

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

JAISON DONIZETI DA SILVA

**PROJETO DE UM ELEVADOR AUTOMOTIVO PARA PROTÓTIPO DO TIPO
FÓRMULA SAE**

CURITIBA

2022

JAISON DONIZETI DA SILVA

**PROJETO DE UM ELEVADOR AUTOMOTIVO PARA PROTÓTIPO DO TIPO
FÓRMULA SAE**

Design of an automotive lift for a Formula SAE type prototype

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Paula Carvalho da Silva Ferreira.

CURITIBA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

JAISON DONIZETI DA SILVA

**PROJETO DE UM ELEVADOR AUTOMOTIVO PARA PROTÓTIPO DO TIPO
FÓRMULA SAE**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para a obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 22/junho/2022

Ana Paula Carvalho da Silva Ferreira
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Luciano Zart Olanyk
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Marcio Henrique De Avelar Gomes
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CURITIBA
2022

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial aos meus pais, Josélia e José, pelo esforço, incentivo e suporte incondicional;

À Prof.^a Dr.^a Ana Paula, pela orientação e suporte na elaboração deste trabalho;

Aos meus amigos, pela amizade construída ao longo da graduação;

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná e aos seus docentes, pela oportunidade de realização do curso de graduação;

E a todos que diretamente ou indiretamente fizeram parte da minha graduação.

RESUMO

O elevador automotivo é um equipamento que possui como principal finalidade elevar o veículo até uma posição que facilite a sua manutenção. Atualmente, o nicho de mercado desses equipamentos foca principalmente em veículos comerciais, assim, existe uma carência de produtos que podem ser utilizados em protótipos. Dessa forma, construtores de protótipos possuem muita dificuldade relacionada à construção e manutenção dos veículos. Exemplo disso é a equipe Fórmula UTFPR, que constrói um protótipo para uma competição nacional. Logo, apresentou-se a oportunidade de projetar um elevador automotivo específico para um protótipo do tipo Fórmula SAE. Esse trabalho apresenta um projeto estruturado em uma metodologia de pesquisa exploratória, contemplando pesquisas bibliográficas e pesquisas de campo. Além disso, utiliza uma metodologia de projeto e softwares para auxiliar no desenvolvimento do projeto. Assim, é possível desenvolver um equipamento que atenda às necessidades da equipe.

Palavras-chave: elevador automotivo, Fórmula SAE, projeto, protótipo.

ABSTRACT

The automotive lift is an equipment whose main purpose is to lift the vehicle to a position that facilitates its maintenance. Currently, the niche market for these equipment focuses mainly on commercial vehicles, thus, there is a lack of products that can be used in prototypes. In this way, prototype builders have a lot of difficulty related to the construction and maintenance of vehicles. An example of this is the Fórmula UTFPR team, which builds a prototype for a national competition. Therefore, the opportunity presented itself to design a specific automotive lift for a Formula SAE type prototype. This work presents a project structured in an exploratory research methodology, contemplating bibliographic research and field research. In addition, it uses a design methodology and software to assist in the development of the project. Thus, it is possible to develop equipment that meets the needs of the team.

Keywords: automotive lift, Formula SAE, design, prototype.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Primeiro elevador automotivo	16
Figura 2 – Primeiro elevador automotivo hidráulico	17
Figura 3 – Competição Fórmula SAE	18
Figura 4 – Elevador pórtico	21
Figura 5 – Elevador pantográfico.....	22
Figura 6 – Elevador prancha	22
Figura 7 – Elevador paralelogramo.....	23
Figura 8 – Plataforma hidráulica	25
Figura 9 – Organograma de acionamentos e mecanismos	27
Figura 10 – Perfis de rosca de parafusos de potência.....	28
Figura 11 – Sistema de elevação utilizando fuso	29
Figura 12 – Sistema hidráulico aplicado em elevadores automotivos	29
Figura 13 – Sistema hidráulico.....	31
Figura 14 – Mecanismo paralelogramo	32
Figura 15 – Mecanismo pantográfico	33
Figura 16 – Método dos elementos finitos	37
Figura 17 – Modelo 3D do chassi do protótipo EK-305.....	38
Figura 18 – Protótipo EK-304 finalizado	38
Figura 19 – Fluxograma simplificado das esferas.....	44
Figura 20 – Comparação dos mecanismos pantográfico e paralelogramo.....	50
Figura 21 – Organograma das escolhas realizadas	51
Figura 22 – Relações trigonométricas.....	52
Figura 23 – Modelagem 3D	56
Figura 24 – Posicionamentos dos apoios inferiores.....	57
Figura 25 – Patim.....	58
Figura 26 – Decomposição de força	58
Figura 27 – Conexão entre patim e barra	59
Figura 28 – Fixação fuso e base	59
Figura 29 – Conjunto que realiza o deslocamento do patim	60
Figura 30 – Chassi e posicionamento dos apoios superiores	61
Figura 31 – Primeiro passo do posicionamento	61
Figura 32 – Segundo passo do posicionamento	62

Figura 33 – Terceiro passo do posicionamento	62
Figura 34 – Quarto passo do posicionamento.....	62
Figura 35 – Posicionamento de transporte e armazenamento.....	63
Figura 36 – Posicionamento durante elevação.....	64
Figura 37 – Elevador - Análise de tensão.....	68
Figura 38 – Elevador - Regiões com concentração de tensão	69
Figura 39 – Elevador - Análise de deslocamento	69
Figura 40 – Elevador - Análise de deformação	70
Figura 41 – Elevador - Análise de fator de segurança	71
Figura 42 – Elevador - Regiões com concentração de tensão	71
Figura 43 – Apoios de elevação - Análise de deslocamento	72
Figura 44 – Apoios de elevação - Análise de fator de segurança	72
Figura 45 – Conjunto fuso - Análise de tensão.....	74
Figura 46 – Conjunto fuso - Análise de fator de segurança	74
Figura 47 – Especificações do rolamento escolhido	75
Figura 48 – Informações sobre as cargas do rolamento	76

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Razão entre deslocamentos x Ângulo entre barras e base	54
Gráfico 2 – Torque x Tempo	65
Gráfico 3 – Comparação da altura de elevação	66
Gráfico 4 – Comparação da distância entre as extremidades das barras.....	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Pesquisa de patentes	40
Quadro 2 – Metodologia de projeto	43
Quadro 3 – Especificações prévias de projeto	55
Quadro 4 – Método de obtenção e material	77
Quadro 5 – Especificações iniciais e finais de projeto	78
Quadro 6 – Requisitos alcançados	79

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Dados de referência dos protótipos	39
Tabela 2 – Matriz de decisão – Acionamento.....	49
Tabela 3 – Matriz de decisão – Mecanismo.....	49
Tabela 4 – Resultados das equações	53

LISTA DE SÍMBOLOS

$A_{Elevação}$	Altura de elevação
θ	Ângulo entre barras e base
$D_{Entre\ furos}$	Distância entre furos da barra
$D_{Entre\ barras}$	Distância entre as extremidades das barras
$D_{Elevação}$	Deslocamento linear de elevação
PE_{Final}	Posição final de elevação
$PE_{Inicial}$	Posição inicial de elevação
D_{fuso}	Deslocamento axial do fuso
PF_{Final}	Posição final do fuso
$PF_{Inicial}$	Posição inicial do fuso

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Contextualização	15
1.2	Caracterização do Problema	17
1.3	Objetivos	18
1.3.1	Objetivo Geral.....	18
1.3.2	Objetivos Específicos	18
1.4	Justificativa	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1	Projeto	20
2.2	Modelos de elevadores automotivos	20
2.2.1	Modelo pórtico	20
2.2.2	Modelo pantográfico	21
2.2.3	Modelo prancha	22
2.2.4	Modelo paralelogramo	22
2.3	Materiais	23
2.4	Elementos de máquinas	24
2.4.1	Coeficiente de segurança	24
2.5	Máquinas, mecanismo e cinemática	25
2.6	Tipos de acionamentos e mecanismos	26
2.6.1	Tipos de acionamentos	27
<u>2.6.1.1</u>	<u>Fuso</u>	<u>27</u>
<u>2.6.1.2</u>	<u>Hidráulico</u>	<u>29</u>
2.6.2	Tipos de mecanismos.....	31
<u>2.6.2.1</u>	<u>Paralelogramo</u>	<u>32</u>
<u>2.6.2.2</u>	<u>Pantográfico</u>	<u>32</u>

2.7	Estática.....	33
2.7.1	Centro de gravidade	33
2.7.2	Modelo.....	34
2.7.3	Trabalho virtual.....	35
2.8	Ergonomia.....	35
2.9	Método dos elementos finitos	36
2.10	Protótipo Fórmula SAE	37
2.11	Patentes.....	39
2.12	Matriz de decisão.....	40
3	METODOLOGIA	42
3.1	Metodologia de Pesquisa.....	42
3.2	Metodologia de Projeto.....	42
3.2.1	Justificativa da metodologia de projeto.....	44
4	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	46
4.1	Identificação da necessidade	46
4.2	Pesquisa e suporte.....	46
4.3	Definição do objetivo	47
4.4	Especificação de tarefas.....	47
4.5	Síntese.....	48
4.5.1	Definições iniciais	48
<u>4.5.1.1</u>	<u>Acionamento e mecanismo</u>	<u>49</u>
<u>4.5.1.2</u>	<u>Estrutura.....</u>	<u>51</u>
<u>4.5.1.3</u>	<u>Sistema de Segurança</u>	<u>51</u>
<u>4.5.1.4</u>	<u>Força motriz.....</u>	<u>51</u>
<u>4.5.1.5</u>	<u>Cálculos.....</u>	<u>52</u>
<u>4.5.1.6</u>	<u>Especificações prévias de projeto</u>	<u>55</u>
4.5.2	Modelagem 3D	55

4.5.2.1	<u>Seção Inferior</u>	56
4.5.2.2	<u>Seção Intermediária</u>	57
4.5.2.3	<u>Seção superior</u>	60
4.5.2.4	<u>Modelo final do elevador</u>	63
4.6	Análise	64
4.6.1	Análise de Movimento	65
4.6.2	Análise Estrutural	67
4.6.2.1	<u>Rolamentos</u>	75
4.7	Seleção	76
5	CONCLUSÃO	80
	REFERÊNCIAS	81
	APÊNDICE A – Lista de materiais dos componentes comerciais	85
	APÊNDICE B – Desenhos técnicos para fabricação	88

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Em 29 de janeiro de 1886 teve início a história do automóvel moderno. Foi quando o engenheiro alemão Carl Benz entrou com um pedido de patente do seu carro em Mannheim. O veículo era equipado com três rodas e com um motor a combustão de 0,8 hp de potência com o qual chegava a uma velocidade final de 18 km/h. Pouco tempo depois, o especialista em fabricação de armas Gottlieb Daimler construiu em Stuttgart seu veículo. A principal diferença era a utilização de quatro rodas ao invés de três, outro fato, é que alcançava a velocidade máxima de 16 km/h (ULRICH, 2011).

Nesse período, houve vários outros pioneiros que desenvolveram veículos motorizados. Por volta de 1890 surgiram as primeiras fábricas de automóveis na Europa e nos Estados Unidos. Foi quando Henry Ford começou seu legado. Durante muito tempo os automóveis foram acessíveis apenas aos mais privilegiados, contudo, a empresa de Henry Ford situada em Detroit buscou um novo desafio, desenvolver carros que poderiam ser comprados por pessoas comuns. Em 1908 chegava ao mercado, o modelo popular chamado T. Pouco tempo depois, em 1913, era introduzido esse modelo em massa através da linha de montagem. Desde então, Ford iniciou uma nova era de produção que não se limitava apenas ao setor automotivo, mas alcançava a produção industrial global (ULRICH, 2011).

Historicamente, a industrialização estabelece o fator mais importante no processo de aceleração do crescimento econômico. Exercendo impacto dinâmico sobre outras repartições da economia e sobre todo o ambiente social e institucional. A indústria de máquinas e equipamentos é o setor-chave no processo de desenvolvimento e industrialização de uma nação, fornecendo meios que transformam as condições de produção da agricultura e da indústria (MARSON, 2013).

Ainda para Marson (2013), na indústria mecânica há um aspecto especial, pois, seu desenvolvimento auxilia ao crescimento de outras repartições industriais. Desse modo, seus produtos são direcionados a outros setores por meio do

fornecimento de máquinas e equipamentos. Um exemplo disso, é o elevador automotivo, que é desenvolvido em um setor diferente de onde é utilizado.

O elevador automotivo é um equipamento específico para suspender veículos. É utilizado sobretudo para facilitar e agilizar o serviço do profissional, principalmente na parte inferior do veículo. Esse tipo de equipamento é utilizado como por exemplo em centros automotivos, oficinas mecânicas e estéticas. (2E4RODAS, 2019).

A história do elevador automotivo iniciou com o objetivo de trazer mais praticidade e menor esforço físico aos profissionais. O primeiro mecanismo inventado elevava o veículo até uma altura de 2740 mm, e tinha a restrição de 1360 kg. Seu funcionamento era manual e baseado em conjuntos de catracas e correntes. Seu inventor foi Weaver, que acabou chamando o equipamento de Weaver Auto Hoist (CASTHE EQUIPMENT CO, 2014). A Figura 1 apresenta o primeiro elevador automotivo.

Figura 1 – Primeiro elevador automotivo

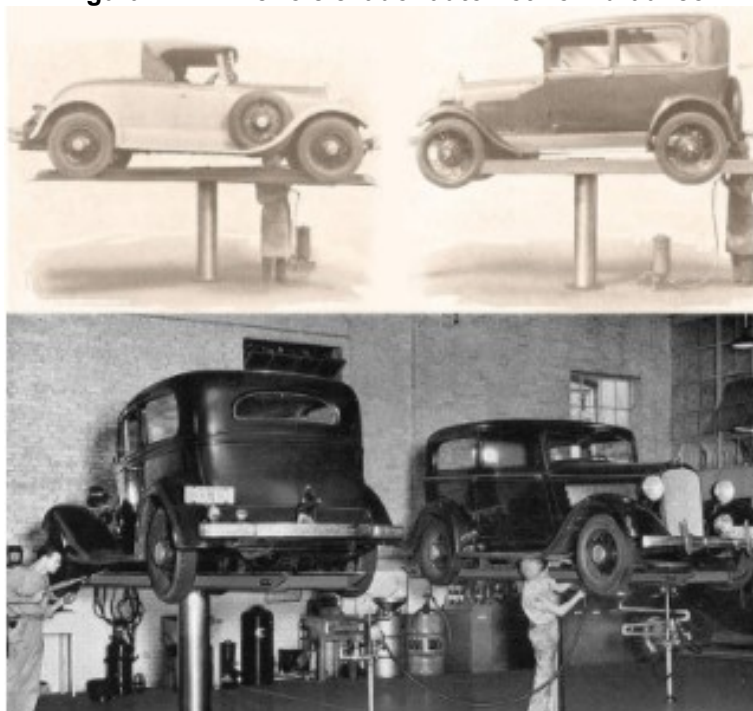


Fonte: Castle Equipment (2014)

Em 1925 foi fabricado por Peter Lunati o primeiro elevador hidráulico. Seu princípio de funcionamento era baseado em cadeiras hidráulicas utilizadas em barbearias existentes na época. Nos anos seguintes com a popularização dos veículos, foram fabricados elevadores em maior escala. E a maioria dos projetos eram constituídos com uma ou duas colunas centrais com pistões hidráulicos para realizar

a elevação dos veículos (CASTHE EQUIPAMENT CO, 2014). A Figura 2 apresenta o primeiro elevador automotivo hidráulico.

Figura 2 – Primeiro elevador automotivo hidráulico



Fonte: Rotary Lift (2014)

1.2 Caracterização do Problema

A competição Fórmula SAE teve início em 1981 nos Estados Unidos, substituindo uma versão anterior denominada Mini Indy. Com o objetivo de estimular o desenvolvimento de estudantes de engenharia no setor automotivo de alta performance. Na época foi impulsionada pelas três maiores montadoras: General Motors, Ford e Chrysler, que viram na competição uma oportunidade de encontrar novos engenheiros para suas equipes. Com o passar dos anos, outras empresas se juntaram a essas montadoras e além de contratar os estudantes, começaram a desenvolver produtos exclusivos para o Fórmula SAE (SAE BRASIL, 2021).

No Brasil, a competição está presente desde 2004, promovendo a integração de vários estudantes de diferentes regiões. Além do Brasil, a competição está presente em cinco países: Alemanha, Austrália, Estados Unidos, Inglaterra e Itália. Com o propósito de propiciar aos estudantes de engenharia a oportunidade de aplicar os conhecimentos conquistados em sala de aula, desenvolvendo e fabricando um carro do tipo Fórmula (SAE BRASIL, 2021). A Figura 3 apresenta a competição realizada anualmente em Hockenheim.

Figura 3 – Competição Fórmula SAE

Fonte: Ser Veloz (2015)

Ainda segundo a SAE Brasil (2021) o veículo necessita seguir especificações presentes no regulamento que abrange pneus, chassi, suspensão, entre outros componentes. Dessa forma, fica evidente que algumas ferramentas e equipamentos necessitam ser desenvolvidas especificamente para esse tipo de veículo com a finalidade de atender suas necessidades.

Um desses equipamentos é o elevador automotivo, que poderia auxiliar durante a realização da montagem e manutenção desse tipo de veículo. Assim, constatou-se a necessidade do desenvolvimento de um elevador específico para essa classe de automóvel.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Projetar um elevador automotivo para um veículo do tipo Fórmula SAE. Para isso é adotada uma metodologia de projeto e softwares como ferramentas de auxílio.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver um projeto pautado em fundamentação teórica e nas boas práticas da engenharia;
- Definir o mecanismo de elevação e o tipo de acionamento do equipamento de acordo com as necessidades apresentadas;

- Definir os componentes comerciais utilizados e projetar os componentes não comerciais;
- Definir os processos de fabricação dos componentes não comerciais;
- Modelar em 3D todos os componentes do projeto;
- Realizar o estudo de movimento do mecanismo de elevação;
- Realizar, quando necessário, a análise estrutural dos componentes;
- Detalhar em 3D e/ou 2D os componentes de acordo com as necessidades de fabricação e montagem.

1.4 Justificativa

Na graduação em Engenharia Mecânica ofertada na Universidade Tecnológica Federal do Paraná no campus Curitiba encontram-se diferentes possibilidades de enriquecimento acadêmico. Entre estas estão: Empresa Junior, Iniciação Científica, Baja SAE, SAE Aerodisign e Fórmula SAE. Assim, possibilita a aplicação prática do conhecimento adquirido em sala de aula nas diversas áreas da mecânica. Contudo, muitas vezes essas atividades possuem uma grande limitação orçamentária, sobretudo nas equipes participantes de competições. Desse modo, é comum laboratórios com pouca infraestrutura, principalmente na área ferramental. Essa situação acaba comprometendo o desempenho dos estudantes durante a realização das tarefas, pois normalmente é necessário maior tempo ou esforço físico para execução.

Observando esse fato especificamente na equipe do Fórmula UTFPR, equipe que representa a universidade na categoria Fórmula SAE, surgiu o desejo de desenvolver uma ferramenta que pudesse contribuir de uma forma mais ampla possível. Analisando durante um tempo as atividades desenvolvidas dentro e fora do laboratório, manifestou-se a ideia de desenvolver um elevador automotivo que atendesse as necessidades da equipe.

Além disso, a possibilidade de desenvolver um projeto que abrange diferentes campos da mecânica, com assuntos estudados durante o período acadêmico, faz parte da justificativa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Projeto

O projeto mecânico é marcado por ser um empreendimento complexo, exigindo muitas habilidades. Neste caso, é necessário dividir tarefas abrangentes em uma série de tarefas mais simples para que seja possível sua resolução. Com conceitos sendo introduzidos e reiterados durante o processo. O primeiro passo é discutir a natureza do projeto de modo geral e em seguida inserir no campo da engenharia mecânica (BUDYNAS E NISBETT, 2016).

Ainda segundo Budynas e Nisbett (2016), projetar tem o objetivo de formular um plano para atender a uma necessidade singular ou solucionar um problema complexo. Caso o plano necessitar da criação de algo concreto, logo, o produto deverá ser seguro, confiável, funcional e competitivo. Além disso, ter a possibilidade de ser fabricado, comercializado e usado. Um projeto é marcado por ser algo muito repetitivo e com várias fases interativas com o projetista contando com um vasto campo de recursos, entre eles, ferramentas computacionais e diversas fontes de informações.

Contudo, em alguns casos é necessário a tomada de decisão com pouquíssimas informações. E em todos esses os cenários, o projetista de engenharia tem de encontrar-se confortável em resolver os problemas e tomar as decisões necessárias. Além do mais, é válido salientar que esse profissional além de desenvolver competências no seu campo, necessita nutrir um sólido senso de responsabilidade e ética no desempenho da profissão (BUDYNAS E NISBETT, 2016).

2.2 Modelos de elevadores automotivos

Os elevadores automotivos utilizados para a manutenção de veículos podem ser divididos em quatro modelos: pórtico, pantográfico, prancha e paralelogramo. Em seguida são detalhadas as características fundamentais de cada modelo.

2.2.1 Modelo pórtico

É caracterizado por não possuir qualquer componente sob as rodas do veículo para realizar a elevação. Para efetuar a aderência entre o veículo e o equipamento, são utilizados braços que apoiam em partes estratégicas do chassi. E com a ascensão

do veículo, esses braços são travados em virtude do peso que é exercido sobre eles. Além disso, o piso abaixo do veículo fica livre, desse modo, facilitando o tráfego de pessoas e outros equipamentos. Para que ocorra um sincronismo de elevação entre os dois lados, há uma corrente dentro da coluna superior que conecta os eixos contidos dentro das colunas laterais. Nesse elevador em específico, pelo fato da existência dessa coluna superior, fica evidente a limitação da elevação em veículos mais altos, como por exemplo, vans (DOMINGUES, 2017). O modelo pórtico é apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Elevador pórtico



Fonte: Emaster Elevadores (2021)

2.2.2 Modelo pantográfico

Esse modelo tem o mesmo objetivo dos demais tipos de elevadores automotivos presentes no mercado, ou seja, efetuar a elevação do veículo até uma altura segura para que seja realizado serviços na parte inferior. No entanto, por ser utilizado uma coluna de elevação como um pantográfico, esse equipamento se torna mais robusto em relação aos demais. Além disso, proporciona maior ganho de espaço, pelo fato de ser mais compacto. Assim, essas características garantem respectivamente, maior segurança durante a realização da manutenção e aumento significativo da produtividade. Outro fato, é que além da possibilidade de ser instalado acima do piso, igual os elevadores convencionais, pode ser instalado abaixo do piso

de forma que fique encaixado, logo, facilita o posicionamento de veículos mais baixos (BOXTOP, 2018). O modelo pantográfico é apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Elevador pantográfico



Fonte: Engecass (2021)

2.2.3 Modelo prancha

Esse modelo é geralmente empregado quando o objetivo é realizar a troca de óleo. Tem como principal diferencial o ganho de tempo no posicionamento dos automóveis, dessa maneira agiliza o serviço dos operadores (EMASTER, 2017). Outro fato é que esse modelo possui um compartimento próprio que possibilita a coleta de óleo de maneira mais simples. E é claro, pode ser utilizado para os demais serviços (FERRAMENTAS KENNEDY, 2021). O modelo prancha é apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Elevador prancha



Fonte: Emaster Elevadores (2021)

2.2.4 Modelo paralelogramo

Esse modelo tem como característica primordial o movimento da estrutura para trás ou para frente ao elevar ou abaixar. Além disso, normalmente há uma barra de torção que conecta as duas bases para que ocorra uma movimentação sincronizada (AUTOLIFT, 2021). Uma característica específica desse modelo é não possuir colunas, dessa maneira não ocasiona obstrução nesse sentido, diferente dos modelos pórticos e prancha. Normalmente sua aplicação é em baias de inspeção, serviço e lavagem (ROTARYLIFT, 2021). O modelo paralelogramo é apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Elevador paralelogramo



Fonte: Direct Industry (2021)

2.3 Materiais

Os materiais sólidos foram reunidos convenientemente em três classificações fundamentais: metais, cerâmicas e polímeros. Essa separação tem como principal base a composição química e a estrutura atômica. Na maioria das vezes, os materiais se enquadram em um grupo distinto, contudo, existem casos que se encontram em grupos intermediários. Complementarmente, há os compósitos, que são caracterizados por combinações de duas ou mais classes fundamentais. Além disso, existe uma outra classificação, que são dos materiais avançados. São aqueles utilizados em aplicações de alta tecnologia, como, por exemplo, as biomassas, os semicondutores, os materiais inteligentes e os materiais nanoengenheirados (CALLISTER, 2002).

A escolha de um material entre os diversos disponíveis normalmente é um desafio. Há vários critérios que podem ser utilizados para uma decisão final. Entre

eles, as circunstâncias de serviço devem ser identificadas, pois vai direcionar as propriedades que o material deverá possuir. Um fato importante em relação ao material, é que geralmente é necessário ceder de alguma característica, pois são incomuns os casos que possuem a combinação máxima ou ideal de propriedades (CALLISTER, 2002).

Ainda segundo Callister (2002), uma consideração de seleção é em relação a deterioração das propriedades dos materiais que possa acontecer durante a operação. Um exemplo disso é quando o material perde resistência mecânica em virtude da exposição à ambientes corrosivos ou com elevadas temperaturas. Outra consideração está relacionada ao ponto de vista econômico. Tendo como principal questão, o custo do produto acabado. Pois pode ser encontrado materiais que atendam às necessidades do projeto, contudo em virtude do alto valor, se torna proibitivo.

2.4 Elementos de máquinas

Pode-se afirmar que elementos de máquinas são peças inter-relacionadas com a finalidade de obter um produto. Ainda que seja necessário projetar uma peça de cada vez é de fundamental importância sempre lembrar que essa peça faz parte de um conjunto. Assim, além do componente exercer sua função e desempenho individualmente é necessário que isso seja mantido no conjunto da máquina. Dessa maneira, é possível dimensionar, dar forma aos componentes e selecionar os materiais e processos de fabricação adequados de tal forma que a máquina consiga exercer sua função sem falhar (NORTON, 2013).

2.4.1 Coeficiente de segurança

O coeficiente de segurança pode ser definido de muitas maneiras. Normalmente é a razão entre duas quantidades que possuem as mesmas unidades. Como por exemplo, (resistência)/ (tensão atuante), (esforço de quebra da peça) / (esforço esperado em serviço) e (máximo de ciclos) / (número de ciclos solicitados). Dessa forma, fica claro que o coeficiente de segurança é sempre adimensional (NORTON, 2013).

Ainda segundo Norton (2013), para um projetista iniciante a definição de um coeficiente de segurança é geralmente um desafio. A sua definição é baseada em

teorias de falhas, propriedades do material e modelos analíticos. Assim, o conhecimento das diferentes condições de carga durante a realização do serviço e das informações disponíveis referentes a resistência do material empregado no projeto e o modelo no qual os cálculos são baseados, são fatores que definem o quanto maior deve ser o coeficiente de segurança.

Para a sua escolha pode ser definido critérios fundamentados na qualidade e disponibilidade de dados convenientes em relação às propriedades dos materiais. Tendo como referência as condições ambientais previstas em comparação com aquelas onde foram efetuados os testes e recolhido os dados do material (NORTON, 2013).

2.5 Máquinas, mecanismo e cinemática

Os próximos parágrafos possuem o objetivo de abranger a relação entre máquina, mecanismo e cinemática, quando aplicados à uma plataforma de elevação. Equipamento o qual tem o funcionamento similar a um elevador automotivo do tipo pantográfico, dessa forma, é possível elucidar esses conceitos com aplicações práticas.

Máquinas são aparelhos que possuem como finalidades: alterar, transmitir e direcionar forças para alcançar um objetivo específico. O mecanismo é a parte da máquina que está relacionado com a transmissão de movimentos de um ponto para outro (MYSZKA, 1998). A Figura 8 ilustra uma plataforma que utiliza pistões hidráulicos para ajuste da altura.

Figura 8 – Plataforma hidráulica



Disponível em: Myszka (2012)

Além disso, Myszka (1998) afirma que nesse caso, ainda que todo o aparelho possa ser chamado de máquina. Os componentes que retiram energia dos cilindros e impulsionam o conjunto de modo que ocorra a elevação ou o abaixamento são classificados como o mecanismo. Desse modo, um mecanismo pode ser definido como peças rígidas que são dispostas e conectadas de maneira que produzam o movimento desejado da máquina.

Myszka (1998), afirma que a cinemática compreende o modo como as coisas se movem, estudando a geometria do movimento. Assim, a análise cinemática abrange a definição de deslocamento, posição, rotação, velocidade e aceleração de um mecanismo. Para ilustrar a importância dessa análise, é utilizada a Figura 8 para visualizar e apontar pontos importantes de um projeto, como:

- Qual é o significado do comprimento das estruturas de apoio que suportam a plataforma?
- É necessário que as estruturas de apoio do suporte se cruzem e sejam conectadas na sua extremidade ou é melhor arranjá-las de modo que elas cruzam perto da plataforma?
- Até que ponto o cilindro hidráulico deve se estender para elevar a plataforma em 203,2 mm?

Em uma segunda abordagem, considerando a cinética do movimento e analisando a força dinâmica é possível questionar alguns pontos, como:

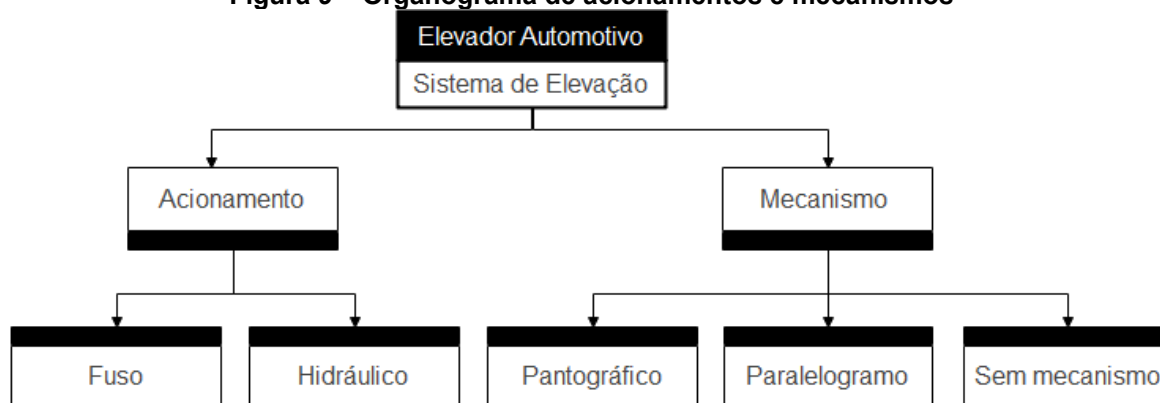
- Qual é a capacidade (força máxima) exigida do cilindro hidráulico?
- A plataforma tem algum risco de tombar?
- Qual é a seção transversal e quais são os materiais que são indicados para as estruturas de apoio de modo que não ocorram falhas?

Logo, é imprescindível que sejam realizados esses questionamentos durante a fase de desenvolvimento do produto.

2.6 Tipos de acionamentos e mecanismos

Com a finalidade de deixar mais compreensível a elaboração do trabalho, o sistema de elevação é dividido em dois elementos, são eles: acionamento e mecanismo. Isso deve-se ao fato da possibilidade de combinação entre eles. Para deixar mais claro é criado o organograma apresentado na Figura 9.

Figura 9 – Organograma de acionamentos e mecanismos



Fonte: Autoria própria (2021)

2.6.1 Tipos de acionamentos

Como apresentado no organograma existem dois tipos de acionamentos que são tratados no trabalho. Com cada um possuindo características específicas de funcionamento. A seguir são detalhadas algumas delas.

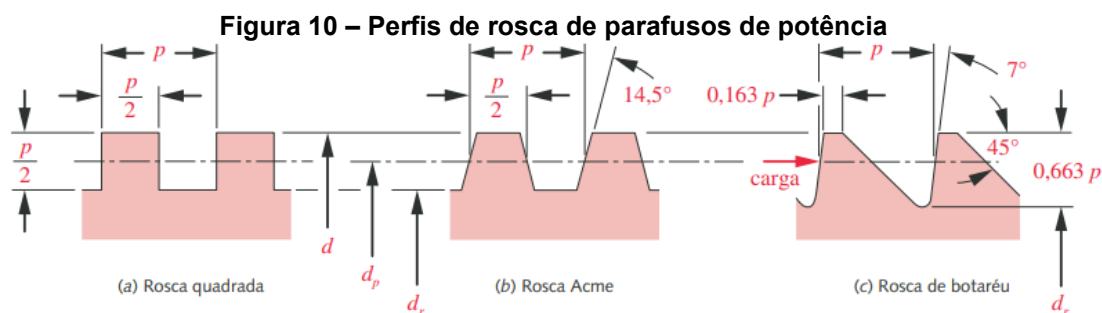
2.6.1.1 Fuso

Para o desenvolvimento do trabalho é utilizado o termo parafuso de potência em algumas partes, pois é como está denominado na literatura pesquisada. Parafuso de potência é um acionamento utilizado em máquinas para transformar o movimento angular em movimento linear através de uma junta helicoidal com o objetivo primordial de transmitir potência. Pode ter rosca direita, com sentido horário, e a rosca esquerda, com sentido anti-horário. Ademais, pode ser empregado em diversos lugares, como por exemplo, parafusos de avanço de tornos mecânicos, macacos, prensas e morsas (BUDYNAS E NISBETT, 2016).

O parafuso de potência é conhecido por sua grande vantagem mecânica, possibilitando que um pequeno torque de entrada resulte em uma grande força axial de saída, desse modo, conseguindo movimentar e levantar elevadas cargas. Para que isso seja alcançado é necessária uma rosca capaz de atender essas exigências. Dessa forma, roscas métricas padronizadas não são fortes o suficiente, assim outros perfis de roscas foram padronizados para esse fim (NORTON, 2013).

Um desses perfis é a rosca quadrada que tem como propriedades a máxima eficiência e rigidez, além disso, proporciona a eliminação de qualquer componente de força radial entre porca e parafuso. Contudo, sua face perpendicular, dificulta seu

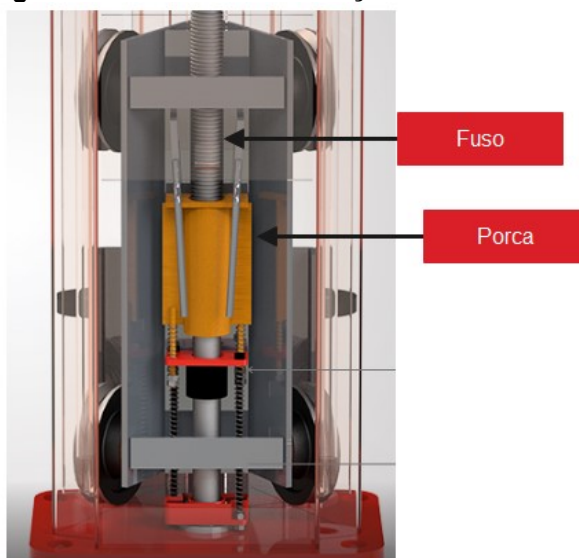
corte por usinagem. Outro perfil é a rosca Acme, tendo como principal característica um ângulo de 29° , desse modo tornando mais fácil sua fabricação e permitindo a utilização de uma porca de partida. A sua maior empregabilidade é quando há necessidade de carregamento em ambas as direções. Por último pode ser citada a rosca botaréu, que pode ser aplicada quando a carga axial é unidirecional, possibilitando maior resistência na raiz em relação as demais (NORTON, 2013). São apresentados esses perfis de rosca na Figura 10.



Fonte: Projeto de Máquinas (2013)

Uma propriedade específica do parafuso de potência é o auto travamento. Assim, apenas com a aplicação de uma força axial no parafuso, impossibilita uma rotação em relação à porca, independente da grandeza da força. Desse modo, esse mecanismo funciona como um sistema de freio, que pode ser útil (NORTON, 2013). Esse fato é muito interessante para o presente projeto, pois além de ser um mecanismo que proporciona a elevação do veículo, pode também proporcionar segurança.

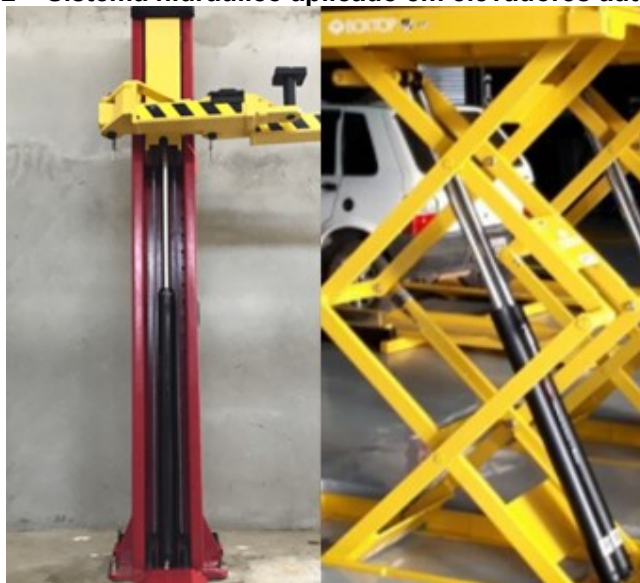
Os principais componentes responsáveis pela elevação em elevadores automotivos que utilizam fuso são apresentados na Figura 11. Analisando o conjunto é possível apontar seu funcionamento de forma simplificada. Quando é aplicado torque ao parafuso, a porca se move para cima ou para baixo, elevando ou abaixando a carga. Para que ocorra esse movimento de forma correta é necessário algum método para não deixar a porca e o parafuso rotacionarem juntos. Dessa maneira, é fixado a porca no sentido radial, de modo que ela não rotacione no seu próprio eixo, permitindo apenas a movimentação no sentido axial.

Figura 11 – Sistema de elevação utilizando fuso

Fonte: Adaptado de Hidromar (2021)

2.6.1.2 Hidráulico

O sistema hidráulico também é um acionamento utilizado em máquinas e equipamentos. Tendo como característica fundamental a versatilidade do fluido confinado, podendo modificar movimentos e transmitir força. Em virtude dessa versatilidade, suas aplicações estão em praticamente todos os setores industriais. Como por exemplo, máquinas operatrizes e de embalagem (ILO, 2015). Na Figura 12 são retratadas aplicações em elevadores automotivos, no lado esquerdo refere-se à um elevador do tipo pórtico e no direito do tipo pantográfico.

Figura 12 – Sistema hidráulico aplicado em elevadores automotivos

Fonte: Adaptado de Elevador Hidráulico (2021)

Quando é empregado um sistema hidráulico em um elevador automotivo, são utilizados vários componentes. Com o objetivo de entender melhor o funcionamento desses componentes eles são detalhados a seguir. Na seguinte ordem: cilindros hidráulicos, bomba de engrenagem externa, reservatório hidráulico, válvula direcional, válvulas de alívio, válvula reguladora de vazão, mangueiras hidráulicas, filtro hidráulico e fluido hidráulico.

Para Palmieri (1994), os cilindros hidráulicos podem ser chamados de atuadores lineares em virtude do movimento retilíneo que executam para a propagação de força. Sua classificação é de acordo com sua ação, sendo dividido em dois grupos, os cilindros hidráulicos de simples ação e cilindros hidráulicos de dupla ação. Os de simples ação, são denominados dessa forma em virtude de a atuação do cilindro ser executada em apenas um sentido pela força do fluido, com o outro sentido existindo um agente diferente do fluido hidráulico. Já os cilindros de dupla ação, são caracterizados por atuarem nos dois sentidos, dispondo como base a força exercida pelo fluido.

Bomba de engrenagem externa é caracterizada por um par de engrenagens idênticas montadas em uma carcaça. Uma das engrenagens é rígida ao eixo de transmissão e a outra rotaciona de acordo com a engrenagem motora. A carcaça possui uma vedação adequada, além disso, possui orifícios para a entrada e saída de fluido hidráulico (LINSINGEN, 2003).

O reservatório hidráulico possui várias funções, sendo o fundamental, o armazenamento de fluido hidráulico. Além disso, o reservatório também é responsável pela precipitação das impurezas e resfriamento do óleo (PALMIERI, 1994).

Segundo Linsingen (2003), há diversas definições de válvula direcional. Contudo, é possível definir sua função de forma simples, como sendo direcionar o fluido no sistema hidráulico para efetuar determinado movimento de acordo com a operação. É também chamada de válvula de controle.

A válvula de alívio tem a função fundamental de segurança contra sobrecarga. Além disso, é possível controlar de forma imediata e/ou limitada a força e o torque. Normalmente é caracterizada por uma válvula normal fechada (LINSINGEN, 2003).

Para Palmieri (1994), a válvula reguladora de pressão tem como finalidade regular de forma rápida e simples a velocidade de deslocamento do atuador. Isso é alcançado alterando a vazão de fluido que entra e sai do atuador, modificando a seção transversal da válvula.

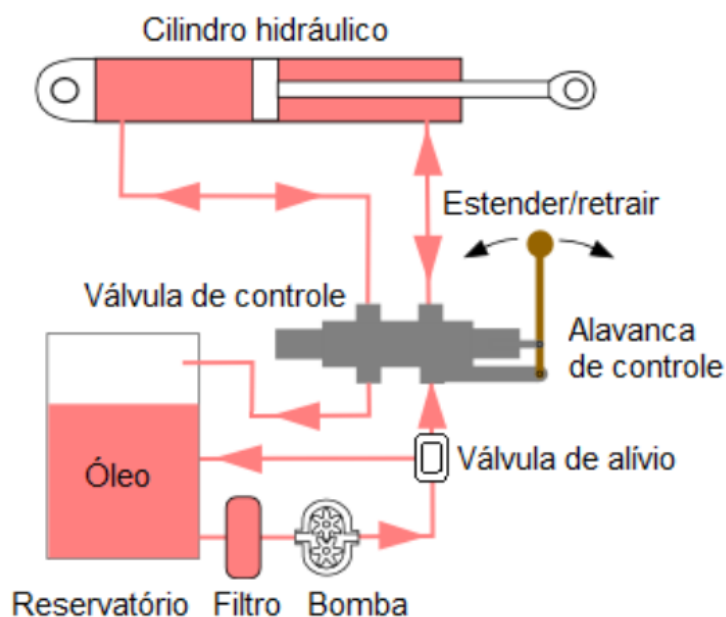
As mangueiras hidráulicas têm o objetivo de transportar o fluido hidráulico de um componente para o outro. Dessa forma, encarrega-se do transporte de energia ou simplesmente da transmissão de pressão (REXROTH, 2003).

O filtro hidráulico tem a finalidade de manter o óleo sempre limpo. Desse modo, retém as impurezas do sistema impedindo sua circulação, assim, proporciona uma maior vida útil ao sistema hidráulico (PALMERI, 1994).

Ainda segundo Palmieri (1994), o fluido hidráulico tem o propósito de efetuar a propagação de energia a todos sistemas hidráulicos. Sendo escolhido de maneira criteriosa de acordo com os demais componentes presentes no sistema. Assim, sendo possível atender as necessidades de transmissão de modo eficiente.

Para facilitar a visualização da integração entre a maioria desses componentes é apresentada a Figura 13.

Figura 13 – Sistema hidráulico



Fonte: Slide to doc (2016)

2.6.2 Tipos de mecanismos

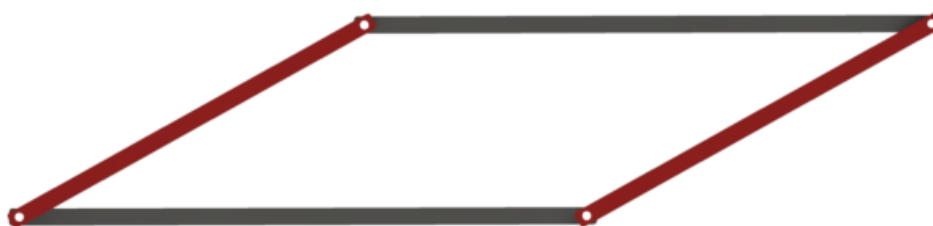
Com a finalidade de entender os fundamentos dos principais mecanismos utilizados em elevadores automotivos, a seguir são descritas as principais características dos tipos tratados no trabalho.

2.6.2.1 Paralelogramo

O mecanismo paralelogramo na geometria euclidiana é um quadrilátero com dois pares de lados paralelos. Os lados opostos possuem o mesmo comprimento e os ângulos opostos são iguais. A congruência dos lados e ângulos é decorrência direta do postulado paralelo euclidiano (WIKILAND, 2021).

Segundo (NORTON, 2010), o modo como é disposto esse conjunto traz bastante utilidade, pois é capaz de duplicar o movimento de rotação da manivela motora para a movida. O acoplador desse tipo de mecanismo está em translação curvilínea, mantendo o mesmo ângulo ao mesmo tempo que todos os pontos nele realizam trajetórias circulares idênticas. A Figura 14 retrata o mecanismo paralelogramo.

Figura 14 – Mecanismo paralelogramo

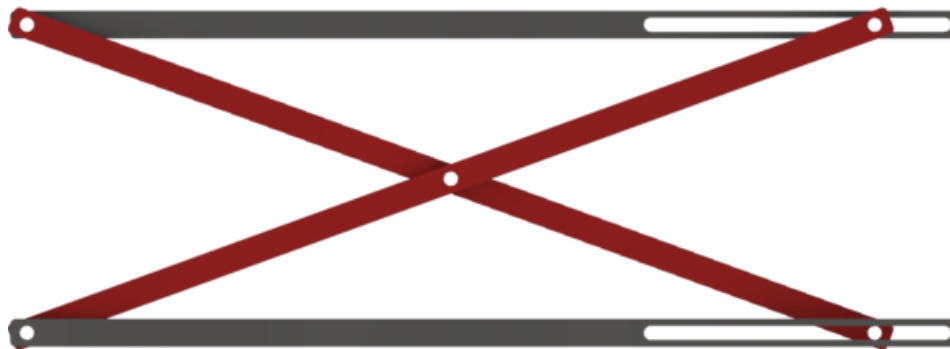


Fonte: Autoria própria (2021)

2.6.2.2 Pantográfico

O mecanismo pantográfico é caracterizado por ter um movimento linear sem a necessidade de estruturas para guiar seu movimento. Outra característica singular, é a possibilidade de um curso elevado com a utilização de poucos componentes. Além disso, esse mecanismo possibilita fazer a elevação vertical sem alterar a posição horizontal da carga aplicada, diferente do mecanismo paralelogramo citado anteriormente. Dessa forma, possibilita a utilização em espaços menores, pois é necessária uma zona livre menor para que ocorra a movimentação (ARTUZO e SGANDERLA, 2014). A Figura 15 retrata o mecanismo pantográfico.

Figura 15 – Mecanismo pantográfico



Fonte: Autoria própria (2021)

Analisando o mecanismo da Figura 15, fica evidente que assim como o anterior, há existência de quatro elos (componentes), porém com configurações de juntas diferentes. No paralelogramo são quatro junções de rotação. Neste, além das juntas de rotação há também meias juntas, que permitem rotação e translação na junção dos elos. As configurações diferentes de elos juntas levam a movimentações diferentes.

2.7 Estática

Durante o funcionamento de um elevador automotivo existe a caracterização de carregamento estático, quando o veículo é elevado a qualquer altura e fica estabilizado. Assim, essa circunstância combinada com outras podem auxiliar na simplificação do dimensionamento dos componentes do elevador desenvolvido.

2.7.1 Centro de gravidade

“O centro de gravidade de um corpo rígido é o ponto tal que, se imaginarmos o corpo suspenso por este ponto e com liberdade para girar em todos os sentidos ao redor deste ponto, o corpo assim sustentado permanecerá em repouso e preservará sua posição original, qualquer que seja a orientação do corpo em relação à terra.” (ARQUIMEDES, 287 a.C - 212 a.C).

Essa definição de Arquimedes (287 a.C - 212 a.C), em termos modernos é a referência fundamental para o conceito tratado. Segundo (Assis e Ravanelli, 2008), em casos que este ponto esteja em um espaço vazio, como por exemplo o centro de uma arruela, é preciso considerar uma conexão rígida unindo o centro de gravidade ao corpo para a idealização de equilíbrio por esse ponto. Em geral, o termo de centro de gravidade é definido como sendo quando as partes do corpo permanecem em

equilíbrio em relação à terra. Até mesmo a própria etimologia palavra equilíbrio traz consigo a ideia de centro de gravidade, em virtude da raiz latina que concilia as palavras “igual” com “peso”.

Para o projeto do elevador automotivo, o esclarecimento desse conceito é indispensável, pois para a simplificação do dimensionamento dos componentes envolvidos, pode ser definido apenas o centro de gravidade como sendo o ponto de aplicação da força. Desse modo, pode ser utilizado pontos que recebem a mesma quantidade de carga. Logo, não é essencial a consideração de uma força distribuída ao longo de todo o veículo. Assim, facilita o dimensionamento.

2.7.2 Modelo

Um modelo ou modelo idealizado pode ser definido como uma versão simplificada do sistema físico com a remoção de aspectos que podem ser descartados do conjunto estudado. O que é fundamental para que o modelo funcione é certificar que todos os elementos que estão sendo removidos não são necessários para a análise do sistema. Além disso, que os recursos necessários são contemplados nas hipóteses (GREELANE, 2018).

Com o objetivo de efetuar uma análise condizente de forças para qualquer objeto, é imprescindível considerar um modelo idealizado condizente, que ofereça o resultado o mais semelhante possível com o cenário real. Para que isso seja alcançado é necessário que as escolhas sejam apropriadas para a seleção dos tipos de apoios, para a definição do comportamento do material e para a justificativa das dimensões do objeto. Feito isso, o engenheiro poderá se sentir confortável com os resultados fornecidos de qualquer projeto ou análise (HIBBELER, 2005).

Ainda segundo Hibbeler (2005), é possível definir um procedimento para construir um diagrama de corpo livre seguindo os seguintes passos:

- Desenhe a forma do contorno: Idealize o corpo a ser isolado ou mantido livre de qualquer associação e esboce o formato de seu contorno;
- Mostre todas as forças e momentos: Identifique todas as forças e momentos externos que agem no corpo. Essas grandezas são geradas em virtude de cargas aplicadas, reações que ocorrem nos apoios ou em pontos de contato com outros corpos e por causa do peso do corpo analisado.

- Identifique cada carregamento e forneça as dimensões: As forças e os momentos conhecidos necessitam ser identificados, com suas respectivas intensidades, direções e sentidos. É indicado estabelecer um sistema de coordenadas x, y , com a utilização de letras para indicar as forças, momentos e ângulos desconhecidos de modo que seja possível identificá-los. Além disso, é necessário indicar as dimensões do corpo essenciais para o cálculo dos momentos das forças.

2.7.3 Trabalho virtual

O trabalho virtual tem como princípio que toda e qualquer posição de um sistema de partículas, todas as forças de inércia e as forças impostas aplicadas às partículas do sistema resulta em nulo para todo e qualquer grupo arbitrário de deslocamentos virtuais inseridos desde aquela posição (RADE, 2017).

Esse conceito auxilia no desenvolvimento do projeto, pois é possível resolver problemas nos quais há diversos componentes rígidos conectados em um sistema em equilíbrio. Dessa maneira, sendo possível calcular as reações pretendidas sem a primordialidade de fragmentação dos componentes envolvidos na análise.

2.8 Ergonomia

“Entende-se por ergonomia o estudo das interações das pessoas com a tecnologia, a organização e o ambiente, objetivando intervenções e projetos que visem melhorar, de forma integrada e não dissociada a segurança, o conforto, o bem-estar e a eficácia das atividades humanas.” (ABERGO, 2016).

A ergonomia como ciência, estuda a relação entre o homem e a tecnologia. Com fundamentação em conceitos provenientes das áreas de ciências humanas. Com a aplicação desse conhecimento na adequação de ambientes, sistemas, atividades e produtos às limitações e capacidades do ser humano (MERINO, 2013).

A aplicação dos conceitos de ergonomia pode contribuir para um projeto em diferentes fases. A análise ergonômica durante a fase de desenvolvimento do produto é denominada ergonomia de concepção. Quando o estudo é realizado nessa etapa há a vantagem da falta de restrições, pois o trabalho é efetuado em um modelo não finalizado. Contudo, isso impossibilita a visualização plena do sistema, dificultando

ações de melhorias. Assim, sendo possível a correção apenas na fase de implementação, circunstância denominada ergonomia de intervenção (VIDAL, 2000).

Segundo Lida (2005), o objetivo do estudo da ergonomia é garantir três elementos fundamentais: a segurança do indivíduo, a satisfação durante a realização do trabalho e a sua plenitude da saúde sem exceder seus limites físicos e cognitivos, dessa forma sendo possível alcançar maior eficiência no que está sendo executado.

2.9 Método dos elementos finitos

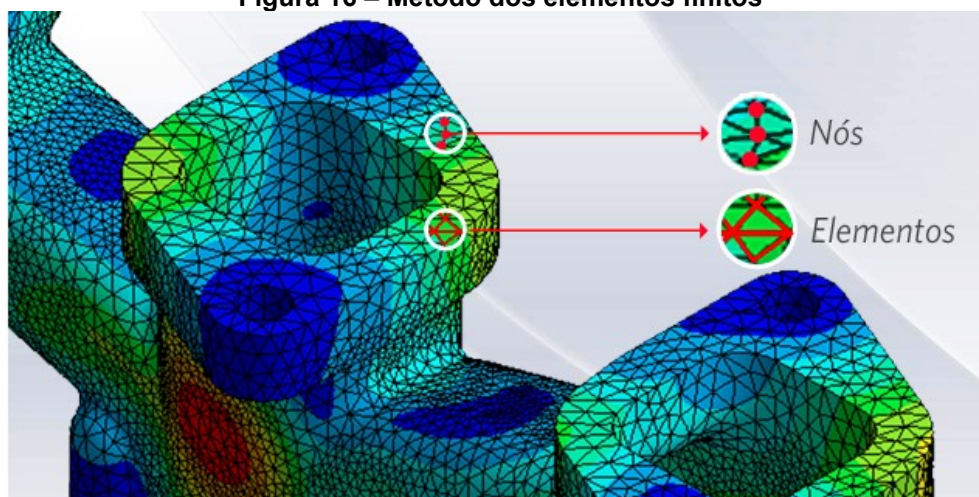
A simulação computacional é largamente utilizada nas empresas para executar análises e aprimorar a qualidade dos projetos e produtos. E os softwares que são fundamentados pelo MEF (Método de Elementos Finitos) tem grande parcela nessas análises, pois possibilitam a resolução de inúmeros problemas de engenharia.

Seu funcionamento se baseia na subdivisão em pequenas partes da geometria submetida aos carregamentos e restrições. Essas partes são denominadas de elementos, os quais passam a caracterizar o domínio contínuo do problema proposto. Assim, esse método de divisão da geometria possibilita a resolução de problemas mais complexos, pois são subdivididos em problemas mais simples (MIRLISENNA, 2016).

Ainda segundo Mirlisenna (2016), esse método sugere a substituição do número infinito de variáveis desconhecidas por um número finito de elementos com comportamentos determinados. As divisões podem assumir diferentes formas geométricas em função da condição do problema, podendo ser triangular, quadrilateral, entre outras. Os elementos finitos são associados entre si por pontos, que são denominados nós ou pontos nodais. E ao grupo de todos esses itens – elementos e nós – denomina-se malha.

As equações matemáticas que regem os comportamentos físicos neste método numérico não são resolvidas de maneira exata, mas aproximada. Logo, a precisão do MEF decorre da quantidade de nós e elementos, da dimensão e dos tipos de elementos da malha, da correta representação do carregamento e condições de contorno do sistema (MIRLISENNA, 2016). Para facilitar a compreensão de alguns conceitos explicados no texto, é apresentada a Figura 16.

Figura 16 – Método dos elementos finitos



Fonte: Esss (2016)

2.10 Protótipo Fórmula SAE

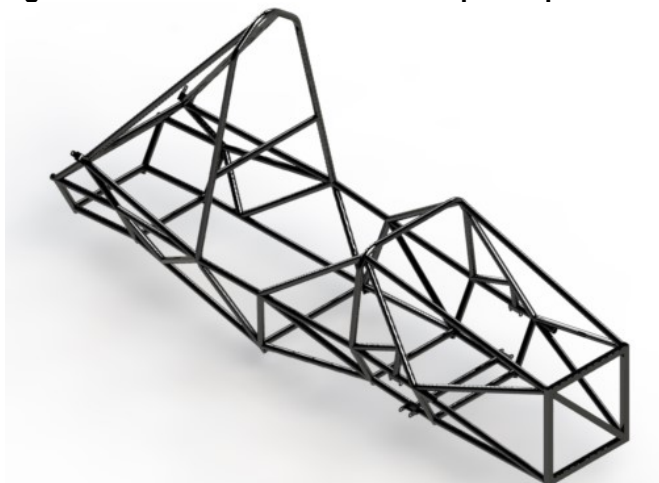
Com a finalidade de entender melhor as particularidades do protótipo Fórmula SAE desenvolvido pela equipe Fórmula UTFPR, são realizadas visitas ao laboratório onde está localizado o veículo. Além disso, é consultada a plataforma online onde são disponibilizadas diversas informações sobre os protótipos, entre elas: arquivos CAD de peças, especificações técnicas e dados de validação.

O atual protótipo desenvolvido pela equipe é denominado EK-305. Seu projeto CAD já está finalizado e agora encontra-se na etapa de fabricação. Contudo, o chassi que é um item fundamental para o desenvolvimento do projeto do elevador automotivo está praticamente fabricado. Desse modo, é possível analisar presencialmente suas singularidades.

O chassi é construído em quase sua totalidade por tubos de seção circular, com apenas a parte frontal sendo utilizado tubos de seção quadrada, no entanto, essa parte não influencia no projeto proposto. Essa verificação de tipo de perfil utilizado na construção é importante para definir como são os suportes de fixação do elevador no protótipo.

Durante a análise também é possível definir os parâmetros necessários para determinar algumas dimensões prévias do elevador. Dentre as principais medidas, estão: a distância entre o eixo dianteiro e traseiro, a largura do chassi na posição do eixo traseiro e na posição do eixo dianteiro e por fim, o comprimento da base do chassi. Na Figura 17 é apresentado o modelo 3D do chassi do protótipo EK-305.

Figura 17 – Modelo 3D do chassi do protótipo EK-305



Fonte: Equipe Fórmula UTFPR (2021)

O projeto do elevador automotivo tem como um de seus objetivos atender todos os modelos de veículos. Logo, também é realizada uma análise no protótipo denominado EK-304, veículo participante da última competição, o qual foi finalizado a fase de fabricação e validação. Desse modo, é possível conseguir informações finais de projeto.

Um ponto crucial para o desenvolvimento do elevador automotivo é saber o valor da carga que é necessária ser elevada, desse modo o valor da massa do protótipo e a localização do centro de gravidade são imprescindíveis. A altura também é algo relevante para saber o local mais alto que o veículo necessita de manutenção, assim, estando diretamente relacionado com a ergonomia. A Figura 18 apresenta o protótipo EK-304 finalizado.

Figura 18 – Protótipo EK-304 finalizado



Fonte: Equipe Fórmula UTFPR (2021)

Depois das análises realizadas em ambos os modelos, é consultada a plataforma online para coletar os demais dados identificados como importantes. Assim, é criada a Tabela 1, apresentada abaixo.

Tabela 1 – Dados de referência dos protótipos

Protótipo	EK-304	EK-305
Estrutura do chassi	Tubular/Aço 1020	Tubular/Aço 1020
Diâmetro dos tubos (mm)	25,4	25,4
Massa (kg)	266	260 (estimada)
Distância entre eixos (mm)	1550	1550
Distribuição de massa entre eixos	50:50	50:50 (estimada)
Comprimento da base do chassi (mm)	2352,47	2343,39
Altura do chassi (mm)	1115,43	1127,93
Largura do chassi na posição do eixo traseiro (mm)	340,15	340,15
Largura do chassi na posição do eixo dianteiro (mm)	400,09	400,09

Fonte: Autoria própria (2021)

Uma breve análise dos dados permite afirmar que os modelos são basicamente iguais. Uma das causas disso é a existência de um regulamento que define vários critérios que o chassi deve atender. Logo, essa circunstância facilita o desenvolvimento de um elevador automotivo que contemple todos os protótipos.

2.11 Patentes

“A patente é uma unidade contraditória: protege o inventor, mas também o desafia ao facilitar a geração de novas invenções por terceiros, induzindo o seu próprio titular a prosseguir inventando para se manter à frente de seus competidores. Em outras palavras, a propriedade temporalmente limitada e o interesse público da informação divulgada – razão – de – ser público e privado da patente -, é um instrumento de promoção do desenvolvimento tecnológico.” (MACEDO e BARBOSA, 2000).

Segundo Macedo e Barbosa (2000), as informações patentárias possibilitam elucidar e complementar artigos divulgados pelo(s) inventor(es) em revistas técnicas especializadas. Desse modo, as patentes possibilitam uma perspectiva geral e profunda da invenção, fato que às vezes não é presente em artigos técnicos.

Diante disso, há o interesse de procurar por equipamentos da classe do projeto proposto. Assim, é utilizado a plataforma de busca INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial), sendo elaborado o Quadro 1. A pesquisa compreende nove itens sendo classificados pelo número do pedido, título e o propósito.

Quadro 1 – Pesquisa de patentes

Pedido	Título	Propósito
BR 20 2015 031812 5	Disposição introduzida em elevador automotivo tipo tesoura com plataforma	Concilia o sistema pantográfico de elevação com a utilização de rampa
BR 20 2013 019122 7	Disposições aplicadas em elevador automotivo	Melhora o deslocamento do trole móvel
BR 20 2012 030554 8	Sistema de lubrificação introduzido em elevador automotivo	Melhora o sistema de lubrificação
MU 9101130-2	Elevador eletromecânico automotivo pórtico móvel com pastilhas deslizantes e rampa fixa	Aprimora a estrutura e possibilita a utilização de rampa
MU 9002447-8	Elevador hidráulico automotivo com pórtico móvel	Transforma elevador pórtico em móvel
PI 1000197-2	Elevador fixo automotivo	Cria um elevador manual
MU 8601193-6	Sistema com caixa autocompensadora aplicada em coluna de elevador automotivo	Melhora o alinhamento do fuso
MU 8401535-7	Sela segurança de elevador automotivo	Cria um sistema de segurança mecânico
MU 6701206-0	Elevador automotivo	Cria um elevador de dois lugares

Fonte: Autoria própria (2021)

Analisando os dados é possível afirmar que não existe um pedido de patente com um objetivo similar com o projeto empreendido. Contudo, a pesquisa é útil para verificar pontos em que normalmente buscam-se melhorias. Podendo ser citado o fuso de potência, onde as buscas por melhorias são no alinhamento de funcionamento e na lubrificação. Dessa maneira, caso opte-se por um fuso para realizar a elevação, são pontos que necessitam de maior atenção no desenvolvimento do projeto.

2.12 Matriz de decisão

A matriz de decisão possui a finalidade de auxiliar a identificar a melhor solução considerando vários critérios de forma sistemática. Os projetos analisados ocupam as linhas na matriz. E os critérios que são considerados relevantes no projeto encontram-se nas colunas. Pelo fato de os critérios não possuírem o mesmo nível de relevância, é utilizado um fator de ponderação, que tem como objetivo medir a importância de cada critério. Logo, os passos para sua construção são na seguinte ordem: definição dos critérios, definição dos fatores de ponderação correspondentes

a cada um dos critérios e por fim, atribuição de uma nota para cada um dos critérios. No fim, cada nota é multiplicada pelo seu fator de ponderação e somada as demais (NORTON, 2010).

Para a aplicação no presente trabalho, os critérios são definidos de acordo com as condições de cada parte do projeto. Os fatores de ponderação são escolhidos de tal forma que a soma deles resulte em um. Em relação às notas, elas têm uma classificação de 1 (ruim) até 5 (excelente).

3 METODOLOGIA

Com a finalidade de desenvolver um trabalho de forma coerente que facilite atingir seus objetivos, são utilizadas duas metodologias. A primeira é a metodologia de pesquisa, com papel fundamental na estruturação do trabalho, auxiliando principalmente na organização das informações vindas de diferentes fontes de pesquisa. A segunda é a metodologia de projeto, que é voltada especificamente ao projeto proposto, sendo um guia durante todas as etapas de desenvolvimento do produto.

3.1 Metodologia de Pesquisa

O método de pesquisa utilizado é a exploratória, compreendendo a pesquisa bibliográfica e pesquisa de campo. Segundo Gil (2002), a pesquisa bibliográfica é fundamentada em materiais já produzidos, compostos principalmente de livros e artigos. No presente trabalho são necessárias pesquisas nos diversos campos da mecânica.

Os principais livros analisados são: “Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução”, “Resistência dos Materiais”, com destaque para “Projeto de Máquinas” e “Cinemática e Dinâmica dos Mecanismos”. Os principais autores que contribuem com o trabalho são: Callister (2002), Beer (1995), Budynas e Nisbett (2016), Hibbeler (2005), com destaque para Norton (2010 e 2013). Além disso, são utilizados portais periódicos como: CAPES, Google Scholar e SciELO. E sites como, INPI e de fornecedores de equipamentos desse nicho.

Em relação à pesquisa de campo. Segundo Gil (2002), esse tipo de estudo procura a fundamentação mais nas técnicas de observação do que interrogação, com a pesquisa sendo desenvolvida através da observação direta das práticas do grupo. Dessa forma, são realizadas visitas no laboratório destinado à equipe do Fórmula UTFPR, com os principais objetivos de identificar as necessidades relacionadas ao produto proposto e analisar os protótipos.

3.2 Metodologia de Projeto

Segundo Norton (2010), a metodologia de projeto é primordialmente um exercício de criatividade aplicada. Com o objetivo de auxiliar na organização de como

é o enfrentamento perante o problema não estruturado proposto, ou seja, em casos quando não há uma definição plena do problema e para casos que há muitas soluções possíveis. Para o presente trabalho, é adotada a metodologia proposta por Norton (2013), que é dividida em dez etapas de acordo com o Quadro 2.

Quadro 2 – Metodologia de projeto

Metodologia de Projeto
1- Identificação da necessidade
2- Pesquisa e suporte
3- Definição dos objetivos
4- Especificações de tarefas
5- Síntese
6- Análise
7- Seleção
8- Projeto detalhado
9- Protótipo e teste
10- Produção

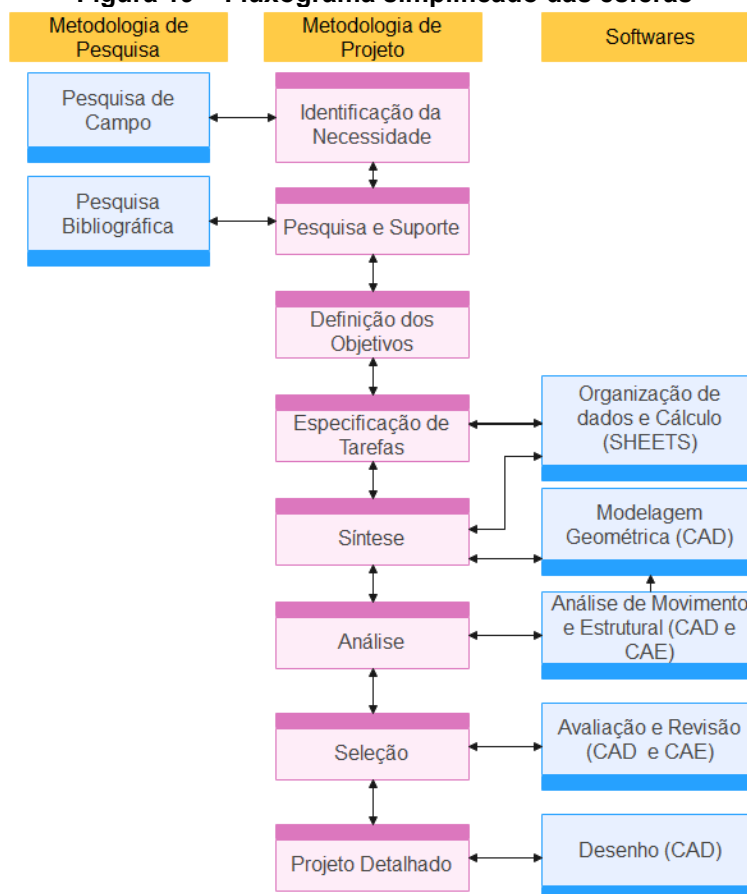
Fonte: Autoria própria (2021)

Como um dos objetivos do trabalho é limitar-se até a etapa de projeto detalhado, as etapas nove e dez da metodologia não são desenvolvidas. Os principais motivos para isso são as limitações de tempo e recursos financeiros. Contudo, são fornecidas informações ao ponto de ser possível sua produção.

As etapas da metodologia de projeto propostas podem dar uma visão incorreta de que esse método pode ser finalizado de forma linear conforme relacionado no Quadro 2. Mas é o inverso, a interação estará presente ao longo de todo o processo. Com qualquer etapa retornando à etapa anterior, repetidamente e com todas as combinações possíveis. Logo, fica claro que projetar não é algo nada linear, com a possibilidade de casos em que são três etapas para frente e duas ou até mais para trás, até alcançar uma solução plausível (NORTON, 2013).

Além das metodologias mencionadas, são utilizados softwares para auxiliar no desenvolvimento do trabalho. São eles: Solidworks (2019) e Microsoft Excel (2016).

Com a finalidade de elucidar como todas essas esferas citadas se relacionam, sobretudo em qual momento isso ocorre, é criado o fluxograma, apresentado na Figura 19.

Figura 19 – Fluxograma simplificado das esferas

Fonte: Autoria própria (2021)

3.2.1 Justificativa da metodologia de projeto

O projeto do elevador automotivo proposto não é totalmente novo em relação aos seus fundamentos. Princípios de funcionamento já consolidados por muitos anos em produtos comerciais são utilizados nesse projeto. A exemplo disso, é o seu elemento primordial, o mecanismo de elevação, onde é escolhido um tipo já consolidado.

Além disso, o projeto já começa com muitas informações preliminares, sobretudo os requisitos que precisam ser atendidos. Assim sendo, caso seja realizada uma classificação dentre as etapas de projeto: projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado, o projeto proposto já teria passado a fase de projeto informacional. Etapa na qual metodologias de desenvolvimento de produto mais amplas possuem papel fundamental.

Além dos fatos mencionados, a metodologia proposta por Norton (2013), é caracterizada por ser voltada principalmente a máquinas, fato que facilita o desenvolvimento do projeto. Dessa maneira, a metodologia de projeto proposta com

auxílio da metodologia de pesquisa e softwares, possibilita atender as necessidades do projeto.

Com a finalidade de proporcionar um trabalho mais organizado, no próximo capítulo, são desenvolvidas todas as etapas da metodologia de projeto proposta.

4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

4.1 Identificação da necessidade

Com as visitas realizadas ao laboratório destinado à equipe Fórmula SAE UTFPR é possível observar várias necessidades, que são organizadas nos tópicos a seguir:

- Ser compacto em virtude do pouco espaço ofertado no laboratório, local no qual é realizada a manutenção do veículo;
- Ser portátil para possibilitar a sua locomoção para os diferentes locais de testes e sobretudo para o local onde é realizada a competição;
- Possuir um custo baixo de fabricação. A equipe Fórmula UTFPR, assim como a maioria dos projetos extracurriculares, possui uma grande limitação orçamentária;
- Possuir facilidade na manutenção. O objetivo é os próprios integrantes da equipe realizarem as manutenções preventivas e corretivas;
- Possuir simplicidade na operação. A equipe está constantemente mudando seus integrantes, dessa forma, é imprescindível que a operação seja o mais intuitiva possível, com a necessidade de poucos treinamentos para o correto uso;
- Possibilitar adequação para todos os protótipos que foram e podem ser fabricados pela equipe;
- Ser seguro, um dos principais requisitos para os trabalhos realizados no laboratório é a segurança. Logo, é primordial um elevador que ofereça isso junto com a utilização de EPI;
- Proporcionar uma posição ergonômica de trabalho ao usuário. Pelo fato de longas horas de trabalho dos integrantes, principalmente na véspera da competição, esse requisito seria de grande valia.

4.2 Pesquisa e suporte

Segundo Norton (2010), essa etapa corresponde ao desenvolvimento das informações. Com o objetivo de compreender e definir integralmente o problema

proposto. Essa etapa está contemplada de forma integral na fundamentação teórica do presente trabalho.

4.3 Definição do objetivo

Com o desenvolvimento da fundamentação teórica, o objetivo do problema fica mais claro e deve possuir três características fundamentais: concisão, abrangência e não possuir elementos que preveem a solução. Além disso, necessita ser orientado por termos de visualização funcional (NORTON, 2010). Seguindo esses requisitos o objetivo pode ser definido como: Projetar um modo de elevar e abaixar um veículo.

4.4 Especificação de tarefas

Essa etapa tem como finalidade a criação de um conjunto detalhado de especificações de tarefas que fecham o problema e limitam seu alcance (NORTON, 2013). Logo, as atividades são contempladas até a fase de detalhamento do projeto, dessa forma, não inclui a fase de fabricação e montagem.

Pré-requisitos do projeto:

- Ser compacto;
- Ser portátil;
- Possuir baixo custo de fabricação;
- Possuir facilidade na manutenção;
- Possuir simplicidade na operação;
- Possibilitar adequação para diferentes veículos;
- Ser seguro;
- Ser ergonômico.

Tarefas:

- Atender de forma plena ou parcial todos os pré-requisitos do projeto;
- Definir os componentes que são fabricados;
- Definir os componentes que são comerciais;
- Definir, quando necessário, os materiais dos componentes;

- Definir, quando necessário, os processos de fabricação dos componentes;
- Definir o tipo de acionamento de elevação;
- Definir o tipo de mecanismo de elevação;
- Definir qualquer outro quesito necessário para o desenvolvimento do projeto;
- Modelar em 3D todos os componentes do projeto com auxílio de software;
- Realizar análise de movimento do mecanismo com auxílio de software;
- Realizar, quando necessário, análise estrutural dos componentes com auxílio de software;
- Detalhar em 3D e/ou 2D os componentes de acordo com as necessidades de fabricação e montagem.

Tarefas não incluídas:

- Cotar os preços dos componentes do projeto;
- Otimizar os componentes na perspectiva de estudo topológico;
- Fabricar e montar os componentes do projeto;
- Definir qualquer quesito em relação a fabricação e montagem que não esteja contemplado nas entregas.

4.5 Síntese

Nesta etapa procura-se o maior número de possibilidades de projetos. Na maioria das vezes desconsiderando valor ou qualidade. Além disso, essa fase é denominada de etapa de concepção e invenção, na qual a criatividade está muito presente. Por fim, está incluído nessa etapa a síntese de tipo, que abrange a escolha das alternativas propostas anteriormente. (NORTON, 2013).

4.5.1 Definições iniciais

A fundamentação teórica é a base para desenvolver concepções em relação ao projeto. Com apresentação de equipamentos e com a elucidação de diversos conceitos do campo da mecânica. No fim, permanecem duas definições em aberto em

relação ao método de elevação que são necessárias para dar início ao desenvolvimento do projeto.

A primeira delas é a definição do acionamento, ou seja, o sistema de potência que realiza a elevação. No caso, são citadas duas sugestões: a utilização de fuso de potência ou a utilização de um sistema hidráulico de potência.

A segunda é a definição do tipo de mecanismo que realiza a elevação. Sendo citadas três sugestões: a utilização do mecanismo pantógrafo, a utilização do mecanismo paralelogramo ou a não utilização de um mecanismo.

Com a finalidade de buscar uma escolha o mais fundamentada possível com as informações disponíveis até o momento, é utilizada a matriz de decisão já nesta etapa. Dessa forma, possibilita a modelagem de algo mais consolidado, diminuindo as chances de retornar a essa fase.

4.5.1.1 Acionamento e mecanismo

Para a escolha do acionamento são utilizados como parâmetros alguns pré-requisitos do projeto. Assim, como todos os requisitos possuem o mesmo nível de importância, são utilizados fatores de ponderação iguais. Por fim, uma classificação de 1 a 5 para as notas. As informações estão contidas na Tabela 2.

Tabela 2 – Matriz de decisão – Acionamento

	Compacto	Portátil	Custo	Manutenção	Segurança	Total
Fator de ponderação	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	1
Fuso de potência	4	4	4	4	5	4,2
Sistema hidráulico	3	2	2	3	5	3

Fonte: Autoria própria (2021)

Para a escolha do mecanismo, é utilizado o mesmo método da escolha do acionamento. As informações estão contidas na Tabela 3.

Tabela 3 – Matriz de decisão – Mecanismo

	Compacto	Portátil	Custo	Manutenção	Segurança	Total
Fator de ponderação	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	1
Pantográfico	5	5	4	3	5	4,4
Paralelogramo	3	3	4	3	5	3,6
Sem mecanismo	2	2	3	4	5	3,2

Fonte: Autoria própria (2021)

Em relação ao acionamento, a atribuição de maiores notas ao fuso nos quesitos: compacto, portátil, custo e manutenção é em virtude desse mecanismo possuir um número reduzido de componentes. Assim, podendo ocupar um menor

espaço, facilitar a portabilidade em virtude de possuir uma massa menor, ter um menor custo e por fim, facilitar a manutenção pela quantidade reduzida de componentes com potencial para serem comprados e trocados.

Em relação ao mecanismo, o pantográfico se diferencia principalmente nas notas referentes aos quesitos: compacto e portátil. Isso se deve ao fato desse mecanismo necessitar de um espaço menor para seu funcionamento. Diferente do mecanismo paralelogramo que necessita de um deslocamento horizontal para realizar a elevação vertical, o mecanismo pantográfico consegue fazer a elevação vertical sem deslocamento horizontal.

Para elucidar os fatos mencionados, a Figura 20 apresenta o espaço ocupado pelo mecanismo paralelogramo na área inferior e pelo mecanismo pantográfico na área superior da figura. No caso, ambos os mecanismos possuem a mesma altura de elevação nesse ponto. Além disso, ambos estão na mesma escala e alcançam a mesma altura máxima de elevação.

Figura 20 – Comparação dos mecanismos pantográfico e paralelogramo

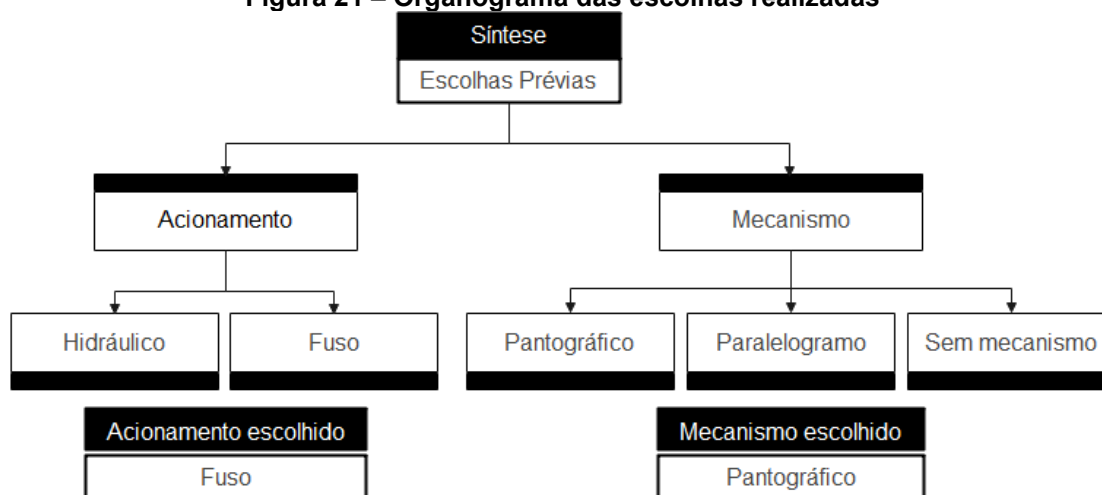


Fonte: Autoria própria (2021)

No caso da não utilização de um mecanismo, é necessário um espaço ainda maior reservado ao equipamento. Pois quando um elevador possui um mecanismo e não está sendo utilizado, fica compactado, principalmente no sentido vertical. Contudo, esse fato não está presente em um elevador sem mecanismo, pois as colunas laterais não possuem movimento, como por exemplo, o modelo pórtico.

Desse modo, um sistema que possui um mecanismo e além disso, seja o pantográfico, atende melhor os quesitos do projeto. Com as escolhas realizadas, é criado o organograma apresentado na Figura 21.

Figura 21 – Organograma das escolhas realizadas



Fonte: Autoria própria (2021)

4.5.1.2 Estrutura

O equipamento tem como um dos requisitos o baixo custo para fabricação, desse modo, o objetivo é empregar materiais que são facilmente encontrados no mercado e com preços mais reduzidos, além disso, que atendam as condições de trabalho. Dessa maneira, materiais como o aço AISI 1020 e aço AISI 1045 podem ser empregados. Um fato importante é que o método de fabricação tem o intuito de ser limitado a dobra, corte, soldagem e usinagem convencional. Ademais, sempre que possível, é adotado componentes comerciais.

4.5.1.3 Sistema de Segurança

Com a escolha prévia do fuso como mecanismo de acionamento, um sistema de segurança e travamento não é necessário, pois como estudado anteriormente, o conjunto fuso e porca é um sistema auto travante. Ou seja, apenas a atuação da força axial no fuso em virtude da massa do elevador e do veículo não permite a rotação do mesmo. Dessa maneira, em qualquer ponto de elevação quando a força motriz for desativada, acarretará o travamento instantâneo do elevador naquela posição.

4.5.1.4 Força motriz

Algo primordial é a necessidade de planejar o que pode ser utilizado como força motriz do sistema, ou seja, o elemento que vai rotacionar o fuso. No caso, um dos requisitos do elevador é ser portátil, assim, além da facilidade de transporte, é

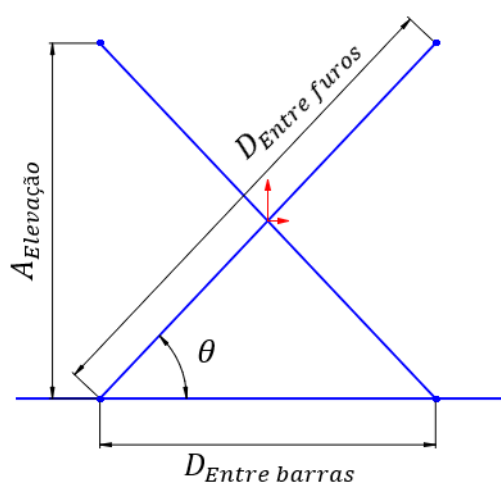
necessário que o elevador funcione nos mais diversos locais. Desse modo, a utilização de um dispositivo que possa utilizar baterias recarregáveis é o ideal, como por exemplo, uma parafusadeira ou uma chave de impacto. Assim, há primeiramente a tentativa de utilização desses dispositivos. No entanto, caso não for possível em virtude do elevado torque exigido pelo sistema, pode ser utilizado um motor com redução ligado à energia elétrica.

4.5.1.5 Cálculos

Antes de dar início a modelagem é fundamental realizar cálculos prévios para definir as dimensões iniciais dos componentes. Os primeiros elementos que necessitam ser definidos são as barras do mecanismo pantográfico, em específico a distância entre os furos das conexões. Realizado isso, o próximo passo é a definição da angulação inicial dessas barras em relação a base do equipamento.

Para a realização dos cálculos são utilizadas as relações trigonométricas definidas de acordo com um triângulo retângulo. Assim, a altura de elevação é o cateto oposto, a distância entre as extremidades das barras é o cateto adjacente e por fim, a distância entre furos da barra é a hipotenusa. A Figura 22 apresenta essas variáveis. Ademais, o deslocamento linear de elevação corresponde altura de elevação e o deslocamento axial do fuso corresponde à distância entre as extremidades das barras.

Figura 22 – Relações trigonométricas



Fonte: Autoria própria (2022)

Com a definição da distância entre furos em 970 mm e a angulação inicial em 2 graus, é possível aplicar esses valores nas equações trigonométricas (1), (2), (3) e (4) para a obtenção de referências iniciais.

$$A_{Elevação} = \sin \theta \cdot D_{Entre\ furos} \quad (1)$$

$$D_{Entre\ barras} = \cos \theta \cdot D_{Entre\ furos} \quad (2)$$

$$D_{Elevação} = PE_{Final} - PE_{Inicial} \quad (3)$$

$$D_{fuso} = PF_{Final} - PF_{Inicial} \quad (4)$$

Onde:

$A_{Elevação}$ = Altura de elevação;

θ = Ângulo entre barras e base;

$D_{Entre\ furos}$ = Distância entre furos da barra;

$D_{Entre\ barras}$ = Distância entre as extremidades das barras;

$D_{Elevação}$ = Deslocamento linear de elevação;

PE_{Final} = Posição final de elevação;

$PE_{Inicial}$ = Posição inicial de elevação;

D_{fuso} = Deslocamento axial do fuso;

PF_{Final} = Posição final do fuso;

$PF_{Inicial}$ = Posição inicial do fuso.

Com o auxílio do Microsoft Excel (2016) é criada a Tabela 4, onde são apresentados os resultados das equações com uma variação de angulação de 2°.

Tabela 4 – Resultados das equações

(continua)

Ângulo entre barras e base (graus)	Altura de elevação (mm)	Distância entre extremidades das barras (mm)	Deslocamento linear de elevação a cada 2 graus (mm)	Deslocamento axial no fuso a cada 2 graus (mm)
2	33,85	969,41	0,00	0,00
4	67,66	967,64	33,81	1,77
6	101,39	964,69	33,73	2,95
8	135,00	960,56	33,61	4,13
10	168,44	955,26	33,44	5,30
12	201,67	948,80	33,24	6,46
14	234,66	941,19	32,99	7,62
16	267,37	932,42	32,70	8,76
18	299,75	922,52	32,38	9,90
20	331,76	911,50	32,01	11,02
22	363,37	899,37	31,61	12,13

Tabela 4 – Resultados das equações

(conclusão)

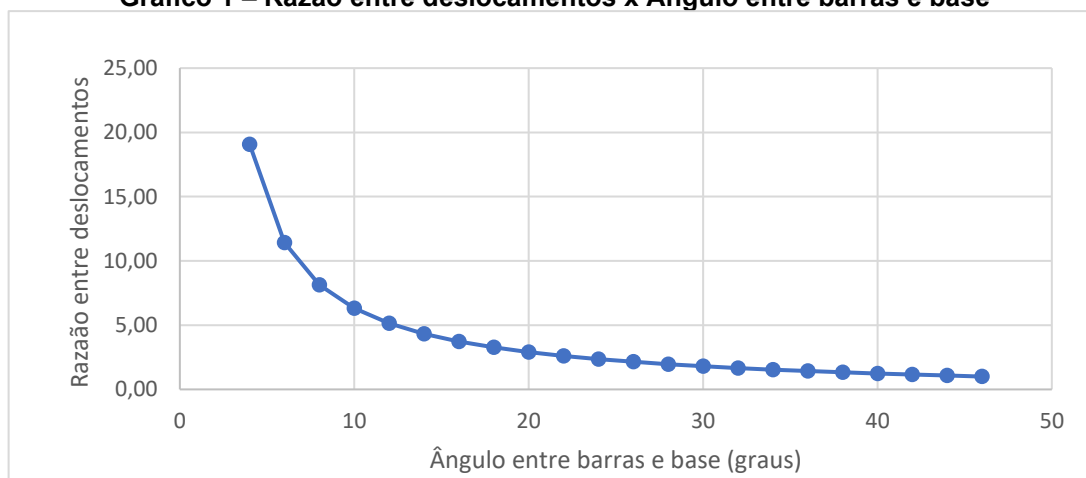
Ângulo entre barras e base (graus)	Altura de elevação (mm)	Distância entre extremidades das barras (mm)	Deslocamento linear de elevação a cada 2 graus (mm)	Deslocamento axial no fuso a cada 2 graus (mm)
24	394,53	886,14	31,17	13,23
26	425,22	871,83	30,69	14,31
28	455,39	856,46	30,17	15,37
30	485,00	840,04	29,61	16,41
32	514,02	822,61	29,02	17,44
34	542,42	804,17	28,40	18,44
36	570,15	784,75	27,73	19,42
38	597,19	764,37	27,04	20,38
40	623,50	743,06	26,31	21,31
42	649,06	720,85	25,55	22,21
44	673,82	697,76	24,76	23,09
46	697,76	673,82	23,94	23,94

Fonte: Autoria própria (2022)

Dessa forma, com os valores empregados para a distância entre os furos das barras é possível alcançar a altura desejada. No caso, embora seja atingido um ângulo de 46° e uma altura de elevação inferior a 700mm, esse fato não é um problema, pois outros componentes do equipamento vão complementar essa altura máxima.

Um outro fato interessante apresentado na Tabela 4 são as últimas duas colunas. Pode-se observar que a razão entre o deslocamento linear de elevação e o deslocamento axial do fuso é muito acentuada no início. Para deixar isso mais evidente é criado o Gráfico 1, que mostra essa razão em relação ao ângulo entre as barras e a base.

Gráfico 1 – Razão entre deslocamentos x Ângulo entre barras e base



Fonte: Autoria própria (2022)

Dessa forma, é esperado que o equipamento exija um elevado torque no início do funcionamento, além disso, uma curva similar à apresentada poderá ser obtida pelo software Solidworks (2019) quando for realizada a análise dessa grandeza.

4.5.1.6 Especificações prévias de projeto

Com as definições adotadas até o momento e com os requisitos do projeto, é possível definir as especificações prévias de projeto. As informações estão contidas no Quadro 3.

Quadro 3 – Especificações prévias de projeto

Acionamento	Fuso
Mecanismo	Pantográfico
Materiais dos componentes	Aço AISI 1020 e AISI 1045
Métodos de fabricação dos componentes	Corte, dobra, soldagem e usinagem convencional
Sistema de segurança	Incluso no fuso, pelo sistema de auto travamento
Força motriz	Parafusadeira ou chave de impacto recarregável
Distância entre furos das barras do mecanismo	970 mm
Ângulo inicial entre barras do mecanismo e base	2 graus
Altura máxima de elevação	780 mm
Altura mínima de elevação	50 mm
Comprimento	Entre 1600 mm e 1700 mm
Largura	Entre 900 mm e 1000 mm
Massa do equipamento	30 kg
Capacidade de carga	280 kg

Fonte: Autoria própria (2022)

4.5.2 Modelagem 3D

Com as especificações iniciais do projeto definidas é possível iniciar a modelagem 3D no Solidworks (2019). Na primeira fase de modelagem não há um grande detalhamento dos componentes, apenas é assegurado o atendimento dos requisitos primordiais. Como as dimensões geométricas do elevador, sistema de acionamento e o mecanismo de elevação. A Figura 23 apresenta a modelagem 3D.

Figura 23 – Modelagem 3D

Fonte: A autoria própria (2022)

Com essa modelagem é possível verificar previamente o funcionamento do mecanismo, sobretudo a máxima elevação, além disso, o espaçamento entre os componentes na mínima elevação. Assegurado isso, é dado início ao detalhamento refinado do projeto.

Para facilitar a modelagem, é dividido o equipamento em três seções, são elas: Seção inferior, formada pela base do equipamento, seção intermediária, formada pelo sistema de elevação e pôr fim a seção superior, formada pela estrutura que realiza o apoio ao veículo. De modo a facilitar o entendimento do equipamento é descrito a seguir as características fundamentais de cada seção.

4.5.2.1 Seção Inferior

Visando atender os requisitos do equipamento de ser compacto e portátil a base do equipamento é reduzida ao máximo. Assim, é desenvolvido um sistema de apoios móveis que possibilitam uma angulação de até 90° em relação às laterais do equipamento. Dessa maneira, quando o elevador for transportado ou armazenado, esses quatro apoios são posicionados a 0° em relação às laterais. E quando for utilizado o equipamento, esses apoios são posicionados a 90°. A Figura 24 abaixo retrata os dois cenários.

Figura 24 – Posicionamentos dos apoios inferiores

Fonte: Autoria própria (2022)

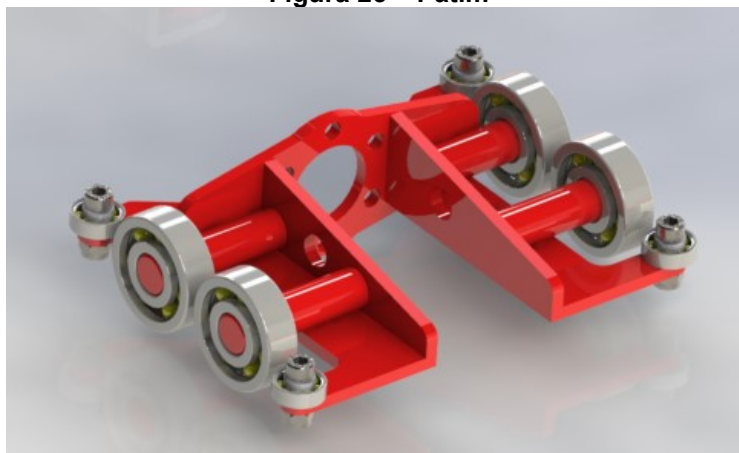
Um ponto importante levado em consideração nessa seção é o fato que o elevador será utilizado em um veículo extremamente baixo, assim, o posicionamento do elevador poderia ser inviável em alguns casos. Dessa forma, é projetado apoios para elevar a altura do veículo. No caso, é posicionado no piso um apoio para cada pneu. Em seguida, o veículo é deslocado sobre eles, depois, é posicionado o elevador. Para elucidação, no final do capítulo é apresentada uma figura desse apoio junto aos demais componentes.

4.5.2.2 Seção Intermediária

O mecanismo e o sistema de acionamento têm uma grande atenção durante a etapa de desenvolvimento, sobretudo no que tange ao fuso. Como verificado durante o referencial teórico, o fuso possui uma singularidade em relação às forças que podem atuar ao longo de sua estrutura. No caso, para o correto funcionamento desse componente, apenas pode haver forças axiais atuantes.

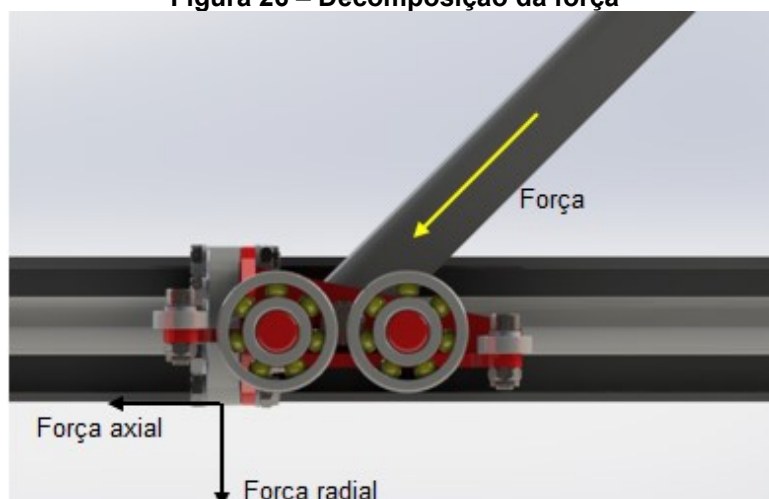
Logo, para que não exista a atuação de forças radiais no fuso, é necessário desenvolver um modelo onde essas forças sejam direcionadas para outros componentes. E a saída encontrada é o desenvolvimento de um guia linear.

Esse dispositivo é formado basicamente por dois componentes. O primeiro deles é o caminho que vai ser percorrido, no caso, são utilizadas as laterais da base inferior do equipamento. E o segundo componente é aquele que vai percorrer o caminho, no caso, é desenvolvido um elemento específico para isso, apresentado na Figura 25. Para facilitar o desenvolvimento do trabalho esse elemento é chamado de patim.

Figura 25 – Patim

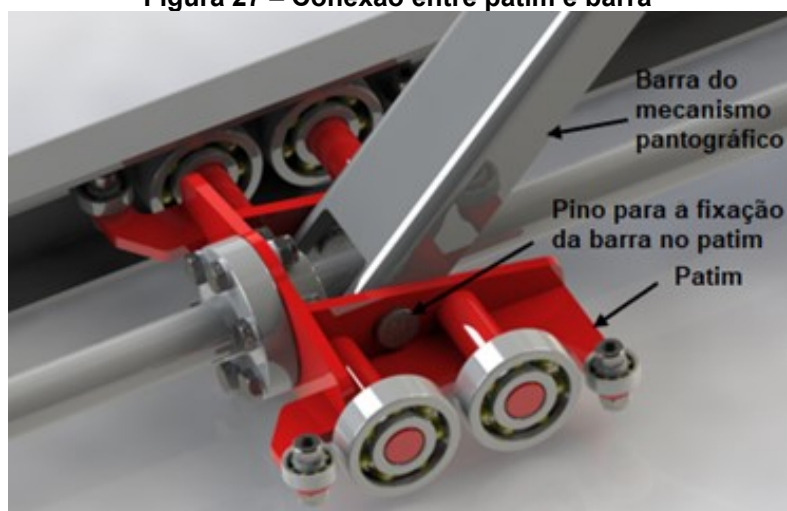
Fonte: Autoria própria (2022)

Com o auxílio da Figura 26 é possível visualizar como é decomposta a força que atua em uma das barras do pantográfico para os outros componentes. No caso, uma das direções atuaria radialmente à porca flangeada e conseqüentemente ao fuso.

Figura 26 – Decomposição da força

Fonte: Autoria própria (2022)

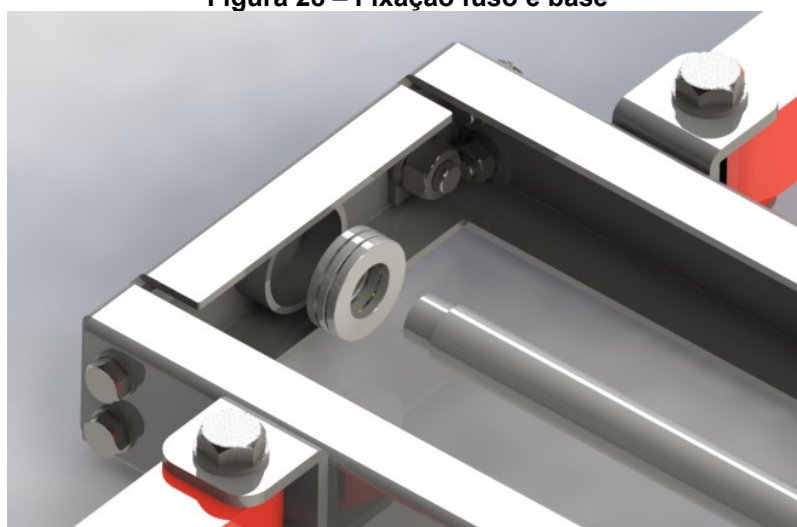
Para contornar isso, é realizada a conexão da barra entre dois eixos equidistantes no patim através de um pino. Dessa forma, essa força passa a atuar nos eixos e conseqüentemente nos rolamentos que estão apoiados na base do elevador. Essa conexão é apresentada na Figura 27.

Figura 27 – Conexão entre patim e barra

Fonte: Autoria própria (2022)

Um outro ponto considerado é o funcionamento do equipamento a médio e longo prazo. Logo, são incluídos rolamentos laterais na estrutura do patim. Assim, quando iniciar os desgastes dos componentes, sobretudo da porca e do fuso, esse contato entre os rolamentos e as laterais base vai impedir um deslocamento radial e por consequência a atuação de força radial no fuso.

A fixação do fuso na base do equipamento também é algo que merece ser tratado. Como citado anteriormente, o objetivo do desenvolvimento do patim é eliminar qualquer força radial no fuso, dessa forma, não há esse tipo de força nos rolamentos que fazem a fixação do fuso na base. Assim, é optado por utilizar rolamentos axiais de esferas de escora simples. A Figura 28 apresenta uma vista explodida da fixação do fuso na base através do rolamento em um dos lados do equipamento.

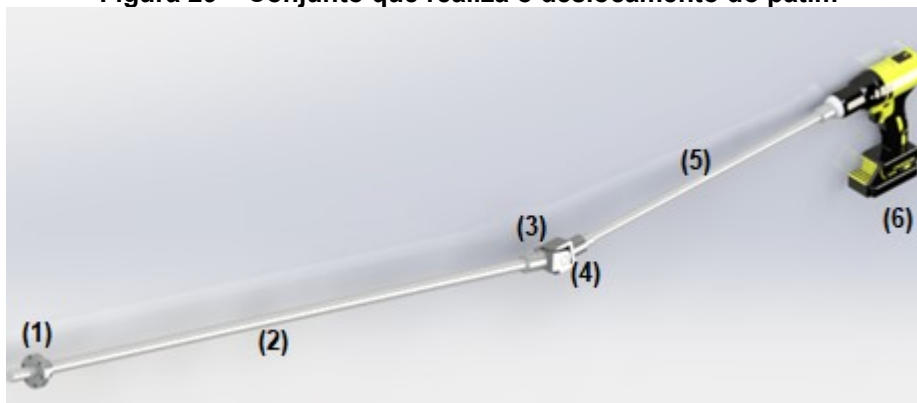
Figura 28 – Fixação fuso e base

Fonte: Autoria própria (2022)

Embora esse tipo de rolamento suporte apenas cargas axiais em uma das direções, é possível que com algumas ações o conjunto de dois rolamentos seja capaz de suportar em ambas as direções. A primeira delas é a realização de rebaixos em ambas as pontas do fuso para a formação de batentes de posicionamento, dessa forma, impede o deslocamento axial do rolamento em ambas as direções, pois de um lado há a base e de outro o batente. A segunda ação é montagem dos rolamentos nas extremidades do fuso com as faces voltadas uma para a outra. Feito isso, cada rolamento suporta a carga axial em uma direção, logo, o conjunto suporta em ambas. Esse fato é importante pois os sentidos de solicitações mudam de acordo com a elevação ou abaixamento do veículo.

Para concluir, é realizado a modelagem do conjunto que realiza o deslocamento do patim, sendo composto por seis componentes. São eles: porca (1), fuso (2), luva (3), junta universal (4), extensor (5) e a chave de impacto elétrica (6). A Figura 29 apresenta todos eles.

Figura 29 – Conjunto que realiza o deslocamento do patim



Fonte: Autoria própria (2022)

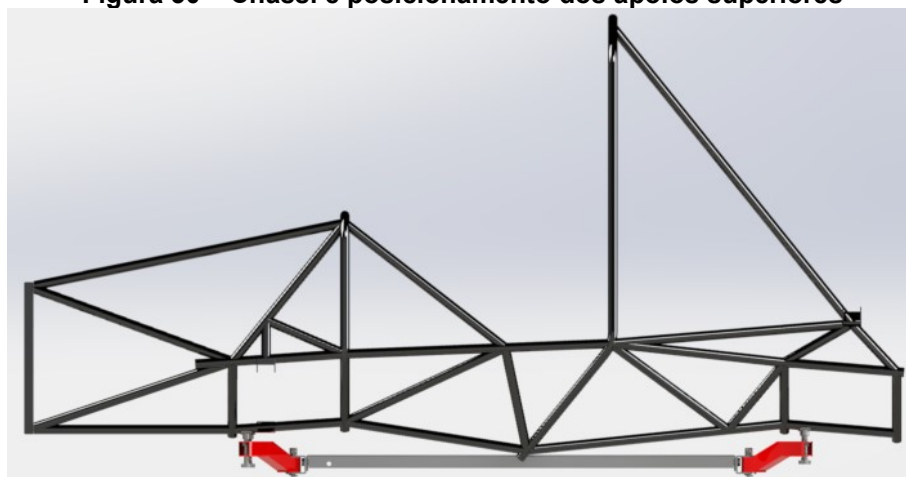
É válido salientar que o uso da junta universal no projeto é primordial para que se tenha uma angulação, assim, possibilitando o usuário ficar em uma posição confortável durante a etapa de elevação. Além disso, essa junta e o extensor são componentes comerciais que possuem as extremidades quadradas de $\frac{1}{2}$ ", dessa forma, a montagem e desmontagem do conjunto é realizada de forma rápida e simples.

4.5.2.3 Seção superior

Essa seção é desenvolvida com o objetivo de contornar principalmente a singularidade do veículo em ter um ponto inferior central muito acentuado no chassi.

Como há um ângulo próximo de 10° entre esse ponto e os tubos que são derivados, é necessário desenvolver apoios que acompanhem essa angulação. Assim sendo, há quatro apoios que são encaixados em quatro pontos equidistantes do centro do veículo. A Figura 30 apresenta essa singularidade do chassi e o posicionamento dos apoios.

Figura 30 – Chassi e posicionamento dos apoios superiores

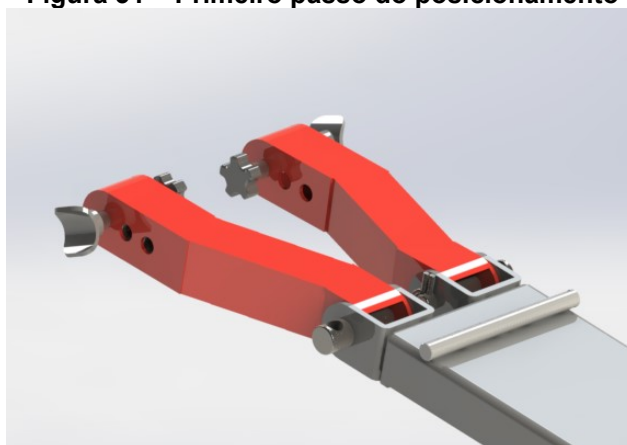


Fonte: Autoria própria (2022)

Um ponto importante é que essa angulação não é fixa, possibilitando tê-la ou não. Assim, é garantido que não tenha contato entre o chassi e o elevador durante o posicionamento do veículo. Para facilitar o entendimento desse posicionamento, é descrito a seguir o passo a passo de seu funcionamento.

- I. Com os apoios na posição apresentada na Figura 31 é colocado o elevador no local desejado e posicionado o veículo.

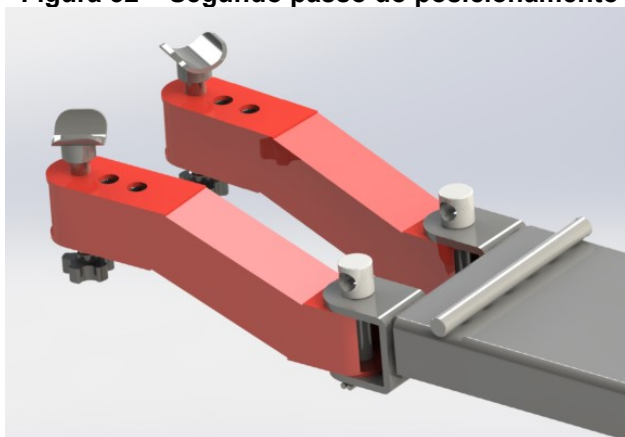
Figura 31 – Primeiro passo do posicionamento



Fonte: Autoria própria (2022)

- II. Posteriormente, é rotacionado em 90° os apoios de tal modo que fique como apresentado na Figura 32.

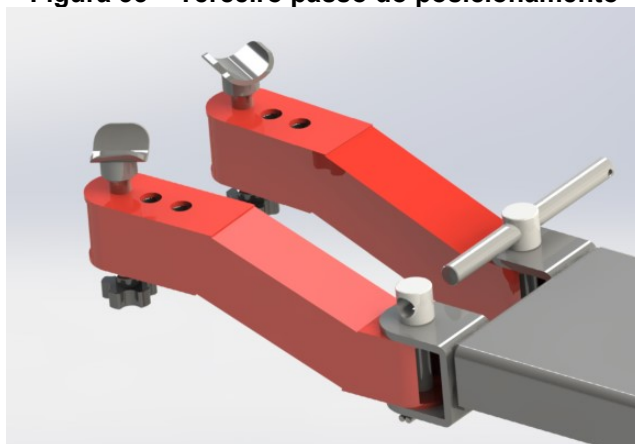
Figura 32 – Segundo passo do posicionamento



Fonte: Autoria própria (2022)

- III. Prontamente, é colocado o pino para que ocorra o travamento dos apoios, como mostrado na Figura 33.

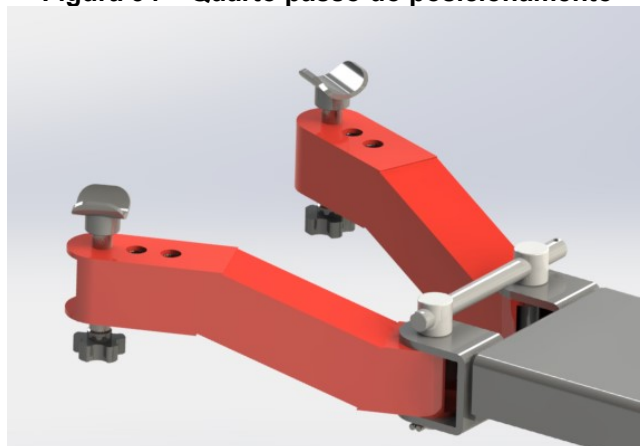
Figura 33 – Terceiro passo do posicionamento



Fonte: Autoria própria (2022)

- IV. E por fim, é posicionado os apoios na direção dos tubos do chassi e realizado o ajuste fino com o nivelador da extremidade. De acordo com a Figura 34.

Figura 34 – Quarto passo do posicionamento

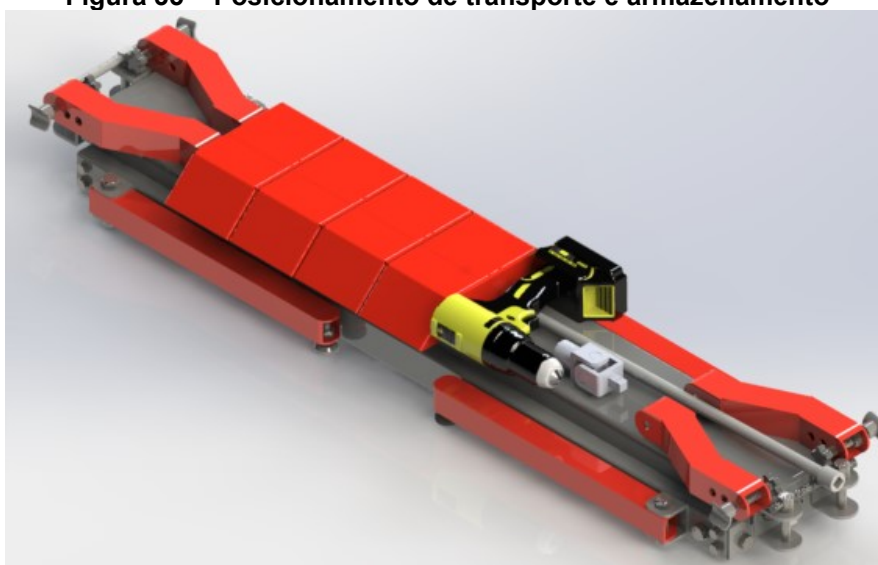


Fonte: Autoria própria (2022)

4.5.2.4 Modelo final do elevador

Com o acoplamento das três seções é formado o elevador. Logo, é possível apresentar os demais pontos principais. O primeiro deles são as dimensões que o elevador ocupa quando posicionado para o transporte ou armazenamento. Em virtude de os apoios superiores serem fixados por pinos é possível retirá-los com facilidade e colocá-los em cima da plataforma. Com isso realizado, o elevador possui 1257mm de comprimento, 270mm de largura e 150mm de altura. Esse estado é apresentado na Figura 35.

Figura 35 – Posicionamento de transporte e armazenamento



Fonte: Autoria própria (2022)

Quando os componentes do elevador são posicionados para o funcionamento, além disso, quando o equipamento atinge sua altura máxima, suas dimensões passam a ser: 1621mm de comprimento, 998mm de largura e 800mm de altura. No caso, esses valores desconsideram os apoios de elevação, luva, junta rotacional, extensor e a chave de impacto, pois são componentes retirados depois da elevação. A Figura 36 apresenta como são posicionados os componentes durante a etapa de elevação.

Figura 36 – Posicionamento durante elevação

Fonte: Autoria própria (2022)

É válido ressaltar que o detalhamento técnico do modelo 3D está presente no apêndice do trabalho, através da lista de materiais e desenhos técnicos. Dessa maneira, definições como, passo da rosca do fuso, espessura das chapas e normas utilizadas estão presentes nesse local.

4.6 Análise

Para a aprovação do modelo 3D são realizados dois tipos de análises, a análise de movimento e a análise estrutural, respectivamente. A primeira, tem o objetivo de verificar e convalidar os valores resultantes de algumas grandezas durante o funcionamento do equipamento. A segunda, tem o propósito de verificar e convalidar os componentes do projeto no ponto de vista estrutural, resumidamente, se vão suportar os esforços submetidos durante o funcionamento do equipamento.

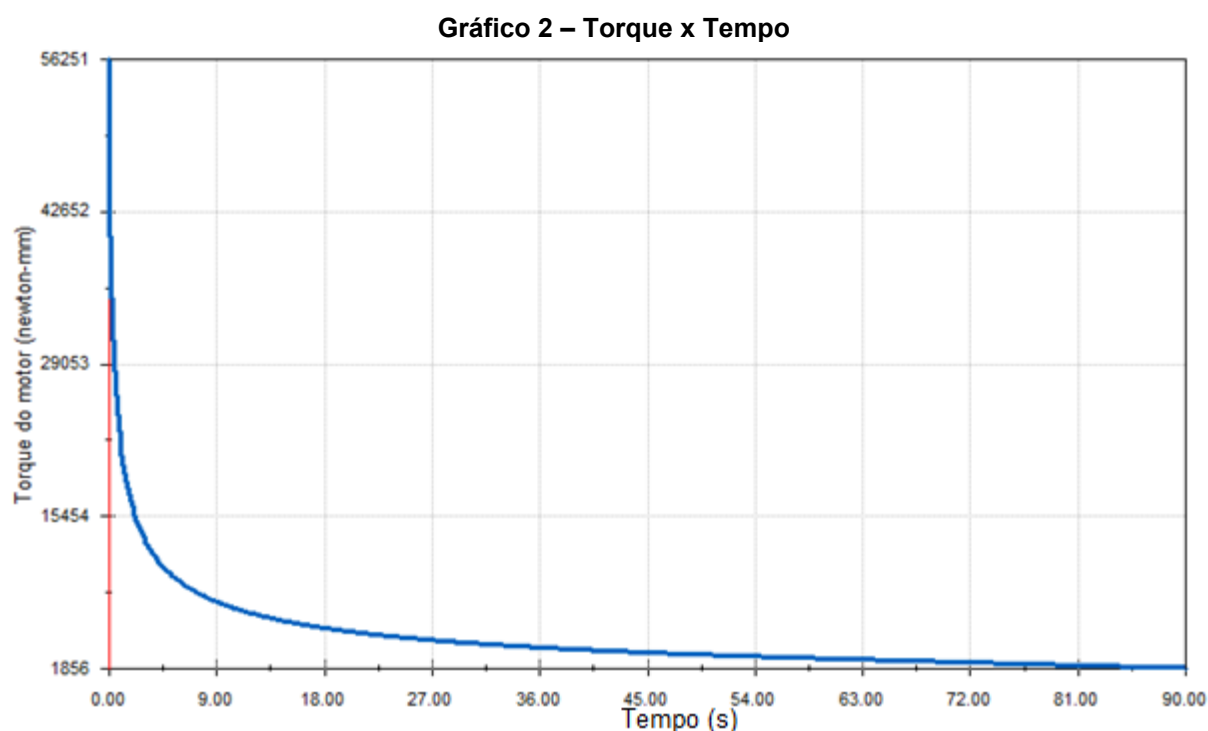
A análise de vibração e a análise térmica não são realizadas no trabalho, pois não há um cenário durante o uso do equipamento que é necessário analisar essas grandezas. No caso, sempre será desligado o veículo quando posicionado no elevador, desse modo, elimina qualquer tipo de vibração que possa influenciar o seu uso. Em relação à análise térmica, em virtude da baixa temperatura que pode ser atingida a estrutura do equipamento na condição de trabalho, torna-se desnecessária essa análise.

4.6.1 Análise de Movimento

Para a realização da análise de movimento no Solidworks (2019), é feita a remontagem do projeto de forma cuidadosa, sobretudo no que tange o grau de liberdade de cada componente. Esse fato é de extrema importância, pois os posicionamentos em relação a translação e rotação dos componentes não podem ter redundâncias. Logo, a utilização de pontos para a realização da montagem é fundamental. Feito isso, é possível obter resultados satisfatórios.

O primeiro estudo é em relação ao fuso, pois com o uso de alguns recursos da ferramenta de análise de movimento é possível descobrir o torque nesse componente quando o elevador estiver carregado. Assim, é definido os parâmetros conforme a realidade de trabalho do equipamento.

Dessa maneira, é aplicado uma força idêntica nos quatro apoios do elevador, que no caso é o peso do veículo dividido por essa quantidade. Em seguida, é definido os contatos entre os componentes e por fim, é aplicado um motor ao fuso. Feito isso, é dado início ao cálculo do estudo de movimento. Com a finalização dessa etapa, é utilizado o recurso de resultados e plotagens, onde é definido a magnitude do torque do motor como opção. O Gráfico 2, mostra o torque em relação ao tempo de elevação.



Fonte: Autoria própria (2022)

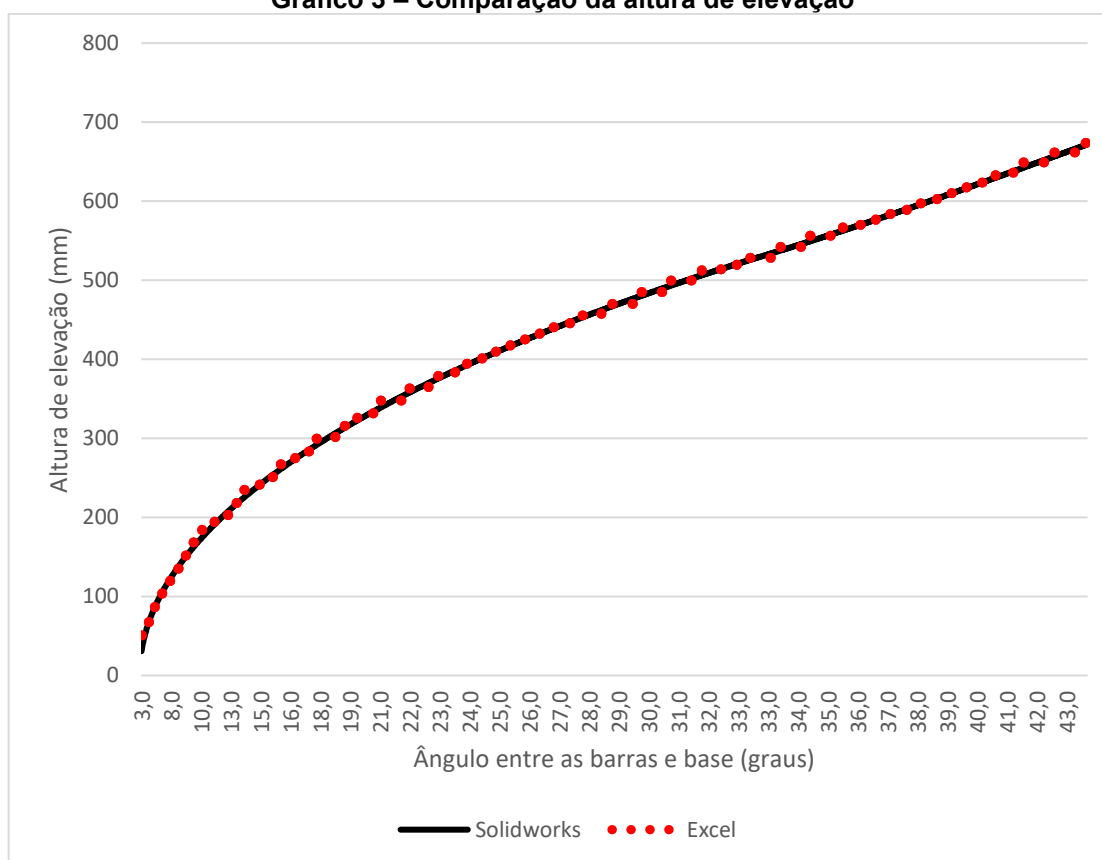
Nessa plotagem fica claro o elevado torque no início do funcionamento do equipamento. Essa situação faz sentido se comparada com o Gráfico 1, apresentado

na seção de síntese. Onde é verificado que a razão entre a elevação linear e o deslocamento axial do fuso é muito grande no início. Contudo, é algo que diminui com o aumento do ângulo entre a base e as barras do mecanismo pantográfico.

Como apresentado no gráfico, o máximo valor de torque é 56,25 N.m, logo, esse valor é o crítico para o dimensionamento do fuso e do motor. No entanto, é utilizado um coeficiente de segurança igual a 1,5 em virtude de o atrito ser desprezado em alguns pontos na análise de movimento. Isso posto, é utilizado o valor de 84,375 N.m como referência.

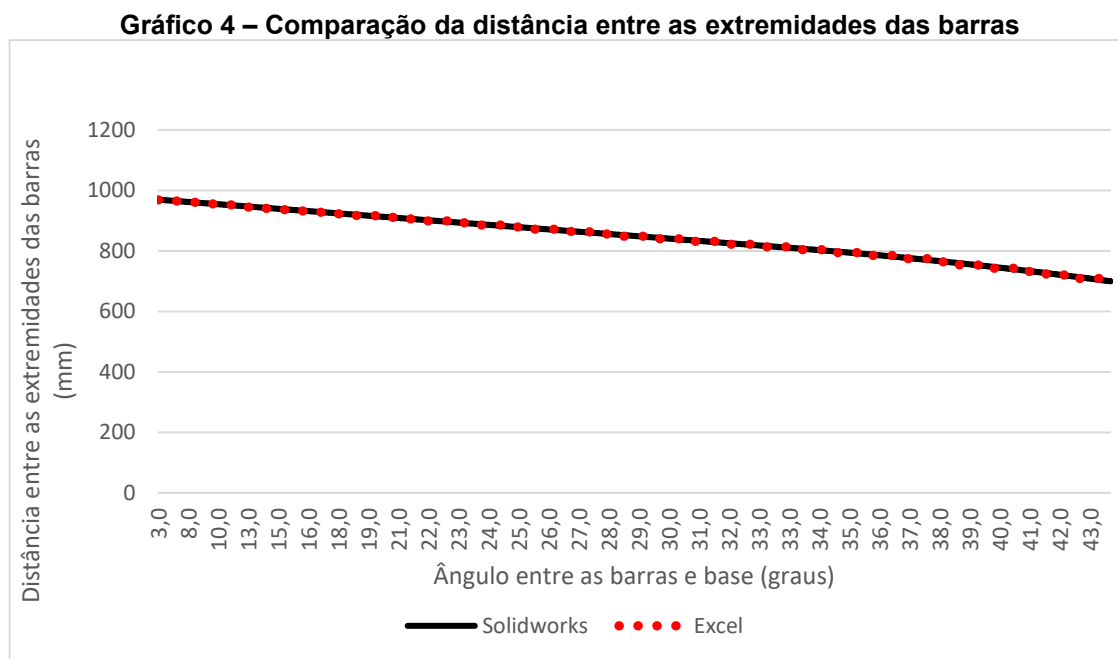
A próxima análise tem a finalidade de verificar e convalidar as principais variáveis tratadas na seção de síntese, ou seja, a altura de elevação, o ângulo entre as barras e base e por fim, a distância entre as extremidades das barras. Desse modo, é necessário comparar os valores obtidos no Solidworks (2019) com os resultados da Tabela 4, obtidos através das equações trigonométricas aplicadas ao Microsoft Excel (2016). Assim, é plotado primeiramente o Gráfico 3 que mostra os dados em relação à altura de elevação.

Gráfico 3 – Comparação da altura de elevação



Fonte: Autoria própria (2022)

Com a análise do gráfico é possível apontar que o equipamento está se comportando conforme o planejado, pois há uma grande similaridade entre as curvas. A próxima comparação é em relação à distância entre as extremidades das barras do pantográfico. Assim, é plotado o Gráfico 4, apresentado abaixo.



Fonte: Autoria própria (2022)

Assim como o gráfico anterior, as curvas possuem uma grande similaridade ao longo de todo deslocamento angular do pantográfico. Dessa forma, todas as variáveis tratadas podem ser convalidadas.

4.6.2 Análise Estrutural

Com a finalidade de simplificar a análise estrutural, é realizada uma análise estática. Contudo, são utilizados três cenários de funcionamento. O primeiro deles na fase inicial de funcionamento, onde o equipamento sai do estado de repouso, o segundo em uma fase intermediária de elevação e por último, no estado de máxima elevação. Desse modo, é possível garantir que todos os componentes atinjam seu estado crítico de funcionamento.

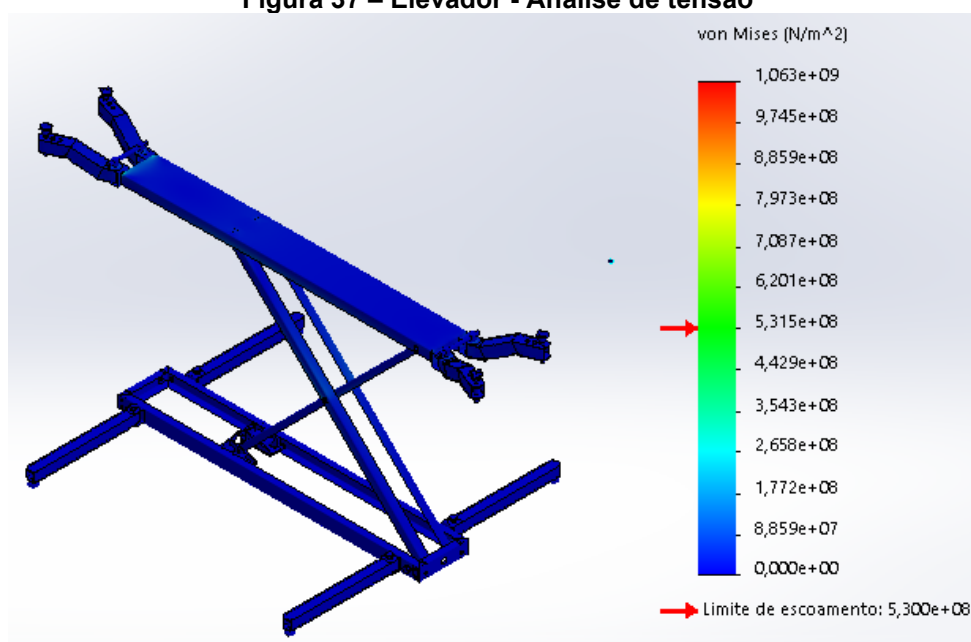
Para dar início a análise estrutural é realizado uma simplificação do modelo. Dessa forma, apenas os componentes fundamentais são considerados, além disso, todos os elementos são definidos com o material aço AISI 1045. Em seguida, são fixados os niveladores dos apoios inferiores e a parte inferior da base. Para a definição da distribuição das forças é adotado o mesmo critério que a análise de movimento.

Posteriormente, é definido os tipos de conexões entre os componentes. A próxima etapa é a criação da malha, na qual é selecionado o máximo refinamento disponível pelo software, ademais, é definida a malha com base na curvatura dos componentes. E finalmente, é realizado a execução do estudo.

Para a realização da análise estrutural são considerados quatro parâmetros para cada um dos cenários, são eles: tensão, deslocamento, deformação e fator de segurança. Como há doze resultados diferentes, é apresentado no trabalho apenas o ponto crítico de cada parâmetro.

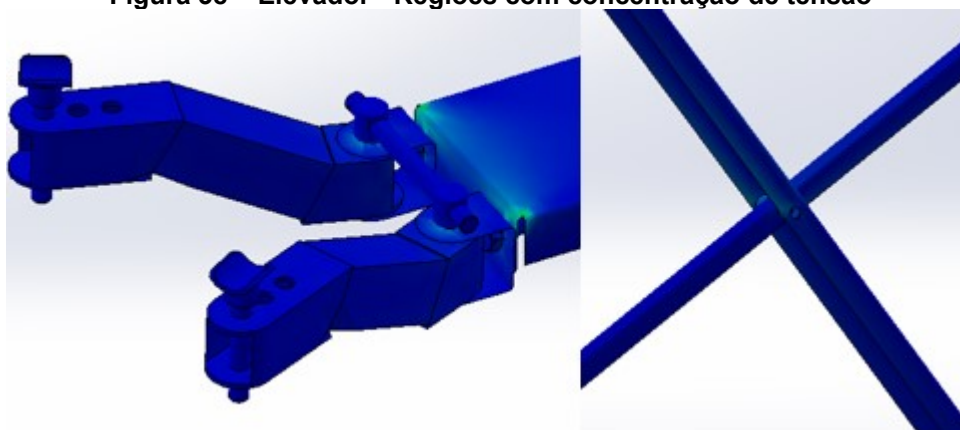
Iniciando pela tensão, essa grandeza obtém maior valor no último cenário, ou seja, na máxima elevação. O equipamento em quase sua totalidade apresenta valores abaixo do limite escoamento do material. Todavia, é verificado alguns pontos de concentração de tensão na região próxima da conexão central das barras e também nos cantos da plataforma superior. A Figura 37 apresenta os valores da tensão dos componentes de acordo com a legenda. E a Figura 38 apresenta algumas regiões com concentração de tensão.

Figura 37 – Elevador - Análise de tensão



Fonte: Autoria própria (2022)

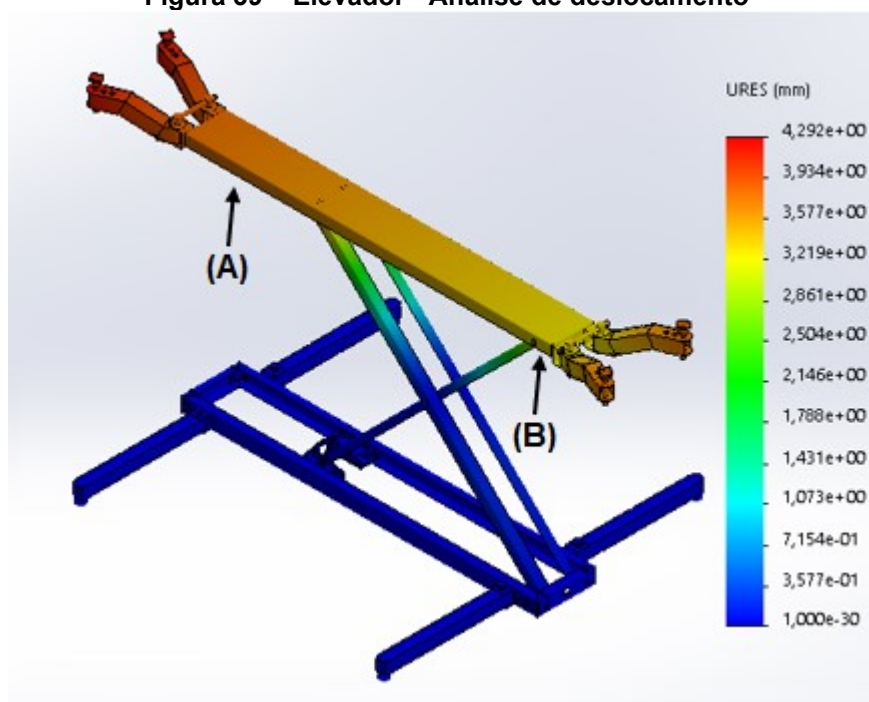
Figura 38 – Elevador - Regiões com concentração de tensão



Fonte: Autoria própria (2022)

O segundo parâmetro tratado é o deslocamento. Nesse caso, também é obtido o maior valor quando o equipamento está na máxima elevação. Essa condição é em virtude de o apoio que desliza ao longo da plataforma possuir uma distância maior (A) do que o apoio fixo em relação a extremidade da plataforma (B). Logo, tem-se um momento fletor maior e conseqüentemente um deslocamento mais acentuado. No caso, é apresentado um deslocamento máximo de 4,3 mm, que é um valor compreendido como aceitável pelo fato de não comprometer o funcionamento do equipamento. Na Figura 39 é possível verificar os valores dos deslocamentos do equipamento de acordo com a legenda.

Figura 39 – Elevador - Análise de deslocamento

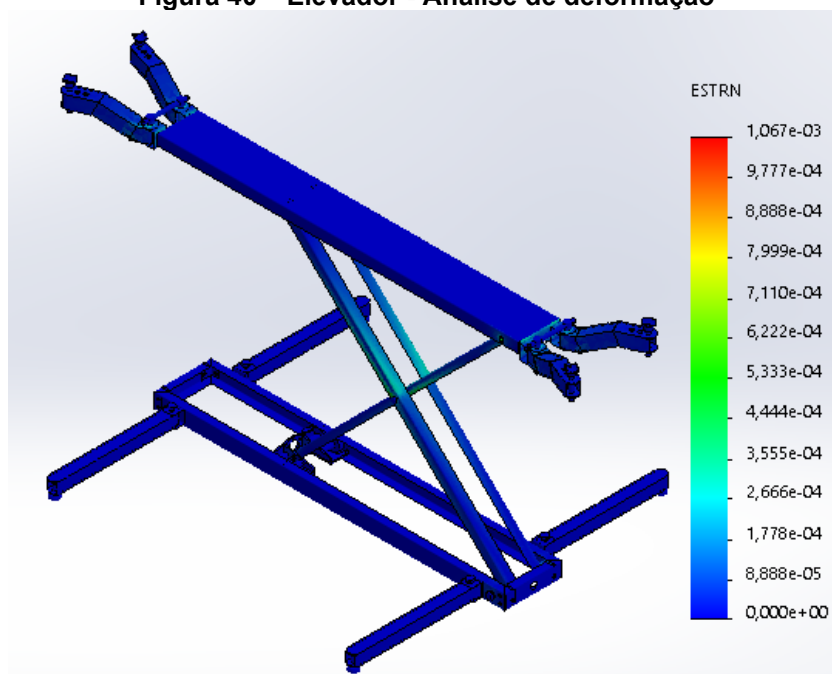


Fonte: Autoria própria (2022)

O terceiro parâmetro é a deformação, logo, possui uma relação direta com a análise anterior. Sendo assim, o cenário de funcionamento do equipamento também é o mesmo. Outro fato é que para a análise dessa grandeza é primordial saber as propriedades do material aplicado nos componentes.

No caso, uma das propriedades do aço AISI 1045 é a elasticidade, dessa forma, quando esse material é submetido a uma elevada tensão, há uma grande deformação elástica antes que ocorra uma deformação plástica. Diante disso, embora tenha um deslocamento como apresentado na análise anterior, a deformação pode ser enquadrada como desprezível. A Figura 40 apresenta as deformações dos componentes de acordo com a legenda.

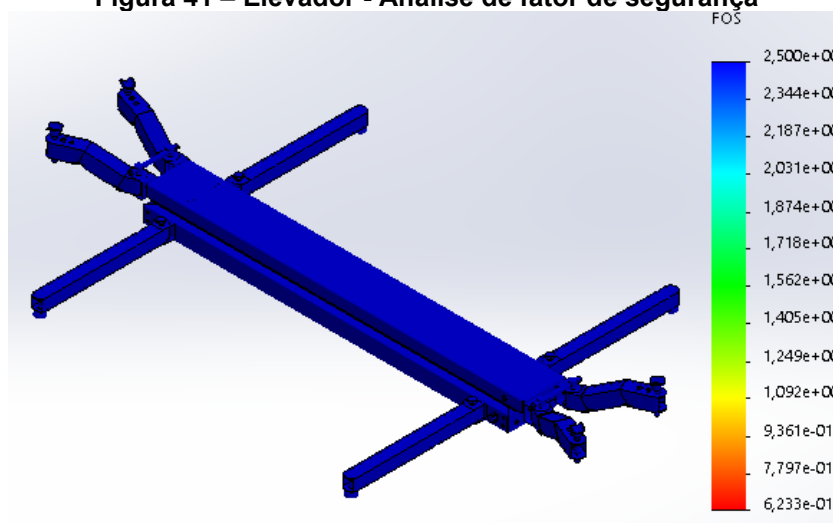
Figura 40 – Elevador - Análise de deformação



Fonte: Autoria própria (2022)

O quarto e último parâmetro a ser analisado é o fator de segurança. O software oferece várias opções de critérios para esse fator. Como o aço aplicado é dúctil, é escolhido o critério de Von Mises. Além disso, é adotado com referência para a simulação, um fator de segurança de 2,5, que é o valor indicado para este tipo de material. Nessa análise em todos os cenários de funcionamento do equipamento é obtido semelhança nos resultados. A Figura 41 apresenta em um dos cenários analisados os resultados conforme a legenda.

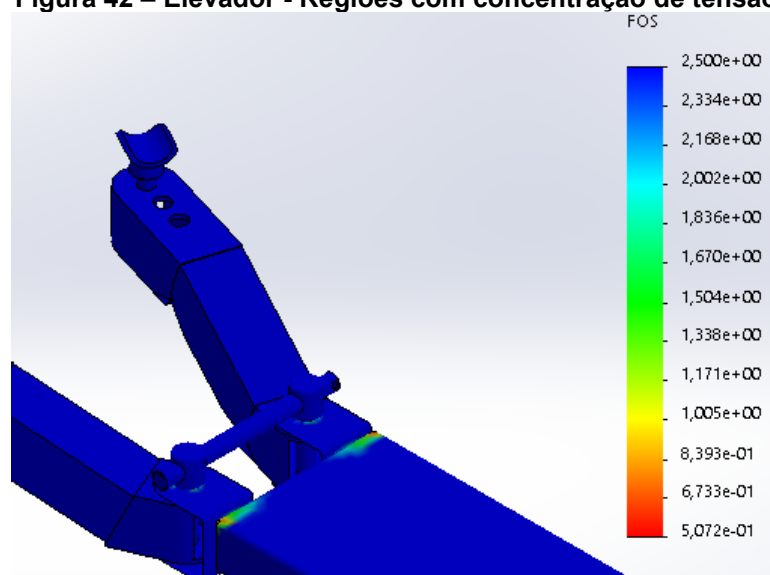
Figura 41 – Elevador - Análise de fator de segurança



Fonte: Autoria própria (2022)

Algo que acontece nessa análise é a obtenção de valores abaixo do esperado em alguns pontos. Contudo, isso é tratado como sendo normal, pois há uma grande concentração de tensão nestes pontos em virtude de especificidades. A principal delas é que são regiões onde ocorre uma mudança repentina da geometria, dessa forma, são pontos onde a área tende a zero, conseqüentemente, a tensão tende ao infinito. Essa elucidação também é aplicada para a análise de tensão, realizada anteriormente. A Figura 42 apresenta alguns cantos e furos da plataforma superior do equipamento onde não é atingido o fator de segurança proposto.

Figura 42 – Elevador - Regiões com concentração de tensão

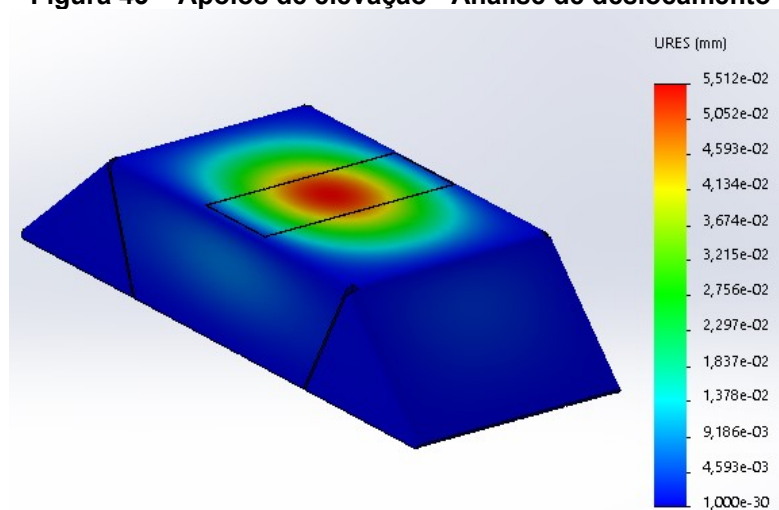


Fonte: Autoria própria (2022)

As análises dos apoios de elevação são realizadas de modo separado do restante do equipamento, pois são utilizadas quando o veículo está apoiado apenas nesses quatro componentes. No caso, é adotado o material aço AISI 1020, pois o

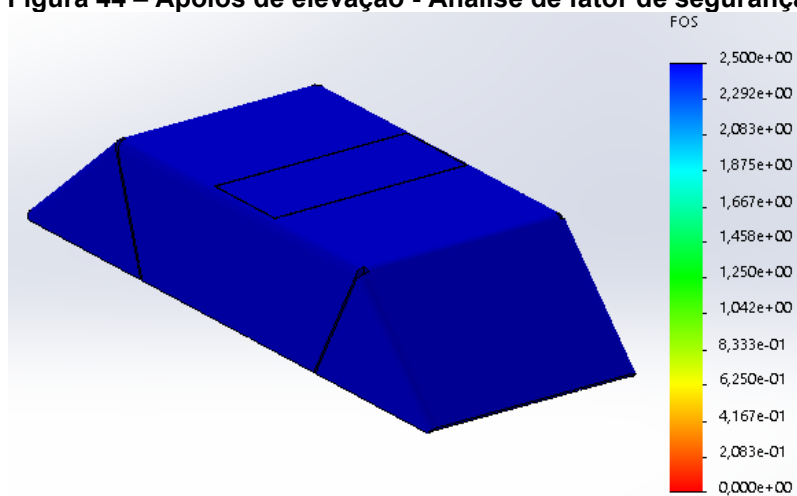
design compacto com muitas dobras auxilia para uma elevada resistência mecânica. São realizadas as quatro análises propostas e todas obtêm resultados satisfatórios. Para resumir, na Figura 43 é apresentado o deslocamento e na Figura 44 o fator de segurança, ambas com os resultados de acordo com legenda.

Figura 43 – Apoios de elevação - Análise de deslocamento



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 44 – Apoios de elevação - Análise de fator de segurança



Fonte: Autoria própria (2022)

Com todas essas análises do elevador realizadas há a tentativa de alterar o material de todos os componentes, contudo, não há sucesso. A tentativa é a alteração do aço AISI 1045 para o aço AISI 1020, que é um material que pode ser encontrado com mais facilidade e com custo menor. No caso, quando é alterado o material, há um aumento acentuado das regiões com concentração de tensão. De modo que não possa ser desprezada durante as análises. Uma alternativa que poderia auxiliar na mudança de material seria o aumento da espessura dos componentes, todavia, isso

elevaria o peso do equipamento, assim, dificultando sua portabilidade. Desse modo, é algo descartado.

No fim, com as novas análises realizadas, os componentes viáveis de mudança para o aço AISI 1020 são apenas os apoios inferiores, responsáveis pela estabilização do equipamento, e os apoios superiores, responsáveis pelo posicionamento do chassi.

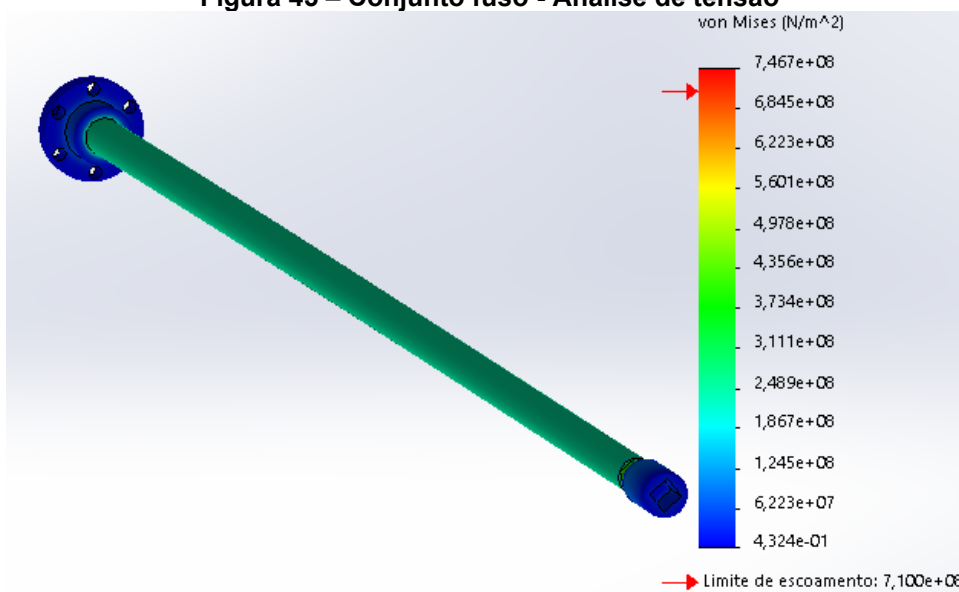
Para finalizar as análises estruturais, é realizada a simulação dos componentes não comerciais que fazem o deslocamento do patim. São eles: porca, fuso e luva. Assim como os demais componentes, são realizadas quatro análises, no entanto são apresentadas a seguir apenas duas para o trabalho não ficar muito extenso.

Na realização de todas as simulações é adotado o estado crítico de funcionamento do fuso, ou seja, quando o elevador está saindo do estado de repouso. Além disso, são experimentados vários materiais até encontrar um que se adeque às condições de funcionamento. No fim, é escolhido o aço AISI 4340 normalizado.

Ademais, é realizada uma simplificação do modelo 3D do fuso. No caso, toda a estrutura tem o diâmetro igualado ao diâmetro mínimo, ou seja, o valor da raiz da rosca. Esse ato é necessário para conseguir gerar a malha durante a etapa de preparação do modelo sem erros recorrentes do software. Isso feito, é possível ter uma geometria próxima da real e obter resultados satisfatórios.

Com a realização da análise da tensão, fica evidente um valor mais elevado entre a extremidade de acionamento e a porca, fato que faz sentido por ser a região de maior torção. Além disso, é verificado pontos de concentração de tensão entre as conexões dos componentes. No entanto, são aceitáveis e enquadrados como os demais casos citados anteriormente. A Figura 45 apresenta os valores da tensão dos componentes de acordo com a legenda.

Figura 45 – Conjunto fuso - Análise de tensão

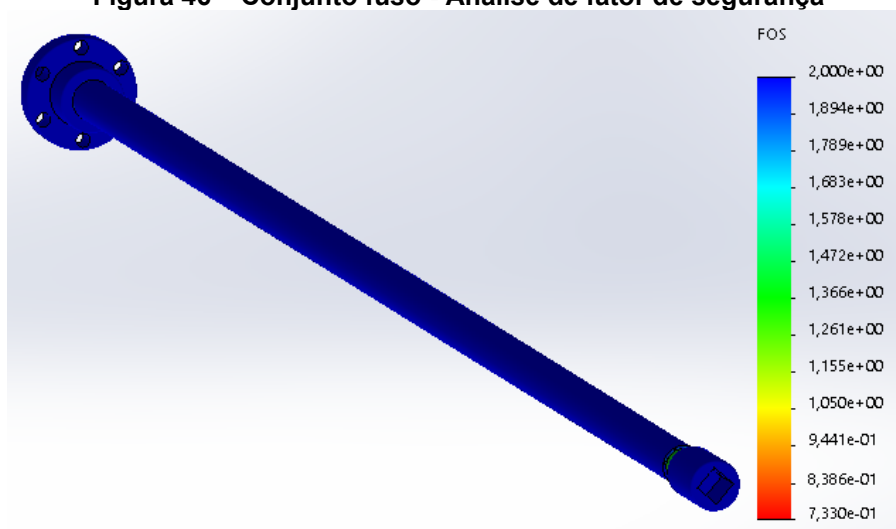


Fonte: Autoria própria (2022)

Para a análise do fator de segurança, é assumido um coeficiente menor em relação aos componentes já analisados. No caso, é adotado como sendo 2 para que não ocorresse um superdimensionamento, pois o torque aplicado ao conjunto já possui um coeficiente de 1,5, como relatado anteriormente.

Com o resultado da análise é possível afirmar que o fator de segurança é alcançado em quase toda estrutura. Os locais onde não é atingido são entre as conexões dos elementos, como por exemplo, entre o fuso e a luva. Assim, são locais interpretados como sendo aceitáveis, sobretudo pelo fato que dificilmente acontecerá uma propagação de tensão daquelas regiões para outras, diferente de uma trinca. A Figura 46 apresenta os resultados conforme a legenda.

Figura 46 – Conjunto fuso - Análise de fator de segurança



Fonte: Autoria própria (2022)

4.6.2.1 Rolamentos

Os rolamentos são componentes que necessitam ser dimensionados conforme catálogos de fabricantes, dessa forma, é escolhida a empresa SKF como referência. Esses componentes são conhecidos por suportarem uma elevada carga, podendo ser axial, radial ou ambas, dependendo do modelo do rolamento.

Em virtude da quantidade de rolamentos do equipamento e os passos de escolha serem os mesmos, é apresentada a escolha de apenas um modelo para não estender muito o trabalho. Assim, é descrito do componente que faz a fixação do fuso na base, ou seja, o rolamento axial de esferas de escora simples que é citado na seção de síntese.

O primeiro passo é verificar as dimensões que necessitam ser atendidas no projeto, no caso, um rolamento que possui um diâmetro interno de 17 mm e externo de 35 mm pode ser utilizado. Consultando o catálogo é possível encontrar um modelo. A Figura 47 apresenta e destaca o rolamento escolhido com suas especificações.

Figura 47 – Especificações do rolamento escolhido

Dimensões principais			Classificações básicas de carga		Limite de carga de fadiga P_u	Fator de carga mínima A	Classificações de velocidade		Massa	Designação
d	D	H	C	C_0			Velocidade de referência	Velocidade-limite		
mm			kN		kN	-	r/min		kg	-
3	8	3,5	0,806	0,72	0,027	0,000 003	26 000	36 000	0,0009	BA 3
4	10	4	0,761	0,72	0,027	0,000 003	22 000	30 000	0,0015	BA 4
5	12	4	0,852	0,965	0,036	0,000 005	20 000	28 000	0,0021	BA 5
6	14	5	1,78	1,92	0,071	0,000 019	17 000	24 000	0,0035	BA 6
7	17	6	2,51	2,9	0,108	0,000 044	14 000	19 000	0,0065	BA 7
8	19	7	3,19	3,8	0,143	0,000 075	12 000	17 000	0,0091	BA 8
9	20	7	3,12	3,8	0,143	0,000 075	12 000	16 000	0,01	BA 9
10	24	9	9,95	15,3	0,56	0,0012	9 500	13 000	0,02	51100
	26	11	12,7	18,6	0,695	0,0018	8 000	11 000	0,03	51200
12	26	9	10,4	16,6	0,62	0,0014	9 000	13 000	0,022	51101
	28	11	13,3	20,8	0,765	0,0022	8 000	11 000	0,034	51201
15	28	9	10,6	18,3	0,67	0,0017	8 500	12 000	0,023	51102
	32	12	15,9	25	0,915	0,0038	7 000	10 000	0,046	51202
17	30	9	11,4	21,2	0,78	0,0023	8 500	12 000	0,025	51103
	35	12	16,3	27	1	0,0047	6 700	9 500	0,053	51203

Fonte: Adaptado de catálogo geral de rolamentos (2015)

Em virtude das condições de trabalho do rolamento a especificação relevante para o projeto é em relação a carga. Na coluna de classificações básicas de carga é verificado que o modelo escolhido suporta uma elevada carga, contudo é necessário confirmar como é a distribuição de carga que o rolamento suporta, ou seja, se é no

sentido axial, radial ou ambos. No catálogo do fabricante há uma seção onde explica como é essa distribuição. A Figura 48 apresenta essas informações.

Figura 48 – Informações sobre as cargas do rolamento

Cargas		Símbolos
Carga mínima Para obter mais informações (→ página 86)	$F_{am} = A \left(\frac{n}{1000} \right)^2$ <p>Em geral, o peso dos componentes suportados pelo rolamento, especialmente quando o eixo é vertical, juntamente com as forças externas, excede a carga mínima necessária. Caso não exceda, o rolamento precisa ser submetido a uma carga radial adicional, por exemplo, por molas.</p>	A = fator mínimo de carga (→ tabelas de produtos) F _a = carga axial [kN] F _{am} = carga axial mínima [kN] n = velocidade de rotação [r/min] P = carga dinâmica equivalente do rolamento [kN] P ₀ = carga estática equivalente do rolamento [kN]
Carga dinâmica equivalente do rolamento Para obter mais informações (→ página 85)	$P = F_a$	
Carga estática equivalente do rolamento	$P_0 = F_a$	

Fonte: Adaptado de catálogo geral de rolamentos (2015)

No caso, por ser um rolamento específico para forças axiais, toda a carga é suportada em uma das direções axiais do componente. A carga dinâmica equivalente do rolamento, que é a menor, possui um valor de 16.300 N, um valor maior que é seis vezes o peso do veículo. Dessa maneira é possível apontar que o componente ficará superdimensionado, dispensando cálculos.

Em relação aos demais rolamentos do projeto, todos apresentam o mesmo cenário de superdimensionamento. É válido salientar que esse fato não encarece de forma significativa o projeto, pois os rolamentos são componentes com o custo bastante inferior em relação à vários componentes do equipamento. As especificações dos demais rolamentos são indicadas na lista de materiais.

4.7 Seleção

Com as análises de movimento e estrutural realizadas é possível apontar a viabilidade do projeto. Durante a primeira análise de movimento fica evidente a possibilidade do uso de uma chave de impacto elétrica comercial como força motriz do sistema. Pois de acordo com a análise e com a aplicação de um fator de segurança

o torque alcançou 84,375 N.m. Sendo que no mercado diversas marcas oferecem modelos com um torque acima desse valor de referência. Desse modo, é garantido o funcionamento, além disso, é obtido ganhos em vários requisitos do projeto, como por exemplo, portabilidade e compactabilidade.

A segunda análise de movimento é em relação ao funcionamento geral do equipamento, sobretudo no que tange deslocamento linear e angular. E com as plotagens dos gráficos que relacionam as principais variáveis do sistema, fica claro que o comportamento do conjunto é de acordo com o planejado na seção de síntese.

Depois das análises de movimento, as análises estruturais são feitas. Os resultados demonstram estar coesos com a realidade. Sendo que em nenhuma das análises são evidenciadas ocorrências sem uma explicação plausível. Geralmente os casos que são necessários buscar maiores explicações, são os pontos de concentração de tensão. Contudo, analisando os locais e como as forças estão atuando, é possível ter o entendimento.

Logo, com todas as análises aprovadas é possível ter as seleções e consequentemente as especificações finais do projeto. Para facilitar é criado o Quadro 4 onde são apresentadas as informações de forma resumida em relação ao método de obtenção e o material dos componentes.

Quadro 4 – Método de obtenção e material

Componente	Método de obtenção	Material
Parafusos	Comercial	-
Porcas	Comercial	-
Arruelas	Comercial	-
Rolamentos	Comercial	-
Anéis elásticos	Comercial	-
Travas	Comercial	-
Niveladores	Comercial	-
Junta universal	Comercial	-
Extensor	Comercial	-
Chave de impacto	Comercial	-
Fuso	Comercial/Fabricação	AISI 4340, normalizado
Porca do fuso	Comercial/Fabricação	AISI 4340, normalizado
Apoios de elevação	Fabricação	AISI 1020
Apoios inferiores e superiores	Fabricação	AISI 1020
Base e suportes	Fabricação	AISI 1045
Patim	Fabricação	AISI 1045
Barras do pantográfico	Fabricação	AISI 1045
Plataforma superior e suportes	Fabricação	AISI 1045
Pinos	Fabricação	AISI 1045

Fonte: Aatoria própria (2022)

No caso do fuso e de sua porca é necessário na etapa de fabricação realizar uma avaliação de qual método é mais viável, ou seja, obter os componentes de forma comercial e fazer as usinagens finais para montagem ou usar tarugos para obter os componentes. Outro ponto importante é em relação aos parafusos, nesse caso, é necessário obter produtos comerciais com as propriedades mecânicas similares ao material utilizado na análise estrutural, o aço AISI 1045.

Uma ação essencial é comparar as especificações iniciais e finais do projeto. Logo, é possível deixar evidente qualquer mudança nas seleções realizadas desde a seção de síntese. Assim, é criado o Quadro 5.

Quadro 5 – Especificações iniciais e finais de projeto

Especificação	Inicial	Final
Acionamento	Fuso	Fuso
Mecanismo	Pantográfico	Pantográfico
Materiais dos componentes	Aço AISI 1020 e Aço AISI 1045	Aço AISI 1020 e Aço AISI 1045
Métodos de fabricação	Corte, dobra, soldagem e usinagem convencional	Corte, dobra, soldagem e usinagem convencional
Sistema de segurança	Incluso no fuso, pelo sistema de auto travamento	Incluso no fuso, pelo sistema de auto travamento
Força motriz	Parafusadeira ou chave de impacto recarregável	Chave de impacto recarregável
Distância entre furos das barras do mecanismo	970 mm	970 mm
Ângulo inicial entre barras do mecanismo e base	2 graus	3 graus
Altura máxima de elevação	780 mm	800 mm
Altura mínima de elevação	50 mm	83 mm
Comprimento	Entre 1600 mm e 1700 mm	Transporte: 1257 mm - Uso: 1621 mm
Largura	Entre 900 mm e 1000 mm	Transporte: 270 mm - Uso: 998 mm
Massa do equipamento	30 kg	40 kg
Capacidade de carga	280 kg	280 kg

Fonte: Autoria própria (2022)

Com a realização da análise da tabela superior é possível afirmar que a grande maioria das especificações iniciais são alcançadas. No caso, é necessário fazer algumas adequações no que tange a estrutura do equipamento. No entanto, são realizadas de tal forma que não comprometem a funcionalidade do projeto.

Para finalizar a etapa de seleção, que é a última da metodologia de projeto contemplada neste trabalho, é criado o Quadro 6. Nele é possível perceber que todos os requisitos de projeto são alcançados.

Quadro 6 – Requisitos alcançados

Ser compacto	O equipamento possui componentes móveis e removíveis que possibilitam uma redução de até 96 % do seu volume.
Ser portátil	O equipamento possui uma massa próxima de 40 Kg, dessa forma, pode ser transportado com facilidade por duas pessoas.
Possuir baixo custo de fabricação	O equipamento é constituído por componentes que são facilmente encontrados no mercado, além disso, quando necessário, são fabricados com processos simples.
Possuir facilidade na manutenção	O equipamento possui poucos componentes que necessitam de uma manutenção periódica. Basicamente é limitada ao fuso e pinos de fixação.
Possuir simplicidade na operação	O equipamento necessita de passos simples para a operação. Sendo resumido ao seu posicionamento no veículo.
Possibilitar adequação para diferentes veículos	O equipamento possui regulagens nos apoios superiores que possibilitam várias adequações, conforme a necessidade.
Ser seguro	O equipamento conta com um sistema de fuso para elevação, dessa forma, possui um auto travamento. Fato que assegura a segurança.
Ser ergonômico	O equipamento alcança uma altura que proporciona uma postura correta ao usuário durante o trabalho.

Fonte: Autoria própria (2022)

5 CONCLUSÃO

Diante dos resultados apresentados, os objetivos gerais e específicos são alcançados. Além disso, a metodologia de projeto aplicada, possibilita o desenvolvimento de um trabalho organizado.

Em virtude do uso do software Solidworks (2019) é possível obter um projeto confiável para ser produzido. Pois possibilita um nível elevado de detalhamento 3D, além do mais, proporciona de modo satisfatório a realização da análise de movimento e estrutural do equipamento.

No caso, embora o equipamento possa ser interpretado como simples, sendo resumido a um mecanismo pantográfico, é possível aplicar diversos assuntos tratados durante a formação acadêmica. Além disso, a fase de modelagem 3D oferece vários desafios para alcançar os requisitos do projeto. Sobretudo em relação à geometria dos componentes, algo que não é contemplado durante o curso, desse modo, sendo um grande aprendizado.

No fim, além do projeto atender todos os requisitos propostos, é possível utilizar uma ferramenta comercial como força motriz do sistema, que é o caso da chave de impacto. Algo que estabelece no produto um grande diferencial, pois traz uma grande praticidade.

Para a realização de futuros trabalhos, algumas sugestões: Utilizar outro software para a realização da análise estrutural e comparar com os resultados obtidos nesse trabalho; realizar a análise estrutural do fuso de forma menos simplificada, com a adoção de critérios específicos para rosca e por fim, adicionar rodízios na base do equipamento para facilitar o posicionamento e possibilitar a locomoção do veículo.

REFERÊNCIAS

APRENDA como escolher um elevador automotivo. **Ferramentas Kennedy**, 30 mar. 2021. Disponível em: <https://www.ferramentaskennedy.com.br/blog/aprenda-como-escolher-um-elevador-automotivo>. Acesso em: 05 de jun. de 2021.

BEER, Ferdinand P.; JOHNSTON JR., E. Russell. **Resistência dos materiais**.3. ed. São Paulo: Makron Books, 1995. 652 p.

BUDYNAS, Richard G.; NISBETT, J.K. **Elementos de máquinas de Shigley**. 10. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

CALLISTER, William D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos S.A., 2002.

CONHEÇA a formula SAE. **Ser Veloz**, 21 de jun. 2015. Disponível em: <https://serveloz.wordpress.com/2015/06/21/conheca-a-formula-sae/>. Acesso em: 6 de ago. de 2021.

COMO funciona um elevador automotivo. **2E4rodas**, 17 maio 2019. Disponível em: <https://www.2e4rodas.com.br/site/elevadores/como-funciona-um-elevador-automotivo> . Acesso em 25 de jun de 2021.

DRIVE-ON parallelogram. **Autolift**,2019. Disponível em:<https://www.autolift.org/ali-directory-of-certified-car-lifts/lift-types/drive-on-parallelogram/> . Acesso em: 19 de jun. de 2021.

ELEVADOR automotivo pantográfico: Como otimizar espaços sem sua Oficina. **Engecass**, 25 de jun. 2021. Disponível em: <https://blog.engecass.com.br/elevador-automotivo-pantografico-otimizar-espacos-em-oficina/>. Acesso em: 20 jul. de 2021.

ELEVADOR pantográfico: o que é e para que serve. **Boxtop**, 3 jun. 2018. Disponível em: <https://www.boxtop.com.br/produtos/elevador-pantografico-o-que-e-para-que-serve/#:~:text=O%20que%20%C3%A9%20o%20Elevador,na%20parte%20inferior%20do%20autom%C3%B3vel> . Acesso em: 10 de jun. de 2021.

FOUR times Rotary changed the auto lift game. **Rotary**,2014. Disponível em: <https://rotarylif.com/blog/4-times-rotary-changed-the-auto-lift-game/>. Acesso em: 06 de ago. de 2021.

FORNASIER, Flávio. Elevador automotivo: modelos e as suas diferenças. **Emaster Elevadores Automotivos**, 2016. Disponível em: <http://www.emasterelevadores.com.br/elevador-automotivo-modelo-e-suas-diferencas/> . Acesso em: 06 de jun. de 2021.

FÓRMULA SAE. **SAE Brasil**, 2021. Disponível em: <https://saebrasil.org.br/programas-estudantis/formula-sae-brasil/> . Acesso em: 12 de jun. de 2021.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

HIBBELER, R.C. **Resistência dos materiais**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.

QUAL a importância do desenvolvimento de máquinas para a sua indústria. **Fluxo Consultoria**, 3 jun. 2020. Disponível em: <https://fluxoconsultoria.poli.ufrj.br/blog/importancia-do-desenvolvimento-de-maquinas/>. Acesso em: 9 jun de 2021.

LIDA, Itiro. **Ergonomia: Projeto e Produção**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

ILO, Silva Moreira. **Sistemas hidráulicos industriais**. 2. ed. São Paulo: SENAI-SP editora, 2012.

LINSINGEN, Irlan Von. **Fundamentos de sistemas hidráulicos**. 2. ed. Florianópolis/SC: UFSC, 2003.

NORTON, Robert L. **Cinemática e dinâmica dos mecanismos**. 1. ed. Porto Alegre: AMGH, 2010.

NORTON, Robert L. **Projeto de máquinas**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

MACEDO, MFG.; BARBOSA, ALF. **Patentes, pesquisa & desenvolvimento: um manual de propriedade intelectual**. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2000. 164 p.

MARSON, Michel Deliberali. A evolução da indústria de máquinas e equipamentos no Brasil: Dedini e Romi, entre 1920 e 1960, 2014. **Scielo**, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/neco/a/Yww46QyBR4YQKXPhc3w8fHw/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 09 de jun. de 2021.

MERINO, Eugenio Andrés Díaz. **Ergonomia e Usabilidade**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

MIRLISENNA, Giuseppe. Método dos Elementos Finitos: o que é? **Esss**, 22 jan. 2016. Disponível em: <https://www.esss.co/blog/metodo-dos-elementos-finitos-o-que-e/> . Acesso em 15 de jul. de 2021.

MODELOS idealizados são problemas físicos simples sendo resolvidos na física. **Greelane**, 23 de maio 2018. Disponível em: <https://www.greelane.com/pt/ci%3%aancia-tecnologia-matem%3%a1tica/ci%3%aancia/idealized-models-an-introduction-2699439/> . Acesso em: 10 jul de 2021.

MYSZKA, David H. **Machines and Mechanisms**. 4. ed. Ney Jersey: Pearson Education, 2012.

O que é ergonomia: A disciplina ergonomia. **Abergo**,2016. Disponível em: http://www.abergo.org.br/internas.php?pg=o_que_e_ergonomia. Acesso em: 17 jul. 2021.

PALMIERI, A. C. **Manual de hidráulica básica**. 9. ed. Porto Alegre: Albarus Sistemas Hidráulicos Ltda, 1994.

PANTOGRAFT. **Wikiwand**,2021. Disponível em: <https://www.wikiwand.com/en/Pantograph>. Acesso em: 12 jul de 2021.

PMI - PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **Guia PMBOK®: Um Guia para o Conjunto de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos**, 6 ed. Pennsylvania: PMI, 1996.

QUAL a diferença entre o elevador de fuso/porca e elevador hidráulico. **Elevador Hidráulico**, 2021. <https://elevadorhidraulico.com.br/qual-a-diferenca-entre-o-elevador-de-fuso-porca-e-elevador-hidraulico/>. Acesso em: 21 de jun. de 2021.

RADE, Domingos Alves. **Cinemática e dinâmica para engenharia**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018. 592 p.

REXROTH, Bosch Group. Válvula de Sequência Diretamente Operada Tipo DZ 6 DP. **Auto Max Automoção**,2003. Disponível em: https://www.automaxautomacao.com.br/wp-content/uploads/2018/03/rp_26076.pdf . Acesso em 17 de jul. de 2021.

SGANDERLA, R.H; ARTUZO, R.M. **Dimensionamento de um elevador automotivo portátil para veículos de até 2000 kg**. TCC (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, p. 145. 2014).

SISTEMA de segurança. **Hidromar**, 2021. Disponível em: <https://hidromar.com.br/produtos/elevador/4/eletromecanico-h-i--4-0-simetrico>. Acesso em: 23 jun. de 2021.

SISTEMA hidráulico do engate de 3 pontos. **Slide to doc**,2016. Disponível em: <https://slidetodoc.com/sistema-hidraulico-do-engate-de-3-pontos-it/>. Acesso em 17 de jun. de 2021.

SKF. **Catálogo geral de rolamentos**, 2015. Disponível em: https://www.skf.com/binaries/pub45/Images/0901d19680416a2b-10000_2-PT-BR---Rolling-bearings_tcm_45-121486.pdf#cid-121486. Acesso em: 05 de maio de 2022.

ULRICH, Klaus. Há 125 anos Carl Benz solicitava patente do primeiro automóvel. **Dw**, 28 jan. 2011. Disponível em: <https://www.dw.com/pt-br/h%C3%A1-125-anos-carl-benz-solicitava-patente-do-primeiro-autom%C3%B3vel/a-14799147>. Acesso em: 7 de jun de 2021.

VIDAL, Mario Cesar. **Introdução à Ergonomia**. Rio de Janeiro. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000.

WEAVER Hydraulic e Mechanical Jacks History. **Castle Equipment**, 2014.
Disponível em: http://www.castleequipment.com/Museum/jacks_weaver_history.htm.
Acesso em: 10 jun de 2021.

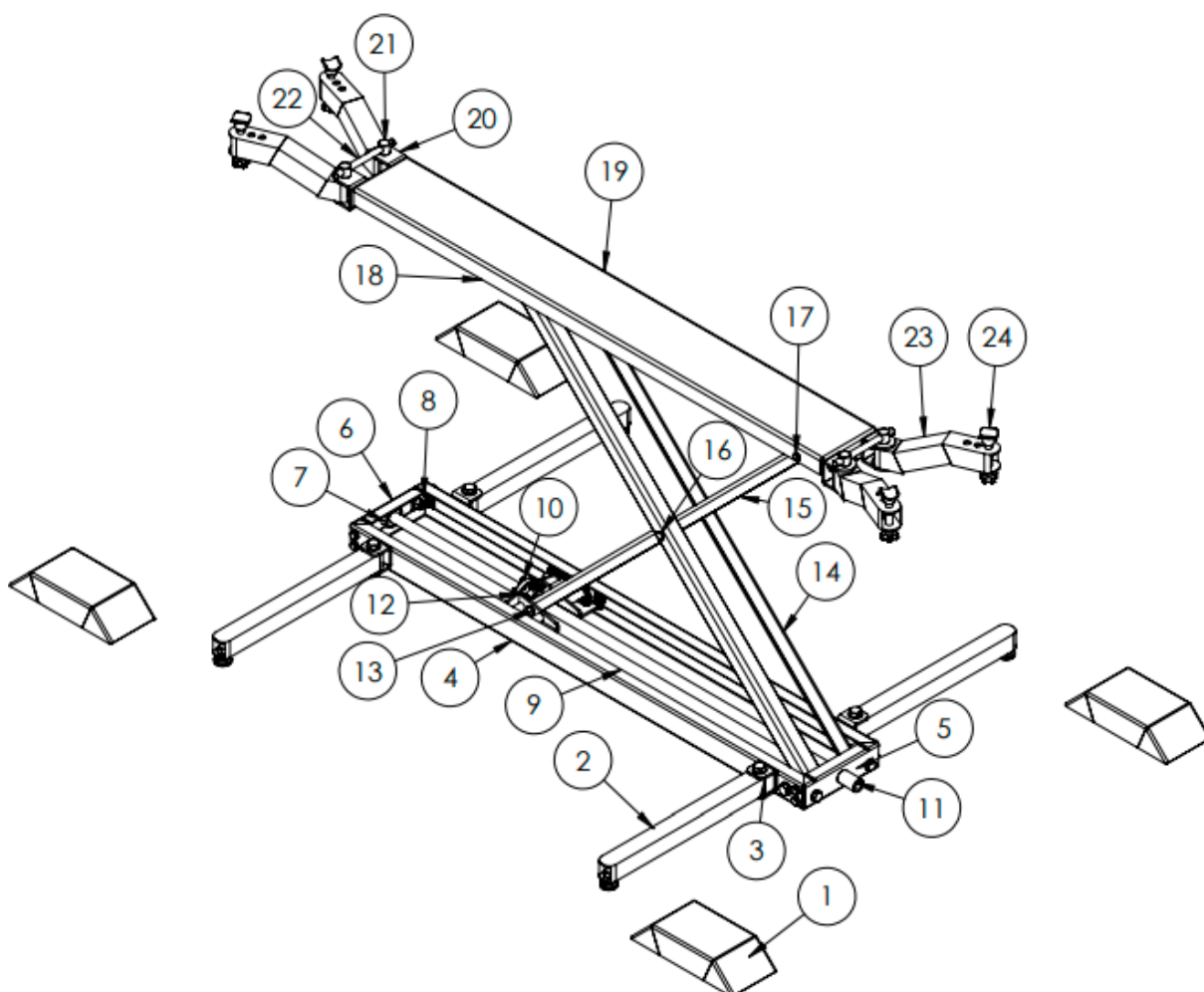
APÊNDICE A – Lista de materiais dos componentes comerciais

Componente	Referência de localização	Especificações	Quantidade
Rolamento	Fixado na base e no fuso	Designação SKF: 51203	2
Rolamento	Fixado no eixo do patim	Designação SKF: 6302-2Z	4
Rolamento	Fixado na lateral do patim	Designação SKF: 626-2Z	4
Rolamento	Fixado no pino de fixação das barras laterais do pantográfico	Designação SKF: 6301-2Z	2
Nivelador inferior	Fixado no apoio inferior	Diâmetro da rosca: 12 mm	4
		Altura: 30mm	
		Diâmetro da base: 30 mm	
Nivelador superior	Fixado no apoio superior	Diâmetro da rosca: 12 mm	4
		Altura: 30mm	
		Diâmetro do botão: 25 mm	
Parafuso sextavado	Fixado na base lateral e no apoio inferior	Material: Similar ao aço AISI 1045	4
		Diâmetro: 12 mm	
		Comprimento útil: 58 mm	
Parafuso sextavado	Fixado na base lateral e na chapa de união da base	Material: Similar ao aço AISI 1045	8
		Diâmetro: 8 mm	
		Comprimento útil: 18,2 mm	
Parafuso sextavado	Fixado na base (frontal e posterior) e na chapa de união da base	Material: Similar ao aço AISI 1045	4
		Diâmetro da rosca: 10 mm	
		Comprimento útil: 24 mm	
Parafuso sextavado	Fixado no patim e na porca do fuso	Material: Similar ao aço AISI 1045	6
		Diâmetro: 6 mm	
		Comprimento útil: 27 mm	
Parafuso sextavado	Fixado na plataforma superior e no suporte do apoio superior	Material: Similar ao aço AISI 1045	4
		Diâmetro: 12 mm	
		Comprimento útil: 24 mm	
Parafuso sextavado	Fixado no patim e no rolamento de apoio lateral	Material: Similar ao aço AISI 1045	4
		Diâmetro: 6 mm	
		Comprimento útil: 20mm	
Parafuso sextavado	Fixado na base lateral e nas barras laterais do pantográfico	Material: Similar ao aço AISI 1045	2
		Diâmetro: 12 mm	
		Comprimento útil: 58 mm	
Porca sextavada	Fixado na base lateral e no apoio inferior	Material: Similar ao aço AISI 1045	4
		Diâmetro: 12 mm	
		Tipo: Travante com nylon	
Porca sextavada	Fixado na base lateral e na chapa de união da base	Material: Similar ao aço AISI 1045	8
		Diâmetro: 8 mm	
		Tipo: Travante com nylon	
Porca sextavada	Fixado na base (frontal e posterior) e na chapa de união da base	Material: Similar ao aço AISI 1045	4
		Diâmetro da rosca: 10 mm	
		Tipo: Travante com nylon	

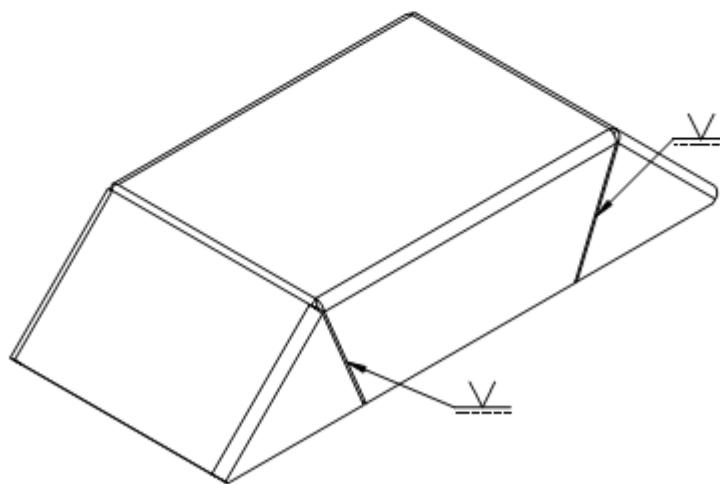
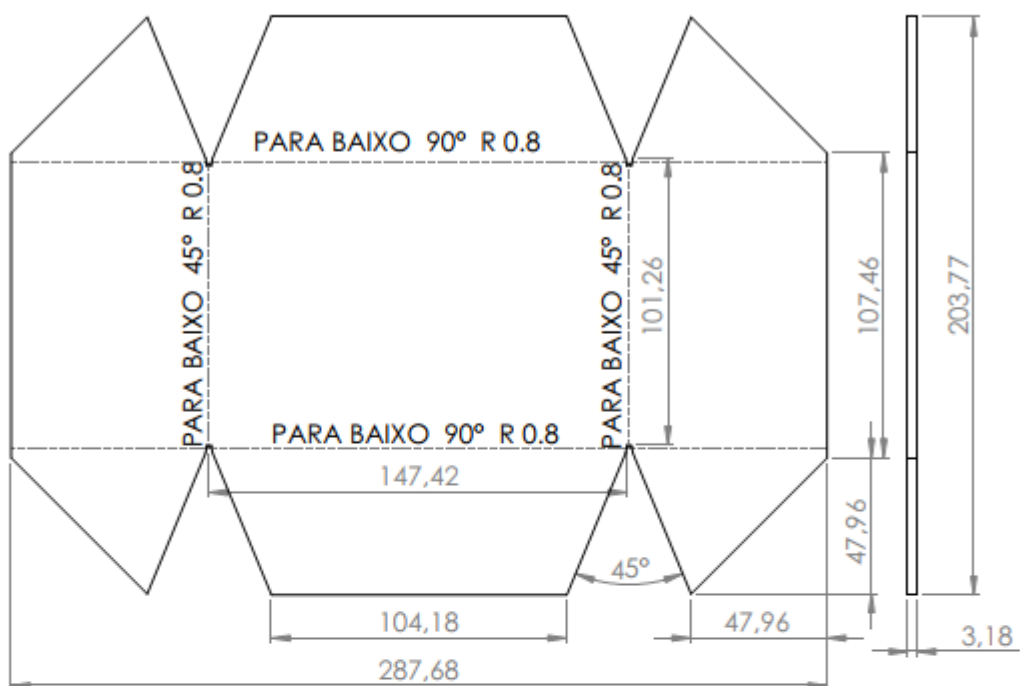
Porca sextavada	Fixado no patim e na porca do fuso	Material: Similar ao aço AISI 1045	6
		Diâmetro: 6 mm	
		Tipo: Travante com nylon	
Porca sextavada	Fixado na plataforma superior e no suporte do apoio superior	Material: Similar ao aço AISI 1045	4
		Diâmetro: 12 mm	
		Tipo: Travante com nylon	
Porca sextavada	Fixado no patim e no rolamento de apoio lateral	Material: Similar ao aço AISI 1045	4
		Diâmetro: 6 mm	
		Tipo: Travante com nylon	
Porca sextavada	Fixada na base lateral e nas barras laterais do pantográfico	Material: Similar ao aço AISI 1045	2
		Diâmetro: 12 mm	
		Tipo: Travante com nylon	
Porca sextavada	Fixada no apoio superior e no apoio inferior para o nivelador	Material: Similar ao aço AISI 1045	16
		Diâmetro: 12 mm	
		Tipo: Travante com nylon	
Arruela	Fixado na base lateral e no apoio inferior	Material: Aço	8
		Diâmetro: 12 mm	
		Tipo: Lisa	
Arruela	Fixado na base lateral e na chapa de união da base	Material: Aço	16
		Diâmetro: 8 mm	
		Tipo: Lisa	
Arruela	Fixado na base (frontal e posterior) e na chapa de união	Material: Aço	8
		Diâmetro da rosca: 10 mm	
		Tipo: Lisa	
Arruela	Fixado no patim e na porca do fuso	Material: Aço	12
		Diâmetro: 6 mm	
		Tipo: Lisa	
Arruela	Fixado na plataforma superior e no suporte do apoio superior	Material: Aço	8
		Diâmetro: 6 mm	
		Tipo: Lisa	
Arruela	Fixado no patim e no rolamento de apoio lateral	Material: Aço	8
		Diâmetro: 12 mm	
		Tipo: Lisa	
Arruela	Fixada na base lateral e nas barras laterais do pantográfico	Material: Aço	4
		Diâmetro: 12 mm	
		Tipo: Lisa	
Anel elástico	Fixado em todos os pinos do projeto	Material: Aço	8
		Diâmetro: 11 mm	
		Tipo: Conforme DIN 471	
Trava	Fixada nos pinos dos apoios superiores	Material: Aço	4
		Diâmetro: 4 mm	
		Tipo: Cupilha ou similar	
Junta universal	Fixada na luva e no extensor	Dimensão do encaixe: 1/2" X 1/2"	1
		Torque suportado: 90 N.m ou superior	

Extensor	Fixado na junta universal e na chave impacto	Dimensão do encaixe: 1/2" X 1/2"	1
		Comprimento: 600 mm ou superior	
		Torque suportado: 90 N.m ou superior	
Chave de impacto	Fixada no extensor	Dimensão do encaixe: 1/2" X 1/2"	1
		Torque suportado: 90 N.m ou superior	

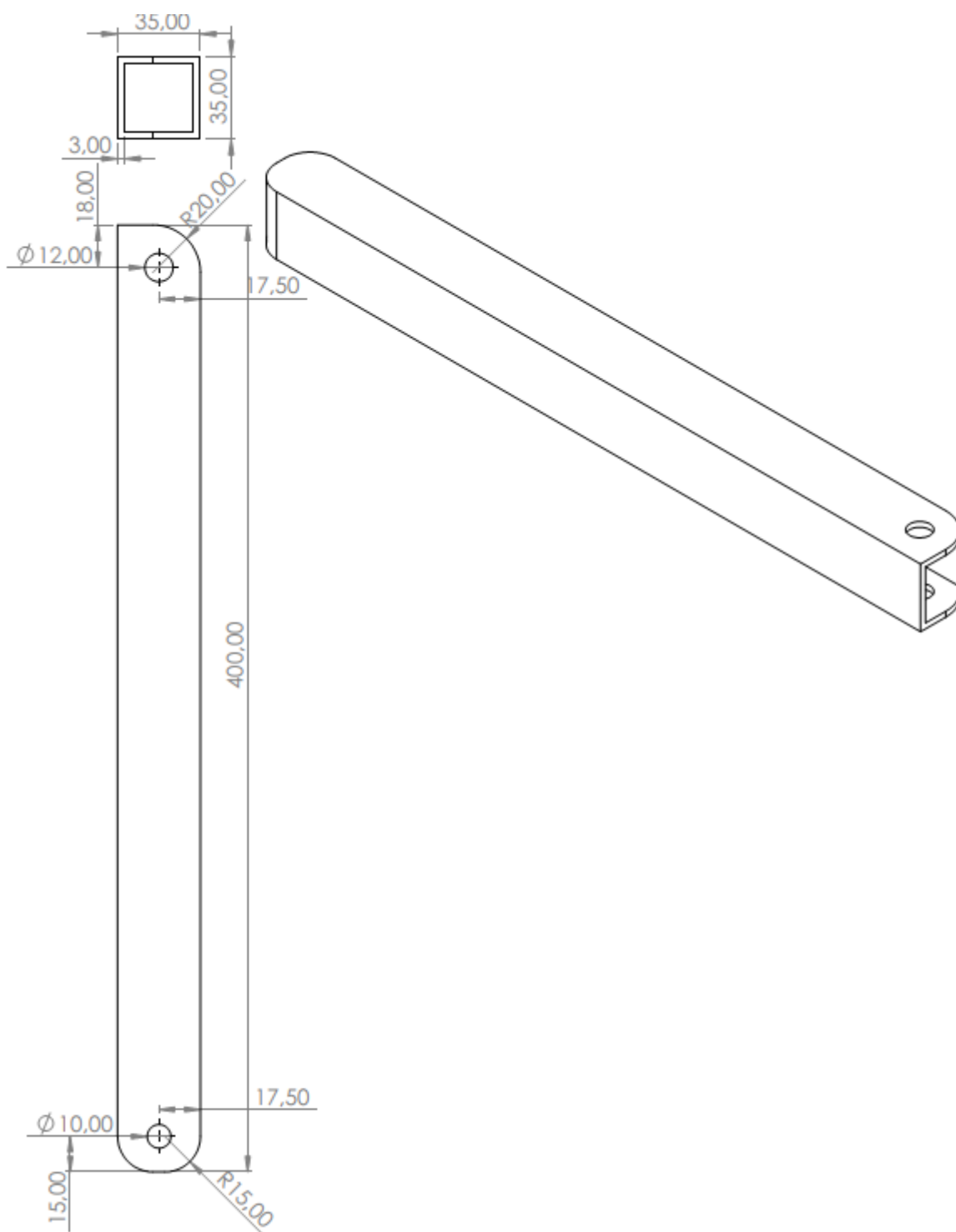
APÊNDICE B – Desenhos técnicos para fabricação



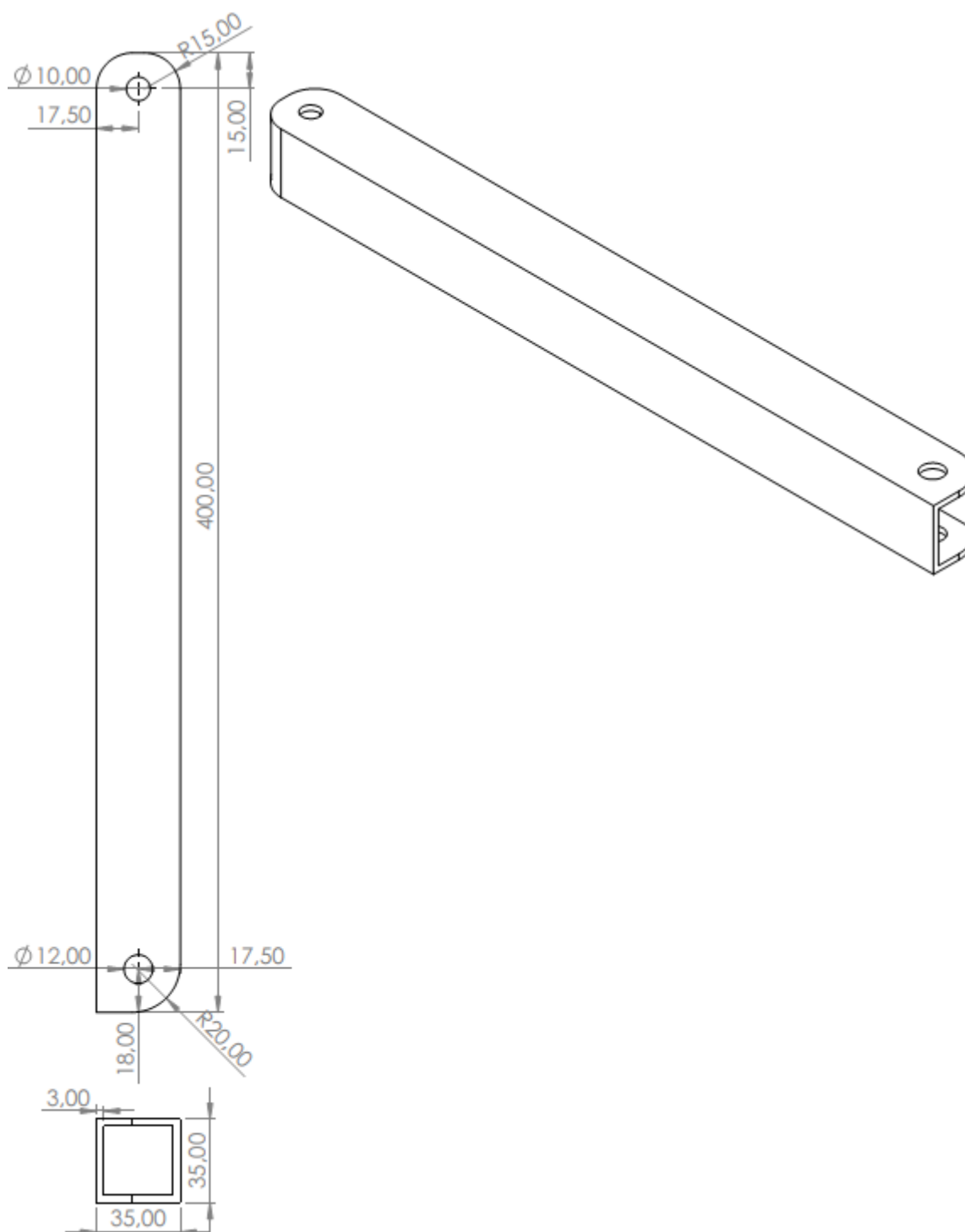
N°	Componente	N°	Componente
1	Apoio para elevação	13	Pino de fixação do patim na barra central do pantográfico
2	Apoio inferior	14	Barra lateral do pantográfico
3	Suporte do apoio inferior	15	Barra central do pantográfico
4	Base lateral	16	Pino de fixação das barras do pantográfico
5	Base posterior	17	Pino de fixação da barra central do pantográfico na plataforma superior
6	Base frontal	18	Pino de fixação das barras laterais do pantográfico (abaixo da plataforma superior)
7	Suporte do rolamento do fuso	19	Plataforma superior
8	Chapa de união da base	20	Suporte do apoio superior
9	Fuso	21	Pino de fixação do apoio superior
10	Porca do fuso	22	Pino de fixação para travamento dos apoios superiores
11	Luva do fuso	23	Apoio superior
12	Patim	24	Extremidade do nivelador superior



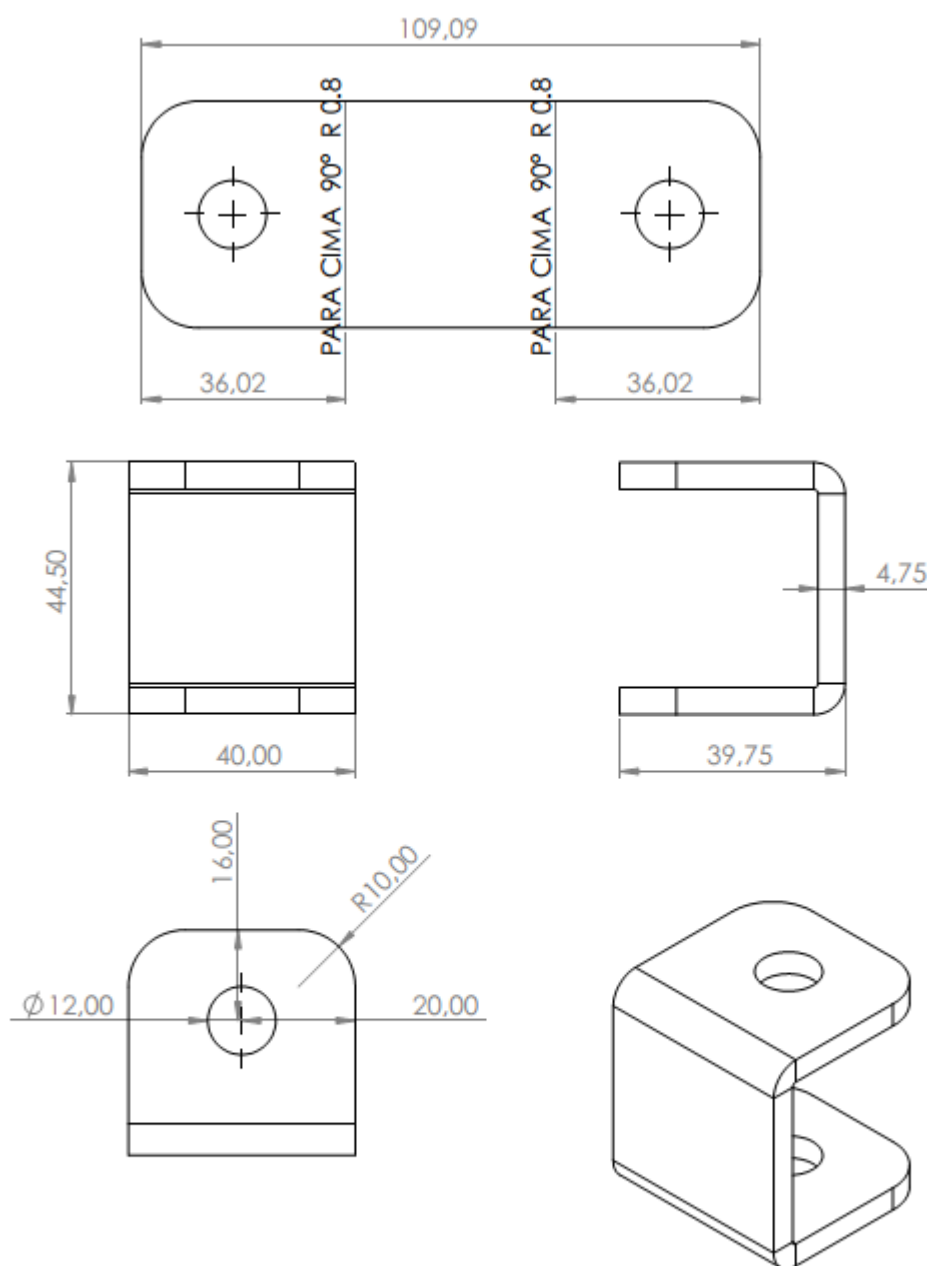
N°	1
Componente:	Apoio para elevação
Material:	Chapa: 287,7x203,8x3,18mm
Tipo:	AISI 1020
Fabricação:	Corte, dobra e soldagem
Quantidade:	4
Observação:	Peça simétrica



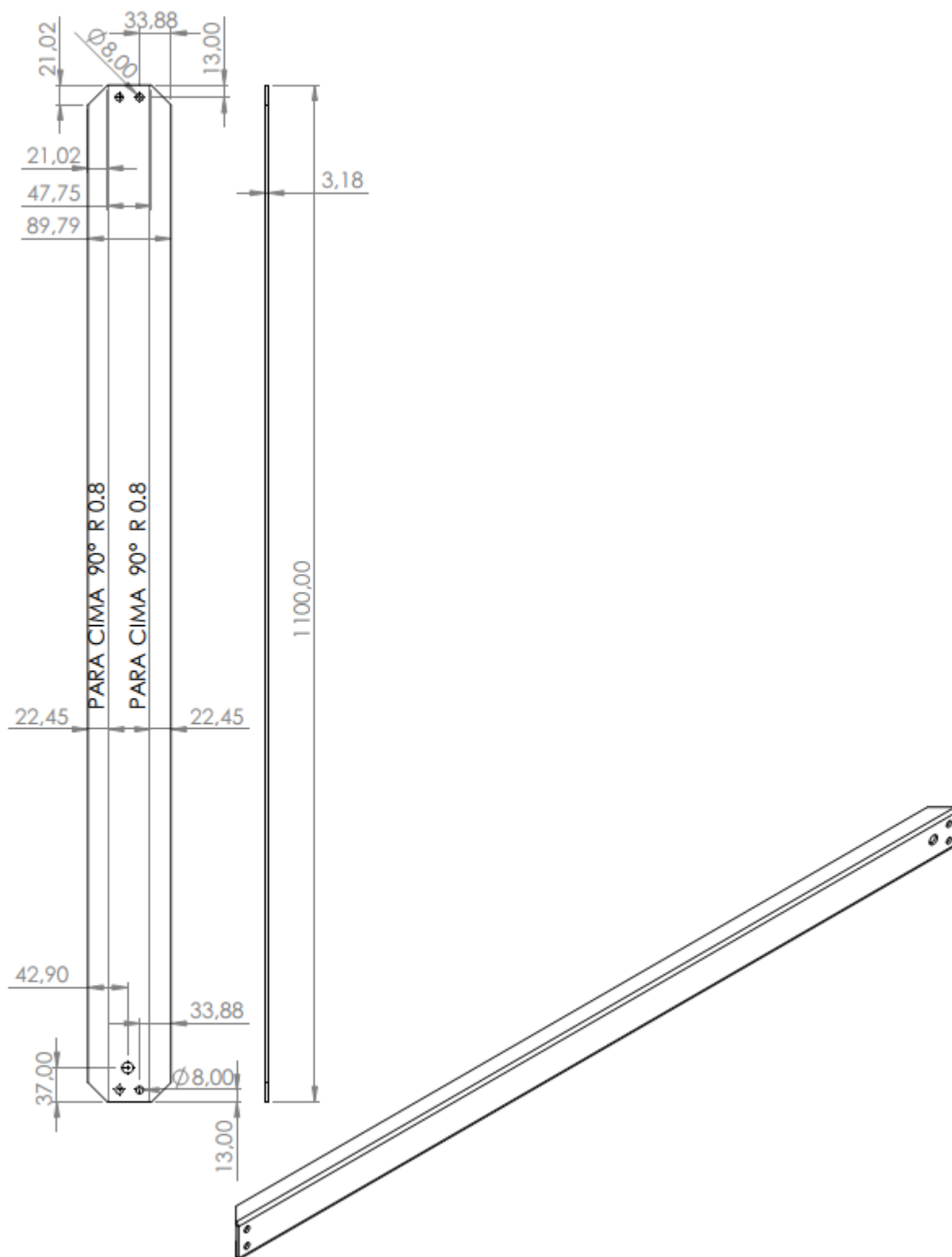
N°	2
Componente:	Apoio inferior
Material:	Tubo: 35x35x3mm
Tipo:	AISI 1020
Fabricação:	Corte
Quantidade:	2
Observação:	Peça para lado esquerdo posterior e direito frontal Soldar internamente uma porca 12mm no furo do nivelador



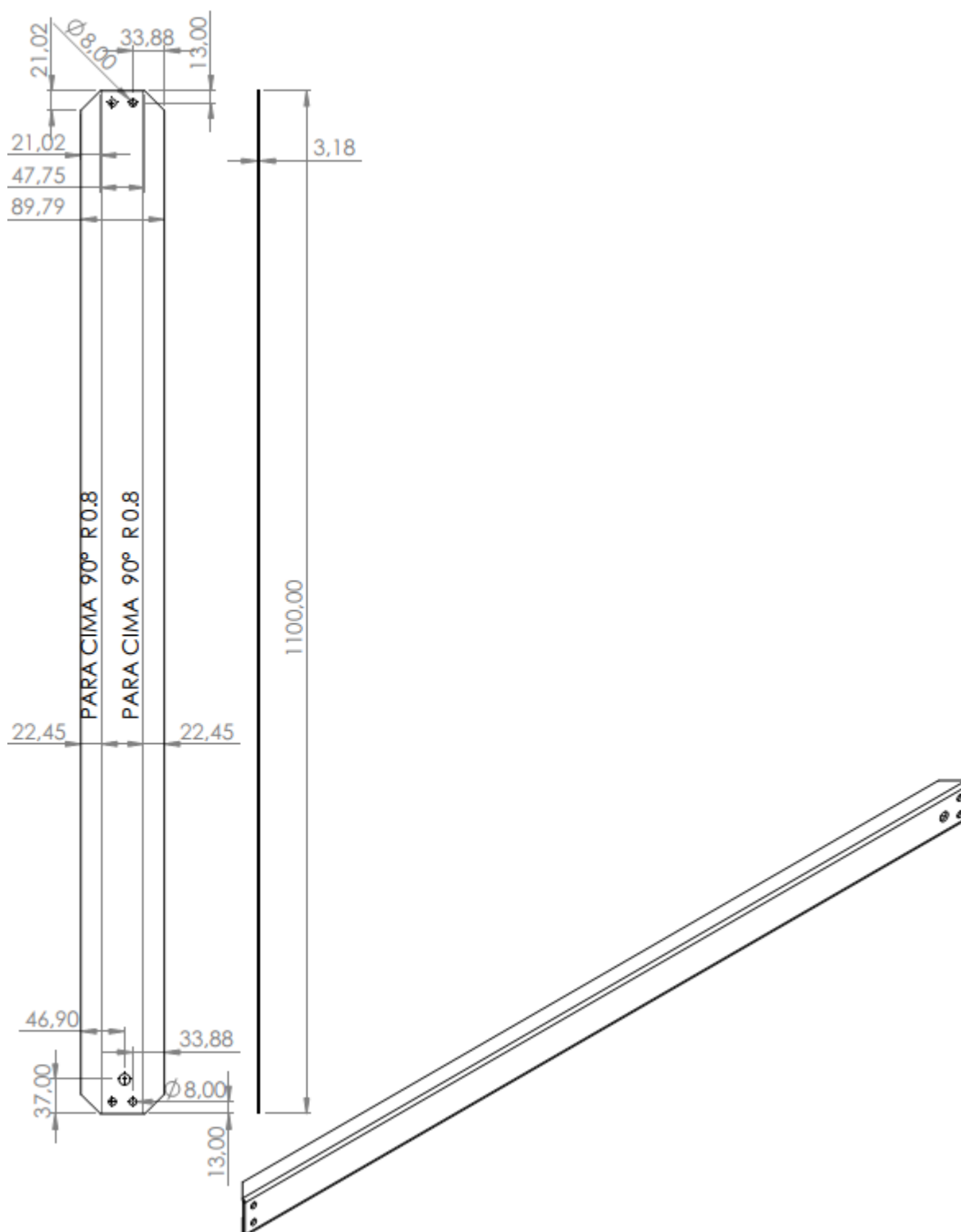
N°	2
Componente:	Apoio inferior
Material:	Tubo: 35x35x3mm
Tipo:	AISI 1020
Fabricação:	Corte
Quantidade:	2
Observação:	Peça para lado direito posterior e esquerdo frontal Soldar internamente uma porca 12mm no furo do nivelador



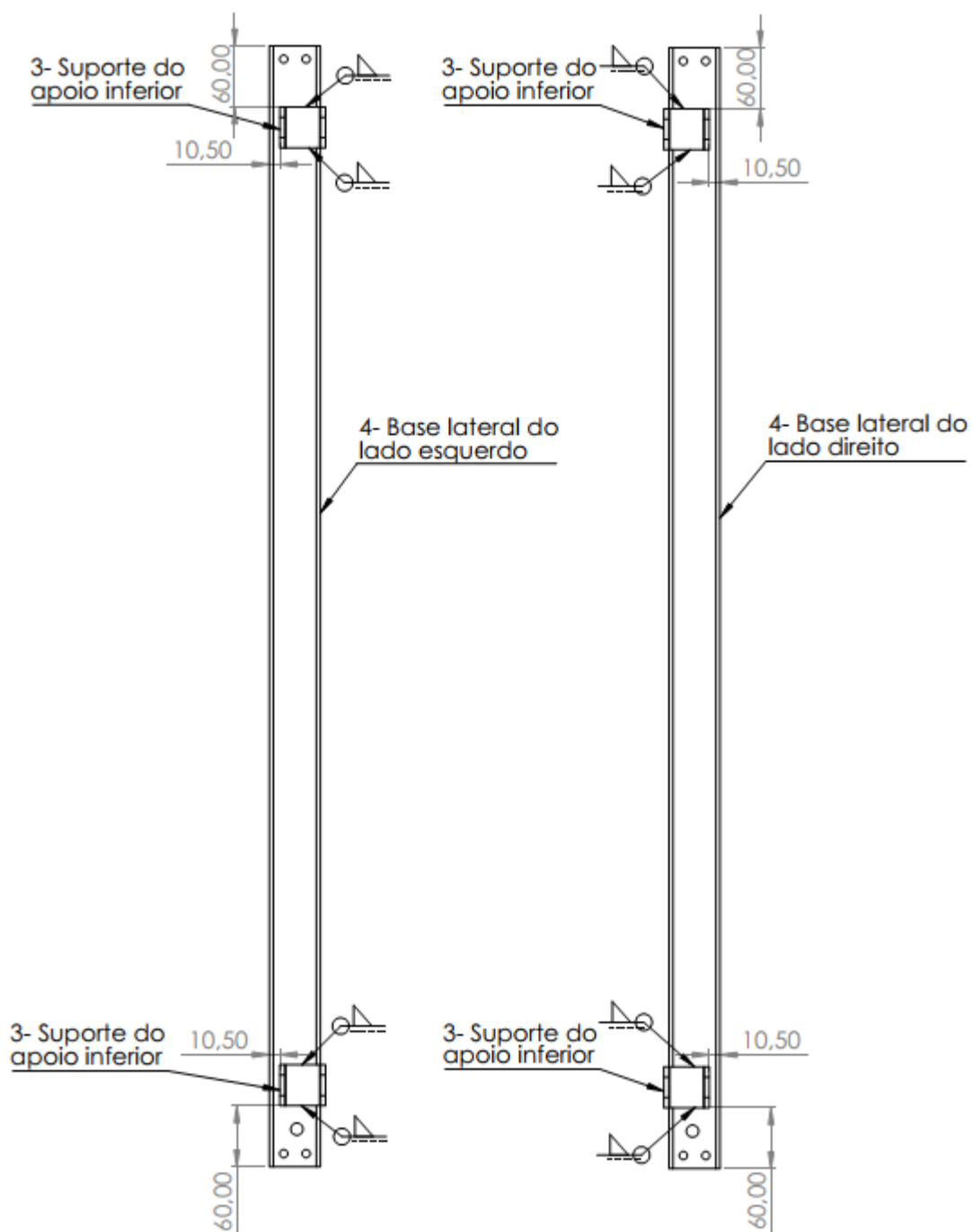
N°	3
Componente:	Suporte do apoio inferior
Material:	Chapa: 40x109,1x4,75mm
Tipo:	AISI 1045
Fabricação:	Corte e dobra
Quantidade:	4
Observação:	-



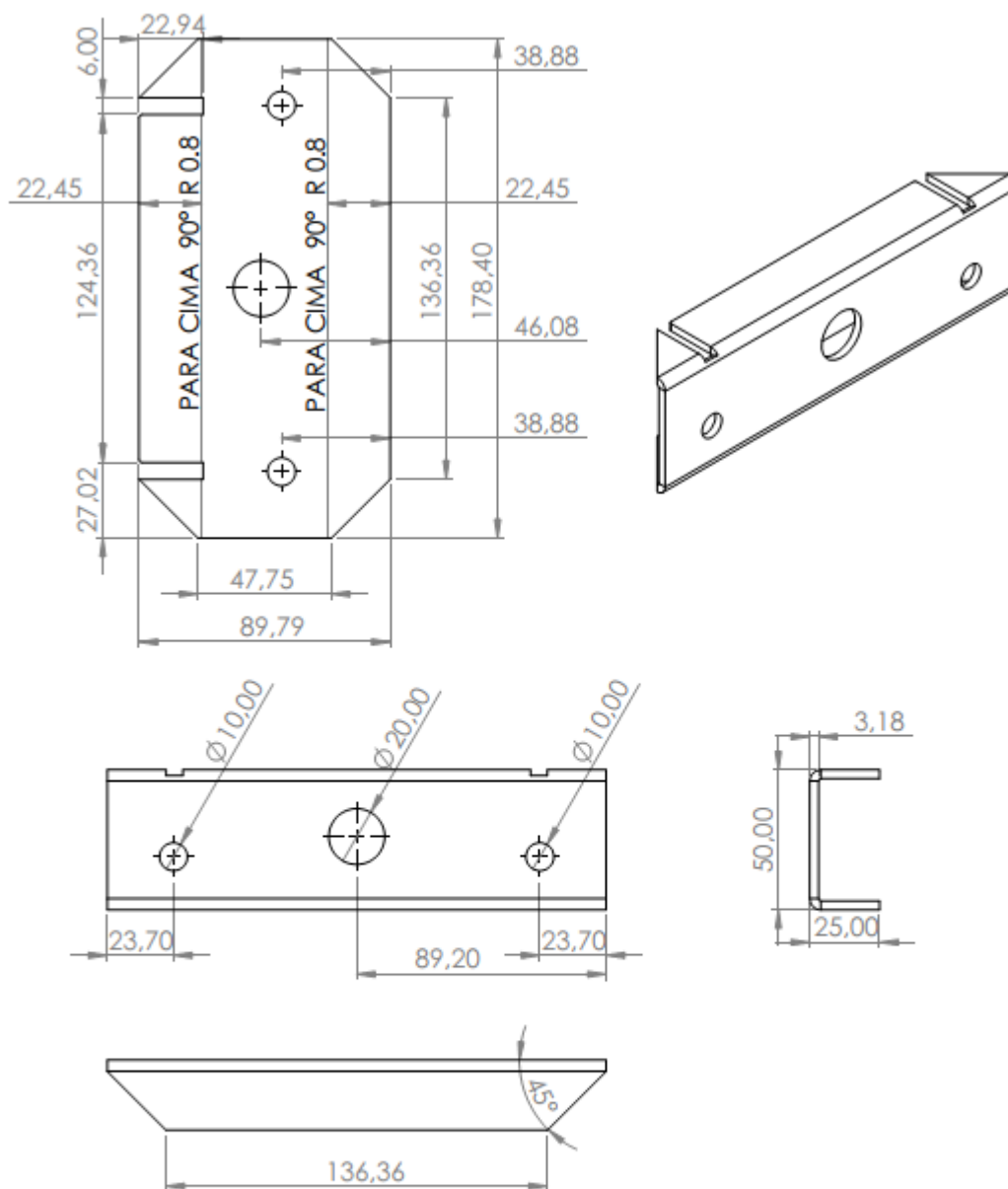
N°	4
Componente:	Base lateral
Material:	Chapa: 89,8x110x3,18mm
Tipo:	AISI 1045
Fabricação:	Corte e dobra
Quantidade:	1
Observação:	Peça para o lado direito



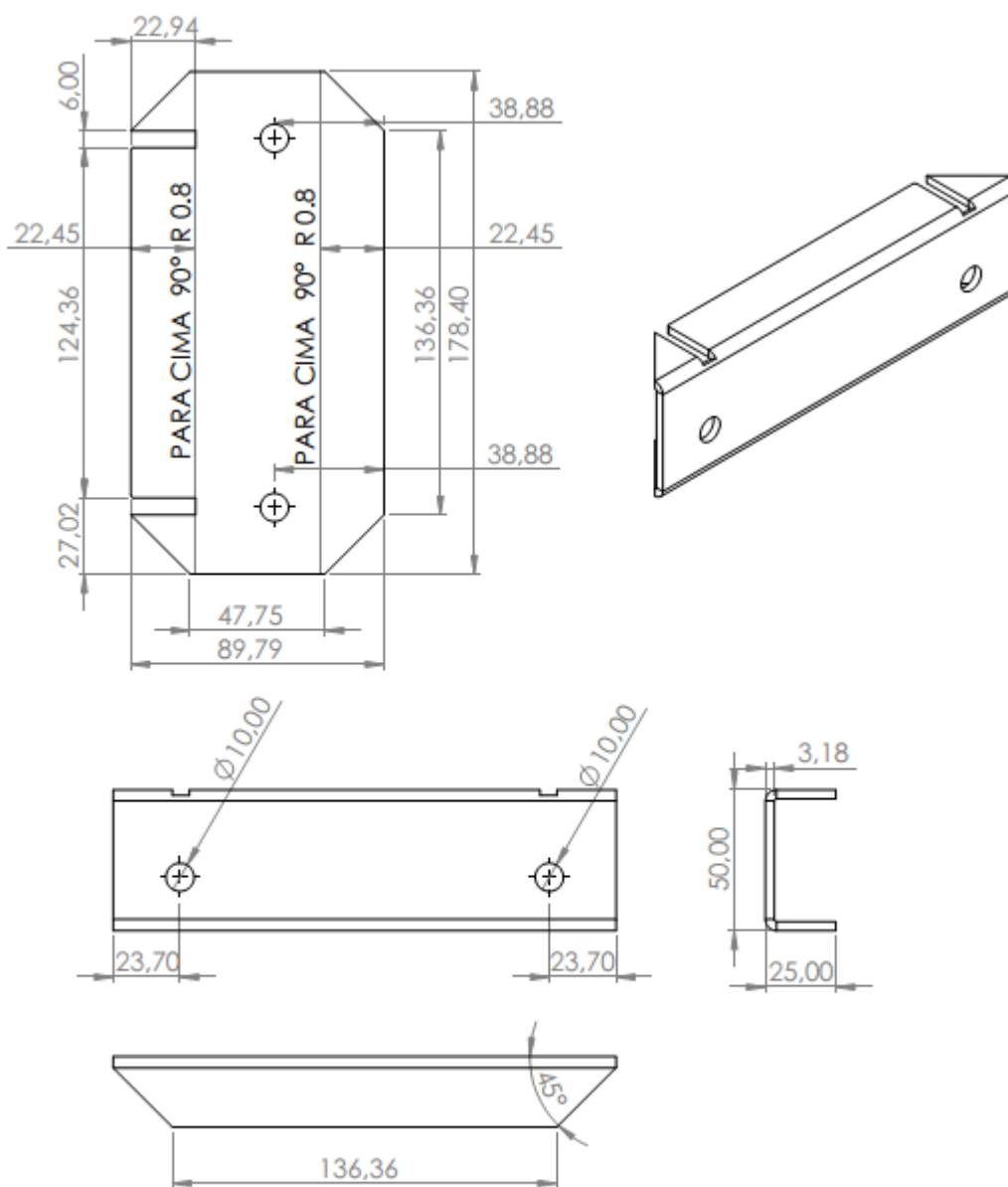
N°	4
Componente:	Base lateral
Material:	Chapa: 89,8x110x3,18mm
Tipo:	AISI 1045
Fabricação:	Corte e dobra
Quantidade:	1
Observação:	Peça para o lado esquerdo



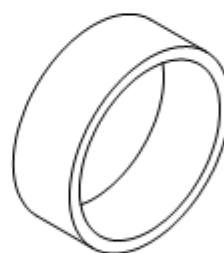
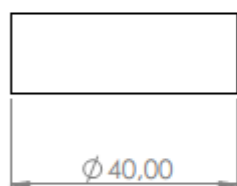
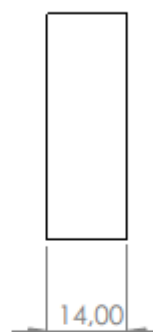
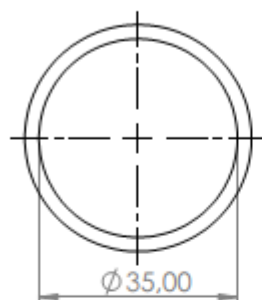
N°	3 e 4
Componentes:	Suporte do apoio inferior, base lateral do lado direito e base lateral do lado esquerdo
Fabricação:	Soldagem
Observação:	Posicionamento e soldagem conforme indicações



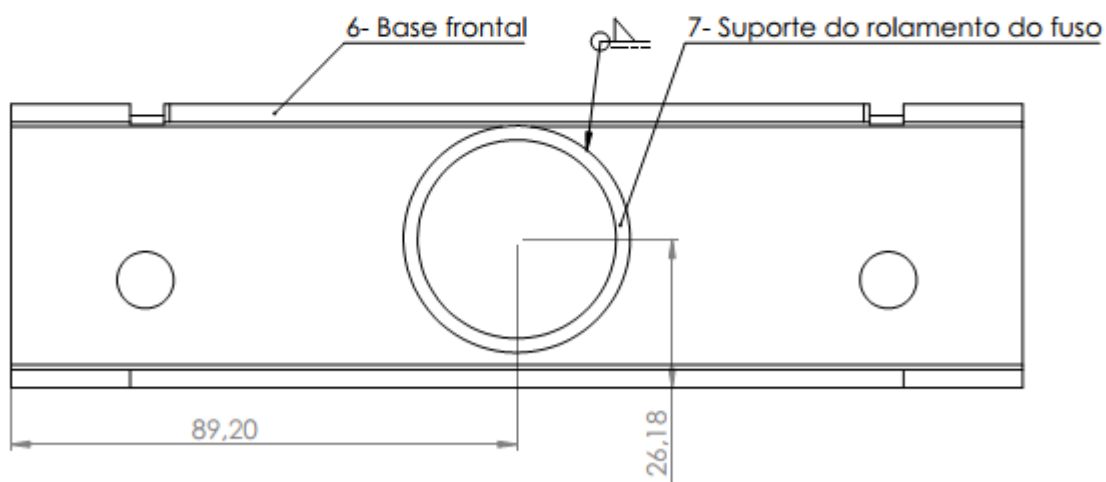
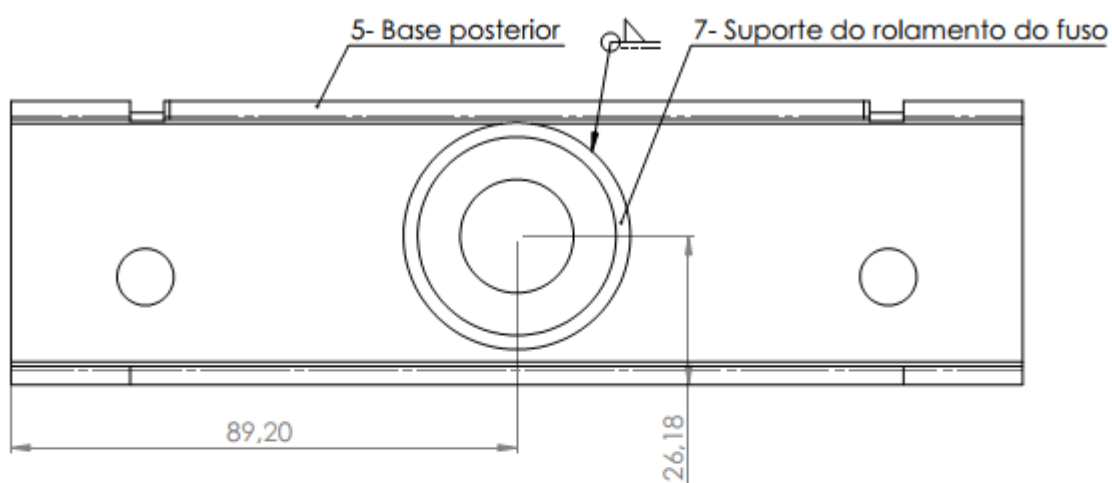
N°	5
Componente:	Base posterior
Material:	Chapa: 89,8x178,4x3,18mm
Tipo:	AISI 1045
Fabricação:	Corte e dobra
Quantidade:	1
Observação:	-



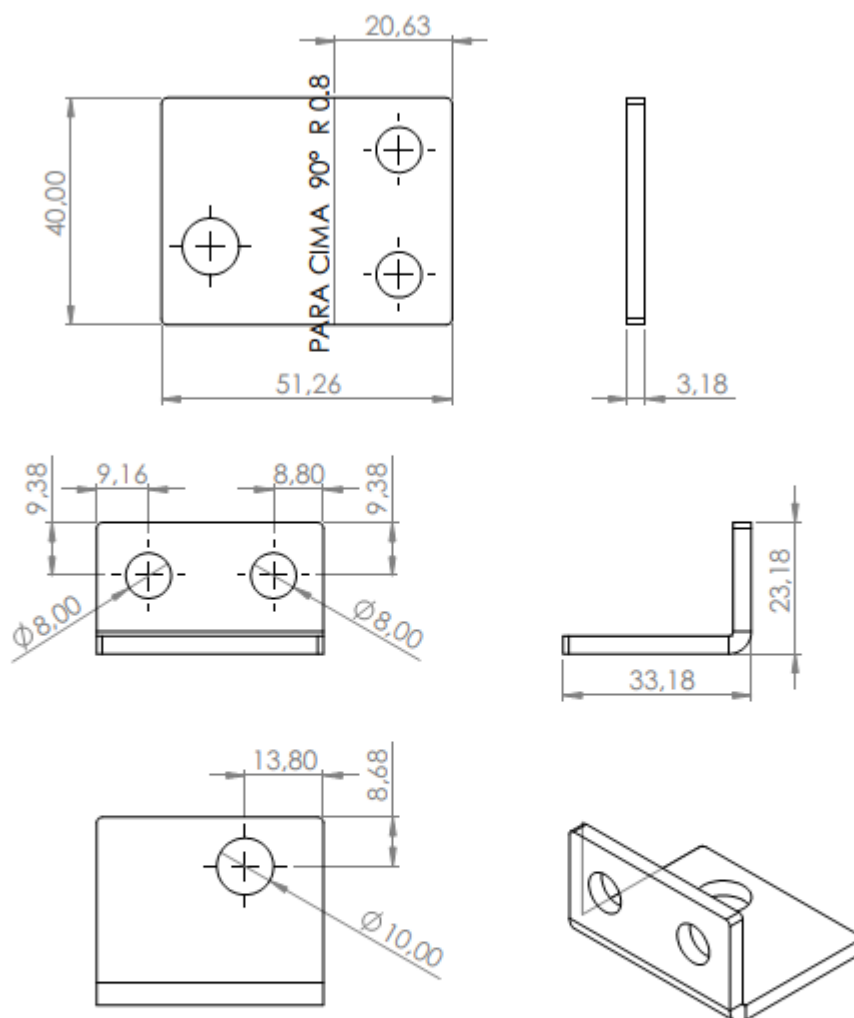
N°	6
Componente:	Base frontal
Material:	Chapa: 89,8x178,4x3,18mm
Tipo:	AISI 1045
Fabricação:	Corte e dobra
Quantidade:	1
Observação:	-



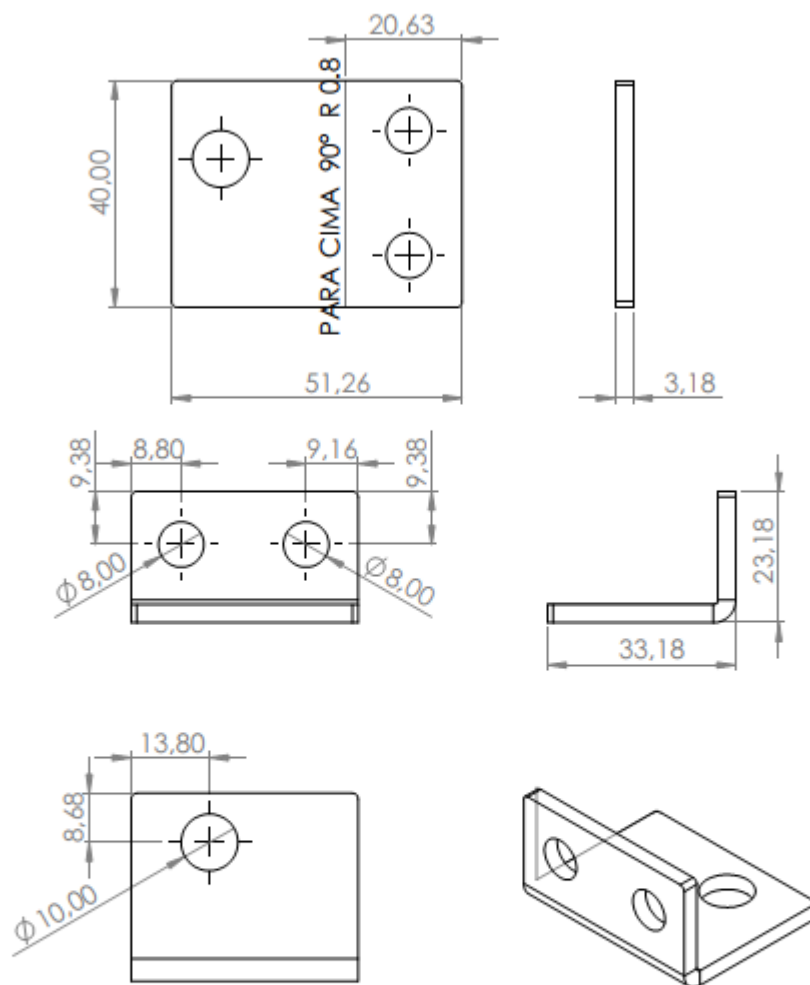
N°	7
Componente:	Suporte do rolamento do fuso
Material:	Tarugo: 40x14mm
Tipo:	AISI 1045
Fabricação:	Usinagem
Quantidade:	2
Observação:	Tolerância de ajuste do rolamento conforme fabricante



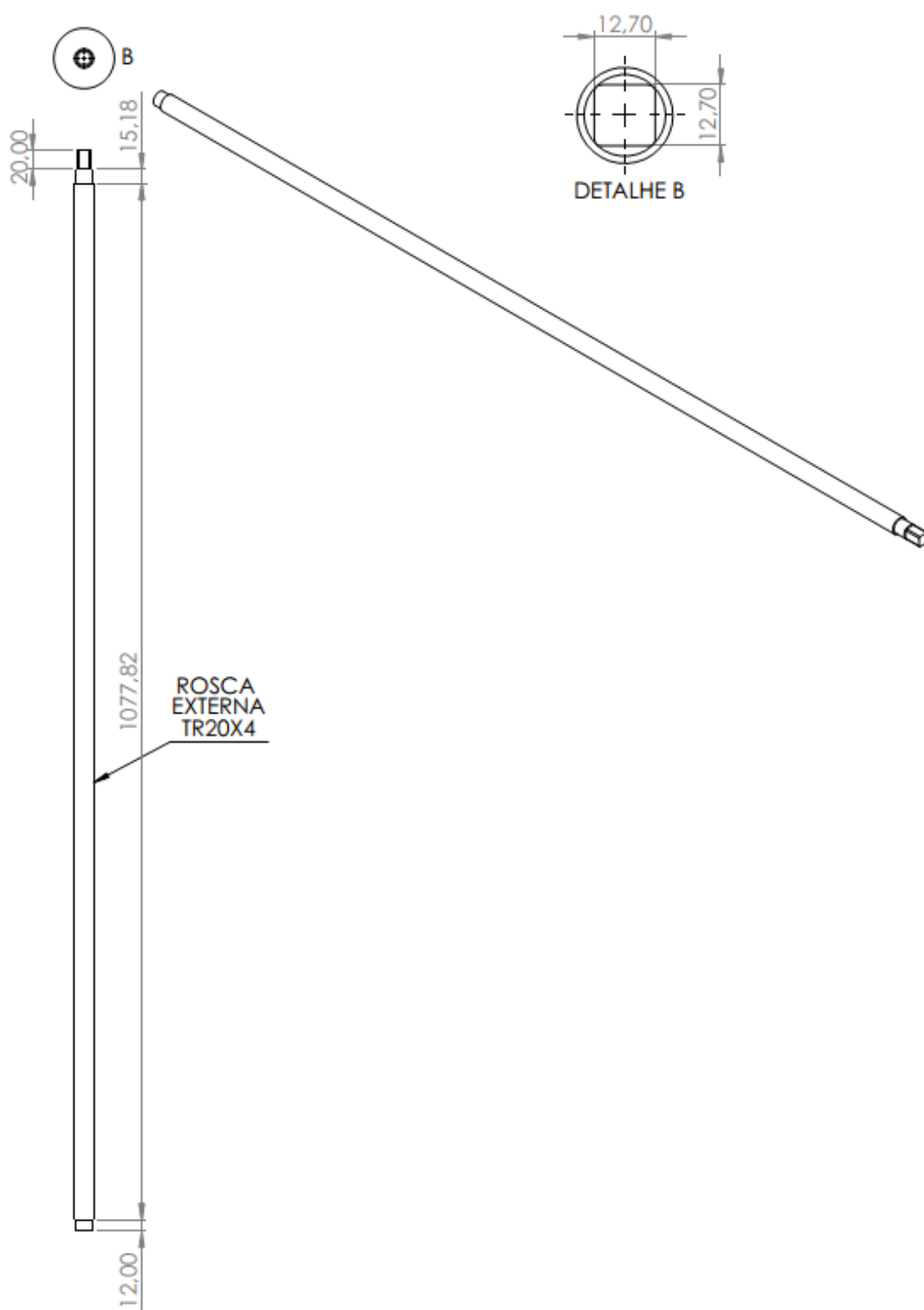
N°	5,6 e 7
Componentes:	Base posterior, base frontal e suporte para o rolamento do fuso
Fabricação:	Soldagem
Observação:	Posicionamento e soldagem conforme indicações



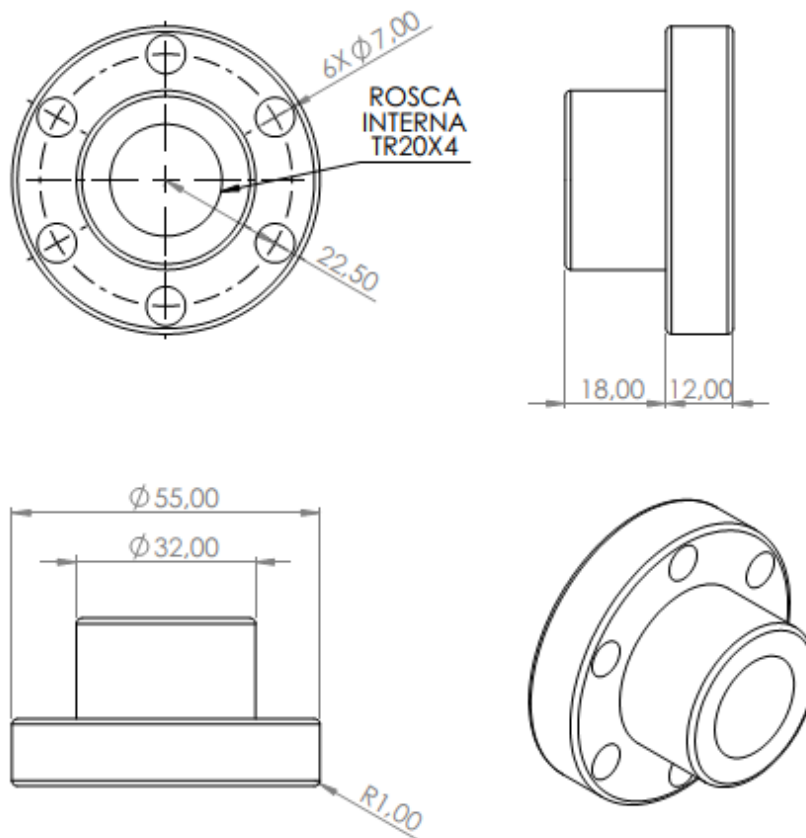
N°	8
Componente:	Chapa de união da base
Material:	Chapa: 40x51,3x3,18mm
Tipo:	AISI 1045
Fabricação:	Corte e dobra
Quantidade:	2
Observação:	Peça para o lado esquerdo posterior e direito frontal



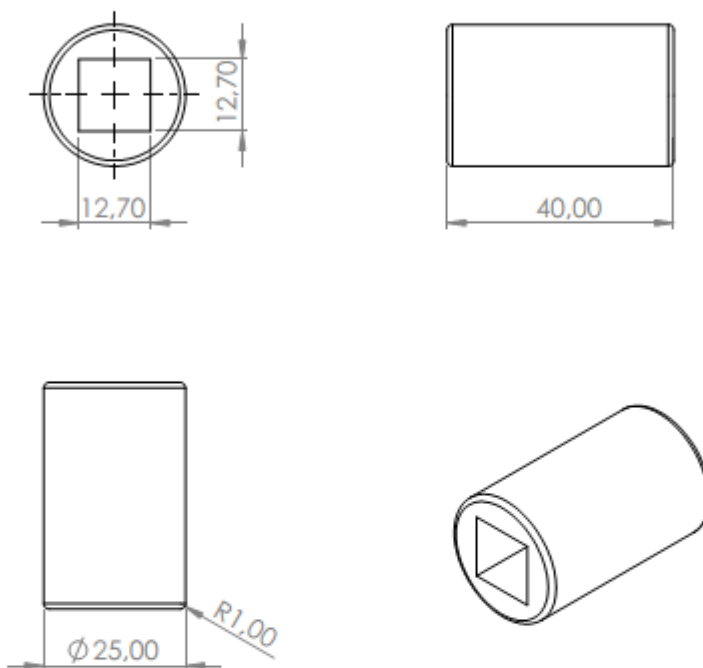
N°	8
Componente:	Chapa de união da base
Material:	Chapa: 40x51,3x3,18mm
Tipo:	AISI 1045
Fabricação:	Corte e dobra
Quantidade:	2
Observação:	Peça para o lado direito posterior e esquerdo frontal



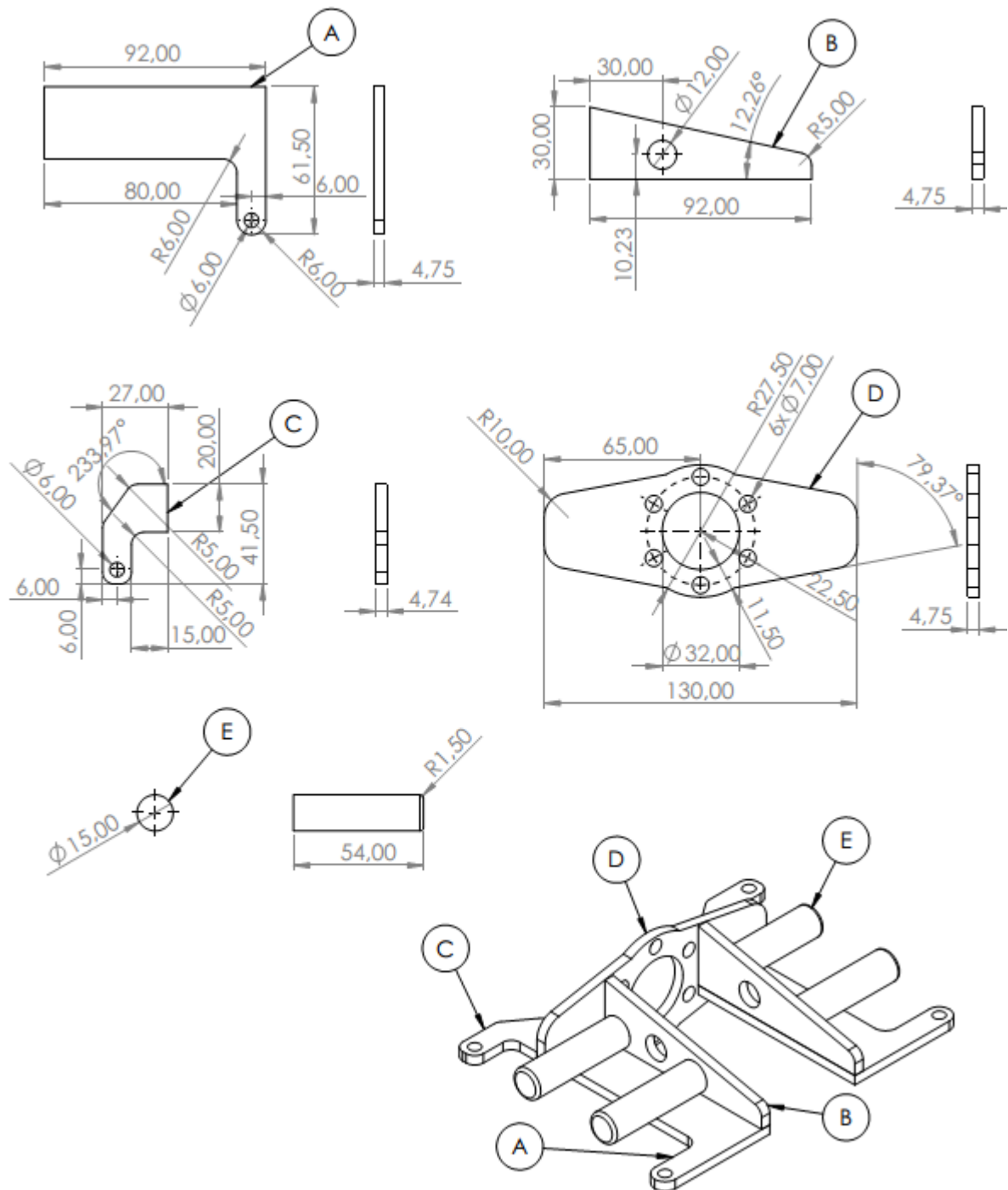
N°	9
Componente:	Fuso
Material:	Fuso trapezoidal Ø20mm, comprimento: 1077,8mm e passo:4mm ou tarugo 20x1077,8mm para usinagem
Tipo:	AISI 4340, normalizado
Fabricação:	Comercial/Usinagem
Quantidade:	1
Observação:	Rosca conforme norma UNIM 124 Tolerância de ajuste conforme fabricante do rolamento



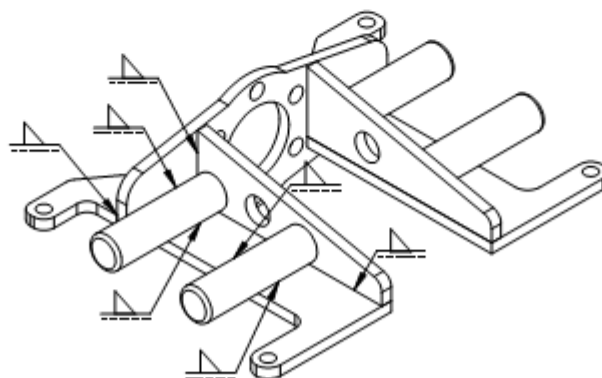
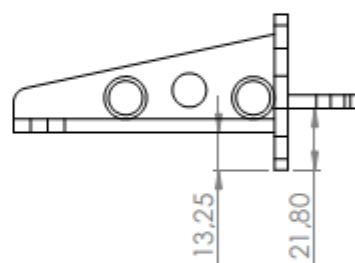
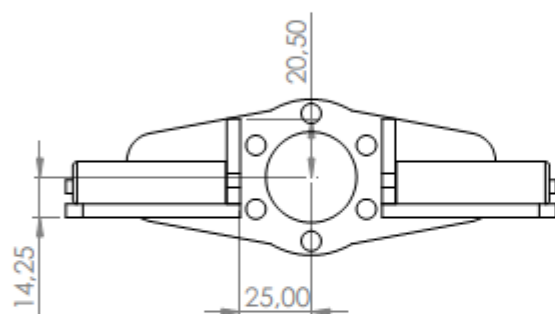
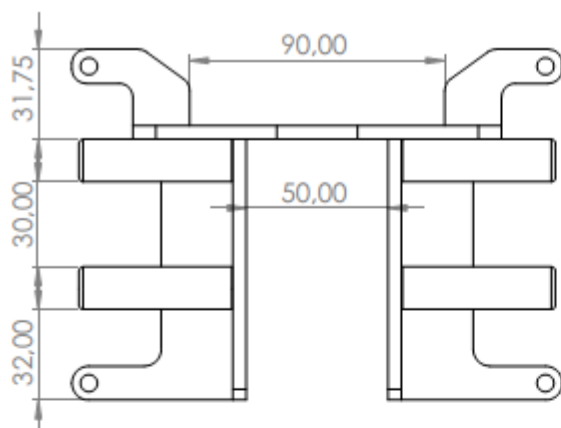
N°	10
Componente:	Porca do fuso
Material:	Porca comercial conforme dimensões ou tarugo 55x30mm para usinagem
Tipo:	AISI 4340, normalizado
Fabricação:	Comercial ou usinagem
Quantidade:	1
Observação:	Rosca conforme norma UNIM 124 Todos os cantos chanfrados com raio 1mm



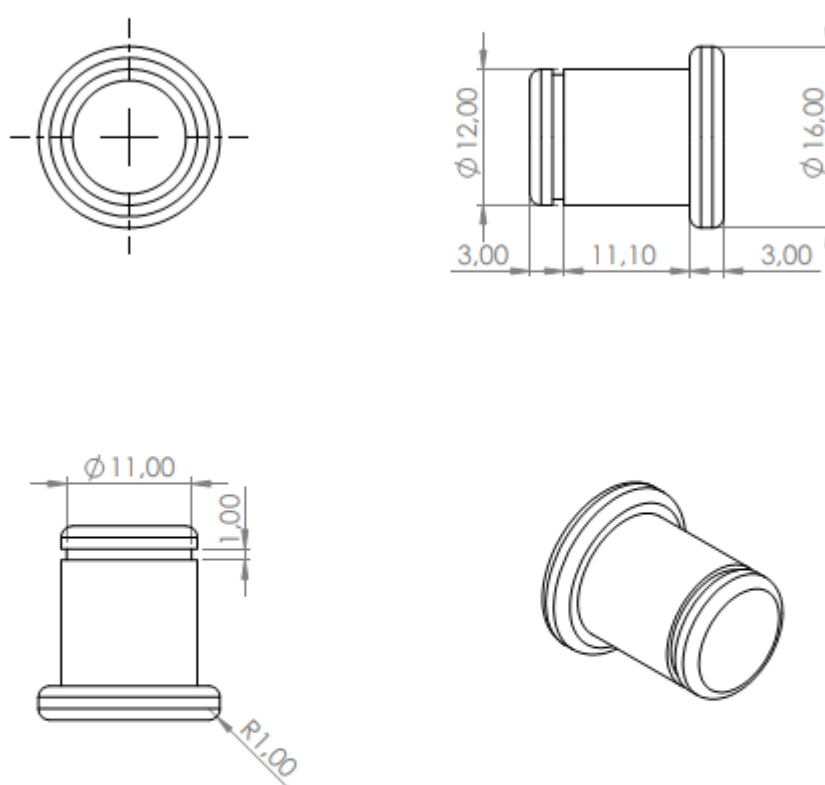
N°	11
Componente:	Luva do fuso
Material:	Tarugo: 25x40mm
Tipo:	AISI 4340, normalizado
Fabricação:	Usinagem
Quantidade:	1
Observação:	Todos os cantos chanfrados com raio 1mm



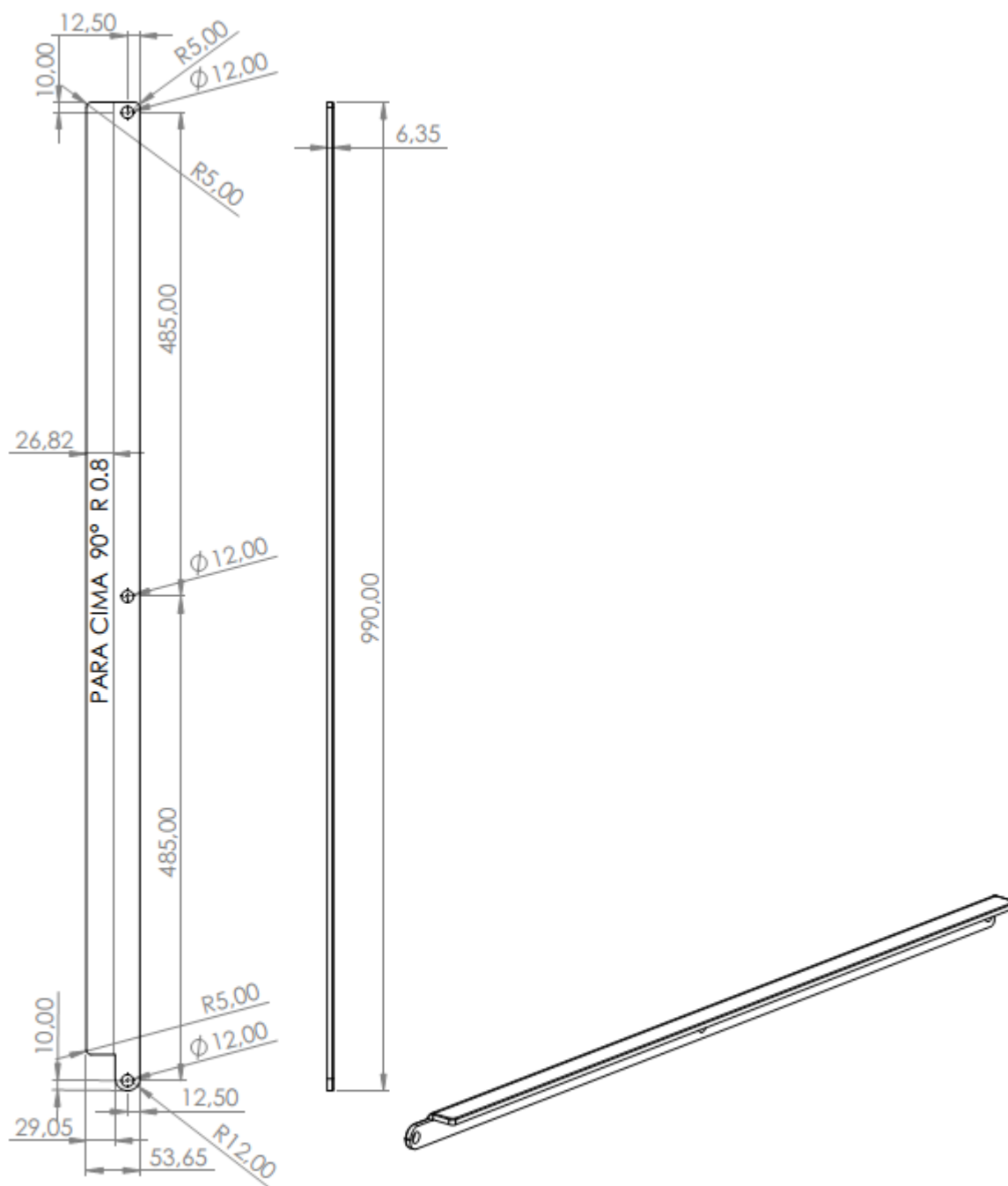
N°	12
Componente:	Patim
Material:	Conforme o desenho de cada peça
Tipo:	AISI 1045
Fabricação:	Corte e soldagem
Quantidade:	Conforme o desenho do conjunto
Observação:	Tolerância de ajuste conforme fabricante do rolamento



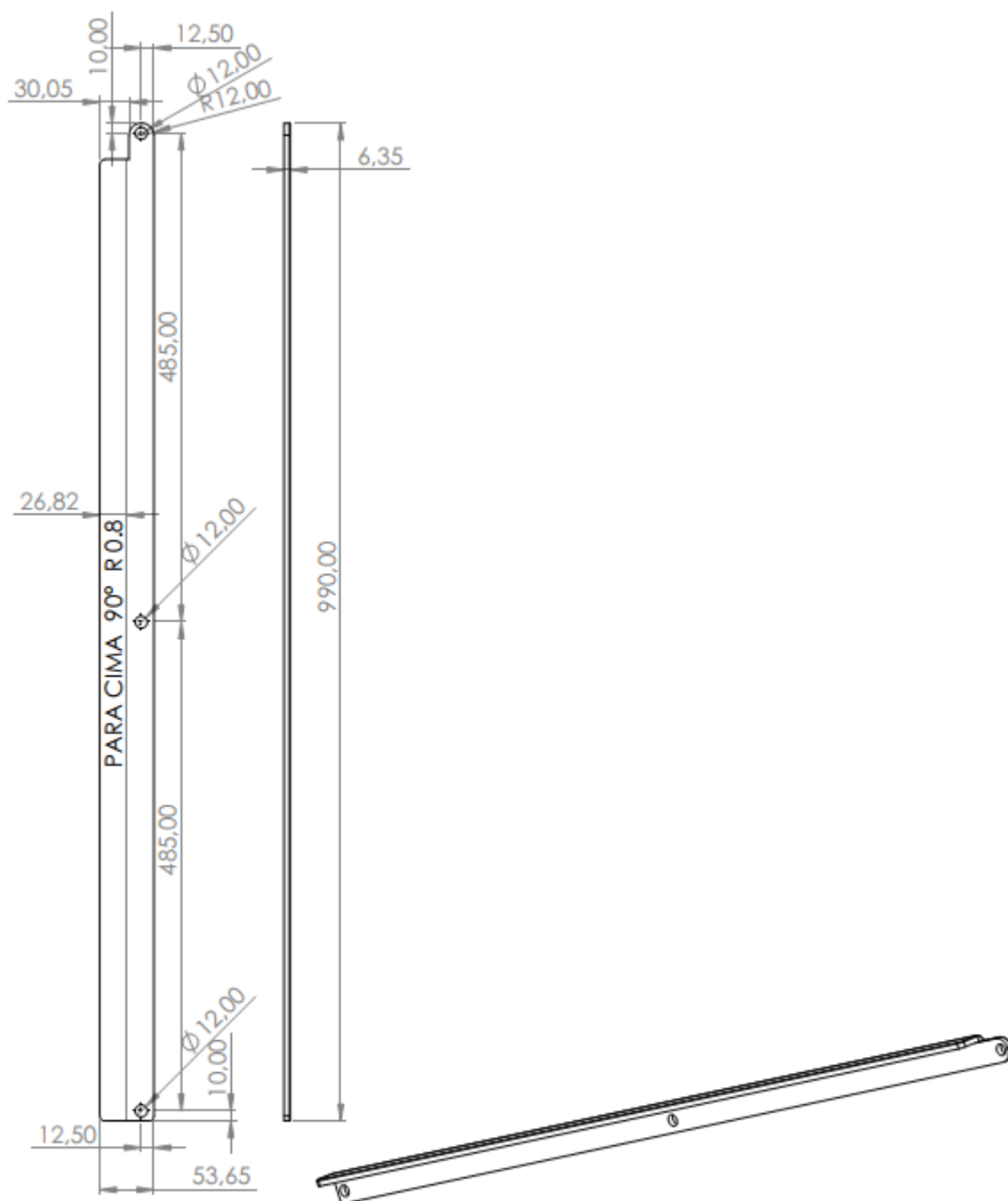
N°	12
Componente:	Patim
Observação:	Peça simétrica
	Posicionamento e soldagem conforme indicações



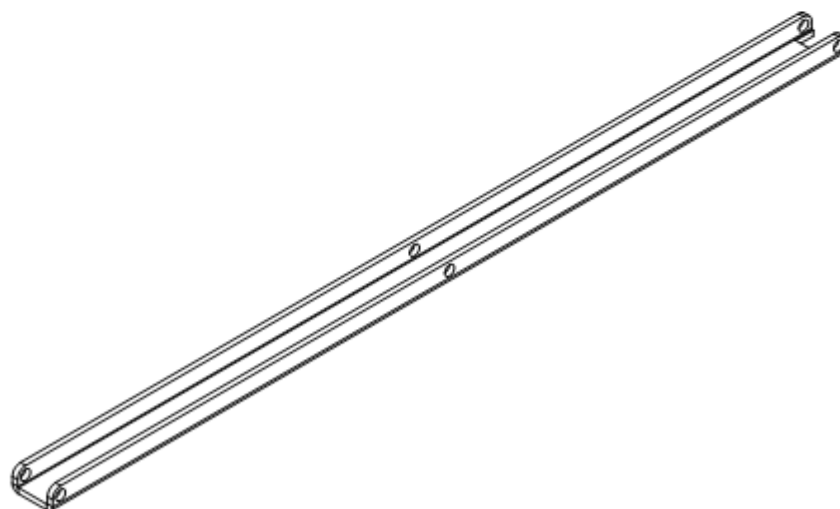
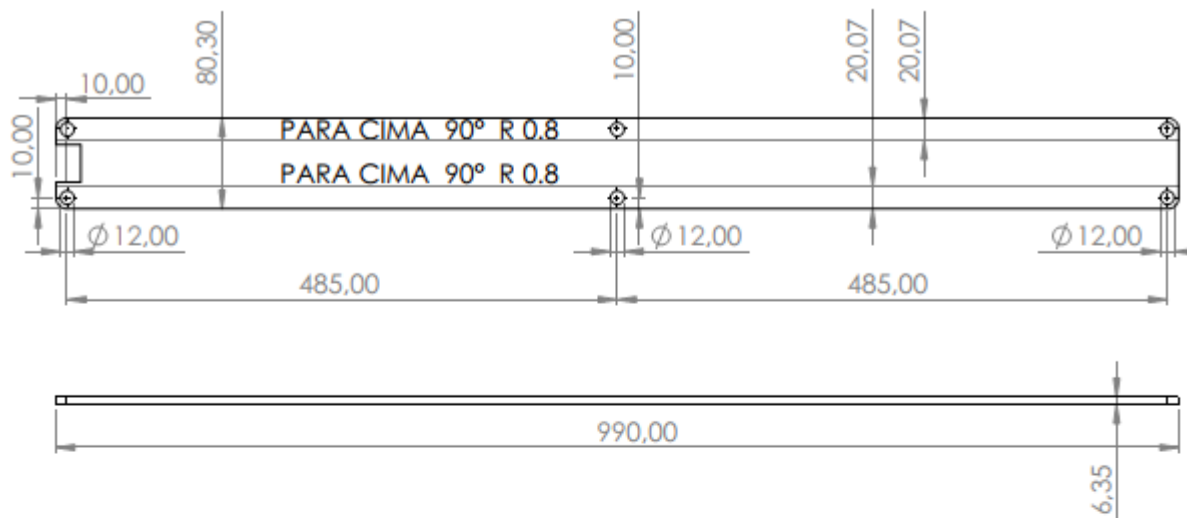
N°	13
Componente:	Pino de fixação do patim na barra central do pantográfico
Material:	Tarugo: 16x17,1mm
Tipo:	AISI 1045
Fabricação:	Usinagem
Quantidade:	2
Observação:	Todos os cantos chanfrados com raio 1mm Rasgo do anel elástico conforme norma DIN 471



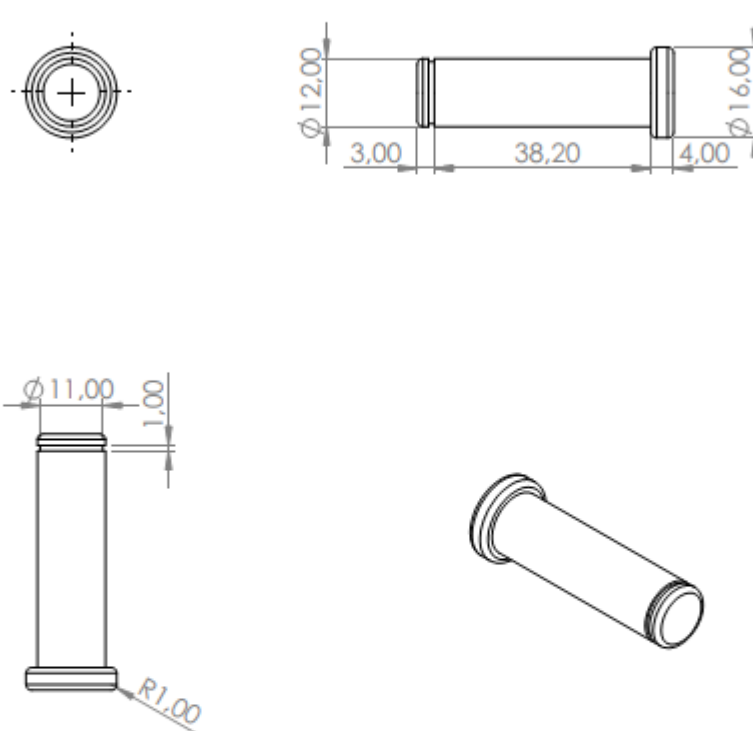
N°	14
Componente:	Barra lateral do pantográfico
Material:	Chapa: 53,7x990x6,35mm
Tipo:	AISI 1045
Fabricação:	Corte e dobra
Quantidade:	1
Observação:	Peça para o lado esquerdo



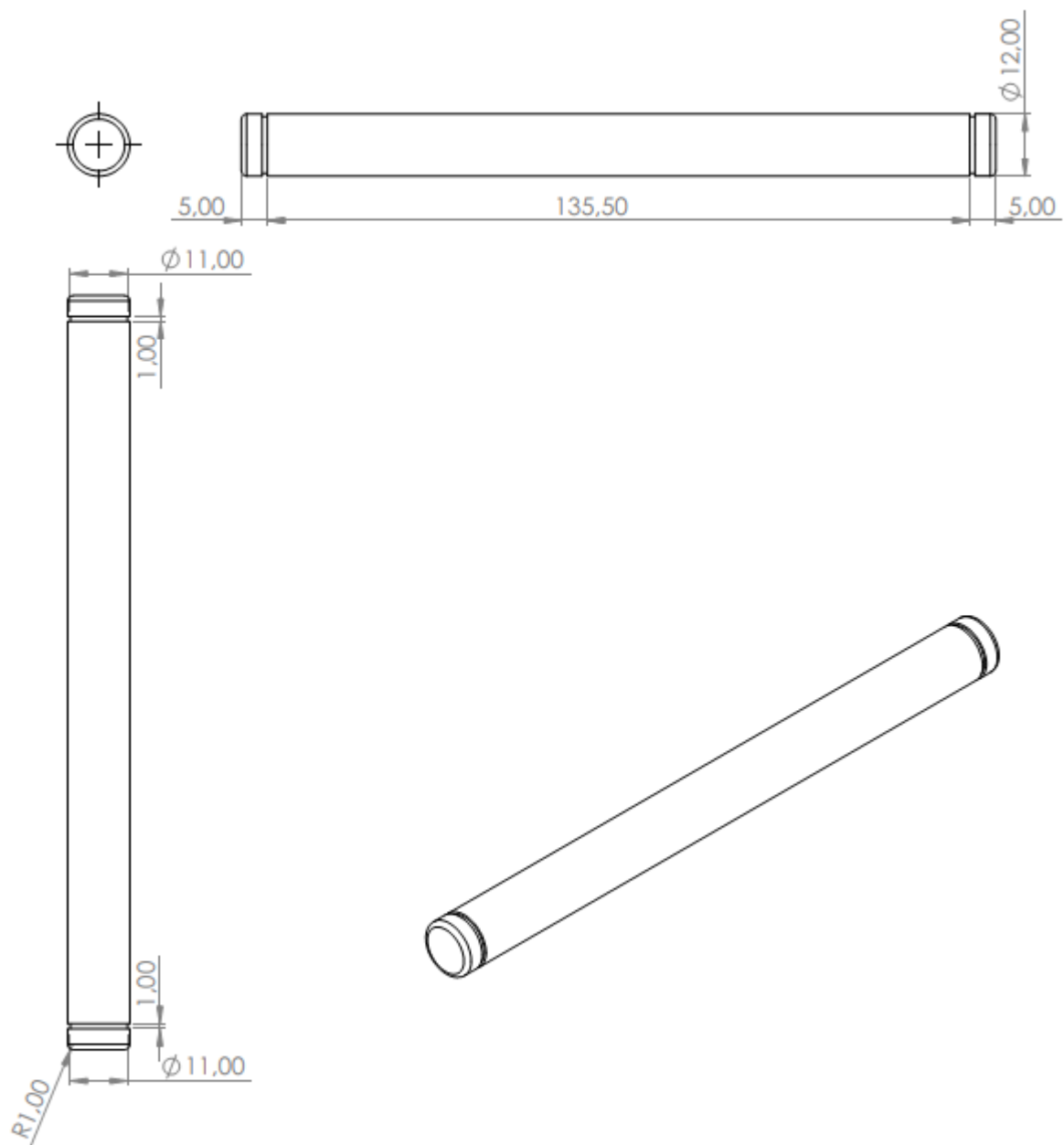
N°	14
Componente:	Barra lateral do pantográfico
Material:	Chapa: 53,7x990x6,35mm
Tipo:	AISI 1045
Fabricação:	Corte e dobra
Quantidade:	1
Observação:	Peça para o lado direito



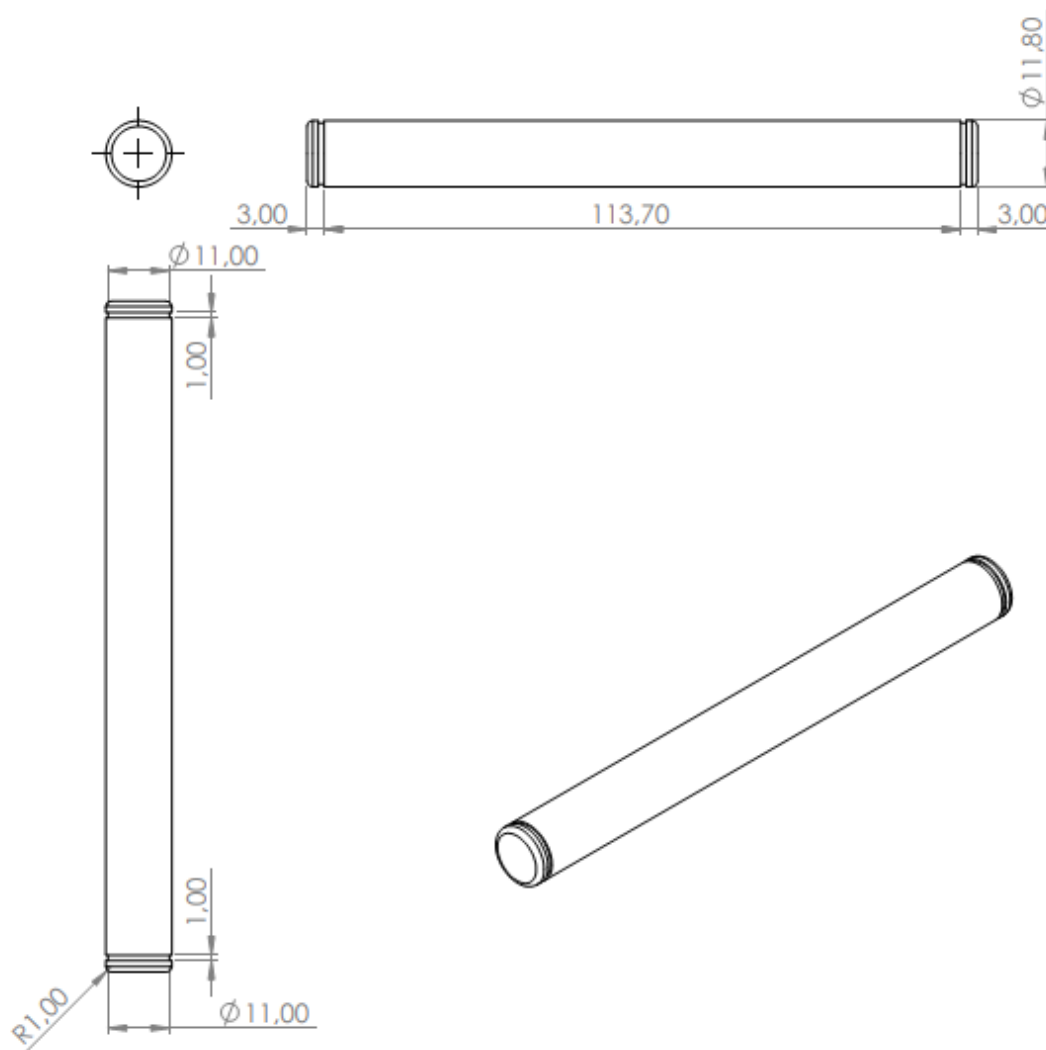
N°	15
Componente:	Barra central do pantográfico
Material:	Chapa: 80,3x990x6,35mm
Tipo:	AISI 1045
Fabricação:	Corte e dobra
Quantidade:	1
Observação:	Peça simétrica



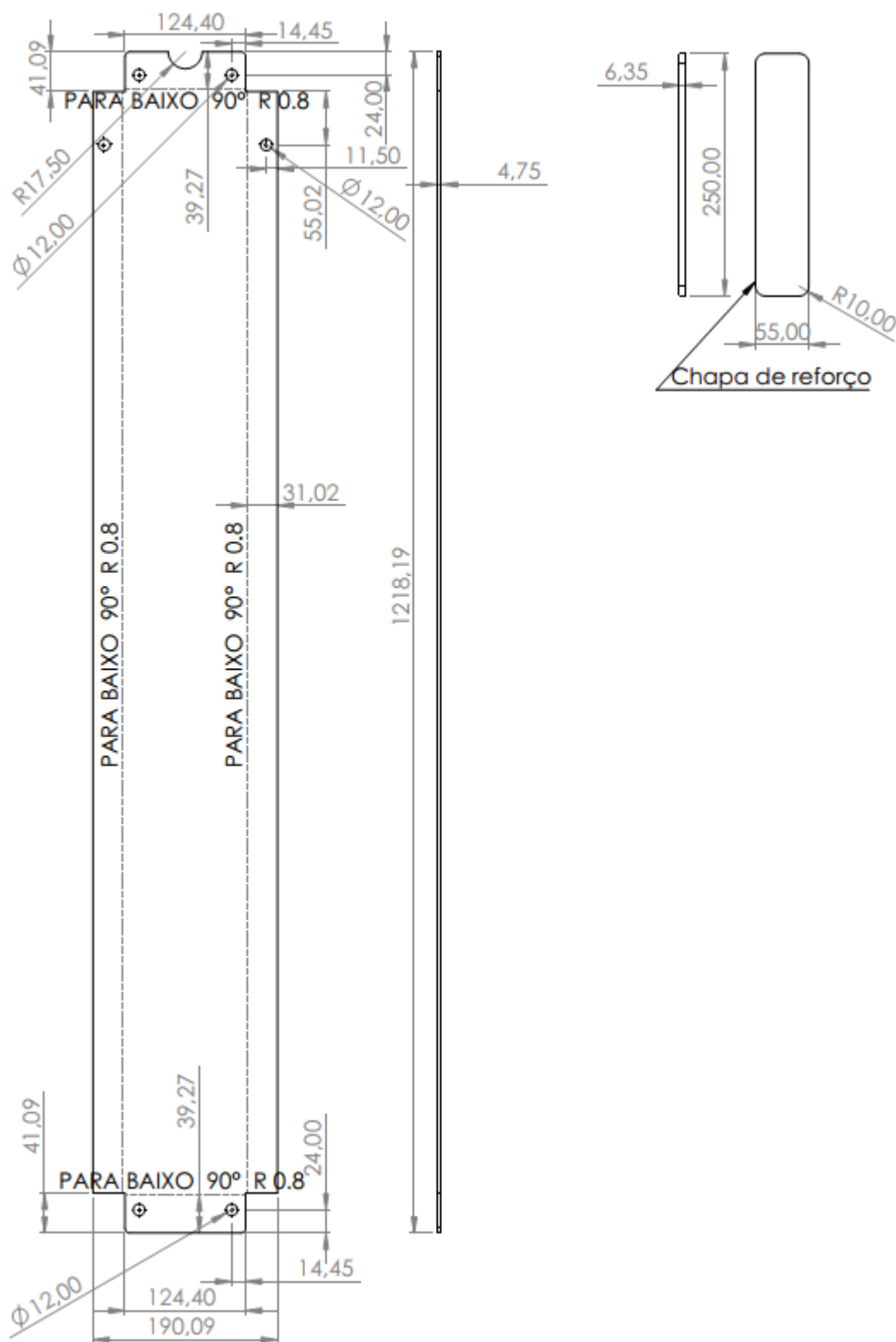
N°	16
Componente:	Pino de fixação das barras do pantográfico
Material:	Tarugo: 16x45,2mm
Tipo:	AISI 1045
Fabricação:	Usinagem
Quantidade:	2
Observação:	Todos os cantos chanfrados com raio 1mm Rasgo do anel elástico conforme norma DIN 471



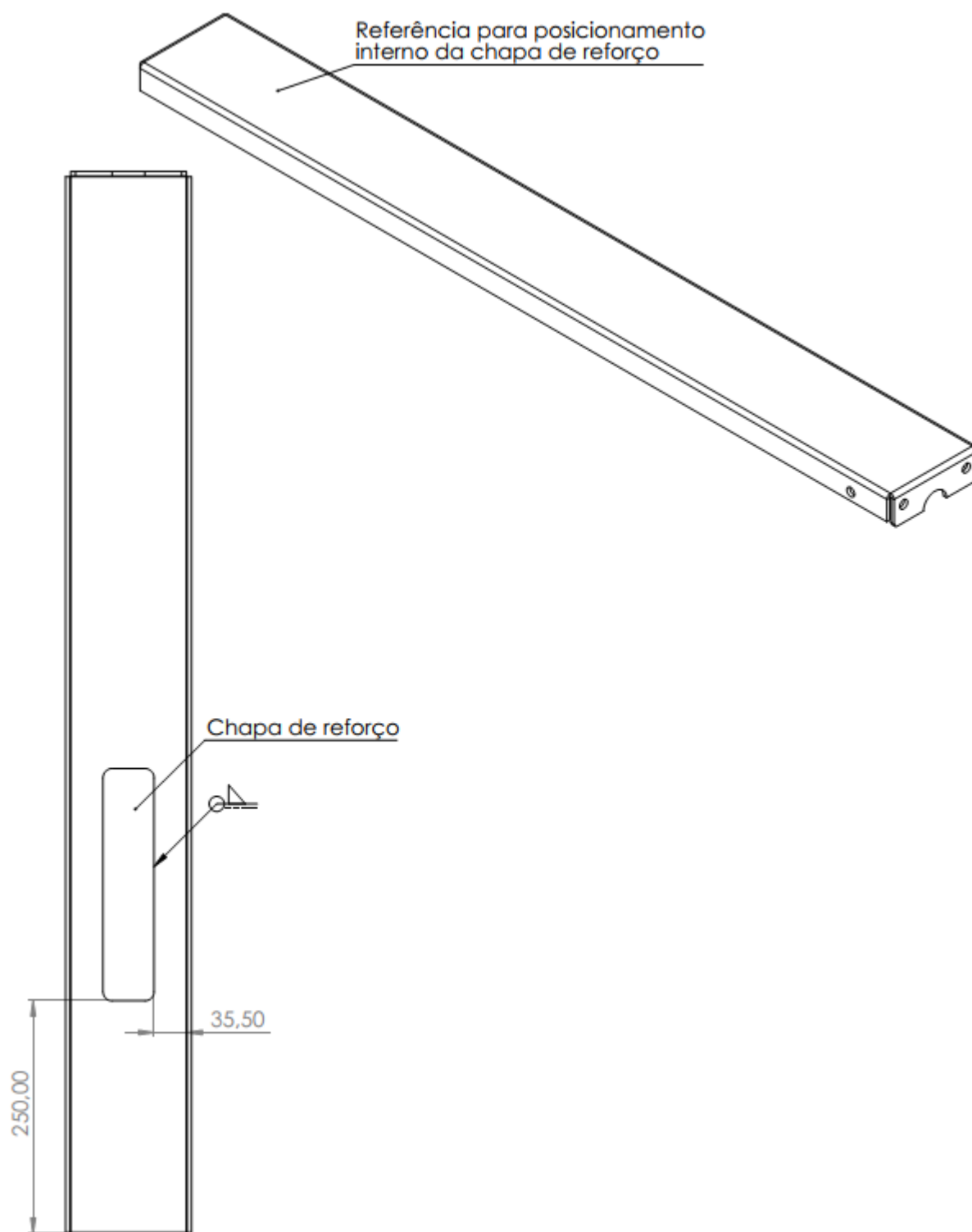
N°	17
Componente:	Pino de fixação da barra central do pantográfico na plataforma superior
Material:	Tarugo: 12x145,5mm
Tipo:	AISI 1045
Fabricação:	Usinagem
Quantidade:	1
Observação:	Todos os cantos chanfrados com raio 1mm Rasgo do anel elástico conforme norma DIN 471



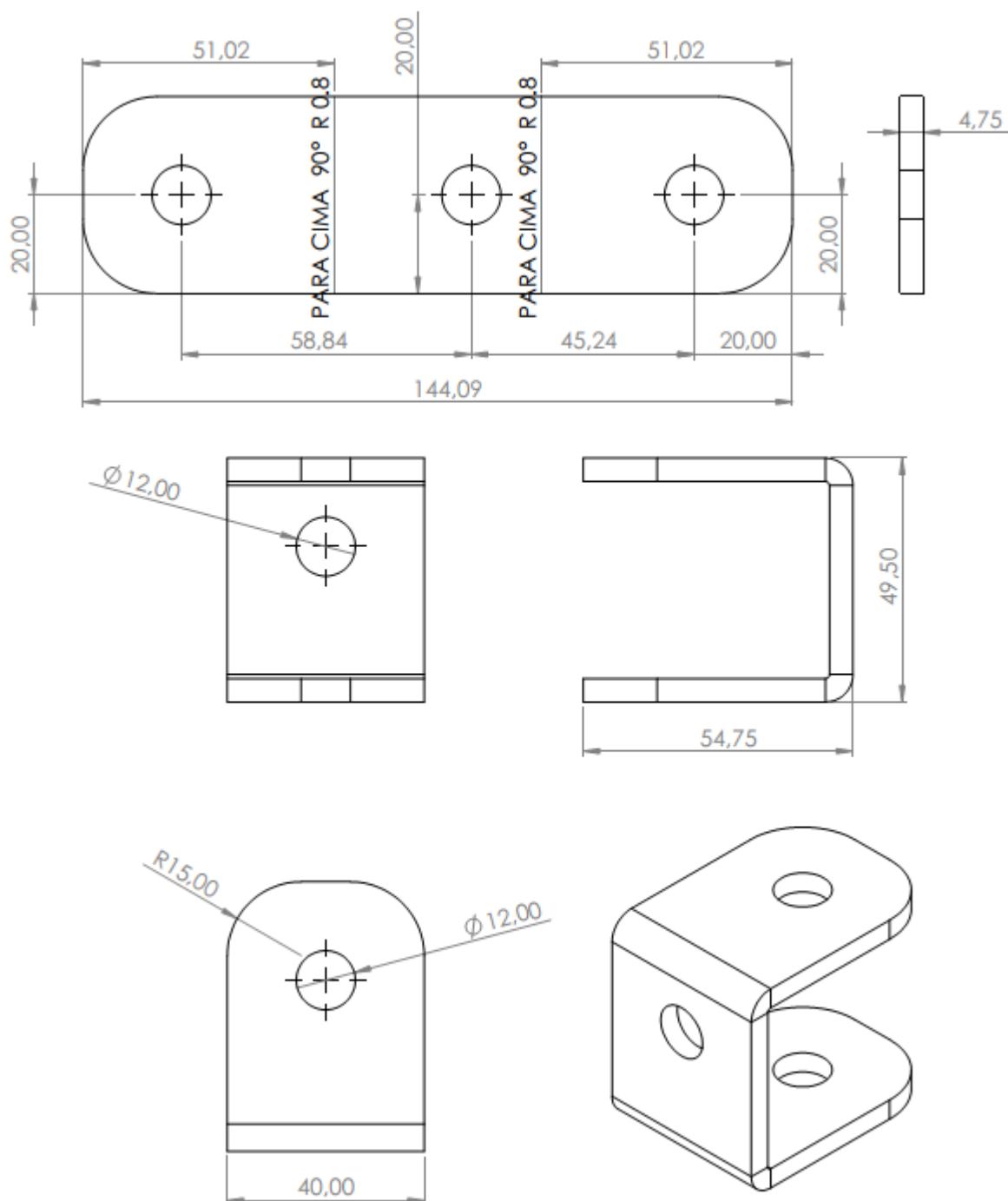
N°	18
Componente:	Pino de fixação das barras laterais do pantográfico (abaixo da plataforma superior)
Material:	Tarugo: 11,80x119mm
Tipo:	AISI 1045
Fabricação:	Usinagem
Quantidade:	1
Observação:	Todos os cantos chanfrados com raio 1mm
	Rasgo do anel elástico conforme norma DIN 471
	Rolamento não deve ficar interferente



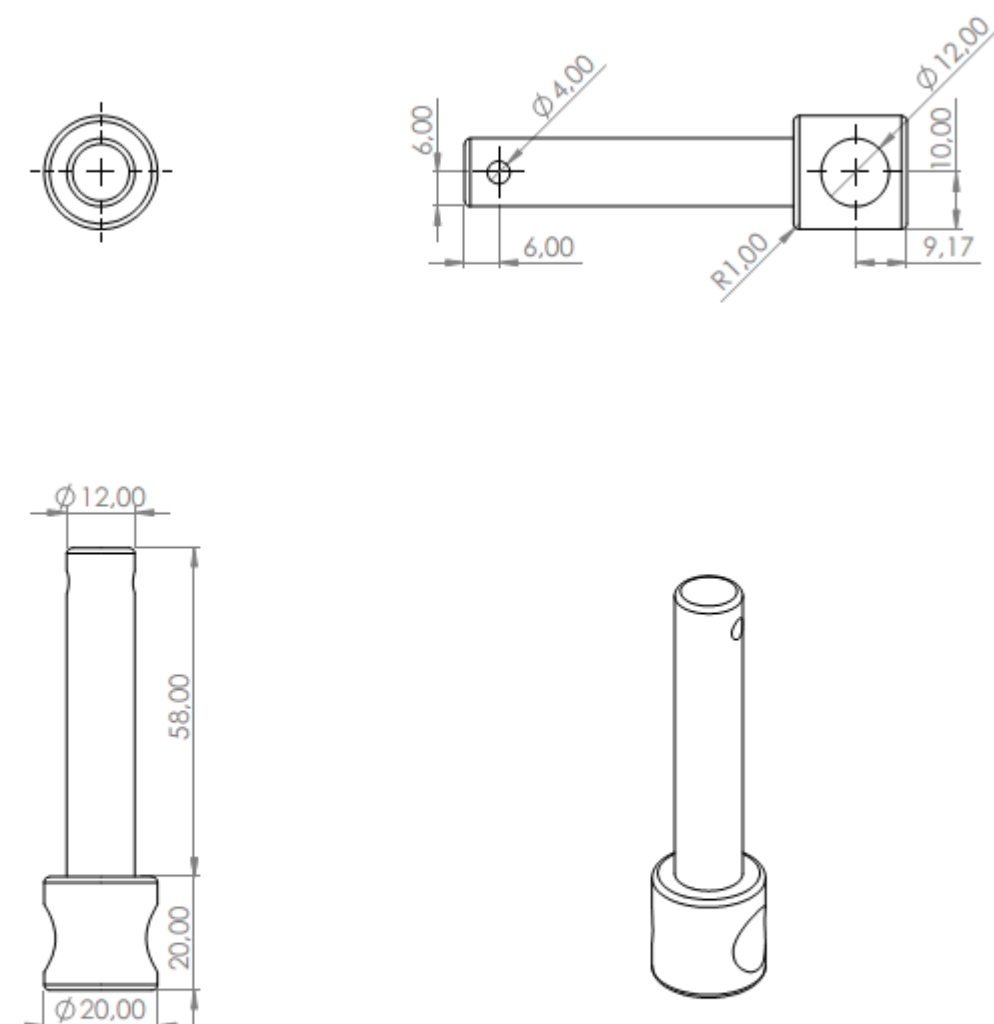
N°	19
Componente:	Plataforma superior
Material:	Chapas: 190x1218,2x4,75mm e 55x250x6,35mm
Tipo:	AISI 1045
Fabricação:	Corte e dobra
Quantidade:	1
Observação:	Peça simétrica



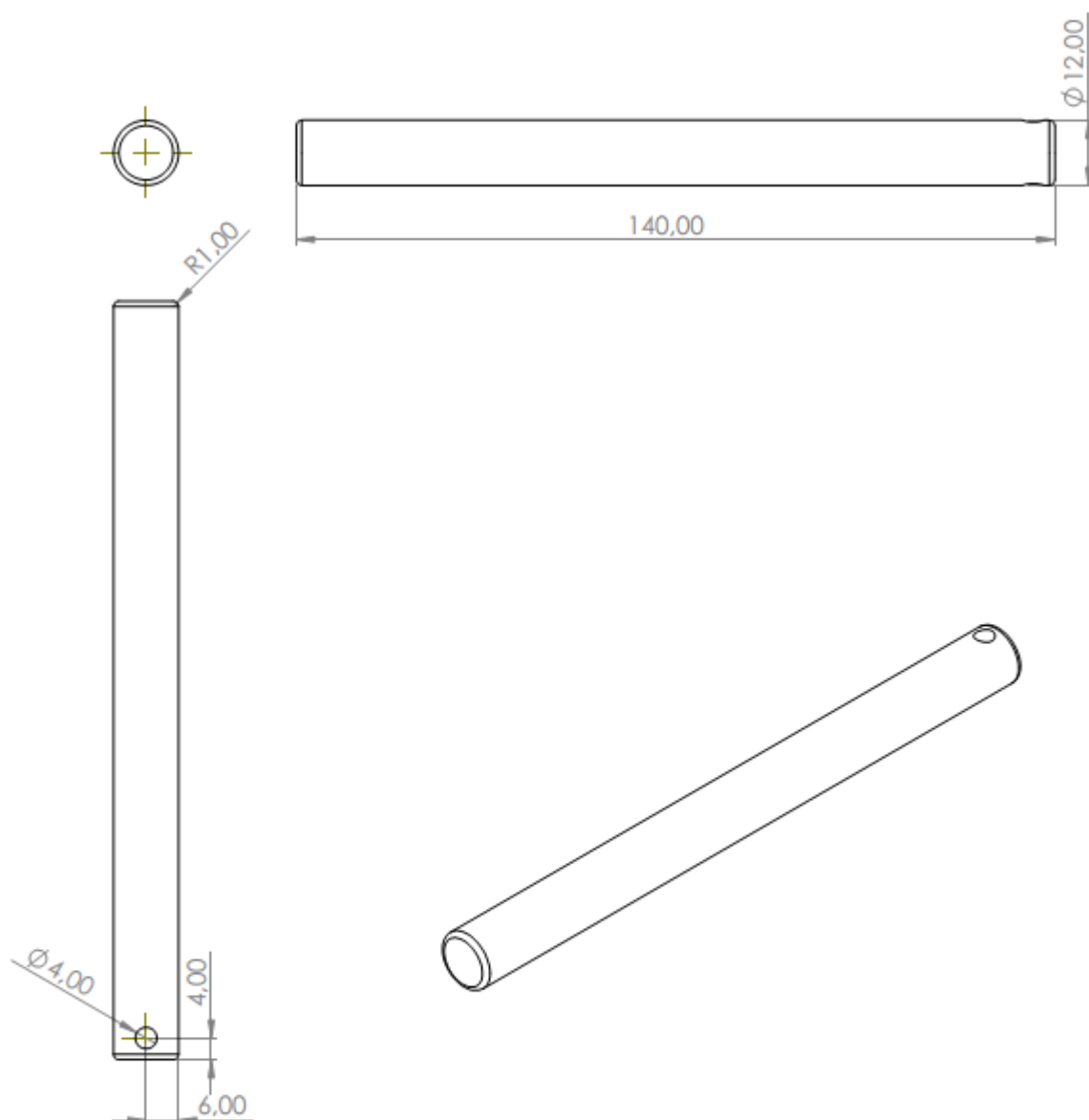
N°	19
Componente:	Plataforma superior
Fabricação:	Soldagem
Observação:	Soldagem e posicionamento conforme indicações



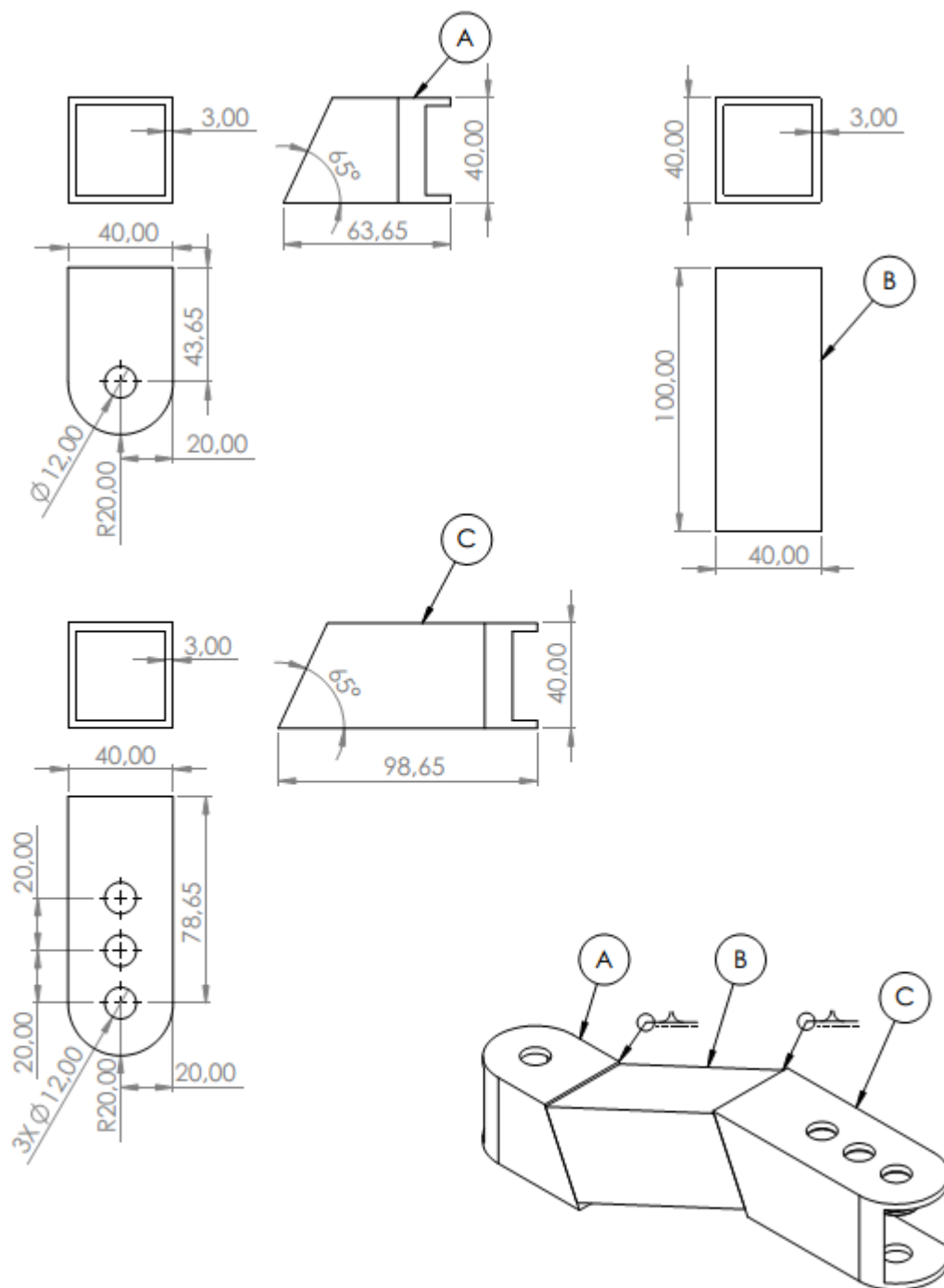
N°	20
Componente:	Suporte do apoio superior
Material:	Chapa: 40x144,1x4,75mm
Tipo:	AISI 1045
Fabricação:	Corte e dobra
Quantidade:	4
Observação:	-



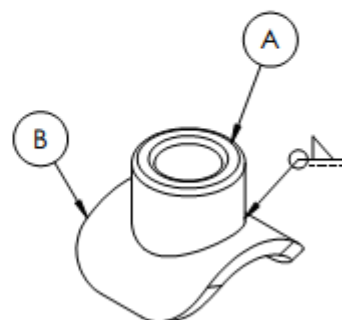
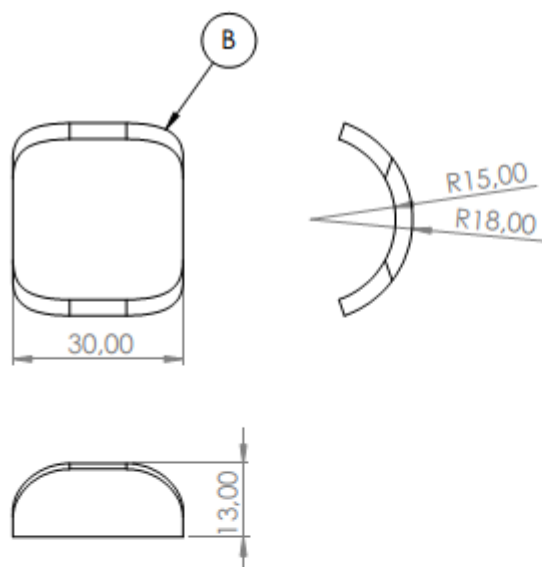
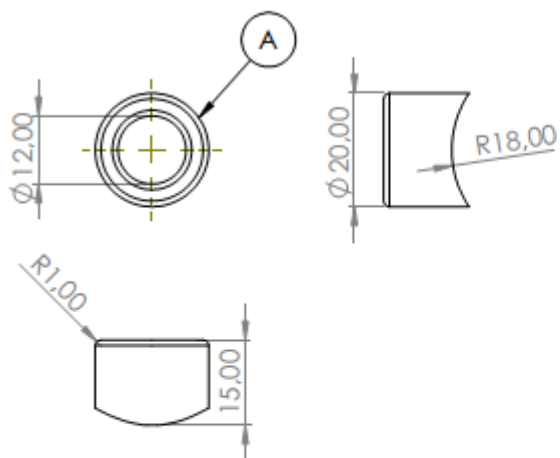
N°	21
Componente:	Pino de fixação do apoio superior
Material:	Tarugo:20x78mm
Tipo:	AISI 1045
Fabricação:	Usinagem
Quantidade:	4
Observação:	Todos os cantos chanfrados com raio 1mm



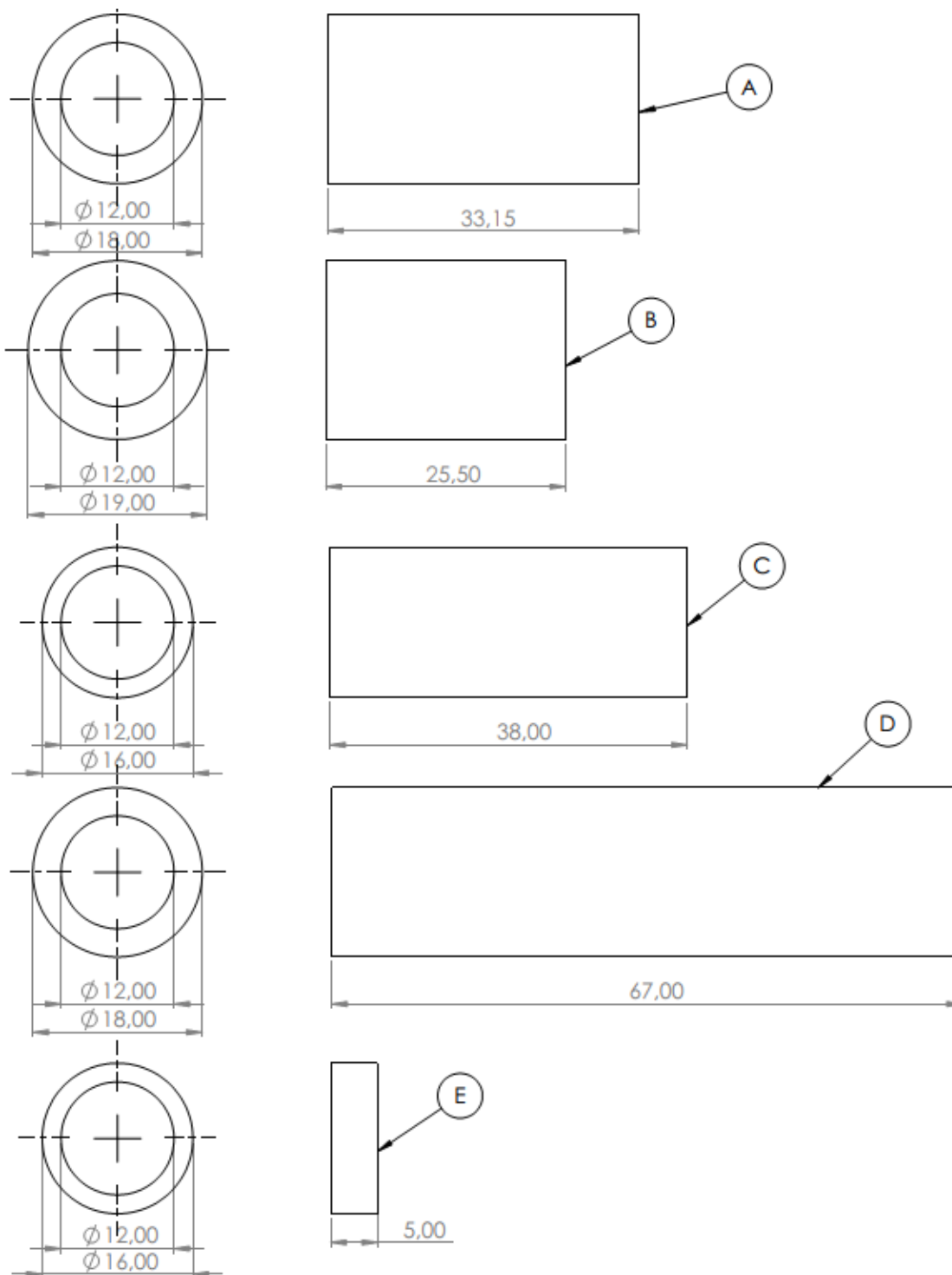
N°	22
Componente:	Pino de fixação para travamento dos apoios superiores
Material:	Tarugo: 12x140mm
Tipo:	AISI 1045
Fabricação:	Usinagem
Quantidade:	2
Observação:	Todos os cantos chanfrados com raio 1mm



N°	23
Componente:	Apoio superior
Material:	4x conforme o desenho de cada peça (tubo 40x40x3mm)
Tipo:	AISI 1020
Fabricação:	Corte e soldagem
Quantidade:	4x conforme o desenho do conjunto
Observação:	Peças A, B e C soldadas centralizadas Soldar internamente porcas 12mm nos furos de opções do nivelador



N°	24
Componente:	Extremidade do nivelador superior
Material:	4x conforme o desenho de cada peça
Tipo:	AISI 1045
Fabricação:	Corte, dobra, usinagem e soldagem
Quantidade:	4x conforme o desenho do conjunto
Observação:	Peças A e B soldadas centralizadas



Item	Componente	Quant.
A	Espaçador do parafuso de fixação das barras laterais do pantográfico	2
B	Espaçador do pino de fixação das barras laterais no central do pantográfico	2
C	Espaçador do pino de fixação da barra central do pantográfico na plataforma superior	2
D	Espaçador maior do pino de fixação das barras laterais do pantográfico	1
E	Espaçador menor do pino de fixação das barras laterais do pantográfico	2
Material: Conforme cada peça Tipo: AISI 1045 Fabricação: Usinagem		
Obs.: Não foi possível referenciar esses componentes no desenho de conjunto		