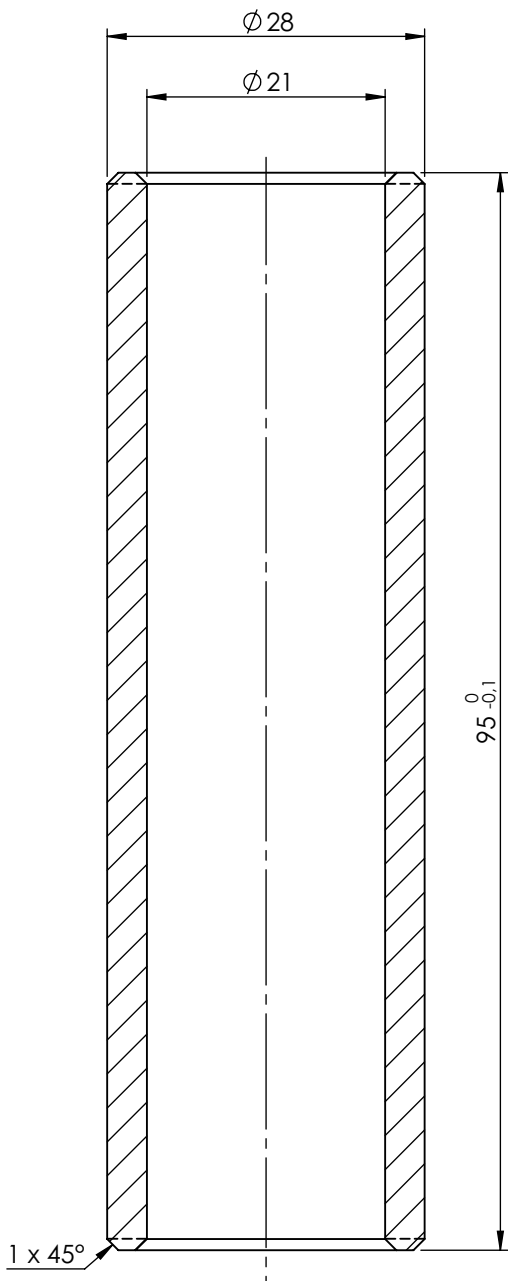


 UFSC TOLERANCIAS NAO ESPECIFICADAS	Nº DO DESENHO T_02-02		DESCRIÇÃO: FIXAÇÃO HASTE																						
	MATERIAL: AÇO 1020		TRATAMENTO TÉRMICO:																						
	PESO: 11.31 kg		CAMADA: _ mm	DUREZA: _																					
	PROJ: T.CIESLINSKY	DATA DE CRIAÇÃO: 02/12/2022	TRATAMENTO SUPERFICIAL: PINT. PÓ AMARELO MUNSELL 5Y 8/12																						
DES: T.CIESLINSKY	ESCALA: 1:2		FOLHA 1 DE 1	 A3																					
<table border="1"> <tr> <td>ATÉ</td> <td>6</td> <td>30</td> <td>120</td> <td>400</td> <td>1000</td> <td>2000</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>A</td> <td>A</td> <td>A</td> <td>A</td> <td>A</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>$\pm 0,05$</td> <td>$\pm 0,1$</td> <td>$\pm 0,15$</td> <td>$\pm 0,2$</td> <td>$\pm 0,3$</td> <td>$\pm 0,5$</td> <td>$\pm 0,8$</td> </tr> </table>	ATÉ	6	30	120	400	1000	2000	6	A	A	A	A	A	A	$\pm 0,05$	$\pm 0,1$	$\pm 0,15$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$				
ATÉ	6	30	120	400	1000	2000																			
6	A	A	A	A	A	A																			
$\pm 0,05$	$\pm 0,1$	$\pm 0,15$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$																			

4 3 2 1

F
E
D
C
B
A

F
E
D
C
B
A



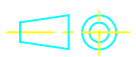
Nº DO DESENHO T_02-03		DESCRIÇÃO: ESPAÇADOR	
MATERIAL: AÇO 1020		TRATAMENTO TÉRMICO:	
PESO: 200.96 kg		CAMADA: _ mm	DUREZA: _
PROJ: T.CIESLINSKY	DATA DE CRIAÇÃO	TRATAMENTO SUPERFICIAL:	
DES: T.CIESLINSKY	02/12/2022		

TOLERANCIAS NAO ESPECIFICADAS

ATÉ	6	30	120	400	1000	2000
6	A	A	A	A	A	A
±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8

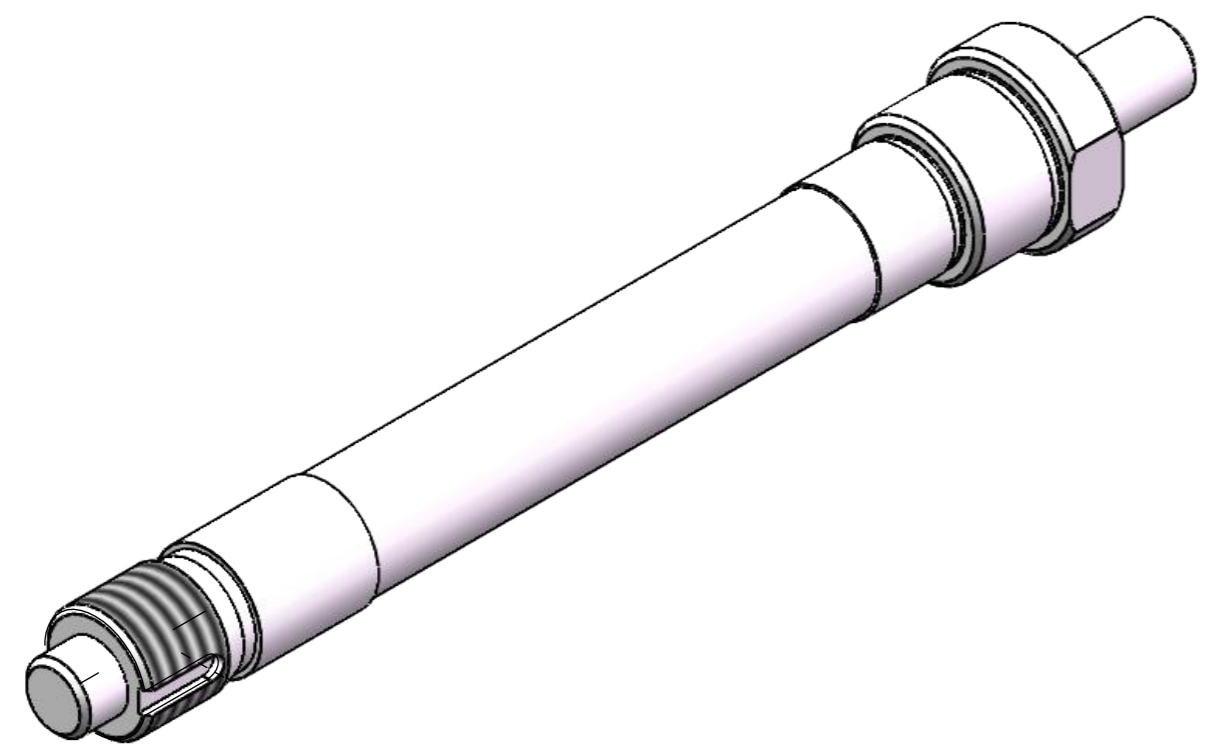
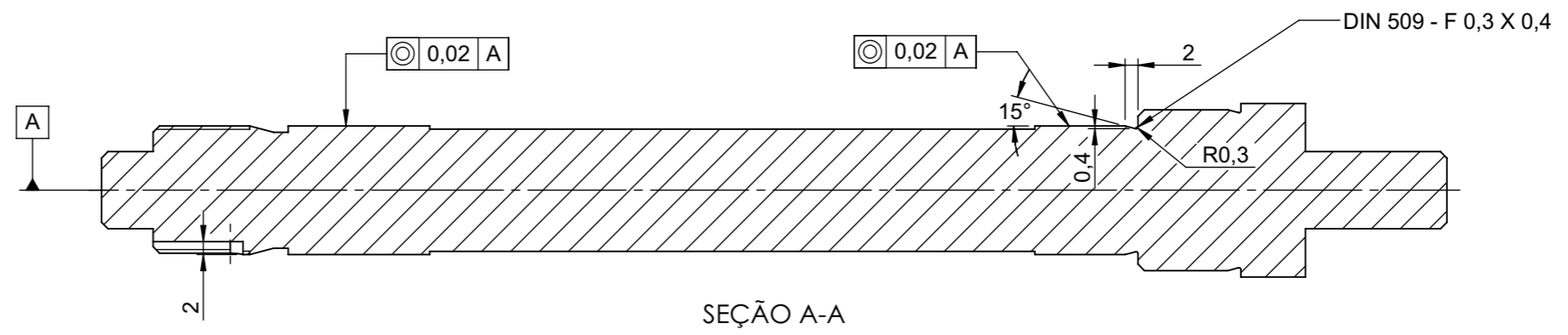
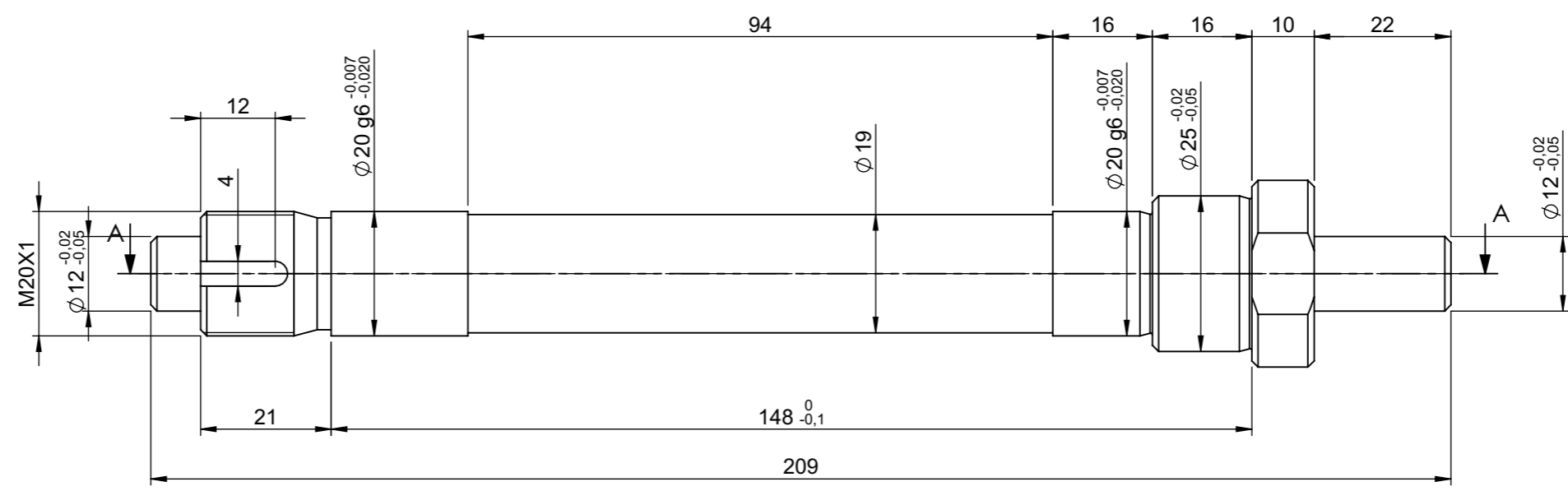
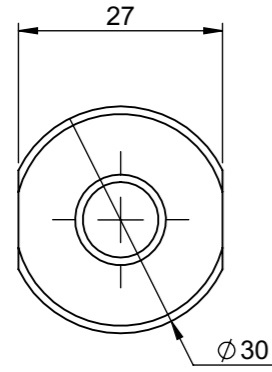
ESCALA: 1.5:1

FOLHA 1 DE 1

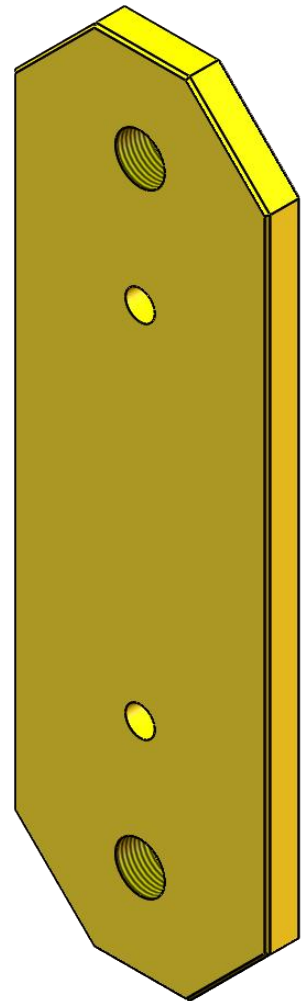
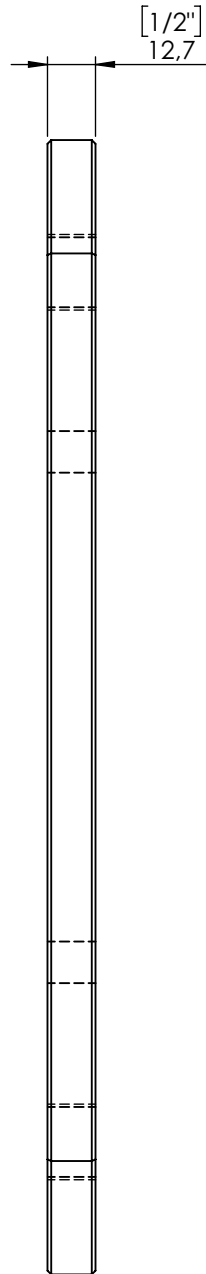
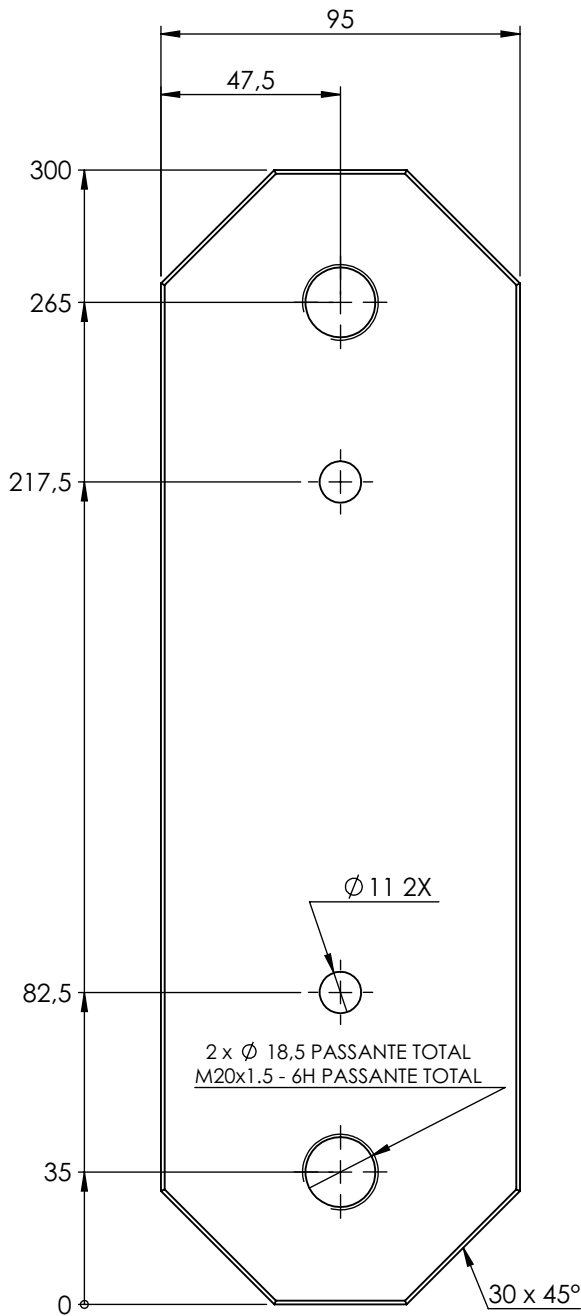


A4

4 3 2 1



	Nº DO DESENHO T_02-04		DESCRIÇÃO: EIXO PEDESTAL	
	MATERIAL: AÇO 1045		TRATAMENTO TÉRMICO:	
	PESO: 491.75 kg	CAMADA: _ mm	DUREZA: _	
	PROJ: T.CIESLINSKY	DATA DE CRIAÇÃO: 06/12/2022	TRATAMENTO SUPERFICIAL:	
DES: T.CIESLINSKY				
TOLERANCIAS NAO ESPECIFICADAS				
ATÉ 6 ±0,05	6 A ±0,1	30 A ±0,15	120 A ±0,2	400 A ±0,3
			1000 A ±0,5	2000 A ±0,8
ESCALA: 1:1		FOLHA 1 DE 1		A3



TOLERANCIAS NAO ESPECIFICADAS

ATÉ	6	30	120	400	1000	2000
6	A	A	A	A	A	A
±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8

Nº DO DESENHO

T_02-05

DESCRIÇÃO:

SUPORTE BATENTE

MATERIAL:

AÇO 1020

TRATAMENTO TÉRMICO:

PESO:

2600.14 kg

CAMADA: _ mm

DUREZA: _

PROJ:

T.CIESLINSKY

DATA DE CRIAÇÃO

02/12/2022

TRATAMENTO SUPERFICIAL:

PINT. PÓ AMARELO MUNSELL 5Y 8/12

DES:

T.CIESLINSKY

ESCALA:1:2

FOLHA 1 DE 1

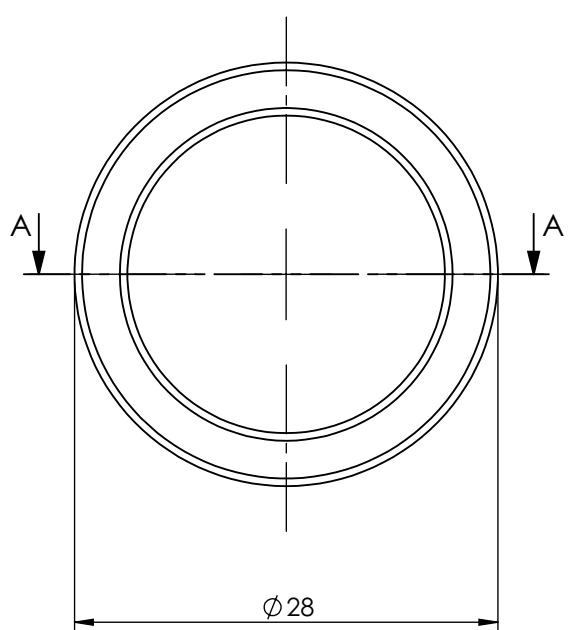


A4

4 3 2 1

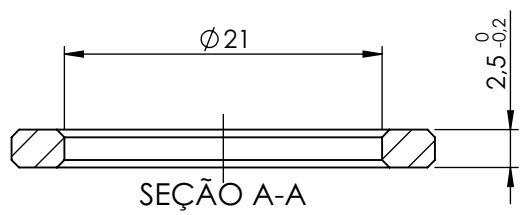
F

F



E

E

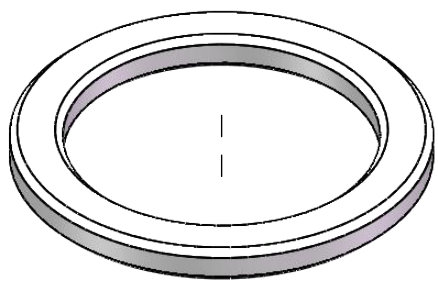


D

D

C

C



B

B



Nº DO DESENHO T_02-06		DESCRIÇÃO: ARRUELA	
MATERIAL: AÇO 1020		TRATAMENTO TÉRMICO:	
PESO: 5.02 kg		CAMADA: _ mm	DUREZA: _
PROJ: T.CIESLINSKY	DATA DE CRIAÇÃO 02/12/2022	TRATAMENTO SUPERFICIAL:	
DES: T.CIESLINSKY			

A

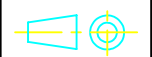
A

TOLERANCIAS NAO ESPECIFICADAS

ATÉ 6	6 A	30 A	120 A	400 A	1000 A	2000 A
±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8

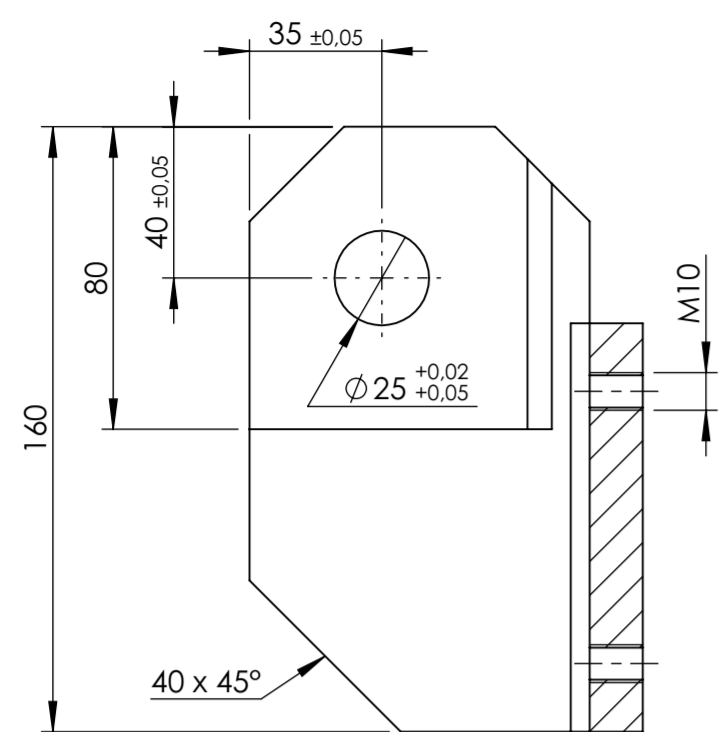
ESCALA:2:1

FOLHA 1 DE 1

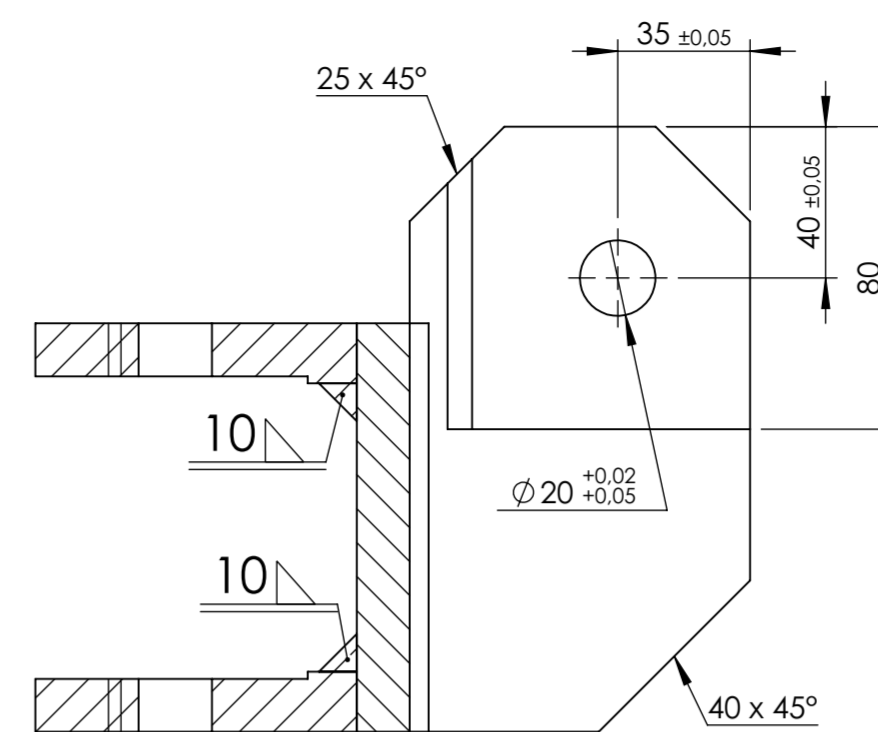
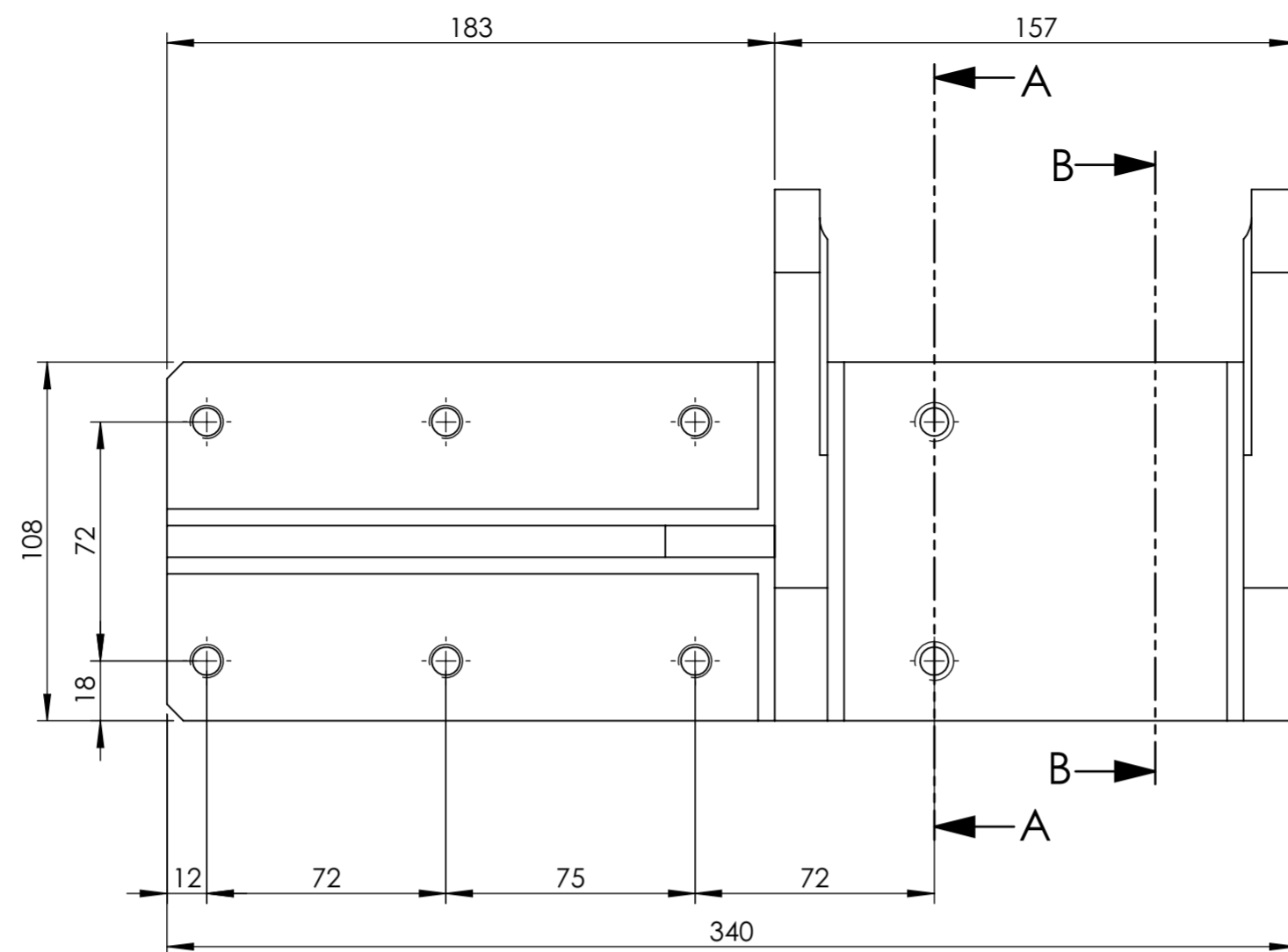


A4

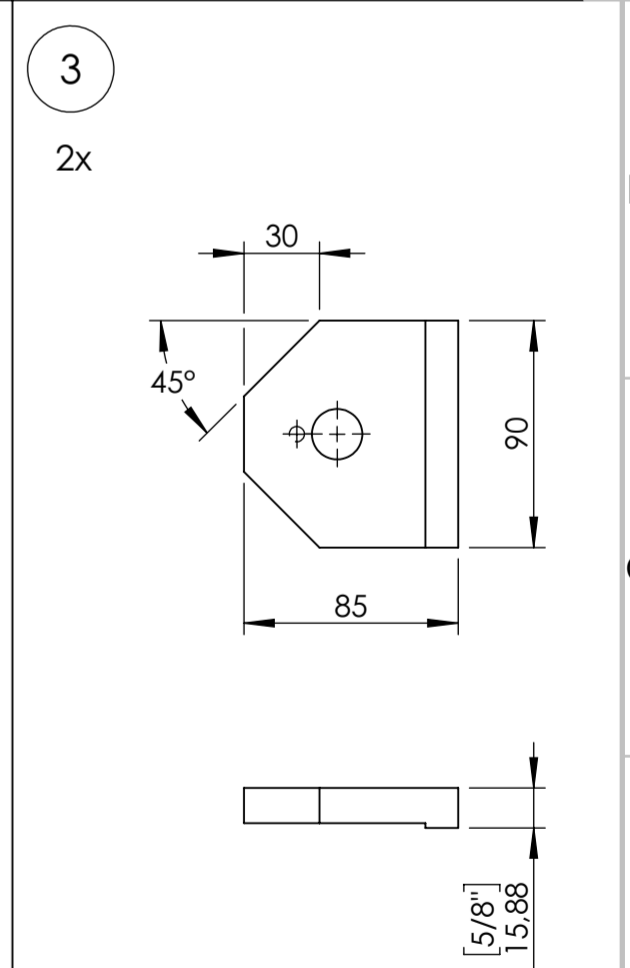
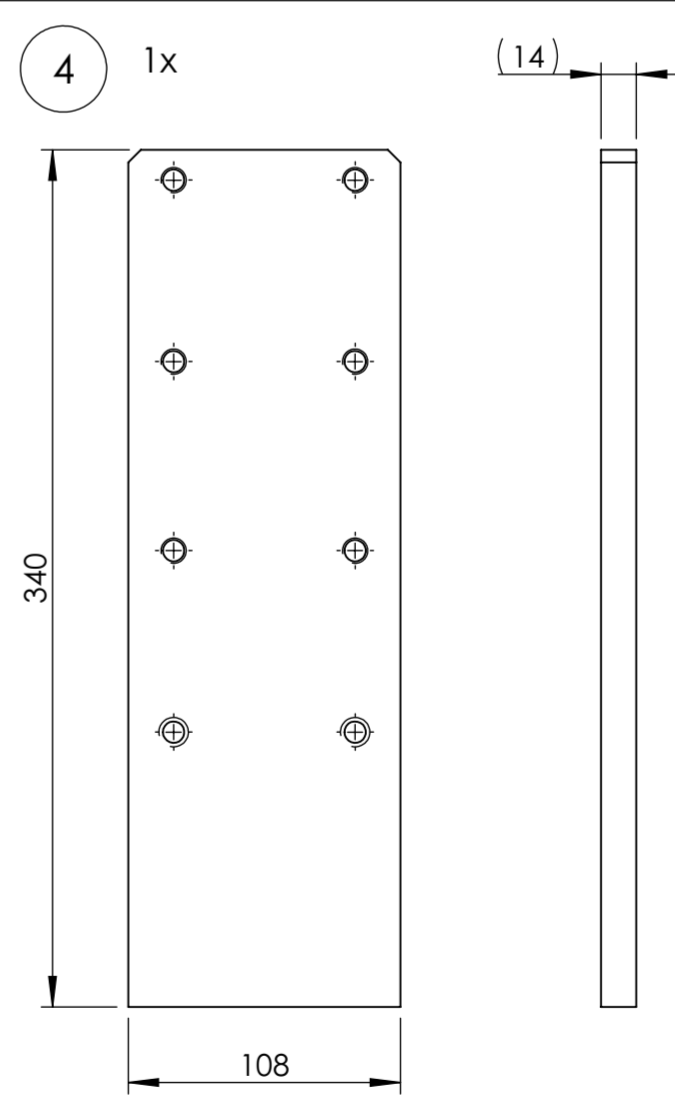
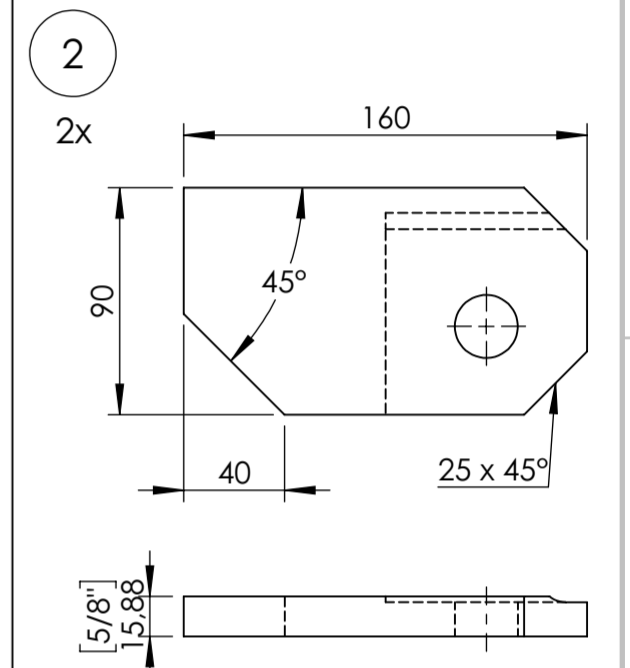
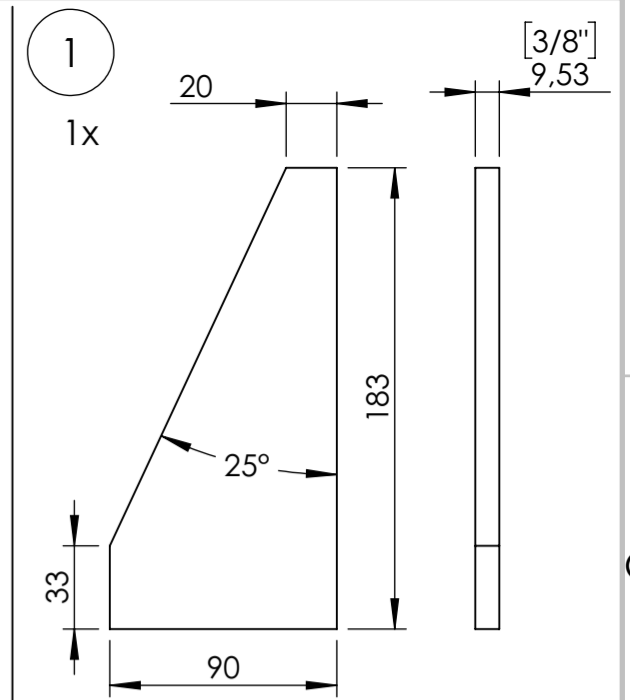
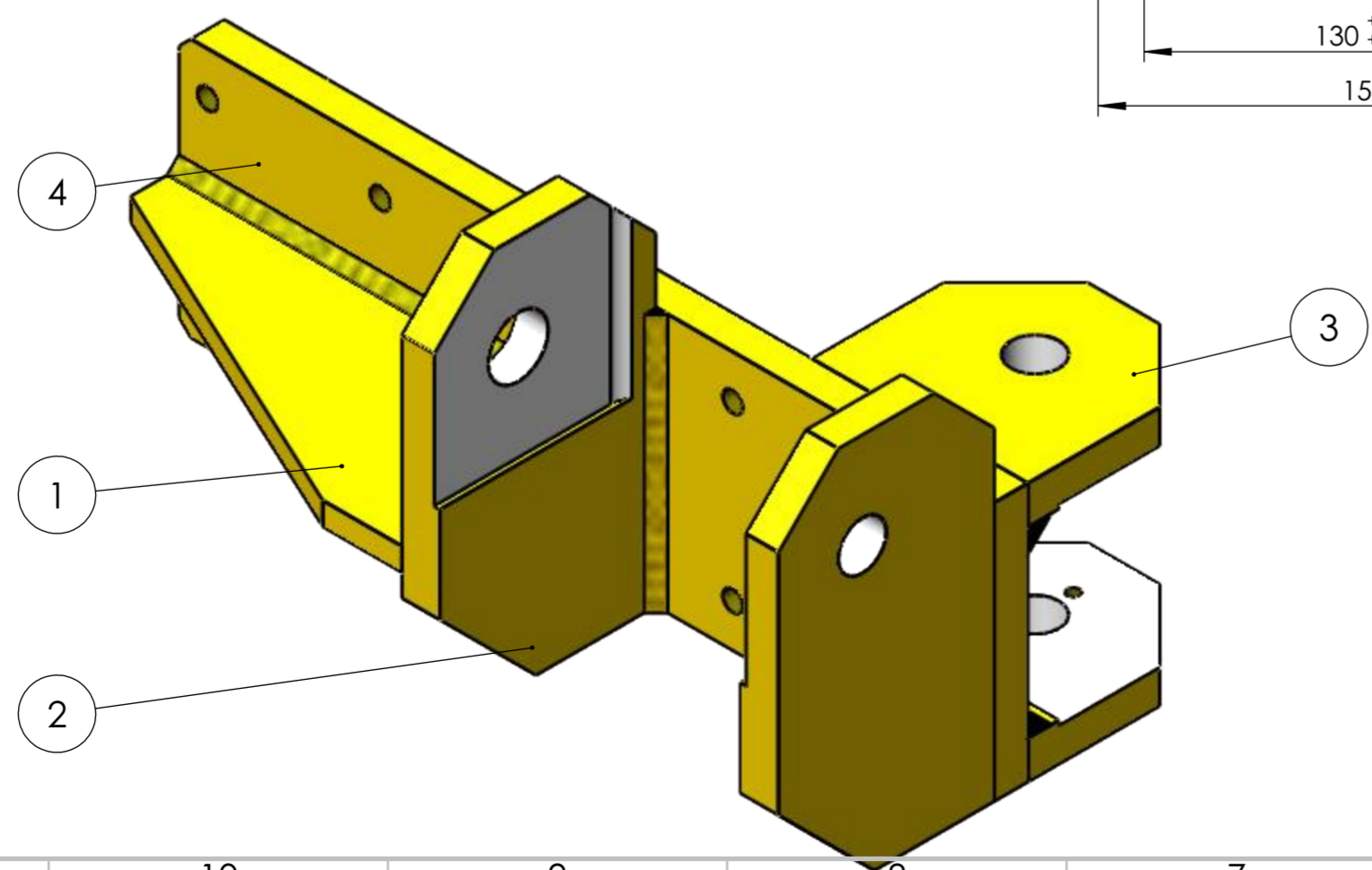
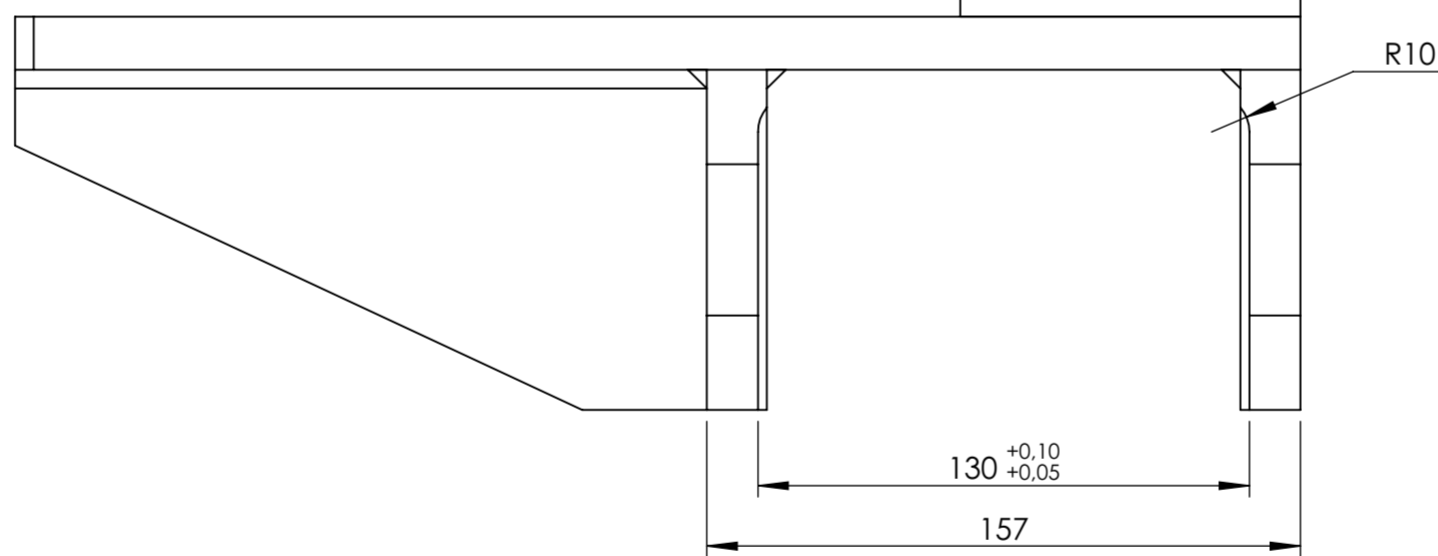
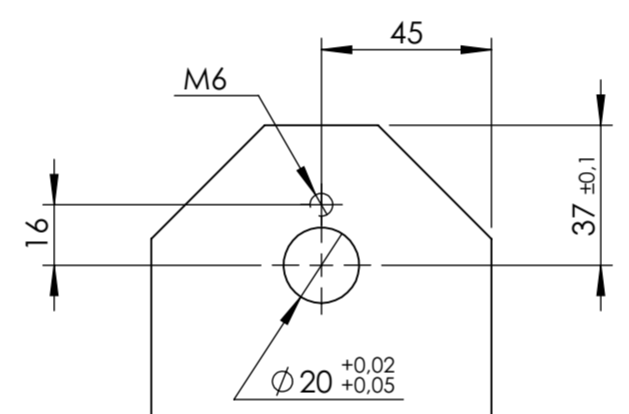
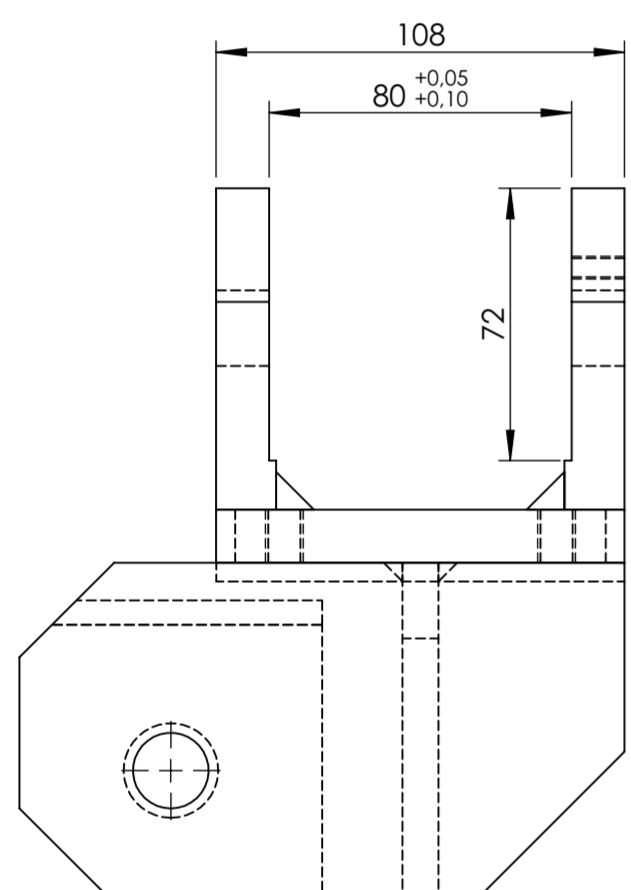
4 3 2 1



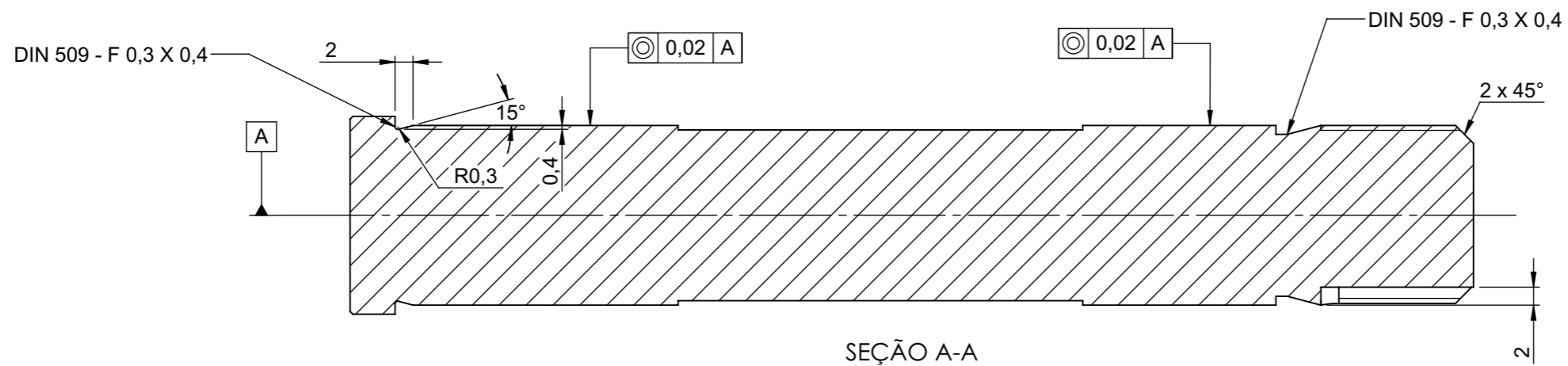
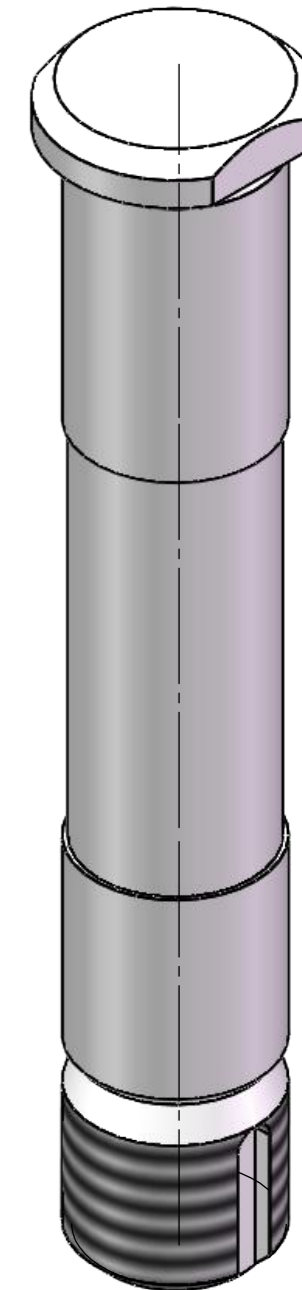
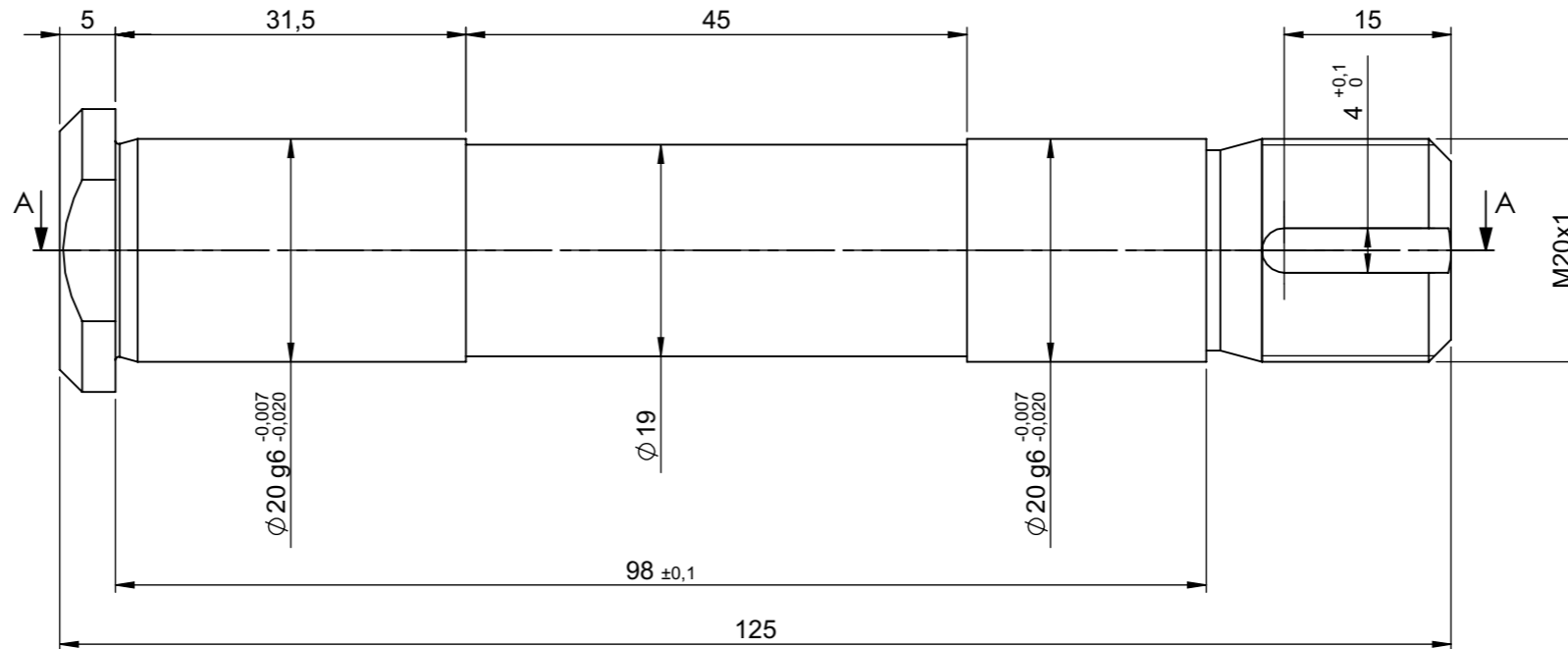
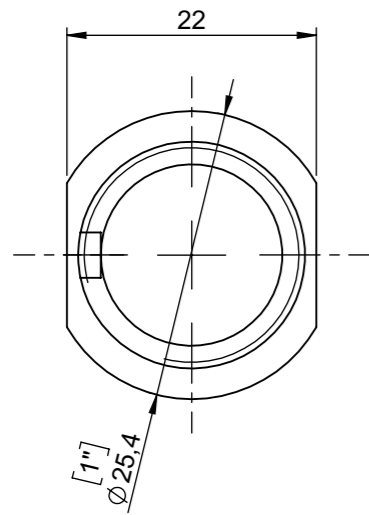
SEÇÃO A-A




SEÇÃO B-B



	Nº DO DESENHO T_03-01	DESCRIÇÃO: SUPORTE CENTRAL
	MATERIAL: AÇO 1020	TRATAMENTO TÉRMICO:
	PESO: 9.40 kg	CAMADA: _ mm DUREZA: _
	PROJ: T.CIESLINSKY	TRATAMENTO SUPERFICIAL: PINT. PÓ AMARELO MUNSELL 5Y 8/12
DES: T.CIESLINSKY	DATA DE CRIAÇÃO: 02/12/2022	
TOLERANCIAS NAO ESPECIFICADAS		ESCALA: 1:3
ATÉ 6 ±0,05	6 A 30 ±0,1	30 A 120 ±0,15
120 A 400 ±0,2	400 A 1000 ±0,3	1000 A 2000 ±0,5
2000 A 4000 ±0,8		
		FOLHA 1 DE 1
		A2



SEÇÃO A-A

 UFSC	Nº DO DESENHO T_03-02	DESCRIÇÃO: EIXO SECUNDÁRIO	
	MATERIAL: AÇO 1045	TRATAMENTO TÉRMICO:	
PESO: 299.39 kg	PROJ: T.CIESLINSKY	DATA DE CRIAÇÃO: 06/12/2022	CAMADA: _ mm DUREZA: _
TOLERANCIAS NAO ESPECIFICADAS		TRATAMENTO SUPERFICIAL:	
ATÉ 6 ±0,05	6 A ±0,1	30 A ±0,15	120 A ±0,2
		400 A ±0,3	1000 A ±0,5
		2000 A ±0,8	2000 A ±0,8
ESCALA: 1.5:1		FOLHA 1 DE 1	
		 A3	

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

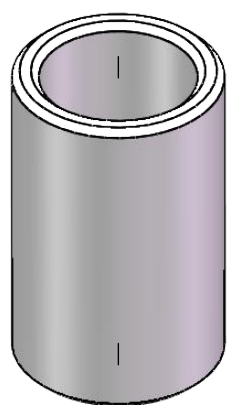
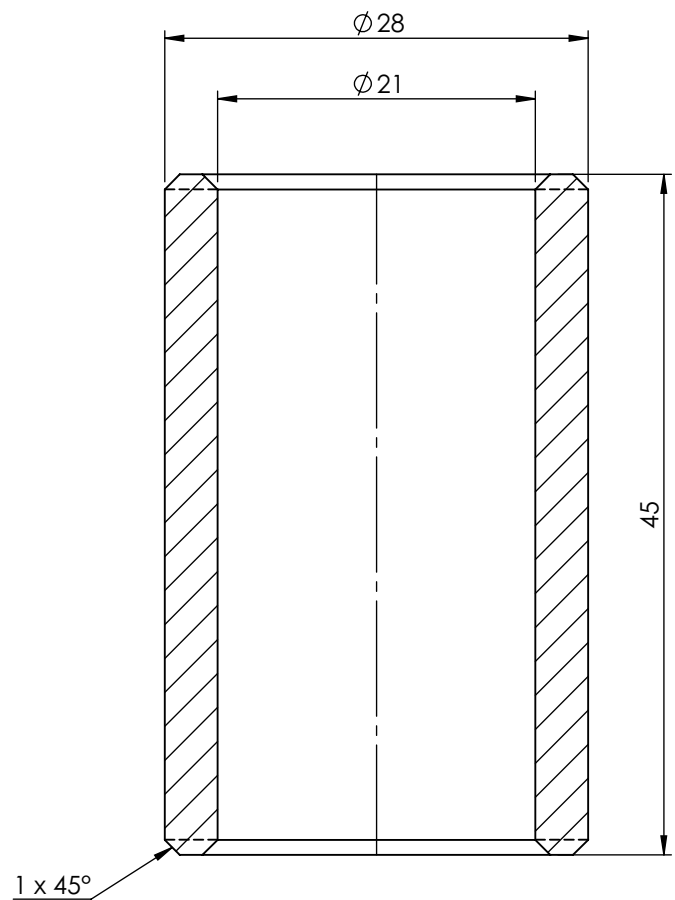
C

B

B

A

A



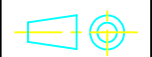
TOLERANCIAS NAO ESPECIFICADAS

ATÉ	6	30	120	400	1000	2000
6	A	A	A	A	A	A
±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8

Nº DO DESENHO T_03-03		DESCRIÇÃO: ESPAÇADOR	
MATERIAL: AÇO 1020		TRATAMENTO TÉRMICO:	
PESO: 94.55 kg		CAMADA: _ mm	DUREZA: _
PROJ: T.CIESLINSKY	DATA DE CRIAÇÃO	TRATAMENTO SUPERFICIAL:	
DES: T.CIESLINSKY	02/12/2022		

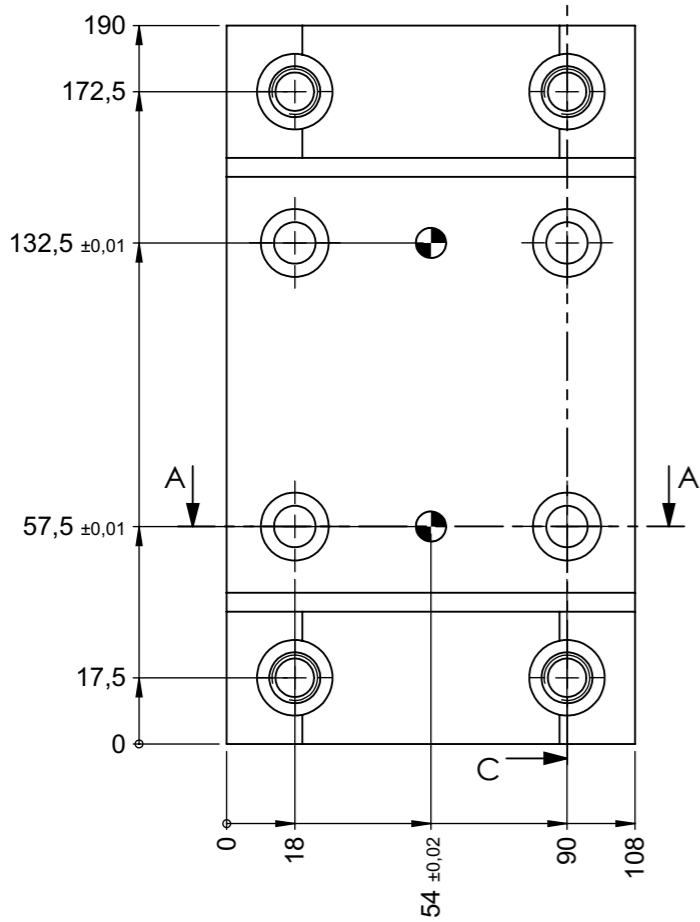
ESCALA:2:1

FOLHA 1 DE 1

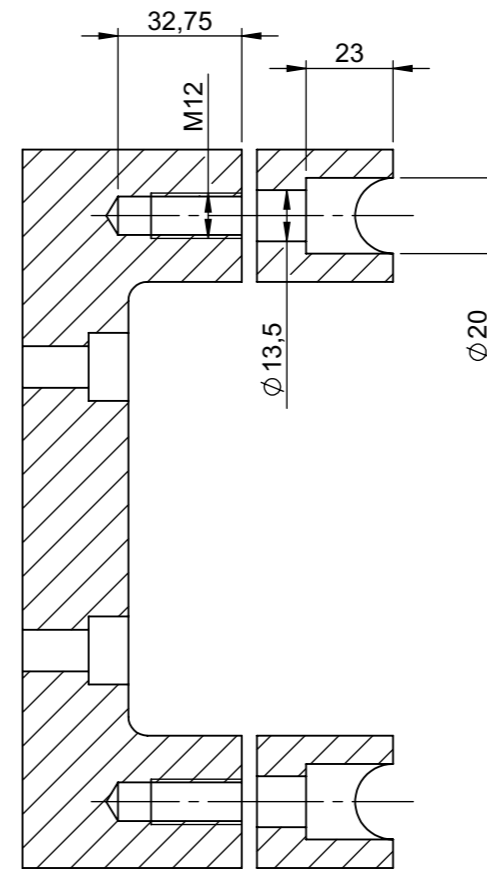
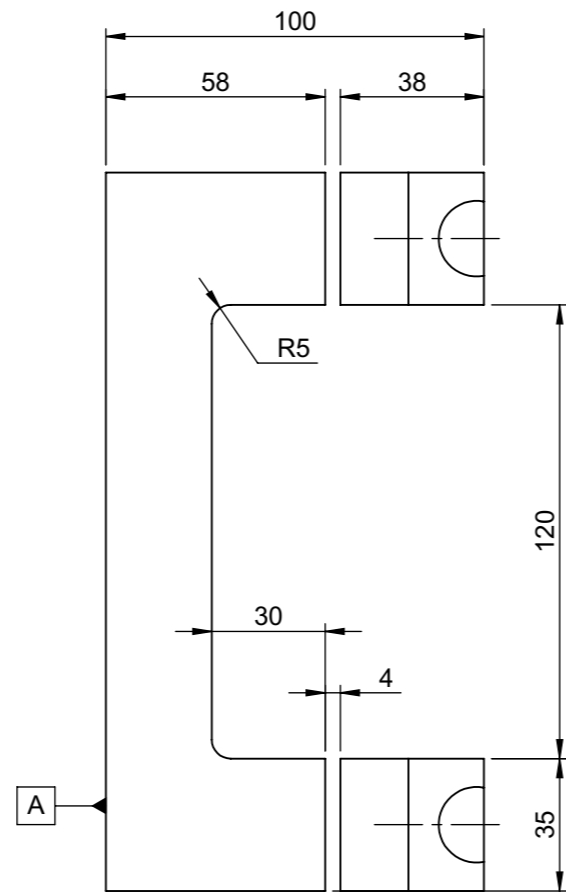


A4

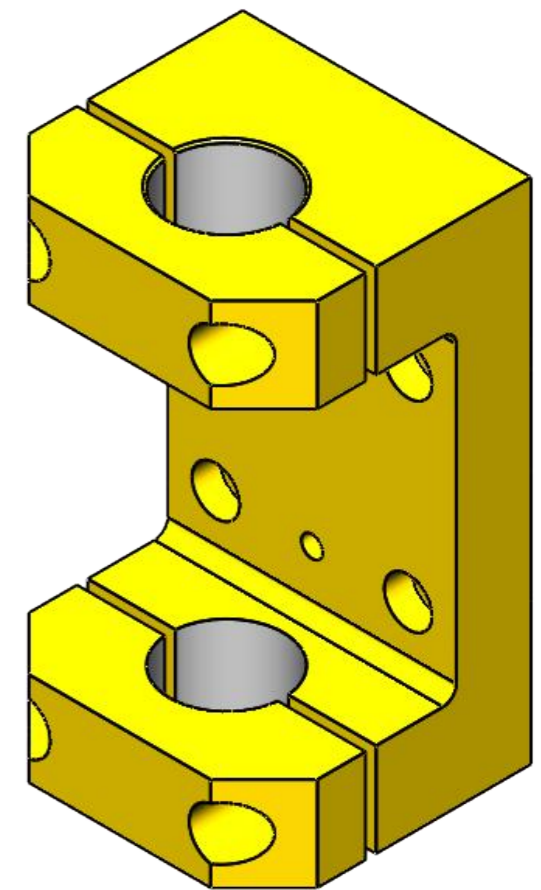
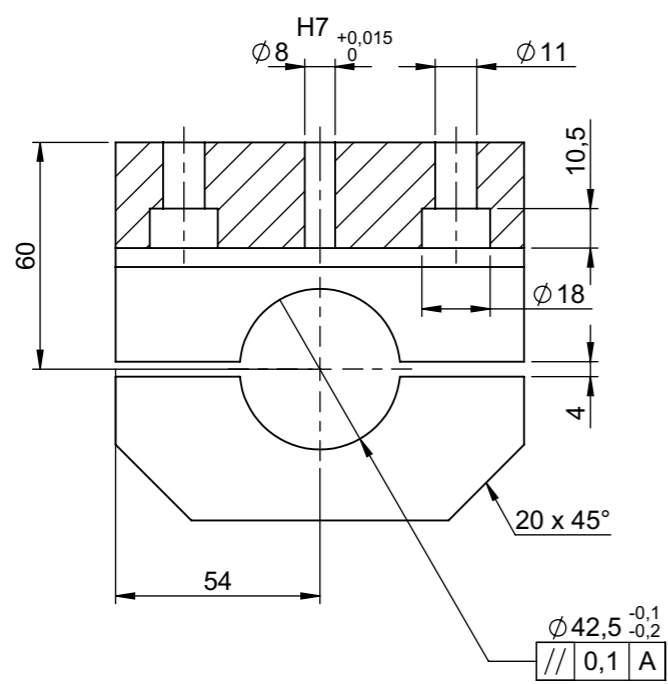
4 3 2 1




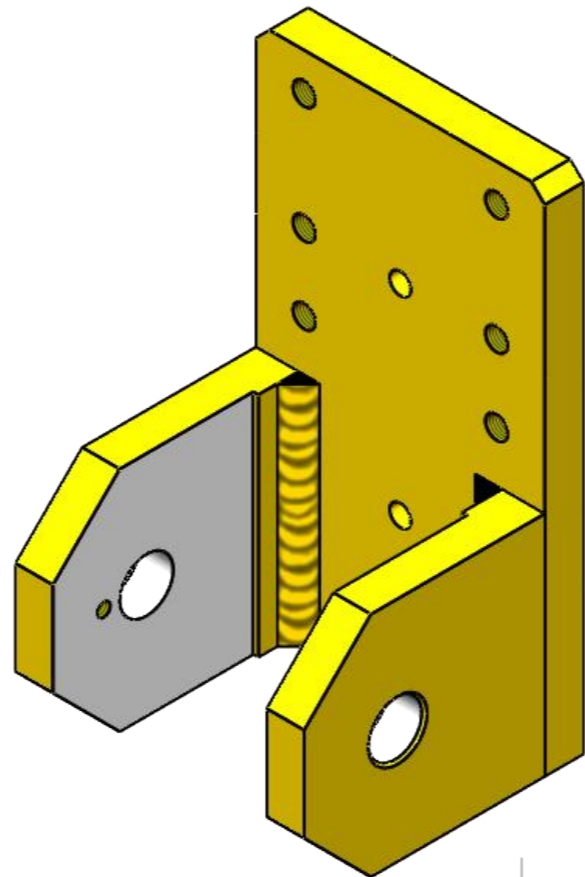
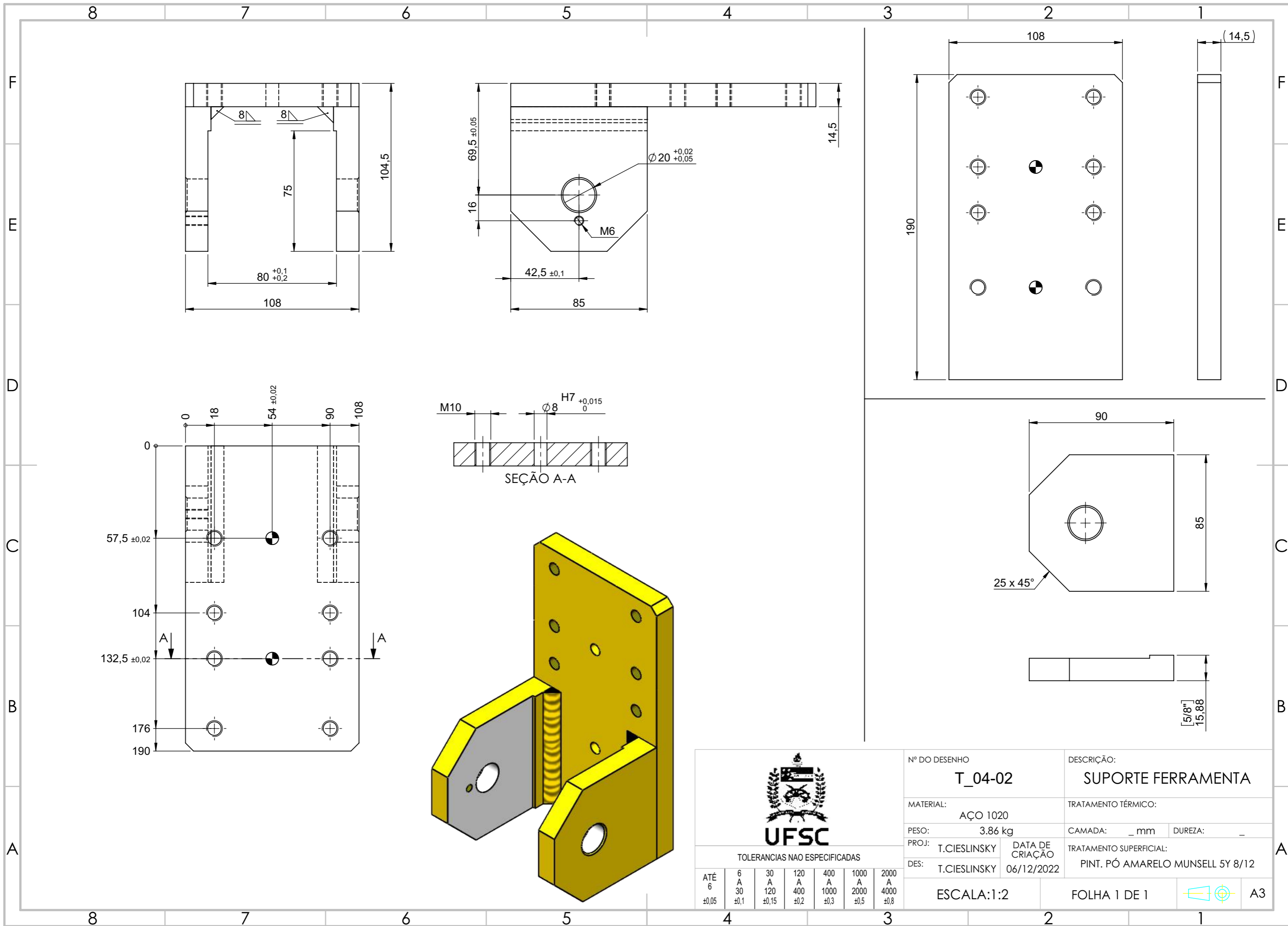
SEÇÃO A-A





SEÇÃO C-C



 UFSC	Nº DO DESENHO T_04-01	DESCRIÇÃO: SUPORE FERRAMENTA															
	MATERIAL: AÇO 1020	TRATAMENTO TÉRMICO:															
	PESO: 7.18 kg	CAMADA: _ mm	DUREZA: _														
	PROJ: T.CIESLINSKY DES: T.CIESLINSKY	DATA DE CRIAÇÃO 06/12/2022	TRATAMENTO SUPERFICIAL: PINT. PÓ AMARELO MUNSELL 5Y 8/12														
ESCALA: 1:2		FOLHA 1 DE 1															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>ATÉ</th> <th>6</th> <th>30</th> <th>120</th> <th>400</th> <th>1000</th> <th>2000</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6</td> <td>±0,05</td> <td>±0,1</td> <td>±0,15</td> <td>±0,2</td> <td>±0,3</td> <td>±0,5</td> </tr> </tbody> </table>		ATÉ	6	30	120	400	1000	2000	6	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5		
ATÉ	6	30	120	400	1000	2000											
6	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5											
		A3															



 UFSC		Nº DO DESENHO	T_04-02		DESCRIÇÃO:	SUPORTE FERRAMENTA		
		MATERIAL:	AÇO 1020		TRATAMENTO TÉRMICO:			
TOLERANCIAS NAO ESPECIFICADAS		PESO:	3.86 kg		CAMADA:	_ mm	DUREZA:	_
		PROJ:	T.CIESLINSKY	DATA DE CRIAÇÃO	TRATAMENTO SUPERFICIAL:			
		DES:	T.CIESLINSKY	06/12/2022	PINT. PÓ AMARELO MUNSELL 5Y 8/12			
ATÉ	6	30	120	400	1000	2000		
	±0.05	±0.1	±0.15	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	
ESCALA: 1:2		FOLHA 1 DE 1				A3		