



PROJETO DE GRADUAÇÃO

Concepção e análise estática do quadro de um triciclo “Velomóvel”

Por,

Tiago Lucas Sandino Batista do Carmo

Brasília, 19 de junho de 2017

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

PROJETO DE GRADUAÇÃO

Concepção e análise estática do quadro de um triciclo “Velomóvel”

POR,

Tiago Lucas Sandino Batista do Carmo

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro Mecânico.

Banca Examinadora

Profa. Dianne Magalhães Viana, UnB/ ENM
(Orientadora)

Prof. José Maurício Santos Torres da Motta, UnB/
ENM

Prof. Walter de Britto Vidal Filho, UnB/ ENM

Brasília, 19 de junho de 2017

Dedicatória

*Dedico este trabalho aos amigos e amigas que
caminham ou caminharam ao meu lado nessa
jornada.*

Agradeço especialmente à professora Dianne, que tornou a construção desse trabalho possível.

Tiago

RESUMO

Velomóvel é um veículo de tração humana dotado de carenagem, que tem como o objetivo oferecer conforto ao usuário e fornecer vantagem aerodinâmica. Com as mudanças climáticas, a busca por alternativas de transporte se torna cada dia mais importante. Nesse contexto, esse trabalho apresenta o velomóvel como uma alternativa sustentável de mobilidade urbana e propõe o projeto de um triciclo que possa servir de base para o desenvolvimento de um velomóvel.

Nesse estudo foi desenvolvido um modelo de quadro de triciclo do tipo *tadpole* e realizada análise estática por elementos finitos por meio da ferramenta computacional Solidworks. Foi proposto, também, um sistema de direção para o triciclo visando a estabilidade e facilidade de navegação. Os demais componentes foram selecionados possibilitando a realização de uma estimativa de custo para fabricação de um protótipo.

ABSTRACT

Velomobile is a human powered vehicle with a fairing made to provide confort and aerodynamic improvement in such a way that improves efficiency. The climate change make the search for alternative solutions for transportation even more urgent. In this context this work presents the velomobile as an alternative sustainable vehicle to urban transportation and propose a tricycle design that can make the foundation to a development of a velomobile.

In this study was developed a tricycle tadpole frame model and a finite element analysis in the software SolidWorks. It was, also, proposed a steering system for the vehicle in such a way that the stability and friendly maneuverability is achieved. The remaining components of the vehicle were selected enabling an estimate of the building costs.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Apresentação.....	1
1.2 Objetivos	2
1.2 Composição e Estrutura do trabalho.	2
2 Estudo preliminar	3
2.1 História do velomóvel.....	3
2.2 Os primeiros velomóveis.....	4
2.3 Estudo inicial.....	7
2.3.1 Modelos	7
2.3.2 Velomóveis competitivos.....	8
2.3.3 Velomóveis comerciais de alta performance.....	8
2.4 Anatomia de um velomóvel.....	8
2.4.1 Carenagem	9
2.4.2 Rodas.....	10
2.4.3 Transmissão	10
2.4.4 Assistência elétrica	11
2.4.5 Freios	12
3 Mobilidade Urbana e Legislação.....	13
3.1 Introdução	13
3.2 Plano cicloviário de Brasília	13
3.3 Perfil do Distrito Federal.....	14
3.4 Mapa cicloviário de Brasília	14
3.5 A viabilidade do velomóvel como produto.....	15
3.6 O que a legislação diz.....	15
4 Aspectos de Projeto	16
4.1 Introdução	16
4.1 Estabilidade	16
4.2 Geometria da direção (Steering Geometry)	16
4.2.1 Ângulo de caster	17

4.2.2 Cambagem (Camber)	17
4.2.3 A distância entre eixos (Wheel base).....	18
4.2.4 Distância entre rodas (Wheel track).....	18
4.2.5 Compensação de Ackerman.....	19
4.3 Materiais	19
4.3.1 Alumínio	19
4.3.2 Cromo Molibdênio	20
4.3.3 Aço Carbono	20
4.4 Projeto da traseira	20
4.4.1 Suporte Duplamente escorado	21
4.4.2 Suporte Escorado em Ângulo	21
4.4.3 Suporte Completamente Triangulado	22
4.5 Sistema de direção	22
4.5.1 Sistema de haste única.....	23
4.5.2 Sistema de articulação dupla	23
5 Metodologia e proposta de projeto.....	24
5.1 Proposta de projeto.....	24
5.2 Metodologia	24
5.3 Projeto.....	26
6 O Quadro	27
6.1 Introdução	27
6.2 Desenho.....	28
6.3 Análise por elementos finitos	29
6.3.1 Determinação do material, geração e qualidade de malha	29
6.3.2 Determinação da aplicação das forças e posicionamento das restrições	31
6.3.3 Cenário 1	31
6.3.4 Cenário 2	33
6.3.5 Cenário 3	35
7 Sistema de direção	37
7.1 Introdução	37
7.2 Tipos de sistema de direção	37
7.3 Geometria de direção.....	38
7.4 Junta de direção	41

7.5 Projeto do sistema de direção.....	41
8. Transmissão e Freio	43
8.1 Transmissão	43
8.2 Freios	44
8.2.1 Seleção do freio	45
9. Soldas.....	46
9.1 Dimensionamento dos cordões de solda	46
10. Montagem e orçamento	47
10.1 Lista de seleção de peças.....	47
10.2 Custo de fabricação e previsão de gastos	48
11 Conclusão	50
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	51
ANEXOS	54

LISTA DE FIGURAS

2.1 Quadro sócio tecnológico	3
2.2 O Velo Torpille, novembro 1913	4
2.3 Velomóvel moderno	4
2.4 Filho de Charles Mochet em seu Velocar.....	5
2.5 Anúncio de <i>Velocar</i>	5
2.6 Velomóvel Varna Diablo quebrou o record de 130 km/h em Battle Mountain.....	6
2.7 Diferentes modelos de velomóvel.....	6
2.8 Exemplos de modelos de velomóveis	7
2.9 Velo X3 em Battle Mountain	8
2.10 Velomóvel de alta performance	8
2.11 Anatomia de um velomóvel comercializado na Europa.....	9
2.12 Imagem comparativa de carenagens	9
2.13 Transmissão comum de bicicleta	10
2.14 Vista explodida de um motor <i>Hub</i>	11
2.15 Imagem comparativa de freios.....	12
3.1 Foto de ciclovias no DF.....	13
3.2 Malha cicloviária do DF	14
4.1 Ângulo de <i>Caster</i> e <i>Kingpin</i>	17
4.2 Cambagem.....	17
4.3 Distância entre eixos e rodas de um veículo	18
4.4 Compensação de Ackerman.....	19
4.5 Suporte duplamente apoiado	21
4.6 Suporte escorado em ângulo	21
4.7 Suporte completamente triangulado	22
4.8 Patente de um triciclo com sistema de direção por inclinação	22
4.9 Sistema de haste única.....	23
4.10 Sistema de articulação dupla	23
5.1 Ilustração demonstrativa da proposta de projeto	24
5.2 Fluxograma de processo de projeto	25
5.3 Divisão do projeto de um veículo de propulsão humana por áreas	26
5.4 Etapas desenvolvidas no projeto	26
6.1 Diferença entre as posições reclinada e tradicional	27
6.2 Imagem comparativa <i>Delta</i> e <i>Tadpole</i>	27
6.3 Desenho preliminar do quadro	28
6.4 Desenho final do quadro	28
6.5 Propriedades mecânicas da liga de alumínio 6061 – T6	29
6.6 Seção transversal do quadro do triciclo.....	30
6.7 Imagem em detalhe e dados da malha gerada.....	30
6.8 Ilustrações das restrições e posicionamento da carga	31
6.9 Máxima tensão e resultado deformado do quadro.....	32
6.10 Posicionamento da carga no cenário 2	33
6.11 Localização da região onde é observada máxima tensão	33
6.12 Resultado deformado do quadro.....	34
6.13 Posicionamento das cargas no cenário 3	35
6.14 Região de tensão máxima registrada no cenário 3	35
6.15 Resultado deformado do quadro registrado no cenário 3	36

7.1 Diagrama processual do projeto do sistema de direção	37
7.2 Sistema de direção direto.....	38
7.3 Sistema de direção por conexões	38
7.4 Triciclo Tripendo <i>Tadpole</i> com sistema de direção por inclinação	38
7.5 Vista lateral do triciclo ilustrando ângulo de <i>caster</i>	39
7.6 Cambagem.....	39
7.7 Vista frontal do triciclo ilustrando os ângulos de <i>kingpin</i> e cambagem.....	40
7.8 Compensação de Ackerman	40
7.9 Desenho da junta de direção desenvolvido	41
7.10 Esquema que ilustra o sistema de direção escolhido	41
7.11 Vista superior do sistema de direção proposto	42
8.1 Ilustração do sistema de transmissão	43
9.1 Ilustração do sistema de transmissão	44

LISTA DE TABELAS

4.1 Tratamentos da liga de alumínio 6061 e suas propriedades	20
4.2 Tratamentos da liga de cromo molibdênio 4130 e suas propriedades	21
6.1 Resultados obtidos para o cenário 1	33
6.2 Resultados obtidos para o cenário 2	35
6.3 Resultados obtidos para cenário 3	37
8.1 Características da transmissão selecionada	43
8.2 Distância percorrida ao repouso em função da velocidade	44
8.3 Comparativo entre modelos de freio a disco	45
9.1 Resultados de tensão nos cordões de solda	46
10.1 Lista de peças a serem compradas	47
10.2 Estimativa do custo do quadro	48
10.3 Estimativa do custo de fabricação.....	48
10.4 Estimativa do custo do triciclo.....	49
10.5 Características do triciclo.....	49

LISTA DE TERMOS ESTRANGEIROS

Human Power Vehicle: Veículo de propulsão humana.

IHPVA (International Human power Vehicle Association): Associação internacional cujo objetivo principal é promover os veículos de propulsão humana.

Kingpin: Eixo central da direção, é uma peça que integra a junta de direção.

Caster angle: ângulo característico da geometria da direção responsável pela tendência da rodas retornarem a posição neutra após realizar uma curva.

Head Tube: é o tubo do quadro de uma bicicleta em que o eixo da direção se encaixa.

Head Set: conhecido como caixa da direção no brasil é o mancal que se encaixa no Head Tube e no eixo da direção.

Botton bracket: é o suporte presente no quadro de uma bicicleta onde se encaixa a peça conhecida no Brasil como movimento central, ou caixa de centro.

Deraillleur: Câmbio tradicional de bicicleta.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

O termo "Sustentabilidade" surgiu pela primeira vez em 1987 e sua primeira definição aparece no Relatório de Brundtland. Este documento, intitulado como “Nosso Futuro Comum” (CMMAD,1988) , definiu desenvolvimento sustentável como “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades”. Desde então, este tema constitui-se como um grande desafio às nações de todo o mundo.

Em 1992, aconteceu no Rio de Janeiro a mais importante convenção sobre meio ambiente, que ficou conhecida como a “Cúpula da Terra”, ou Eco 92. Desta convenção surgiu como resultado a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima, da qual derivaram alguns protocolos, os quais têm como referência o protocolo de Quioto, que estabelece a adoção da política de créditos de carbono. Desde então, a procura por meios de transporte alternativos ganhou espaço como forma de reduzir o uso do automóvel comum, isto é, movido a combustíveis fósseis e, por isso, um dos grandes vilões na contribuição para o aquecimento global e poluição do ar atmosférico.

De fato, um problema característico de centros urbanos consiste no crescimento da frota de automóveis, que causa o esgotamento dos sistemas de circulação, aumento da poluição e da insegurança, o consumo de recursos não renováveis, enfim, dificulta a sustentabilidade. A inclusão de bicicletas e de sistemas de circulação complementares à rede viária motorizada contribui para a mobilidade urbana sustentável (Tomiello et al, 2011).

Assim, de acordo com a Secretaria de Transportes, a inclusão da bicicleta nos deslocamentos urbanos deve ser considerada "como elemento para implantação do conceito de mobilidade urbana sustentável e como forma de redução do custo da mobilidade das pessoas" (Ministério das Cidades, 2007).

A questão da mobilidade urbana tem se constituído em um desafio às políticas ambientais e urbanas, que passaram por um período de aumento das taxas de urbanização, de limitações das políticas públicas de transporte coletivo e de um aumento expressivo da motorização individual (automóveis e motocicletas), bem como da frota de veículos dedicados ao transporte de cargas (MMA, 2016).

Assim, é preciso pensar e construir soluções alternativas aos meios de transporte usuais. Veículos de propulsão humana são interessantes, pois não emitem gases com potencial de aquecimento global, e constituem dessa maneira uma opção de mobilidade sustentável dentro da cidade.

Velomóvel é um veículo de tração humana, pode ter duas, três ou quatro rodas e também pode ser assistido por um motor elétrico. Normalmente são triciclos e o usuário fica reclinado. Uma de suas características marcantes é possuir carenagem (envoltória, corpo aerodinâmico), que possui diferentes

funções, tais como: proteger o usuário das adversidades externas e fornecer uma vantagem aerodinâmica ao veículo, proteger contra impactos, armazenar objetos a serem transportados e possibilidade de instalação de elementos de sinalização. (Sorensen, 2012).

Esse veículo constitui uma alternativa de mobilidade urbana que possui diversas qualidades, entre elas, oferecer conforto ao usuário e não emitir gases poluentes ou com potencial de aquecimento global. Nesse contexto surge esse trabalho que tem por objetivo desenvolver o projeto de um triciclo que possa ser utilizado no desenvolvimento de um velomóvel.

1.2 Objetivos

O objetivo geral consiste em conceber o projeto de um triciclo que possa ser utilizado no desenvolvimento de um velomóvel e a realizar a análise estática do quadro.

Os objetivos específicos são:

- Desenvolver e desenhar no *software* SolidWorks um modelo de quadro de triciclo, avaliar a resistência mecânica do quadro desenvolvido por meio de uma Análise de Elementos Finitos e projetar soldas a serem realizadas no quadro;
- Propor um sistema de direção para o triciclo, apresentar um sistema de transmissão e selecionar seus componentes bem como o freio;
- Selecionar demais componentes, fazer lista de compras e orçamento.

1.2 Composição e Estrutura do trabalho.

Este trabalho será dividido da seguinte forma:

Capítulos 1 a 4: Estudo preliminar que contemplará a história do velomóvel, a análise de alguns modelos desse veículo, o estudo de seus componentes e principais aspectos a serem levados em conta no projeto.

Capítulos 5 a 9: Será apresentada a metodologia, o desenvolvimento do quadro, do sistema de direção, transmissão e freio, e o dimensionamento das soldas do quadro.

Capítulos 10 e 11: Montagem, orçamento e conclusão.

2 Estudo preliminar

2.1 História do velomóvel

A história do velomóvel data do século XIX junto com a bicicleta, ambos pertencem a mesma estrutura tecnológica, isto é, a tecnologia ciclística. Os primeiros veículos assemelhavam-se a um automóvel e apareceram por volta de 1885. Possuíam 3 ou 4 rodas e assento na posição reclinada, alguns tinham espaço para armazenar pertences. Ganharam certa popularidade até o início do século XX. Com a estabilização da bicicleta esses veículos perderam espaço.

Na mesma época surgiam os primeiros automóveis. As diferenças entre uma carruagem, um triciclo motorizado e um automóvel eram muito sutis. Durante a primeira onda de automóveis na década de 1900, veículos com pedais para pessoas que não tinham condições financeiras para comprar uma versão com motor foram comercializados. Com o desenvolvimento da produção em escala, o preço do motor diminuiu e esses “carros a pedal” caíram em desuso. (Van de Walle, 2004, p. 40)

Aparentemente todos os tipos de veículos para locomoção pessoal surgiram nesse período. E entre uma grande gama de invenções apenas algumas soluções prevaleceram. Às vezes não por ser a solução mais apropriada, mas a solução que favoreceria certos grupos sociais. É nesse contexto que surge a importância de reconstruir a história do velomóvel.

Segundo Van de Walle (2004, p. 77) o velomóvel pertence ao que ele chama de quadro sócio tecnológico da bicicleta, motocicleta e automóvel. A figura 2.1 ilustra esta ideia:

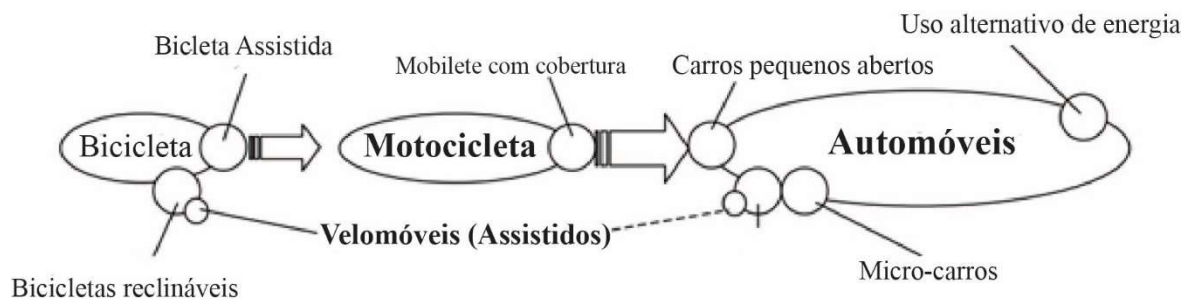


Figura 2.1: Quadro sócio tecnológico. (Van de Walle, 2004 - Adaptada)

A Figura (2.1) caracteriza os velomóveis assistidos por motor como um tipo de veículo que figura entre uma bicicleta e um automóvel. Ao mesmo tempo mostra que não é possível categorizar o velomóvel por uma perspectiva de evolução linear, dessa maneira não há posição para ele neste quadro.

2.2 Os primeiros velomóveis

A partir de uma definição aberta e livre qualquer veículo de tração humana com um perfil aerodinâmico pode ser considerado um velomóvel.

Um marco definitivo na história dos veículos de tração humana foi a volta que Marcel Berthet deu no seu Velo Torpille, em Paris, em 1913, Fig. (2.2). Ele rodou 10 km em uma velocidade média de 57 km/h e estabeleceu recordes em 1 e 5 km com sua máquina (Van de Walle, 2004, p 41).



Figura 2.2: O Velo Torpille, novembro 1913. (Bibliothèque Nationale de France)

Atualmente a palavra velomóvel adquiriu novos valores, como por exemplo, a praticidade e conforto. A Figura (2.3) apresenta um velomóvel atual comercializado pela empresa *BetterBike*. Esse veículo moderno possui assistência de motor elétrico e painel fotovoltaico para recarregar a bateria, que dá potência ao motor. Além disso possui luzes de sinalização e iluminação, um *cockpit* onde é possível posicionar um celular que por sua vez tem um aplicativo que funciona como velocímetro, gps e rádio.



Figura 2.3: Velomóvel moderno. (O'BRIEN, 2013)

O primeiro velomóvel a ser comercializado bem documentado é conhecido como *Velocar* concebido por Charles Mochet. Entre 1925 e 1944 foram produzidos seis mil *Velocar*. A origem da ideia de construir o *Velocar*, Fig (2.4), surgiu quando o filho de Mochet pediu uma bicicleta de presente e sua mãe não permitiu por causa do perigo relacionado ao trânsito em Paris. Charles então resolveu construir para seu filho um veículo leve semelhante a uma bicicleta. Seu filho adorou sua nova máquina e em meio à essa euforia Mochet começou a produção do *Velocar*. (Van de Walle, 2004, p. 41)

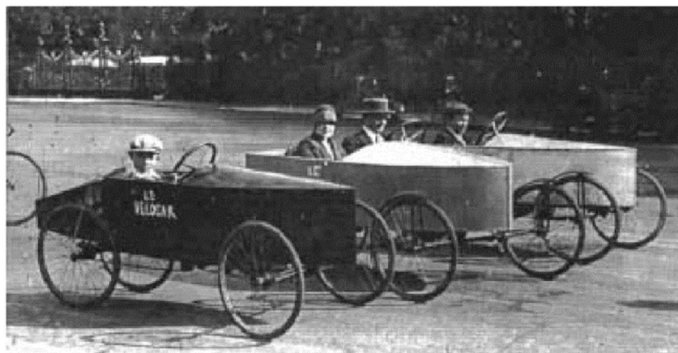


Figura 2.4: Filho de Charles Mochet em seu Velocar. (Van De Walle, 2004)

Mochet começou a comercializar o Velocar em 1925, o preço era similar ao da motocicleta, mas não necessitava combustível, tinha lugares para 2 pessoas e espaço para bagagem. Muitos gostavam do fato de ser um exercício extra, por essas razões o *Velocar* foi relativamente um sucesso, Fig (2.5). (Van de Walle, 2004, p. 41)



Figura 2.5: Anúncio de *Velocar*. (OppositeLock)

Após a Segunda Guerra a venda de *Velocars* diminuiu devido ao boom da indústria automobilística. Assim houve um declínio no uso de bicicletas e o interesse em tecnologias ciclísticas diminuiu. Apenas depois da crise na indústria do petróleo em 1970 que houve um ressurgimento das ideias ciclísticas como alternativa. (Van de Walle, 2004, p. 42)

Em 1970 a criação da IHPVA (Associação Internacional de Veículos de Tração Humana) foi um divisor de águas na história dos veículos de tração humana. A inovação e desenvolvimento desse tipo de tecnologia passou a ser organizada, Fig. (2.6).



Figura 2.6: Velomóvel Varna Diablo quebrou o record de 130 km/h em Battle Mountain, competição organizada pela IHPVA. (Van De Walle, 2004, p. 47)

A ideia principal foi reunir pessoas interessadas em construir veículos de tração humana em competições com o objetivo de quebrar recordes e romper limites. A associação organizou competições que rapidamente ganharam repercussão. Universidades renomadas passaram a participar e prêmios para as equipes vencedoras foram oferecidos. A associação teve origem nos Estados Unidos, mas desde o início tinha membros de outros países o que deu seu caráter internacional desde o início (Van de Walle, 2004, p. 47).

A criação da associação internacional de veículos de tração humana foi muito importante para o desenvolvimento tecnológico de veículos ciclisticos e para a afirmação cultural do velomóvel, Fig (2.7). No Brasil a cultura do velomóvel ainda se expressa de maneira tímida. Há pouco conteúdo criado acerca do tema e não existe nenhum tipo de organização coletiva que se proponha a fomentar e divulgar tal veículo. Assim surge a necessidade de realizar um estudo preliminar a respeito da aplicabilidade e da viabilidade do velomóvel no contexto nacional e especialmente em Brasília, que é famosa por seu potencial ciclistico.



Figura 2.7: Diferentes modelos de velomóveis. (Fuch, 2001)

2.3 Estudo inicial

Antes de projetar um veículo de tração humana, como o velomóvel, é necessário realizar um estudo e fazer uma análise de diferentes modelos e projetos desse veículo. Além disso, nessa sessão será realizada uma breve descrição e listagem das partes constituintes nesse veículo.

2.3.1 Modelos

Velomóveis existem nos mais variados tipos e modelos, e por isso é difícil classificá-los em diferentes categorias. Esses veículos podem, por exemplo, ser pequenos e rebaixados para garantir peso e arrasto reduzidos. Existem também aqueles que são altos e espaçosos assegurando mais conforto ou até a possibilidade de um passageiro extra. Alguns possuem assistência elétrica para facilitar a condução do usuário em subidas, e em alguns casos possuem até painéis fotovoltaicos para recarregar a bateria, que dá potência ao motor elétrico. Diferentes modelos são ilustrados na Figura 2.8.



Figura 2.8: Exemplos de modelos de velomóveis. (Fonte¹)

Diferentes modelos surgem de acordo com as necessidades do usuário, mas existem alguns pontos comuns entre todas as variedades. A característica mais fundamental é ter como principal fonte de potência a tração humana. Outro aspecto compartilhado entre variados modelos é uso de tecnologia ciclística na sua fabricação.

¹ Colagem feita a partir das seguintes fontes: Ball, B., Newbauer, S., Vittouris, A., Thomas, J..

2.3.2 Velomóveis competitivos

Esse modelo de velomóvel é projetado com o objetivo exclusivo de quebrar recordes de velocidades. Esse tipo de veículo requer uma equipe para garantir o bom funcionamento ao decorrer da competição. A figura 2.9 apresenta um velomóvel competitivo, de nome Velo X3, que ganhou a competição mundial que ocorre em *Battle Mountain*. Esse velomóvel atingiu uma velocidade de 133,78 km/h na competição em 2013.



Figura 2.9: Velo X3 em Battle Mountain. (Dansie, 2013)

2.3.3 Velomóveis comerciais de alta performance

Existem velomóveis que apesar de não serem projetados para competição priorizam a eficiência em detrimento da praticidade. São veículos estreitos, com o objetivo de diminuir o arrasto, e por isso o espaço do usuário fica muito restrito. São velomóveis indicados para pessoas que não se importam tanto com o conforto e procuram um veículo mais eficiente capaz de atingir velocidades elevadas, Fig. (2.10)



Figura 2.10 Velomóveis de alta performance. (Miller, S., et al, 2010)

2.4 Anatomia de um velomóvel

Para projetar um velomóvel é necessário conhecer os conjuntos, subconjuntos e componentes que integram esse veículo. Com o objetivo de detalhar esse conteúdo foi realizada uma pesquisa preliminar

e aqui são descritos os principais componentes. A Figura (2.11) apresenta uma ilustração de um velomóvel em que é possível ter um relance de suas partes constituintes.

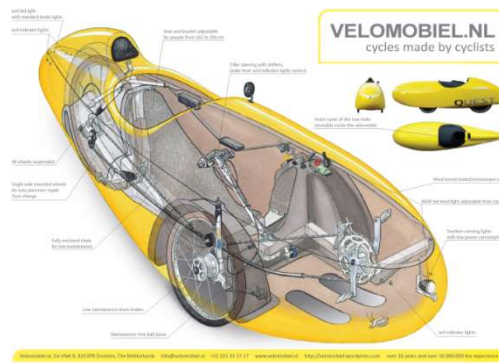


Figura 2.11: Anatomia de um velomóvel comercializado na Europa. (Kenneth, 2015)

2.4.1 Carenagem

A carenagem tem o objetivo de proteger o usuário das adversidades externas, oferecer conforto e favorecer aerodinamicamente para que o veículo seja mais eficiente. Muitos velomóveis são baixos e estreitos para garantir baixo arrasto e eficiência elevada, isto em contrapartida diminui a praticidade e o conforto. Em contrapartida, outros possuem maior altura e espaço para oferecer mais conforto ao usuário em detrimento da eficiência aerodinâmica.

A carenagem de um velomóvel é frequentemente feita em formato de casco para aumentar a rigidez e resistência. É normalmente feito de material compósito endurecido termicamente composto por epóxi, fibra de vidro ou carbono com tecido de Kevlar para proteger contra colisões (Sorensen, 2015). A Figura (2.12) apresenta dois velomóveis que possuem carenagens com propósitos diferentes. Enquanto o primeiro visa alto desempenho, o outro busca conforto ao usuário.



Figura 2.12: À esquerda uma imagem de um velomóvel com carenagem em tradicional formato de casco. À direita, velomóvel com carenagem alta, que proporciona mais conforto ao usuário. (Ball, 2010 – Lofgren, 2012)

2.4.2 Rodas

Historicamente o velomóvel é um veículo que faz uso de tecnologia ciclística. As rodas mais comumente utilizadas nesses veículos são de bicicletas. Elas são leves, possuem baixo custo e oferecem baixa resistência a rolagem e por isso são bastante eficientes.

A resistência a rolagem é função de muitos parâmetros, alguns são mais fixos como o tamanho do pneu e sua largura, material de reforço, composto de borracha e os padrões dos sulcos. Outros são variáveis, como a temperatura, a superfície da pista e a pressão do pneu. Basicamente, quanto mais flexível e fino o pneu, mais facilmente rolará. Também rola melhor em temperaturas elevadas e superfícies lisas. A pressão do pneu é diferente. Existe uma pressão de ar ótima que resulta na menor resistência a rolagem para cada pneu dependendo das condições da superfície da pista e da temperatura. Pressão mais elevada que o necessário provoca aceleração vertical do veículo devido a imperfeições na estrada. Essa aceleração vertical necessita de energia que não seria necessária se em vez disso o pneu tivesse menos pressão e absorvesse a imperfeição. (Lafford, 2010)

Existem diferentes configurações possíveis no projeto de um velomóvel, e por isso eles podem variar em número de rodas de acordo com o modelo e a função. Quanto menor o número de rodas menor o peso e a resistência a rolagem, contudo velomóveis com apenas duas rodas são veículos que necessitam de auxílio ao sair do repuso e ao parar. Dessa maneira, a configuração mais utilizada é com três rodas, visto que oferece menor peso e menor resistência a rolagem que veículos com quatro rodas.

2.4.3 Transmissão

Com a finalidade de transferir a propulsão do pedal para a roda motora é necessária uma transmissão. É preferível que esta seja de múltiplas marchas para que o motorista possa alternar segundo a necessidade. A transmissão comum com corrente vista em bicicletas é a mais usada devido ao seu peso reduzido e eficiência elevada, Fig. (2.13).



Figura 2.13: Transmissão comum de bicicleta. (Rankovic – Modelo CAD)

2.4.4 Assistência elétrica

Os velomóveis podem possuir assistência elétrica para auxiliar o usuário em estradas íngremes. Existem algumas soluções diferentes para o sistema de assistência elétrica. Alguns veículos possuem painéis fotovoltaicos e sistemas de regeneração de energia para recarregar a bateria que dá potência ao motor, por exemplo.

A assistência elétrica pode ser feita por um motor do tipo *hub*, Fig. (2.14), e funcionar como *pedelec*, isto é, a assistência se dá quando o motorista está pedalando. Isto difere o velomóvel de veículos como motos pois só é propulsionado pelo motor se o usuário estiver pedalando. É importante que funcione como *pedelec* e que respeite as outras normas aplicadas para que seja equiparado legalmente a uma bicicleta elétrica.

Existe também a opção de implementar um sistema em que a transmissão do pedal utilizada é comum de bicicletas e o motor elétrico é acionado de maneira independente do pedal e apenas quando o usuário sente necessidade.

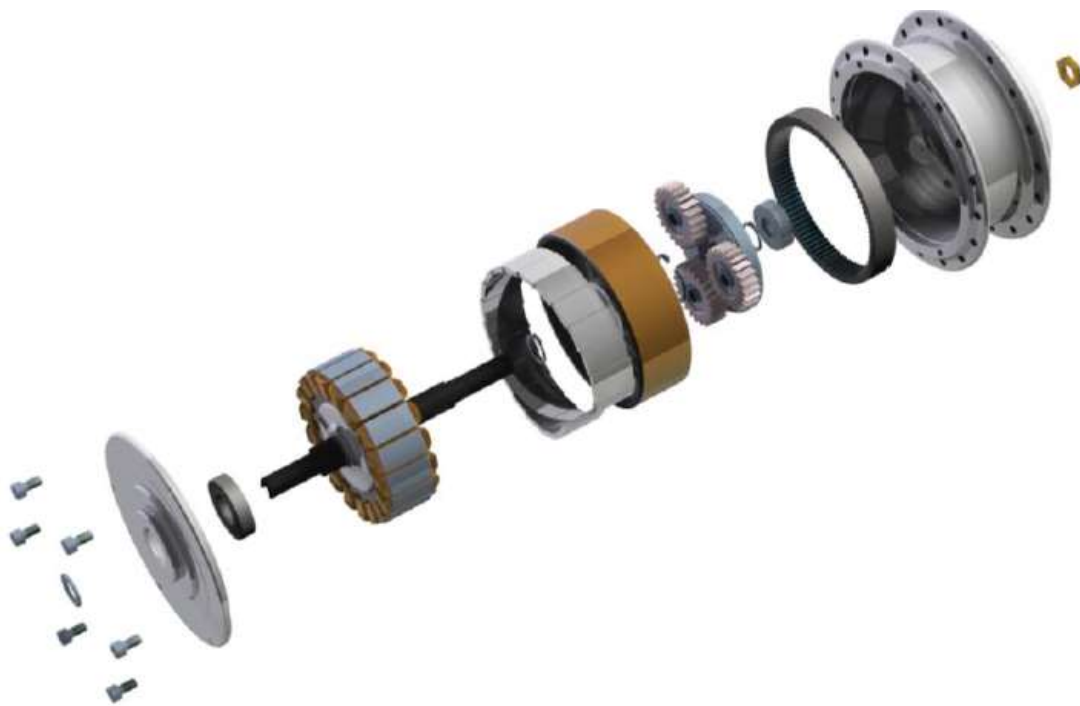


Figura 2.14: Vista explodida de um motor *Hub*. (Sorensen, 2015)

2.4.5 Freios

Os tipos de freio mais comumente utilizados são a disco e de *cantilever*, Fig. (2.15). A principal vantagem deste é o custo e a confiabilidade. Mas os freios a discos estão cada vez mais populares devido ao baixo custo aliado ao desempenho e confiabilidade.



Figura 2.15: À esquerda imagem de freio a disco e à direita imagem de freio *cantilever*. (BikeRadar, 2014 – Lee, 2010)

Freios a disco podem ser caracterizados segundo o tipo de atuação como mecânicos ou hidráulicos. Os freios mecânicos são aqueles que seu acionamento se dá por meio de cabos, esse tipo de freio tem custo reduzido e exige pouca manutenção. Os hidráulicos por outro lado oferecem maior potência e controle na frenagem, mas são mais caros e requerem mais manutenção.

3 Mobilidade Urbana e Legislação

3.1 Introdução

Este capítulo contemplará um estudo preliminar a respeito da viabilidade de um velomóvel para mobilidade em Brasília. Abordará, também, as políticas públicas de incentivo ao uso de meios alternativos de locomoção bem como a legislação local aplicada a bicicletas e veículos auxiliados por motor.

3.2 Plano cicloviário de Brasília

O Distrito Federal quer se tornar conhecido por uma das maiores malhas cicloviárias no mundo: 600 km de vias exclusivas para bicicletas. O Programa Cicloviário, que teve início em 2005, já tem 400 km de vias concluídas e previa a conclusão dos 200 km restantes até 2015. (Mota, 2014).

Como pode-se observar em Brasília houve um grande esforço para se tornar a capital do ciclismo, em 2015 não completou os 200 km restantes de ciclovia, contudo essa iniciativa de se tornar a cidade com a maior malha cicloviária no Brasil reflete uma tendência, Fig. (3.1).



Figura 3.1: Foto de ciclovia no DF. (Mota, 2014)

Com o objetivo de oferecer a opção de transporte de bicicleta em condições de segurança e conforto à população, foi criado em 2005, o Programa Cicloviário do Distrito Federal. Um dos principais elementos do Programa foi a integração da bicicleta como transporte público, além de ações que ampliam a segurança no trânsito para todos os meios e buscam reduzir o número de acidentes envolvendo ciclistas. (Mota, 2014)

A tendência que tem se observado é da mudança na forma como se pensa o trânsito em Brasília. A busca por meios de transporte alternativos cresce à medida que o trânsito nos grandes centros são cada dia mais caóticos.

3.3 Perfil do Distrito Federal

O Distrito Federal está localizado na região Centro-Oeste e concentra a sede dos poderes executivo, legislativo e judiciário brasileiros. É a menor unidade administrativa do país, com área 5,8 mil km quadrados, dividido em 31 regiões administrativas, onde vivem 2,5 milhões de pessoas com frota de 1,4 milhões de automóveis. (Mota, 2014)

Embora possua uma vocação natural para o ciclismo – topografia plana, chuvas sazonais, temperatura de cerca de 24°C, e a bicicleta seja intensamente utilizada para trabalho, só a partir de 2005 começou a ser implantado um programa público de mobilidade que incentiva e dá condições para adoção da bicicleta como meio de transporte. (Mota, 2014)

O perfil de Brasília se mostra ideal ao uso de bicicletas. O trânsito no centro e nos horários de pico estão cada dia mais pesado e por isso a necessidade de fomentar novas alternativas de locomoção como o velomóvel e outros veículos do quadro tecnológico ciclístico.

3.4 Mapa ciclovitário de Brasília

O potencial ciclovitário de Brasília aumentou muito desde a implementação das ciclovias e ciclofaixas. A Figura (3.2) apresenta o mapa das ciclovias entregues e previstas para entrega.



Figura 3.2: Malha ciclovitária do DF (Mota, 2014).

3.5 A viabilidade do velomóvel como produto

A cultura do velomóvel vem ganhando espaço no mundo. Com a questão do aquecimento global cada vez mais evidente, a procura por meios alternativos de transporte tem crescido bastante.

Em Brasília, a implementação das ciclovias e ciclo faixas colocam em evidência os meios de transporte ciclísticos. O Velomóvel ganha espaço nesse contexto também e precisa ser fomentado. Outro fator que traz em pauta os veículos ciclísticos é o preço elevado dos derivados do petróleo.

A cultura do velomóvel é extensa e necessita fomentação porque é uma alternativa de veículo sustentável e saudável.

3.6 O que a legislação diz

No Brasil recentemente foram criadas normas que regulamentam o uso de bicicletas assistidas por motor elétrico. A legislação não prevê o uso de veículos como velomóvel, entretanto serve de base para um projeto de velomóvel que queira se encaixar na legislação aplicada a bicicleta elétrica.

De acordo com o CONTRAN as bicicletas elétricas que queiram ser equiparadas às comuns devem atender as seguintes condições dispostas na resolução nº465 do dia 27 de novembro de 2013:

- I – Potência nominal máxima de 350 Watts;
- II – Velocidade máxima de 25 km/h;
- III – Serem dotadas de sistema que garanta o funcionamento do motor somente quando o condutor pedalar (pedal assistido ou pedelec);
- IV – Estarem dotadas de indicador de velocidade, campainha, sinalização noturna dianteira, traseira e lateral, espelhos retrovisores de ambos os lados, pneus em condições mínimas de segurança;
- V – Uso obrigatório de capacete.

4 Aspectos de Projeto

4.1 Introdução

O principal objetivo deste trabalho é a concepção e projeto de um veículo de propulsão humana para uso como alternativa de transporte. Nesse capítulo serão abordados os principais aspectos de projeto de um triciclo, os quais devem ser observados para o desenvolvimento do protótipo.

4.1 Estabilidade

Para garantir a estabilidade, um triciclo deve ser projetado de tal maneira que o centro de gravidade fique posicionado a um terço das rodas frontais. Isto garante que os esforços sejam distribuídos igualmente entre as rodas. (Huston et al, 1982)

A estabilidade de um veículo pode ser classificada em lateral e de rolagem. Estabilidade lateral está relacionada com a capacidade do veículo de realizar curvas sem derrapar, enquanto a estabilidade de rolagem está relacionada com a capacidade de realizar curvas sem capotar.

Fenner (2010) por meio de manipulações das equações propostas por (Huston et al, 1982) mostrou que as condições necessárias para que um veículo possua estabilidade lateral e de rolagem são:

- O centro de gravidade deve estar posicionado o mais próximo possível do eixo de duas rodas;
- A altura do centro de gravidade deve ser menor que a metade da distância entre rodas (*Wheel Track*);
- Se o centro de gravidade estiver posicionado na metade posterior do veículo, o veículo será estável para todas as velocidades.

4.2 Geometria da direção (*Steering Geometry*)

Para que um veículo seja estável, se comporte bem em velocidades variadas, realize curvas com facilidade e responda bem ao controle do usuário é necessário um bom projeto do sistema de direção. A geometria do sistema de direção é composta por ângulos que influenciam diretamente na resposta do veículo. Os principais ângulos são: *caster*, cambagem e *kingpin*.

Existem outras características importantes que determinam o bom funcionamento de um veículo, tais como a distância entre rodas (*wheel track*), a distância entre eixos (*wheel base*) e a compensação de Ackerman.

4.2.1 Ângulo de *caster*

O ângulo de *caster* ou ângulo de avanço é a medida do ângulo formado entre o eixo vertical e o eixo do *kingpin* medido a partir do plano da roda Fig. (4.1).

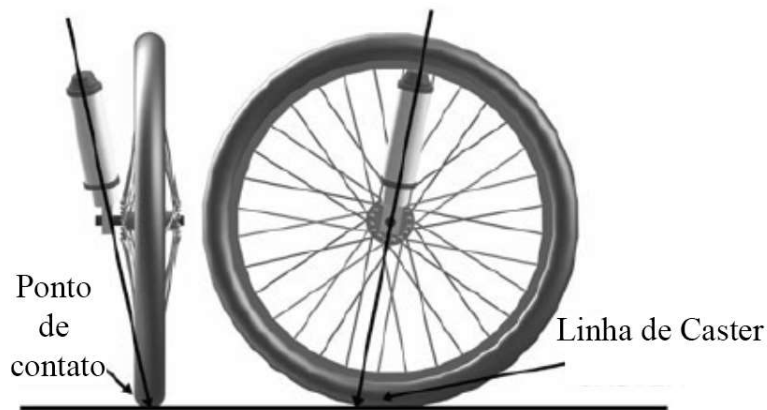


Figura 4.1: Ilustração do ângulo de Caster. (Graham e McGowan, 2008)

O sistema de direção gira no plano do *kingpin*, a relação entre a linha de contato do pneu e o *kingpin* força as rodas a apontar para dentro a medida que peso é colocado sobre as rodas. Ao aumentar o ângulo de *caster* mais força é aplicada no sentido de trazer as rodas para dentro. O efeito resultante da força faz a roda voltar a posição neutra. (Horwitz, 2015)

Não existe um consenso de qual é o ângulo de *caster* ideal, para diferentes velocidades a resposta do veículo nas* curvas varia de acordo com o ângulo. Entretanto o ângulo de *caster* utilizado varia entre 7 e 15°.

4.2.2 Cambagem (Camber)

O arqueamento diz respeito ao ângulo formado entre o plano do chão e o plano da roda. Se esse ângulo for 90° temos um arqueamento neutro. Se este ângulo for menor que 90° diz-se que o arqueamento é negativo e positivo para ângulos maiores que 90°. A Figura (4.2) apresenta os diferentes tipos de arqueamento.



Figura 4.2: Arqueamento. (Horwitz, 2015)

4.2.3 A distância entre eixos (*Wheel base*)

O efeito da distância entre eixos influencia a qualidade da direção, distribuição do peso e o conforto. A distância entre eixos é a distância entre o eixo frontal e o eixo traseiro. Uma pequena distância entre eixos implica curvas com pequenos raios, enquanto grande distância entre eixos implica curvas com raios maiores. Um triciclo com distância entre eixos pequena apresentará resposta a curvas mais rápida, em contrapartida um triciclo com distância entre eixos maior apresentará uma resposta mais suave. (Horwitz, 2015)

Dessa maneira, é necessário escolher uma distância entre eixos que satisfaça as condições de projeto. Esse parâmetro influencia no conforto que o veículo oferece, no peso e principalmente na facilidade em realizar manobras. Veículos com distância entre eixo muito elevadas tem limitações em realizar curvas fechadas.

4.2.4 Distância entre rodas (*Wheel track*)

A distância entre rodas é a distância entre a linha de centro de duas rodas de um mesmo eixo.. Esse parâmetro também influencia na qualidade da direção e estabilidade. Além disso, a distância entre as rodas tem papel fundamental no tamanho final do veículo, visto que é a dimensão que limita a largura do veículo.

Quanto maior a distância entre as rodas frontais o triciclo será menos suscetível a capotar ao realizar uma curva. Entretanto existe um limite nessa medida para que o veículo possa trafegar em ciclovias. Uma distância entre rodas de 32 polegadas (812,8 mm) oferece excelente controle e é adequado para pistas de bicicletas, também. (Horwitz, 2005)

A Figura (4.3) ilustra a distância entre rodas e a distância entre eixos, conceito supracitado.

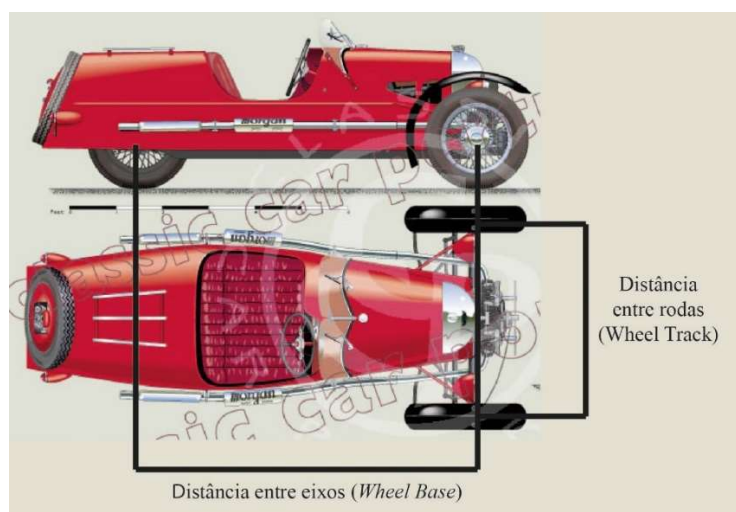


Figura 4.3: Distâncias entre eixo e rodas de um veículo. (ClassicPortraits)

4.2.5 Compensação de Ackerman

A compensação de Ackerman cria as condições para que o veículo realize a curva sem que as rodas derrapem. Ao realizar a curva a roda de dentro sempre vira mais que a de fora e todas as rodas giram em torno de um mesmo raio. A figura (4.4) ilustra o efeito.



Figura 4.4: Compensação de Ackerman. (Gillespie et al, 2008)

A compensação é obtida por meio do alinhamento da intersecção da alavanca do pivot das rodas frontais com o cubo da roda traseira, Fig. (4.4) (à direita).

4.3 Materiais

Com o objetivo de construir um triciclo leve e resistente a escolha do material do chassi é um ponto importante no projeto. Algumas variáveis devem ser levadas em consideração tais como, peso, rigidez, facilidade na construção e soldagem. Nessa sessão vamos falar sobre os três materiais mais utilizados na indústria ciclística, o alumínio, o titânio e o aço carbono.

4.3.1 Alumínio

O alumínio é um material que tem ganhado bastante mercado na indústria devido ao surgimento de novas tecnologias de extração e de fabricação o que tem deixado os preços bem competitivos. A liga mais utilizada atualmente é a 6061 T6. Isso acontece porque é um alumínio mais fácil de soldar e relativamente forte. A tabela 4.1 apresenta os graus mais comuns do alumínio 6061 e suas propriedades mecânicas:

Tabela 4.1: Tratamentos da liga de alumínio 6061 e suas propriedades

Tempera	Tratamento	Resistência a tração	Resist. ao escoamento
T0	Recozido	120 MPa	55 MPa
T4	Trat. Termicamente	210 MPa	110 MPa
T6	Trat. Termicamente	310 Mpa	270 MPa

4.3.2 Cromo Molibdênio

É uma liga conhecida informalmente como aço cromado. A liga AISI 4130 tem excelente resistência em função do peso e é considerada mais resistente e com maior dureza que os aços comuns (Horwitz, 2015). Não é de fácil soldagem e por isso os processos de soldagem utilizados devem ser MIG ou TIG. A Tabela 4.2 apresenta as propriedades mecânicas para a liga 4130:

Tabela 4.2: Tratamentos da liga de cromo molibdênio AISI 4130 e suas propriedades

Tratamento	Resistência a tração	Resistência ao escoamento
Recozido	551 MPa	345 MPa
Normalizado	620 MPa	483 Mpa
WQ&T	883 MPa	780 Mpa

4.3.3 Aço Carbono

De longe o material mais utilizado na indústria de bicicletas devido ao baixo custo, facilidade nos processos de fabricação e soldagem. Sua desvantagem em relação ao CroMo e alumínio é o peso.

4.4 Projeto da traseira

A estrutura que suporta o eixo traseiro necessita um projeto cuidadoso com o objetivo de suportar a carga vertical, a carga da corrente, e uma carga torcional lateral. Essas cargas são dinâmicas e interagem entre si, por isso é necessária uma atenção especial no projeto dessa estrutura.

Existem muitas formas de estruturas traseiras, contudo é possível reconhecer 3 padrões: Suporte Duplamente Escorado (*Dual Cantilevered Stay*), Suporte Escorado em ângulo (*Dual Angled Cantilevered Stay*), Suporte Completamente Triangulado (*Full Triangulated Stay*).

4.4.1 Suporte Duplamente escorado

É um tipo de estrutura mais simples e por isso sua grande vantagem é o custo baixo e peso reduzido. Suas desvantagens são confiabilidade e performance reduzidas. A Figura (4.5) ilustra esse tipo de estrutura.

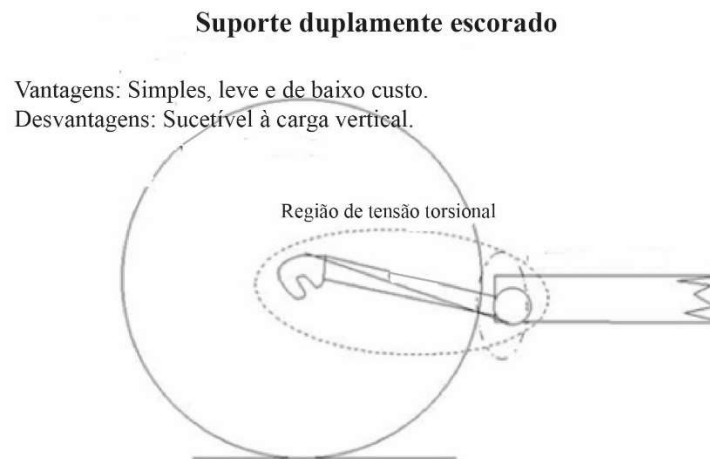


Figura 4.5: Suporte Duplamente Apoiado. (Horwitz, 2015 - Adaptado)

4.4.2 Suporte Escorado em Ângulo

Esse tipo de suporte é bem versátil e tem como principais vantagens a simplicidade, o baixo custo e oferecer mais resistência em relação ao Suporte Duplamente Escorado. O incremento na complexidade em contrapartida eleva o custo e o peso. Além disso esse tipo de suporte não oferece boa resistência às cargas da corrente. A Figura (4.6) apresenta esse suporte e algumas características.

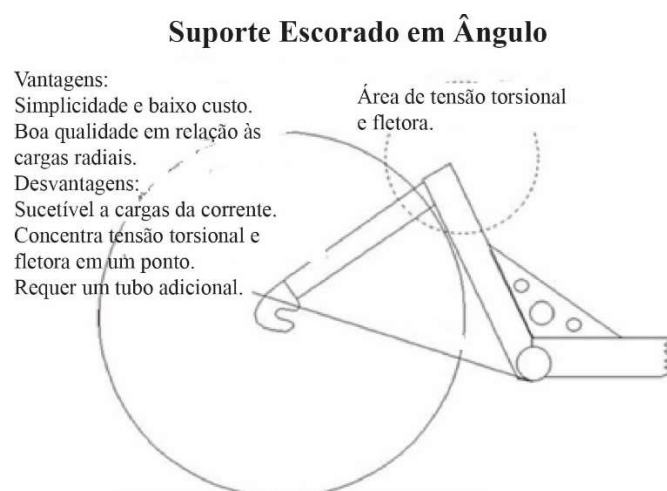


Figura 4.6: Suporte escorado em ângulo. (Horwitz, 2015 - Adaptado)

4.4.3 Suporte Completamente Triangulado

Esse tipo de suporte é o mais conhecido e tem sido utilizado por mais de um século. Suas vantagens são principalmente a confiabilidade e a resistência. A figura 4.9 apresenta esse tipo de suporte.

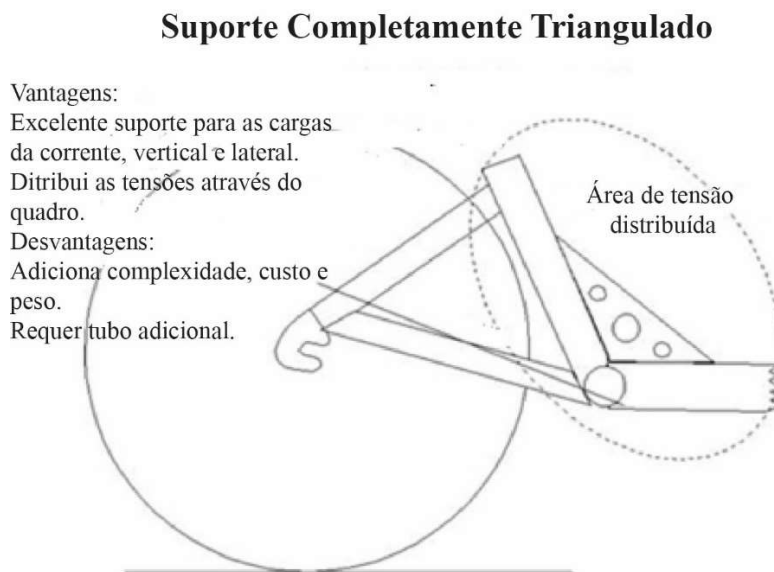


Figura 4.7: Suporte completamente triangulado. (Horwitz, 2015 - Adaptado)

4.5 Sistema de direção

O projeto do sistema de direção deve levar em consideração vários fatores. Para garantir a navegabilidade do triciclo o projeto deve levar em conta as três regras propostas por Fenner (2010) que assegura a estabilidade lateral e a estabilidade contra rolagem (*Rollover stability*), além disso é preciso lembrar da compensação de Ackerman, do ângulo de *caster* e da inclinação do *kingpin* para que o sistema de direção funcione corretamente. Garantido isso resta mencionar as possíveis configurações de sistemas de direção e suas articulações. Existem muitas, mas aqui serão apresentadas as configurações a serem analisadas para o projeto do triciclo.

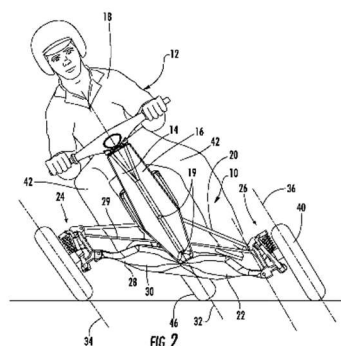


Figura 4.8: Patente de um triciclo com sistema de direção por inclinação. (Wilcox, 2010)

4.5.1 Sistema de haste única

Este tipo de sistema de direção era comum nos automóveis antigos e também em alguns tratores. Uma articulação entre as juntas garante a interconexão entre as rodas, enquanto a haste está conectada ao elemento central (*Bell Crank*). Essa configuração utiliza mais partes que o Sistema de articulação dupla, apesar disso apresenta uma compensação de Ackerman adequada, figura 4.11.

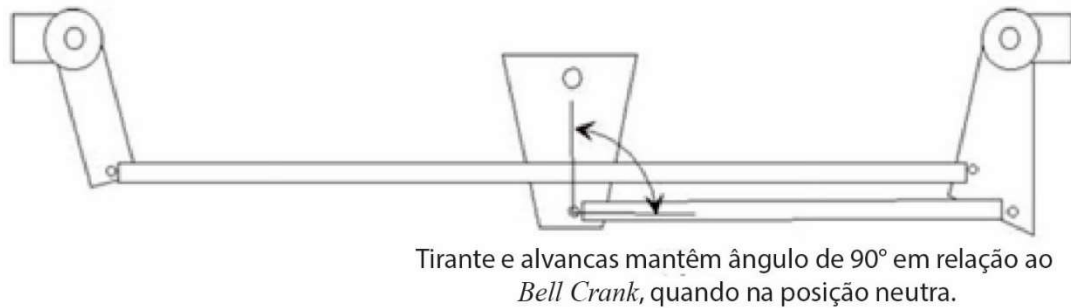


Figura 4.9: Sistema de Haste Única (Horwitz, 2015 - Adaptada)

4.5.2 Sistema de articulação dupla

Esse sistema oferece baixo peso e sua principal vantagem reside no fato de apresentar perfeita compensação de Ackerman. Esse sistema, figura 4.12, foi utilizado no Fusca da Volkswagen.

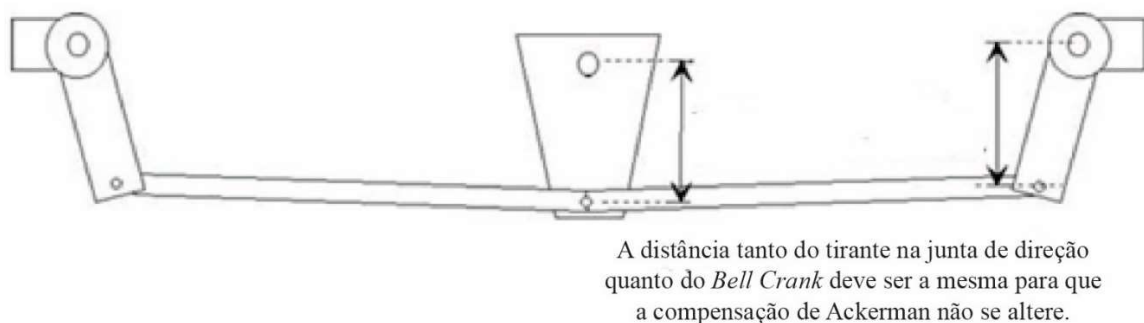


Figura 4.10: Sistema de articulação dupla (Horwitz, 2015 – Adaptada)

5 Metodologia e proposta de projeto

5.1 Proposta de projeto

O velomóvel se mostra uma ótima solução para essa necessidade apresentada. A proposta é projetar um triciclo que possa servir de base para um futuro protótipo. A Figura (5.1) ilustra um exemplo triciclo utilizado para fabricar um velomóvel comercial e ao lado o modelo do triciclo projetado feito no *software* SolidWorks.



Figura 5.1: Ilustração demonstrativa da proposta de projeto. (Keneth, 2015)

As considerações e restrições adotadas para o desenvolvimento do projeto são descritas abaixo:

- Veículo cuja principal fonte de potência é a propulsão humana;
- Para uso pessoal como alternativa de mobilidade urbana;
- De geometria simples e de fácil fabricação;
- Deve ser tão leve quanto possível e de baixo custo;
- Projetado de tal forma que possibilite o desenvolvimento de um velomóvel.

5.2 Metodologia

O desenvolvimento de um projeto é movido pela observação ou surgimento de uma necessidade humana. Esta é suprida pelo desenvolvimento de um novo produto ou pela reengenharia de um já existente. Assim, um problema surge de uma necessidade e a sua solução passará por um projeto. O processo de projeto tem importância fundamental no sucesso dessa solução, e por isso deve ser bem estruturado e sistemático.

Existem muitos métodos e técnicas de projeto, mas não se pode dizer que um ou outro possa ser aplicado a todos os problemas. Nesse sentido foi realizado um estudo acerca de métodos conhecidos e escolhido aquele que mais se aplica a proposta de projeto apresentada.

O método proposto por Pahl e Beitz (1996) é apropriado para projetos de engenharia e defende que o processo de projeto pode ser dividido em quatro etapas: Clarificação das Necessidades, Projeto Conceitual, Projeto Preliminar, e Projeto Detalhado.

O detalhamento de cada etapa e a subdivisão em tarefas é ilustrada na Figura (5.2), que apresenta um fluxograma do processo de projeto. É possível observar que a retroalimentação e iteratividade estão presentes em todas as etapas do projeto.

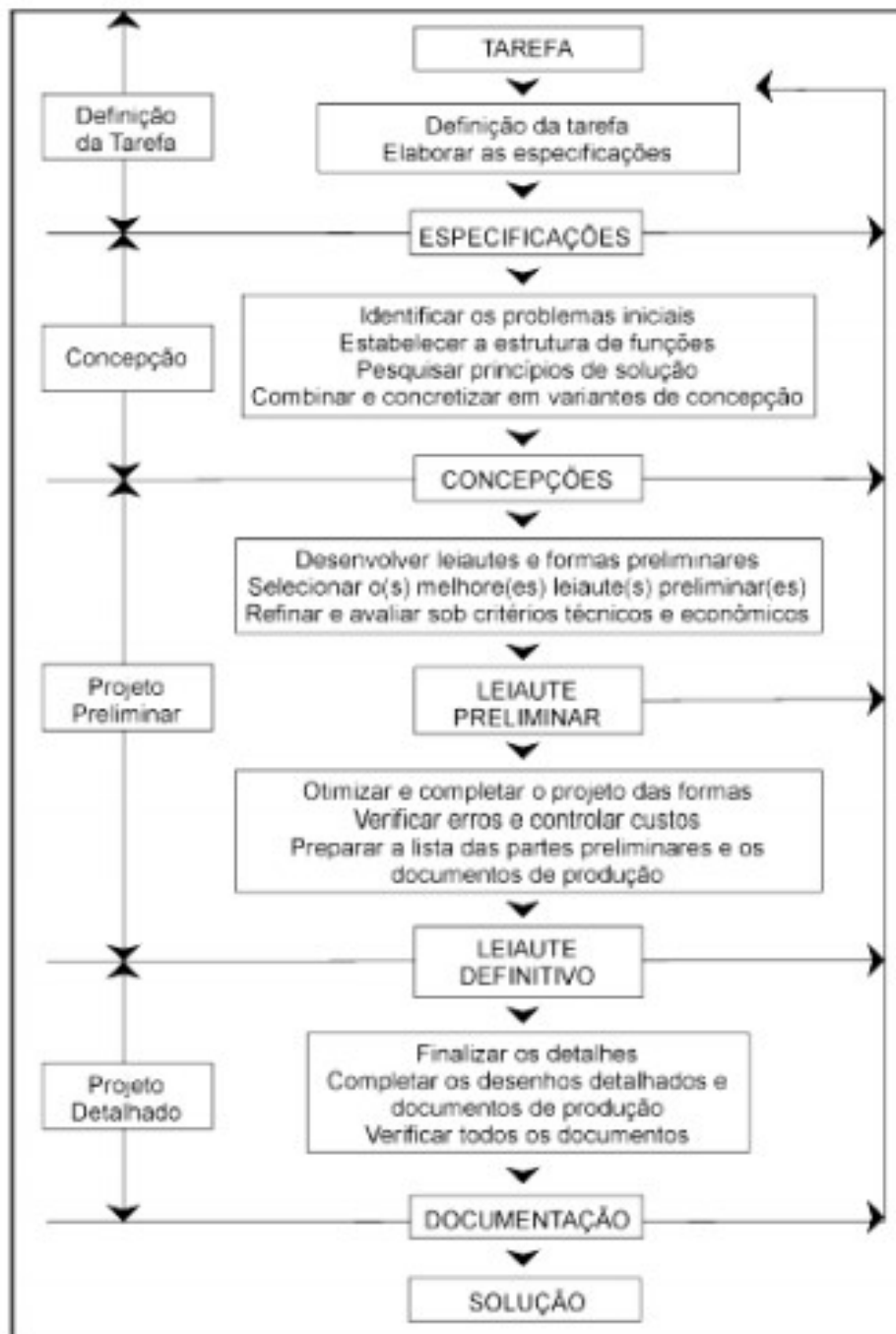


Figura 5.2: Fluxograma de processo de projeto. Fonte adaptada: Pahl e Beitz (1996)

5.3 Projeto

O projeto de um veículo de tração humana pode ser dividido em áreas correspondentes aos conjuntos e subconjuntos que o compõem. Para garantir a organização e simplicidade, este trabalho foi realizado em etapas tendo em vista a seguinte divisão por áreas proposta, Fig. (5.3). As etapas realizadas nesse projeto são descritas pela Fig (5.4).

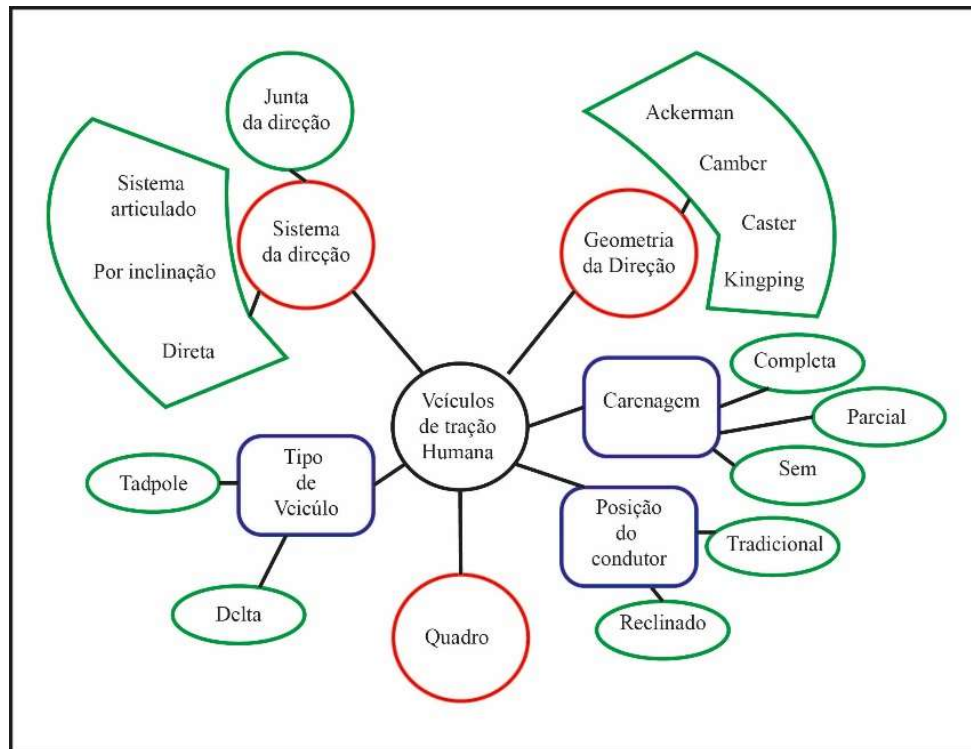


Figura 5.3: Divisão do projeto de um veículo de propulsão humana por áreas

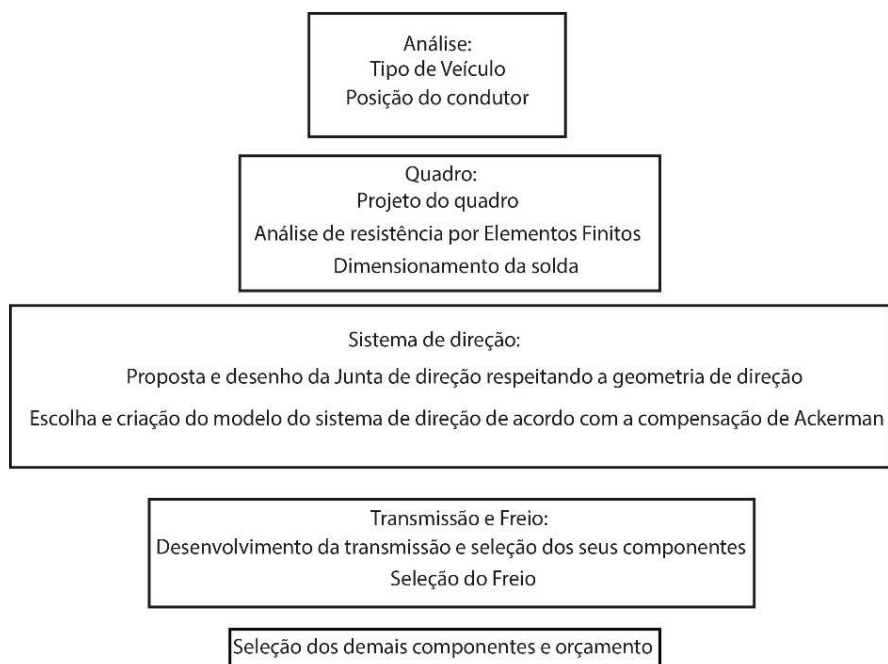


Figura 5.4: Etapas desenvolvidas no projeto.

6.1 Introdução

Um dos requisitos impostos a esse projeto é desenvolver um veículo de tração humana que seja prático, de simples fabricação, de baixo custo e tão leve quanto possível. Isto tem um impacto nas escolhas para o projeto do quadro. Para que o quadro se encaixe nas restrições de projeto, deve ser leve e a complexidade de sua geometria deve ser tão baixa quanto possível.

A escolha inicial para este projeto foi desenvolver um triciclo em que o condutor o controla na posição reclinada. Este tipo de veículo tem geometria mais simples que veículos comuns, pois possui uma roda a menos, além de apresentar peso reduzido. Na posição reclinada o usuário encontra-se mais próximo ao chão, e recostado como ilustra a Fig. (6.1). Essa configuração oferece conforto e mais potência de pedalada que a posição tradicional em bicicletas.



Figura 6.1: Diferença entre as posições reclinada e tradicional. (Morse, 2010)

Existem dois tipos de triciclos, que diferem entre si em relação a configuração das rodas, chamados *Tadpole* e *Delta*. O primeiro possui duas rodas na dianteira enquanto o outro na traseira Fig. (6.2). Triciclos do tipo *Tadpole* possuem melhor estabilidade e habilidade de manobra em comparação com os do tipo *Delta*. Ainda mais, o estilo *Delta* requer geometrias mais complexas, pois a catraca fica numa posição conflituosa com a roda dianteira. Por essas razões optou-se em projetar um triciclo do tipo *Tadpole*.



Figura 6.2: *Delta* (à esquerda) e *Tadpole* (à direita).

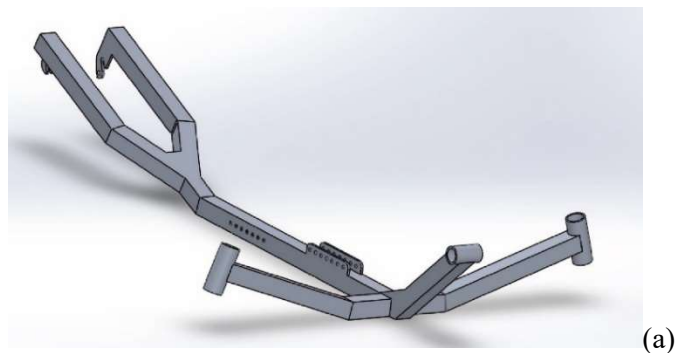
6.2 Desenho

O desenho do quadro foi desenvolvido no software SolidWorks e passou por algumas modificações até chegar à forma definitiva. Na fase preliminar de projeto foi desenvolvida na interface computacional a geometria ilustrada pela Fig. (6.3).

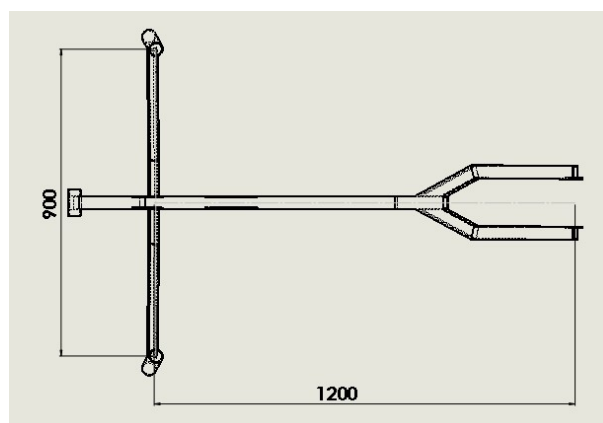


Figura 6.3: Desenho preliminar do quadro.

Na fase intermediária os desenhos foram produzidos por um processo iterativo, que teve por objetivo a produção de um resultado final simples e de baixo custo, e sua forma final é ilustrada pela Fig.(6.4).



(a)



(b)

Figura 6.4: Desenho Final do quadro e vista superior destacando a distância entre rodas e entre eixos.

6.3 Análise por elementos finitos

Foi realizada análise por elementos finitos no projeto do quadro do triciclo levando-se em conta os cenários mais críticos, isto é, aqueles em que o veículo suportará as cargas mais elevadas. Diversas simulações foram executadas com o objetivo de otimizar a geometria do quadro do triciclo e para avaliar a sua resistência. São considerados três estudos de casos: um leva em conta apenas a carga relativa ao peso do condutor de 75 kg (peso médio de uma pessoa do sexo masculino com estatura média), outro adiciona-se a força da pedalada em potência máxima, e o último leva-se em conta a carga relativa a uma situação de frenagem. Para realizar as simulações foi utilizado o *software* SolidWorks.

6.3.1 Determinação do material, geração e qualidade de malha

A primeira etapa de pré-processamento é a determinação do material. O software já apresenta uma biblioteca de material com as respectivas propriedades mecânicas, foi necessário apenas selecionar a liga de alumínio 6061-T6 como ilustra a Fig. (6.5):

The image shows the 'Material Selection' dialog box in SolidWorks. The 'Category' is set to 'Ligas de alumínio', the 'Name' is '6061-T6 (SS)', and the 'Failure criterion' is 'Tensão de Max von Mises'. Below these fields is a table of mechanical properties for the selected material.

Propriedade	Valor	Unidades
Módulo elástico	69000.00067	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.33	N/A
Módulo de cisalhamento	26000.00013	N/mm ²
Massa específica	2700	kg/m ³
Resistência de tração	310.0000021	N/mm ²
Resistência à compressão		N/mm ²
Limite de escoamento	275.0000009	N/mm ²
Coefficiente de expansão térmica	2.4e-005	/K
Condutividade térmica	166.9	W/(m·K)

At the bottom of the dialog are buttons for 'Aplicar', 'Fechar', 'Salvar', 'Configuração...', and 'Ajuda'.

Figura 6.5: Propriedades mecânicas da liga de alumínio 6061-T6 selecionada no SolidWorks.

A etapa posterior é a criação da malha. O quadro do triciclo possui um perfil de seção quadrada tubular de medida 1,5 x 1,5 x 0,125 polegadas. A Figura (6.6) apresenta uma imagem da seção transversal da barra principal do quadro:



Figura 6.6: Seção transversal do quadro do triciclo.

Para realização da simulação foi selecionado elemento de casca ao gerar a malha, essa escolha foi tomada devido à pequena espessura das barras do quadro. Dessa maneira foi possível criar uma malha de qualidade com um número menor de elementos. O software permite determinar a espessura da casca, que no caso do quadro proposto é de 0,125 polegadas. A Figura (6.7 – a e b) apresenta os dados da malha e uma imagem em detalhe da malha gerada:



(a)

Malha Detalhes	
Nome do estudo	FEA quadro (-Valor predeterminado<Como usinado>-)
Tipo de malha	Malha de casca usando superfícies
Gerador de malhas usado	Malha com base em curvatura
Verificação Jacobiana para cascas	Ativada
Controle de malha	Definido
Tamanho máximo do elemento	1.35975 mm
Tamanho mínimo do elemento	0.453245 mm
Qualidade da malha	Alta
Total de nós	1311716
Total de elementos	655518
Tempo para conclusão da malha (hh:mm:ss)	00:01:10
Nome do computador	

(b)

Figura 6.7: Imagem em detalhe (a) e dados da malha gerada (b).

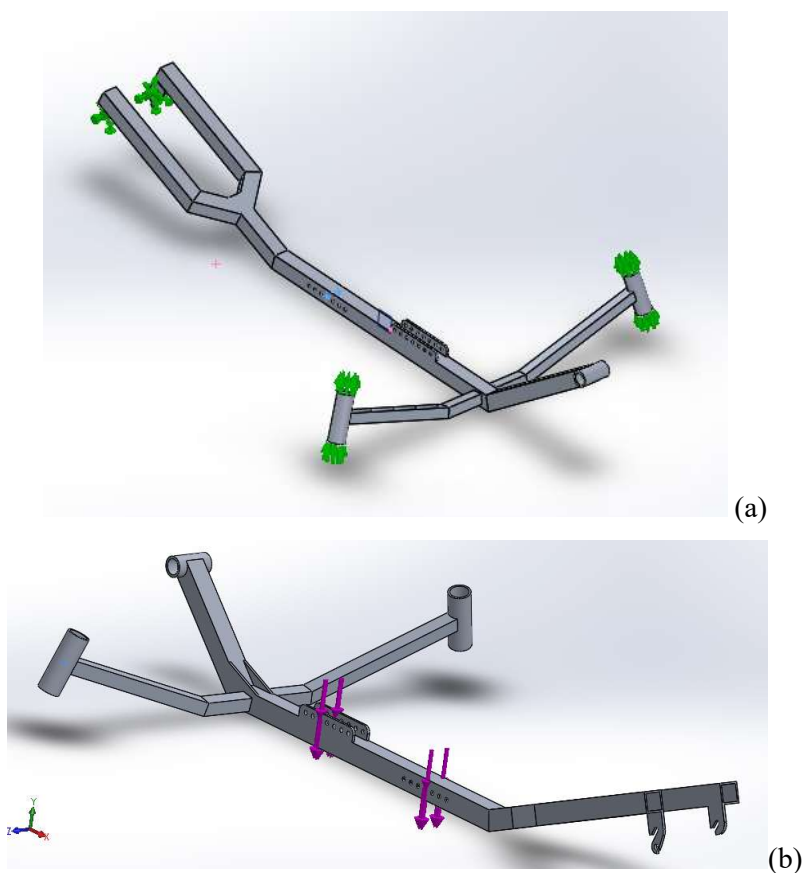
A malha foi refinada por meio de controles de malha aplicadas às regiões que apresentaram maiores gradientes de tensão. O processo de refinamento foi realizado até a convergência e a obtenção de uma malha com qualidade elevada.

6.3.2 Determinação da aplicação das forças e posicionamento das restrições

Após a criação da malha é necessário determinar os esforços e o posicionamento das restrições. Isto foi feito para cada cenário supracitado e será apresentado em detalhes juntamente com os resultados obtidos na simulação.

6.3.3 Cenário 1

O primeiro estudo realizado simula a situação do condutor com o veículo em repouso. Neste cenário os apoios são localizados nos garfos dianteiros na peça conhecida como *headtube* (Fig. 6.8 - a), isto é, onde é montada a junta de direção, peça que apoia a roda dianteira. Além disso, outro apoio é localizado no garfo traseiro, onde é apoiada a roda traseira (Fig. 6.8 - b). As restrições, do tipo apoio deslizante, são localizadas nos garfos dianteiros e traseiro ilustradas pela figura. A carga relativa ao peso do condutor é posicionada no suporte do assento (Fig. 6.8 - c)



Figuras 6.8: Ilustrações das restrições aplicadas aos garfos dianteiros (esquerda) e traseiro (direita) e carga relativa ao peso do condutor (abaixo).

Após a determinação dos elementos de pré-processamento (material, geometria, malha, restrições e cargas) foi executada a simulação. Os resultados são apresentados em detalhes na Figura (6.9 – a e b):

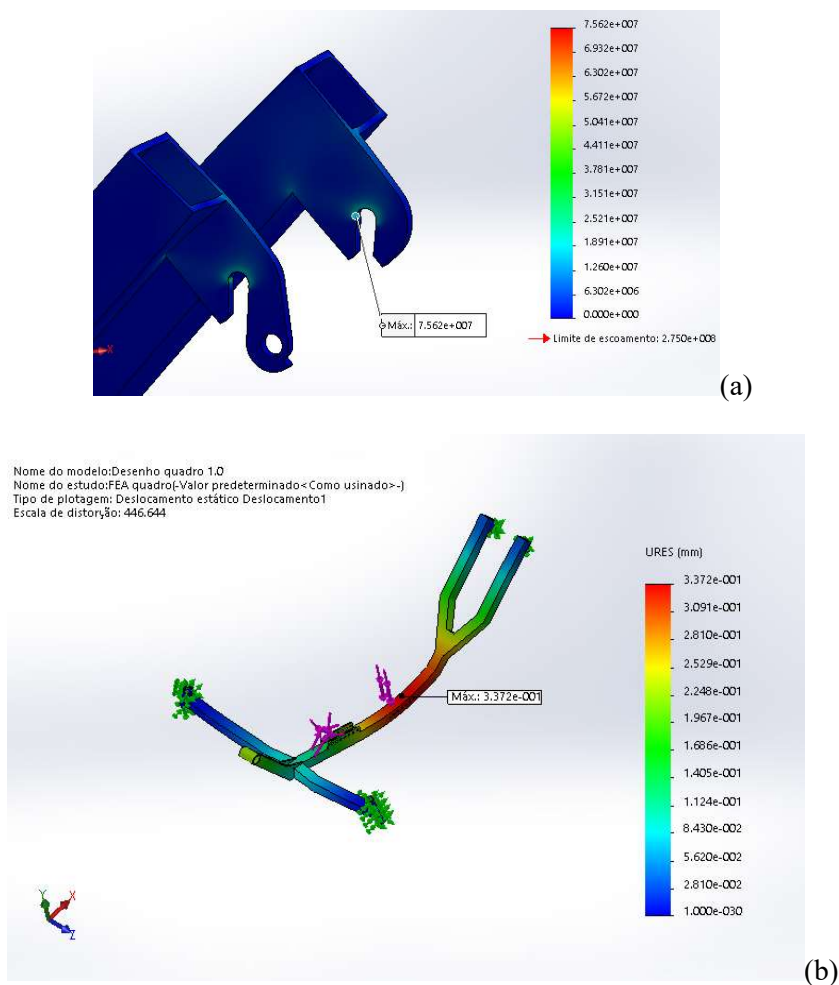


Figura 6.9: Máxima tensão registrada em torno das agarras do garfo traseiro (acima) e resultado deformado do quadro (abaixo).

A Tabela (6.1) apresenta os valores máximos de tensão, deslocamento, deformação e fator de segurança para este estudo:

Tabela 6.1: Resultados obtidos para o cenário 1.

Máxima tensão de Von Mises	75,62 Mpa
Máximo deslocamento	0,337 mm
Máxima deformação	0,084 %
Fator de segurança	3,63

6.3.4 Cenário 2

Este estudo leva em consideração os esforços relativos à carga do condutor (75 kg) e de pedalada em potência máxima (1000 N). Estudos apresentados por Danny Too em “Biomechanics of Cycling and Factors Affecting Performance” (1990) realizados para aferir a potência de pedalada para diferentes posições relativas entre o quadril e o pedal foram utilizados para determinar a carga devida a força aplicada no pedal na análise proposta por este cenário.

As restrições foram novamente posicionadas nos garfos dianteiros e traseiro (Fig. 6.8 - a), as cargas relativas ao peso do condutor foram posicionadas onde será localizado o assento e por fim a carga devida a força de pedalada foi posicionada no suporte central (*bottom bracket*) (Fig. 6.10).

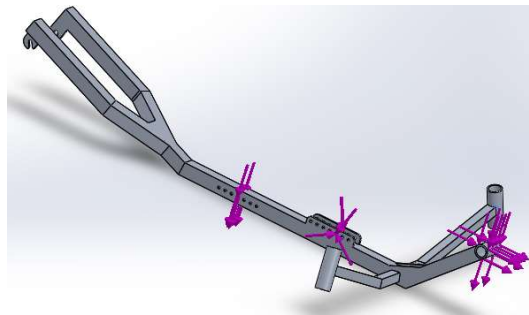


Figura 6.10: Posicionamento das cargas relativas ao peso do condutor e de pedalada em potência máxima.

Determinadas as condições de pré-processamento foi então executada a simulação. A região de máxima tensão foi observada na parte inferior à barra do garfo do dianteiro como mostra a Fig. (6.11):

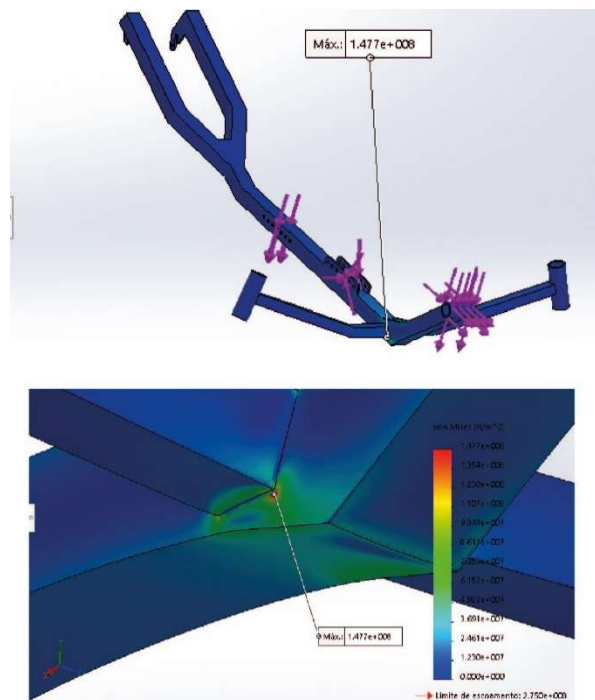


Figura 6.11: Localização da região onde é observada máxima tensão.

A Figura (6.12) apresenta o resultado deformado do quadro e o ponto onde foi registrado maior deslocamento.

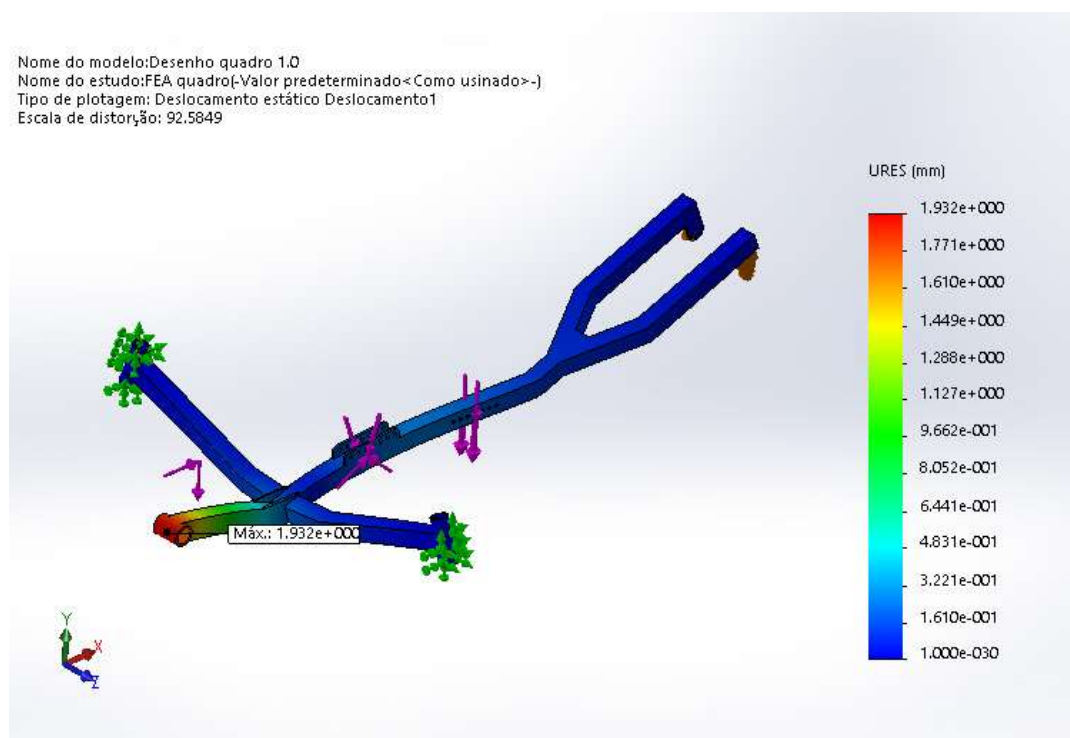


Figura 6.12: Resultado deformado do quadro.

A tabela (6.2) apresenta os resultados obtidos para os máximos valores de tensão, deslocamento, deformação e fator de segurança.

Tabela 6.2: Resultados obtidos para o cenário 2.

Máxima Tensão de Von Mises	147,7 Mpa
Máximo deslocamento	1,932 mm
Máxima deformação	0,147 %
Fator de segurança	1,86

6.3.5 Cenário 3

Este estudo leva em consideração as cargas relativas ao peso do condutor e a frenagem do veículo. A força atuante nos freios foi calculada para uma situação hipotética em que o veículo reduza sua velocidade de 35 km/h ao repouso percorrendo 8 m (cenário considerado crítico para o projeto). Nessa configuração os garfos frontais experimentam uma força de 500 N (Fig. 6.13 -b). A carga do condutor é posicionada onde será o assento e as restrições são localizadas no garfo traseiro e dianteiro como ilustrado na Fig. (6.13 - b).

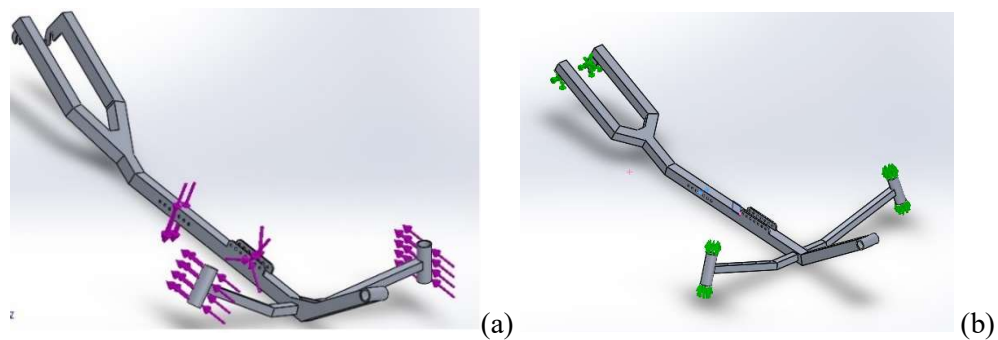


Figura 6.13: Cargas relativa ao peso do condutor e de frenagem (a). Restrições aplicas ao garfo traseiro e ao suporte central (b).

A simulação foi então realizada após as definições de pré-processamento. A Fig. (6.14) apresenta uma ilustração da região de máxima tensão observada em torno da barra do garfo dianteiro.

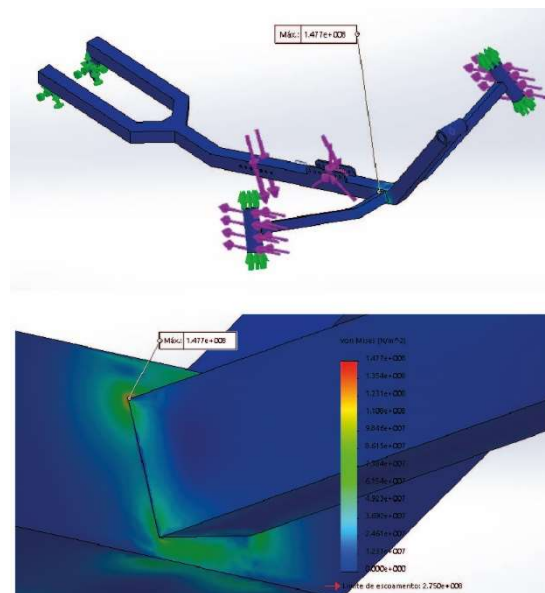


Figura 6.14: Região de tensão máxima registrada no cenário 3.

A Figura (6.15) apresenta o resultado deformado do quadro e o ponto de maior deslocamento registrado nos garfos dianteiros.

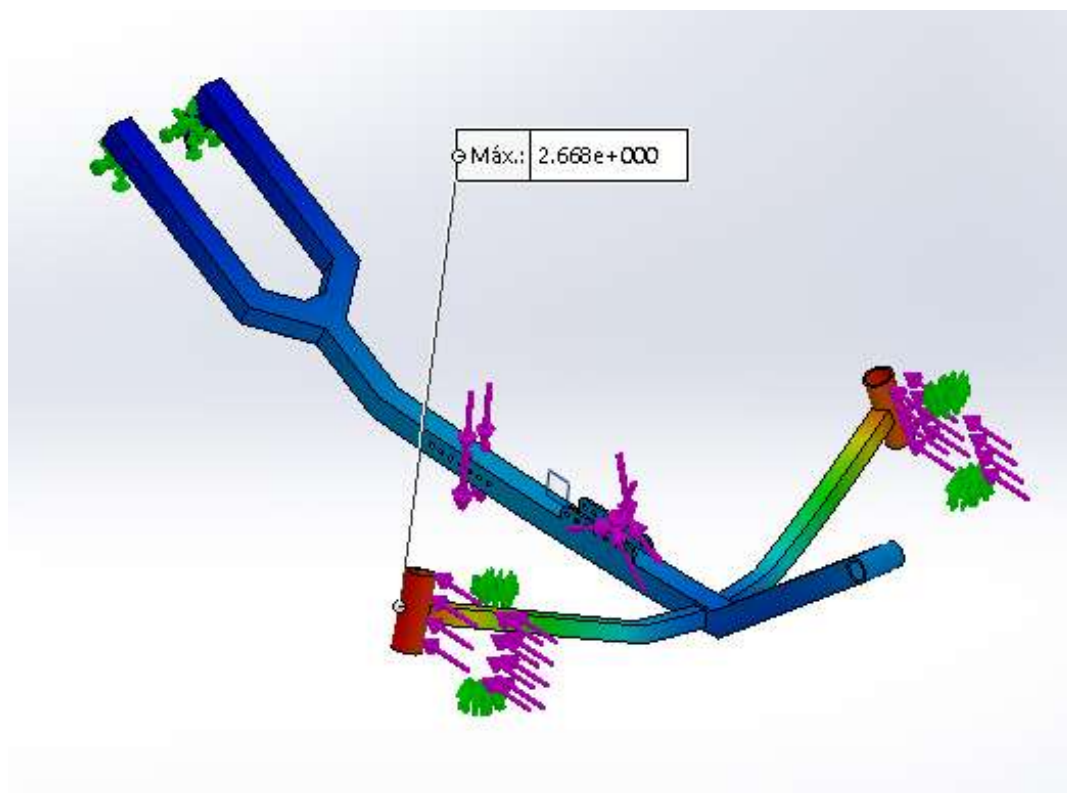


Figura 6.15: Resultado deformado do quadro e ponto de máximo deslocamento no cenário 3.

A tabela (6.3) apresenta os resultados obtidos para os máximos valores de tensão, deslocamento, deformação e fator de segurança.

Tabela 6.3: Resultados obtidos para o cenário 3.

Máxima Tensão de Von Mises	139,4 Mpa
Máximo deslocamento	2,217 mm
Máxima deformação	0,202 %
Fator de segurança	1,45

7 Sistema de direção

7.1 Introdução

O projeto de um sistema de direção em veículos com três ou quatro rodas é processo bastante complexo. E ainda deve seguir as restrições impostas ao projeto, que no caso é ser tão simples quanto possível, leve, ergonômico e de fácil fabricação. As etapas a serem seguidas no projeto de sistema de direção são ilustradas na Fig. (7.1):

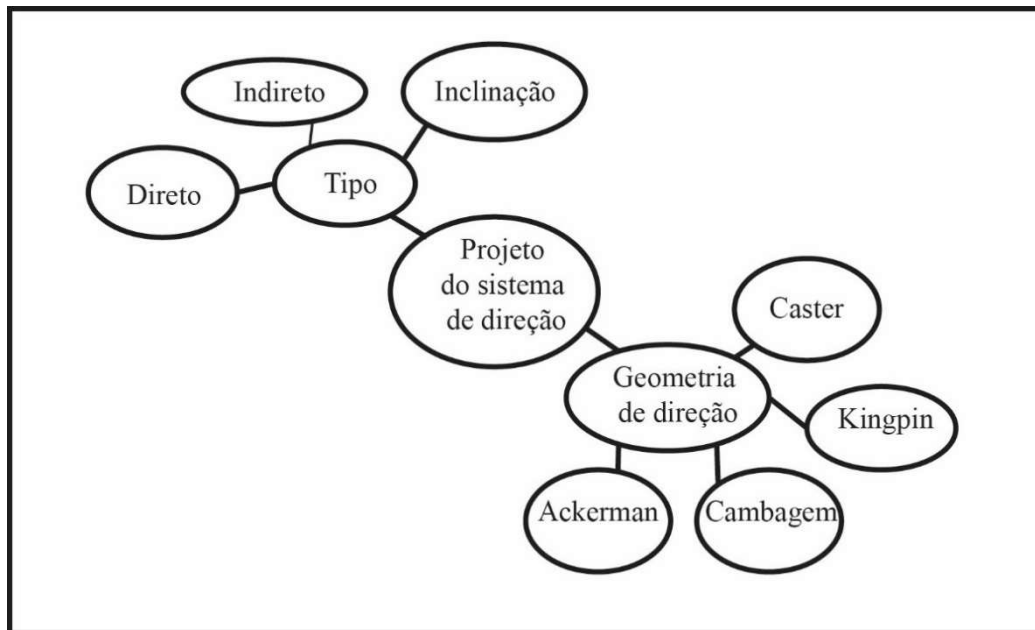


Figura 7.1: Diagrama processual do projeto do sistema de direção.

Nas próximas sessões serão abordados os elementos presentes no diagrama e as decisões de projeto adotadas. Por fim será apresentada a geometria final do sistema desenvolvido e suas características principais.

7.2 Tipos de sistema de direção

Os sistemas de direção podem ser classificados da seguinte forma: sistemas diretos, sistemas articulados e sistemas por inclinação. O primeiro é caracterizado pelo acionamento direto entre o guidão e o *Kingpin* e possuem uma barra conectando as duas rodas para mantê-las sincronizadas (Fig. 7.2). Sistemas articulados são aqueles em que o *Kingpin* é movido indiretamente por barras que são conectadas ao guidão (Fig. 7.3).



Figura 7.2: Sistema de direção direto. (Greene, 2014 – UtahTrikes)

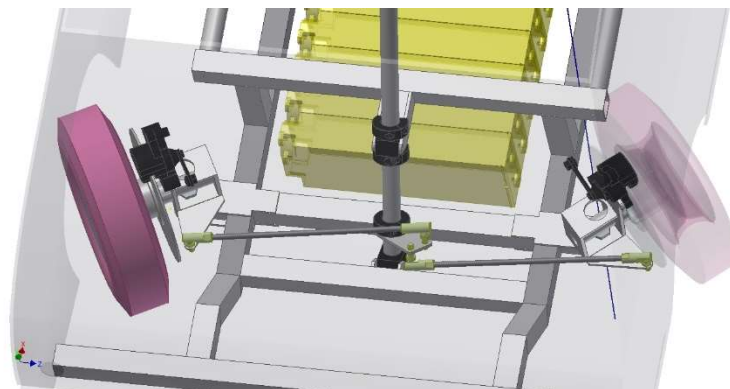


Figura 7.3: Sistema de direção por conexões. (Mikuvan, 2014)

O sistema de direção por inclinação é aquele em que o corpo do veículo ou as rodas se inclinam na direção da curva. Veículos que usam esse tipo de sistema de direção possuem elevada segurança e estabilidade em curvas, mesmo que tenham estreita distância entre rodas. Em contrapartida, é um sistema de complexa fabricação e desenvolvimento (Fig. 7.4).

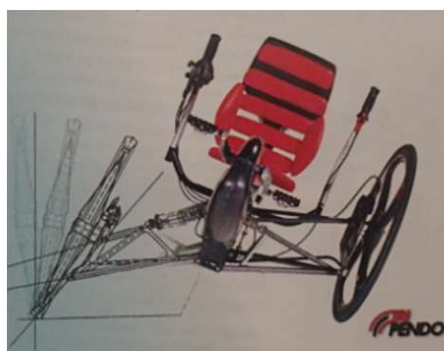


Figura 7.4: Triciclo Tripendo Tadpole com sistema de direção por inclinação (Davidson, 2009, p.101)

7.3 Geometria de direção

Para que o sistema de direção seja suave, estável e responsivo é necessário desenvolvê-lo de tal maneira que leve conta os principais ângulos presentes na geometria de direção: *caster*, *kingpin* e *camagem*.

Caster é o ângulo formado entre o eixo do pivô da direção e o eixo vertical da roda (Fig. 7.5). O ângulo de *caster* é responsável pela tendência das rodas retornarem a posição neutra após uma curva

realizada. Isso é importante para o controle do veículo e é também responsável por garantir a estabilidade em determinadas velocidades. Em triciclos do tipo *tadpole* é recomendável ângulo de *caster* entre 10 e 15° (Horwitz, 2010). Para o projeto foi escolhido um ângulo de 14°, pois esse valor garantirá uma boa estabilidade em velocidades elevadas e não comprometerá a habilidade de controlar o triciclo.

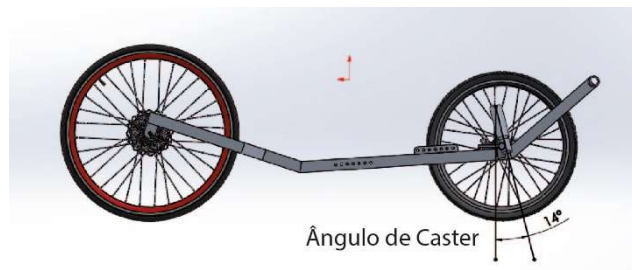


Figura 7.5: Vista lateral do triciclo ilustrando ângulo de *caster*.

Cambagem é a inclinação das rodas em relação ao eixo vertical observada pela vista frontal ou traseira do veículo. O ângulo de cambagem é classificado como positivo, negativo ou neutro (Fig. 7.4). Cambagem positiva não é recomendada porque diminui a distância entre rodas e pode causar instabilidade em velocidades elevadas. Em contrapartida, cambagem neutra proporciona melhor controle do veículo e mais estabilidade. Já a cambagem negativa pode oferecer melhor desempenho em curva, pois as cargas se distribuem pela roda axialmente, porém nas demais situações as rodas experimentarão cargas radiais. Por isso foi escolhido para esse projeto um ângulo de cambagem neutro (Fig. 7.6).



Figura 7.6: Cambagem

A inclinação do *kingpin* é um aspecto de projeto desejável para minimizar os efeitos de *bump steer* (tendência do veículo em sair da trajetória ao ir de encontro a um buraco ou desnível). O ângulo de *kingpin* é o ângulo de inclinação necessário entre a inclinação do pivô e a normal traçada a partir da linha de contato do pneu observado pela frente do veículo (Fig. 7.7).

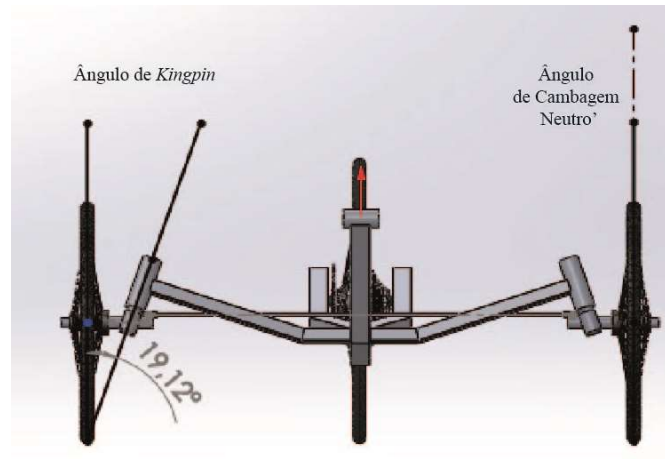


Figura 7.7: Vista frontal do triciclo ilustrando os ângulos de *kingpin* e cambagem.

Por fim, a última relação necessária a se levar em conta no projeto da geometria da direção é conhecida como compensação de Ackerman. Rudolph Ackerman desenvolveu um sistema de direção para veículos, que é conhecida como compensação de Ackerman. O propósito dessa geometria é que ao realizar curvas todas as rodas do veículo tenham o mesmo raio de curvatura, garantindo assim um sistema de direção estável e eficiente. Esse sistema garante que as rodas não precisem deslizar lateralmente para realizar as curvas. A geometria de Ackerman é garantida por uma conexão realizada entre as rodas frontais de tal maneira que a sua extensão esteja alinhada com o eixo traseiro como ilustra a Fig (7.8).

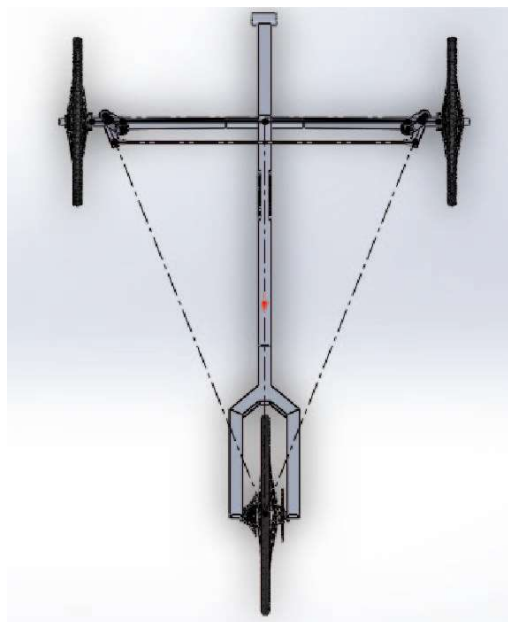


Figura 7.8: Compensação de Ackerman.

7.4 Junta de direção

A junta de direção é a peça responsável pela geometria da direção e deve ser desenvolvida de acordo com os ângulos principais e a compensação de Ackerman. A junta desenvolvida é ilustrada na figura abaixo (Fig. 7.9).

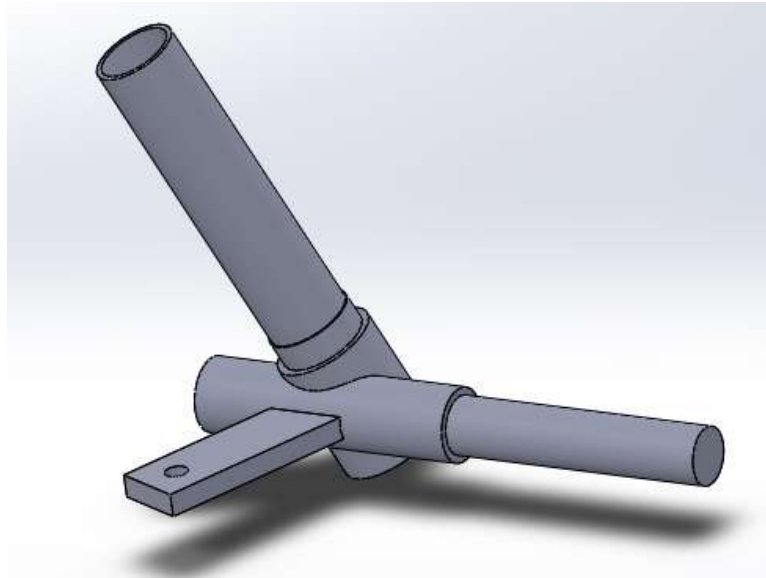


Figura 7.9: Desenho da junta de direção desenvolvido.

7.5 Projeto do sistema de direção

Após a determinação dos ângulos principais e a realização do projeto da junta de direção foi determinado o sistema de direção utilizado. O critério principal para escolha do sistema a ser desenvolvido foi a simplicidade. O sistema de direção direta escolhido é ilustrado pela Fig. (7.10). É um sistema que além de simples desenvolvimento e implementação requer poucos elementos e por isso não incrementa significativamente no peso do veículo.

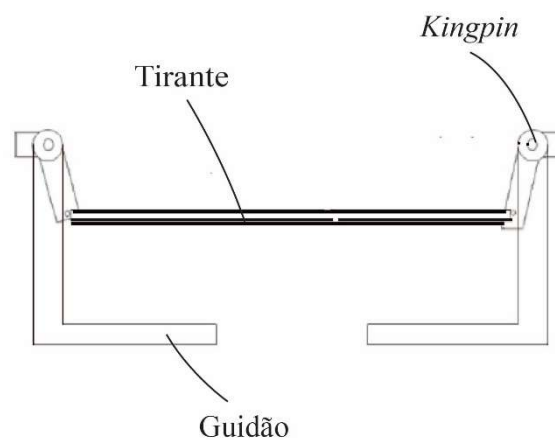


Figura 7.10: Esquema que ilustra o sistema de direção escolhido. (Fonte: Horwitz, 2015 - Adaptado)

A Figura (7.11) apresenta uma vista superior do veículo em que é possível ter um vislumbre do sistema de direção desenvolvido.

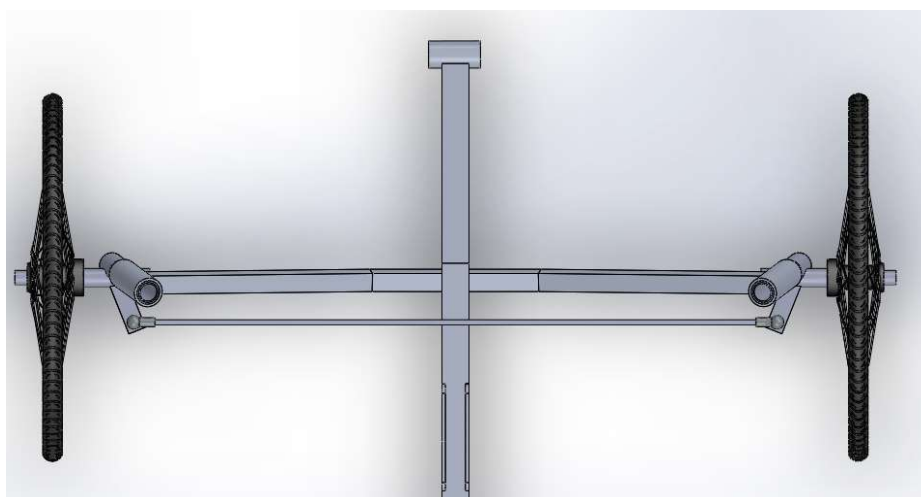


Figura 7.11: Vista superior do sistema de direção proposto.

8. Transmissão e Freio

8.1 Transmissão

Para transmitir a potência humana para a(s) roda(s) motora(s) algum tipo de transmissão é requerida para igualar a velocidade da pedala com a velocidade da estrada. Para estradas planas uma transmissão fixa funciona bem o suficiente para ser aceitável, mas em terrenos mais íngremes transmissão variável é melhor. Para corridas o mecanismo de engrenagens e correntes *derailleur* (cambio) que foi desenvolvido na primeira metade do século XX é de fato o padrão devido a seu baixo peso e elevada eficiência. Redutores multi-estágio oferecem o benefício de menos manutenção e uma visão mais limpa comparada com *derailleur*. Em contrapartida têm maior peso e preço e menor eficiência. (Wilson, Papadopoulos et al. 2004)

Considerando a simplicidade do sistema de transmissão de bicicleta comum conhecido como *derailleur*, e também sua eficiência e preço, optou-se por adotá-lo no projeto do triciclo. Foi então necessário selecionar os componentes que integram esse conjunto, isto é, câmbio, cassete, polias, pedivela e corrente. E por fim foi desenvolvido no software SolidWorks o sistema de transmissão ilustrado na Fig. (8.1).

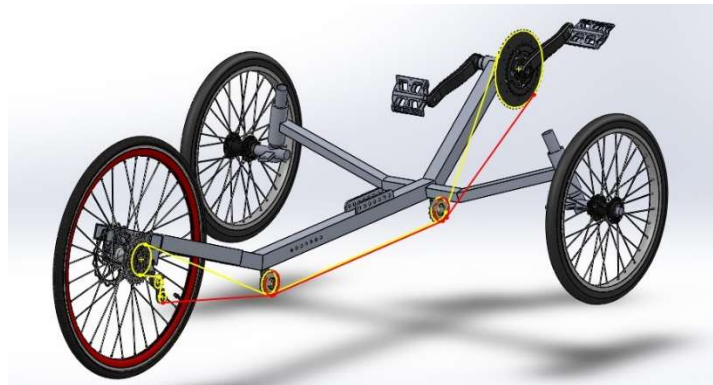


Figura 8.1: Ilustração do sistema de transmissão.

A tabela (8.1) apresenta o cassete e a pedivela selecionado, assim como suas especificações:

Tabela 8.1: Características da transmissão selecionada.

	Velocidades	Número de dentes (menor pinhão/maior pinhão)
Cassete Shimano	7	12/32D
Pedivela Shimano TY301	3	24/34/42D
Transmissão (Menor/Maior)	1:0,75/1:3,5	

8.2 Freios

O sistema de freios a ser incorporado ao triciclo deve seguir as restrições de projeto, isto é, ser eficiente, ter baixo custo e ser tão leve quanto possível. Freios a disco de bicicletas atendem a esses requisitos. No projeto do triciclo, os freios das rodas dianteiras devem ser acionados pela mesma manete, enquanto o freio da roda traseira deve ser acionado por uma manete sozinho.

Com o objetivo de prever a performance do veículo foram realizados cálculos com o intuito de avaliar a distância necessária para parar em diferentes velocidades. Para realizar isso foi criada uma rotina de cálculo a partir da equação da energia de Newton (eq. 8.1).

$$d = \frac{V^2}{\mu g} \quad (1)$$

Onde,

V : é a velocidade do veículo;

μ : é coeficiente de atrito estático entre o pneu e o solo;

g : é a aceleração da gravidade;

d : é a distância percorrida até o repouso.

Para a avaliação proposta por este estudo o valor de atrito estático utilizado encontrado na literatura é referente ao atrito entre um pneu de bicicleta e o asfalto, que é de 0,75. (Bosch, 1996, p. 335) A Tabela (8.1) apresenta os resultados de distância percorrida até o repouso em função da velocidade do veículo.

Tabela 8.2: Distância percorrida ao repouso em função da velocidade.

Velocidade (m/s)	Distância Percorrida (m)
1	0,067981081
5	1,699527022
10	6,798108087
15	15,29574319
20	27,19243235

É possível observar que a distância percorrida aumenta consideravelmente em velocidades elevadas, mas em velocidades abaixo de 10 m/s a distância até a parada é inferior a 7 metros.

8.2.1 Seleção do freio

Foi realizada uma comparação entre os freios a disco disponíveis no mercado e inicialmente pensou-se em selecionar aquele que oferecesse a melhor relação entre peso e preço. Contudo, foi averiguado que a diferença de peso entre os diversos modelos é muito pequena e por selecionou-se aquele que oferece a melhor relação de custo benefício. A tabela apresenta as marcas pesquisadas e suas características, que foram utilizadas na seleção.

Tabela 8.3: Comparativo entre modelos de freio a disco.

Shimano BR-M445	Marca japonesa	Hidráulico	690 g	R\$ 400
Sypo	Marca chinesa	Mecânico	700g	R\$ 150
Viper	Marca nacional	Mecânico	760g	R\$ 150
GTS	Marca nacional	Mecânico	624g	R\$ 189

Com base nas informações apresentadas escolheu-se o freio GTS porque tem baixo custo e atende bem as necessidades de projeto. O freio hidráulico, apesar de possuir performance um pouco superior ao mecânico, tem as desvantagens de possuir elevado preço e custo de manutenção. Freios mecânicos por outro lado são de simples manutenção além de possuir preços mais baixos.

9. Soldas

9.1 Dimensionamento dos cordões de solda

A construção do quadro e do suporte do assento requer a junção de suas partes constituintes por meio de solda. A seleção do processo de soldagem é realizada de acordo com o material das peças a serem unidas. O material selecionado para o projeto dos componentes supracitados é a liga de alumínio 6061-T6. Dessa maneira, o processo TIG (*Tungsten Inert Gas*) é o mais adequado para realização das soldas.

O dimensionamento foi realizado por meio da análise tensões causadas por esforços de torção e flexão. Foi desenvolvida uma planilha de cálculo e encontrado o fator de segurança para os diferentes cordões de solda no quadro. A Figura (9.1) ilustra a localização dos cordões analisados, a Tabela (9.1) apresenta os resultados, e os cálculos detalhados e a planilha utilizada podem ser encontrados no Anexo.

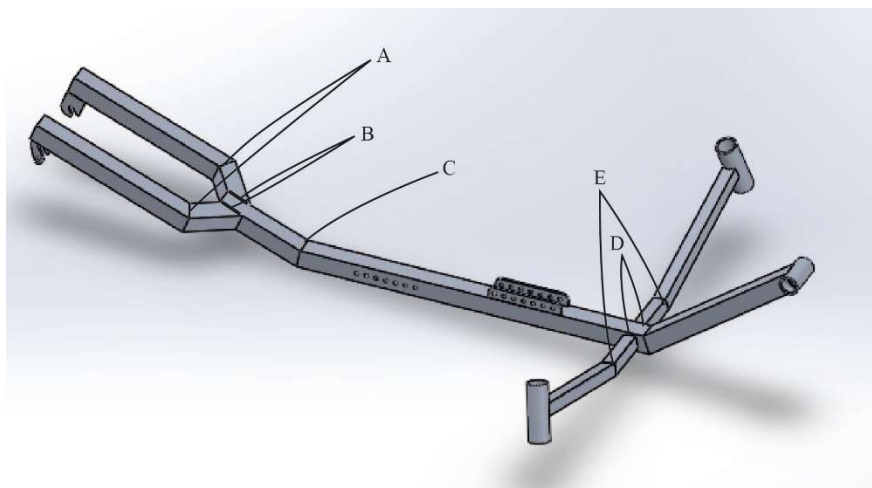


Figura 9.1: Ilustração da localização dos cordões de solda

Tabela (9.1): Resultados

Localização do cordão de solda	Tensão na base da solda [Mpa]	Fator de segurança	Garganta de solda (h) [mm]
A	32,2	8,5	3,2
B	46,1	5,9	3,2
C	57,1	4,8	3,2
D	72,5	3,8	6
E	95,9	2,9	3,2

10. Montagem e orçamento

10.1 Lista de seleção de peças

Após a realização do projeto do quadro e do sistema de direção é necessário produzir a lista de peças a serem compradas. A Tabela 10.1 apresenta a lista formulada.

Tabela 10.1: Lista de peças a serem compradas

Peça	Modelo	Quantidade	Preço unitário	Preço
Par de Alavanca + Manete	Veloforce	1	R\$ 54,00	R\$ 54,00
Abraçadeira	zoom	2	R\$ 14,00	R\$ 28,00
Caixa de direção (<i>Head Set</i>)	GTS	2	R\$ 22,50	R\$ 45,00
Câmbio traseiro	Veloforce	1	R\$ 9,00	R\$ 9,00
Câmbio dianteiro	Veloforce	1	R\$ 18,00	R\$ 18,00
Cassete 7V	Shimano 12/32 D	1	R\$ 45,00	R\$ 45,00
Corrente 7V	Shimano	2	R\$ 27,00	R\$ 54,00
Pedivela	Shimano TY301	1	R\$ 81,00	R\$ 81,00
Movimento Central	Shimano Octalink	1	R\$ 75,00	R\$ 75,00
Freio a Disco + Cubos das rodas jogo completo	GTS M1	1	R\$ 200,00	R\$ 200,00
Par de pedais tipo plataforma	GTS	1	R\$ 63,00	R\$ 63,00
Pneu 20"	Atacama Le aro	2	R\$ 35,70	R\$ 71,40
Pneu 24"	Praieiro	1	R\$ 31,60	R\$ 31,60
Aro 20"	VZAN Freak 174	2	R\$ 45,00	R\$ 90,00
Aro 24"	VMAX	1	R\$ 55,00	R\$ 55,00
Raio e Niple 20" Conjunto com 72 unidades	-	1	R\$ 17,00	R\$ 17,00
Raio e Niple 24" jogo com 36 unidades	-	1	R\$ 37,00	R\$ 37,00
			Total	R\$ 974,00

10.2 Custo de fabricação e previsão de gastos

A previsão de gastos e custos de fabricação é importante para analisar a viabilidade de construção de um protótipo. Foi realizado uma pesquisa por preços de mercado do alumínio, contudo descobriu-se uma dificuldade em saber o preço exato dos perfis tubulares selecionados devido à uma impossibilidade de se fazer esse tipo de consulta em uma pesquisa online. Devido a esses entraves foi feita uma estimativa do custo de fabricação do quadro e do sistema de direção com base no preço do quilograma do alumínio.

Considerando que esse projeto pode ser realizado em uma pesquisa financiada por universidade e possíveis entidades de iniciativa privada patrocinadores, o custo para fabricação de um protótipo é baixo, já que esse projeto foi focado no desenvolvimento de um veículo de baixo custo. Em contrapartida, se o foco for direcionado a performance o custo se elevará consideravelmente.

A tabela (10.2) apresenta a estimativa do orçamento do quadro. A Tabela (10.3) mostra a estimativa do custo de fabricação do triciclo. A Tabela (10.4) apresenta a estimativa de custo total e por fim a Tabela (10.5) resume as características finais do triciclo.

Tabela 10.2: Estimativa do orçamento do quadro

Peça	Material	Quantidade	Preço (R\$/kg)	Preço (R\$)
Barra principal	1,5"X1,5"X0,125" 6061-T6	725 mm (940 g)	R\$ 15,00	14,1
Barra posterior	1,5"X1,5"X0,125" 6061-T6	385 mm (450 g)	R\$ 15,00	6,75
Garfo dianteiro (1)	1,25"X1,25"X0,125" 6061-T6	102 mm (79 g)	R\$ 15,00	1,185
Garfo dianteiro (2)	1,25"X1,25"X0,125" 6061-T6	335 mm (260 g)	R\$ 15,00	3,9
Garfo traseiro (1)	1,5"X1,5"X0,125" 6061-T6	338 mm (394 g)	R\$ 15,00	6
Garfo traseiro (2)	1,5"X1,5"X0,125" 6061-T6	115 mm (108 g)	R\$ 15,00	1,62
Garfo traseiro (3)	1,5"X1,5"X0,125" 6061-T6	186 mm (218 g)	R\$ 15,00	3,27
Gancho da roda traseira	6061-T6 (reciclado)	N/A	N/A	20
Suporte do movimento central	6061-T6 (reciclado)	N/A	N/A	20
Headtube	6061-T6 (reciclado)	N/A	N/A	20
			Total	56,82

Tabela 10.3: Estimativa do custo de fabricação

	Custo/h	Horas de fabricação	Custo (R\$)
Técnico Mecânico	R\$ 50,00	20	1000
Aluguel de máquinas de corte e solda	R\$ 200,00	10	2000
Total			3000

Tabela 10.4: Estimativa de custo do triciclo.

Peças	R\$ 974,00
Quadro	R\$ 57,00
Fabricação	R\$ 3.000
Total	R\$ 4.031,00

Tabela 10.5: Características do triciclo.

Características do triciclo	
Peso do quadro	3,65 kg
Peso do conjunto (aproximado)	26 kg
Tipo de freio	Disco por acionamento mecânico
Transmissão	Comum de bicicleta (<i>Dérailleur</i>)
Sistema de direção	Direto
Posição do assento	Reclinado

11 Conclusão

O velomóvel é um veículo de propulsão humana (*HPV – Human Power Vehicle*) que se apresenta como uma alternativa aos meios de transporte urbano usuais. Muitas são as qualidades desse tipo de veículo, entre elas pode-se citar a vantagem de não emitir gases com potencial de aquecimento global, oferecer conforto ao usuário e funcionar como complementador da atividade física e combate ao sedentarismo.

O Distrito Federal é detentor de uma das maiores malhas cicloviárias do país e por isso tem se tornado local de referência na inclusão da bicicleta como transporte alternativo urbano. Esse tipo de iniciativa é importante para criação de um cenário em que o velomóvel possa ser encarado e reconhecido também no contexto de mobilidade urbana. Isso pode criar as condições e o ambiente propício para a fomentação do desenvolvimento de veículos de propulsão humana.

Esse trabalho surge da proposta de projetar um triciclo que possa ser utilizado no desenvolvimento de um velomóvel. Para realizar tal empreendimento foi realizado um estudo a respeito do velomóvel, suas partes constituintes e em especial do quadro a ser projetado. No *software SolidWorks* foi desenhado o modelo do quadro proposto e seus desenhos técnicos. Além disso, foi realizada uma análise por elementos finitos para avaliar a resistência estática do modelo criado. Foram analisados três cenários a que o quadro estará sujeito. O primeiro cenário considerado representa a situação em que o triciclo está parado e sujeito a carga relativa ao peso do condutor. No segundo foi considerada ainda a carga da pedalada em potência máxima. No último cenário é representada a situação de frenagem o veículo até o repouso. Em cada cenário o fator de segurança encontrado foi respectivamente 3,63, 1,86 e 1,45. Os valores obtidos são consideravelmente baixos e por isso é necessária a realização de um estudo mais detalhado, com alteração dos perfis utilizados, visando uma segurança maior. A partir da análise dos três cenários, identificados os pontos críticos deve-se proceder uma análise de fadiga.

No projeto do triciclo foi proposto um sistema de direção direta composto por uma junta de direção, um tirante e um manche. O modelo do sistema e seus desenhos técnicos foram criados no *SolidWorks* respeitando a geometria da direção, isto é, ângulo de *caster*, cambagem e *kingpin* de tal forma que assegurem a estabilidade do veículo e sua facilidade de navegação.

Por fim, foi realizado uma proposta de sistema de transmissão e seleção do freio e demais componentes do triciclo. Foi feita uma lista de compras e orçamento do veículo com o objetivo de servir para pesquisa futura e construção de um protótipo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ALLEN, M., AUMANN, P., HELLMANN, T.. **Human Powered Vehicle Frame Design**. California Polytechnic State University, 2015.

BALL, B., 2010. **Hase Klimax**. Disponível em: <<http://www.bentrideronline.com/?p=4003>>

_____, 2010. **New 24 hour Record**. Disponível em: <<http://www.bentrideronline.com/?p=4100>>

BIKERADAR, 2014. **Buyer's guide to mountain bike disc brakes**. Disponível em: <<http://www.bikeradar.com/gear/article/buyers-guide-to-mountain-bike-disc-brakes-45/>>

BRASIL. Ministério de Meio Ambiente. **Mobilidade Sustentável**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/mobilidade-sustentavel>>

BIBLIOTHÈQUE NATIONALE DE FRANCE. **Parc des Princes, bicyclette Bunau-Varilla [vélo torpille, l'ingénieur Bunau-Varilla et Marcel Berthet]**

CHESTER, P, 2014. **Santa Clara University human powered vehicle 2013-201 (2014)**. Mechanical Engineering Senior Theses. Paper 22..

CLASSICPORTRAITS. **1934 Morgan Super Sports (Colmore Sports)**. Disponível em: <<http://www.classicarportraits.co.uk/oldtimers/MorganColmoreSport.htm>>

CMMAD, 1988. **Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD)**. Nosso futuro comum. Rio de Janeiro: Fundação Getulio Vargas, 1988.

COSTA, F. A. M., 2015. **Proposta de Mecanismo Motor Pneumático para Veículo de Coleta de Recicláveis**.

DANSIE, S., 2013 **World human powered vehicle speed record upped to 83.13 mph**. BikeRadar. 17 de setembro de 2013. Disponível em: <<http://www.bikeradar.com/road/news/article/world-human-powered-vehicle-speed-record-upped-to-83-13mph-38440/>>

FENNER, P., 2010. **On the Golden Rule of Trike Design**. Disponível em: <http://www.deferredprocrastination.co.uk/>

FUCH, J.. **Your Next Vehicle: A Velomobile?** Seattle, Estados Unidos. Volume 51, outono de 2001, 23 páginas.

GARNET, J., 2008. **Ergonomics of Direct-Drive Recumbent Bicycles**. Disponível em: <<http://www.hupi.org/HPeJ/0017/GarnetDirectDriveRecumbents.pdf>>.

GILLSEPIE, D., et al. **Human Powered Vehicle Challenge Design Report**. The University of Arizona. Maio de 2011.

GRAHAM, B., MCGOWAN, K.. **Bike, Scooter, and Chopper Projects for the Evil Genius**. Estados Unidos: McGraw Hill, 2008.

HASSEL, P., 2015. **Velomobile: Redefined. Constructing a unique human powered vehicle with Electric assist, to save you and the world**.

HORWITZ, R., 2010. **Trike Design 101**. Disponível em: <http://www.hellbentcycles.com/recumbent_trike_design_101.htm>.

- Huston, J. C., et al , **Three Wheeled Vehicle Dynamics**. SAE Technical Paper 820139, 1982.
- LAFFORD, J., 2000. **Rolling resistance of bicycle tires**. Human Power – Technical Paper. Seattle, Estados Unidos. Volume 50.
- Lee, C., 2010. **New Product Spotlight and Review: Avid shorty ultimate cantilever brakes**. Disponível em: < <http://www.cxmagazine.com/avid-shorty-ultimate-cantilever-brakes-cyclocross-review>>.
- LOFGREN, K., 2012. **The ELF: A Half-Bike, Half-Car Solar and Pedal Powered Human Vehicle by Organic...** Disponível em: < <http://inhabitat.com/the-elf-a-half-bike-half-car-solar-and-pedal-powered-urban-vehicle-by-organic-transit/elf-solar-powered-pedal-car-bike-lead/>>
- MIKUVAN, C., 2014. **All-Around Updates: The Legendary Saga of Chibi-Mikuvan Engineering, from October Until Now**. Disponível em: < <http://www.etotheipiusone.net/?m=201403>>
- MILLER, S., et al. **Team ECO-Fast: Velomobile**. Oregon, Estados Unidos. Oregon Institute of Technology. Mechanical and Manufacturing Engineering and Tehcnology Department. 3 de junho de 2010
- MOTA, E., 2014. **Programa Cicloviário do Distrito Federal: Sistema cicloviário intermunicipal, integrado, com outros modais de transporte e ação educativa**. Disponível em: <http://solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2014/10/AF_WEB_20_DF%20Plano%20cicloviario%20de%20brasil.pdf>.
- MORSE, L., 2010. **Aero Wing Components**. Disponível em: <<https://lonniemorse.wordpress.com/2010/07/27/lonnie-morse-aero-wing-components/>>
- NEWBAUER, S., 2016. **EVOVELO**. Disponível em < <https://tadpolerider2.wordpress.com/>>
- O'BRIEN, G.. **Father Son Put the Pedal to Mettle**. 31 de maio de 2013. Disponível em: < <http://businesswest.com/blog/father-son-innovators-put-the-pedal-to-the-mettle/>>
- PAHL, G., BEITZ, W. **Enginnering Design: A Systematic Aproach**. Berlim. 1996.
- THOMAS, J., 2015. **Velomobiles (or whatever you choose to call them) – part 2**. Disponível em: < <http://bicycledesign.net/2015/03/velomobiles-or-whatever-you-want-to-call-them-part-2/>>
- TOO, D.. **Biomechanics of Cycling and Factors Affecting Performance**. 1990. Kinesiology, Sport Studies and Physical Education Faculty Publications. Paper 94.
- RICHARDSON, M., Vittouris A.; Rose, G., 2010. **Socialised transport: Increasing travel mode Diversity through open-source vehicle design, upcycling, natural production and distributed production Methods. PUNNK my ride: Development of the Personalised User – generated Upcycled N configurable kit velomobile**.
- TOMIELLO, et all, 2011. **Mobilidade Sustentável, Bicicletas e Universidade Dispersa: Relações e Potencialidades**. II Seminário Internacional Urbicentros – Construir, Reconstruir, Desconstruir: morte e vida de centros urbanos. Maceió (AL), 2011.
- VAN DE WALLE, F., 2004. **The Velomobile as a Vehicle for more sustainable Transportation**. Estocolmo, Suécia. Royal Institute of Technology. 2004.

OPPOSITELOCK. **People Powered: Velocars, Microcars, the wars and the Mochets**. 2014. Disponível em: < <http://oppositelock.kinja.com/people-powered-velocars-microcars-the-wars-the-mo-1634063169>>.

VITTOURIS, A., RICHARDSON, M.. **Designing for Velomobile Diversity: Alternative opportunities for sustainable personal mobility**. 7 th International Velomobile Seminar, 2012. University of Melbourne e Monash University.

RANKOVIC, N., 2012. **Bicycle Deraileur**. Disponível em: < <https://grabcad.com/library/bicycle-derailleur--1>>

RIGHI, L. A.. **Referências e Links**. Disponível em: <<http://coral.ufsm.br/righi/EEV/referendos.htm>>.

SORENSEN, P. H.. **Velomobile: Redefined**. 2014. 74 páginas. Dissertação – Universitetet i Stavanger.

WILCOX, J.. **Hub assembly for a tilting vehicle suspension**. US7850180 B2. 21 de outubro de 2008, 14 de dezembro de 2010.

ANEXOS

		Pág.	
	Anexo I	Resolução do CONTRAN que regulamenta o uso de bicicletas elétricas	55
II	Anexo	Catálogo utilizado na seleção de barra de alumínio de secção quadrada	58
	Anexo	Memorial de cálculo de tensões nos cordões de solda	59
III	Anexo	Esboços preliminares de desenvolvimento do quadro e dos cálculos de tensões nos cordões de solda	60
IV	AnexoV	Desenhos técnicos	62

RESOLUÇÃO Nº 465 , DE 27 DE NOVEMBRO DE 2013

Dá nova redação ao Art. 1º da Resolução nº 315, de 08 de maio de 2009, do CONTRAN, que estabelece a equiparação dos veículos ciclo-elétrico, aos ciclomotores e os equipamentos obrigatórios para condução nas vias públicas abertas à circulação e dá outras providências.

O CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN, no uso das atribuições que lhe são conferidas pelo art. 12 da lei nº 9.503, de 25 de setembro de 1997, que institui o Código de Trânsito Brasileiro - CTB e conforme o Decreto nº 4.711, de 29 de maio de 2003, que dispõe sobre a coordenação do Sistema Nacional de Trânsito;

Considerando a necessidade de apoio às políticas de mobilidade sustentável e a crescente demanda por opções de transporte que priorizem a preservação do meio ambiente;

Considerando os permanentes e sucessivos avanços tecnológicos empregados na construção de veículos, bem como a utilização de novas fontes de energia e novas unidades motoras aplicadas de forma acessória em bicicletas, e em evolução ao conceito inicial de ciclomotor;

Considerando o crescente uso de ciclo motorizado elétrico em condições que comprometem a segurança do trânsito;

Considerando o que consta no processo administrativo nº 80001.003430/2008-78;

RESOLVE:

Art. 1º O parágrafo único do artigo 1º da Resolução CONTRAN Nº 315/2009 fica renumerado para § 1º.

Art. 2º Ficam incluídos os parágrafos 2º, 3º e 4º, no art. 1º da Resolução CONTRAN Nº 315/2009, com a seguinte redação:

Art 1º.....
.....

§ 1º

§ 2º Fica excepcionalizado da equiparação prevista no caput deste artigo os equipamentos de mobilidade individual autopropelidos, sendo permitida sua circulação somente em áreas de circulação de pedestres, ciclovias e ciclo faixas, atendidas as seguintes condições:

I – velocidade máxima de 6 km/h em áreas de circulação de pedestres;

II – velocidade máxima de 20 km/h em ciclovias e ciclo faixas;

III – uso de indicador de velocidade, campainha e sinalização noturna, dianteira, traseira e lateral, incorporados ao equipamento;

IV – dimensões de largura e comprimento iguais ou inferiores às de uma cadeira de rodas, especificadas pela Norma Brasileira NBR 9050/2004.

§ 3º Fica excepcionalizada da equiparação prevista no caput deste artigo a bicicleta dotada originalmente de motor elétrico auxiliar, bem como aquela que tiver o dispositivo motriz agregado posteriormente à sua estrutura, sendo permitida a sua circulação em ciclovias e ciclo faixas, atendidas as seguintes condições:

I – com potência nominal máxima de até 350 Watts;

II – velocidade máxima de 25 km/h;

III – serem dotadas de sistema que garanta o funcionamento do motor somente quando o condutor pedalar;

IV – não dispor de acelerador ou de qualquer outro dispositivo de variação manual de potência;

V – estarem dotadas de:

- a) indicador de velocidade;
- b) campainha;
- c) sinalização noturna dianteira, traseira e lateral;
- d) espelhos retrovisores em ambos os lados;
- e) pneus em condições mínimas de segurança.

VI – uso obrigatório de capacete de ciclista.

§ 4º Caberá aos órgãos e entidades executivos de trânsito dos municípios e do Distrito Federal, no âmbito de suas circunscrições, regulamentar a circulação dos equipamentos de mobilidade individual autopropelidos e da bicicleta elétrica de que tratam os parágrafos 2º e 3º do presente artigo.

Art. 3º Fica revogada a Resolução CONTRAN Nº 375/11, de 18 de março de 2011.

Art. 4º Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

Morvam Cotrim Duarte
Presidente em Exercício

Mario Fernando de Almeida Ribeiro
Ministério da Defesa

Rone Evaldo Barbosa
Ministério dos Transportes

José Maria Rodrigues de Souza
Ministério da Educação

Luiz Otávio Maciel Miranda
Ministério da Saúde

Paulo Cesar de Macedo
Ministério do Meio Ambiente

Tubo Quadrado peso/metro

	Diâmetro Externo		Espessura da Parede			
	Polegada	Milímetro	1,00 mm	1/16" 1,58 mm	2,00 mm	1/8" 3,17 mm
	1/2"	12,70	---	0,190	---	---
	5/8"	15,87	---	0,245	---	---
	3/4"	19,05	0,196	0,299	0,370	0,546
	1"	25,40	---	0,408	0,507	0,764
	1.1/4"	31,75	---	0,517	0,645	---
	1.1/2"	38,10	---	0,625	0,783	---
	2"	50,80	---	---	1,058	1,637
	2.1/2"	63,50	---	---	---	2,073
	3"	76,20	---	---	1,609	---
	4"	101,60	---	---	---	---

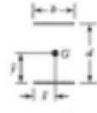
(Fonte: ALUMICOPPER - <http://alumicopper.com.br/>)

ANEXO III: Planilha de cálculo da resistência estática e de deflexão

Localização da solda	Cortante [N]	d_x [mm]	Momento Fletor [N.mm]	d_y [mm]	Momento Torsor [N.mm]	Área da garganta da solda [mm ²]	Segundo momento polar de inércia (J)	Distância do centróide (r)
A	166	282,4	46878	86,55	14367	342,1	165530,04	26,340768
B	166	404,8	67197	19,05	3162			
C	166	501,4	83232	0	0			
D	334	450,5	2E+05	0	0			
E	334	315,3	1E+05					

b	d	Segundo momento polar unitário [mm ³]	Tensão de cisalhamento Primária (Mpa)	Tensão de cisalhamento secundária (Mpa)	Garganta de solda (h)	Tensão de cisalhamento resultante	S _{xy}	S _y	Fator de segurança
38,1	38,1	73741,79	0,48524378	2,3383436	3,175	2,38816088	138	275	57,576
					3,175		138	275	
					3,175		138	275	
					6			275	
					3,175			275	

	Momento de área (I) [mm ²]	Momento de área unitário (I _u)	b	d	x	y	r	A	Tensão de devido a flexão	Tensão na base da solda (Mpa)	Fator de segurança
A	62073,76	27653,17	38,1	38,1	19,05	19,05	42,6	171	0,9704876	32,169528	8,548462
B	62073,76	27653,17	38,1	38,1	19,05	19,05	42,6	171	0,9704876	46,112634	5,963651
C	62073,76	27653,17	38,1	38,1	19,05	19,05	42,6	171	0,9704876	57,11686	4,81463
D	67884,63	16002,99	31,75	31,75	15,88	7,938	32,7	269,4	1,233944	72,540009	3,791011
E	35922,32	16002,99	31,75	31,75	15,88	7,938	32,7	142,5	2,3432013	95,943222	2,866279

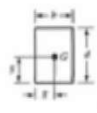


$$A = 1,414hb$$

$$\bar{x} = b/2$$

$$\bar{y} = d/2$$

$$I_x = \frac{bd^3}{2}$$

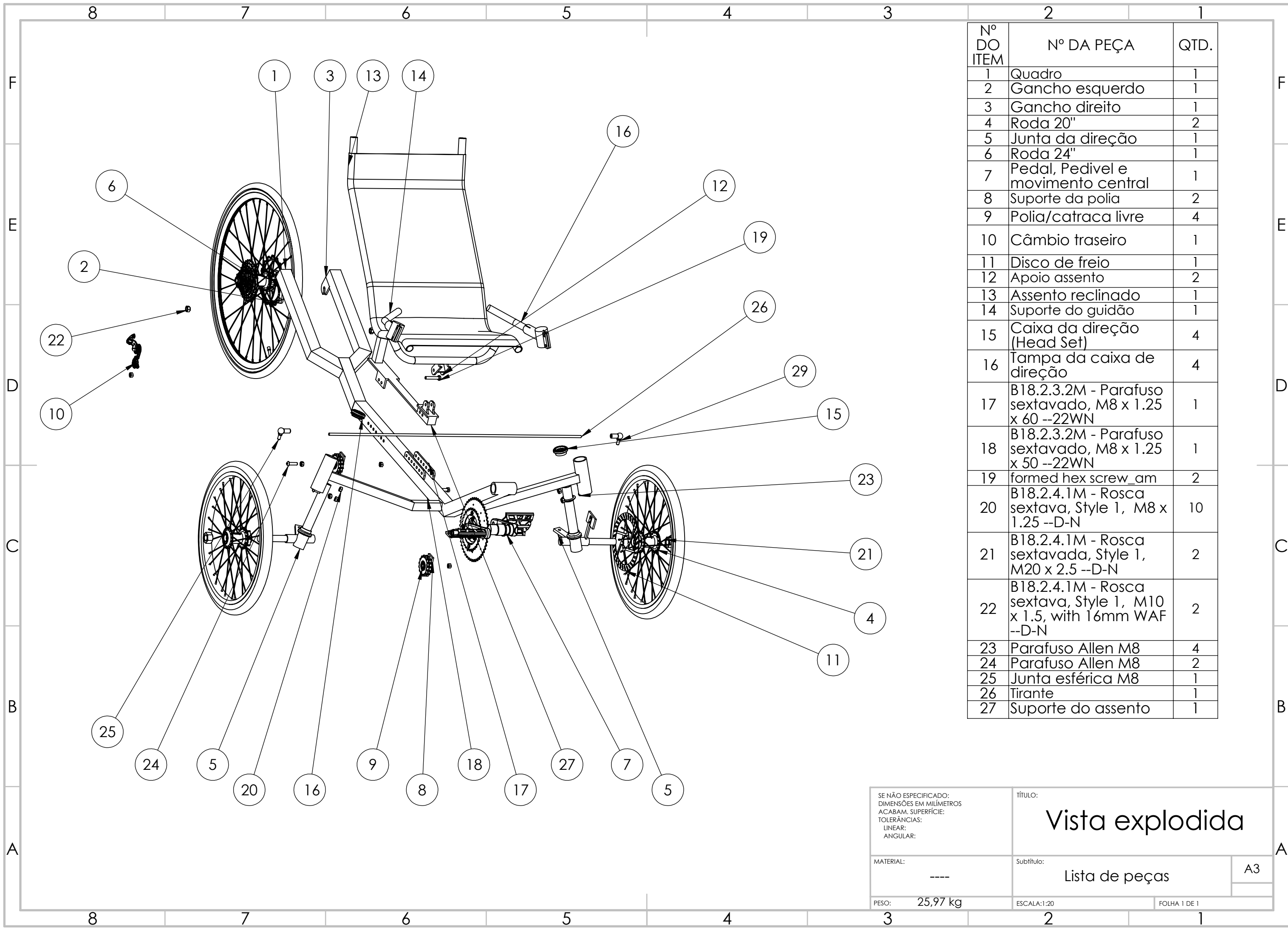


$$A = 1,414h(b+d)$$

$$\bar{x} = b/2$$

$$\bar{y} = d/2$$

$$I_x = \frac{(b+d)^3}{8}$$



Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	QTD.
1	Quadro	1
2	Gancho esquerdo	1
3	Gancho direito	1
4	Roda 20"	2
5	Junta da direção	1
6	Roda 24"	1
7	Pedal, Pedivel e movimento central	1
8	Suporte da polia	2
9	Polia/catraca livre	4
10	Câmbio traseiro	1
11	Disco de freio	1
12	Apoio assento	2
13	Assento reclinado	1
14	Suporte do guidão	1
15	Caixa da direção (Head Set)	4
16	Tampa da caixa de direção	4
17	B18.2.3.2M - Parafuso sextavado, M8 x 1.25 x 60 --22WN	1
18	B18.2.3.2M - Parafuso sextavado, M8 x 1.25 x 50 --22WN	1
19	formed hex screw_am	2
20	B18.2.4.1M - Rosca sextava, Style 1, M8 x 1.25 --D-N	10
21	B18.2.4.1M - Rosca sextavada, Style 1, M20 x 2.5 --D-N	2
22	B18.2.4.1M - Rosca sextava, Style 1, M10 x 1.5, with 16mm WAF --D-N	2
23	Parafuso Allen M8	4
24	Parafuso Allen M8	2
25	Junta esférica M8	1
26	Tirante	1
27	Suporte do assento	1

SE NÃO ESPECIFICADO:
DIMENSÕES EM MILÍMETROS
ACABAM. SUPERFÍCIE:
TOLERÂNCIAS:
LINEAR:
ANGULAR:

MATERIAL:

PESO: 25,97 kg

TÍTULO:

Vista explodida

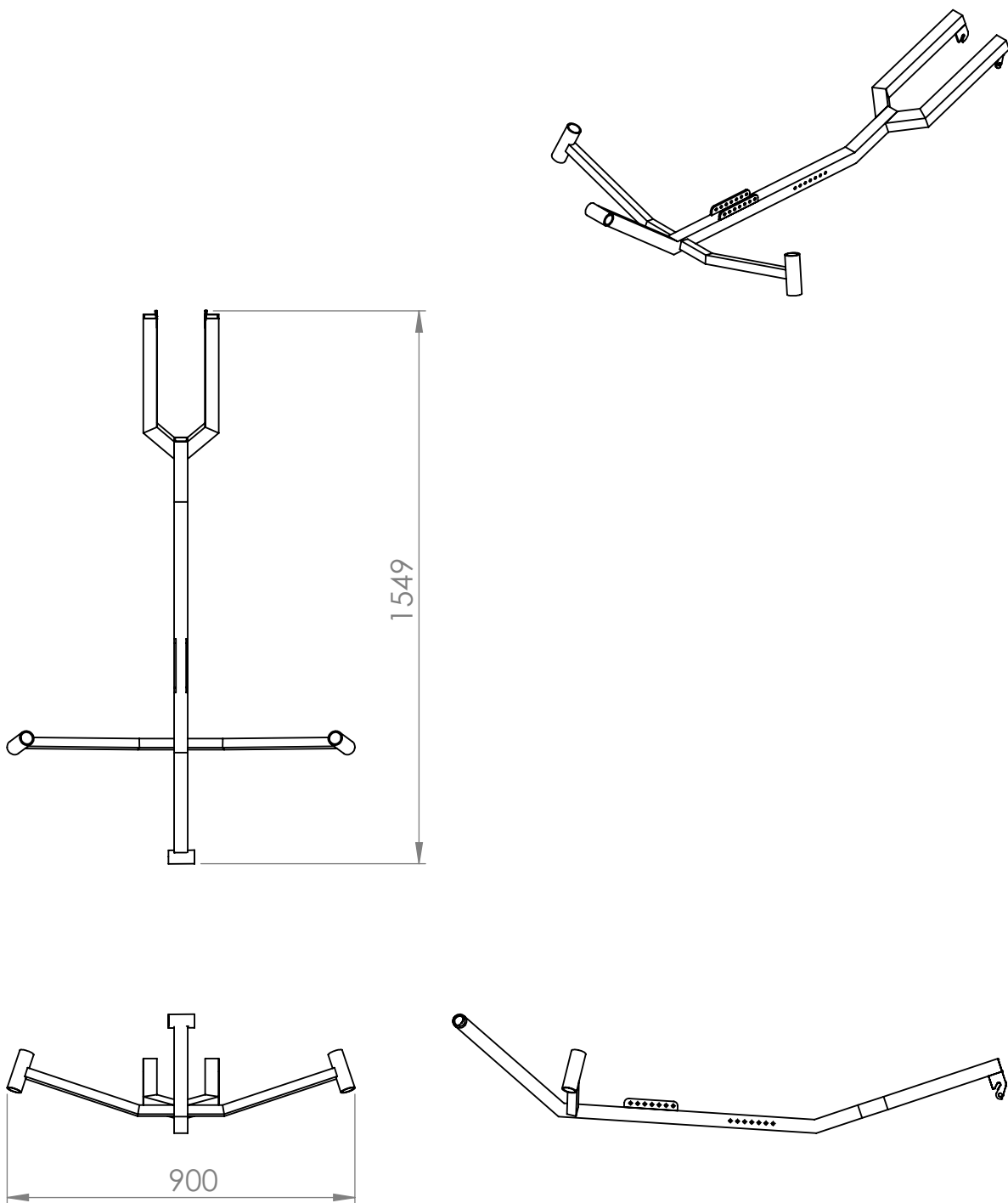
Subtítulo:

Lista de peças

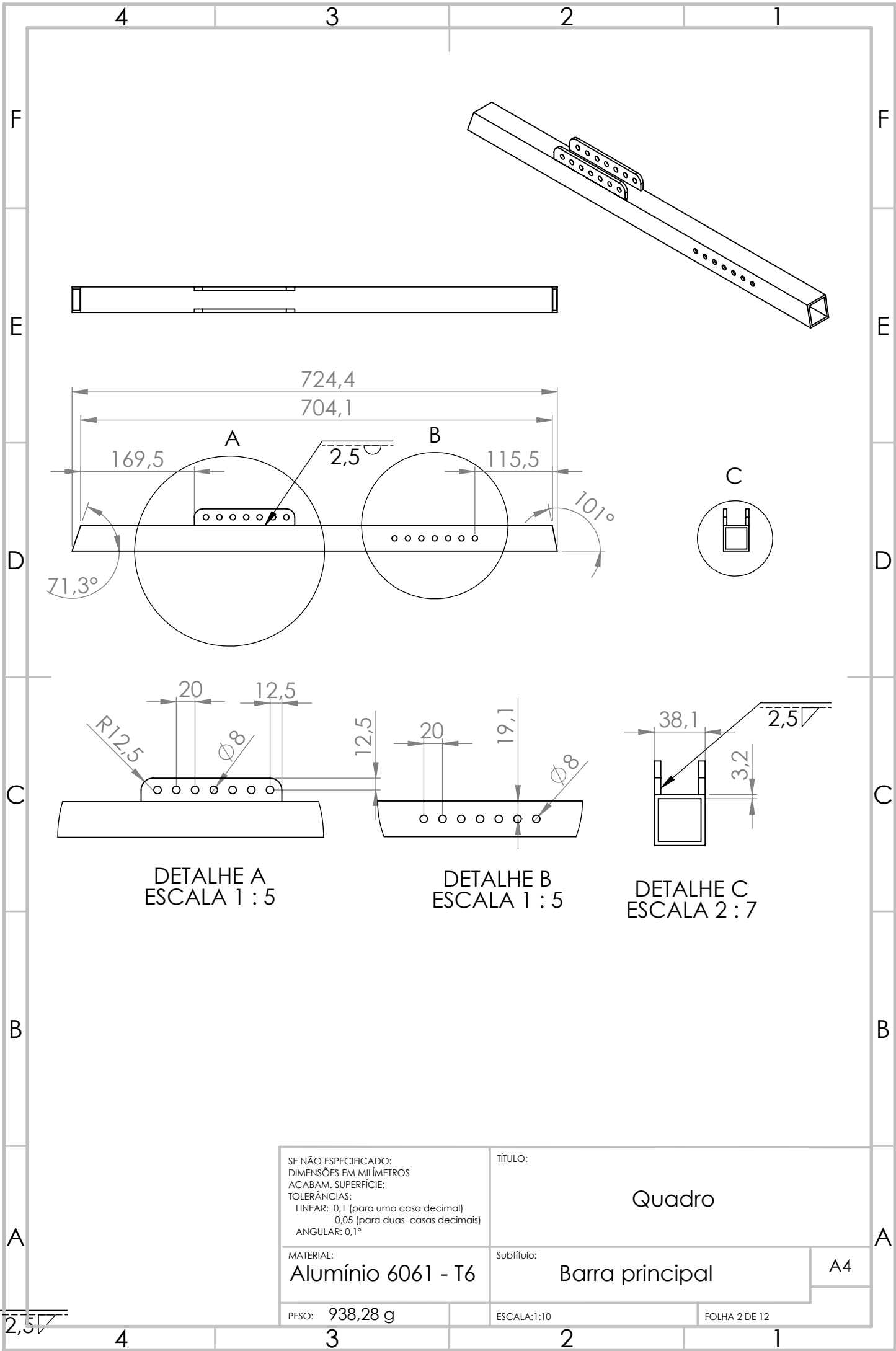
A3

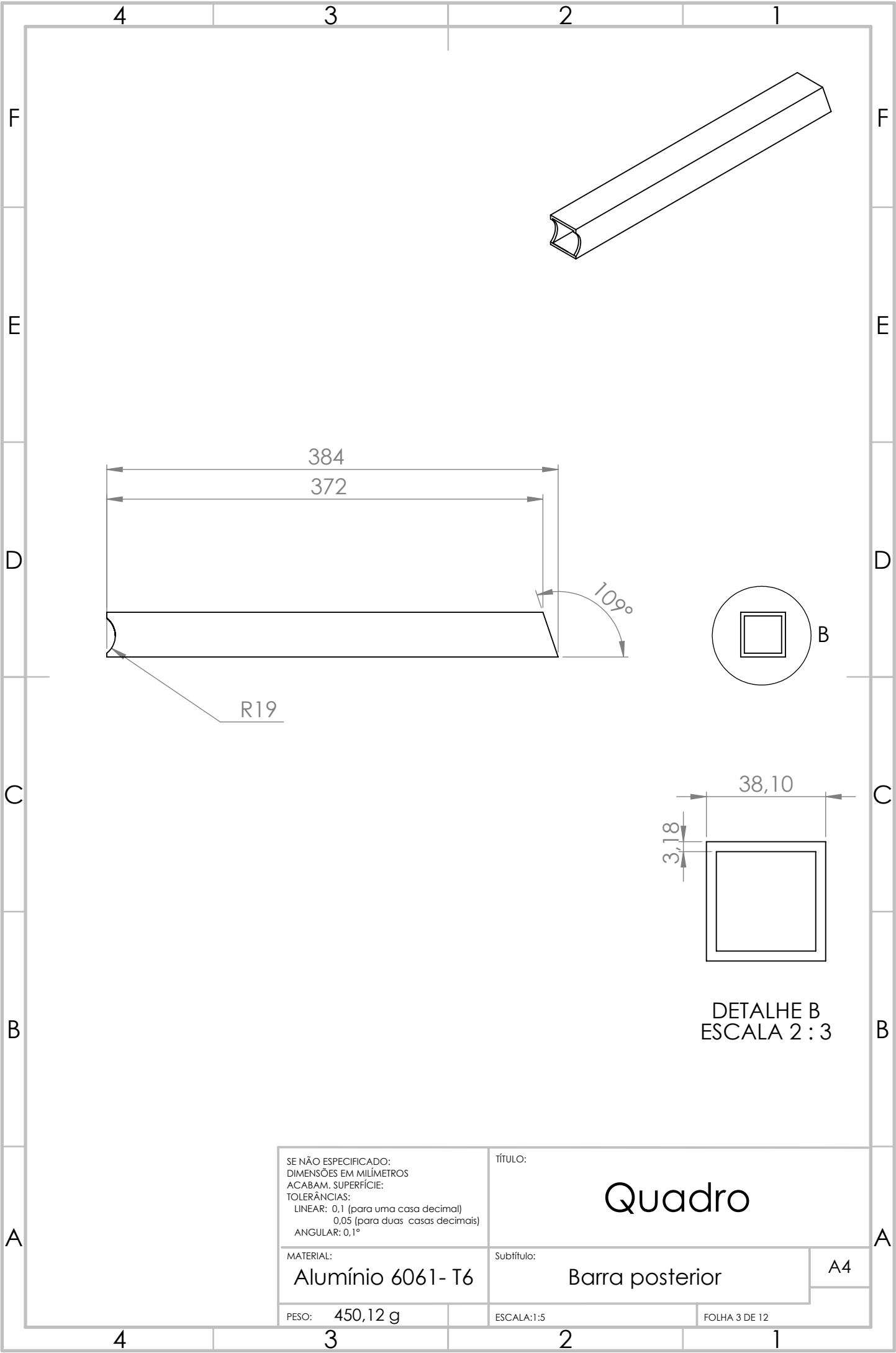
ESCALA:1:20

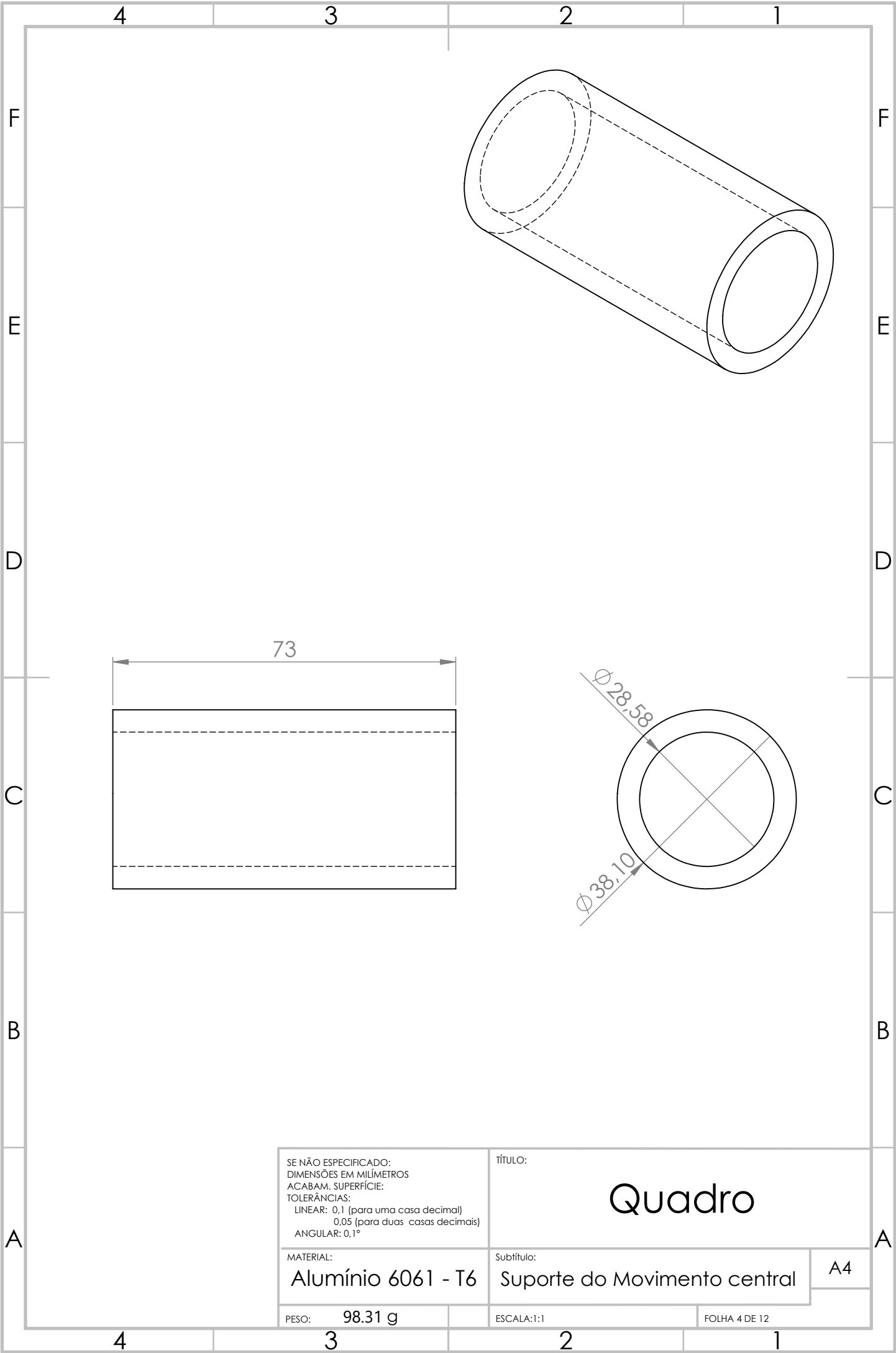
FOLHA 1 DE 1

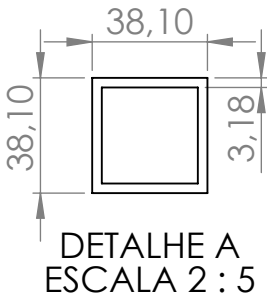
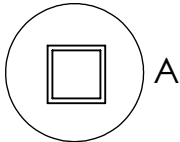
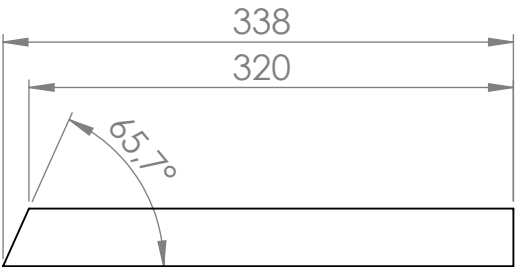
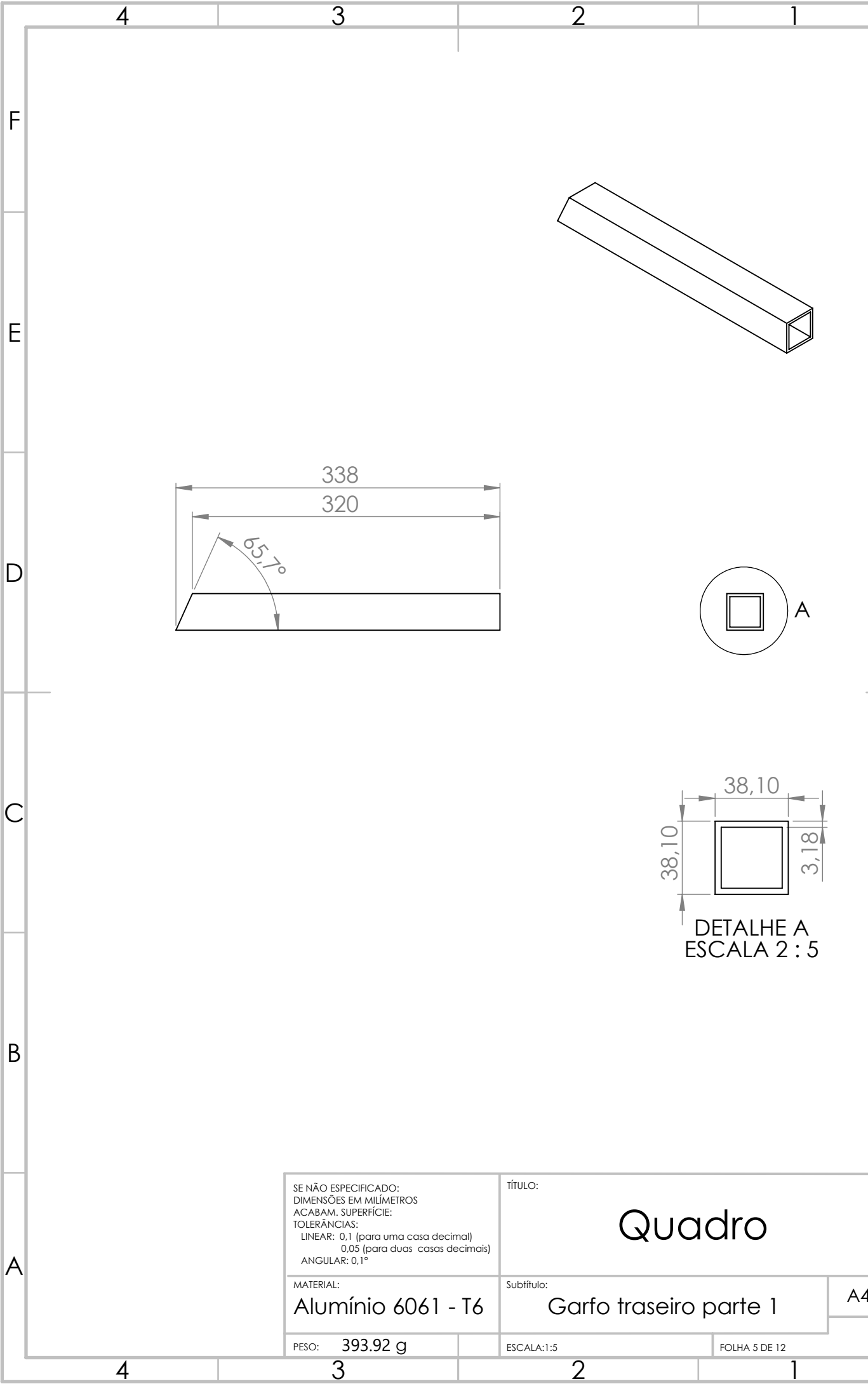


SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: 0,1 (para uma casa decimal) 0,05 (para duas casas decimais) ANGULAR: 0,1°		TÍTULO: Quadro	
MATERIAL: Alumínio 6061 - T6		Subtítulo: Visão Geral	A4
PESO: 3,65 Kg	ESCALA: 1:50	FOLHA 1 DE 12	

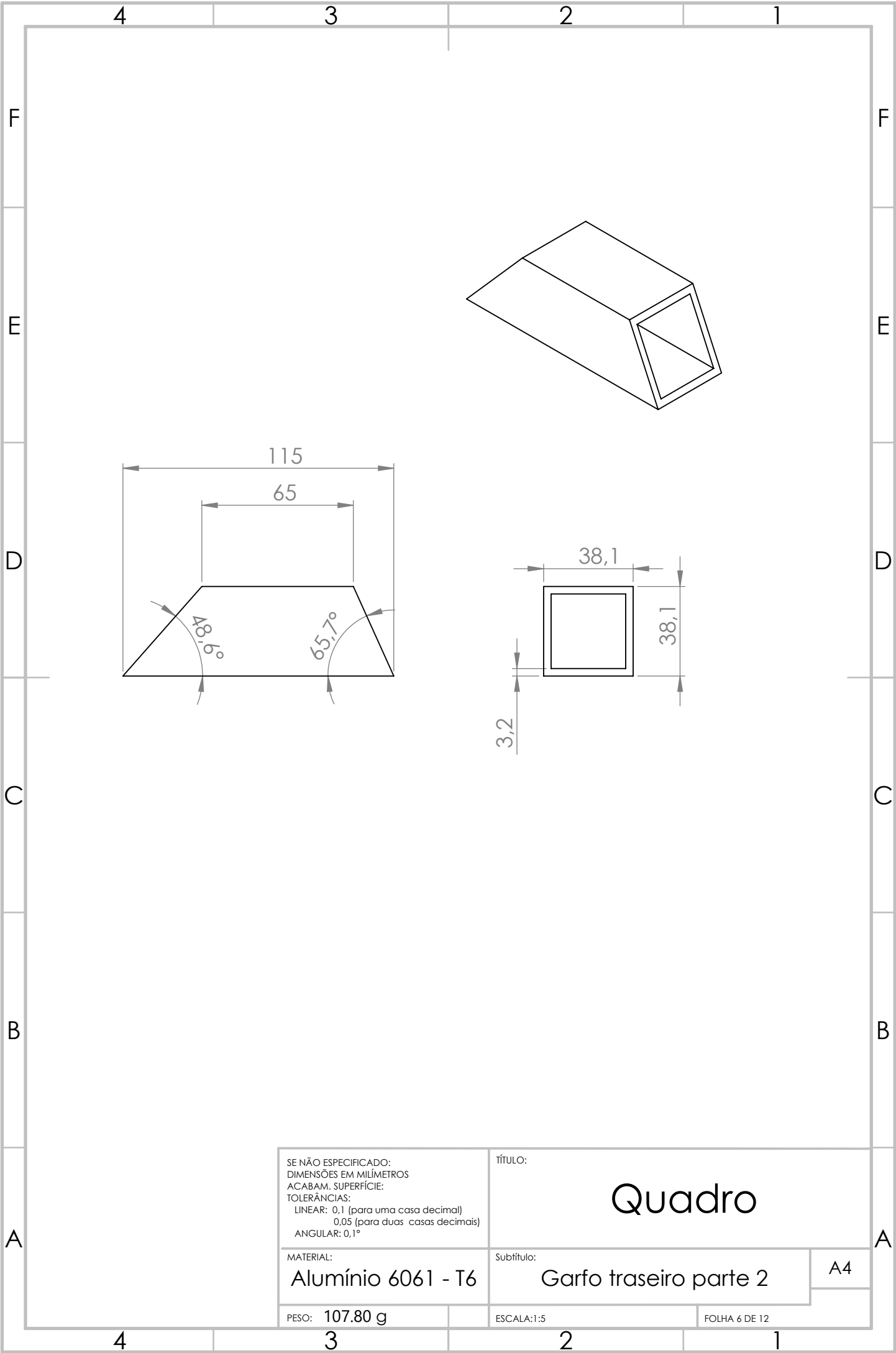


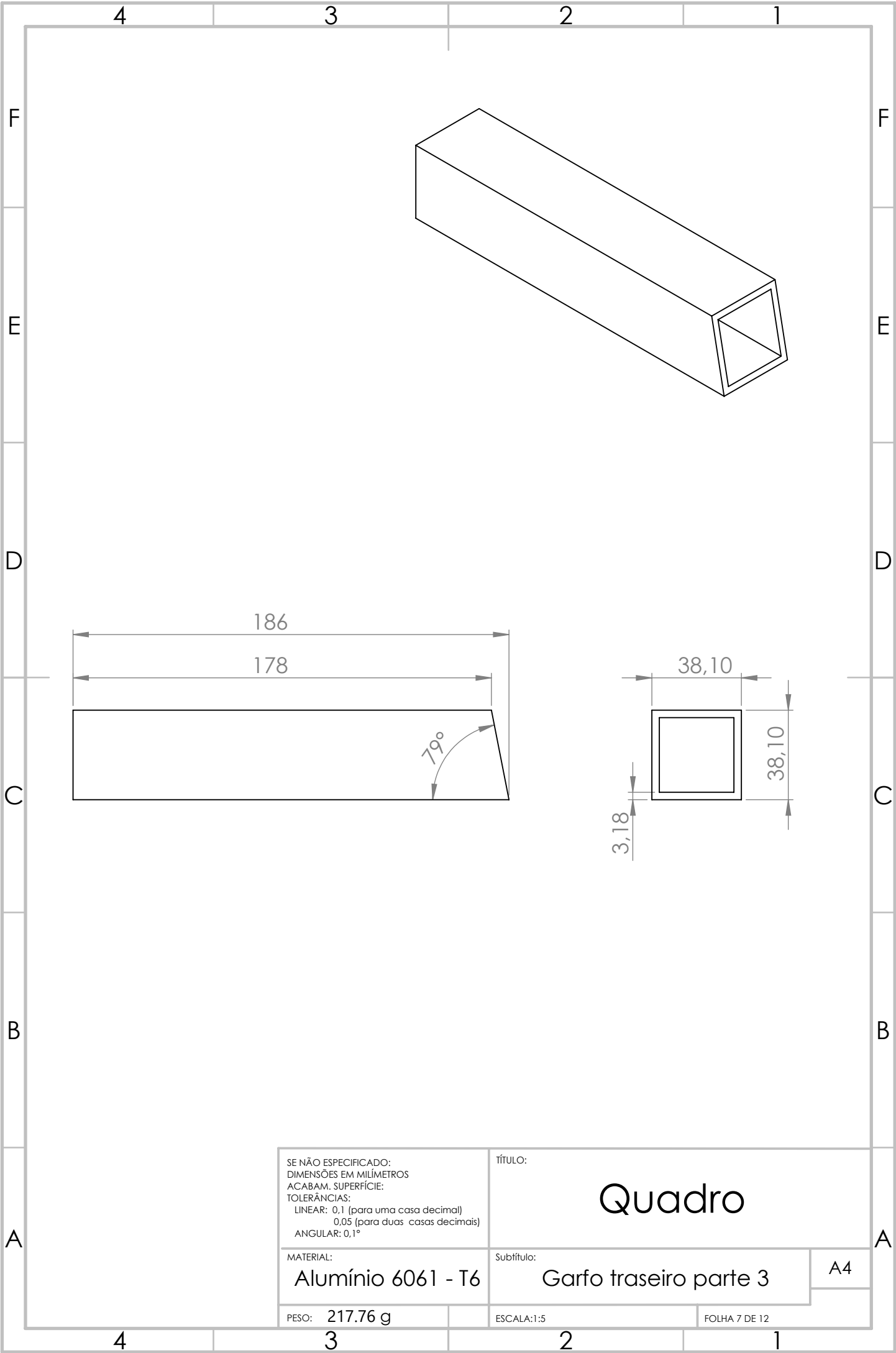


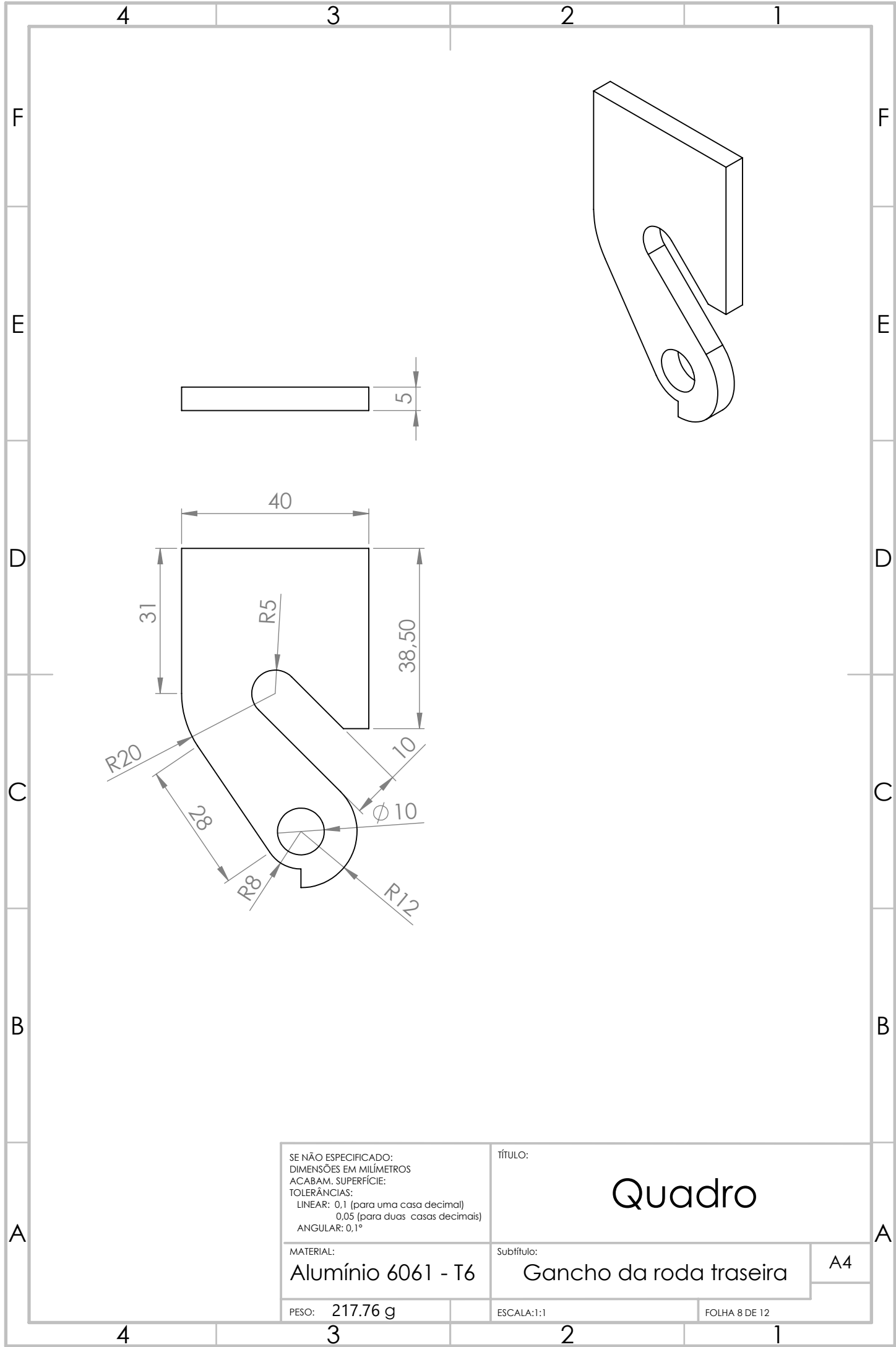


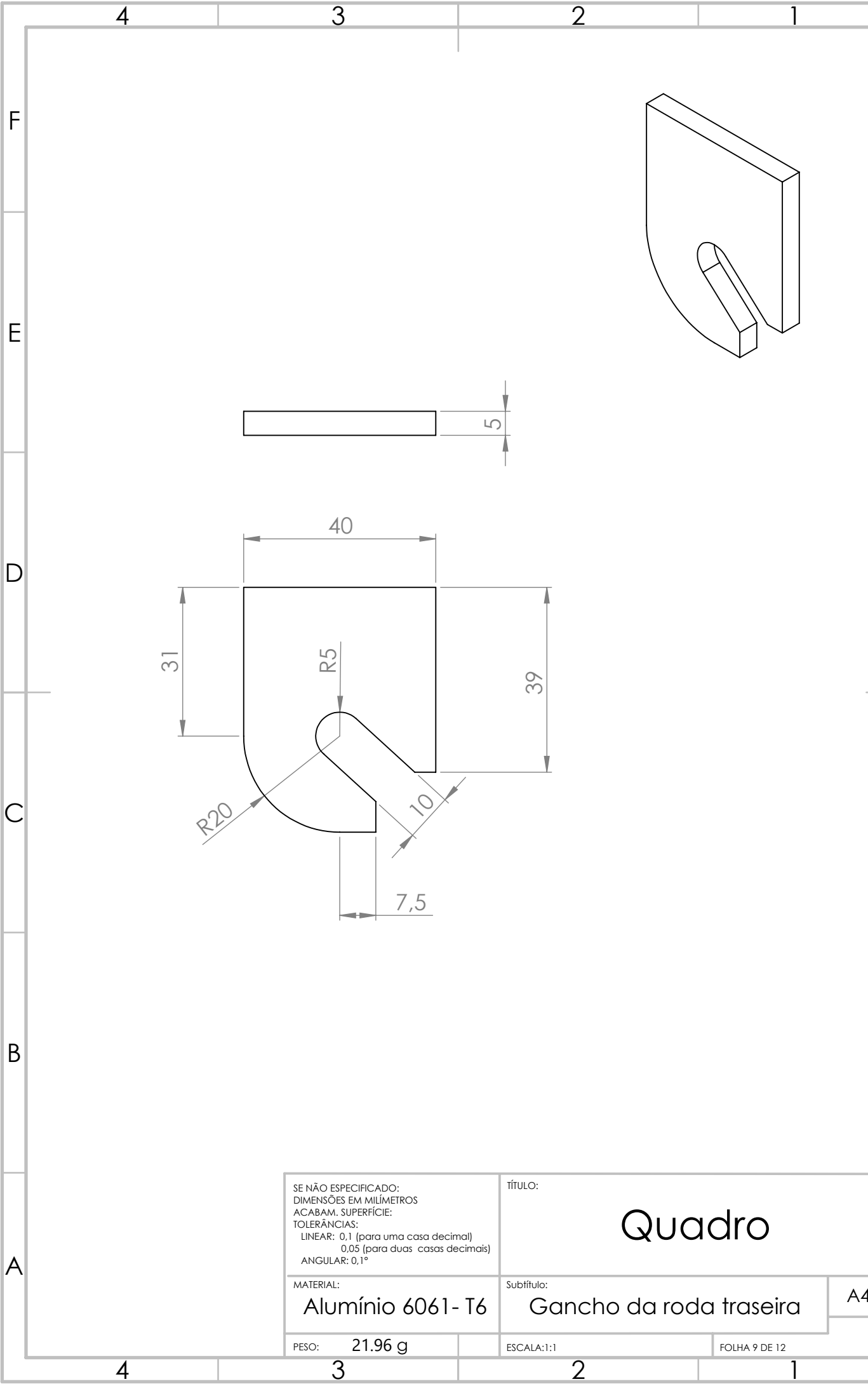


SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: 0,1 (para uma casa decimal) 0,05 (para duas casas decimais) ANGULAR: 0,1°		TÍTULO: Quadro	
MATERIAL: Alumínio 6061 - T6		Subtítulo: Garfo traseiro parte 1	A4
PESO: 393.92 g	ESCALA:1:5		FOLHA 5 DE 12



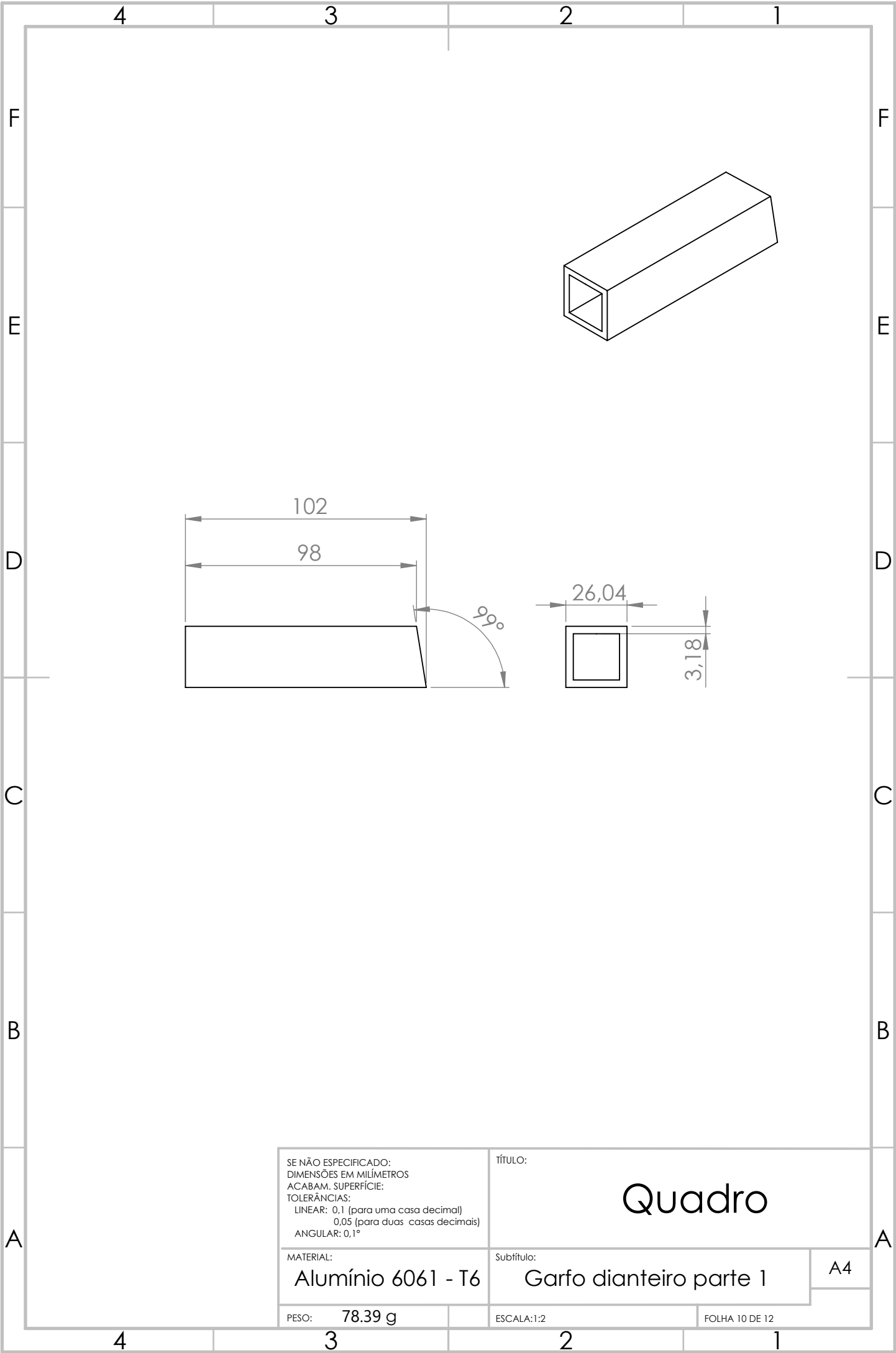


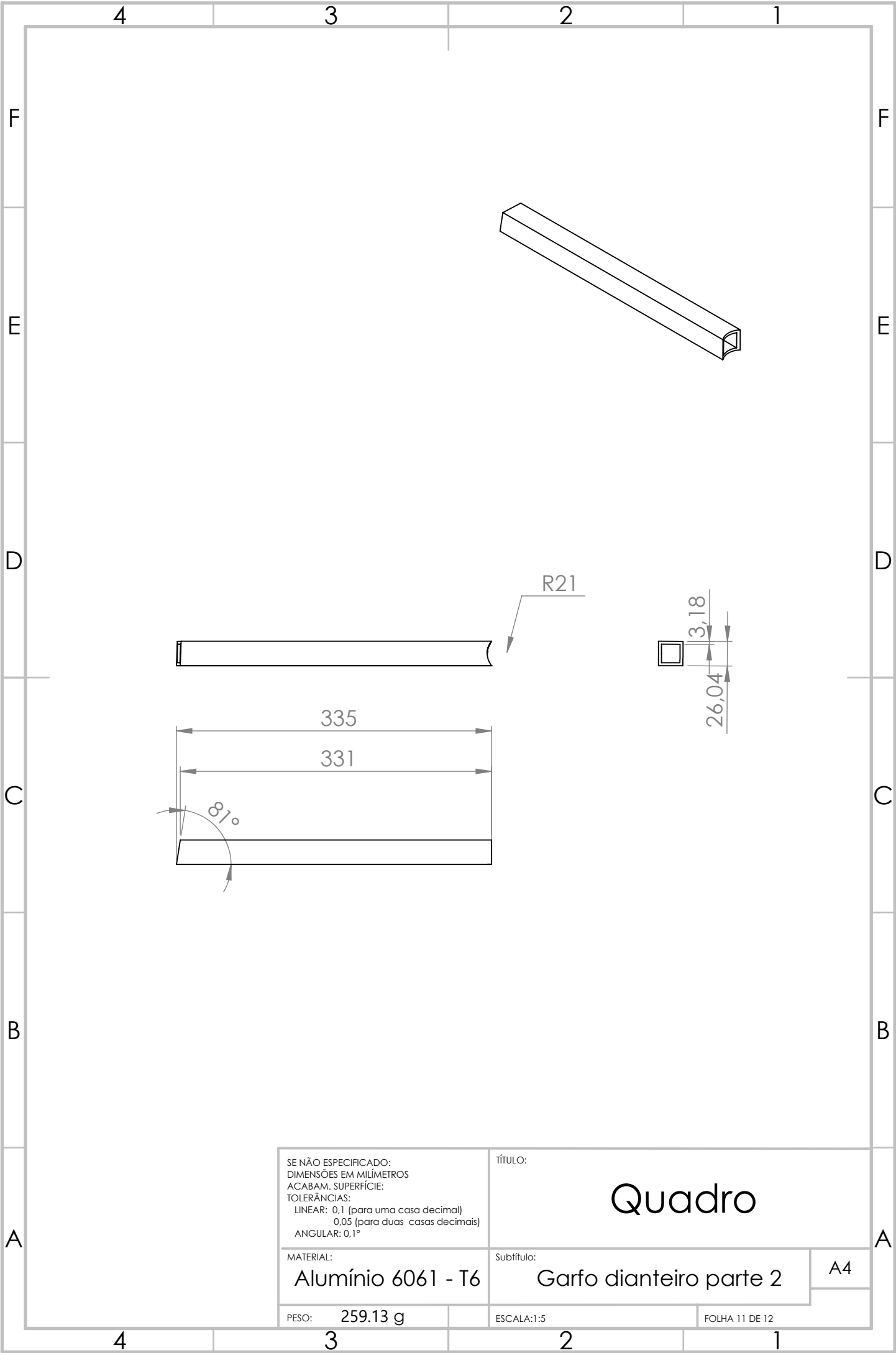


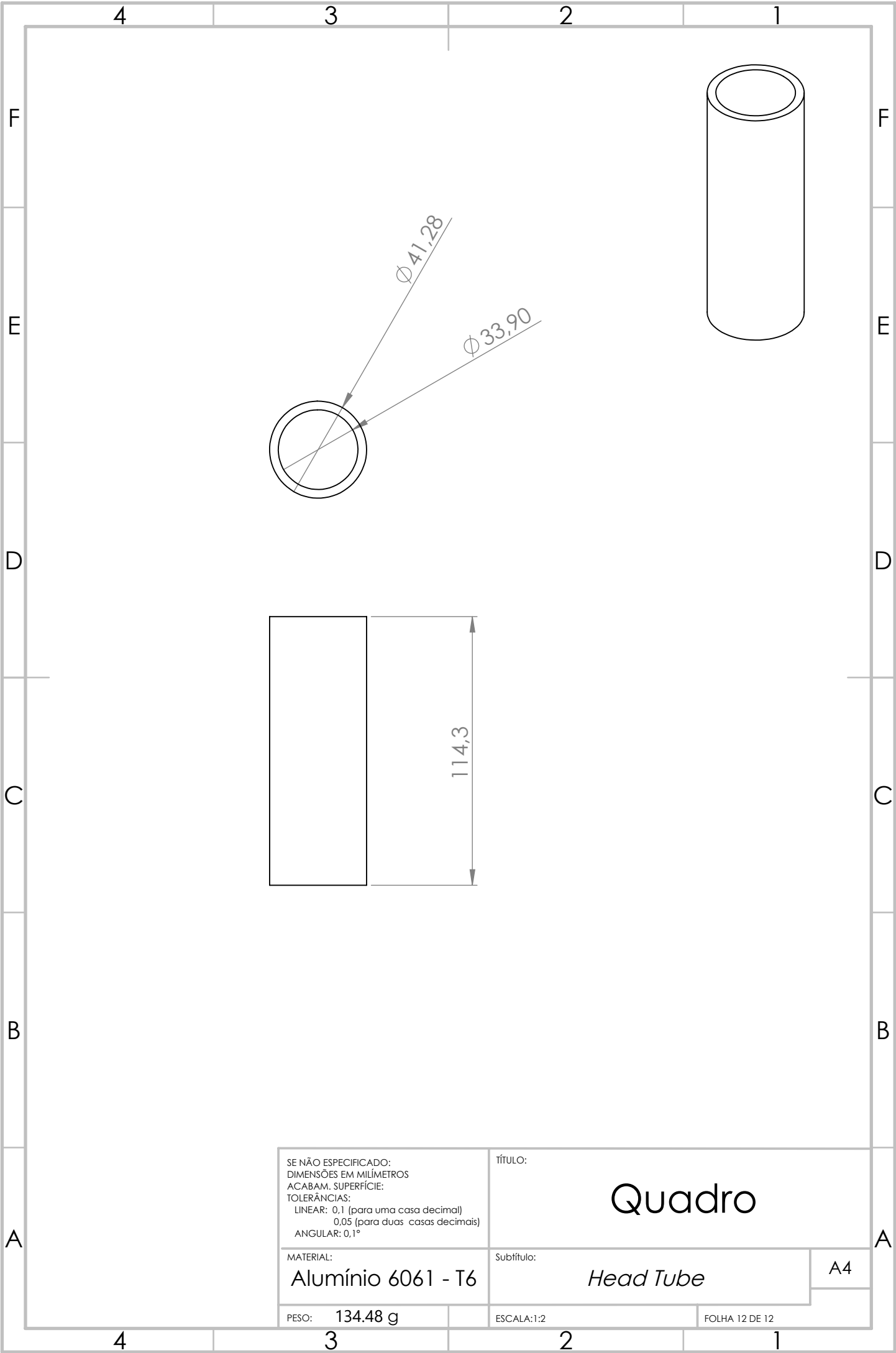


SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: 0,1 (para uma casa decimal) 0,05 (para duas casas decimais) ANGULAR: 0,1°		TÍTULO: Quadro	
MATERIAL: Alumínio 6061- T6		Subtítulo: Gancho da roda traseira	
PESO: 21.96 g		ESCALA:1:1	FOLHA 9 DE 12

A4

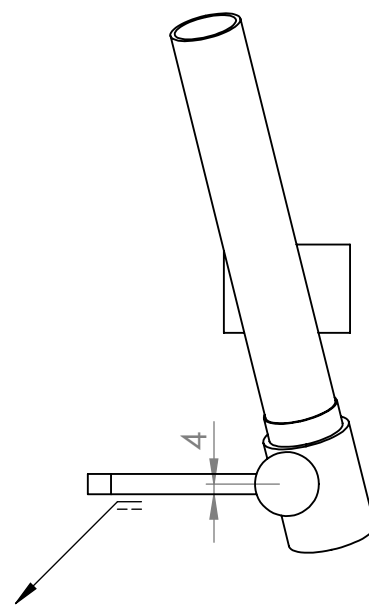
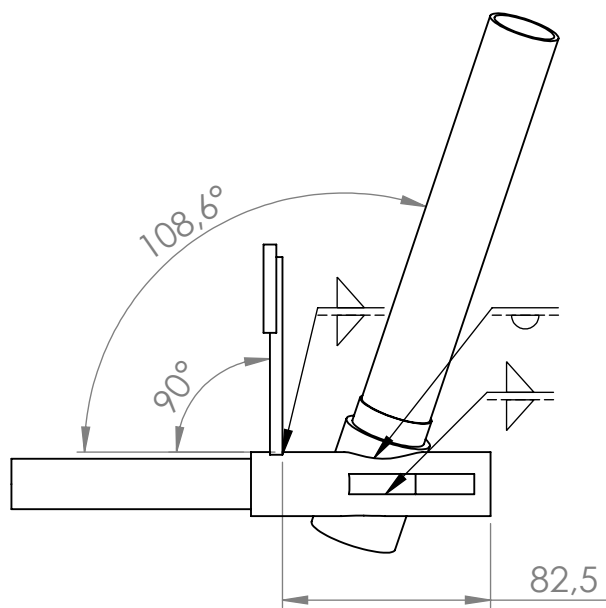
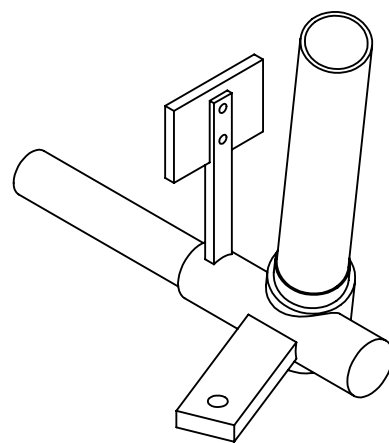
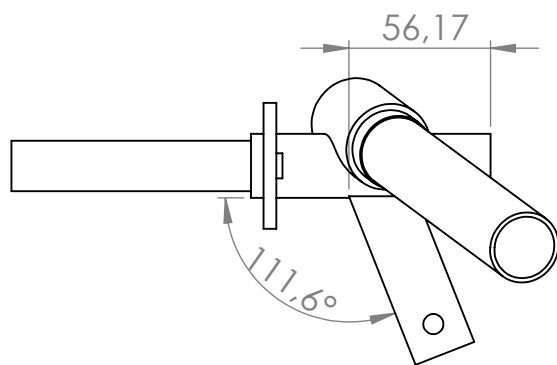






SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: 0,1 (para uma casa decimal) 0,05 (para duas casas decimais) ANGULAR: 0,1°	TÍTULO: Quadro	
	MATERIAL: Alumínio 6061 - T6	Subtítulo: Head Tube
PESO: 134.48 g	ESCALA:1:2	FOLHA 12 DE 12

A4



SE NÃO ESPECIFICADO:
DIMENSÕES EM MILÍMETROS
ACABAM. SUPERFÍCIE:
TOLERÂNCIAS:
LINEAR: 0,1 (para uma casa decimal)
0,05 (para duas casas decimais)
ANGULAR: 0,1°

MATERIAL:
Aço 4130

PESO: **1,266 kg**

TÍTULO:

Junta de direção

Subtítulo:

Geral

A4

ESCALA:1:5

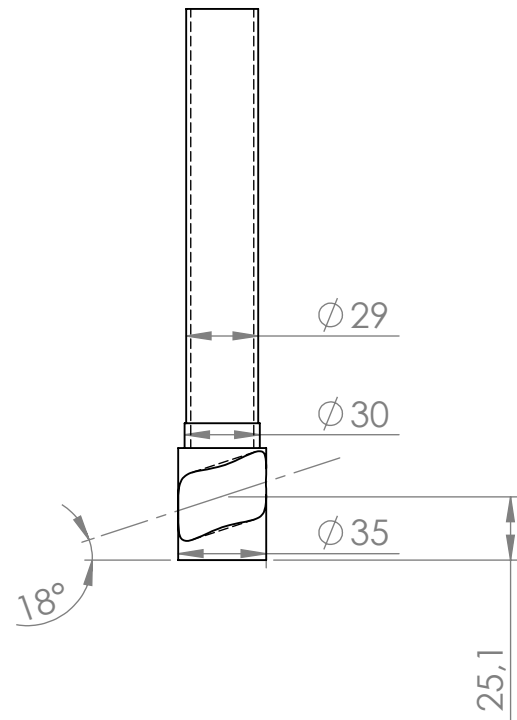
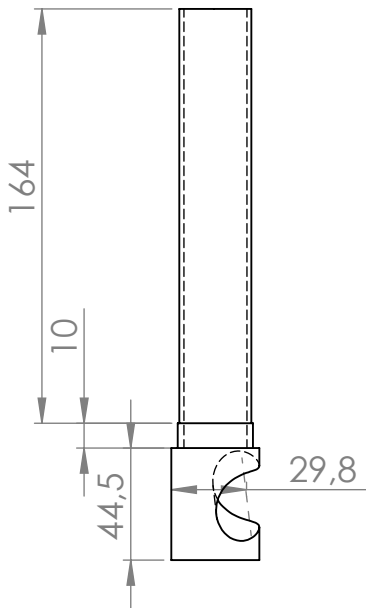
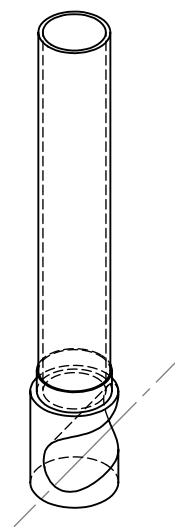
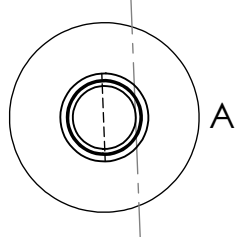
FOLHA 1 DE 6

4 3 2 1

F

$\phi 25 \nabla 174$

DETALHE A
ESCALA 2 : 3



SE NÃO ESPECIFICADO:
DIMENSÕES EM MILÍMETROS
ACABAM. SUPERFÍCIE:
TOLERÂNCIAS:
LINEAR: 0,1 (para uma casa decimal)
0,05 (para duas casas decimais)
ANGULAR: 0,1°

MATERIAL:
Aço 4130 - Norm.

PESO: 461,2 g

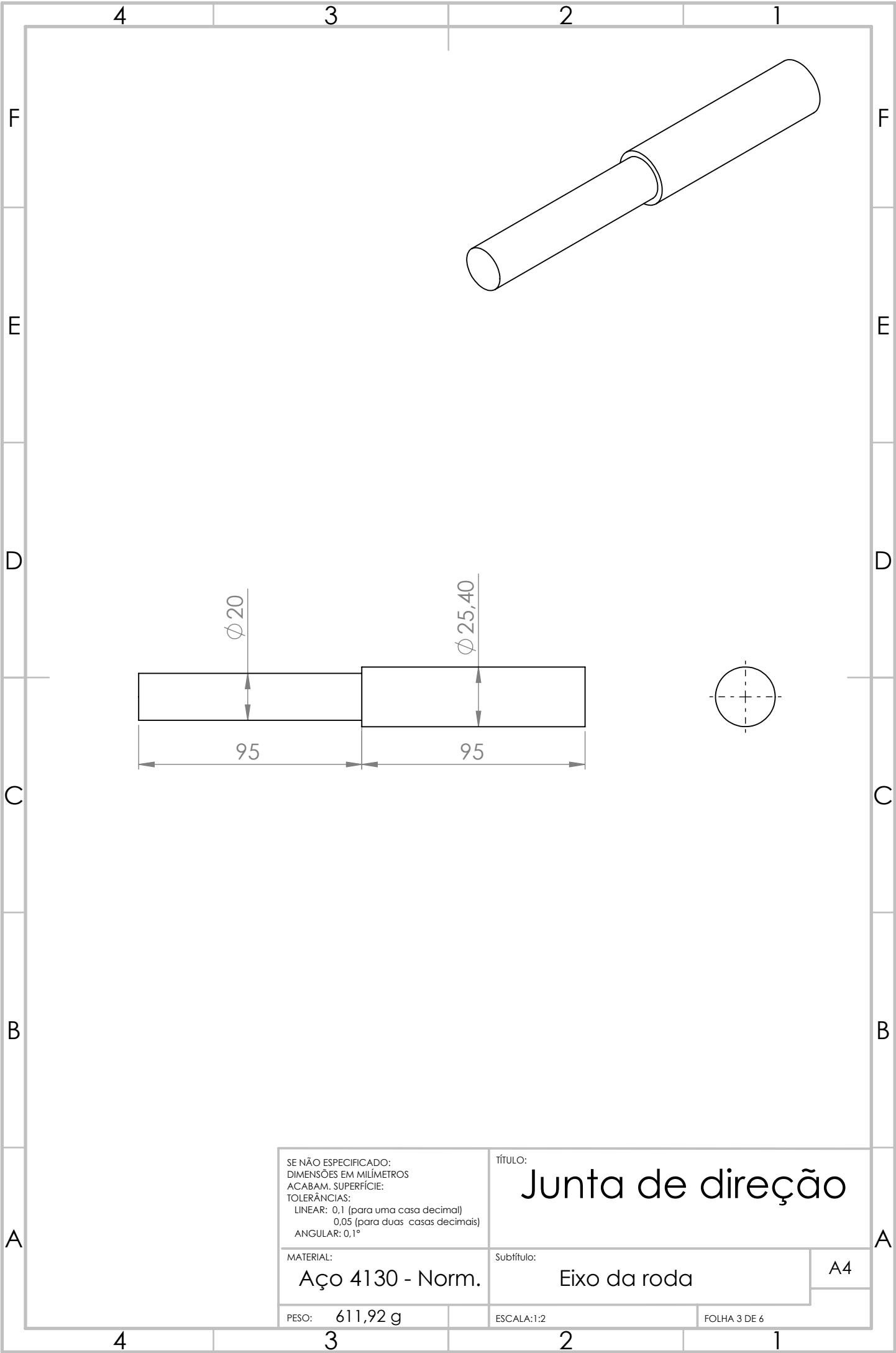
TÍTULO:
Junta de direção

Subtítulo:
Kingpin

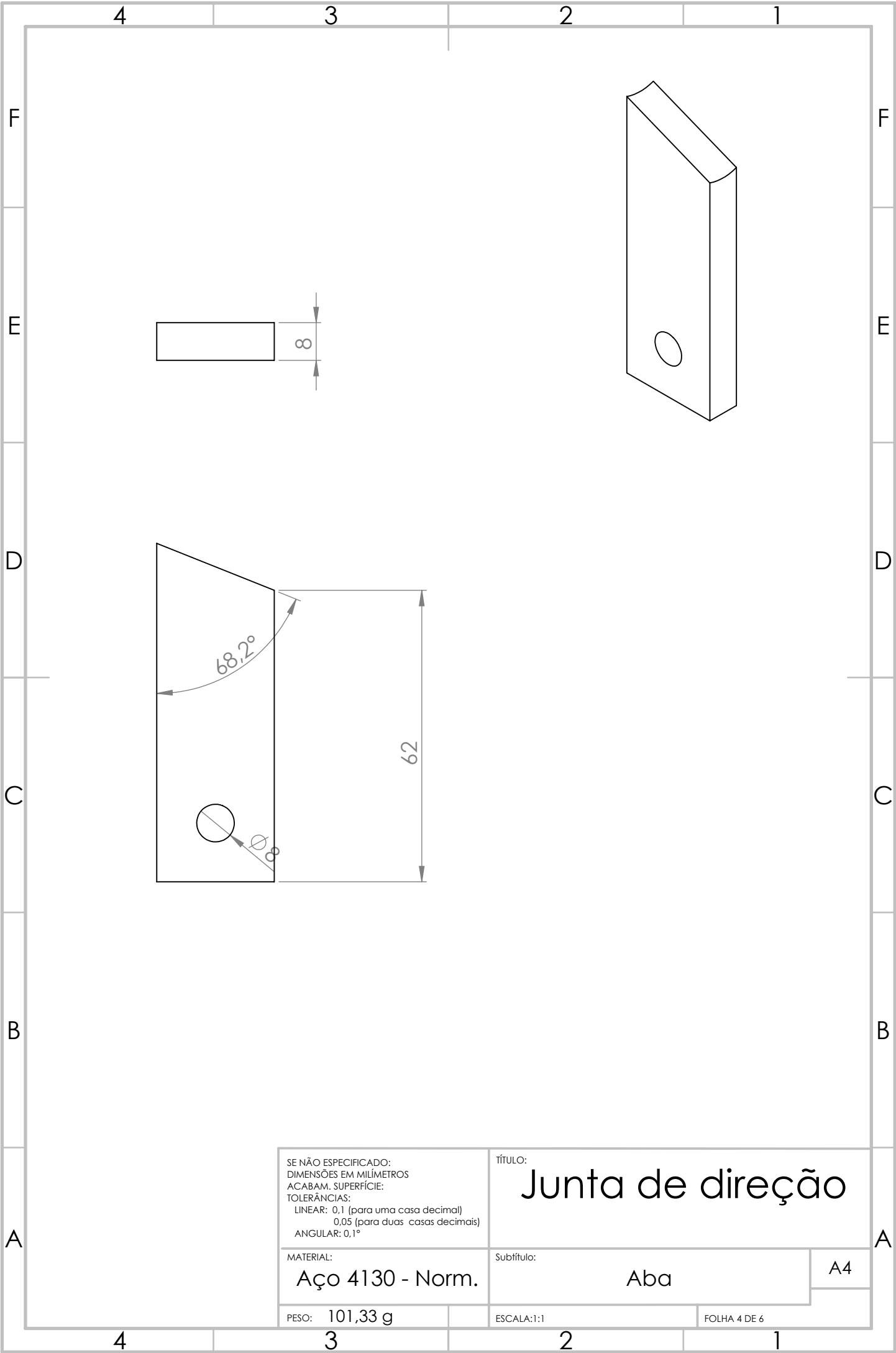
ESCALA:1:5

FOLHA 2 DE 6

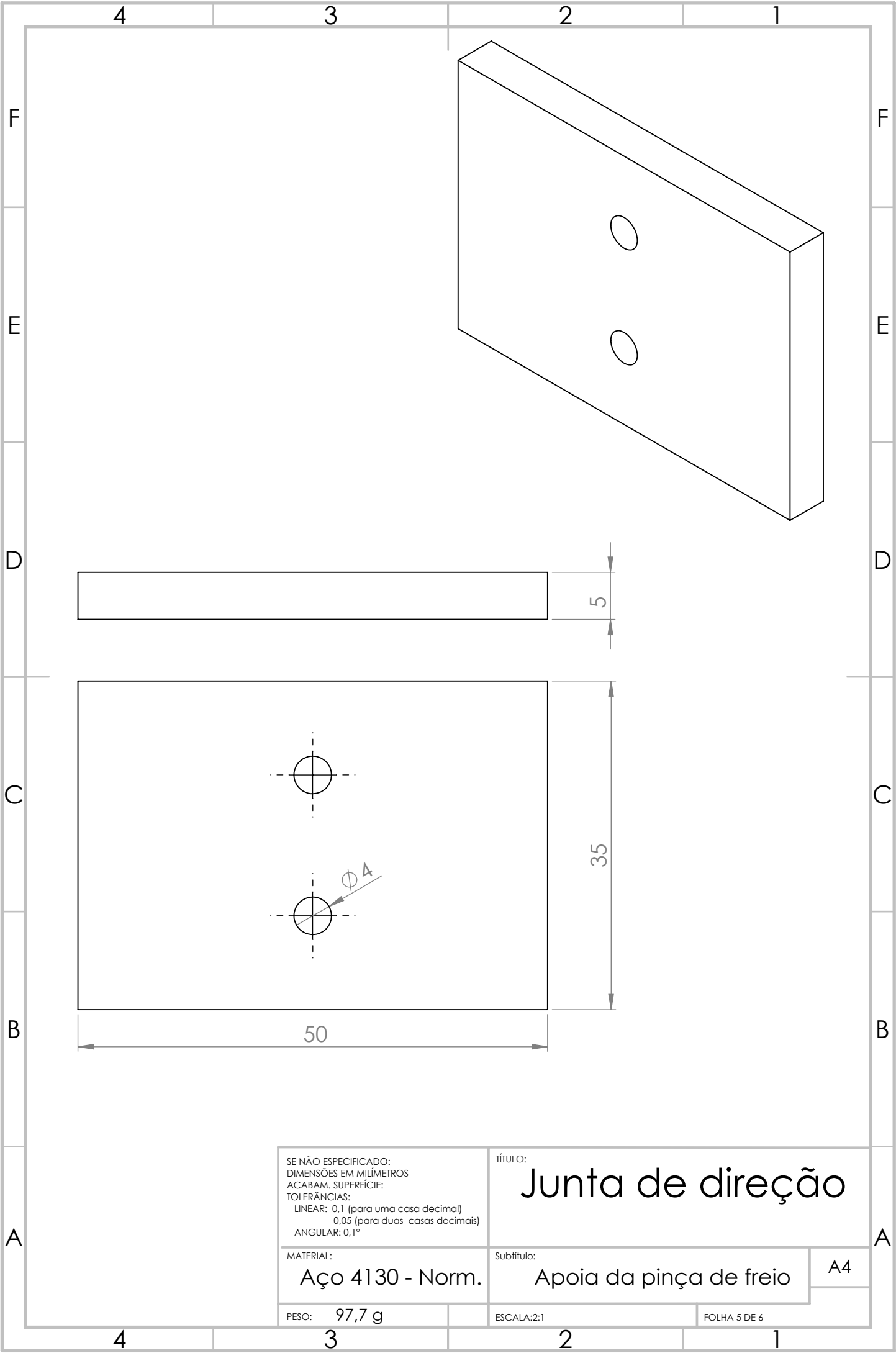
A4

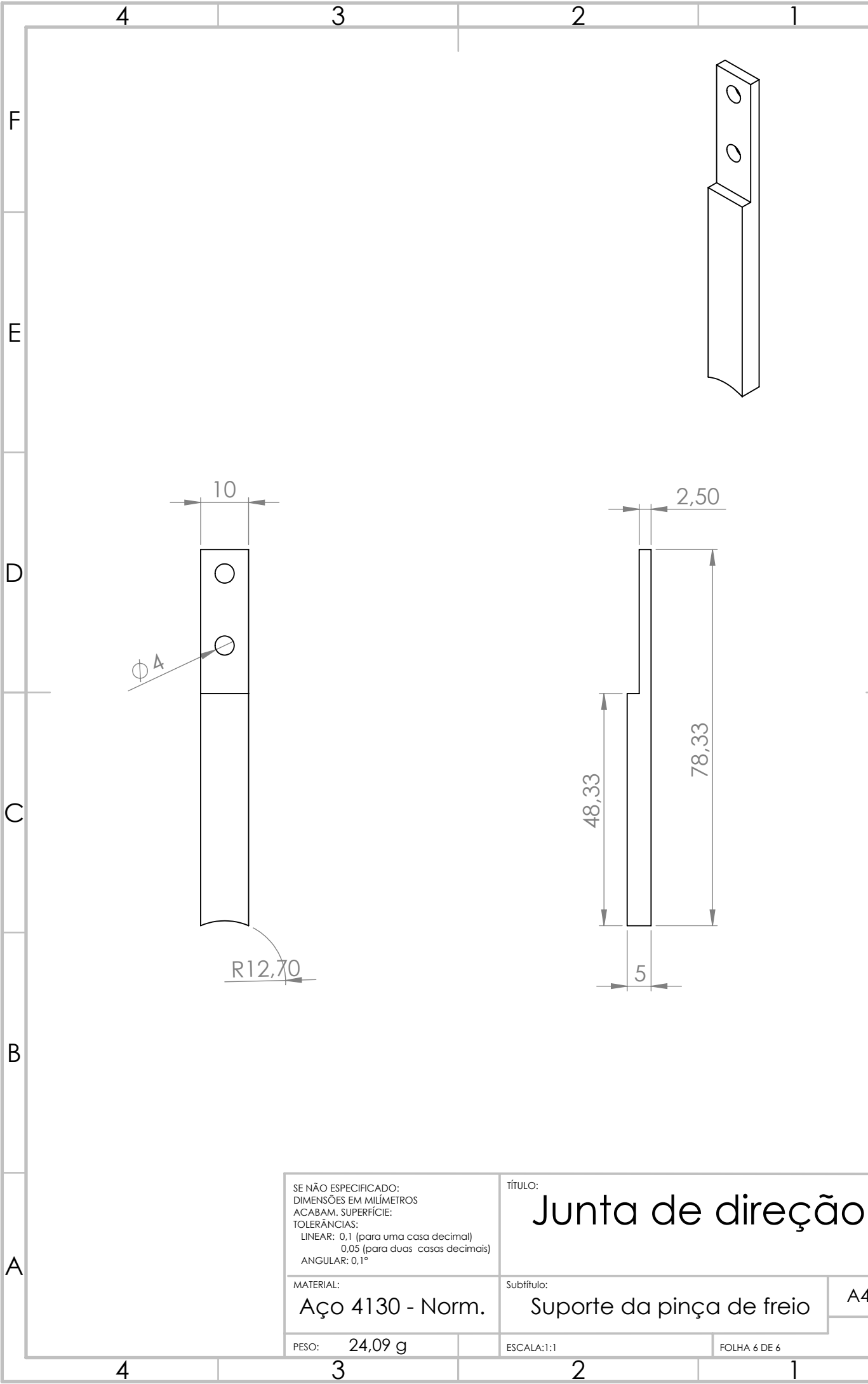


SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: 0,1 (para uma casa decimal) 0,05 (para duas casas decimais) ANGULAR: 0,1°		TÍTULO: Junta de direção	
MATERIAL: Aço 4130 - Norm.		Subtítulo: Eixo da roda	A4
PESO: 611,92 g		ESCALA: 1:2	FOLHA 3 DE 6



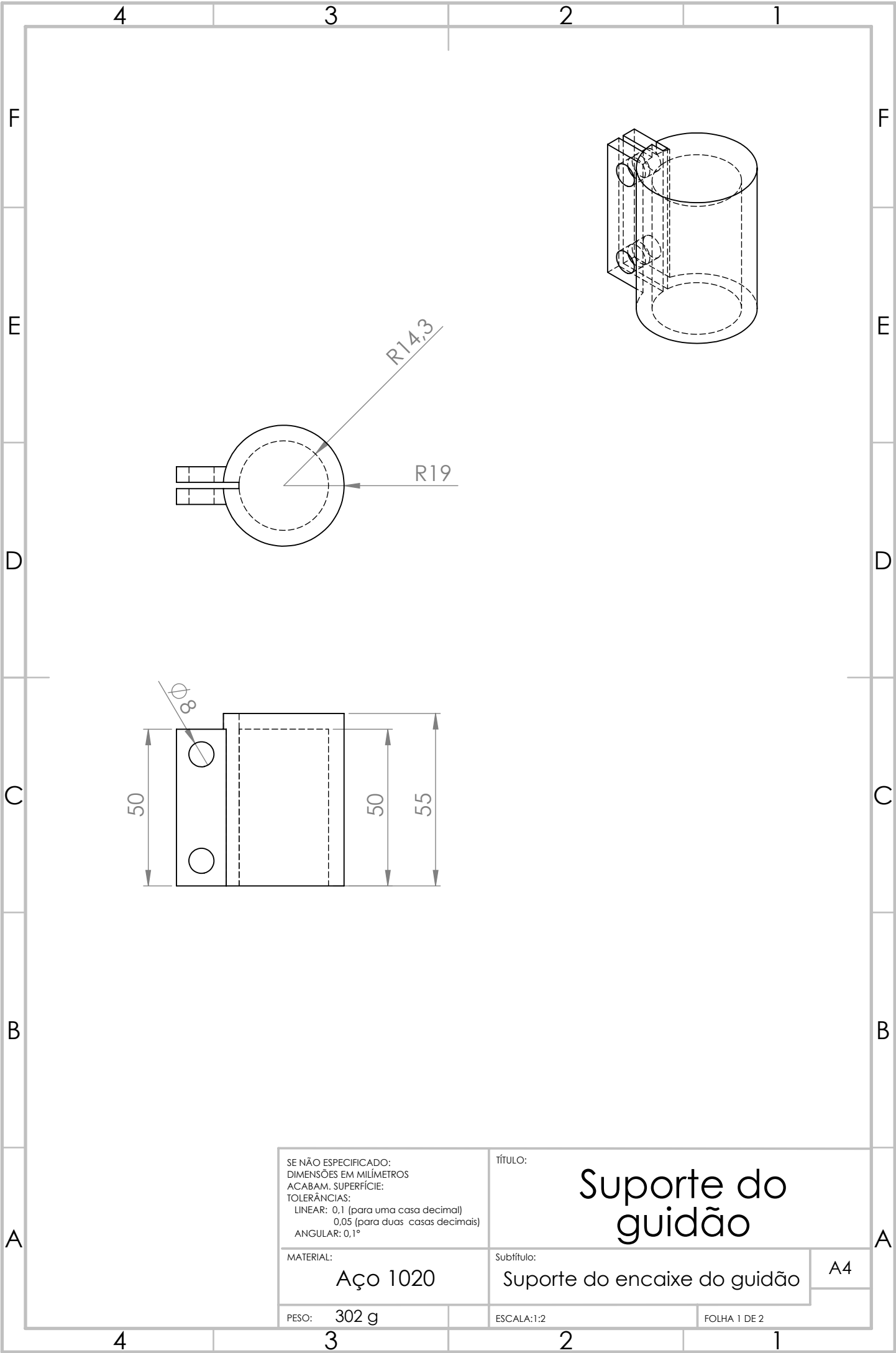
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: 0,1 (para uma casa decimal) 0,05 (para duas casas decimais) ANGULAR: 0,1°		TÍTULO: Junta de direção	
MATERIAL: Aço 4130 - Norm.		Subtítulo: Aba	A4
PESO: 101,33 g		ESCALA:1:1	FOLHA 4 DE 6

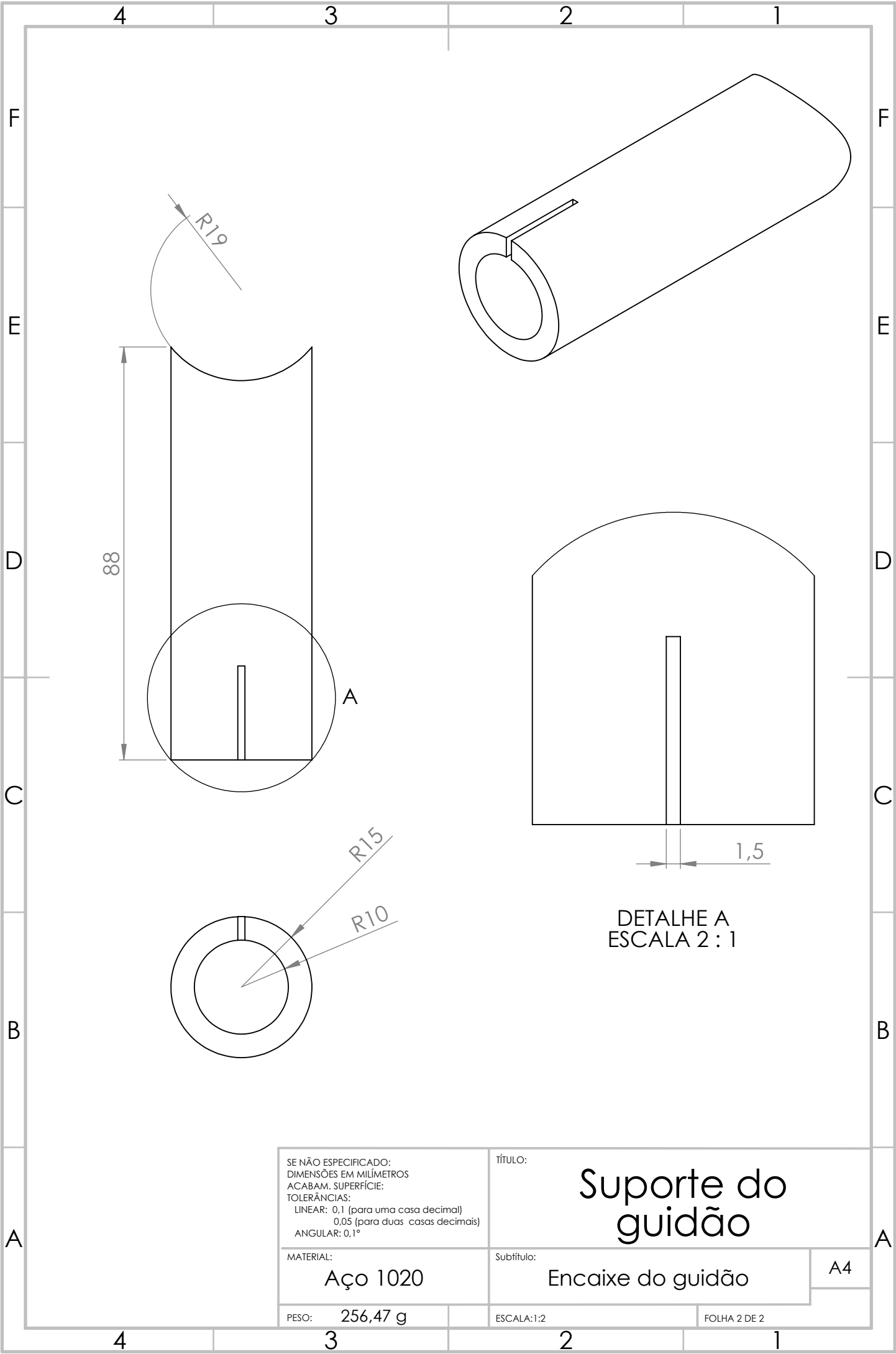


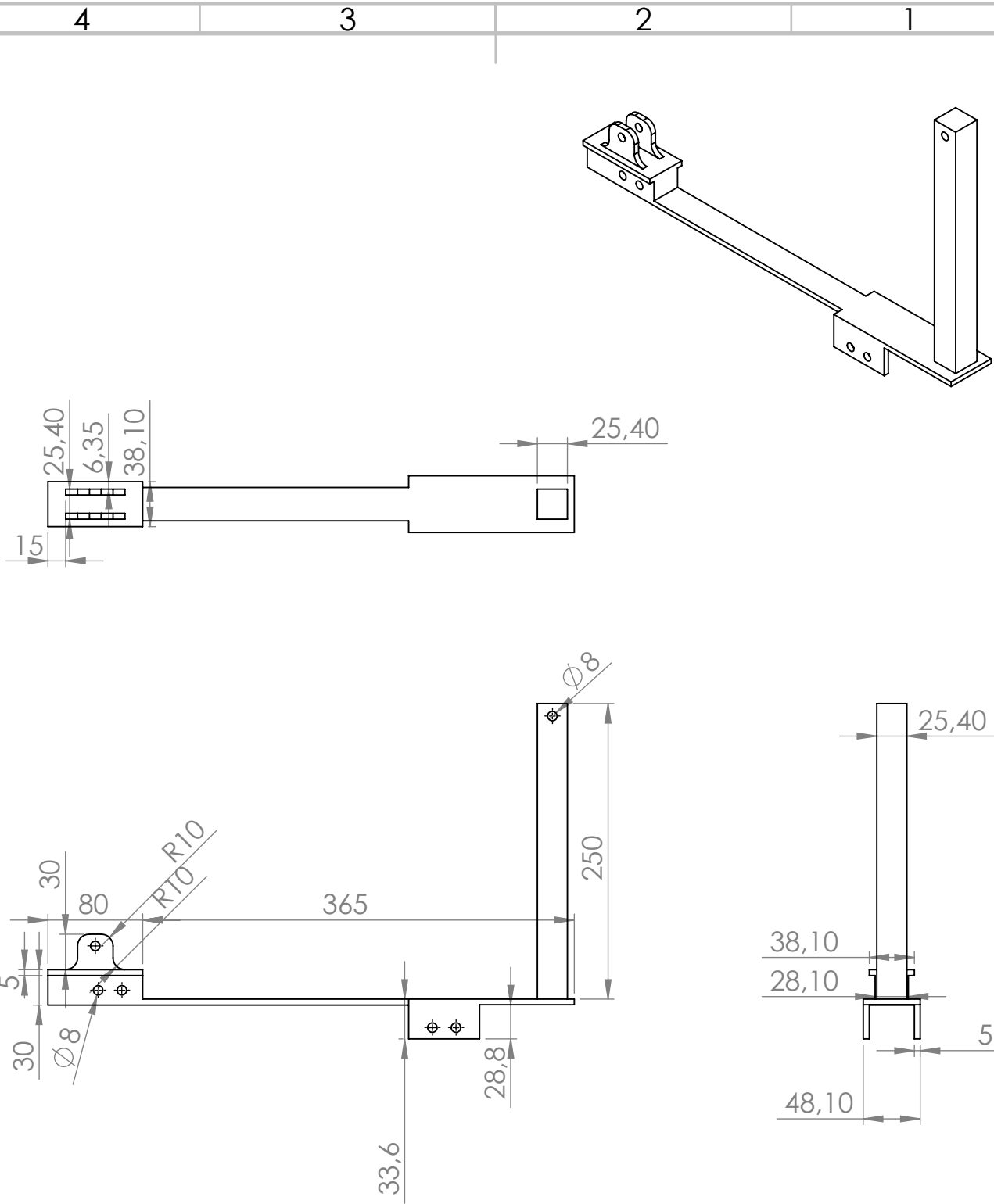


SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: 0,1 (para uma casa decimal) 0,05 (para duas casas decimais) ANGULAR: 0,1°		TÍTULO: Junta de direção	
MATERIAL: Aço 4130 - Norm.		Subtítulo: Suporte da pinça de freio	
PESO: 24,09 g		ESCALA: 1:1	FOLHA 6 DE 6

A4







SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: 0,1 (para uma casa decimal) 0,05 (para duas casas decimais) ANGULAR: 0,1°		TÍTULO: Suporte do assento	
MATERIAL: Alumínio 6061- T6		Subtítulo: Suporte	
PESO: 857,37		ESCALA:1:5	FOLHA 1 DE 1