



**Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Curso de Engenharia Automotiva**

**DESIGN CONCEITUAL DE VEÍCULO HÍBRIDO:
E-PEDAL**

**Autor: Pedro Augusto de Almeida
Orientador: Mateus Rodrigues Miranda
Coorientador: Henrique Gomes de Moura**

**Brasília, DF
2023**



PEDRO AUGUSTO DE ALMEIDA

PROJETO CONCEITUAL DE VEÍCULO HÍBRIDO: E-PEDAL

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Automotiva da Universidade de Brasília, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva.

Orientador: Prof. Dr. Mateus Rodrigues Miranda

Coorientador: Prof. Dr. Henrique Gomes de Moura

**Brasília, DF
2023**

CIP – Catalogação Internacional da Publicação*

Almeida, Pedro Augusto de.

Design Conceitual de Veículo Híbrido: E-Pedal / Pedro Augusto de Almeida. Brasília: UnB, 2023. 136 p.: 105 il.; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília
Faculdade do Gama, Brasília, 2023. Orientação: Mateus Rodrigues Miranda.

1. Projeto. 2. Bicicleta. 3. Elétrico. 4. Design. 5. Veículo.
I. Miranda, Mateus Rodrigues. II. Prof. Dr.

CDU Classificação

Design Conceitual de Veículo Híbrido: E-Pedal

Pedro Augusto de Almeida

Monografia submetida como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em 26/07/2023 apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof. Dr.: Mateus Rodrigues Miranda, UnB/ FGA
Orientador

Prof. Dr.: Henrique Gomes de Moura, UnB/ FGA
Coorientador

Prof. Dr.: Himilsys Hernández González, UnB/ FGA
Membro Convidado

Prof. M.e: Saleh Barbosa Khalil, UnB/ FGA
Membro Convidado

Brasília, DF
2023

Esse trabalho é dedicado à minha família, amigos e especialmente a minha mãe, que me ampara, motiva e protege do céu.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, pois foi através da intercessão dele, nossa senhora e da minha mãe Laide Moura, ao lado deles, que consegui seguir a caminhada.

Ao meu pai Sandro Augusto, minha irmã Giovanna Moura, minha madrinha Divina, meus avós Silésio e Fátima, Juvêncio e Olívia, e toda minha família, pelo amparo, proteção e incentivo em seguir o caminho dos estudos, mesmo com todos obstáculos.

À minha namorada Emilly Bonadio, por todo amor, carinho, compreensão e encorajamento em diversos momentos que precisei.

À professora Eneida, não só por todos anos de monitor fixo, mas por apresentar-me a incrível união da minha graduação em Design com a graduação em Engenharia Automotiva.

Ao meu orientador Mateus Rodrigues Miranda por todo auxílio e pela proposta em realizar o trabalho de conclusão em Design de Veículos; e ao coorientador Henrique Gomes de Moura, pelo incrível projeto promissor, sustentável e atual ao qual tive a honra de realizar o design e participar do projeto da estrutura.

Aos professores Rafael, André, Himilsys, Cueva, Rhander, Carla, Thiago, Storti, Saleh, Alessandro, Fábio e vários outros nomes que me fizeram não só aperfeiçoar e aprender coisas novas, mas olhar o mundo e o mercado de trabalho de uma maneira diferente.

Aos meus amigos Thales, Wanderson, Igor, aos companheiros da disciplina de Projeto de Estruturas de Veículos, aos amigos do projeto "ESC-SIM", aos "Borrachas", aos alunos que dei monitoria e muitos outros colegas que participaram da caminhada acadêmica me apoiando e minimizando, através do companheirismo e o trabalho em equipe, as dificuldades encontradas.

“A imaginação é mais importante que o conhecimento”. Albert Einstein.

RESUMO

O design vai além de um processo de criação, se trata de incluir aspectos estéticos dentro de um produto funcional, de maneira a manter forma, proporção e sua arquitetura, sem que vá além dos limites de projeto de engenharia. Este trabalho trata-se do design e concepção de um veículo híbrido (propulsão humana por pedal e por motor elétrico), de transporte individual, uso rodoviário e sobre quatro rodas. A ideia do projeto é de autoria do professor Henrique Gomes de Moura, e seu desenvolvimento foi parte da avaliação da disciplina de Projeto de Estruturas de Veículos, em conjunto com outros alunos. No desenvolvimento, foram utilizadas metodologias de conceito avançada e ferramentas computacionais, para, com auxílio da bibliografia, chegar em uma solução baseada em requisitos de projeto e do usuário. Como resultado final, originou-se a estrutura de um projeto conceitual veicular que compreende documentação técnica suficiente para prototipagem, testes e validação de um produto comercial de sucesso.

Palavras-chave: Projeto. Bicicleta. Elétrico. Design. Veículo.

ABSTRACT

The design goes beyond a creation process. It is about including aesthetic aspects within a functional product, in a way to keep shape, proportion and its architecture, without exceeding the limits of the engineering project. This work is about the design and conception of a hybrid vehicle (human propulsion by pedal and electric motor), for individual transport, road use and on four wheels. The idea of the project was originated by professor Henrique Gomes de Moura, and its development was part of the evaluation of the course of Design of Vehicle Structures, along with other students. In the development, advanced concept methodologies and computational tools were used, with the literature aid, to come up with a solution based on project and user requirements. The final result was a vehicle conceptual design framework that comprises sufficient technical documentation for prototyping, testing, and validation of a successful commercial product.

Keywords: Project. Bike. Electric. Design. Vehicle.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Frota de veículos por ano	12
Figura 2 – Mobylette elétrica da Caloi	13
Figura 3 – Diagrama de processo avançado de design de conceito de veículo	17
Figura 4 – Tipos de motores elétricos	20
Figura 5 – Câmbio feito para o Audi R8.....	21
Figura 6 – Componentes da transmissão de uma bicicleta.....	21
Figura 7 – Híbrido série-paralelo	22
Figura 8 – Tipos de chassi	23
Figura 9 – Tipos de suspensão	24
Figura 10 – Tipos de sistemas de freio automotivo	25
Figura 11 – Tipos de sistema de freio em bicicletas	26
Figura 12 – Gráfico de segmento de mercado.....	30
Figura 13 – Gráfico de posicionamento de mercado.	32
Figura 14 – Frikar E-bike.....	38
Figura 15 – Gráfico comparativo de preço.....	39
Figura 16 – Iris E-trike.	39
Figura 17 – Gráfico comparativo de direção	40
Figura 18 – Gráfico comparativo de velocidade máxima	40
Figura 19 – Twike 5 (esquerda) e Twike 3 (direita).....	41
Figura 20 – Wello E-trike	41
Figura 21 – Gráfico comparativo da autonomia	42
Figura 22 – Quadvelo.....	42
Figura 23 – Gráfico de dispersão para o comprimento	43
Figura 24 – Duomoke.....	43
Figura 25 – Gráfico de dispersão para a altura.....	44
Figura 26 – Veemo Se	44
Figura 27 – Gráfico comparativo do comprimento e da altura	45
Figura 28 – Gráfico comparativo da massa	46
Figura 29 – Adaptações Wello E-trike.	46
Figura 30 – Pod Ride	47
Figura 31 – Pedilio	47
Figura 32 – Canyon.....	48
Figura 33 – EQ Hawk.....	48
Figura 34 – Carcle Bike.....	49
Figura 35 – Kit triciclo da Dream Bike	54
Figura 36 – Montagem do eixo diferencial traseiro	54
Figura 37 – Montagem das rodas e do Bafang.....	55
Figura 38 – Modelagem do cubo, Disco de freio, banco, aro, pneu e rolamento	55
Figura 39 – Vista isométrica da montagem com as peças compradas	56
Figura 40 – Geometria de Ackermann.....	56
Figura 41 – Esquemático da caixa de direção	58
Figura 42 – Medidas das engrenagens de dentes retos	58
Figura 43 – Medidas da corrente de elos	59
Figura 44 – Medidas da engrenagem para corrente simples	60
Figura 45 – Engrenagem 1 (esquerda) e engrenagem 2 (direita).....	60
Figura 46 – Engrenagem para corrente da caixa de direção	61
Figura 47 – Kits de mancal + rolamento da caixa de direção	61
Figura 48 – Montagem da caixa de direção.....	62

Figura 49 – Modelagem do <i>slider</i> , <i>ball joint</i> e barra roscada.....	62
Figura 50 – Montagem do sistema de atuação nas mangas de eixo	63
Figura 51 – Placa frontal, <i>grips</i> , espaçador, parafusos e porcas, hub e display.....	63
Figura 52 – Montagem do volante	64
Figura 53 – Manete do freio + reservatório de fluido.	65
Figura 54 – Conector de 3 vias para freios hidráulicos	65
Figura 55 – Esquemático do sistema de freios com conector de 3 vias.....	66
Figura 56 – Esquemático do sistema de transmissão.....	67
Figura 57 – Engrenagens da transmissão	68
Figura 58 – Mancal + rolamento SKF P 12.....	68
Figura 59 – Montagem do eixo de transmissão	69
Figura 60 – Parâmetros utilizados na instalação da mola / amortecedor	70
Figura 61 – Parâmetros do modelo em CAD	70
Figura 62 – Bandeja inferior (esquerda) e superior (direita).....	71
Figura 63 – Pivô da suspensão e manga de eixo (direita).	71
Figura 64 – Shock (Amortecedor KKcare type 3)	71
Figura 65 – Montagem da suspensão dianteira.....	72
Figura 66 – Montagem da suspensão traseira.....	72
Figura 67 – Modelos comerciais de chapa cortada e tubo.....	73
Figura 68 – Modelagem do chassi.....	73
Figura 69 – Detalhes dos suportes do chassi	74
Figura 70 – Inspiração para o banco	74
Figura 71 – Modelagem da estrutura do assento	75
Figura 72 – Vistas isométricas frontais da estrutura do E-Pedal.....	75
Figura 73 – Vistas isométricas traseiras da estrutura do E-Pedal.....	76
Figura 74 – Vista frontal e posterior da estrutura do E-Pedal	76
Figura 75 – Vista lateral esquerda e lateral direita da estrutura do E-Pedal	77
Figura 76 – Vista superior e inferior da estrutura do E-Pedal	77
Figura 77 – Vista isométrica frontal e traseira das interferências.....	78
Figura 78 – Vistas superiores das interferências	78
Figura 79 – Vista lateral das interferências.....	78
Figura 80 – Sketch manual da vista frontal.....	80
Figura 81 – Sketch manual da vista inferior.....	81
Figura 82 – Sketch manual da vista lateral direita	81
Figura 83 – Sketch manual da vista posterior	82
Figura 84 – Vista frontal e posterior da carroceria do E-Pedal.....	83
Figura 85 – Vista lateral direita da carroceria do E-Pedal.....	83
Figura 86 – Vista isométrica frontal da carroceria do E-Pedal	84
Figura 87 – Vista isométrica traseira da carroceria do E-Pedal	84
Figura 88 – Adequação percentil Masculino 95%.....	85
Figura 89 – Vistas frontal e lateral visibilidade externa percentil Masculino 95%.....	86
Figura 90 – Adequação percentil Feminino 5%	86
Figura 91 – Vistas frontal e lateral visibilidade externa percentil Feminino 5%	87
Figura 92 – Ergonomia joelho: percentil 95% masculino e 5% feminino	87
Figura 93 – Bolhas de alcance para os percentis 5% feminino e 95% masculino....	88
Figura 94 – Visões binoculares para os percentis 95% masculino e 5% feminino ...	89
Figura 95 – Análise RULA manequim percentil masculino 95%	90
Figura 96 – Análise RULA manequim percentil feminino 5%.....	90
Figura 97 – Confecção das peças em manufatura aditiva pela impressora 3D.	92
Figura 98 – Peças impressas em 3D.....	92

Figura 99 – Montagem do modelo físico em escala.....	93
Figura 100 – Renderização 3D.....	94
Figura 101 – Renderização 3D.....	94
Figura 102 – Renderização 3D.....	95
Figura 103 – Renderização 3D.....	95
Figura 104 – Renderização 3D.....	96
Figura 105 – Renderização 3D.....	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distinção do desenvolvimento do projeto.....	29
Tabela 2 – Segmento de mercado para veículos.....	31
Tabela 3 – Concorrentes: especificações.....	37
Tabela 4 – Características do projeto.....	51
Tabela 5 – Especificações engrenagens de dentes retos com módulo 1,5.....	59
Tabela 6 – Especificações da corrente de elos.....	59
Tabela 7 – Especificações da engrenagem para corrente simples.....	60
Tabela 8 – Especificações das engrenagens da transmissão.....	67
Tabela 9 – Escala de pontos da análise RULA.....	89
Tabela 10 – Cor associada a cada pontuação da análise RULA.....	89
Tabela 11 – Componentes do modelo em impressão 3D.....	91

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	5
RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	9
LISTA DE TABELAS	12
1. Introdução	11
1.1. Aspectos gerais.....	11
1.2. Problema.....	11
1.3. Justificativa.....	12
1.4. Objetivos	13
1.4.1. Objetivo geral.....	13
1.4.2. Objetivos específicos	13
1.5. Metodologia.....	14
1.6. Estrutura do trabalho.....	14
1.7. Ferramentas computacionais aplicadas ao projeto	14
2. Revisão de literatura	16
2.1. Design de produto.....	16
2.2. Engenharia automotiva	18
2.2.1. <i>Powertrain</i>	18
2.2.1.1. Motor	18
2.2.1.2. Transmissão	20
2.2.1.3. Diferencial.....	22
2.2.1.4. Configurações de Veículos Híbridos	22
2.2.2. Chassi e suspensão	23
2.2.3. Direção e freios	24
2.2.3.1. Sistema de direção.....	24
2.2.3.2. Sistema de freios	25
2.2.4. Rodas e pneus.....	26
2.2.5. Interior	27
2.2.6. Ergonomia de ocupante	27
3. Projeto conceitual	29
3.1. Análise de mercado	29
3.1.1. Segmento de mercado	30
3.1.2. Nomenclatura e classificação	32
3.1.3. Normas	35
3.1.4. Concorrentes	37
3.1.5. Comparativo.....	38
3.2. Requisitos de projeto	50
3.2.1. Formulário de briefing	50
3.2.2. Levantamento de requisitos.....	51
3.3. Estudo conceitual.....	53
3.3.1. Projeto de estrutura de veículos	53
3.3.2. Outros sistemas	79
3.3.3. Desenho manual (<i>Sketch</i>).....	80
3.3.4. Carroceria.....	82
3.3.5. Análises de ergonomia.....	85
3.3.6. Questionário subjetivo.....	91
3.4. Construção do modelo em escala.....	91
3.5. Renderização 3D	93
4. Considerações finais	97
5. Referências bibliográficas	99
Apêndices	101
Apêndice A – Formulário de briefing.....	101
Apêndice B – Vistas ortográficas E-Pedal.....	114
Apêndice C – Questionário subjetivo	119

1. Introdução

1.1. Aspectos gerais

O design vai além de um processo de criação, se trata de incluir aspectos estéticos dentro de um produto funcional, de modo a manter forma, proporção e sua arquitetura, sem que vá além dos limites de projeto de engenharia. Este trabalho de conclusão de curso trata do design conceitual de um veículo híbrido com diretrizes pré-estabelecidas, a fim de chegar em um pré-projeto de um produto comercial e promissor.

O veículo possui classificação híbrida: propulsão humana por pedal e auxílio de um motor elétrico. Trata-se de um veículo ecológico, compacto, ideal para centros urbanos e de baixo custo energético. Uma ótima opção para lazer, transportes rápidos (como ir para o trabalho), além de possuir o benefício da atividade física.

O desenvolvimento do trabalho, iniciou-se concomitantemente a disciplina de projeto de estrutura de veículos, no qual foram desenvolvidos alguns dos cálculos estruturais e dimensionamento dos sistemas presentes no E-pedal. Essa continuidade entre a disciplina e o TCC foi fundamental para o sucesso do projeto, pois possibilitou uma economia de tempo e recursos, além de proporcionar uma maior coesão e consistência ao longo do processo de pesquisa e redação do trabalho final.

1.2. Problema

Atualmente, a infraestrutura do transporte Brasileiro consiste predominantemente de veículos terrestres. Com uma frota ampla nas vias, o trânsito interfere na rotina da população, que com menos tempo, está cada vez mais sedentária. Além disso, a poluição, o aquecimento global e o esgotamento dos recursos petrolíferos da terra são questões de extrema preocupação provenientes dessa quantia de veículos. Dentro dessa frota, o mercado ainda não possui variedade de automóveis com tecnologias para conservar e cuidar da natureza. Sabendo disso, é possível projetar um veículo ecológico, a pedal, que seja seguro e capaz de transitar nas vias urbanas?

1.3. Justificativa

Os conceitos de sustentabilidade e mobilidade elétrica estão cada vez mais estampados na indústria automotiva. Diversos países, incluindo o Brasil, já começaram os incentivos, metas e projetos para até 2030 diminuir as emissões e incluir cada vez mais projetos de veículos elétricos, híbridos e ecologicamente sustentáveis. Dessa maneira, mais cedo ou mais tarde, a facilidade em ter um veículo elétrico irá aumentar: custos, autonomia, acessibilidade de postos de recarga, manutenção, baterias, praticidade, dentre outros.

Outro fato é que a maioria dos automóveis nos centros urbanos estão sendo pouco otimizados. De acordo com o IBGE, a série histórica mostra cada vez mais veículos (**Figura 1**). A população estimada de 2021 foi de 213.317.639 pessoas, enquanto a frota de automóveis foi de 59.242.869. Ou seja, são cerca de 3,6 pessoas por automóvel, sendo que não é toda a população que utiliza efetivamente um automóvel. Ao utilizar o dado do número de veículos (IBGE - em 2021, foi de 111.446.870 veículos), a razão fica em 1,91 pessoas por veículo. Uma tendência futura consiste em veículos de transporte individual, projetados para acomodar até 3 ocupantes, ou o compartilhamento de veículos.

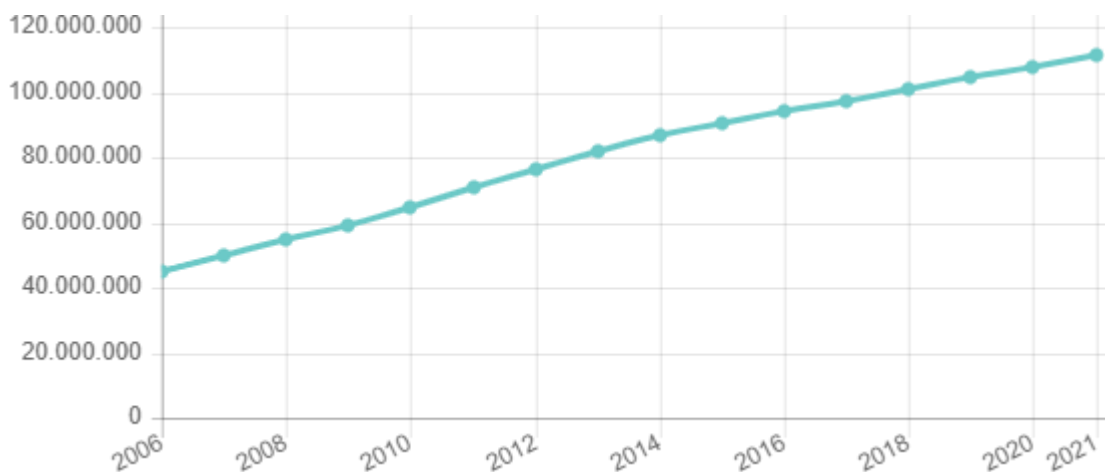


Figura 1 – Frota de veículos por ano. Fonte: IBGE.

Anteriormente, foi lançada a *Mobylette* elétrica (**Figura 2**), uma bicicleta com um motor elétrico acoplado. Fez bastante sucesso em seu lançamento, pois possui baixo custo comparado ao mercado das motos de combustão interna, além da sua autonomia, dentre outros fatores. No entanto, a *Mobylette* enfrentou desafios com a legislação, devido à oposição dos grandes cartéis de motos a combustão, que questionaram os órgãos competentes sobre possuir acelerador. Esse questionamento

levou a empresa a passar por processos de licenciamento e registro, o que resultou em um aumento significativo no custo de aquisição e equiparou seu valor ao das motos convencionais.



Figura 2 – Mobylette elétrica da Caloi. Fonte: Caloi

Nesse contexto, justifica-se projetar um veículo de transporte individual em que a eficiência energética, o baixo custo e a inovação sejam capazes de atrair possíveis clientes. Respeitando as normas e legislações vigentes, o veículo estará de acordo com toda documentação de licenciamento e registro no órgão competente, além de contribuir com a atividade física.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo geral

Projetar um veículo híbrido (propulsão humana por pedal e por motor elétrico), de transporte individual, uso rodoviário e sobre quatro rodas. Tal veículo também deve estar de acordo com a legislação, além de toda documentação de licenciamento e registro no órgão competente, caso necessária.

1.4.2. Objetivos específicos

Documentar parte do trabalho desenvolvido na disciplina de projeto de estrutura de veículos para servir como ponto de partida para o desenvolvimento do design conceitual. Essa evolução se dará através do uso de uma metodologia de design avançado, que possui fases de concepção, estudo, pesquisa, validação e engenharia.

1.5. Metodologia

Para que um projeto conceitual tenha sucesso é necessário um planejamento prévio para definir objetivos, riscos, escopo, cronograma e orçamento. Uma alternativa para alcançar esse objetivo é empregar abordagens metodológicas que evidenciem as etapas essenciais do processo de design.

A metodologia escolhida para o desenvolvimento do projeto é do livro “*H-point: The fundamentals of car design and packaging*” (MACEY, 2008), onde são desenvolvidas 9 etapas para realização do processo de design de um veículo.

1.6. Estrutura do trabalho

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos. O primeiro se trata da introdução; o segundo, da revisão bibliográfica relacionada ao design de produto e engenharia automotiva; o terceiro, é o projeto conceitual em si, que começa por uma análise de mercado utilizada para levantar os requisitos de projeto, e finaliza com o estudo conceitual do veículo; em seguida, no quarto capítulo, são feitas algumas considerações finais; e por último, a revisão bibliográfica. O trabalho também conta com 3 apêndices.

1.7. Ferramentas computacionais aplicadas ao projeto

Com o advento da tecnologia, diversos cálculos que anteriormente eram feitos apenas a mão passaram a ser auxiliados por diversos softwares computacionais. Na engenharia, existem 3 siglas: CAD, CAE e CAM. CAD é a abreviação para *Computer Aided Design*, ou seja, Desenho Assistido por Computador; CAE é a abreviação para *Computer Aided Engineering*, ou seja, Engenharia Assistida por Computador; e por fim CAM significa *Computer Aided Manufacturing*, Manufatura Assistida por Computador. Existem diversos softwares que utilizam dessa tecnologia para modelagem, análises, processos, renderização, dentre outras funções.

Nesse trabalho, será utilizado majoritariamente o software CATIA V5, da Dassault Systèmes. O CATIA consiste em um software que engloba todas as tecnologias (CAD, CAE e CAM) em uma interface integrada, o que facilita a organização do projeto todo em um mesmo ambiente.

Além deste, foi utilizado do pacote da Microsoft – Office 365, onde a Universidade de Brasília (UNB) possui assinatura que permite a utilização de todos

aplicativos do pacote. Dentre esses aplicativos, resalta-se o Word, como processador de texto e ferramenta para organização do trabalho; o Excel, para edição de planilhas e produção de tabelas, gráficos e figuras; OneNote e To Do, para organização do planejamento e atribuição de tarefas; e o Powerpoint, para confecção da apresentação do trabalho.

Para confecção do formulário de briefing, foi utilizado o Google Forms, aplicativo de gerenciamento de pesquisa e coleta de informações através de questionários e formulários de registro. Também da empresa de tecnologia Google, utilizou-se do serviço de pesquisa acadêmica e de imagens.

Por fim, para confecção dos diagramas do trabalho, foi utilizado do software diagrams.net, uma ferramenta de desenho gráfico multiplataforma gratuito e de código aberto. A sua interface pode ser usada para criar diversos tipos de diagramas: fluxogramas, *wireframes*, organogramas, dentre outros.

2. Revisão de literatura

2.1. Design de produto

A palavra design é originária do latim *designare* - verbo que significa: desenhar, idear, delinear, designar, eleger, destinar, resolver e determinar (CARDOSO, 2008). O que gera uma ambiguidade do ponto de vista epidemiológico, pois ao mesmo tempo que Design pode significar tanto algo abstrato (idear, criar, delinear), quanto algo concreto (desenhar, pintar, detalhar). E quando se traduz do inglês, significa projeto, desenho, plano, esboço, modelo. Ou seja, de certa forma, as palavras design, máquina, técnica e artes estão intimamente ligadas.

Quanto a etimologia da palavra, é possível entender que o Design é uma atividade multidisciplinar, em que diversos conhecimentos e métodos se reúnem nos vários campos de conhecimento: ergonomia, estética, projetos, entre outros. E quando se trata de Design Industrial, é considerado como uma atividade criativa que tem objetivo determinar características formais a objetos produzidos industrialmente. Um processo estratégico de solução de problemas que impulsiona a inovação, constrói o sucesso dos negócios e leva a uma melhor qualidade de vida por meio de produtos, sistemas, serviços e experiências inovadoras (WDO, 2018).

No design, o produto deve atender as necessidades e as tendências comportamentais e sociais dos indivíduos, além de simultaneamente competir no mercado. Assim, o designer precisa utilizar técnicas e ferramentas que o auxiliem a solucionar esses problemas, ou seja, deve-se aplicar metodologias projetuais.

Alguns exemplos como os métodos de Löbach (2001), Munari (2008) e Baxter (2008), tem estruturas semelhantes, mas todos os 3 seguem etapas de problematização, levantamento de dados, obtenção de alternativas, seleção de alternativas e desenvolvimento de produto. Essas metodologias, aplicadas a engenharia automotiva, resultam em um processo de design avançado, desenvolvido por Macey (2008), dividido em 9 etapas, como mostra a **Figura 3**:

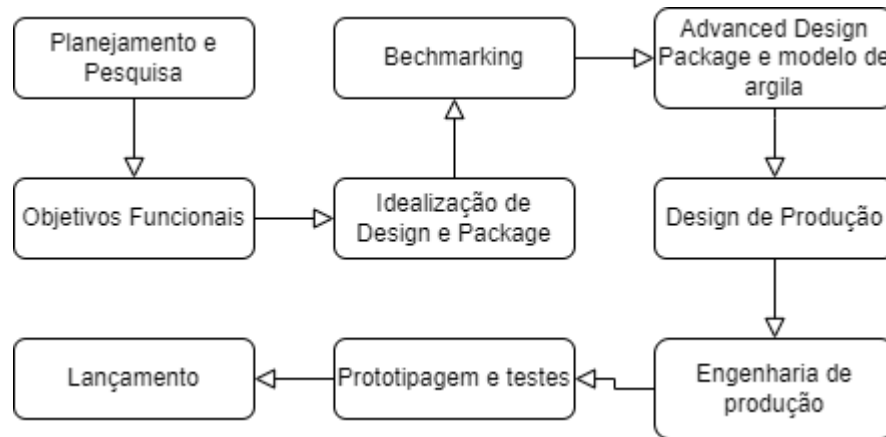


Figura 3 – Diagrama de processo avançado de design de conceito de veículo. Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em MACEY, 2008.

1. Planejamento e Pesquisa: começa com a pesquisa de mercado, clientes e concorrentes. Também são estudadas a tecnologia emergente e as estratégias de fabricação.
2. Objetivos Funcionais: definir as metas primárias para o projeto. Aqui devem ser considerados o ponto de vista do cliente e do fabricante.
3. Idealização de Design e *Package*: é feito vários esboços livres com diversas configurações, deve-se incluir os principais componentes e quaisquer recursos inovadores.
4. *Benchmarking*: fase de análise dos produtos existentes, onde se compara projetos com atributos semelhantes. Esta etapa é usada para estabelecer as proporções básicas do projeto.
5. *Advanced Design Package* e modelo de argila: com as dimensões básicas e os *hard points*, é construído um protótipo em argila em escala ou em tamanho real, além de incluir o *package* no desenvolvimento.

A partir daqui o conceito avançado de design é entregue para uma equipe de design de produção. Este grupo desenvolverá as superfícies externas e internas em um *package* 100% viável para produção e que atenda todas as metas de custo, bem como as necessidades e requisitos do projeto.

6. Design de produção
7. Engenharia de produção

8. Prototipagem e testes: nessa fase, pequenas alterações no projeto podem ser necessárias, nesse caso, se retorna algumas etapas.

9. Lançamento do produto

O principal objetivo do design de conceito avançado é desenvolver a forma, proporção e arquitetura do projeto. Para auxiliar nesse fluxo do processo, diversos componentes são deixados de fora dos estudos iniciais. E mesmo que seja retirado alguns aspectos, o conceito deve ser mantido até a conclusão da engenharia de produção.

Esses são os elementos básicos existentes em qualquer design automotivo e estabelecem uma metodologia bem estruturada. A combinação de forma, estilo, funcionalidade, inovação, sustentabilidade, em harmonia com uma metodologia sólida, resulta em veículos alinhados com o mercado e de acordo com os requisitos de projeto.

2.2. Engenharia automotiva

2.2.1. *Powertrain*

O trem de força (*powertrain*) do veículo é o conjunto de componentes responsáveis por transmitir potência às rodas motrizes. No veículo convencional, fazem parte desse conjunto: embreagem, eixos de transmissão, diferencial, motor e, para alguns autores, as rodas.

O *powertrain* é um dos sistemas mais influentes na arquitetura do veículo, devido ao seu tamanho e peso. Com as novas tecnologias, abrem portas para novas arquiteturas de veículos, como exemplo, a motorização elétrica, a arquitetura híbrida e o uso das baterias.

2.2.1.1. Motor

Atualmente a maior parcela dos veículos possuem motor a combustão interna, que seu princípio de funcionamento é baseado em um ciclo termodinâmico com perdas consideráveis. No entanto, já existem diversas pesquisas e incentivos para a redução da emissão de carbono; o que não inibe as perdas, mas as ameniza. Combustíveis como o etanol, tem a capacidade de zerar (ou até mesmo negativar) a emissão de carbono, pois o próprio ciclo absorve o CO₂ da atmosfera nas plantações.

Os veículos elétricos não possuem emissão zero de carbono, pois o gasto para produzir a energia armazenada nas baterias, não são tão ecológicos.

Uma alternativa são os veículos híbridos, em crescimento no mercado atual. O seu grande benefício é utilizar das diversas formas de gerar energia para recarregar as baterias e auxiliar na tração das rodas, dessa maneira melhora-se a autonomia e conseqüentemente o consumo. A verdade é que os veículos híbridos aproveitam as vantagens de cada um dos motores (elétrico e combustão), pois proporciona o desempenho e o alcance dos motores a combustão interna e, simultaneamente, a economia e a baixa poluição dos motores elétricos.

Ainda assim, mesmo em um sistema híbrido, se utiliza da propulsão elétrica. Constituída do motor elétrico, conversor de energia e controlador eletrônico. O motor elétrico converte a energia elétrica em energia mecânica, ou vice-versa, funcionando tanto como motor, quanto gerador. Dessa maneira, permite a frenagem regenerativa e/ou produzir eletricidade para carregar o conjunto de baterias. O conversor é usado para alimentar o motor elétrico com tensão e corrente adequadas. O controlador eletrônico comanda o conversor de energia, fornecendo sinais de controle e, em seguida, controla a operação do motor para produzir torque e velocidade, de acordo com um comando do operador.

Os motores elétricos são divididos de acordo com o acionamento: corrente alternada (CA), corrente contínua (CC) e corrente pulsante (CP). Quando se trata de veículos, são utilizados os motores de corrente contínua, corrente alternada de indução e corrente contínua tipo *brushless* (sem escovas). A **Figura 4** mostra um diagrama com os tipos de motores elétricos:

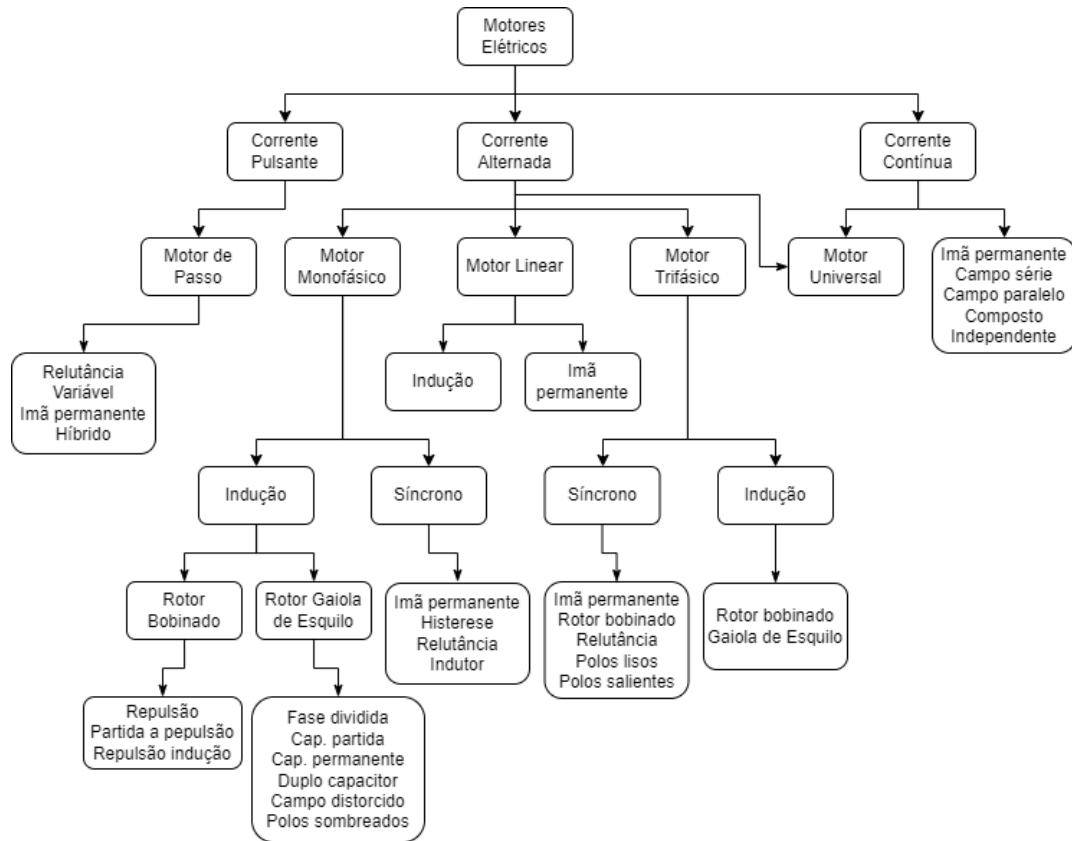


Figura 4 – Tipos de motores elétricos. Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em WEG.

2.2.1.2. Transmissão

A transmissão é um conjunto de componentes mecânicos, que tem a função de armazenar ou transferir de forma controlada um torque produzido.

Nos automóveis esse conjunto é a caixa de marchas (ou caixa de câmbio), geralmente é constituída por embreagem, rolamentos, eixos e engrenagens. Seu princípio de funcionamento é através da troca das relações (engrenagem de um eixo para engrenagem de outro), alternando a velocidade e o torque para as diferentes situações. A **Figura 5**, a seguir, ilustra a montagem:

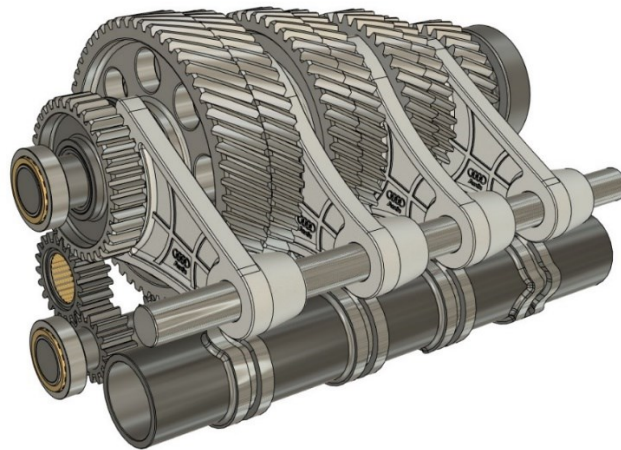


Figura 5 – Câmbio feito para o Audi R8. Fonte: Elaborado em grupo na disciplina de Projeto de Elementos Automotivos.

Sua desvantagem está na complexa estrutura mecânica, que ocupa um espaço significativo. Isso pode restringir a disposição dos componentes do veículo e limitar as opções de design e arranjo interno. Além disso, o peso adicional do câmbio convencional contribui para um aumento no peso total do veículo, o que fomenta a busca por alternativas mais compactas e leves.

O câmbio de bicicleta se apresenta como uma excelente solução em relação às desvantagens mencionadas anteriormente, pois são projetados para serem extremamente compactos e leves, o que permite uma integração mais eficiente ao design, ocupando um espaço mínimo e adicionando pouco peso ao conjunto. Esse sistema é o responsável por transformar a força das pernas do ciclista na rotação das rodas. Seus componentes, geralmente, são: coroa, corrente, cassete, pedivela, câmbios e passador. A **Figura 6**, a seguir, ilustra a montagem:



Figura 6 – Componentes da transmissão de uma bicicleta. Fonte: Pedal, 2008.

2.2.1.3. Diferencial

O diferencial é um conjunto mecânico capaz de distribuir uniformemente o torque a dois semieixos acoplados a ele. Esse mecanismo transfere a rotação do eixo cardã através de engrenagens para um semieixo na esquerda e outro para direita, e conseqüentemente para cada uma das rodas. Um dos principais momentos onde ele atua é na curva, quando uma roda precisa girar mais que a outra para manter o movimento curvilíneo.

2.2.1.4. Configurações de Veículos Híbridos

De acordo com Ehsani (2010), os veículos híbridos possuem diversas configurações: híbrido série, híbrido paralelo, híbrido série-paralelo e híbrido complexo. Um veículo híbrido série possui *powertrain* com duas fontes de energia alimentam um só motor elétrico, que impulsiona o veículo. O veículo híbrido paralelo possui um *powertrain* com 2 motores acoplados a transmissão, dessa maneira, ambos podem impulsionar o veículo. Pelo mesmo princípio, o híbrido série-paralelo possui um *powertrain* com os 2 motores acoplados a transmissão, ou seja, os dois impulsionam o veículo; e além disso, o motor a combustão interna pode recarregar a bateria e alimentar o motor elétrico (**Figura 7**). Também existe o híbrido complexo, que aborda todas outras configurações onde existem mais motores, mais controladores, e outros componentes.

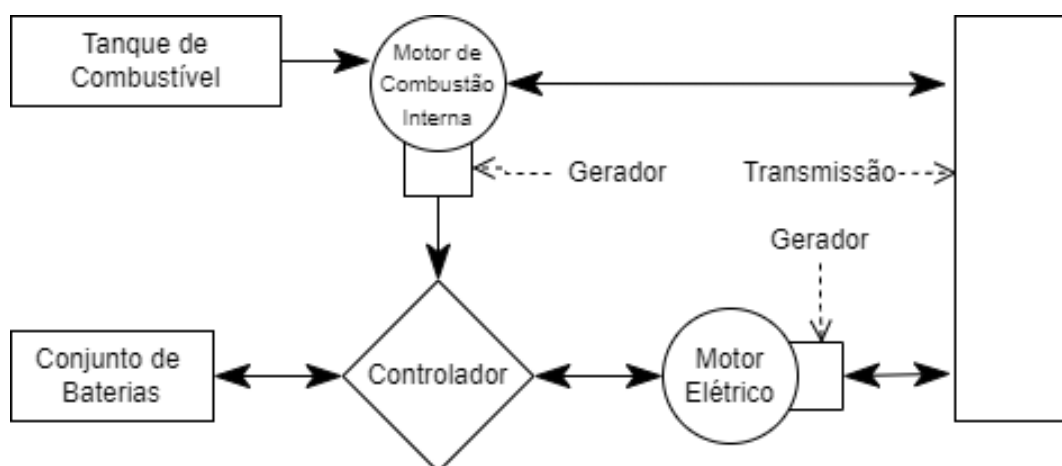


Figura 7 – Híbrido série-paralelo. Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em EHSANI, 2010.

2.2.2. Chassi e suspensão

O chassi é uma estrutura que comporta e suporta todos os demais sistemas de um veículo, sistemas tais como: carroceria, motor, suspensão, entre outros. Comparado ao ser humano, o chassi é como a coluna vertebral que conecta todos os elementos do corpo, promovendo absorção e dissipação de choques mecânicos e pressão gravitacional. De forma análoga, o chassi é considerado um dos sistemas de maior significância de um veículo, já que ele é responsável por conectar os outros conjuntos, suportar as cargas e absorver os impactos.

Em veículos, geralmente possuem as seguintes estruturas: monobloco, monocoque (*space frames*), chassi + carroceria e tubular. A **Figura 8**, a seguir, mostra alguns exemplos de cada uma das estruturas:



Monobloco



Chassi + Carroceria



Monocoque



Tubular

Figura 8 – Tipos de chassi. Fonte: Elaborado pelo autor, com imagens do Google.

Quanto a absorção dos impactos do terreno no chassi, quem ameniza esse trabalho é a suspensão. Sua função é reagir as forças produzidas pelos pneus e resistir ao rolamento do chassi, mantendo os pneus em contato com a estrada. Assim, a suspensão irá manter a dirigibilidade e estabilidade do veículo durante as manobras e frenagens, de modo a manter o conforto dos ocupantes.

De acordo com Macey (2008), a escolha do tipo de sistema de suspensão que atenda aos objetivos funcionais do veículo deve ser feita na fase de idealização do

package. E a função da suspensão irá determinar o tipo de mecanismo e as unidades de mola/amortecedor a serem empregadas. Dentre essas funções:

- Transporte de carga pesada: sedã, caminhonete, *suv*, van e caminhão;
- Deslocamento e articulação: caminhonete e *suv*;
- Dirigibilidade: *hatch*, luxo, superesportivos;
- Conforto: luxo, sedã, caminhonete e *suv*;
- Custo: microcarros, *hatch*, sedã, van;
- Restrições de *package*: microcarros e *hatch*.

Dessa forma, ao escolher uma ou mais funções, cada veículo terá seu próprio conjunto de prioridades para suspensão traseira e dianteira. Para gerar todas particularidades, são necessários vários tipos de suspensão. A **Figura 9**, baseada em Gillespie (1992), mostra os tipos de suspensão:

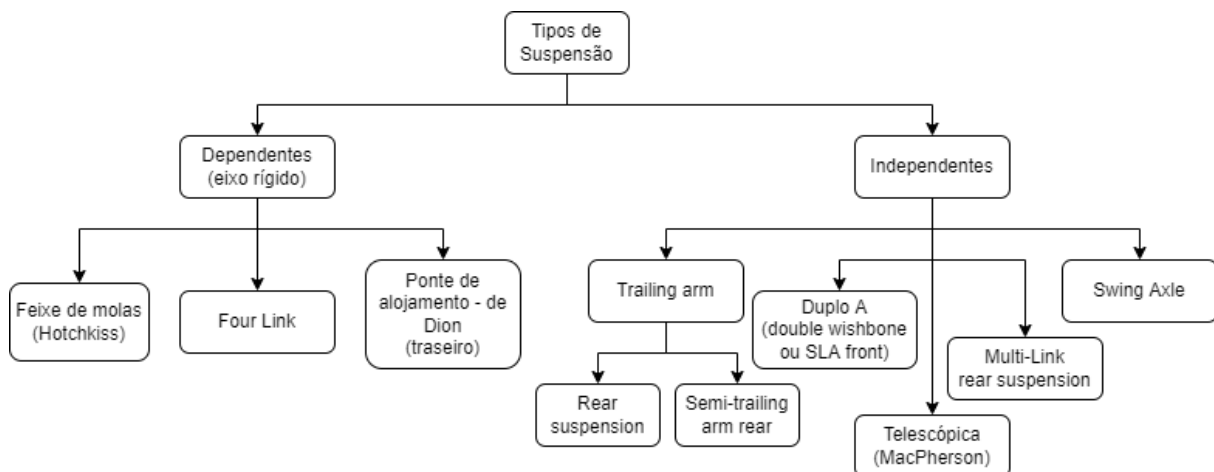


Figura 9 – Tipos de suspensão. Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em Gillespie (1992).

2.2.3. Direção e freios

2.2.3.1. Sistema de direção

O comportamento de resposta direcional de um veículo é afetado pelo projeto do sistema de direção. Esse sistema tem como objetivo transformar os comandos do motorista em respostas das rodas dianteiras, possibilitando o controle do veículo.

Para os veículos com volante, se constrói um sistema com eixos, juntas universais e isoladores de vibração unidos à caixa de direção, cujo objetivo é

transformar o movimento giratório do volante em um movimento de translação apropriado para direcionar as rodas. São tipos de direção veicular:

- Mecânica: sistema robusto constituído de elementos mecânicos;
- Hidráulica: constituído de elementos hidráulicos que auxiliam a condução através da mecânica dos fluidos;
- Elétrica: constituída de sensores que detectam o posicionamento do volante. Atua diretamente em um motor elétrico acoplado à coluna de direção;
- Eletro-hidráulica: utiliza dos dois conceitos anteriores para trazer mais conforto a condução. A parte mecânica em si é do tipo hidráulico, porém com um motor elétrico assistivo.

2.2.3.2. Sistema de freios

Assim como o *powertrain* é o sistema responsável por transmitir a força para as rodas motrizes, o sistema de freios é o responsável por reduzir ou parar o movimento do veículo. Seu funcionamento é baseado na física por trás do atrito: o dos pneus com a pista, das pastilhas com o disco, das lonas com o tambor. Nos automóveis, os sistemas mais presentes são o freio a disco e o freio a tambor, como mostra a **Figura 10**:



Figura 10 – Tipos de sistemas de freio automotivo. Fonte: Google imagens.

Nas bicicletas, o funcionamento também é por atrito e quanto aos sistemas, existem os quase extintos *cantilevers*, os *v-brakes*, os freios hidráulicos, ferraduras e

os freios à disco (mecânicos ou hidráulicos), como mostra a **Figura 11** (Da esquerda para a direita: Discos, Ferradura, V-Brakes, Cantilevers e Hidráulicos):



Figura 11 – Tipos de sistema de freio em bicicletas. Fonte: Pedal, 2008.

2.2.4. Rodas e pneus

O conjunto de rodas e pneus deve ser escolhido através de uma combinação com objetivo tanto estético quanto funcional. Para designers, a nova tendência são rodas com grande diâmetro e baixo perfil dos pneus, entretanto, para a maioria dos carros isso não é bom. Ou seja, por conta da correlação direta do conjunto e sua interferência na dinâmica do veículo, faz com que nem sempre seja possível fazer todas modificações estéticas.

Como dito anteriormente, alguns autores consideram o conjunto de rodas e pneus parte do *powertrain* do veículo, por afetar os cálculos dinâmicos. Porém, é necessário fazer um trabalho em conjunto entre as outras partes da dinâmica veicular (*powertrain*, rodas/pneus, suspensão/chassi e direção/freios).

De acordo com Gillespie (1992), o pneu serve para três funções básicas:

- Suportar a carga vertical, ao mesmo tempo que amortece os choques da estrada;
- Desenvolve forças longitudinais para aceleração e frenagem;
- Desenvolve forças laterais para curvas.

Ou seja, todas forças primárias de controle e perturbação que são aplicadas ao veículo, com exceção das forças aerodinâmicas, são geradas no contato pneu-estrada. Para isso, é necessário pensar na construção, nas dimensões, no tipo e na mecânica de geração de forças do conjunto, de maneira a adaptar as especificidades do projeto do veículo.

2.2.5. Interior

De acordo com Macey (2008), os componentes de interior podem ser divididos em 7 sistemas:

- Acabamento;
- Bancos e cinto de segurança;
- Carpete;
- Multimídia;
- AVAC/HVAC (aquecimento / *heating*, ventilação / *ventilation* e ar condicionado / *air conditioning*).
- Painel de instrumentação
- Controles, instrumentos e chaves/interruptores

Estes itens são desenvolvidos desde o início do processo de design, que na maioria dos casos segue o design do exterior do veículo. São conjuntos que merecem certo cuidado devido a necessidade de aprovação de normas ergonômicas e de legislações vigentes. Dentre essas, pode-se citar questões como visibilidade, alcance, esforço, volumes livres e segurança (airbag, cinto, entre outros).

2.2.6. Ergonomia de ocupante

Como dito no tópico anterior, o design do interior deve seguir normas ergonômicas. Essas são produzidas por diversas instituições, porém as mais usadas são as da Sociedade de Engenheiros Automotivos (SAE). Quando se trata de ergonomia do produto, estas são algumas das normas para automóveis:

- SAE J1100 – Definições das dimensões de um veículo;
- SAE J826 – Dispositivos para uso na definição e medição de assentos de veículos;
- SAE J4004 – Posicionamento do H-point;
- SAE J941 – Elipse de visão do motorista;
- SAE J1052 – Elipse de cabeça do motorista e do passageiro;
- SAE J287 – Alcance do motorista;

Além das normas da SAE, deve-se considerar no projeto alguns aspectos de ergonomia de ocupante:

- Antropometria;
- Postura;
- Fatores ambientais;
- Cognição;
- Pacote;
- Conforto.

3. Projeto conceitual

O projeto conceitual iniciou simultaneamente a disciplina de projeto de estrutura de veículos, onde se realizaram cálculos estruturais e dimensionamento dos sistemas presentes no E-pedal. Tal estrutura, foi aproveitada para confecção das análises desse trabalho. Dessa maneira, antes de começar as análises do projeto, a **Tabela 1** mostra a distinção entre o que foi realizado durante a disciplina e o que foi desenvolvido exclusivamente para o trabalho:

Tabela 1 – Distinção do desenvolvimento do projeto.

Tópico	Projeto de Estrutura de Veículos	Trabalho de Conclusão de Curso
Segmento de Mercado		Individualmente
Nomenclatura e Classificação		Individualmente
Normas		Individualmente
Concorrentes		Individualmente
Comparativo		Individualmente
Formulário de Briefing		Individualmente
Requisitos de Projeto		Individualmente
Geometria de Ackermann	Em grupo	Em grupo
Estudo do Tombamento	Equipe de dinâmica	Referenciado
Estudo do Escorregamento	Equipe de dinâmica	Referenciado
Dimensionamento da Direção	Equipe de package	Referenciado
Sistema de Freios	Equipe de package	Referenciado
Powertrain	Equipe de package	Referenciado
Dimensionamento da Suspensão	Equipe de dinâmica	Referenciado
Dimensionamento do Chassi	Individualmente	Individualmente
Assento	Em grupo com a equipe de CAD/Ergonomia	Em grupo com a equipe de CAD/Ergonomia
CAD	Individualmente	Individualmente
Outros sistemas		Individualmente
Sketch Manual		Individualmente
Carroceria		Individualmente
Análises de Ergonomia		Individualmente
Questionário Subjetivo		Individualmente
Construção do Modelo em Escala		Individualmente
Renderização 3D		Individualmente

3.1. Análise de mercado

Seguindo a metodologia apresentada, o primeiro passo para o desenvolvimento do projeto é o planejamento e pesquisa, para que seja possível entender os objetivos funcionais do veículo e iniciar o desenvolvimento da idealização de *design* e *package*. Dessa maneira, o início é através da pesquisa de mercado, clientes e concorrentes, além dos estudos de tecnologia emergente e das possíveis estratégias de fabricação.

3.1.1. Segmento de mercado

Para que seja possível entender onde veículo se encaixa, quais legislações o abordam, como deve ser taxado, qual o nível de segurança, como o produto se compara aos outros veículos ou até onde existem possíveis oportunidades de mercado, o gráfico de posicionamento é uma boa ilustração, como mostra a **Figura 12**:

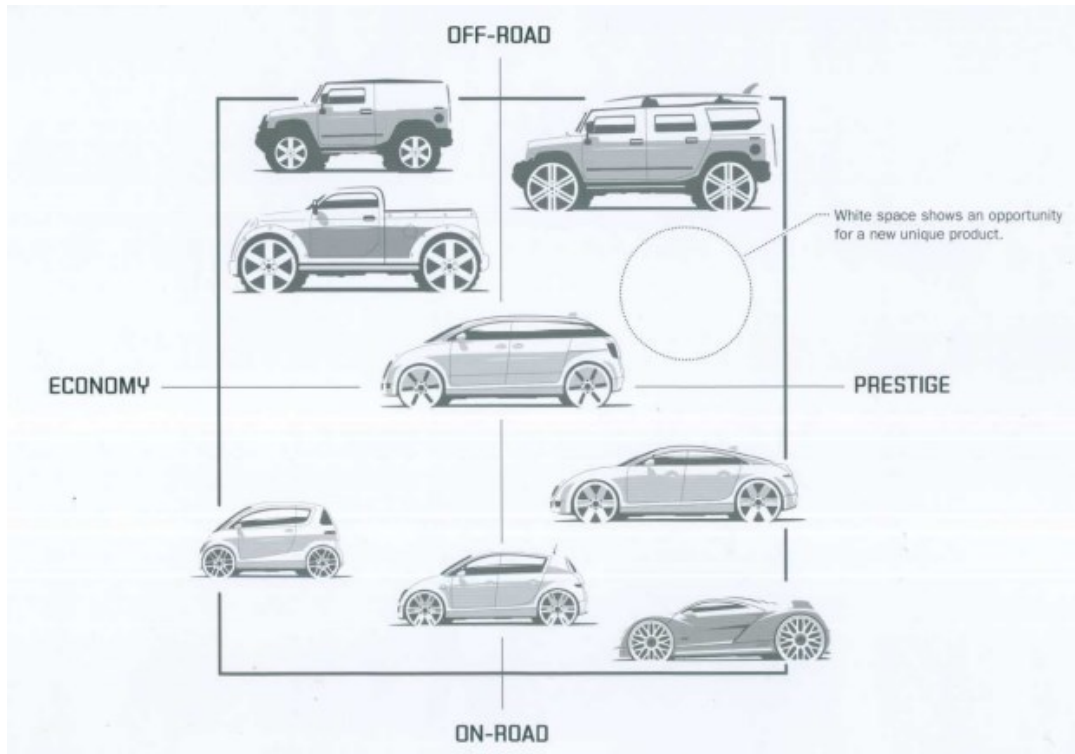


Figura 12 – Gráfico de segmento de mercado. Fonte: MACEY, 2008.

Como pode-se observar, onde há uma lacuna, existe uma oportunidade para produção de um veículo único. O mercado de veículos híbridos por propulsão humana e motor elétrico, representa uma dessas oportunidades.

A **Tabela 2**, mostra segmentos de mercado para veículos:

Tabela 2 – Segmento de mercado para veículos. Fonte: Elaborado pelo autor

Segmento	Passageiros	Economia	Peso	Carga	Exemplo	Largura	Comprimento	Altura
Micro Carro	2 a 3	Ótimo	Muito Leve	Muito Pouca	Smart-forTwo	1559	2595	1542
Econômico	4 a 5	Ótimo	Leve	Pouca	Fiat Uno	1636	3820	1420
Utilitário	5	Normal	Leve	Média	Ford Fiesta	1722	3969	1464
Compacto	5	Normal	Leve	Média	VW Golf	1799	4276	1484
Familiar	5 a 7	Normal	Médio	Média	Audi A4	1847	4762	1428
Executivo	5 a 7	Considerável	Médio	Média	Jaguar XF	1880	4954	1457
Luxo	5 a 7	Alto	Médio	Média	Mercedes C180	1810	4686	1445
Esporte	2 a 4	Alto	Médio	Pouca	Lamborghini	2030	4797	1136
Minivan	7 a 8	Considerável	Médio	Alta	Nissan Livina	1690	4420	1620
SUV	5 a 7	Normal	Médio	Alta	GM Tracker	1791	4270	1624
Pick-up	2 a 5	Considerável	Pesado	Muita	Ford F250	2031	6243	1950
Van	15 a 20	Considerável	Pesado	Muita	Fiat Ducato	2100	5413	2254

Vale ressaltar que as informações para cada segmento variam para cada marca e montadora, além de alguns desses segmentos possuírem outros subsegmentos, ex.: *coupé*, *roadster*, *cabrios*, etc. E ainda, para o Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), existem outros tipos de veículos, que serão melhor tratados no próximo tópico, 3.1.2.

Dessa maneira, a partir da **Tabela 2** é possível fazer um gráfico baseado na **Figura 12**. Por exemplo, a combinação entre economia e peso, segue a **Figura 13**, a seguir:

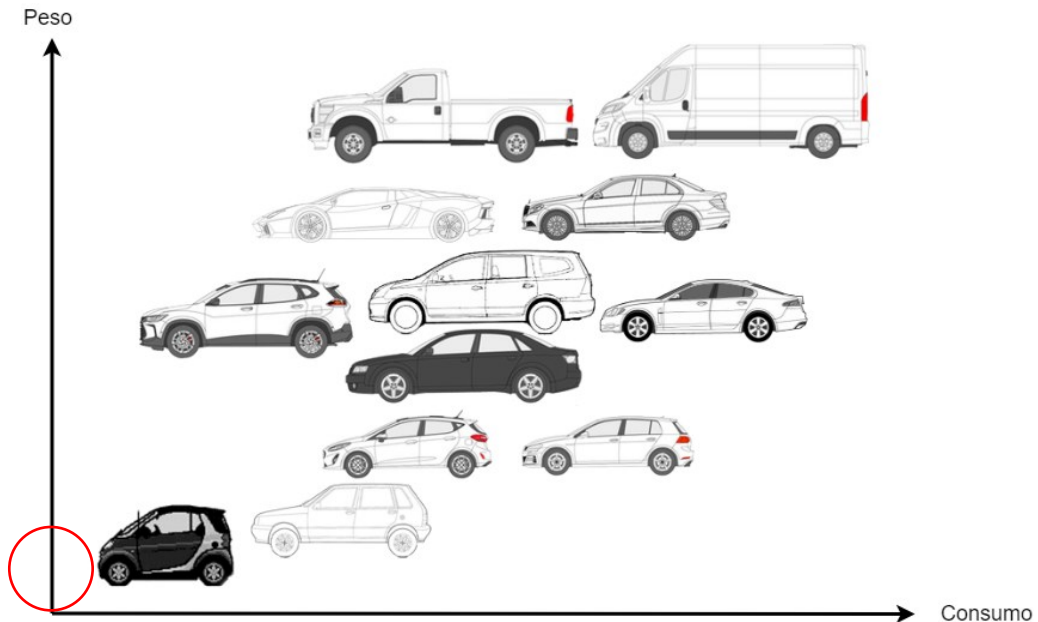


Figura 13 – Gráfico de posicionamento de mercado. Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base na figura, é possível visualizar lacunas que servem como oportunidade de mercado. E ainda, a partir do Smart ForTwo, existem veículos com menos consumo, os veículos elétricos. O E-Pedal se posicionaria no círculo em vermelho, por ser extremamente leve e com consumo baixíssimo.

3.1.2. Nomenclatura e classificação

O mesmo pensamento do segmento de mercado, serve para nomenclatura. São produzidos veículos de inúmeros tamanhos e formatos, que devem cumprir determinadas funções. Categorizar e classificar, facilita a compreensão de cada modelo para aplicar as devidas legislações, normas e filosofias de projeto.

Quanto ao transporte, são classificadas 3 formas:

- Quanto ao uso
 - Transporte individual (1 a 6 passageiros): Bicicleta, motocicletas, automóvel, *jet-ski*, canoa, etc.
 - Transporte coletivo (grande número de passageiros): Van, ônibus, barcos, aviões, etc.

- Transporte de massa (grande número de passageiros, alta frequência e paradas): Trem, Metrô, VLT, grandes barcas;
- Transporte de cargas: Navios cargueiros, petroleiros, aviões cargueiros, carretas e caminhões em geral.
- Quanto ao meio de transporte
 - Terrestre (rodoviário e ferroviário): motocicleta, automóvel, caminhões, ônibus, trem, metrô, VLT, etc.
 - Aéreo: aviões comerciais, executivos, taxi aéreo, etc.
 - Aquático: navio, barco, *hovercraft*, lancha, *jet-ski*, veleiro, etc.
 - Dutoviário: esse não se utiliza o transporte de passageiros, mas de gases e fluidos.
- Quanto ao tipo
 - Veículos sobre duas rodas com pneumáticos: bicicleta, scooter, motocicleta, etc.
 - Veículos sobre quatro rodas com pneumáticos: automóvel, caminhonete, van, micro-ônibus, etc.
 - Veículos pesados de 2 a 6 eixos com rodas e pneumáticos: ônibus urbano, rodoviário e articulado, caminhão e carroceria/reboque/semirreboque.
 - Veículos eletrificados rodando sobre trilhos: Trem, VLT, metrô, etc.
 - Veículos eletrificados rodando sobre pneumáticos: trole elétrico.
 - Aeronaves: ultraleve, avião, helicóptero, etc.
 - Embarcações: bote, canoa, barco, chalana, navio, etc.
 - Veículos especiais: trem suspenso, *maglev*, *hovercraft*, *jet-ski*, *snowmobile*, *motorhome*, etc.

De acordo com o Código de Trânsito Brasileiro (CTB), elaborado pelo Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), os veículos se classificam:

- Quanto à tração

- Automotor;
- De propulsão humana;
- De tração animal;
- Reboque ou semirreboque.
- Quanto à espécie
 - De passageiros;
 - De carga;
 - Misto;
 - De competição;
 - De tração;
 - Especial;
 - De coleção.
- Quanto à categoria
 - Oficial;
 - De representação diplomática, de repartições consulares de carreira ou organismos internacionais acreditados junto ao Governo brasileiro;
 - Particular;
 - De aluguel;
 - De aprendizagem.

O E-Pedal é um veículo de transporte individual, terrestre, especial. Pelo código de trânsito seria classificado como tração híbrida (humana e automotor), de passageiros e particular. Além disso, é considerado um equipamento de mobilidade individual autopropelido (CONTRAN, resolução nº 996); com comando do sistema, através de volante e assentos para condução e transporte de passageiro na posição sentada.

3.1.3. Normas

Além das normas SAE de ergonomia, citadas no tópico **2.2.6**, o Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) é quem institui o Código de Trânsito Brasileiro (CTB) e estabelece não só as leis, como os equipamentos obrigatórios para a frota de veículos em circulação. Dessa maneira, de acordo com o art. 105 do CTB, para circular em vias públicas, o veículo deve conter equipamentos de segurança, a variar de sua classificação.

Sendo assim, uma resolução que se torna crucial para o desenvolvimento desse trabalho é a resolução de nº 996, estipulada pelo CONTRAN, de 15 de junho de 2023, em vigor a partir de 03 de julho de 2023, onde dispõe sobre o trânsito, em via pública, de ciclomotores, bicicletas elétricas e equipamentos de mobilidade individual autopropeidos, além dos equipamentos obrigatórios necessários a condução nas vias públicas abertas ao trânsito. Nela, foi definido no art. 2º, o conceito de equipamento de mobilidade individual autopropeido, sendo esse:

- Dotado de uma ou mais rodas;
- Dotado ou não de sistema de auto equilíbrio que estabiliza dinamicamente o equipamento inerentemente instável por meio de sistema de controle auxiliar composto por giroscópio e acelerômetro;
- Provido de motor de propulsão com potência nominal máxima de até 1000 W (mil watts);
- Velocidade máxima de fabricação não superior a 32 km/h (trinta e dois quilômetros por hora);
- Largura não superior a 70 cm (setenta centímetros) e distância entre eixos de até 130 cm (cento e trinta centímetros);

O E-Pedal, anteriormente a resolução de nº 996, a princípio, seria classificado como um ciclomotor ou um quadriciclo com cabine fechada. Entretanto, após essa resolução, ele se enquadrou na classificação de equipamento de mobilidade individual autopropeido. Dessa forma, os equipamentos obrigatórios, dispostos no capítulo II da resolução, art. 3º, são apenas 3:

- Indicador e/ou dispositivo limitador eletrônico de velocidade;
- Campainha; e

- Sinalização noturna, dianteira, traseira e lateral, incorporadas ao equipamento.

Adicionalmente, complementa em parágrafo único que se permite a utilização de dispositivo alternativo ao velocímetro, que indique a velocidade de circulação por meio de aviso sonoro ou por aplicativo em smartphone, para cumprimento da exigência de dispositivo indicador de velocidade.

No capítulo III, da resolução de nº 996, a respeito da circulação de ciclomotores, bicicletas elétricas e equipamentos de mobilidade individual autopropelidos, no artigo 9º, permite o órgão ou entidade com circunscrição sobre a via, a autorizar a circulação de equipamentos de mobilidade individual autopropelidos nas seguintes situações:

- em áreas de circulação de pedestres, limitada à velocidade máxima de 6 km/h (seis quilômetros por hora);
- em ciclovias, ciclofaixas e ciclorrotas, limitada à velocidade máxima regulamentada pelo órgão com circunscrição sobre a via; e
- em vias com velocidade máxima regulamentada de até 40 km/h (quarenta quilômetros por hora).

Ainda na mesma resolução e capítulo, complementa-se que a circulação de equipamentos de mobilidade individual autopropelidos deve seguir as mesmas disposições estabelecidas pelo CTB e pelas regulamentações do CONTRAN para a circulação de bicicletas.

Quanto ao cadastramento, registro e licenciamento do veículo, assunto do capítulo IV da resolução, dispõe-se no art.º 12 que equipamentos de mobilidade individual autopropelidos, assim como as bicicletas elétricas, não são sujeitos ao registro, ao licenciamento e ao emplacamento para circulação nas vias, conforme art. 134-A do CTB.

Em resumo, desde que classificado como autopropelido, o E-pedal pode circular com velocidade de até 32 km/h, com motor de até 1000 W, com os equipamentos obrigatórios e sem a necessidade de habilitação, registro e emplacamento.

3.1.4. Concorrentes

Os concorrentes, além de auxiliar nos segmentos de mercado, servem para mostrar os pontos positivos e negativos dos produtos lançados. Em cima disso, é possível montar um projeto estruturado nesses problemas, a fim de aumentar as chances de sucesso do veículo. A **Tabela 3**, mostra alguns dos concorrentes e projetos semelhantes ao E-Pedal:

Tabela 3 – Concorrentes: especificações. Fontes: Diversas

Nome	Preço	Rodas	Direção	Velocidade	Autonomia	Passageiros	Peso	Comprimento (mm)	Altura (mm)	Carga	Diferencial
Electrom Lev	R\$ 50.000,00	2	Manete	65	200	1	70	2700	-	Bagageiro	2 rodas
Wello E-trike	R\$ 45.000,00	3	Guidão	25	100	3	35	-	-	100 L	Bagageiros
Veemo Se	R\$ 50.000,00	3	Guidão	32	70	1	62	2000	1500	60 L	Simplex
Pedalist	Descontinuado	3	Guidão	32	80	2	-	-	-	-	PedalBox
Carcle Bike	-	3	Guidão	-	-	1	-	-	-	-	Madeira
Iris E-trike	R\$ 26.000,00	3	Manete	48	80	1	55	2600	1280	50 L	Design
Pedilio	R\$ 50.000,00	4	Manete	25	70	1	68	1850	1360	-	Solar
Pod Ride	Protótipo	4	Manete	25	60	2	70	1960	1440	-	Off Road
Duo Moke	Protótipo	4	Guidão	25	60	2	120	1715	1100	30 L	Solar
Quadvelo	R\$ 60.000,00	4	Guidão	25	75	1,5	85	2500	1307	35 L	Fibra
Frikar E-bike	R\$ 32.400,00	4	Manete	25	80	1	90	2300	840	160 L	Design
EQ Hawk	Site fora do ar	4	-	-	-	2	-	2820	1120	-	Carro
Canyon	Conceito	4	Manete	60	150	1	-	-	-	-	Marca
Twike 3	R\$ 175.772,00	4	Manete	85	80 - 400	2	240 - 350	2650	1280	250 L	Projeto
Twike 5	Protótipo	4	Manete	130 - 190	250 - 500	2	600	3327	1235	300 L	Velocidade

3.1.5. Comparativo

O comparativo serve para mostrar de forma gráfica quais pontos fortes e fracos da concorrência, a fim de explorar esses pontos para posicionamento e investimento de maneira ótima. Para isso, com cada uma das colunas da **Tabela 3**, verifica-se as circunstâncias e dados, a fim de obter tais informações. Vale ressaltar que certos veículos citados não foram comercializados em mercado, alguns por terem sido descontinuados, outros por ainda serem protótipos, ou mesmo, em fase de conceito. Então devem ser descartados a primeiro momento e após a obtenção das devidas informações, serem incluídos na análise para cada item.

- 1 - Preço

O preço geralmente é a variável mais visada dos clientes, pois sem o dinheiro necessário, não se compra o produto de uma marca, optando pela do concorrente. Analisando a coluna de preço dos concorrentes, o mais barato dentre os triciclos é o Iris E-trike (**Figura 16**); dentre os quadriciclos, o mais barato é o Frikar E-bike (**Figura 14**); e o mais caro, o Twike 3 (**Figura 19**).



Figura 14 – Frikar E-bike. Fonte: PODBIKE.

Sabendo disso, uma boa faixa de preço para o E-Pedal é entre 26 e 35 mil reais, ou abaixo disso, para que além de se obter lucro, concorra diretamente com um produto da mesma categoria e com correções dos pontos negativos da outra marca. A **Figura 15** mostra o comparativo de preço entre os concorrentes:

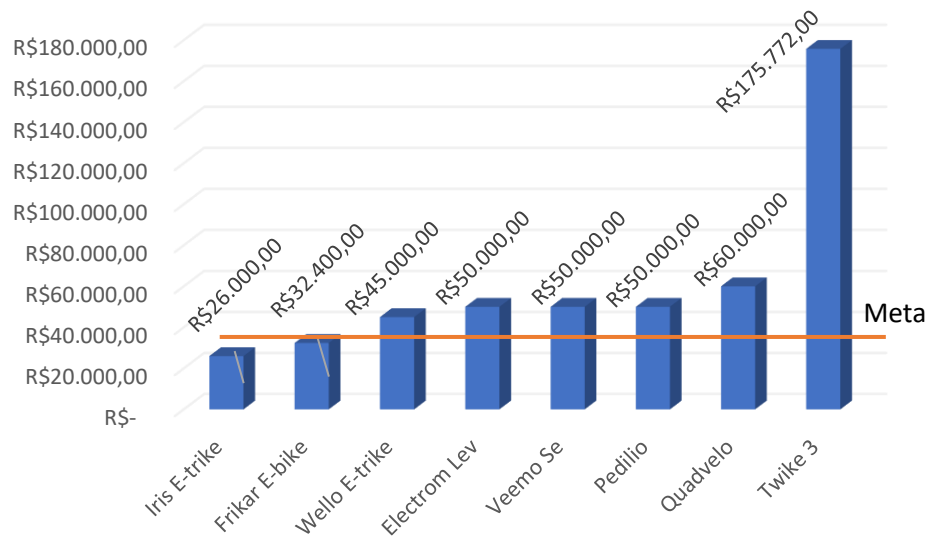


Figura 15 – Gráfico comparativo de preço. Fonte: Elaborado pelo autor.

- 2 - Direção

A direção se distingue basicamente em manete e guidão. Da **Tabela 3**, 6 soluções possuem guidão e 8 possuem manete. Apenas uma ressalva para o Iris E-trike (**Figura 16**), que possui manetes com acabamento, semelhante a um joystick.



Figura 16 – Iris E-trike. Fonte: E-TRIKE.

Dessa maneira, uma solução inovadora nesse quesito é a utilização de volantes para direção. Como mostra a **Figura 17**, não existe esse tipo de solução consolidada dentre os concorrentes. O volante além de inovar o mercado desse setor, é uma solução que o cliente já está habituado, o que traz aspecto de familiarização ao consumidor e usuário do produto.

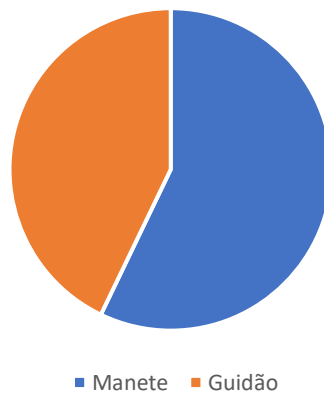


Figura 17 – Gráfico comparativo de direção. Fonte: Elaborado pelo autor.

- 3 - Velocidade

A velocidade deve abordar tanto um usuário que busca segurança, quanto o usuário que utilizará do veículo para longas distâncias. A **Figura 18** mostra o comparativo da velocidade máxima entre os concorrentes e a meta para o projeto. A maioria dos concorrentes possui velocidade de 25 km/h (estipulado por legislação), entretanto, a Twike (**Figura 19**) difere, dispondo do Twike 3 com velocidade de 85 km/h e o Twike 5, com velocidade máxima superior a 130 km/h. Entretanto, como citado no tópico de normas, a velocidade máxima de fabricação não deve exceder a 32 km/h, o que já descarta alguns concorrentes da lista, desde que não haja nenhuma alteração no veículo. Sabendo disso, os veículos que atualmente são possíveis concorrentes nesse quesito são: Frikar E-bike, Wello E-trike, Pedilho, Quadvelo, Duo Moke (protótipo), Pod Ride (protótipo), Veemo Se, Pedalíst. O E-Pedal, a princípio deve possuir velocidade máxima limitada à 32 km/h o que equipara Veemo-se e Pedalíst.

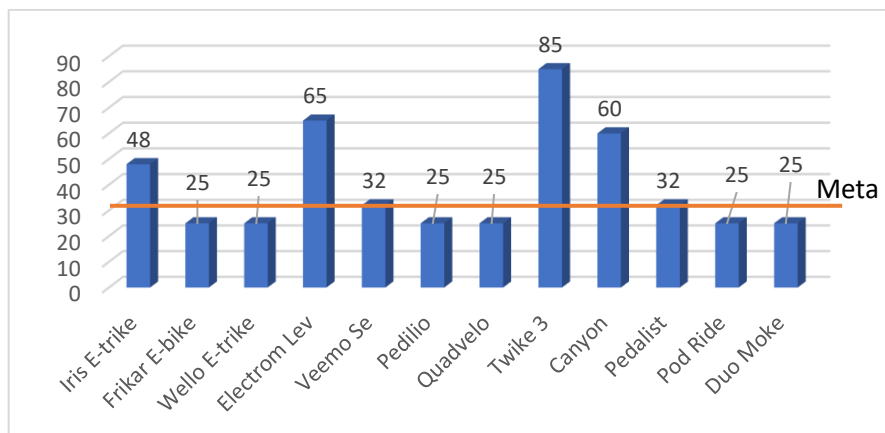


Figura 18 – Gráfico comparativo de velocidade máxima. Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 19 – Twike 5 (esquerda) e Twike 3 (direita). Fonte: TWIKE.

- 4 - Autonomia

Quanto a autonomia, todos concorrentes possuem autonomia maior que 60 km, o que define um dos requisitos de projeto (**Figura 21**), para que o conceito do E-Pedal não seja o pior dentre a concorrência. Alguns deles possuem autonomia razoável, superior a 100 km, como o Wello E-trike (**Figura 20**), o Canyon (conceito), o Electrom Lev, o Twike 3 e o Twike 5.



Figura 20 – Wello E-trike. Fonte: WELLO.

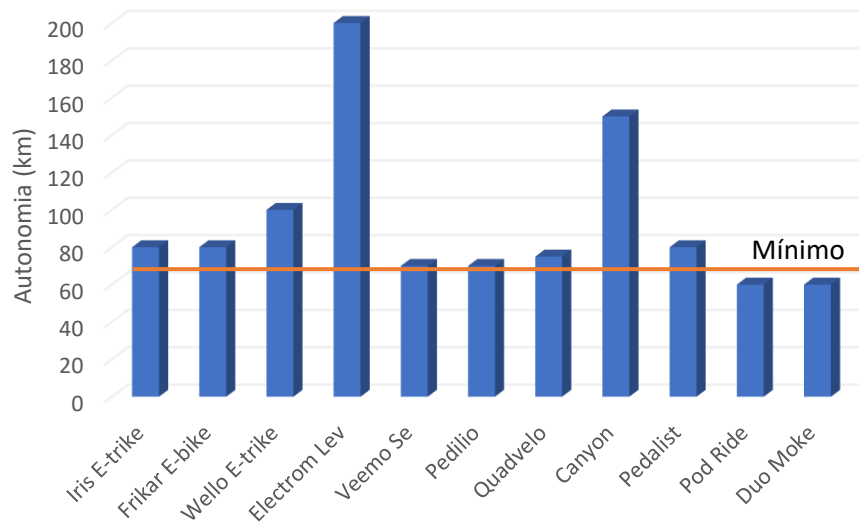


Figura 21 – Gráfico comparativo da autonomia. Fonte: Elaborado pelo autor.

- 5 - Dimensões

Como dito anteriormente, a nova tendência é a compactação, a otimização de espaço e os veículos de transporte individual, de no máximo 3 ocupantes. Na tabela de concorrentes, todos foram selecionados para no máximo 3 passageiros, sendo 7 deles de apenas 1 passageiro; outros 6 com 2 ocupantes; e em especial, o Quadvelo (**Figura 22**) com 1,5 ocupante, o que corresponde a um passageiro adulto e uma criança; e o Wello E-trike, com capacidade de 3 ocupantes.



Figura 22 – Quadvelo. Fonte: QUADVELO.

Além dos ocupantes, outro quesito é especificamente as dimensões físicas: comprimento, largura e altura. Entretanto, a largura dentre eles não houve bastante distinção, mas como para legislação existe a limitação de largura máxima de 70 cm e

entre eixos de 1,3 m, define também um dos limites de projeto. Dessa maneira, quanto ao comprimento e a altura, dos valores de pesquisa, a média foi veículos com comprimento de 2402 mm e altura média de 1246,2 mm. Com esses dados, é possível montar 2 gráficos de dispersão, para entender quais pontos (concorrentes) estão destoando demais do geral. A **Figura 23** mostra a dispersão para o comprimento:

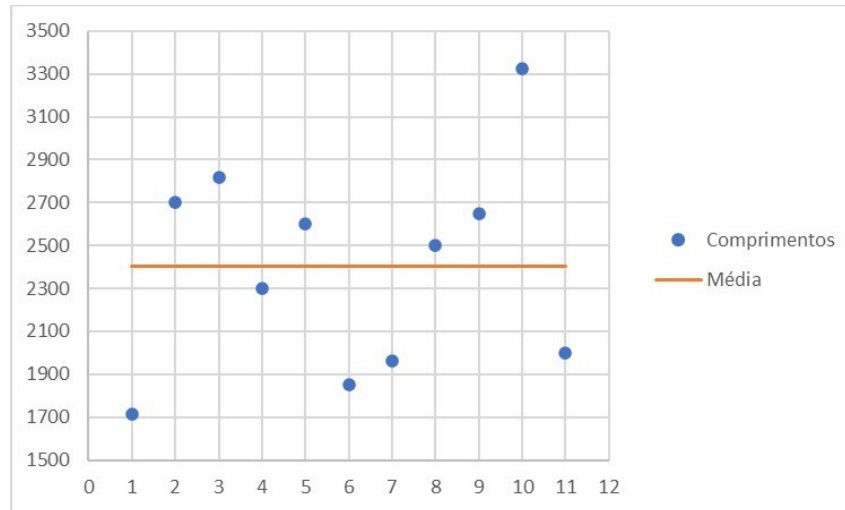


Figura 23 – Gráfico de dispersão para o comprimento. Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando o gráfico de dispersão do comprimento, é possível notar que o ponto número 1 e o ponto 10 se destacam, estes são o Duomoke e o Twike 5, respectivamente. O Duomoke (**Figura 24**), segue uma estrutura estreita, o que encurtou o seu comprimento, normal na categoria de minicarros, entretanto não é por todos usuários que essa característica é um ponto positivo. Ou seja, nem tão grande, nem tão pequeno, apenas o necessário, sem fugir das diretrizes de projeto, mercado e categoria.



Figura 24 – Duomoke. Fonte: DUOMOKE.

Seguindo o mesmo princípio, a **Figura 25** mostra a dispersão para a altura:

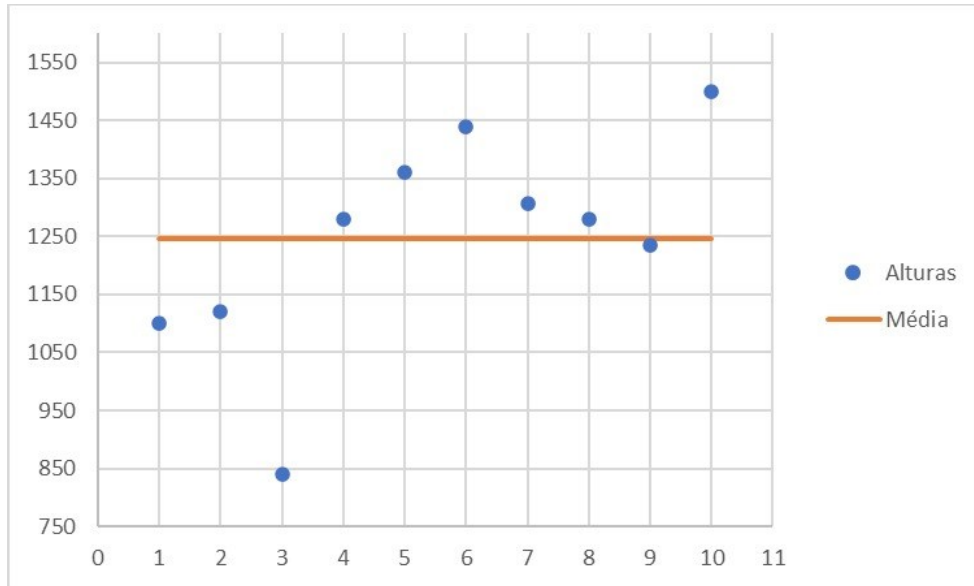


Figura 25 – Gráfico de dispersão para a altura. Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando o gráfico de dispersão de altura, é possível perceber que 2 pontos se diferem dos demais: o 3 e o 10, respectivamente correspondem ao Frikar E-bike e ao Veemo Se (**Figura 26**). Quanto à altura, é normal ter uma dispersão maior, pois existem posições de ocupantes diferentes para cada caso, diferindo quanto à altura do H-point. O Frikar possui uma posição de pilotagem mais deitada, com H-point baixo; o Veemo Se, sentado e com H-point alto.



Figura 26 – Veemo Se. Fonte: VEEMO.

A **Figura 27** mostra um comparativo de comprimento e altura para cada um dos concorrentes. O E-Pedal irá seguir as diretrizes de projeto, entretanto, para 1 passageiro, se espera não ultrapassar os 2 metros de comprimento e 1,4 m de altura até o olho do passageiro. A partir da posição de pilotagem e do H-point escolhidos, será montado toda a estrutura de chassi e carroceria, *powertrain*, sistemas de direção, suspensão, freio e interior, para que, em seguida, seja calculada as dimensões base do projeto.

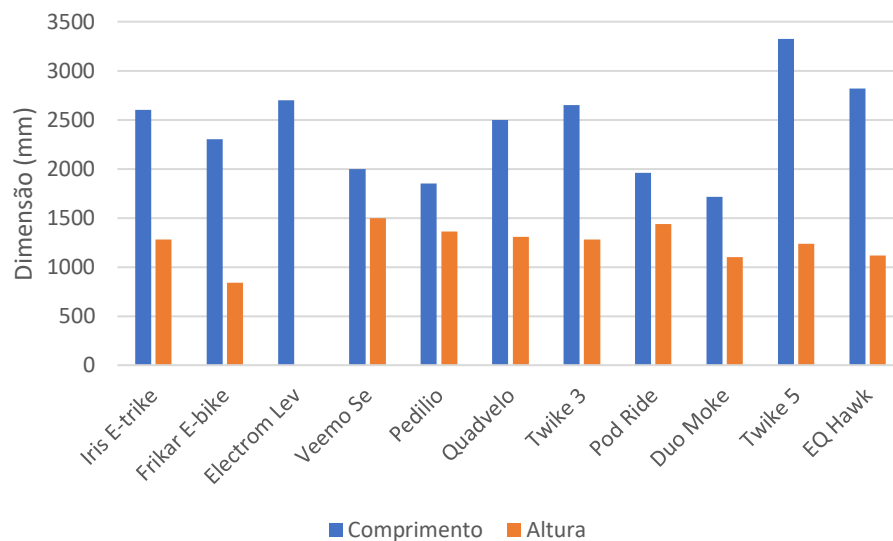


Figura 27 – Gráfico comparativo do comprimento e da altura. Fonte: Elaborado pelo autor.

- 6 - Peso

O peso é outro item muito importante, pois tem influência direta em todos cálculos dinâmicos e estruturais. Saber identificar nos concorrentes quais são os componentes que mais influenciam nesse fator, pode dar alguns passos no desenvolvimento do produto. Também com base na **Tabela 3**, de concorrentes, observa-se que a maioria dos veículos não ultrapassa massa de 100 kg, apenas 3 diferem: Duomoke (**Figura 24**), Twike 5 e Twike 3 (**Figura 19**). Alguns destaques para o Weelo E-trike (**Figura 20**) e para o Iris E-trike (**Figura 16**), que conseguiram uma distribuição de massa excelente, com 35 kg e 55 kg, respectivamente. A **Figura 28** mostra o comparativo da massa dos veículos concorrentes, além da meta para o projeto:

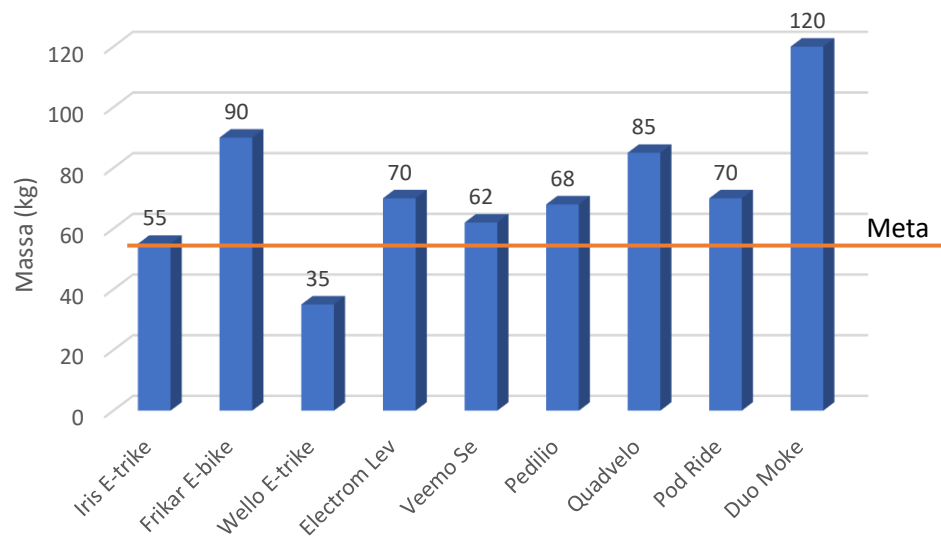


Figura 28 – Gráfico comparativo da massa. Fonte: Elaborado pelo autor.

- 7 - Diferencial

Bagageiro: o Wello E-trike é adaptável, ou seja, é possível adicionar, em sua estrutura, carrocerias adaptadas para aumentar sua carga ou mesmo o número de passageiros, como mostra a **Figura 29**:



Figura 29 – Adaptações Wello E-trike. Fonte: WELLO.

Off-Road: o Pod Ride (**Figura 30**), em seu projeto, foi planejado exclusivamente para terrenos com gelo e neve. O que é um mercado um tanto quanto limitado, entretanto, traz portas pro setor Off-Road para os *velomobiles*. Esses veículos geralmente dispõem de um kit de *powertrain* voltado para o torque, além de um jogo de suspensão e cambagem destinados a atuar de forma passiva e ativa alternadamente, o que promove ótima locomoção independente da superfície em que está sujeito.



Figura 30 – Pod Ride. Fonte: PODRIDE.

Energia: o Pedilio (**Figura 31**), o Duo Moke (**Figura 24**), o Quadvelo (**Figura 22**) e o Wello E-trike (**Figura 20**) se destacam no quesito sustentabilidade, pois possuem placa solar para captação de energia fotovoltaica.



Figura 31 – Pedilio. Fonte: PEDILIO.

Marca: este se trata de um aspecto um tanto quanto ideológico. Um bom exemplo é o Canyon (**Figura 32**), que se trata de um projeto patrocinado pela multinacional alemã. No mercado, existem fatores que nem sempre são triviais, por exemplo, um projeto mediano, porém com grande investimento em marketing e com uma boa marca patrocinando, pode vender mais que o de um concorrente, mesmo que o projeto seja melhor.



Figura 32 – Canyon. Fonte: CANYON, 2022.

Design: aqui, além dos aspectos visuais em si, vale valorizar o conjunto de alguns concorrentes, mesmo que alguns ainda não tenham sido acabados.

- EQ Hawk (protótipo): a proposta inicial foi de ser o mais próximo possível de um automóvel comercial



Figura 33 – EQ Hawk. Fonte: Google imagens, site oficial fora do ar.

- Canyon (conceito): tratado no tópico de marca, **Figura 32**
- Frikar E-bike: o Frikar (**Figura 14**) possui uma aparência moderna e com um acesso à informação fenomenal (possuem diversos vídeos no canal do Youtube) e são bem transparentes quanto ao acesso do projeto.
- Iris E-trike: além de possuir um design moderno, o Iris E-trike é um ótimo custo benefício, o preço que cobra pelo conjunto que entrega diverge dos produtos da categoria.
- Twike 5 (protótipo): o projeto em si é super interessante (**Figura 19**), atinge velocidades absurdas para o conjunto, entretanto possui preço fora da curva, além de possuir um comprimento bem maior que a categoria.
- Carcle Bike: não foi feito para produção em escala, apenas um projeto de entusiasta, entretanto é de se valorizar o projeto estrutural feito em madeira, como mostra na **Figura 34**:



Figura 34 – Carcle Bike. Fonte: Google Imagens.

Por fim, fazendo a análise comparativa entre os concorrentes, é possível chegar em uma solução baseada nos pontos fortes e fracos de cada um. Fundamentado na tendência da categoria e nas previsões para o futuro, dispostas na introdução. O que se pode dizer é que o E-Pedal deve ter volante (diferencial dos concorrentes), não deve ultrapassar os 32 km/h, ter boa autonomia, freio hidráulico a disco, pequenas dimensões, com kit de suspensão (diferencial dos concorrentes), estrutura leve, com espaço para bagagem, *powertrain* com compatibilidade à alguma energia sustentável, design moderno, ergonômico, seguro e tudo por uma boa faixa de preço.

3.2. Requisitos de projeto

3.2.1. Formulário de briefing

Briefing é um documento que reúne as informações necessárias para o desenvolvimento de produtos e serviços, funciona como um guia para compreender o problema e trabalhar na solução. Ele deve englobar as informações que sejam relevantes para o seu projeto, conhecendo o público alvo e trabalhando na melhor solução para a problemática. Existem alguns tópicos que são essenciais no desenvolvimento de um briefing completo e bem elaborado:

- Natureza do projeto e contexto;
- Análise setorial;
- Público-alvo;
- Objetivos do negócio e estratégia de design;
- Objetivo, prazo e orçamento do projeto;
- Informações de pesquisas, e
- Apêndices.

Dessa maneira, adaptando para o projeto do veículo, algumas informações já estavam pré-definidas e no caso, o empreendedor / investidor seria o Prof. Dr. Henrique Gomes de Moura. Assim, foi realizado um formulário com perguntas de diversos tipos, a fim de entender melhor o problema. A adaptação dos tópicos foi a seguinte:

- Natureza do projeto e contexto;
- Análise setorial;
- Público-alvo;
- Powertrain;
- Design e *Package*, e
- *Body* (corpo).

Esta adaptação é válida somente pois o formulário foi destinado exclusivamente a uma população capacitada e prontamente capaz de responder toda

e qualquer pergunta nele. Certamente, alguns dos questionamentos deveriam ser adaptados, entretanto, como o Prof. Henrique é o investidor, empreendedor e interessado no projeto, as limitações impostas pelo engenheiro na fase de análise do problema, são remodeladas para uma limitação de projeto advinda do gerente.

Assim, com o formulário de briefing pronto, feito na plataforma do Google, foi enviado para o Prof. Henrique. Em seguida, com base nas respostas presentes no **apêndice A** e na análise de mercado, foi possível fazer o levantamento de requisitos do projeto.

3.2.2. Levantamento de requisitos

Seguindo a metodologia de MACEY (2008), neste ponto o processo já está na segunda etapa, a de objetivos funcionais. Aqui devem ser definidas as metas primárias para o projeto, a partir das pesquisas, planejamentos e do ponto de vista do cliente. A parte de pesquisa, está presente na análise de mercado e nas normas que regem o projeto; o planejamento e o ponto de vista do cliente estão no formulário de briefing. Com esses dados é possível montar a **Tabela 4** de requisitos de projeto:

Tabela 4 – Características do projeto. Fonte: Elaborado pelo autor.

Requisito do usuário	Requisito de projeto	Característica
Quatro rodas	3 ou 4 rodas	4 rodas
Híbrido por propulsão humana e elétrico	Híbrido por propulsão humana e elétrico	Híbrido por propulsão humana e elétrico
2 ou 3 lugares	1 a 2 lugares	1 a 2 lugares
Sustentável	Sustentável	Sustentável
Baixo nível de esforço	Adequação ergonômica	Adequação ergonômica
Confortável	Adequação ergonômica	Adequação ergonômica
Faixa etária: jovem a idoso	Percentil 5% feminino ao 95% masculino	Percentil 5% feminino ao 95% masculino
Manutenção simples	Sem especificação	Manutenção simples

Velocidade máxima de 25 km/h	Velocidade máxima de 32 km/h	Velocidade máxima de 32 km/h
Não necessitar de carteira de motorista	Estar de acordo com as leis e regulamentações vigentes	Estar de acordo com as leis e regulamentações vigentes
Não necessitar de regulamentação	Estar de acordo com as regulamentações vigentes	Estar de acordo com as regulamentações vigentes
Autonomia de 50 km	Autonomia de no mínimo 70 km	Autonomia de no mínimo 70 km
Motor elétrico do tipo CC <i>Brushless</i>	Motor elétrico de no máximo 1 kW	Motor elétrico do tipo CC <i>Brushless</i> com no máximo 1kW
Bateria de no mínimo 500 WH	-	Bateria de no mínimo 500 WH
Carroceria fechada	Carroceria fechada	Carroceria fechada
Bagageiro pequeno	Bagageiro de no mínimo 50 L	Bagageiro de no mínimo 50 L
Custo de produção desejável: R\$10.000,00	Custo de produção < Preço	Custo de produção < Preço
-	Preço máximo: R\$35.000,00	Preço máx.: R\$35.000,00
H-point baixo	Altura do olho de 1,4 m	H-point limitado pela altura do olho
Chassi + Carroceria	-	Chassi + Carroceria
Abertura de porta <i>Gull Wing</i> ou <i>Sliding</i>	-	Abertura de porta <i>Gull Wing</i> ou <i>Sliding</i>
Materiais: metais, fibra de vidro e carbono.	-	Materiais: metais, fibra de vidro, fibra de carbono e pintura

3.3. Estudo conceitual

Para o desenvolvimento do projeto, foram utilizadas as características e requisitos levantados no item anterior, através da metodologia de design de conceito avançada:

- 1 - Planejamento e Pesquisa: corresponde ao tópico 3.1 – análise de mercado. Identifica-se qual tipo de veículo, como ele se classifica, qual segmento corresponde, qual seus concorrentes, qual posição se planeja ficar e quais normas o regem.
- 2 – Objetivos Funcionais: corresponde ao tópico 3.2. A partir do formulário de briefing obtêm-se a necessidade do cliente / investidor, em seguida, capta-se as características dos requisitos de projeto e das necessidades do usuário.
- 3 - Idealização de Design e *Package*: corresponde ao tópico 3.3.1. Nele se inclui os primeiros esboços livres, protótipos iniciais, em cima dos principais componentes e quaisquer recursos inovadores.
- 4 - *Benchmarking*: retomada aos produtos existentes para análise e comparação.
- 5 - *Advanced Design Package*: construção do protótipo em argila ou CAD, incluindo o *package*.

O conceito avançado termina aqui, pois as próximas fases são de produção, com uma equipe composta por designers e engenheiros.

3.3.1. Projeto de estrutura de veículos

Como apresentado na introdução, o conceito inicial e a estrutura do veículo foram desenvolvidas em conjunto na disciplina de projeto de estrutura de veículos. O processo de desenvolvimento já possuía limitações do projeto em sua fase inicial, no qual o professor Henrique, docente da disciplina, possuía algumas peças compradas e o projeto deveria ser construído a partir delas. O modelo de inspiração foi o Pod Ride, listado no tópico 3.1.4, de concorrentes.

Dessa maneira, foram divididas 3 equipes: *Package*, Dinâmica de Veículos, CAD/Ergonomia. E o conceito foi sendo elaborado em conjunto, sempre baseados pelas limitações de projeto.

Primeiramente, foi feito o CAD das peças já compradas pelo professor. A **Figura 35** mostra o kit triciclo vendido pela “Dream Bike”, onde originalmente contém uma catraca diferencial de 7 marchas, passador, eixo com 2 rodas, freio a disco e cesta (retirada do projeto).



Figura 35 – Kit triciclo da Dream Bike. Fonte: Dream Bike.

Ao desmontar o kit, foi segmentado nas seguintes peças: estrutura, 2 semieixos, adaptador de freio, catraca, 4 rolamentos 6202, 2 rodas, 2 pneus, 2 discos, 4 rolamentos 6200 e diversos parafusos. A **Figura 36**, mostra a montagem:

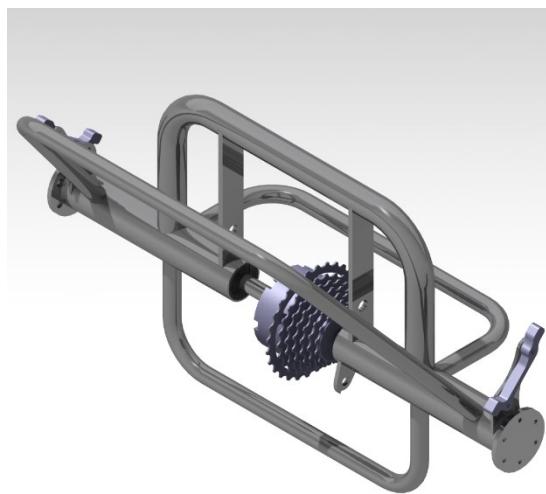


Figura 36 – Montagem do eixo diferencial traseiro. Fonte: Elaborado pelo autor em conjunto com a equipe de CAD / Ergonomia.

Além do kit, também foram feitas as 2 rodas dianteiras, 2 discos de freio dianteiros, o conjunto motor/pedal da Bafang e um banco genérico, que posteriormente foi substituído. A **Figura 37** mostra, a esquerda, a montagem das rodas e, a direita, a do Bafang:

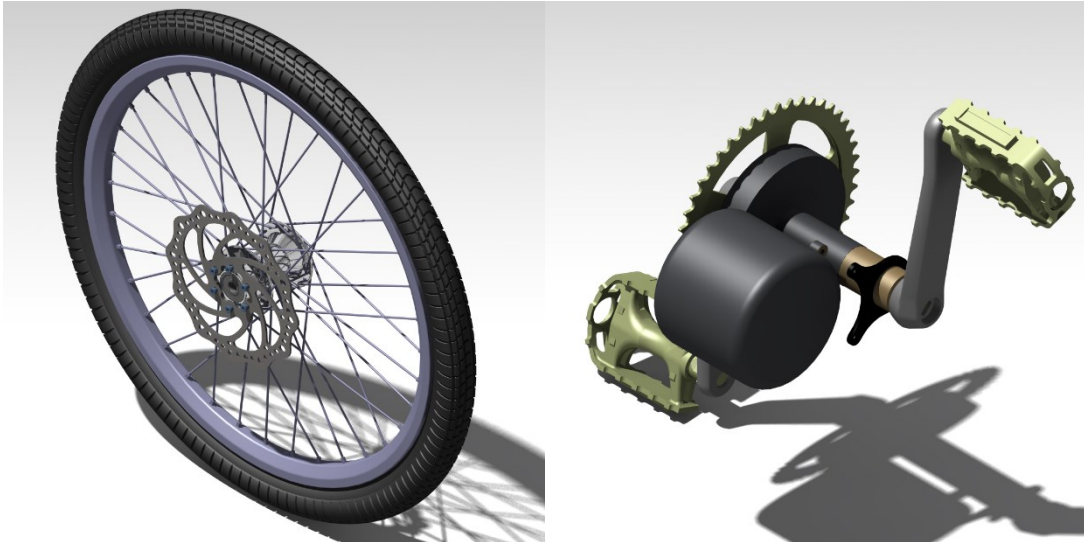


Figura 37 – Montagem das rodas e do Bafang. Fonte: Elaborado pelo autor em conjunto com a equipe de CAD / Ergonomia

A **Figura 38** mostra algumas das modelagens desta etapa inicial:

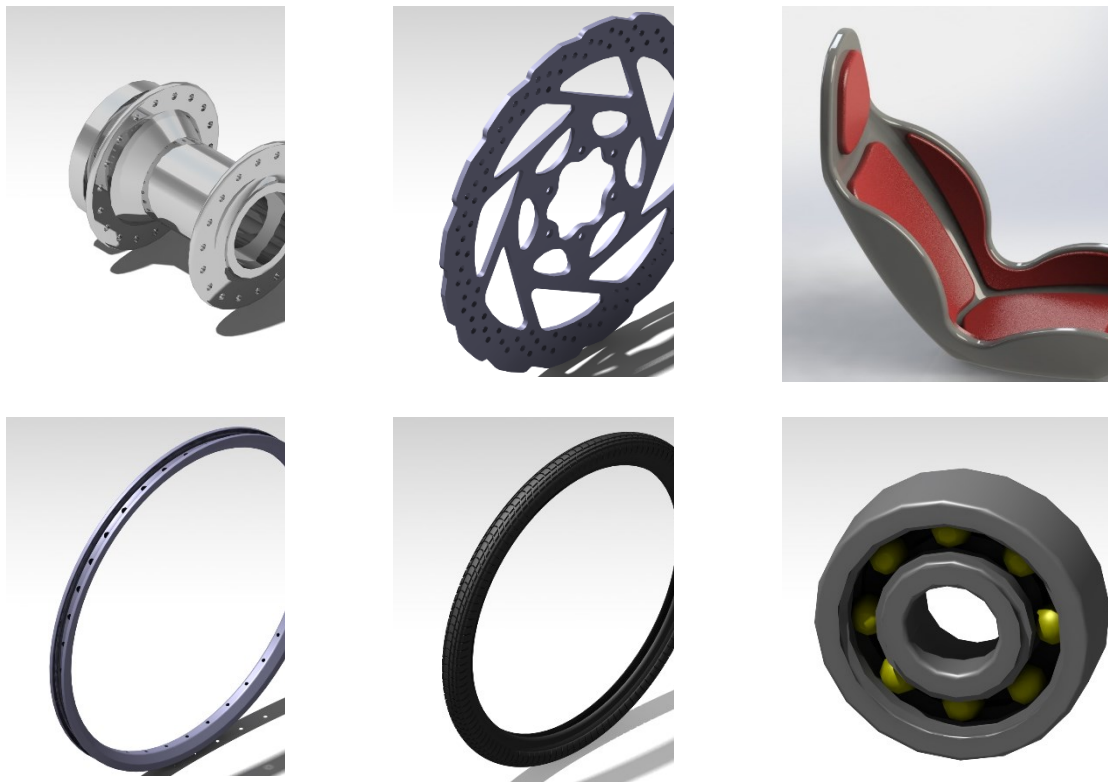


Figura 38 – Modelagem do cubo, Disco de freio, banco, aro, pneu e rolamento. Fonte: Elaborado pelo autor em conjunto com a equipe de CAD / Ergonomia.

Em seguida, com as peças prontas, adicionou-se o manequim 95 Masculino (tópico 3.3.5), a fim de esboçar as primeiras ideias de *package* baseado na ergonomia do motorista. A **Figura 39** mostra as vistas isométricas da montagem:



Figura 39 – Vista isométrica da montagem com as peças compradas. Fonte: Elaborado pelo autor em conjunto com a equipe de CAD / Ergonomia

O posicionamento do ocupante e das rodas dianteiras foram baseados em duas diretrizes de projeto: realizar manobras no menor espaço possível e pelos estudos ergonômicos. Quanto a ergonomia, o H-point estava limitado, pois outra necessidade era que a altura da elipse de visão estivesse a 1,4 metros do solo; esta altura corresponde ao nível em que o motorista de um veículo comercial enxerga o E-pedal, e vice-versa.

Definiu-se o ângulo de esterçamento das rodas dianteiras como sendo 25° , em seguida, com o H-point posicionado e com as bitolas (t) dianteira e traseira definidas, a única medida que ainda interferia na geometria de Ackermann (**Figura 40**) era o entre eixos. Então foi definido de forma que todo o conjunto do *package* se encaixasse perfeitamente sem deixar folgas, resultando em 1,4 metros (L). Assim, o valor do raio de curvatura (R) através da geometria de Ackermann foi de 2,6 metros.

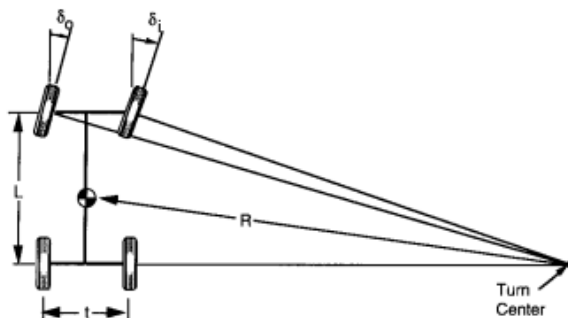


Figura 40 – Geometria de Ackermann. Fonte: GILLESPIE, 1992.

Para a equipe de dinâmica, também ficou responsável a estimativa do centro de gravidade do veículo; o estudo do tombamento e do escorregamento; os cálculos e dimensionamento para suspensão dianteira e traseira, sendo a suspensão dianteira independente e do modelo Duplo A, e a traseira dependente, pelo eixo rígido do diferencial traseiro; além disso, ambas suspensões contam com um amortecedor para limitar e amortecer o deslocamento vertical e as vibrações do chassi.

A equipe de *package*, ficou responsável pelo levantamento dos subsistemas do projeto, ou seja, definir quais são os componentes a partir dos cálculos / limitações dinâmicas e ergonômicas, e como serão dispostos no conjunto. O projeto ficou dividido nos seguintes subsistemas: sistema de direção, sistema elétrico, sistema de freios, sistema de propulsão, sistema de suspensão e sistema de segurança.

- Sistema de direção:

Como explicado no tópico 2.2.3.1, o sistema de direção tem diversos tipos. Nas soluções dos concorrentes, tópico 3.1.4, ainda não há soluções com volante consolidadas, por isso foi um dos requisitos de projeto. Entretanto, mais inovador ainda, ao invés de usar um sistema mecânico convencional, com cremalheira e pinhão, uma recomendação do professor foi a utilização de um sistema semelhante a direção de lancha.

Basicamente, o sistema de direção de uma lancha é comandado através de cabos. Dessa maneira, mesmo que o atuador seja o volante, por trás existe um sistema mecânico maleável, o que permite a disposição do cabo da maneira que for apropriada. Seguindo esse princípio, a equipe de *package* montou um esquemático, da **Figura 41**, para o sistema de direção:

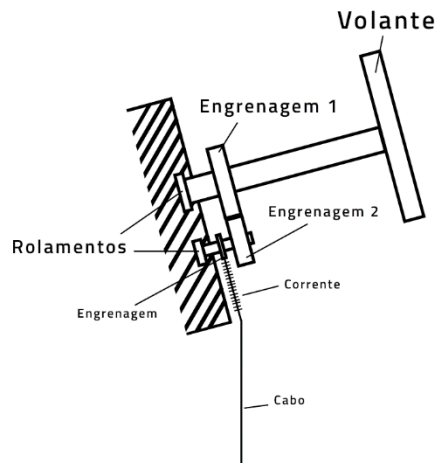


Figura 41 – Esquemático da caixa de direção. Fonte: Elaborado pelo autor baseado no estudo da equipe de Package.

Seu funcionamento consiste na transferência do torque do volante, realizado pelo motorista, para um eixo secundário com a corrente e o cabo acoplados. A transferência ocorre através de 2 engrenagens de dente reto, a maior com o dobro do diâmetro da menor, assim, constituindo a relação de engrenagens e de transferência de torque. Os cálculos do deslocamento necessário da barra de direção, são obtidos através do ângulo de esterçamento da roda, os 25° citados anteriormente, e do ângulo de rotação máxima do volante, que é de 120° .

Assim, foi possível calcular, através dos parâmetros, o diâmetro da engrenagem de entrada e saída. A solução aproximada, foi encontrada no catálogo da A.T.I. Brasil - Componentes para Transmissão, ambas de dentes retos: com 15 dentes para a engrenagem de entrada e 32 dentes para engrenagem de saída, com diâmetros de 25.5 mm e 51 mm, respectivamente. Seguem os parâmetros e especificações das engrenagens da caixa de direção, na **Figura 42** e na **Tabela 5**:

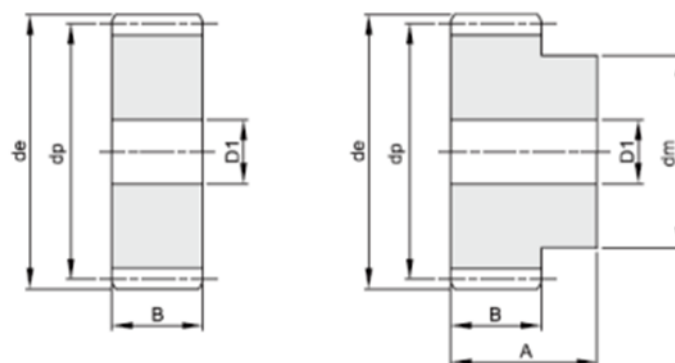
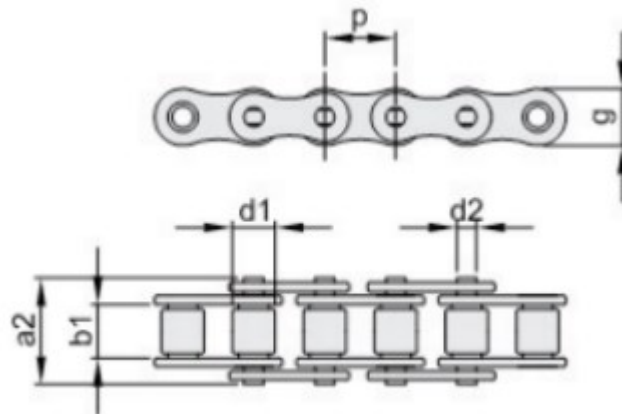


Figura 42 – Medidas das engrenagens de dentes retos. Fonte: ATI Brasil.

Tabela 5 – Especificações engrenagens de dentes retos com módulo 1,5. Fonte: ATI Brasil

15 Dentes	32 Dentes
$d_e = 25.5 \text{ mm}$	$d_e = 51 \text{ mm}$
$d_p = 22.5 \text{ mm}$	$d_p = 48 \text{ mm}$
$B = 15 \text{ mm}$	$B = 15 \text{ mm}$
$A = 25 \text{ mm}$	$A = 25 \text{ mm}$
$D1 = 8 \text{ mm}$	$D1 = 12 \text{ mm}$
$d_m = 18 \text{ mm}$	$d_m = 35 \text{ mm}$
Peso = 0,087 kg	Peso = 0,31 kg

Além das engrenagens de dentes retos, também foi necessária uma engrenagem de corrente, juntamente com a própria corrente, todos esses componentes foram obtidos no mesmo catálogo da ATI Brasil. Os parâmetros e especificações das engrenagens da caixa de direção, estão presentes na **Figura 43** e na **Tabela 6**, para corrente; na **Figura 44** e na **Tabela 7**, para engrenagem para corrente simples:

**Figura 43** – Medidas da corrente de elos. Fonte: ATI Brasil**Tabela 6** – Especificações da corrente de elos. Fonte: ATI Brasil

Legenda	Valor
P	6 mm
b1	2,8 mm
d2	1,85 mm
d1	4 mm
a2	7,4 mm
g	5 mm
Carga de Ruptura	3 kN
Peso por metro	0,12 kg

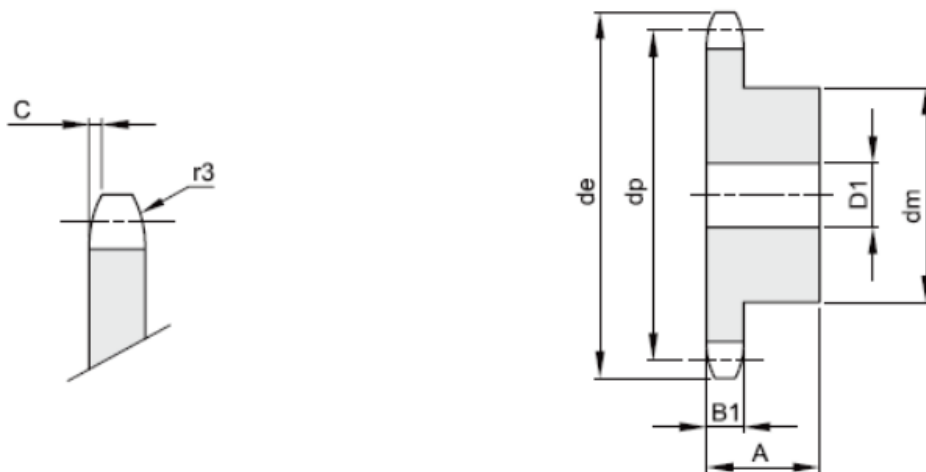


Figura 44 – Medidas da engrenagem para corrente simples. Fonte: ATI Brasil

Tabela 7 – Especificações da engrenagem para corrente simples. Fonte: ATI Brasil

Legenda	Valor
c	0,6 mm
r3	6 mm
de	25,4 mm
dp	23,18 mm
dm	16 mm
B1	2,6 mm
D1	6 mm
A	10 mm
Peso	0,02 kg

A **Figura 45** e a **Figura 46** mostram a modelagem das engrenagens da caixa de direção:

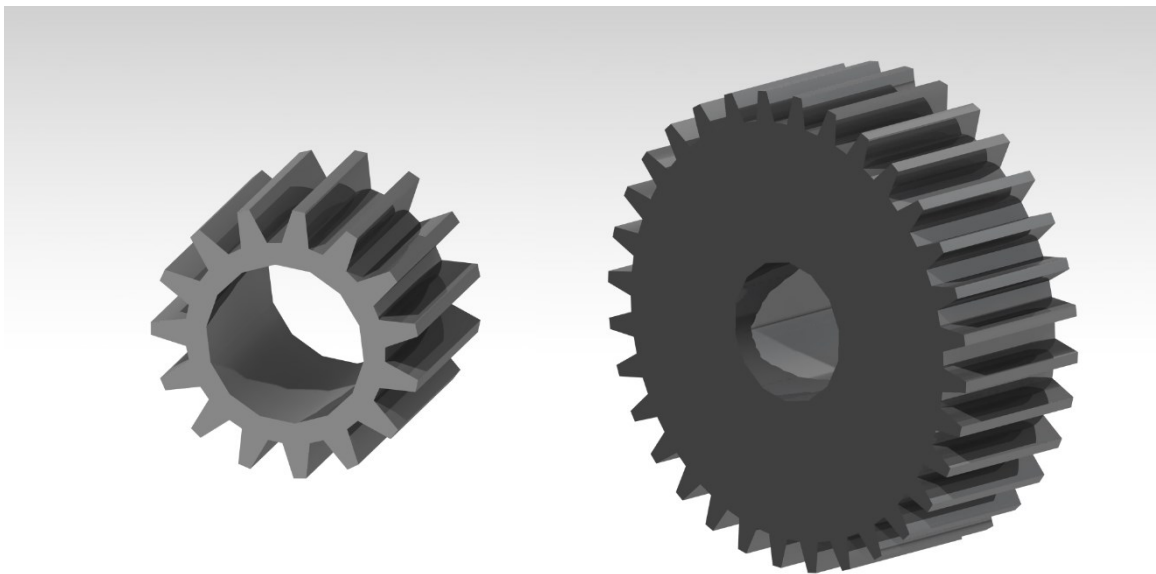


Figura 45 – Engrenagem 1 (esquerda) e engrenagem 2 (direita). Fonte: Autor.



Figura 46 – Engrenagem para corrente da caixa de direção. Fonte: Autor.

Além das engrenagens, são necessários mancais e rolamentos para apoio fixo dos eixos que irão conter os componentes citados anteriormente. Como os eixos tem diâmetro de 15 mm, as opções de mancal escolhidas foram o kit mancal + rolamento SKF FY 15, e o SKF P 15. A **Figura 47** mostra a modelagem dos kits:

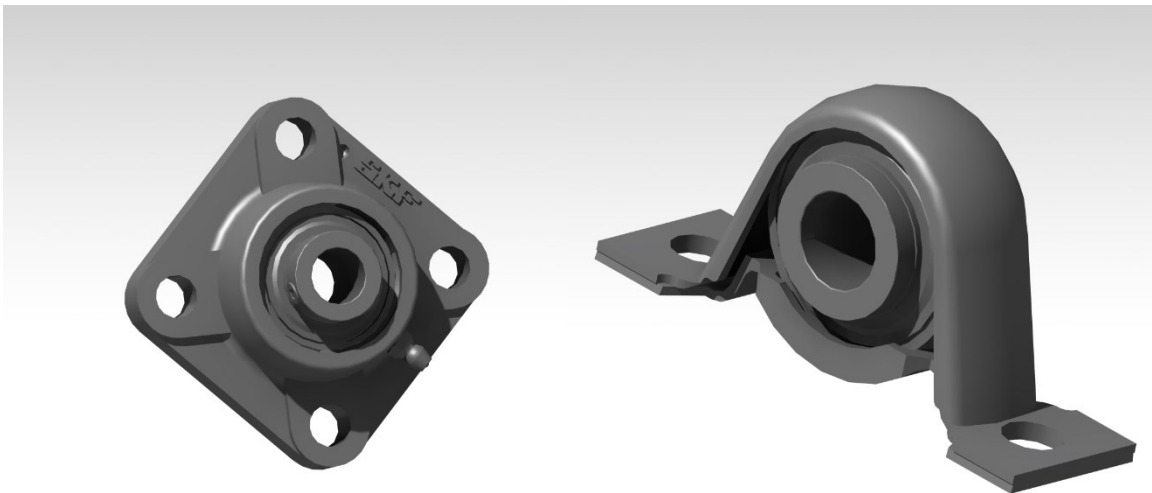


Figura 47 – Kits de mancal + rolamento da caixa de direção. Fonte: Autor.

Com todos os componentes, é possível montar a caixa de direção de acordo com a **Figura 48**:

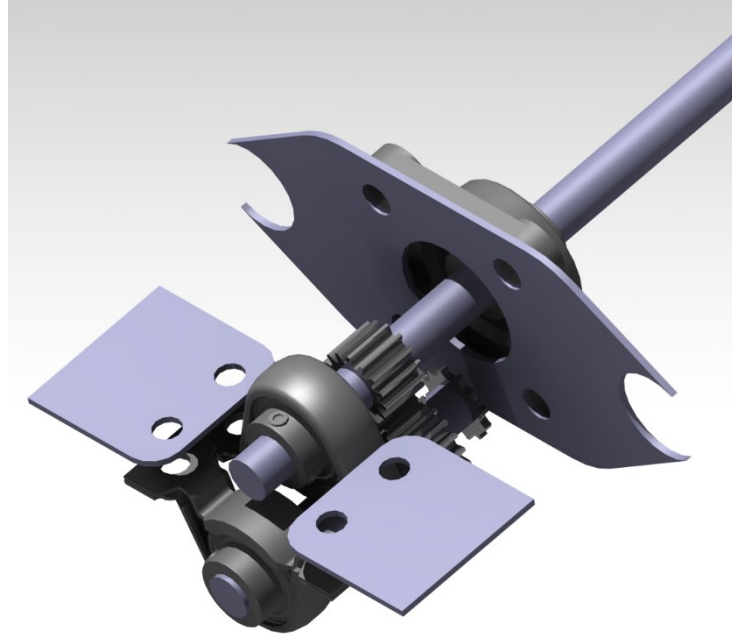


Figura 48 – Montagem da caixa de direção. Fonte: Elaborado pelo autor em conjunto da equipe de *package*.

Após o acoplamento da corrente na engrenagem da caixa de direção, é necessário de um sistema para atuação nas mangas de eixo. A solução consiste em uma peça deslizante, limitada por uma chapa, atuar movimentando os braços de direção que estão acoplados a manga de eixo, através de *ball joints*.

A **Figura 49** mostra a modelagem dos componentes do sistema de atuação nas mangas de eixo:

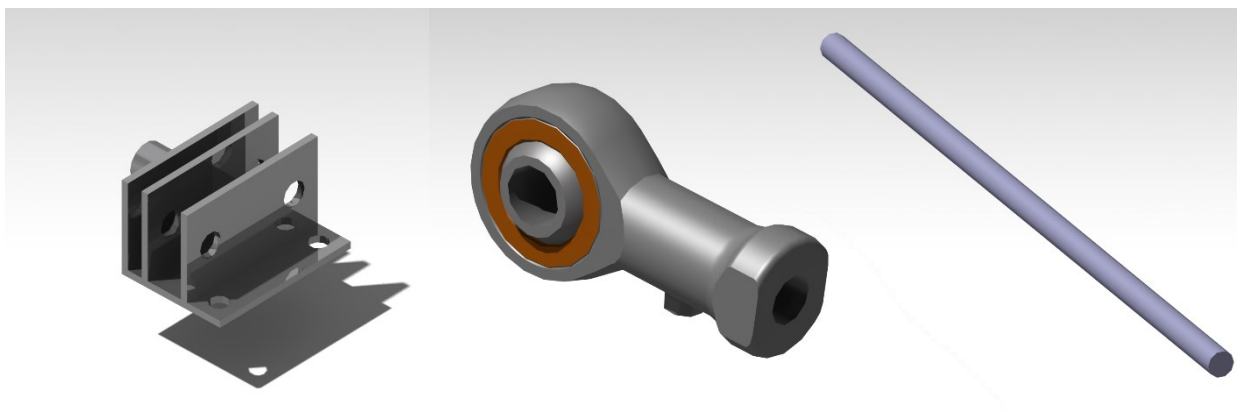


Figura 49 – Modelagem do *slider* (esquerda), *ball joint* (centro) e barra rosca (direita).
Fonte: Elaborado pelo autor em conjunto com a equipe de *package*.

Com todos componentes é possível montar o sistema de atuação nas mangas de eixo, de acordo com a **Figura 50**:



Figura 50 – Montagem do sistema de atuação nas mangas de eixo. Fonte: Elaborado pelo autor em conjunto com a equipe de *package*.

Por fim, o volante contará com os manetes de freio hidráulico (apresentadas no tópico a seguir) e um display que vem junto ao kit da Bafang. O design do volante foi baseado no dos volantes de Fórmula SAE. A **Figura 51** mostra os componentes do volante:

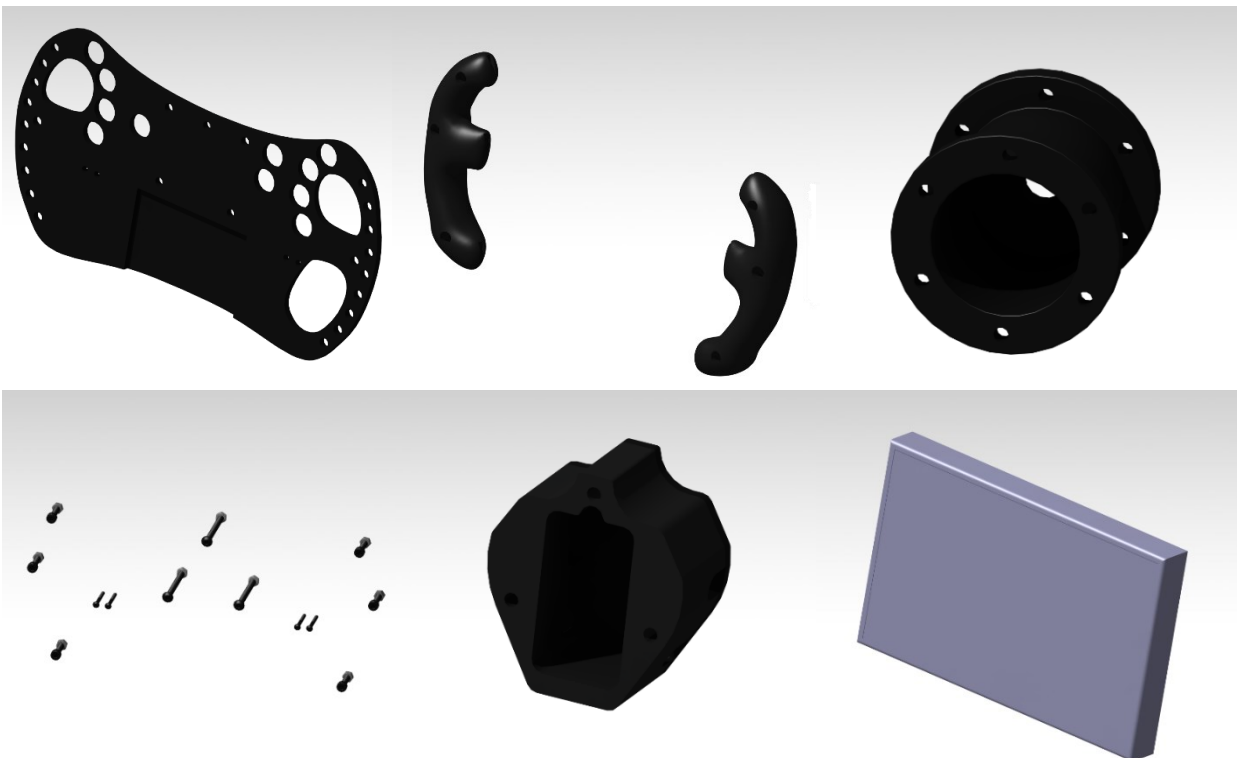


Figura 51 – Placa frontal, *grips*, espaçador, parafusos e porcas, hub e display. Fonte: Autor.

A **Figura 52** mostra a montagem do volante:

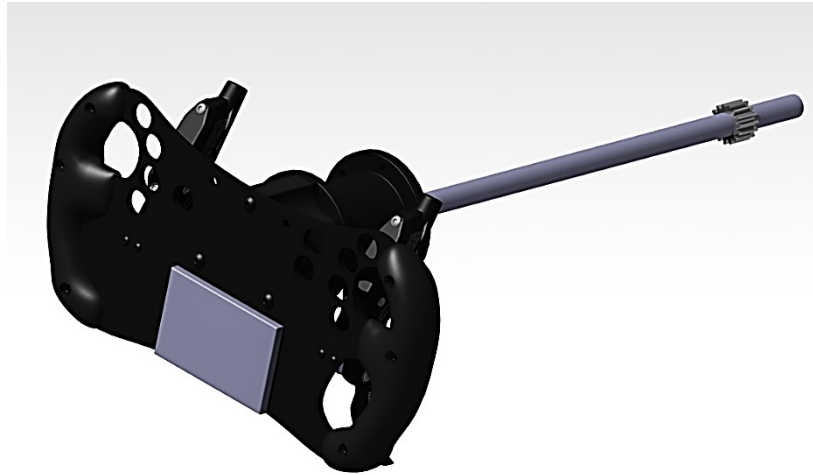


Figura 52 – Montagem do volante. Fonte: Elaborado pelo autor.

- Sistema de freios:

O sistema de freio escolhido foi o freio hidráulico a disco, por conta das peças já a disposição. A equipe responsável pela proposta foi a equipe de package, definindo o mecanismo de freio a óleo, para garantir maior frenagem quando comparado aos outros tipos de freio de bicicleta, por conta do seu tempo de resposta menor e esforço do motorista reduzido. Além disso se trata de um sistema com fácil manutenção e peças de fácil obtenção.

Seu funcionamento consiste no acionamento do manete de freio, exercendo pressão no fluido (óleo mineral), que está dentro do reservatório do manete, mangueiras e pinça do freio. O óleo então faz pressão nos pistões, que pressionam as pastilhas contra o disco de freio, produzindo atrito e freando o veículo.

A **Figura 38** mostra o disco obtido, e a **Figura 52** mostra o posicionamento dos manetes atrás do volante, a fim de gerar o princípio de funcionamento das borboletas de troca de marcha em um veículo tradicional. A **Figura 53** mostra a modelagem do manete de freio acoplado ao reservatório do fluido. Essa versão foi adaptada de um modelo da marca Shimano, tal adaptação se deve ao fato de que a fixação do manete originalmente seria em um tubo, entretanto, para esse caso, foi feita através de parafusos (**Figura 51**).



Figura 53 – Manete do freio + reservatório de fluido. Fonte: Adaptado pelo autor.

Na aplicação em questão, pelo veículo possuir 4 rodas, se faz necessário o uso de adaptadores para que um manete pressione 2 rodas ao mesmo tempo, a solução foi utilizar um divisor de fluido, como mostra a **Figura 54**:



Figura 54 – Conector de 3 vias para freios hidráulicos. Fonte: Google imagens.

Para garantir que as forças aplicadas sejam as mesmas nas rodas, os cabos devem possuir o mesmo comprimento e devem ser dispostos de maneira a evitar curvas ou dobras ao longo de sua fixação. A **Figura 55** mostra o esquemático da montagem do sistema de freios:

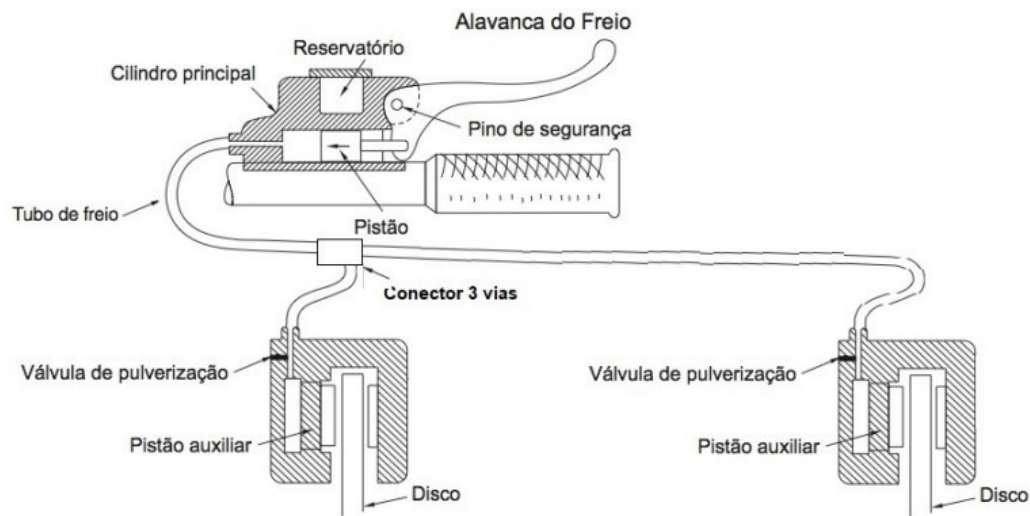


Figura 55 – Esquemático do sistema de freios com conector de 3 vias. Fonte: Adaptado do Google imagens.

- Powertrain:

No tópico 2.2.1, explica-se que o trem de força (powertrain) de um veículo é o conjunto de componentes que são responsáveis por transmitir potência às rodas motrizes. Como citado anteriormente, o projeto já tinha como diretrizes a catraca, o diferencial e o conjunto motor/pedal da Bafang. Quanto a classificação, o projeto se trata de um veículo híbrido série-paralelo, pois funciona em série, no sentido da propulsão humana auxiliada pela propulsão elétrica; e paralelo pois ambos podem produzir torque e impulsionar o veículo.

O E-Pedal tem suas rodas motrizes traseiras, com o conjunto motor / pedal posicionado na dianteira, o que implicou na elaboração de um sistema de transmissão. O modelo de motor escolhido foi o Motor Central BBS02 de 750w, da marca chinesa Bafang, voltado para utilização em bicicletas. Esse modelo foi dimensionado através da comparação da força requerida do esforço de pedalar para um atleta profissional de ciclismo.

Por conta do posicionamento do conjunto motor / pedal, foi necessário o desenvolvimento de um sistema de transmissão por correntes de elos, pois possui menor complexidade, menor custo e menor peso se comparado com outros sistemas de transmissão. O sistema conecta o pedal/motor elétrico com o eixo traseiro, transmitindo torque por baixo do chassi do veículo, sem pôr em risco o condutor, como mostra o esquemático da **Figura 56**:

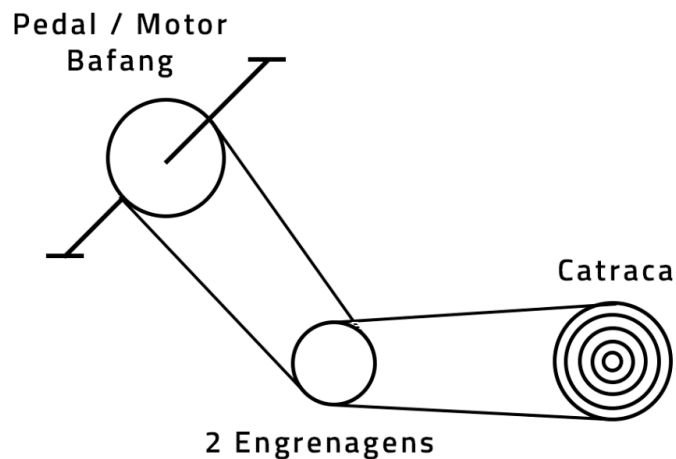


Figura 56 – Esquemático do sistema de transmissão. Fonte: Elaborado pelo autor baseado no estudo da equipe de Package.

Seu funcionamento consiste em uma corrente de elos que sai da coroa do conjunto pedal/motor, vai para uma primeira engrenagem, localizada abaixo do chassi, que por sua vez, é conectada por um eixo a outra engrenagem. Dessa segunda engrenagem, é conectada outra corrente de elos que vai até o eixo traseiro por baixo do chassi do E-Pedal, onde é conectada a catraca.

As engrenagens da transmissão se basearam no diâmetro do furo em que se passa o eixo de rotação. Como as duas engrenagens possuem mesmo diâmetro e mesma quantia de dentes, a relação equivale a uma ligação direta do motor à catraca. Essa ligação não poderia ser direta primeiramente por conta da ergonomia e também devido a necessidade de um tensionador de corrente, que possui alguns problemas crônicos em sua tecnologia, como desgaste, ruído, perda de tensão, entre outros.

Baseando-se do mesmo catálogo da ATI e no diâmetro interno de 12 mm para passagem do eixo, a engrenagem para corrente simples (**Figura 44**) escolhida possui as especificações da **Tabela 8**:

Tabela 8 – Especificações das engrenagens da transmissão. Fonte: ATI Brasil.

Legenda	Valor
c	0,6 mm
r3	6 mm
de	94,2 mm
dp	91,74 mm
dm	62 mm
B1	2,6 mm
D1	12 mm
A	18 mm
Peso	0,48 kg

A **Figura 57** mostra a modelagem das engrenagens da transmissão:

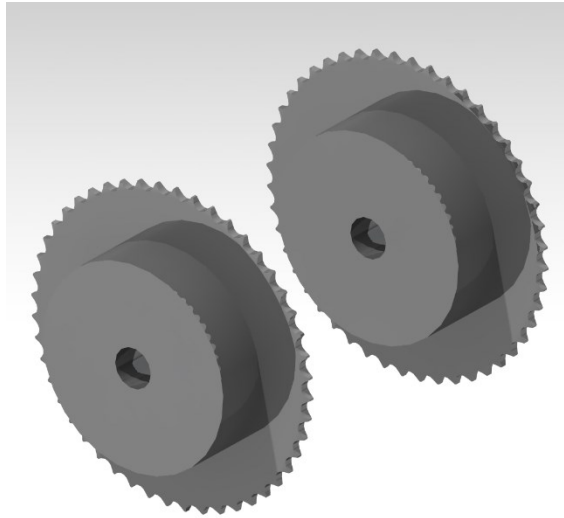


Figura 57 – Engrenagens da transmissão. Fonte: Elaborado pelo autor.

Além das engrenagens, são necessários mancais e rolamentos para fixação do eixo de transmissão. Como o eixo tem diâmetro de 12 mm, a opção de mancal escolhida foi o kit mancal + rolamento SKF P 12. A **Figura 58** mostra a modelagem do kit:

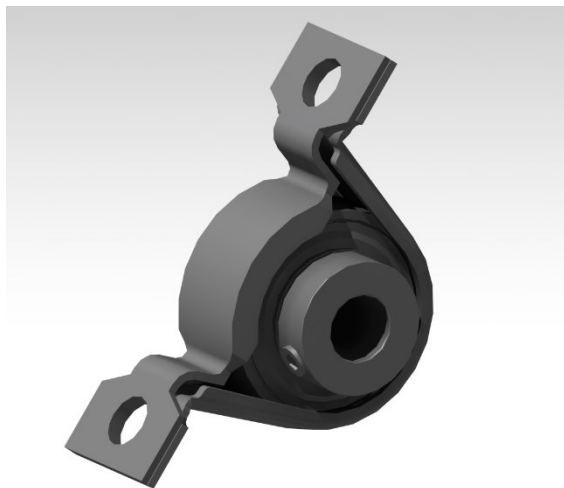


Figura 58 – Mancal + rolamento SKF P 12. Fonte: Elaborado pelo autor.

Utilizando da carcaça do mesmo mancal e de um espaçador, é possível realizar a montagem da transmissão. A **Figura 59** mostra a montagem:

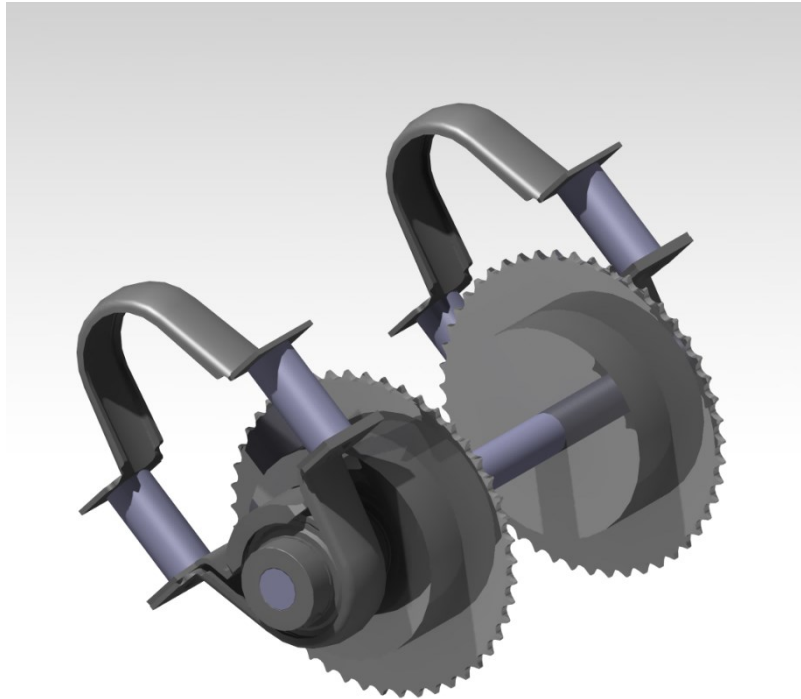


Figura 59 – Montagem do eixo de transmissão. Fonte: Elaborado pelo autor.

- Suspensão:

No tópico 2.2.2, explica-se que a suspensão de um veículo é responsável por reagir as forças produzidas pelos pneus, mantendo dirigibilidade e estabilidade durante as manobras e frenagens, com conforto. Para a suspensão dianteira, se fez necessário o uso de suspensão independente, não só pelo controle, mas pelo conforto. Para a suspensão traseira, o tipo já estava estabelecido pelo kit triciclo, sendo essa uma suspensão dependente de eixo rígido.

Para dianteira, o modelo escolhido foi uma adaptação da Duplo A (*double wishbone*), com dois braços paralelos presos ao chassi e a manga de eixo, onde a mola é fixada no braço inferior e a outra extremidade no chassi.

Dentre as diversas configurações de suspensão duplo A, a escolhida foi a de braços paralelos horizontais com tamanhos iguais, para facilitar a montagem e o dimensionamento. Com esse arranjo, a posição do centro de rolagem fica no solo, e quanto mais baixo o centro de rolagem, menor é a chance de uma das rodas perder o contato com o solo durante as manobras de esterçamento.

O dimensionamento da suspensão dianteira se fez com objetivo de manter o maior conforto para o piloto, este se faz quanto mais se aproxima da frequência natural, de 1 Hz. Essa é a frequência em que o ser humano admite maiores amplitudes de movimento. Utilizando 1,5 Hz como frequência base, a rigidez obtida foi de 1767 N/m.

Em seguida, utilizou-se da razão de instalação para encontrar a rigidez da mola necessária para suspensão. Os parâmetros são mostrados na **Figura 60**:

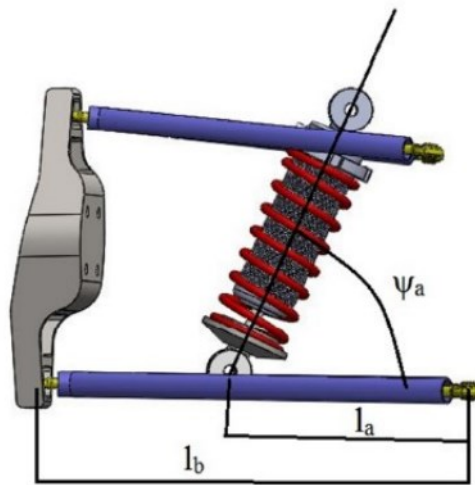


Figura 60 – Parâmetros utilizados na instalação da mola / amortecedor. Fonte: MENEZES E GEVINSKI.

No dimensionamento, os valores utilizados para o cálculo da rigidez foram de $l_a = 90 \text{ mm}$, $\Psi_a = 60^\circ$ e $l_b = 160 \text{ mm}$. A **Figura 61** mostra os valores para modelagem no CAD, o que valida o dimensionamento e a escolha do shock:

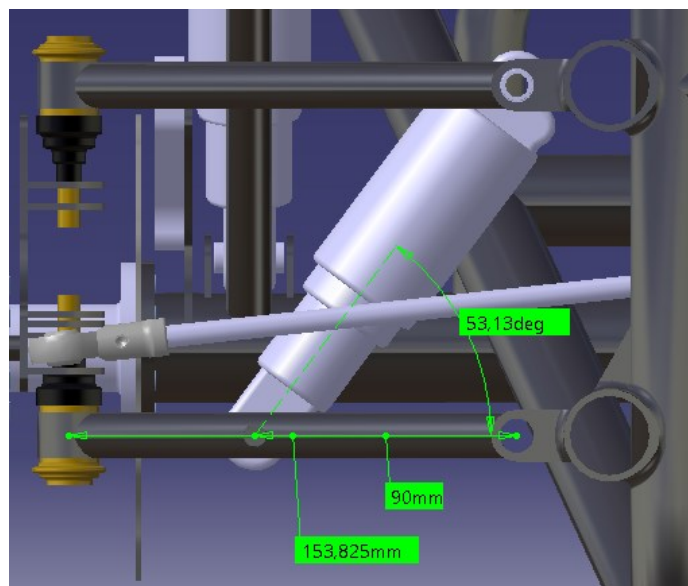


Figura 61 – Parâmetros do modelo em CAD. Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto aos componentes, a suspensão contém 2 bandejas, uma manga de eixo (também utilizada na direção), um amortecedor e 2 pivôs (*ball joints*). A **Figura 62**, **Figura 63** e **Figura 64** mostram a modelagem dos componentes:

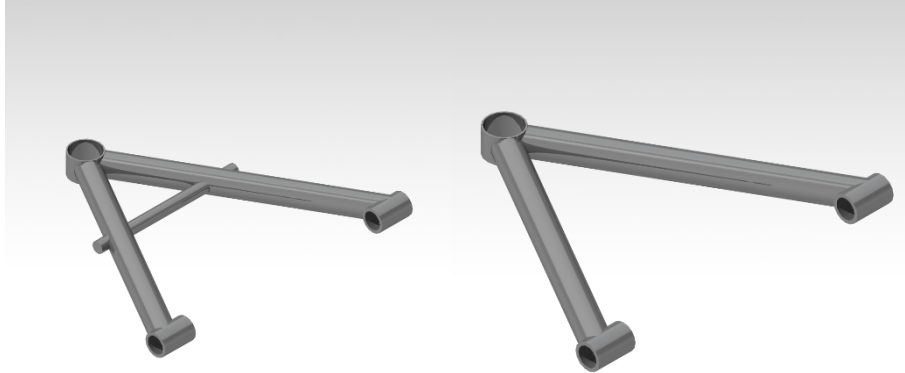


Figura 62 – Bandeja inferior (esquerda) e superior (direita). Fonte: Elaborado pelo autor em conjunto com a equipe de CAD / Ergonomia.

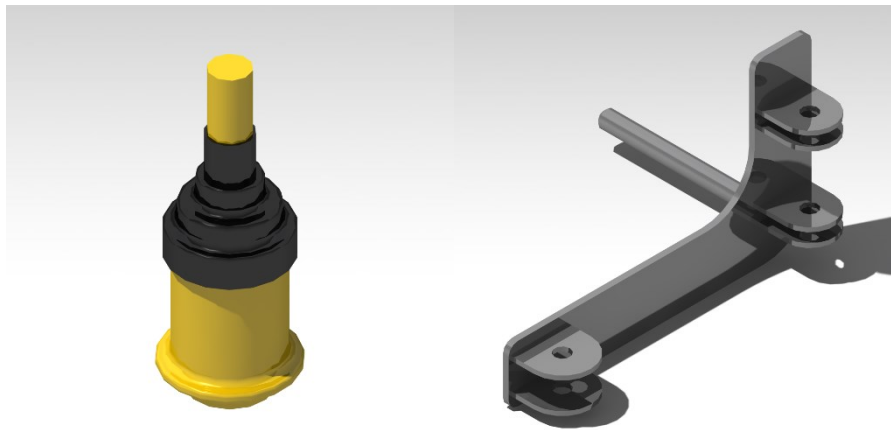


Figura 63 – Pivô da suspensão e manga de eixo (direita). Fonte: Elaborado pelo autor em conjunto com a equipe de *package*.

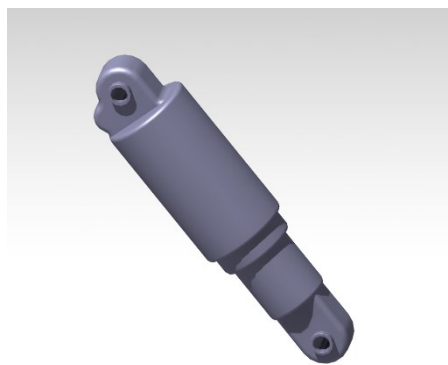


Figura 64 – Shock (Amortecedor KKcare type 3). Fonte: Elaborado pela equipe de CAD.

A **Figura 65** mostra a montagem da suspensão dianteira:



Figura 65 – Montagem da suspensão dianteira. Fonte: Elaborado pelo autor.

A suspensão traseira é do tipo dependente, em que um eixo sólido é fixado ao corpo do chassi, de modo a permitir a movimentação vertical de todo o conjunto do eixo. Para o amortecimento, utilizou-se do mesmo modelo de amortecedor da suspensão dianteira, pois foi compatível com o dimensionamento.

A **Figura 66** mostra a montagem da suspensão dianteira:



Figura 66 – Montagem da suspensão traseira. Fonte: Elaborado pelo autor.

- Chassi:

O chassi do E-Pedal foi dimensionado de maneira ótima, ou seja, a partir dos *hard points*, foi construído um chassi com perfil tubular e mesma espessura da chapa, a fim de comportar todos os demais sistemas.

O perfil de tubo escolhido foi o de aço carbono, redondo, espessura de 2,25 mm, com diâmetro de 1.1/4" (31,75 mm), vendido em peças de 6 metros. Assim como o tubo, a chapa escolhida possui espessura de 2,25 mm e é vendida cortada em diversas dimensões. A **Figura 67** mostra os modelos comerciais de chapa de aço carbono cortada e tubo redondo de aço SAE:

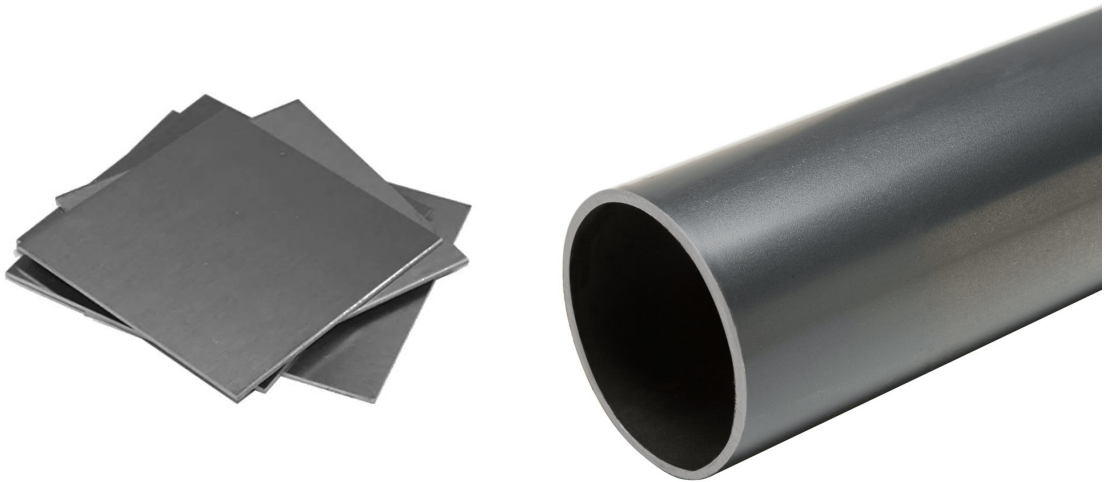


Figura 67 – Modelos comerciais de chapa cortada e tubo. Fonte: GRAVIA.

A **Figura 68** mostra as vistas isométricas da modelagem do chassi:

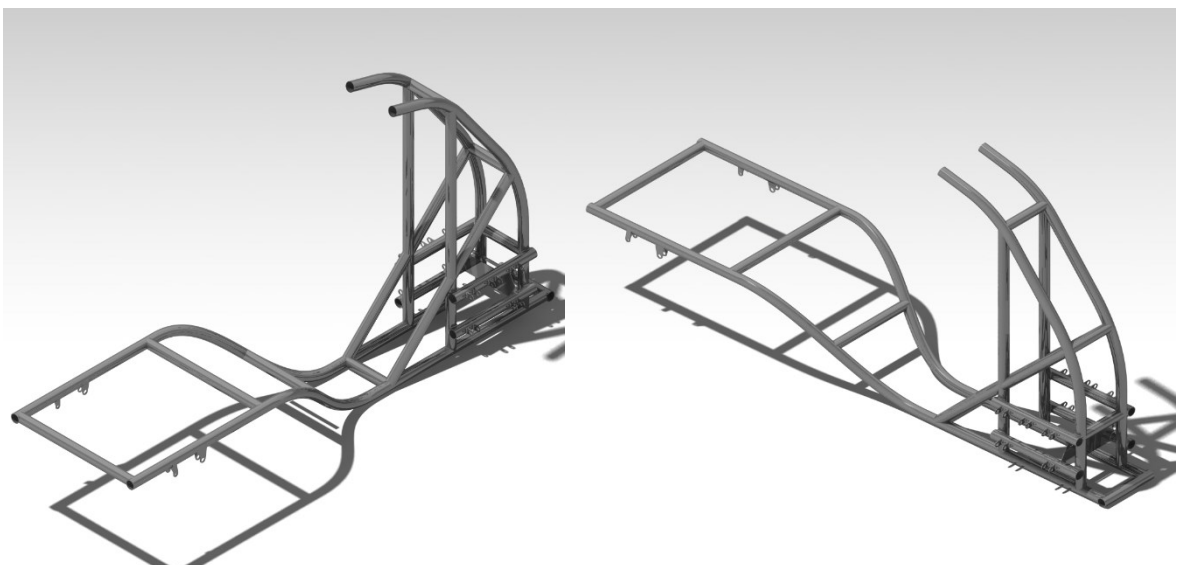


Figura 68 – Modelagem do chassi. Fonte: Elaborado pelo autor.

O chassi conta com suportes para fixação da suspensão dianteira, suspensão traseira e o terminal de direção, como mostra a **Figura 69**:

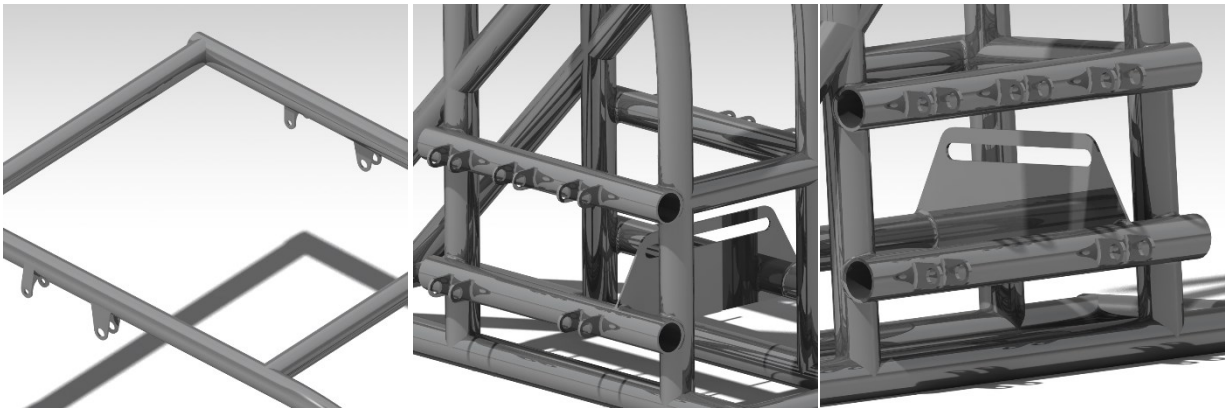


Figura 69 – Detalhes dos suportes do chassi. Fonte: Elaborado pelo autor.

- Banco:

Anteriormente, utilizou-se de um banco genérico (**Figura 38**) como um esboço do posicionamento do assento. Entretanto, o modelo escolhido estava com uma massa exagerada, o que levou a um novo modelo. Esse novo modelo se baseou nos bancos concha do mercado e nos bancos de fibra de vidro, que são mais leves e com uma estrutura simples, como mostra a **Figura 70**:



Figura 70 – Inspiração para o banco. Fonte: Adaptado do Google Imagens.

O banco Concha é ótimo ergonomicamente, pois abraça o usuário de maneira a garantir mais conforto e proteção que um banco convencional. Além da estrutura, utilizou-se de um trilho com vários furos para permitir o ajuste de altura. Quanto aos materiais da estrutura, utilizou-se de chapas de alumínio cortadas; no trilho, chapa de aço carbono; e posteriormente, com a estrutura montada, se adiciona espuma, couro, tecido e costura. A **Figura 71** mostra a modelagem da estrutura do assento:



Figura 71 – Modelagem da estrutura do assento. Fonte: Elaborado pelo autor.

- CAD da estrutura completa:

Com todos sistemas e componentes modelados, é feito uma montagem no ambiente do Assembly Design, no CATIA V5. Aqui é importante adicionar todas restrições de coincidência, contato, distância (*offset*) e ângulo, para que não fique nenhuma peça “solta”. A **Figura 72** mostra as vistas isométricas frontais da estrutura do E-Pedal:

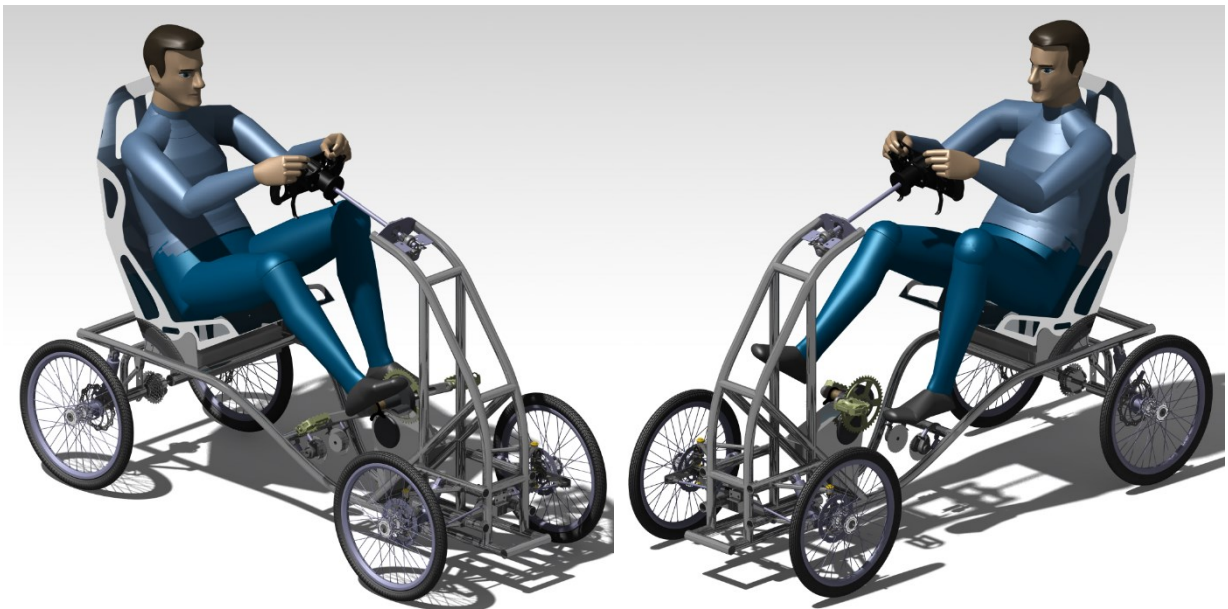


Figura 72 – Vistas isométricas frontais da estrutura do E-Pedal. Fonte: Elaborado pelo autor.

A **Figura 73** mostra as vistas isométricas traseiras da estrutura do E-Pedal:

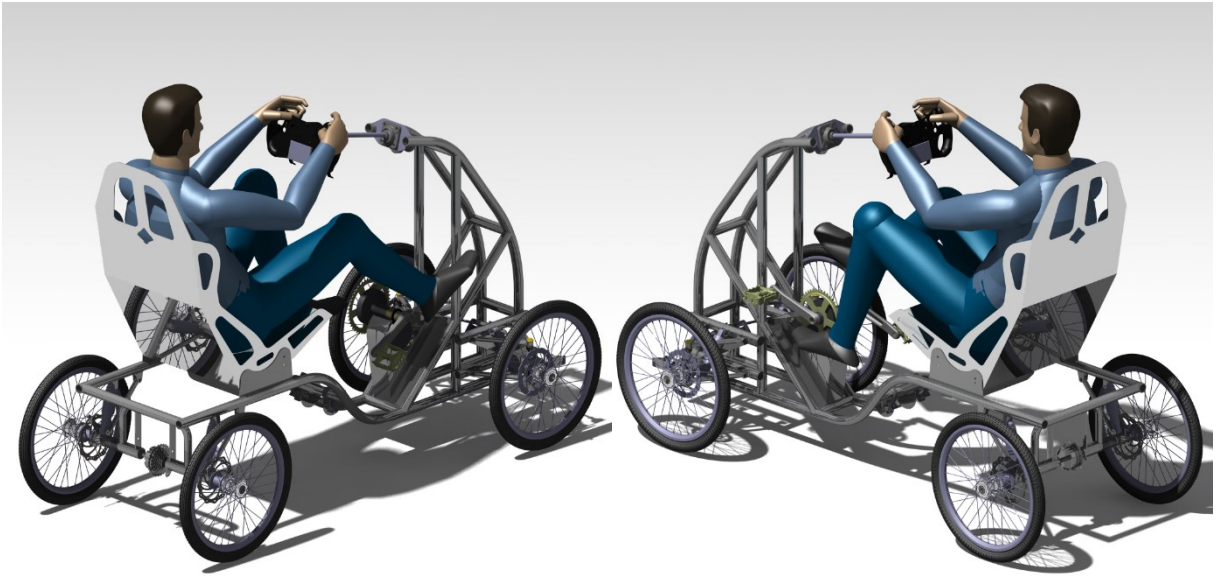


Figura 73 – Vistas isométricas traseiras da estrutura do E-Pedal. Fonte: Elaborado pelo autor.

A **Figura 74** mostra a vista frontal e posterior da estrutura do E-Pedal:

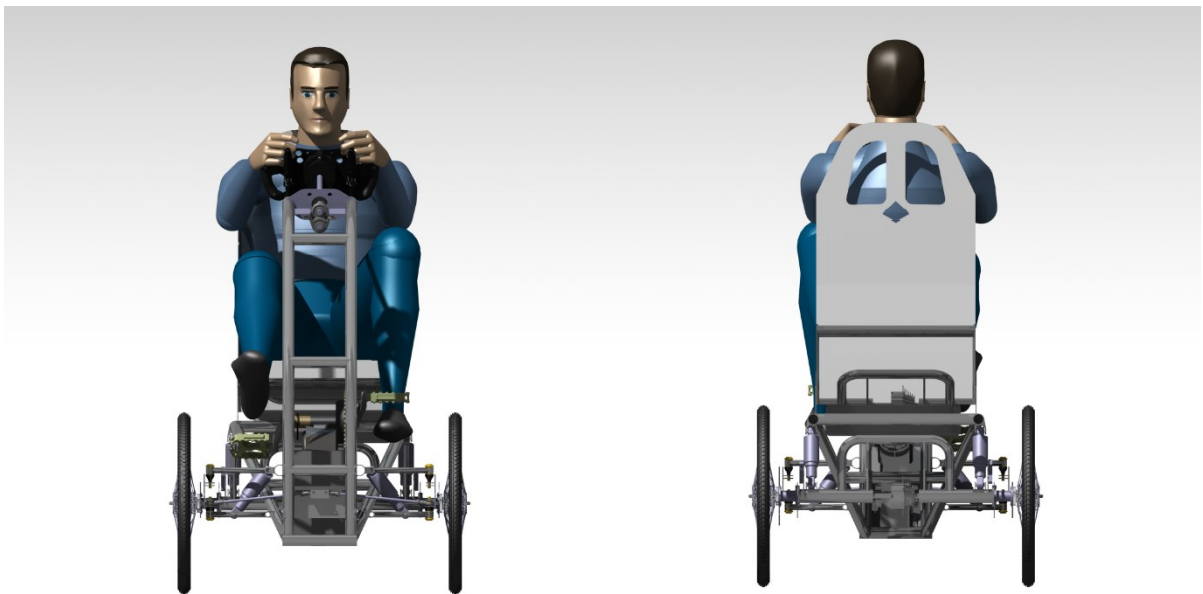


Figura 74 – Vista frontal e posterior da estrutura do E-Pedal. Fonte: Elaborado pelo autor.

A **Figura 75** mostra a vista lateral esquerda e lateral direita da estrutura do E-Pedal:

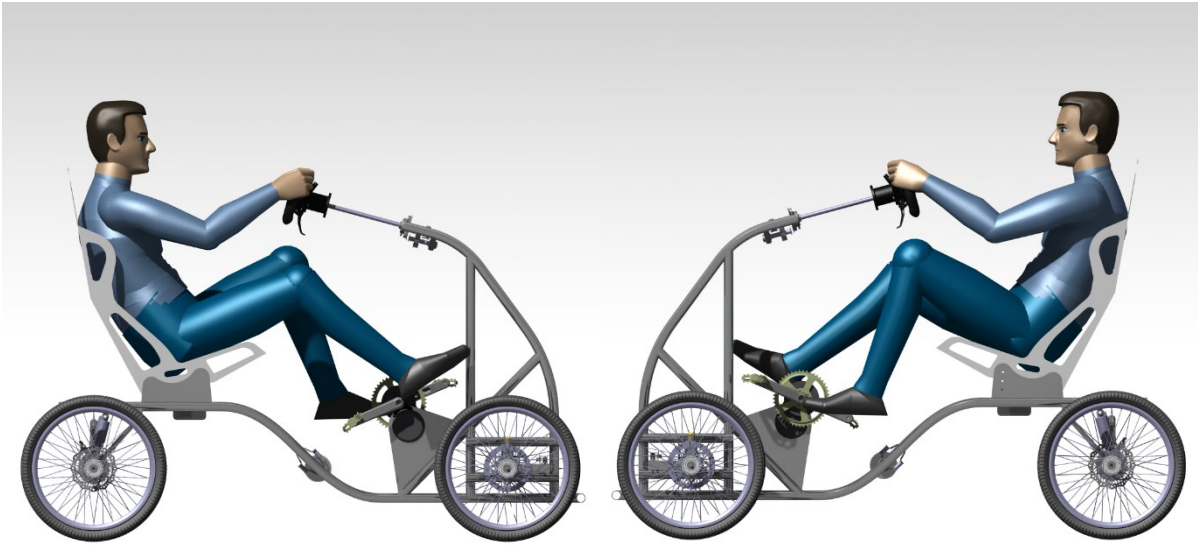


Figura 75 – Vista lateral esquerda e lateral direita da estrutura do E-Pedal. Fonte: Elaborado pelo autor.

A **Figura 76** mostra a vista superior e inferior da estrutura do E-Pedal:

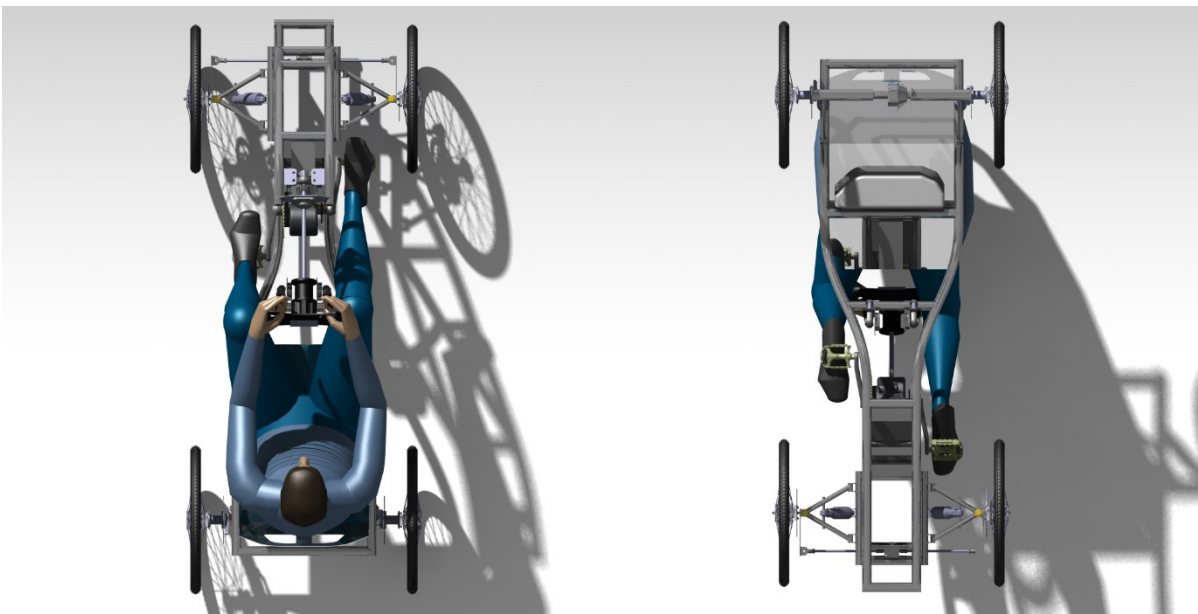


Figura 76 – Vista superior e inferior da estrutura do E-Pedal. Fonte: Elaborado pelo autor.

Por conta do ângulo de esterçamento da roda (25°), é necessário mostrar visualmente até onde a roda pode esterçar, sem que haja interferência com outro componente. Assim como a roda, o mesmo acontece com o conjunto motor / pedal, por se movimentar todos os 360° da circunferência do pedal. A **Figura 77**, **Figura 78** e **Figura 79** mostram as vistas com as interferências citadas, assim se pode concluir que a disposição dos componentes está validada:

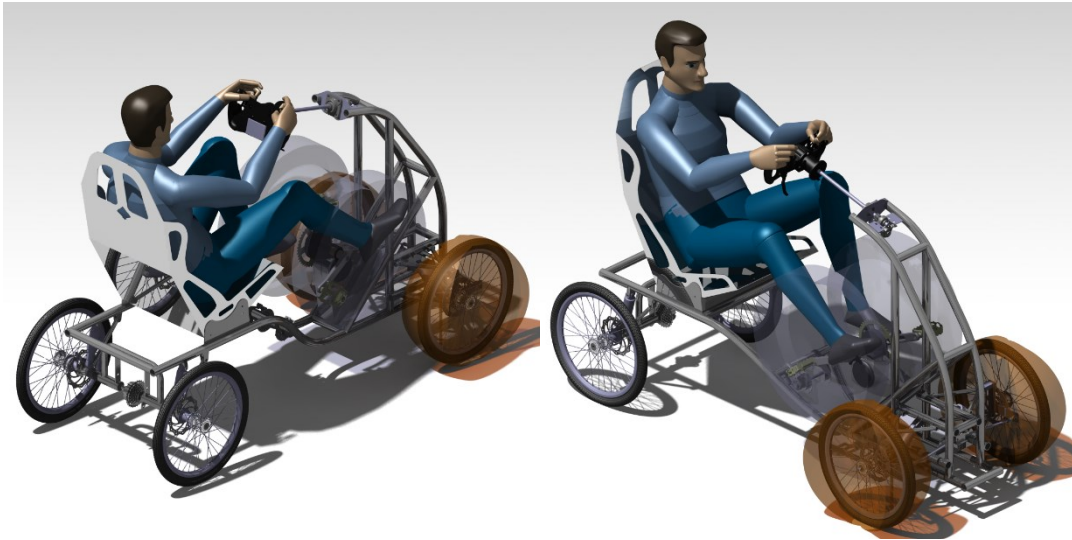


Figura 77 – Vista isométrica frontal e traseira das interferências. Fonte: Autor.

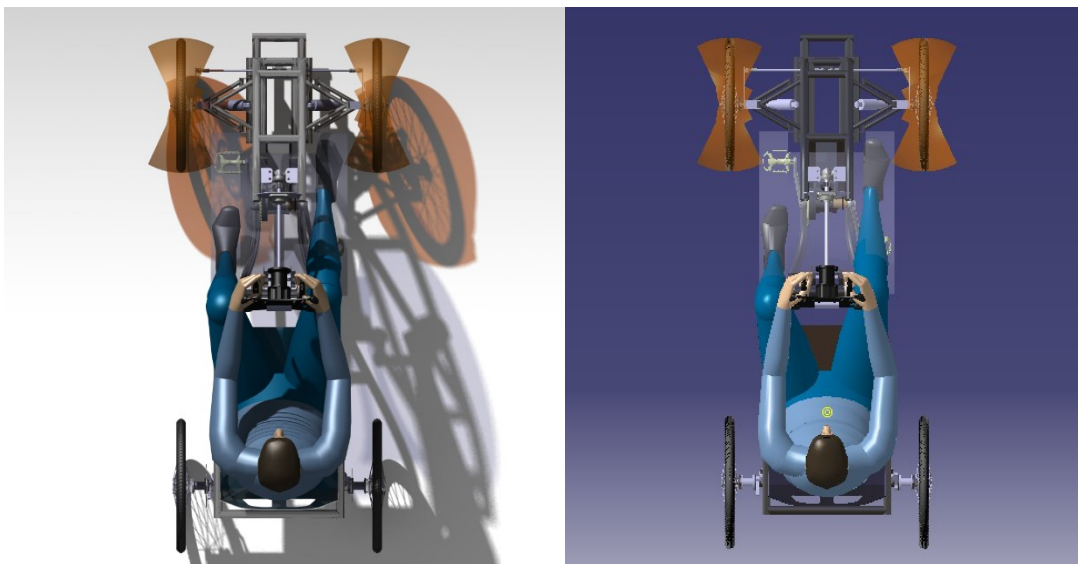


Figura 78 – Vistas superiores das interferências. Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 79 – Vista lateral das interferências. Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com Macey (2008), além das interferências, no package de um conceito avançado é necessário mostrar as dimensões principais do projeto, ainda na fase de concepção.

Dessa maneira, o **Apêndice B** – Vistas ortográficas E-Pedal mostra as vistas ortográficas do E-Pedal: com o Percentil 95 Masculino e também as vistas ortográficas apenas da estrutura.

3.3.2. Outros sistemas

Como citado no tópico 3.1.3, na resolução de nº 996, são obrigatórios para equipamentos de mobilidade individual autopropelidos, campainha, indicador de velocidade e sinalização noturna.

Quanto a campainha, uma opção é a presente em bicicletas infantis, ou a utilização de buzinas eletrônicas, como nas bicicletas de uso esportivo.

Para o indicador de velocidade, não será necessário a compra ou fabricação de nenhum sistema. Primeiro porque a própria resolução dá suporte para utilização de aplicativo em *smartphone*, como o Strava, para operar como dispositivo indicativo de velocidade. E a segunda opção, é o próprio display da Bafang, implementado diretamente na confecção do volante. A vantagem de utilizar o display, se dá por conta da integração com software do motor, disponibilizando funções extras como Bluetooth, indicativo de carga da bateria, visualização da autonomia, relógio, escolha do modo de operação, dentre outras funções.

A sinalização noturna que a norma cita, são os retrorefletores de rodagem noturna, que devem estar presentes na dianteira, traseira e lateral do veículo. Para o E-pedal, além destes, foi implementado um farol dianteiro, lanterna traseira (que também funciona como lanterna de freio) e lanternas indicadoras de direção (seta). Vale ressaltar, que estes 3 últimos itens do sistema de iluminação, não são componentes obrigatórios dada a classificação do veículo, entretanto, tornam-se indispensáveis e diferenciais dentre o setor ao qual pretende-se introduzir.

Outros itens que não são obrigatórios para a classificação do veículo e estão incluídos são: cinto de segurança de três ou quatro pontas; assento com apoio de cabeça; sistema de frenagem combinada (CBS); espelhos retrovisores; carroceria, porta e janelas; para-brisa dianteiro e traseiro; e bagageiro (porta-malas).

3.3.3. Desenho manual (*Sketch*)

Também parte das fases iniciais da metodologia de design avançado, está o *sketch* manual. Para o desenvolvimento do E-pedal, ocorreu uma inversão no design conceitual, pois primeiro foi feita a estrutura e posteriormente os desenhos. Eles são utilizados como forma de representar as ideias conceituais do estilo para o qual o veículo foi produzido.

O E-pedal possui um estilo retilíneo, que traz um ar de modernidade e futurismo para o projeto. Além disso, buscou-se atender a tendência do mercado atual, com abordagens de linhas aerodinâmicas, formas mais arrojadas e detalhes futuristas. Para a classificação de Macey (2008), seria um conceito de micro carro, destinado para cidade, com pequeno entre eixo, visão externa ampla, formato alto, estreito e pequeno, além de uma distância eixo-chão média. Quanto a abertura

Dessa maneira, a seguir, as **Figura 80**, **Figura 81**, **Figura 82** e **Figura 83**, mostram, em um esboço, as diferentes vistas e perspectivas do veículo.

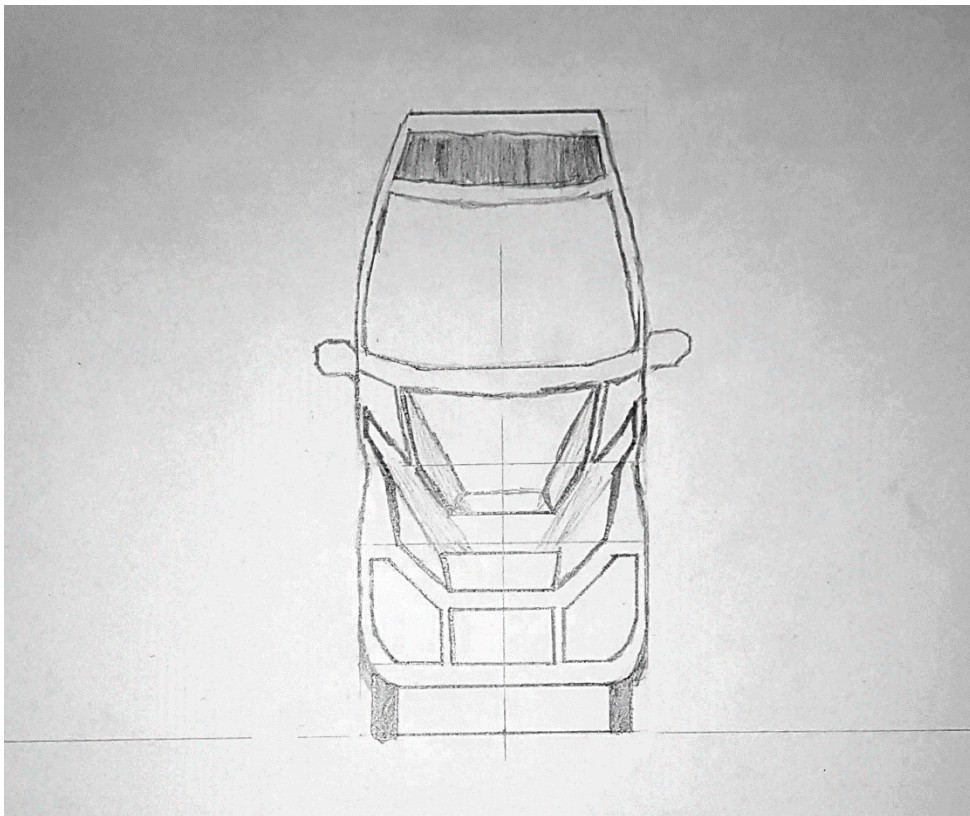


Figura 80 – Sketch manual da vista frontal. Fonte: Elaborado pelo autor.

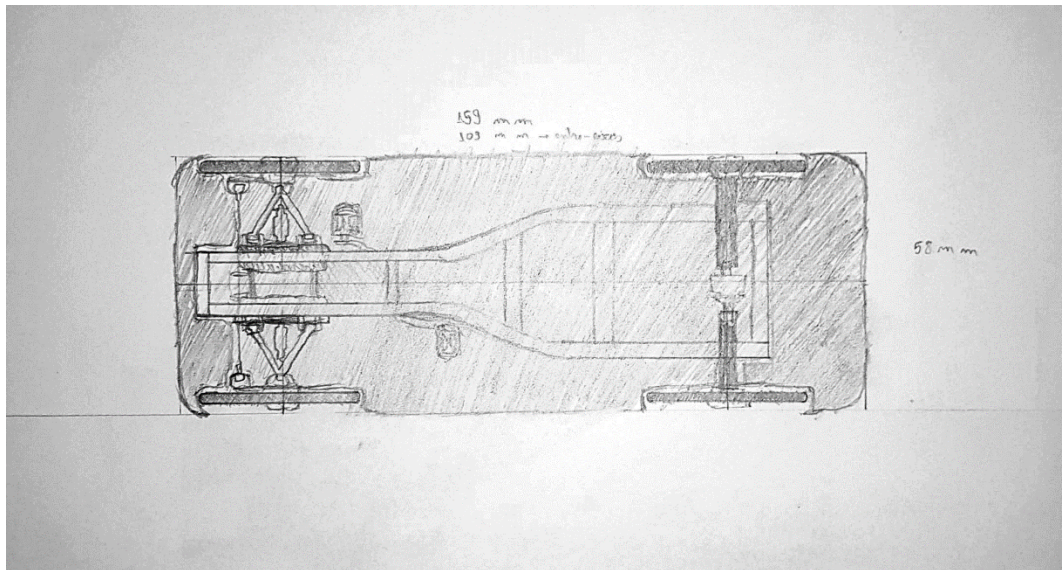


Figura 81 – Sketch manual da vista inferior. Fonte: Elaborado pelo autor.

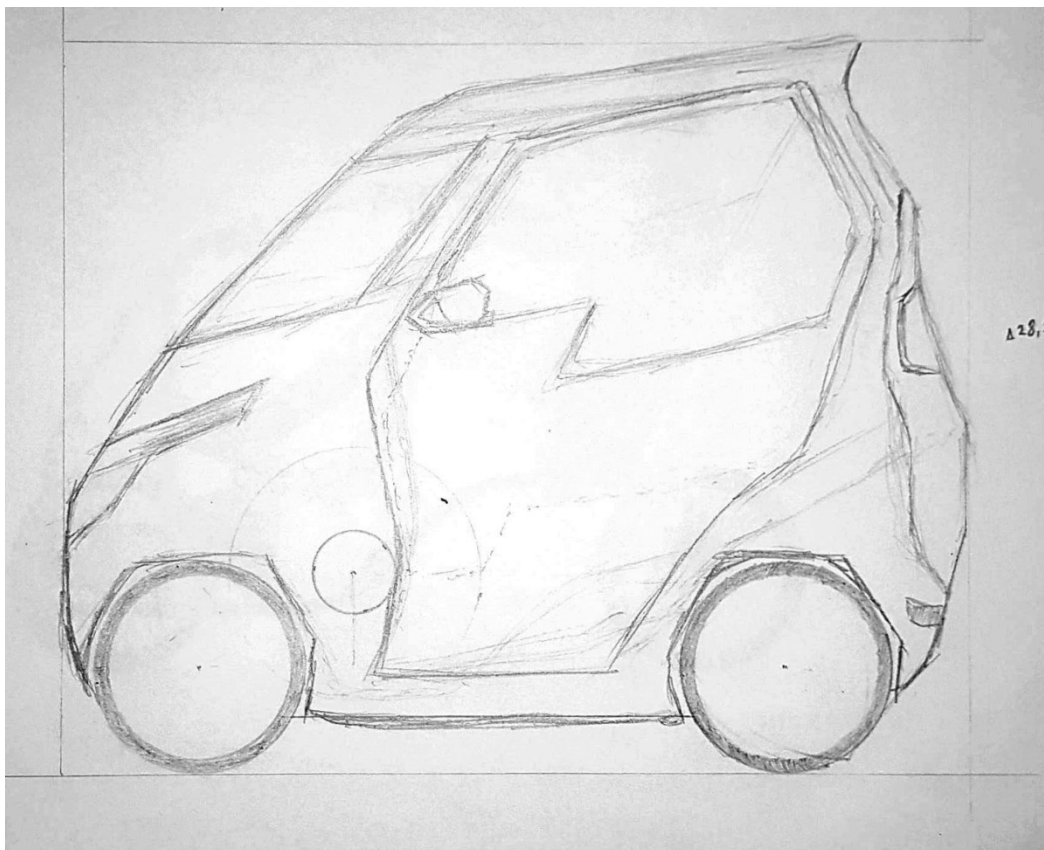


Figura 82 – Sketch manual da vista lateral direita. Fonte: Elaborado pelo autor.

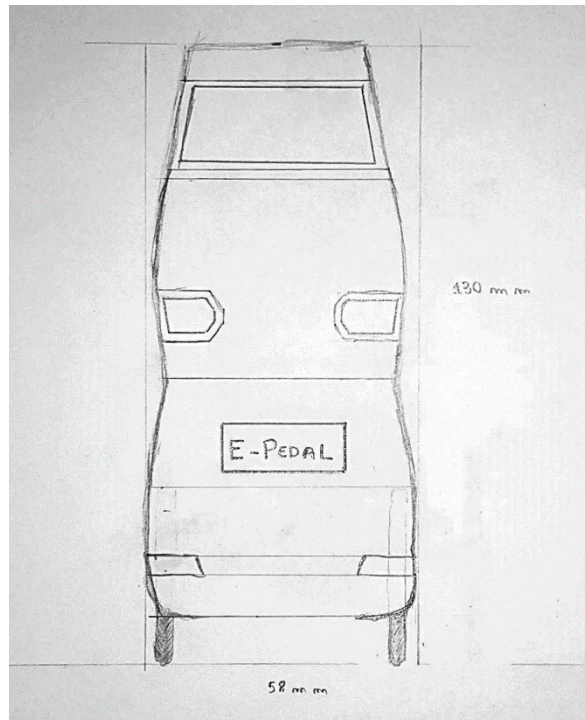


Figura 83 – Sketch manual da vista posterior. Fonte: Elaborado pelo autor.

Vale ressaltar que normalmente, na fase de desenhos manuais, também se produz vistas auxiliares, as perspectivas e por vezes, até o desenho do interior do veículo. No entanto, como só são necessárias, no mínimo 2 vistas para a modelagem da carroceria no CATIAV5, as outras foram omitidas.

3.3.4. Carroceria

A carroceria é um elemento fundamental nos veículos, desempenhando um papel crucial em termos de funcionalidade, segurança e estética. Ela compreende a estrutura externa do veículo, que abrange a parte superior, inferior e os painéis laterais, fornecendo suporte estrutural e proteção aos ocupantes. Além disso, a carroceria também desempenha um papel significativo na aerodinâmica do veículo, influenciando sua eficiência energética e desempenho.

Neste contexto, a confecção da carroceria, foi feita utilizando a ferramenta de *Sketch Tracer*, também ambiente do CATIAV5. Nela, é possível posicionar as vistas ortográficas dos desenhos manuais, em escala, e dar apoio a confecção de uma mesma geometria por diferentes perspectivas. Sendo assim, segue as vistas da carroceria, nas **Figura 84**, **Figura 85**, **Figura 86** e **Figura 87**:

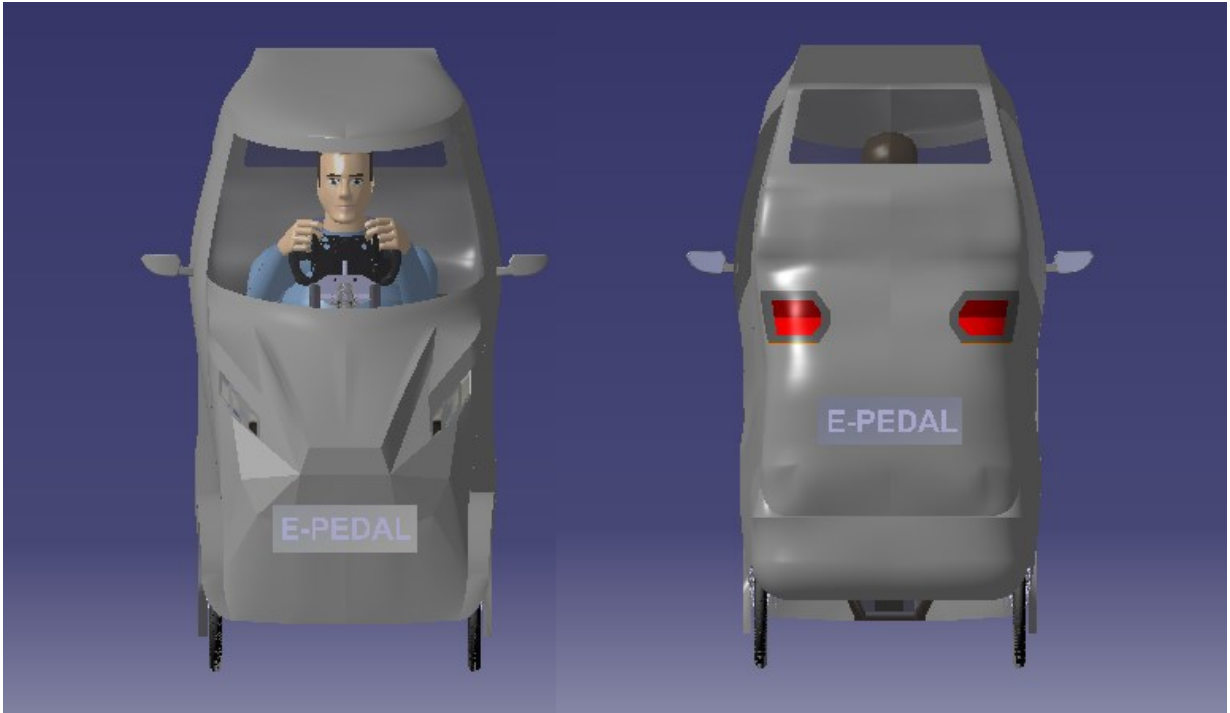


Figura 84 – Vista frontal e posterior da carroceria do E-Pedal. Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 85 – Vista lateral direita da carroceria do E-Pedal. Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 86 – Vista isométrica frontal da carroceria do E-Pedal. Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 87 – Vista isométrica traseira da carroceria do E-Pedal. Fonte: Elaborado pelo autor.

Também da carroceria, estão presentes os componentes do sistema de iluminação (lanterna traseira e faróis), para-brisas traseiro e dianteiro (feitos em vidro laminado), portas (com abertura do tipo *sliding*, definido nas características do projeto) e janelas (confeccionadas em vidro laminado, sem mecanismo de abertura definido).

3.3.5. Análises de ergonomia

As análises de ergonomia servem para validar e investigar as condições de trabalho nas quais as pessoas estão envolvidas ao realizar uma certa atividade. Quando um motorista conduz um veículo, os esforços provenientes da posição de direção e das forças transmitidas pelo veículo, podem ser equivalentes ou tão exigentes quanto um operário em seu posto de trabalho.

Na indústria automotiva, já está consolidado através dos estudos ergonômicos, que quando o veículo é projetado para uma faixa de percentil que aborde desde o 5% feminino ao 95% masculino, estará compreendendo 90% da população de possíveis usuários.

O CATIA, possui um ambiente chamado “*Human Builder*”, onde é possível adicionar os manequins com diferentes percentis, gênero e população com base no banco de dados do próprio programa. Também no mesmo ambiente, é possível adicionar o *package*, a fim de posicionar os manequins da maneira ótima com o veículo.

A primeira das análises foi feita nas fases iniciais do projeto da estrutura do veículo, no tópico 3.3.1, com o percentil masculino 95%. O indivíduo utilizado é americano, do sexo masculino, com estatura aproximada de 1,87 m e massa de 96,75 kg. Após adequar-se ao *package* construído, o manequim ficou posicionado como mostra a **Figura 88** e a **Figura 89**, a seguir:



Figura 88 – Adequação percentil Masculino 95%. Fonte: Elaborado pelo autor.

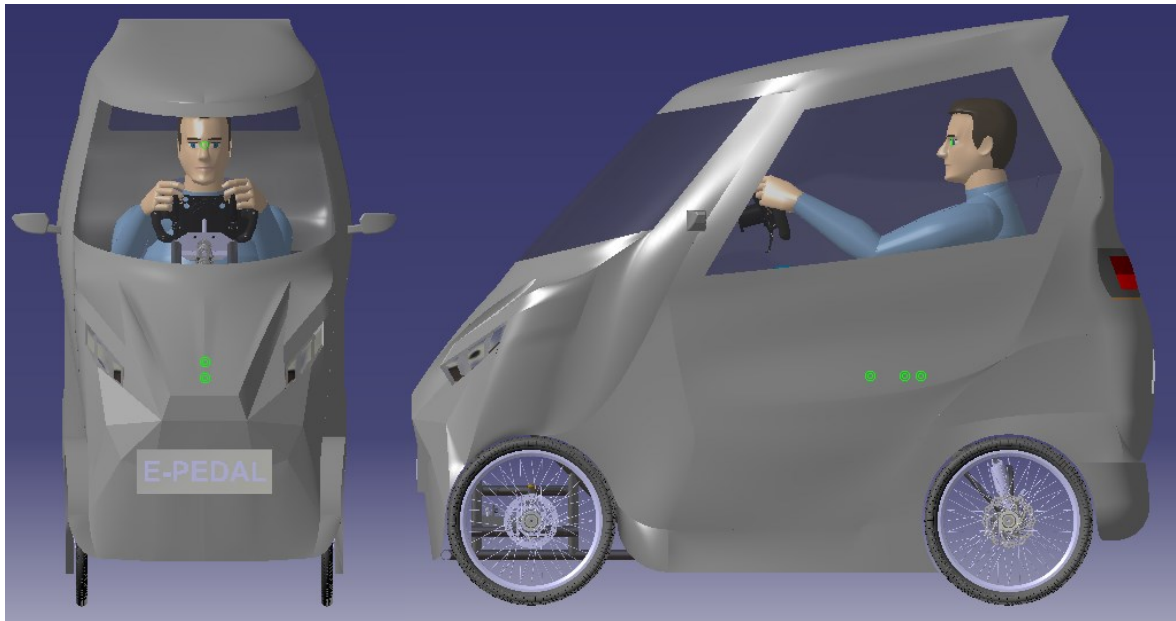


Figura 89 – Vistas frontal e lateral da visibilidade externa para o percentil Masculino 95%.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Para abordar os 95% da população, além do percentil 95% masculino, era necessária a verificação da adequação do percentil 5% feminino. O indivíduo utilizado é uma americana, do sexo feminino, com estatura aproximada de 1,52 m e massa de 48,28 kg. Após adequar-se ao package construído, o manequim ficou posicionado como mostra as **Figura 90** e **Figura 91**:



Figura 90 – Adequação percentil Feminino 5%. Fonte: Elaborado pelo autor.

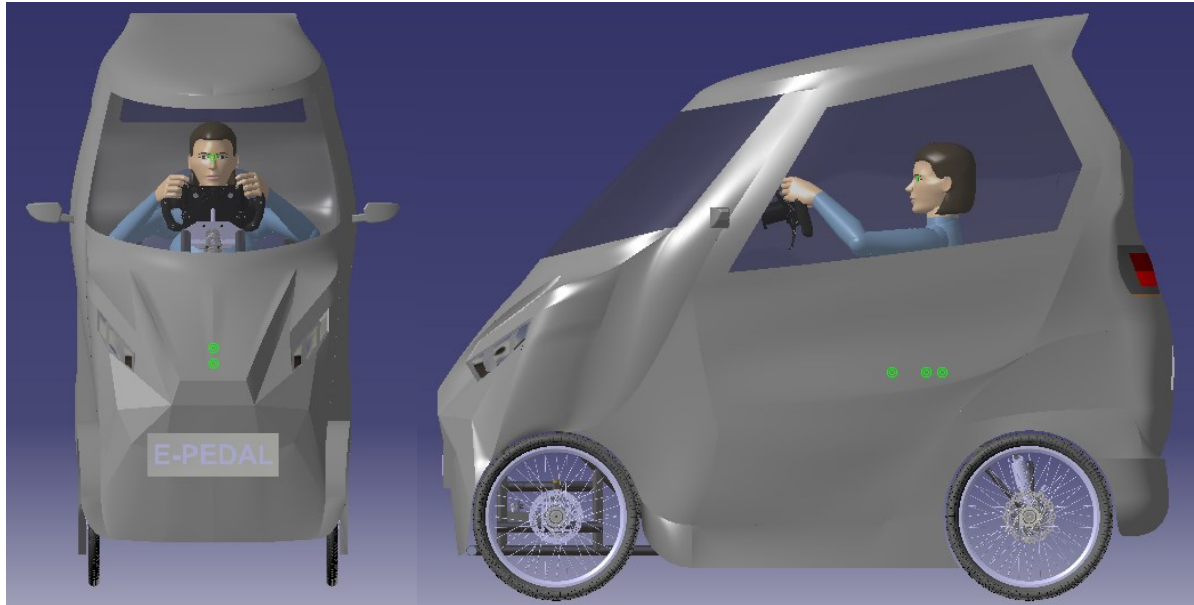


Figura 91 – Vistas frontal e lateral da visibilidade externa para o percentil Feminino 5%.
Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir dessa análise, foi observada a necessidade de um trilho para o ajuste do banco e melhor adaptação para ocupantes com percentis menores.

Outra análise relevante, é a cinemática do joelho com relação a estrutura do veículo. Tal verificação serve para compreender a movimentação do joelho durante o processo de pedalar, é possível identificar potenciais problemas ergonômicos e biomecânicos que poderiam levar a desconfortos ou lesões ao longo do tempo. Sabendo disso, a **Figura 92** mostra a posição crítica ao pedalar, para os percentis 95% masculino e 5% feminino.

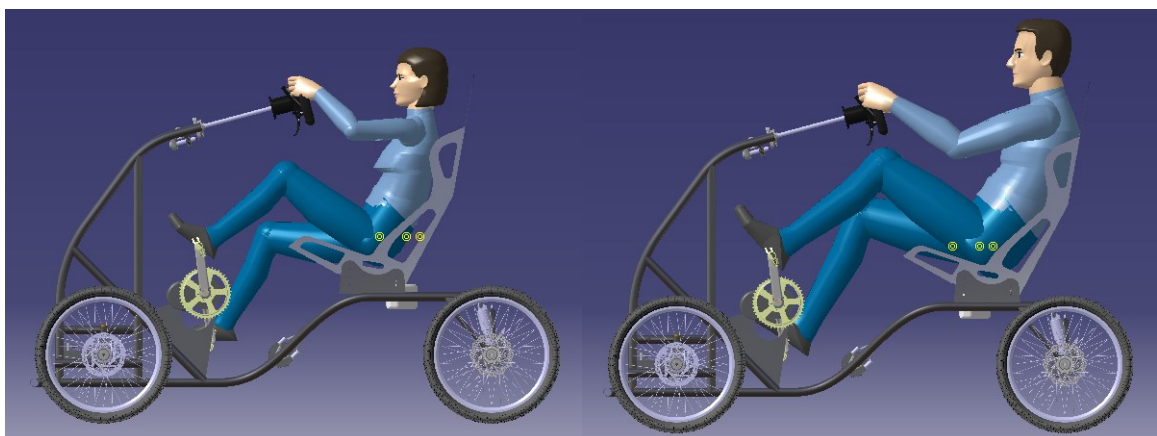


Figura 92 – Ergonomia joelho: percentil 95% masculino (esquerda) e 5% feminino (direita).
Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir dessa análise, foi possível verificar a necessidade de um ajuste de altura da relação volante / banco. Dessa maneira, qualquer um dos dois ajustes valida

a ergonomia, entretanto, com ambas funcionalidades, os ocupantes poderão desfrutar de uma experiência mais agradável, aumentando sua adesão ao uso do veículo e promovendo um ajuste personalizado.

Outra verificação de adequação é através da norma SAE J287, que regulamenta através de uma tabela em nuvem de pontos, o alcance para cada percentil. A biblioteca do CATIA, possui instalada em seu banco de dados a norma em questão e possibilita a utilização de uma ferramenta que demonstra visualmente, através de uma bolha, o alcance do manequim. A **Figura 93** mostra as bolhas de alcance para o percentil 5% feminino e 95% masculino:

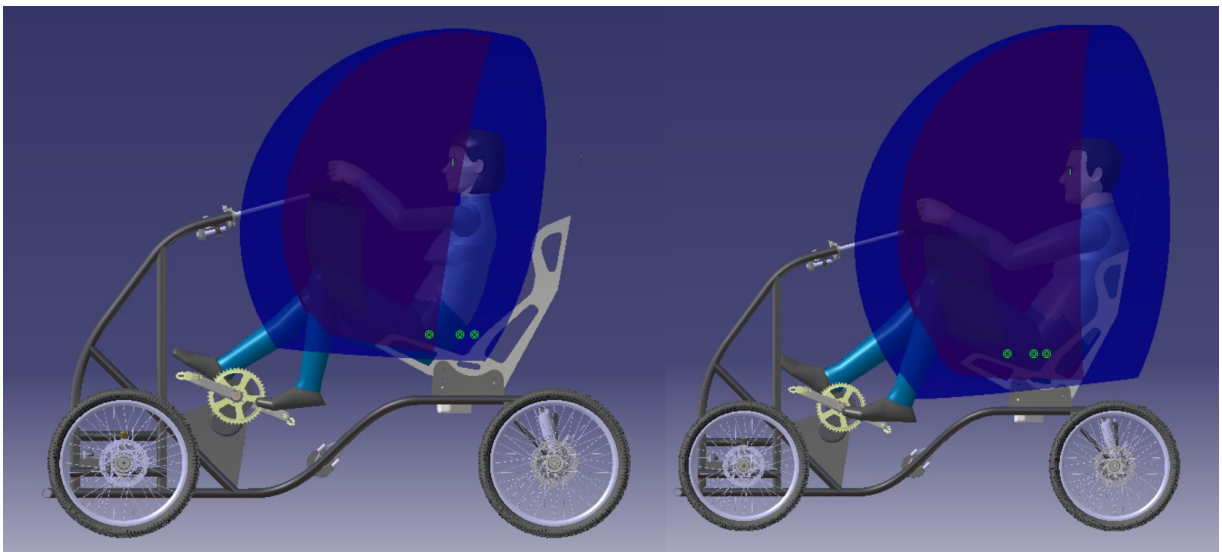


Figura 93 – Bolhas de alcance para os percentis 5% feminino (esquerda) e 95% masculino (direita). Fonte: Elaborado pelo autor.

Estes mesmos itens devem ser validados quanto a visão do ocupante, pois garantir uma visão clara e desobstruída do ambiente ao redor, permite ao condutor antecipar e reagir de forma rápida a possíveis obstáculos e situações de trânsito, reduzindo significativamente o risco de acidentes. Esse tipo de análise também verifica a correta disposição dos instrumentos no painel, para proporcionar uma interação mais intuitiva e segura com os controles do veículo, minimizando distrações e permitindo que o condutor mantenha o foco na condução. No CATIA, é possível representar através de uma ferramenta, a visão binocular, ambinoocular, stereo e monocular para cada olho. A **Figura 94** mostra a vista binocular, na qual ambos os olhos são usados em conjunto, também é possível visualizar a região de maior foco dos olhos:

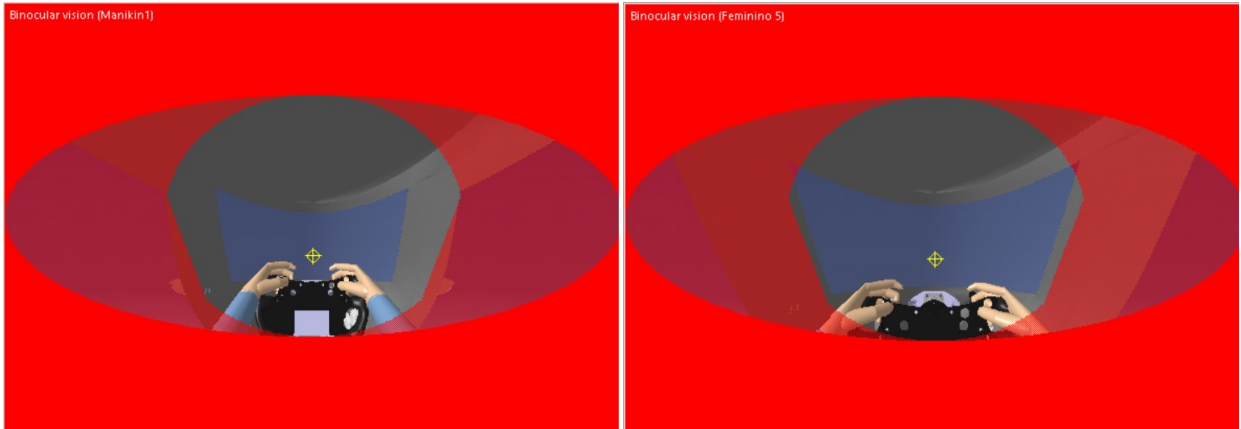


Figura 94 – Visões binoculares para os percentis 95% masculino (direita) e 5% feminino (esquerda). Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, outra ferramenta interessante do módulo *Human Builder*, do CATIA, são as análises RULA, sigla para *Rapid Upper Limb Assessment*, ou seja, rápida avaliação de membros superiores. Na ergonomia, RULA é uma abordagem de investigação criada com o propósito de examinar o ambiente de trabalho. Trata-se de uma ferramenta projetada para analisar a carga biomecânica e a postura em todo o corpo, concentrando-se principalmente no pescoço, tronco e membros superiores. A avaliação do RULA fornece uma lista de ações que indicam o grau de intervenção necessário para diminuir o risco de lesões decorrentes do esforço físico exercido pelo operador. Seus resultados variam numa escala de 0 a 7, e o significado de cada pontuação está detalhado na **Tabela 9**, e a **Tabela 10** mostra a associação da cor com cada pontuação.

Tabela 9 – Escala de pontos da análise RULA.

Escala	Significado
1-2	Postura é aceita desde que não seja mantida por muito tempo
3-4	Investigação futura é necessária e mudanças podem ser necessárias
5-6	Investigação e mudanças devem ser realizadas em breve
7	Investigação e mudanças devem ser realizadas imediatamente

Tabela 10 – Cor associada a cada pontuação da análise RULA.

Membro	Cor associada a Pontuação						
	1	2	3	4	5	6	7
Braço	Verde	Verde	Amarelo	Amarelo	Vermelho	Vermelho	Vermelho
Antebraço	Verde	Amarelo	Vermelho	Vermelho	Cinza	Cinza	Cinza
Punho	Verde	Amarelo	Vermelho	Vermelho	Cinza	Cinza	Cinza
Torção do punho	Verde	Vermelho	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza
Pescoço	Verde	Verde	Amarelo	Amarelo	Vermelho	Vermelho	Vermelho
Tronco	Verde	Verde	Amarelo	Amarelo	Vermelho	Vermelho	Vermelho

A **Figura 95** mostra os resultados da análise RULA do manequim 95% masculino, com uma postura intermitente e com a opção de braços estendidos com a pessoa inclinada.

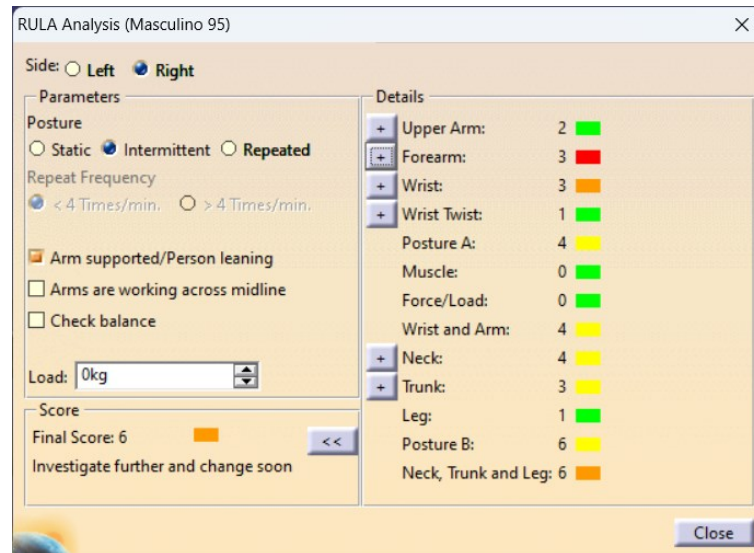


Figura 95 – Análise RULA manequim percentil masculino 95%. Fonte: Elaborado pelo autor.

A **Figura 96** mostra os resultados da análise RULA do manequim 5% feminino, com uma postura intermitente e com a opção de braços estendidos com a pessoa inclinada.

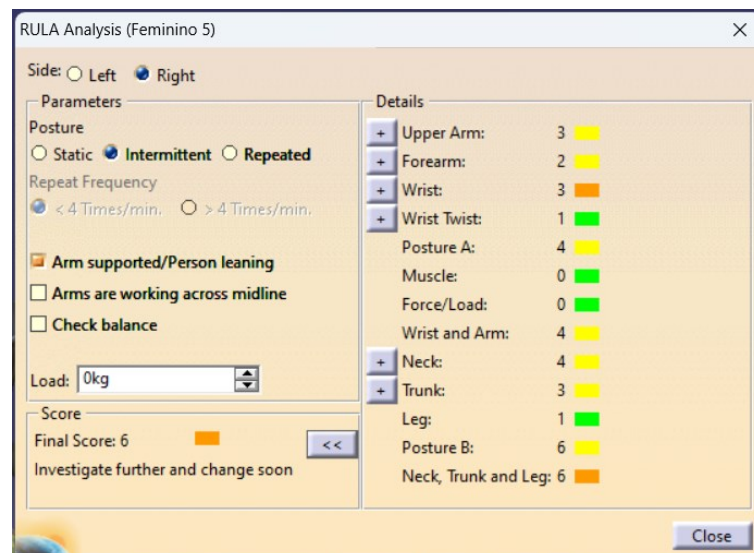


Figura 96 – Análise RULA manequim percentil feminino 5%. Fonte: Elaborado pelo autor.

Em ambas análises de percentil, percebe-se o resultado para uma investigação futura e mudança para o pulso, pescoço, tronco e pernas. Esse resultado se deve por conta da posição estática em que a análise foi submetida, onde o ocupante pode melhorar a adequação ao ajustar a altura e a posição do banco.

Todos esses aspectos e análises ergonômicas, quando bem ajustados, contribuem para uma experiência de condução mais agradável e segura, elevando o nível de confiança do condutor e, conseqüentemente, promovendo uma mobilidade mais responsável e consciente.

3.3.6. Questionário subjetivo

A fim de identificar, através de uma amostra de voluntários, os dados antropométricos e como cada indivíduo declara seus níveis conforto / desconforto no *mockup* rápido, para que a análise seja comparada com a ferramenta computacional. Tal questionário está disponível no **Apêndice C** – Questionário subjetivo e pode ser implementado durante a fase de construção do *mockup* rápido do veículo.

3.4. Construção do modelo em escala

Para a construção do modelo físico, foi escolhido a manufatura aditiva, através do uso da impressão 3D. Essa técnica tem emergido como um método revolucionário de construção de modelos de veículos físicos, proporcionando uma abordagem inovadora e altamente versátil para a prototipagem e desenvolvimento automotivo. Ao utilizar a impressão 3D, os projetistas e engenheiros ganham a liberdade de materializar suas ideias de forma tangível, permitindo a avaliação e aperfeiçoamento de diferentes soluções de design de maneira ágil e por um baixo custo. Sabendo disso, as **Figura 97** e **Figura 98** e **Tabela 11**, mostram algumas das peças e procedimentos para confecção do modelo em escala:

Tabela 11 – Componentes do modelo em impressão 3D. Fonte: Elaborado pelo autor.

Quantidade	Peça
1	Carroceria
1	Chassi
4	Rodas
1	Banco
2	Eixos
4	Leds
1	Bateria de 12V
4	Fios
1	Botão
1	Resistor de 100 ohms

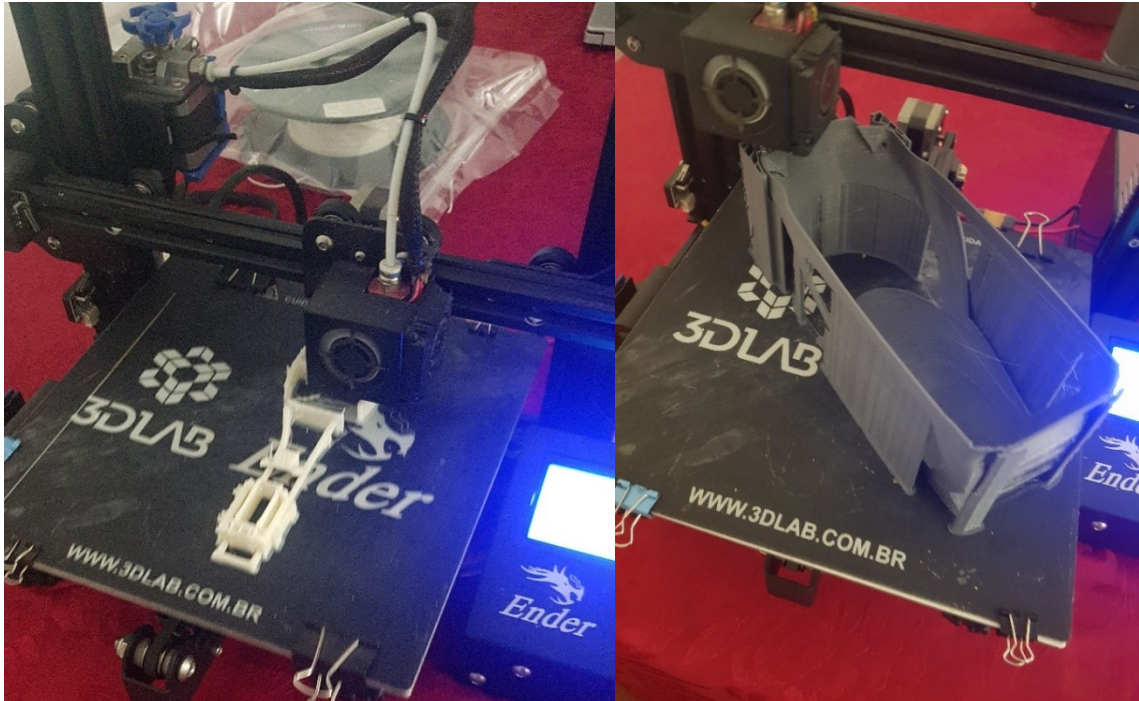


Figura 97 – Confeção das peças em manufatura aditiva pela impressora 3D.



Figura 98 – Peças impressas em 3D.



Figura 99 – Montagem do modelo físico em escala. Fonte: Elaborado pelo autor.

3.5. Renderização 3D

A renderização em 3D é uma ferramenta valiosa para avaliar o design, realizar ajustes e fazer análises visuais antes da produção física, garantindo que o veículo atenda aos mais altos padrões de qualidade e inovação. Ao utilizar técnicas avançadas de renderização, é possível visualizar cada aspecto do veículo com alta fidelidade, desde os contornos do chassi até os detalhes mais minuciosos do interior e dos componentes. Essa representação oferece uma maneira de explorar o veículo

sob diferentes ângulos, ambientes e em condições de iluminação, proporcionando uma visão abrangente e precisa do produto final. As **Figura 100**, **Figura 101**, **Figura 102**, **Figura 103**, **Figura 104** e **Figura 105**, mostram algumas perspectivas visuais mais imersivas e detalhadas do design do E-pedal, obtidas através do ambiente *Photo Studio* do CATIAV5:



Figura 100 – Renderização 3D. Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 101 – Renderização 3D. Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 102 – Renderização 3D. Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 103 – Renderização 3D. Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 104 – Renderização 3D. Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 105 – Renderização 3D. Fonte: Elaborado pelo autor.

4. Considerações finais

Este trabalho de conclusão de curso teve como objetivo principal realizar as etapas iniciais do projeto conceitual de um veículo. Para isso, foi utilizada a metodologia de conceito avançado do livro “*H-point: The fundamentals of car design and packaging*” (MACEY, 2008), no qual divide o processo de design em 9 etapas.

Em um primeiro momento, foi necessário fazer uso da bibliografia a fim de contextualizar e familiarizar o tema, não só de design de produto, mas também da engenharia automotiva.

Logo depois, foi realizada uma análise de mercado profunda para identificar, através da solução, como os consumidores e a regulamentação interpretariam o projeto. Então foi possível gerar as características do veículo baseado nas necessidades do usuário, obtido em um formulário de briefing, e nas particularidades do trabalho.

Para o estudo conceitual, parte do processo foi desenvolvido na disciplina de Projeto de Estrutura de Veículos (código da disciplina: FGA0267), ministrada pelo professor Henrique Gomes de Moura. Vale ressaltar que se trata do desenvolvimento de um veículo do zero, elaboração que normalmente leva anos de produção e que sem o auxílio dos companheiros da turma, não seria possível realizar em um semestre naturalmente menor.

Em seguida, com a estrutura montada, o próximo passo foi fazer a carroceria, através da disposição dos outros componentes e sistemas do veículo. Essa visualização de *package* só foi possível por conta da confecção do sketch manual, pois com as vistas, modelar as peças ficou mais simples através da ferramenta de *sketch tracer*.

Por fim, após a confecção da estrutura, carroceria e sistemas do veículo nas ferramentas computacionais, foi desenvolvida algumas análises finais de ergonomia, para validação e prototipagem da construção do modelo físico, em impressão 3D.

Como próximos passos, na etapa de desenvolvimento, ainda é preciso adaptar a estrutura desenvolvida para a legislação atual: reduzir o entre eixos de 1,4 m para 1,3 m; e a largura de 80,2 cm para 70 cm. Além das adaptações da norma, ainda é preciso projetar alguns sistemas, como: abertura das portas, janelas e porta-malas, assoalho e interior, acabamentos e gerenciamento da bateria.

Fora a parte de concepção, seria cabível a utilização de um novo formulário de briefing destinado ao usuário final e a *designers* da área. Outra aplicação de interesse é o questionário subjetivo (**Apêndice C** – Questionário subjetivo), a fim de coletar os dados ergonômicos e pessoais da população interessada ao projeto.

Após o desenvolvimento dos sistemas faltantes, é possível realizar a engenharia de produção, em que será realmente produzido os primeiros modelos do veículo, e o lançamento do produto. Além do acompanhamento pós-venda, o que se almeja para o futuro é a variação do E-Pedal para mais ocupantes, opções com bagageiros comutáveis, entre outras alternativas de design.

O projeto, além de ter um grande potencial, representa um passo significativo em direção de um futuro com transporte inteligente e eficiente, onde a inovação e a sustentabilidade caminham de mãos dadas, garantindo uma mobilidade responsável e comprometida com o bem-estar do planeta.

5. Referências bibliográficas

1. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Panorama população brasileira. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama> Acesso em: 18/07/2022
2. SECRETARIA NACIONAL DE TRÂNSITO – SENATRAN. Frota de veículos. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/estatisticas-frota-de-veiculos-senatran> Acesso em: 18/07/2022.
3. CALOI. Mobylette elétrica. Disponível em: <https://caloi.com/produto/mobylette/> Acesso em: 19/07/2022.
4. CARDOSO, Rafael. Uma introdução à história do design. São Paulo: Edgard Blücher, 2002. 239 p. ISBN 85-212-0269-5.
5. WORLD DESIGN ORGANIZATION - WDO. Definition of industrial design. 2018. Disponível em: <http://wdo.org/about/definition/> Acesso em: 15/07/2022.
6. LÖBACH, Bernard. Design industrial: bases para a configuração. São Paulo: Blücher, 2001.
7. BAXTER, M. Projeto de Produto: guia prático para o design de novos produtos. São Paulo: Edgard Blücher, 2008.
8. MUNARI, Bruno. Das Coisas Nascem Coisas. São Paulo: Martins Fortes, 2008.
9. MACEY, Stuart; WARDLE, George. H-point: the fundamentals of car design & packaging. Pasadena: Art Center College of Design, c2008. 224 p. ISBN 9781933492377.
10. WEG. Guia de especificação: motores elétricos. Disponível em: <http://www.weg.net/> Acesso em: 26/07/2022.
11. PEDAL. Entendendo a transmissão da bicicleta: como cada parte funciona. Disponível em: https://www.pedal.com.br/entendendo-a-transmissao_texto2315.html Acesso em: 26/07/2022
12. GOOGLE. Google Imagens. Disponível em: <https://www.google.com.br/imghp?hl=pt-BR&authuser=0&ogbl> Acesso em 26/07/2022.
13. EHSANI, Mehrdad; GAO, Yimin; EMADI, Ali. Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles: fundamentals, theory, and design. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2010. 534p. ISBN 978-1420053982.
14. GILLESPIE, T.D., 1992. Fundamentals of Vehicle Dynamics. Society of Automotive Engineers, Inc. Warrendale, PA. ISBN 150960001. 146-163 p.
15. CONTRAN, 2022. Resoluções CONTRAN. Conselho Nacional de Trânsito. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/resolucoes-contran> Acesso em: 19/08/2022.
16. CONTRAN, 2022. Código de Trânsito Brasileiro. Conselho Nacional de Trânsito. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19503compilado.htm Acesso em: 21/08/2022.
17. CNW, 2022. Carros na Web: banco de dados de carros. Disponível em: <https://www.carrosnaweb.com.br/>. Acesso em: 21/08/2022.
18. TWIKE, 2022. Twike. Disponível em: <https://twike.com/>. Acesso em: 21/08/2022.
19. CITKAR, 2022. Citkar. Disponível em: <https://citkar.com/en/>. Acesso em: 21/08/2022.
20. EV, 2021. Electrom Lev. Disponível em: <https://www.electrom.ca/>. Acesso em 21/08/2022.
21. WELLO. Wello E-trike. Disponível em: <https://www.wello.io/velo-cargo-electrique-familial-family-up/>. Acesso em: 21/08/2022.
22. VEEMO. Veemo Se. Disponível em: <https://veemo.ca/>. Acesso em: 21/08/2022.
23. PEDALLIST. Pedalist. Disponível em: <http://pedalisticycles.com/>. Acesso em: 21/08/2022.
24. E-TRIKE. Iris E-trike. Disponível em: <https://www.grantsinclair.com/product-page/iris-etrike-electric-vehicle>. Acesso em: 21/08/2022.
25. PEDILIO. Pedilio. Disponível em: <https://www.pedilio.de/>. Acesso em: 21/08/2022.
26. PODRIDE. Pod Ride. Disponível em: <https://www.mypodride.com/>. Acesso em: 21/08/2022.
27. DUOMOKE. Duo Moke. Disponível em: <https://en.urbandrivestyle.com/blogs/news/maxi-fahrspass-der-neue-prototyp-duo-moke-5-grunde-warum-du-ihn-haben-musst>. Acesso em: 21/08/2022.
28. QUADVELO. Quadvelo. Disponível em: <https://quadvelo.com/>. Acesso em: 21/08/2022.
29. PODBIKE. Frikar E-bike. Disponível em: <https://www.podbike.com/>. Acesso em: 21/08/2022.

30. CANYON, 2022. Future mobility concept. Disponível em: <https://www.canyon.com/en-gb/blog-content/electric-bike-news/electric-bikes/future-mobility-concept.html>. Acesso em: 21/08/2022.
31. DREAMBIKE, 2022. Dream Bike. Disponível em: <http://www.dreambike.com.br/>. Acesso em: 14/09/2022.
32. ATI. Componentes para transmissão – Catálogo de produtos. Volume 01. Disponível em: <https://www.atibrasil.com.br/img/cms/Catalogos/CAT%C3%81LOGOCOMPONENTESPARA TRANSMISSAO-OUT-2017.pdf>. Acesso em: 19/09/2022.
33. BAFANG. Bafang. Disponível em: <https://bafang-e.com/en/products/motors/m-series/>. Acesso em: 19/09/2022.
34. NICOLAZZI, Lauro Cesar. Uma introdução à modelagem quase-estática de veículos automotores de rodas, Florianópolis, p. 1-291, ago. 2001.
35. MENEZES, L. B.; GEVINSKI, J. R. Estudo no desenvolvimento de suspensão duplo “A” e aplicação em veículo de classe fórmula SAE. Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville.
36. GRAVIA, 2022. Gravia. Disponível em: <https://www.gravia.com/>. Acesso em: 20/09/2022.

Apêndices

Apêndice A – Formulário de briefing

Projeto Veículo Híbrido

O formulário trata-se de um briefing (tem a intenção de reunir informações para o desenvolvimento de um produto) para o TCC em design de um veículo híbrido (propulsão humana por pedal e elétrico) de transporte individual, uso rodoviário e sobre 4 rodas.

IMPORTANTE: Os exemplos não devem influenciar na resposta das perguntas; leve o tempo que for necessário, sem pressa e o mais completo possível.

Natureza e Contexto do Projeto

Justificativas, Objetivos, Resultados desejáveis e Responsabilidades

Qual (quais) o (s) motivo (s) do projeto ? *

Justificativas, explicações, causas, fundamentos, razões pela qual o projeto foi desenvolvido.

Trata-se de um veículo ecológico, compacto, ideal para centros urbanos e de baixo custo energético. Uma excelente opção para lazer e para transportes rápidos, como ir para o trabalho. Também temos o benefício do exercício físico.

Qual (quais) o (s) objetivo (s) do projeto ? *

Propósitos, fins, metas, intenções do projeto.

Um veículo compacto de 2 ou 3 lugares e com propulsão híbrida, sendo uma delas um motor elétrico e a outra a força humana. Deseja-se um custo energético baixo e um nível de esforço pequeno para o funcionamento do veículo.

Qual (quais) o (s) resultado (s) desejável (desejáveis) do projeto ? *

O que se espera, o que é importante, interessante e necessário para o projeto. Ex: Finalizar o projeto até a semana universitária.

Deseja-se realizar o término do projeto da estrutura principal (chassi) e suspensões até o final do semestre letivo.

Qual (quais) a (s) responsabilidade (s) do projeto ? *

Deveres, obrigações, tarefa e compromissos que o projeto tem. Ex: Um dos compromissos é manter o veículo dentro das leis e normas vigentes para que não seja necessário emplacá-lo

O veículo precisa respeitar às condições necessárias para tráfego urbano, sem a necessidade de carteira de motorista e demais regulamentações em torno de veículos de classe comercial.

Existe algum desejo ou necessidade especial para o projeto ?

Não é obrigatória

Seria desejável que este veículo tenha carroceria fechada, de modo a não permitir que os ocupantes sejam expostos à chuva e ventos.

Análise Setorial

A ideia é entender os possíveis concorrentes e abstrair suas particularidades para gerar uma tendência

Dentre os microcarros do mesmo setor, marque os que mais lhe agradam em quesito design: *



Canyon



Wello E-trike



Pedilio



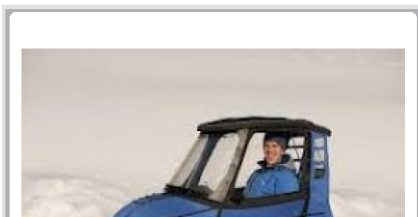
Veemo Se



Pedalyst



Electrom Lev





Pod Ride



Carcle Bike



Frikar E-bike



Duo Moke



Iris Etrike

Outro:

.....



EQ Hawk

Público Alvo

Sexo *

Será utilizado na ergonomia e package

Masculino

Feminino

Faixa Etária *

- Criança
- Jovem
- Adulto
- Idoso

Nível de Renda *

- Classe A (Renda mensal domiciliar superior a R\$ 22 mil)
- Classe B (Renda mensal domiciliar entre R\$ 7,1 mil e R\$ 22 mil)
- Classe C (Renda mensal domiciliar entre R\$ 2,9 mil e R\$ 7,1 mil)
- Classe D/E (Renda mensal domiciliar até R\$ 2,9 mil)

Powertrain

O conceito inicial se trata de um veículo híbrido (propulsão humana auxiliada pela elétrica), entretanto, caso seja desejável que se altere algum quesito de powertrain, essa é a seção.

Especificações iniciais

Velocidade máxima (km/h). Ex: 60 km/h *

25 km/h

Faixa de preço (em reais). Ex: R\$9000 - R\$ 15000 *

10.000

Combustível (caso híbrido, marcar várias opções) *

Propulsão humana

Elétrico

Gasolina

Gasolina Aditivada

Gasolina Premium

Etanol

Bioetanol

Flex (Gasolina e etanol)

Diesel

Biodiesel

GNV

Hidrogênio

Querosene

Metano

Biometano

Metanol

Outro:

Consumo / Autonomia (ex: 16 km/l ou Autonomia de 300 km) *

Autonomia de 50 km

Motor / Transmissão / Refrigeração / Tanque e/ou Baterias

Caso o motor seja de combustão interna, qual configuração é desejável ? (Ex: 3 cilindros em linha, horizontal, narrow v, V6, W, Wankel, etc...) (dianteiro, mid-front, traseiro, 4x4)

.....
Não deve possuir um MCI, mas sim um motor elétrico.

Caso elétrico, qual configuração é desejável ? (Ex: CA monofásico, CA trifásico, CC de passo, CC brushless) (dianteiro no eixo, mid-drive, acoplado a roda, etc.)

.....
CC Brushless em qualquer configuração que atenda.

Caso haja alguma particularidade quanto ao tanque e/ou baterias, utilize esse espaço para descrevê-la:

.....
Necessita bateria de, no mínimo, 500WH.

Caso haja alguma particularidade quanto ao refrigeração, utilize esse espaço para descrevê-la:

.....
Depende do motor escolhido.

Caso haja alguma diretriz de projeto especial se tratando de powertrain, utilize esse espaço para descrevê-la:

.....

Design e Package

Definição do estilo e dimensionamentos internos e externos

O veículo deve ter suporte para quantos ocupantes?

1

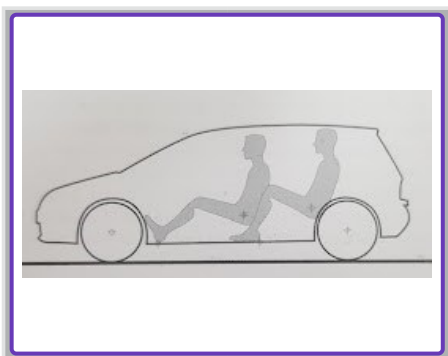
2

3

4

5

Qual Setup de Condutor e Postura mais lhe agrada *



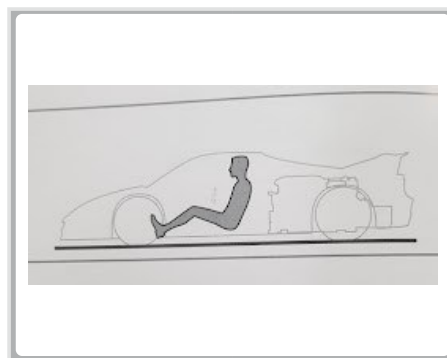
H-point relativamente baixo; sentado com pernas esticadas



H-point médio; sentado com pernas flexionadas



H-point médio/alto; sentado com pernas flexionadas

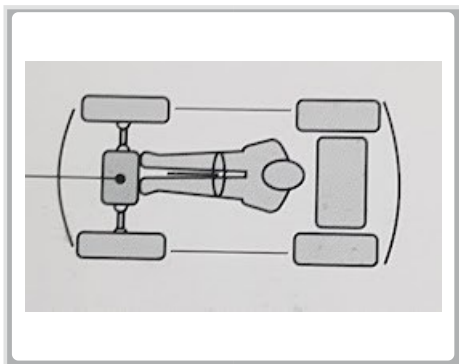


H-point baixo; posição de dirigir mais deitada

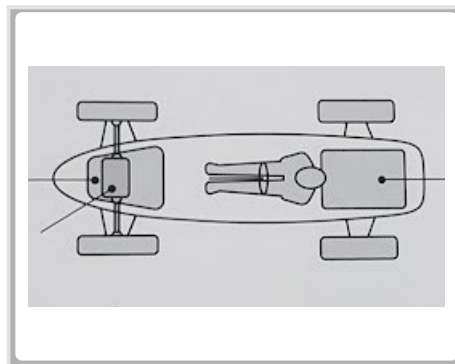


H-point alto; sentado com pernas flexionadas

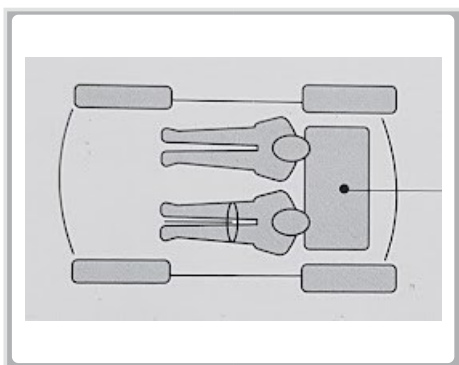
Se tratando apenas de layout de ocupantes, qual (quais) das seguintes configurações mais lhe agrada?



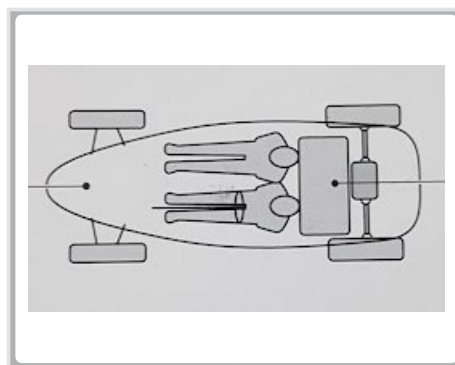
1 Passageiro



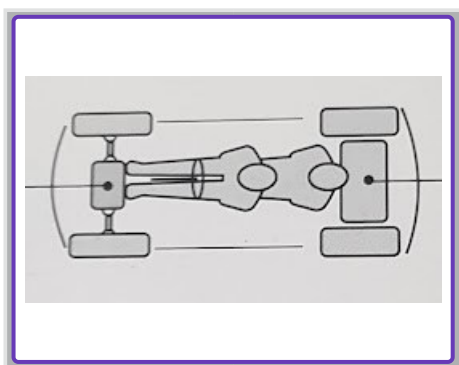
1 Passageiro com entre eixos maior



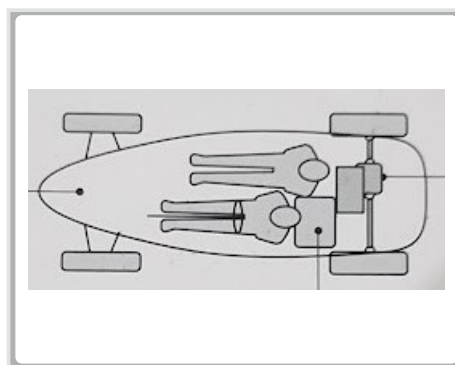
2 Passageiros



2 Passageiros com entre eixos maior

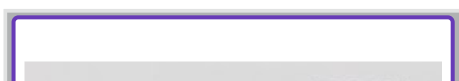


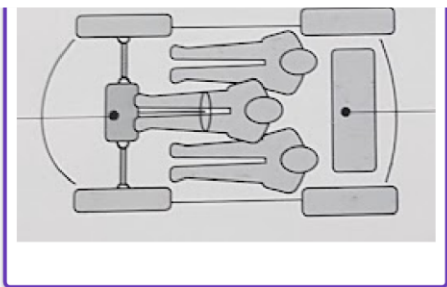
2 Passageiros em linha



2 Passageiros disposição diagonal

Outro:





3 Passageiros em triângulo

Body (Corpo)

Definir a parte estrutural do veículo

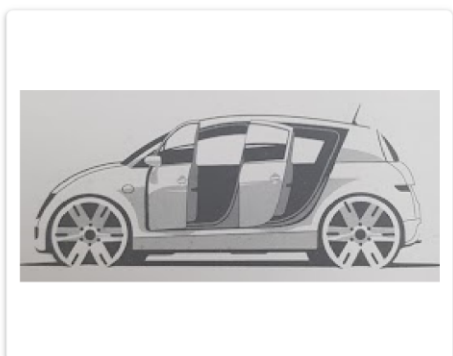
Quanto a estrutura do chassi, qual tipo mais lhe agrada ? *

- Monobloco
- Chassi + Carroceria
- Monocoque (Space Frames)
- Tubular
- Outro:

É desejável que veículo tenha espaço para bagageiro/carga ? (Se sim, traseiro ou dianteiro; é * algum tipo especial, como reboque ou bagageiro de teto)

Sim. Para mochilas e pertences pessoais.

Quanto a abertura de porta, qual (quais) das opções lhe agrada ?



Front hinged (dobra para frente)



Front and Rear hinged (dobra para frente e para trás)

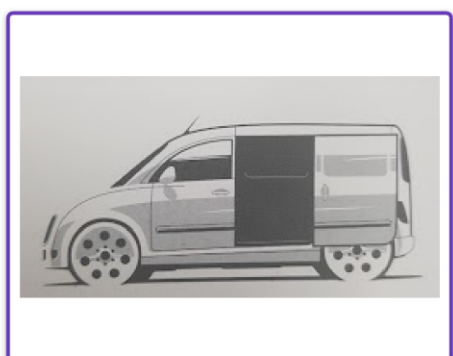


Scissor (Tesoura/corte)



Gull Wing (Asa de gaivota)

Outro:



Sliding (Deslizante)

Caso o veículo tenha carroceria, qual (quais) material (materiais) seria (seriam) desejável (desejáveis)? *

Metais (Alumínio, ferro, chumbo, cromo, cobre, zinco, etc.)

Ligas Metálicas (Alumínio, Ferro, Magnésio, etc.)

Aço

Madeira

Plásticos (Termoplástico, Termofixos, Elastômeros)

Compósitos

Fibra de Vidro

Fibra de Carbono

Vidros (Janelas / Para-brisa)

Acabamento em Couro

Acabamento em Tecido

Pintura

Envelopamento (Black piano, películas, etc.)

Outro:

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

Apêndice B – Vistas ortográficas E-Pedal

Lista de Componentes: E-Pedal

Quantidade	Descrição	Numero
1	Chassi	
1	Assento	2
1	Eixo Traseiro	
1	Roda Dianteira Direita	
1	Roda Dianteira Esquerda	
1	Roda Traseira Direita	
1	Roda Traseira Esquerda	
1	Bafang	
1	Diracao	
1	Suspensao DD	
1	Suspensao DE	
1	Shock	
2	Bateria	3
2	Rolamento SKF P 12 TF	
1	Suporte Transmissao	
2	Engrenagem Transmissao	
1	Volante	
1	Caixa de direcao	
1	Carroceria	

Lista de Componentes: Chassi

Quantidade	Descrição	Numero
1	Chassi	7
1	Eixo Transmissao	

Lista de Componentes: Eixo Traseiro

Quantidade	Descrição	Numero
1	Chassi Diferencial	9
1	Semi-eixo traseiro 1	

Lista de Componentes: Eixo Traseiro

Quantidade	Descrição	Numero
2	Adaptador de Freio	11
1	Caixica	
4	Rolamento SKF 6202 2	
1	Semi-eixo traseiro 2	13
2	Adaptador eixo traseiro	14
2	Disco de Freio	15
12	ISO 4762 SCREW M4x10	16
	STEEL HEXAGON SOCKET HEAD CAP	

Lista de Componentes: Roda Dianteira Direita

Quantidade	Descrição	Numero
1	Cubo	21
1	Aro	23
36	Nipple	24
9	Raio 1	25
9	Raio 2	26
9	Raio 3	27
9	Raio 4	28
2	Rolamento SKF 6200 RSH	
1	Pneu	30
6	Parafusos	38

Lista de Componentes: Roda Dianteira Esquerda

Quantidade	Descrição	Numero
1	Cubo	21
1	Aro	23
36	Nipple	24
9	Raio 1	25
9	Raio 2	26
9	Raio 3	27
9	Raio 4	28
2	Rolamento SKF 6200 RSH	
1	Pneu	30
6	Parafusos	38

Lista de Componentes: Roda Traseira Esquerda

Quantidade	Descrição	Numero
1	Cubo	21
1	Aro	23
36	Nipple	24
9	Raio 1	25
9	Raio 2	26
9	Raio 3	27
9	Raio 4	28
2	Rolamento SKF 6200 RSH	
1	Pneu	30
6	Parafusos	38

Lista de Componentes: Roda Traseira Direita

Quantidade	Descrição	Numero
1	Cubo	21
1	Aro	23
36	Nipple	24
9	Raio 1	25
9	Raio 2	26
9	Raio 3	27
9	Raio 4	28
2	Rolamento SKF 6200 RSH	
1	Pneu	30
6	Parafusos	38

Lista de Componentes: Suspensao DD

Quantidade	Descrição	Numero
1	Manga eixo direita	44
1	Braco inferior direito	45
1	Braco superior direito	46
1	Shock	3
2	Pivo suspensao	47

Lista de Componentes: Suspensao DE

Quantidade	Descrição	Numero
1	Manga eixo esquerda	48
1	Braco inferior esquerdo	49
1	Braco superior esquerdo	50
1	Shock esquerdo	51

Lista de Componentes: Carroceria

Quantidade	Descrição	Numero
1	Carroceria	86
1	Farol	97

Lista de Componentes: Bateria

Quantidade	Descrição	Numero
1	Bateria 48V	52

Lista de Componentes: Roda Dianteira Esquerda

Quantidade	Descrição	Numero
1	Cubo	21
1	Disco de Freio	22
1	Aro	23
36	Nipple	24
9	Raio 1	25
9	Raio 2	26
9	Raio 3	27
9	Raio 4	28
2	ISO 4762 SCREW M5x8	29
2	Rolamento SKF 6200 RSH	
1	Pneu	30

Lista de Componentes: Roda Traseira Esquerda

Quantidade	Descrição	Numero
1	Cubo	21
1	Aro	23
36	Nipple	24
9	Raio 1	25
9	Raio 2	26
9	Raio 3	27
9	Raio 4	28
2	Rolamento SKF 6200 RSH	
1	Pneu	30
6	Parafusos	38

Lista de Componentes: Roda Traseira Direita

Quantidade	Descrição	Numero
1	Cubo	21
1	Aro	23
36	Nipple	24
9	Raio 1	25
9	Raio 2	26
9	Raio 3	27
9	Raio 4	28
2	Rolamento SKF 6200 RSH	
1	Pneu	30
6	Parafusos	38

Lista de Componentes: Suspensao DD

Quantidade	Descrição	Numero
1	Manga eixo direita	44
1	Braco inferior direito	45
1	Braco superior direito	46
1	Shock	3
2	Pivo suspensao	47

Lista de Componentes: Suspensao DE

Quantidade	Descrição	Numero
1	Manga eixo esquerda	48
1	Braco inferior esquerdo	49
1	Braco superior esquerdo	50
1	Shock esquerdo	51

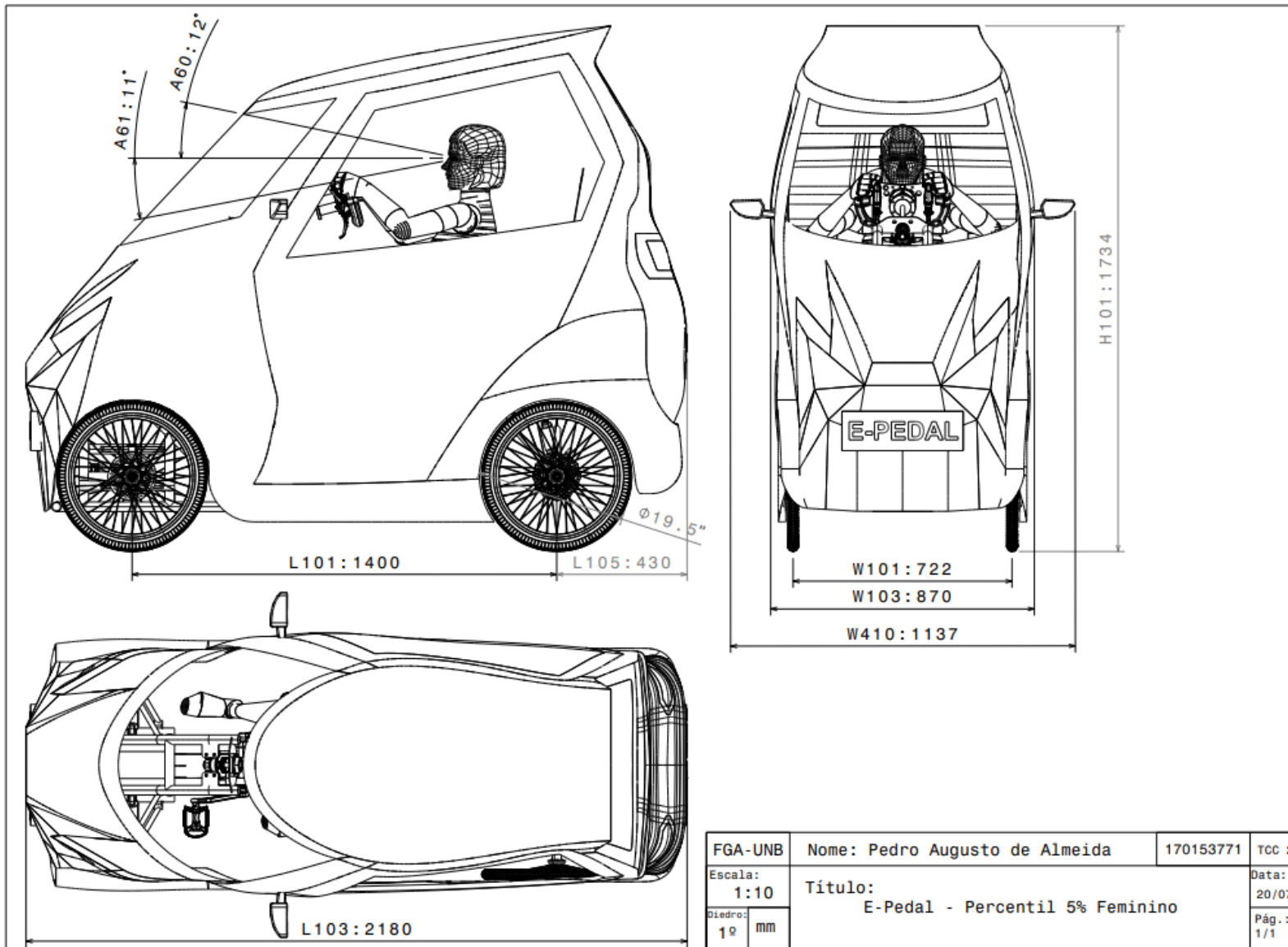
Lista de Componentes: Carroceria

Quantidade	Descrição	Numero
1	Carroceria	86
1	Farol	97

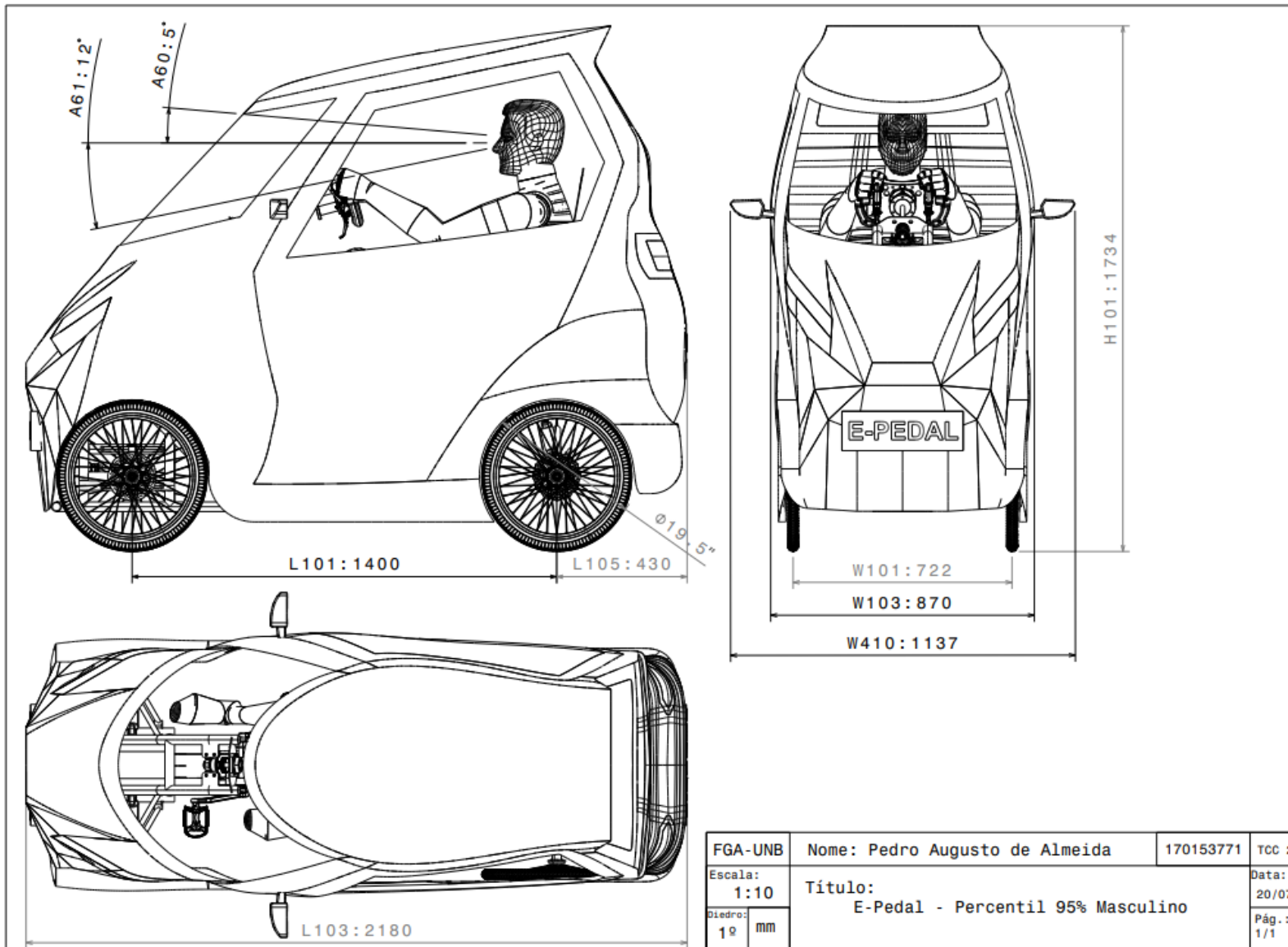
Lista de Componentes: Bateria

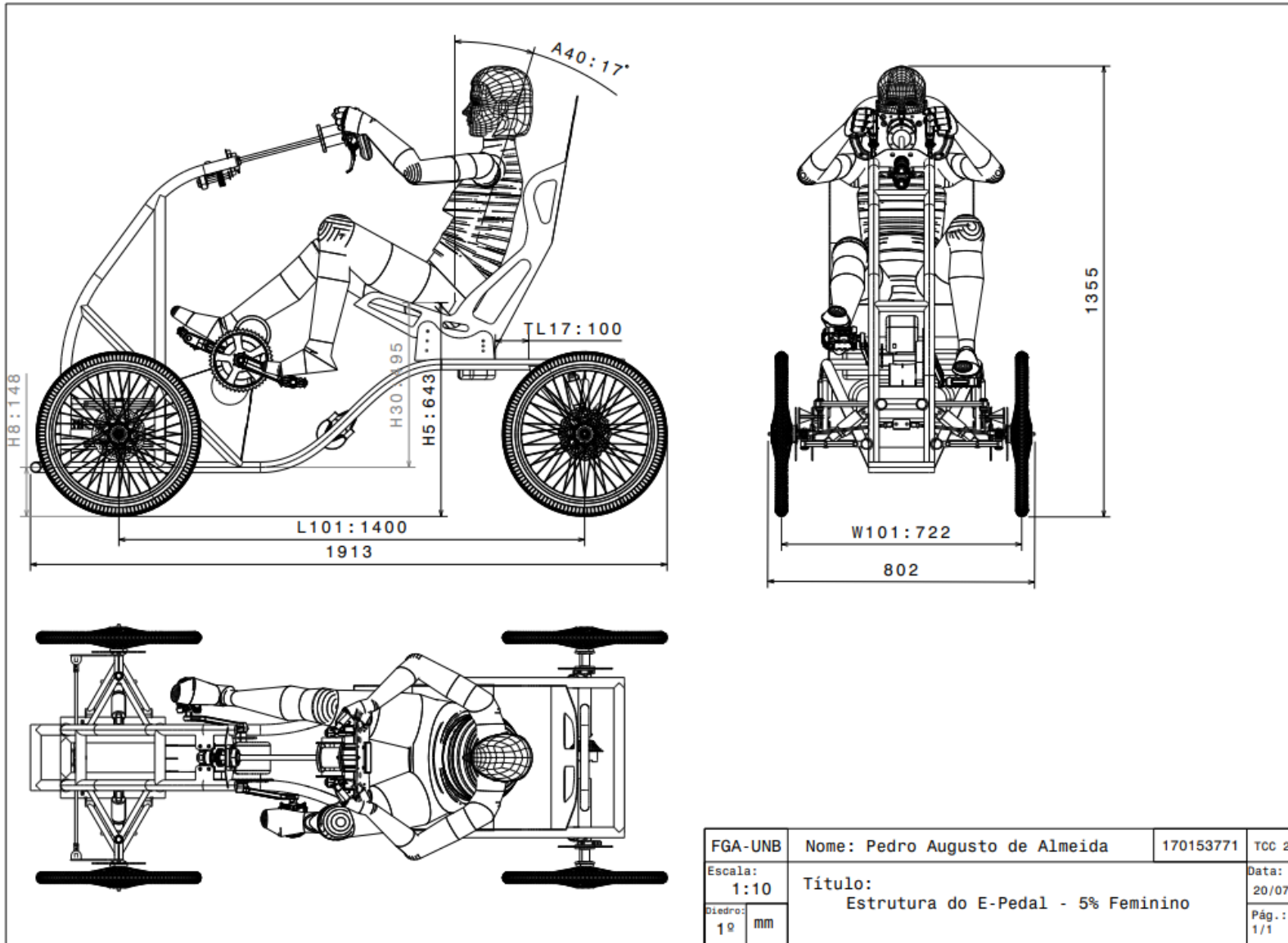
Quantidade	Descrição	Numero
1	Bateria 48V	52

FGA-UNB	E - PEDAL
TCC 2	
A1	MONTAGEM E-PEDAL
1:5	31/07 Pedro Augusto de Almeida 1/1

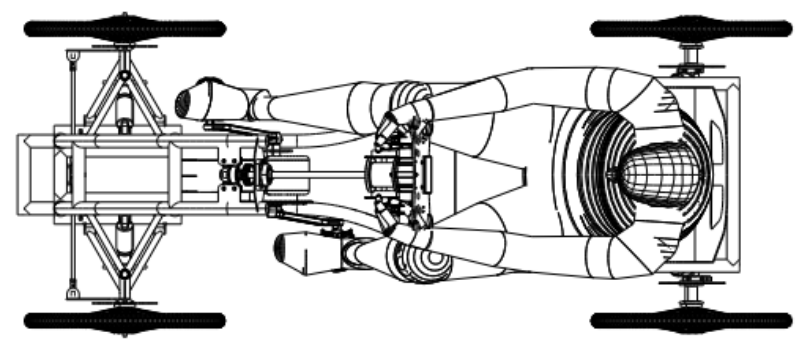
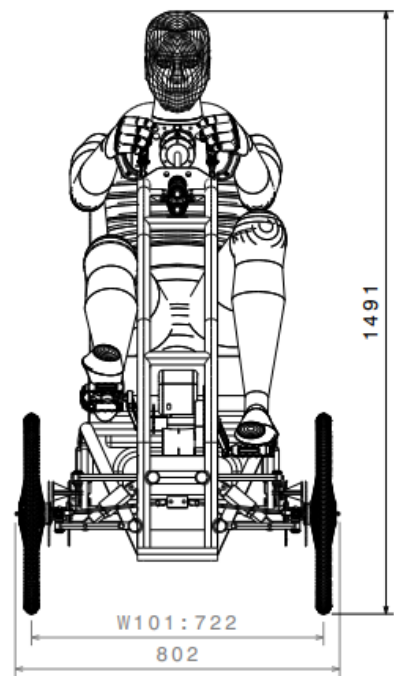
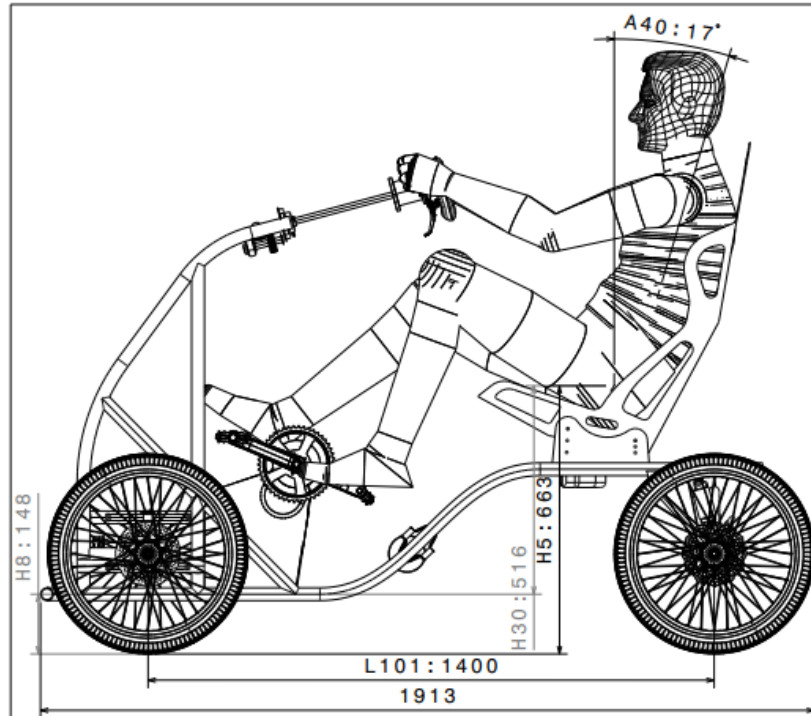


FGA-UNB	Nome: Pedro Augusto de Almeida	170153771	TCC 2
Escala: 1:10	Título: E-Pedal - Percentil 5% Feminino		Data: 20/07
Dielro: 1º mm			Pág.: 1/1





FGA-UNB	Nome: Pedro Augusto de Almeida	170153771	TCC 2
Escala: 1:10	Título: Estrutura do E-Pedal - 5% Feminino		Data: 20/07
Diâmetro: 12 mm			Pág.: 1/1



FGA-UNB	Nome: Pedro Augusto de Almeida	170153771	TCC 2
Escala: 1:10	Título: Estrutura do E-Pedal - 95% Masculino		Data: 20/07
Dielro: 1º mm			Pág.: 1/1

Apêndice C – Questionário subjetivo

Questionário subjetivo mockup rápido

Este formulário se trata de um instrumento de pesquisa, avaliação e coleta de dados para o Trabalho de Conclusão de Curso 2 do aluno Pedro Augusto de Almeida, cujo tema é o projeto conceitual de veículo híbrido: E-Pedal.

*Obrigatório

1. E-mail *

2. **Termo de compromisso** *

Você está ciente que os dados coletados nesta simulação são para fins didáticos e admite a veracidade das respostas ? Também concorda e se responsabiliza por qualquer acidente ou injúria, não sendo atribuído nenhum valor monetário em nenhum momento da pesquisa ?

Marcar apenas uma oval.

Sim

Não

Dados pessoais

3. Nome completo: *

4. Sexo: *

Marcar apenas uma oval.

Masculino

Feminino

5. Idade: *

6. Você é: *

Marcar apenas uma oval.

- Destro
- Canhoto

7. Formação acadêmica *

As escolhas estão em ordem hierárquica, marque o seu maior nível.

Marcar apenas uma oval.

- Ensino fundamental incompleto
- Ensino fundamental completo
- Ensino médio incompleto
- Ensino médio completo
- Técnico incompleto
- Técnico completo
- Tecnólogo incompleto
- Tecnólogo completo
- Ensino superior incompleto
- Ensino superior completo
- Pós-graduação incompleta
- Pós-graduação
- Mestrado incompleto
- Mestrado
- Doutorado incompleto
- Doutorado

8. Você possui alguma deficiência ?

Se sim, adicionar na opção "outros".

Marcar apenas uma oval.

Não

Outro: _____

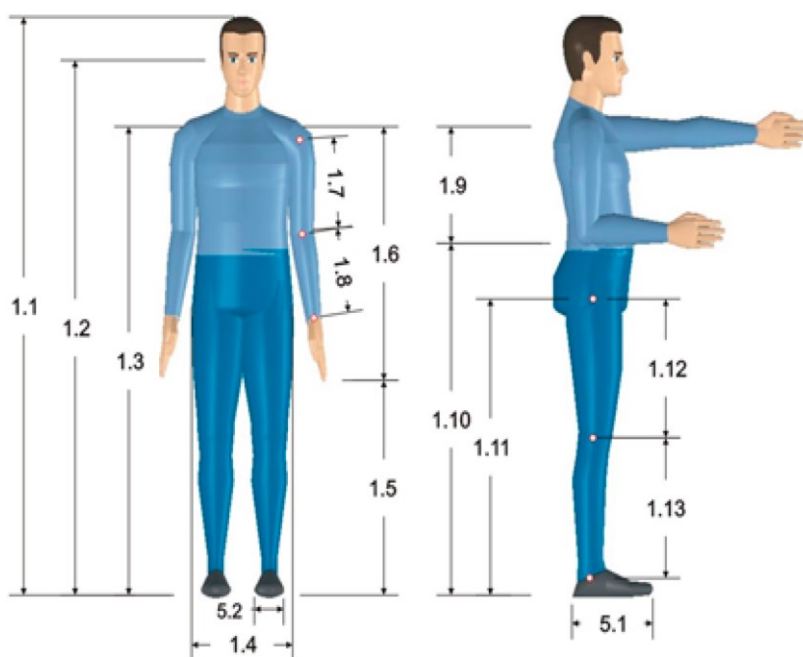
Dados antropométricos

9. Peso* (kg) *

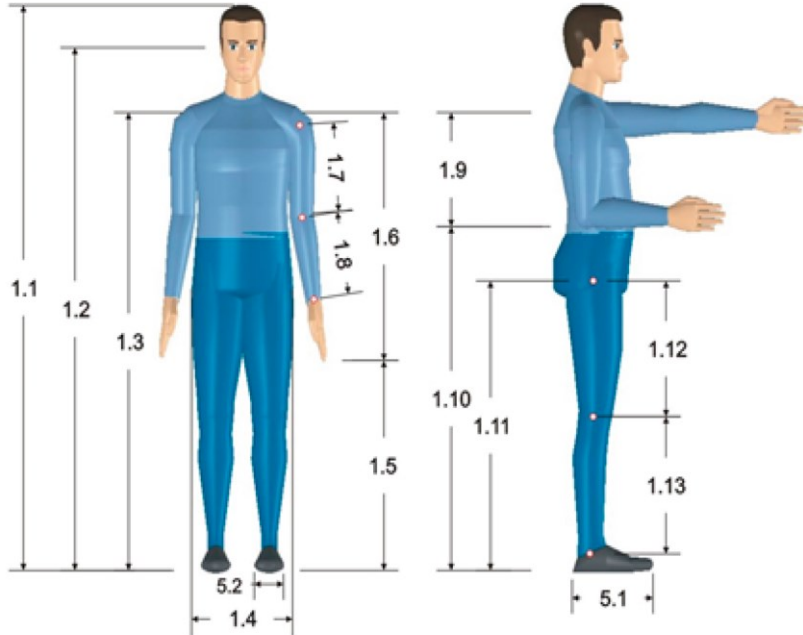
* - Obs.: o conceito de peso utilizado se refere a massa do indivíduo e não à grandeza física.

10. Estatura (mm) *

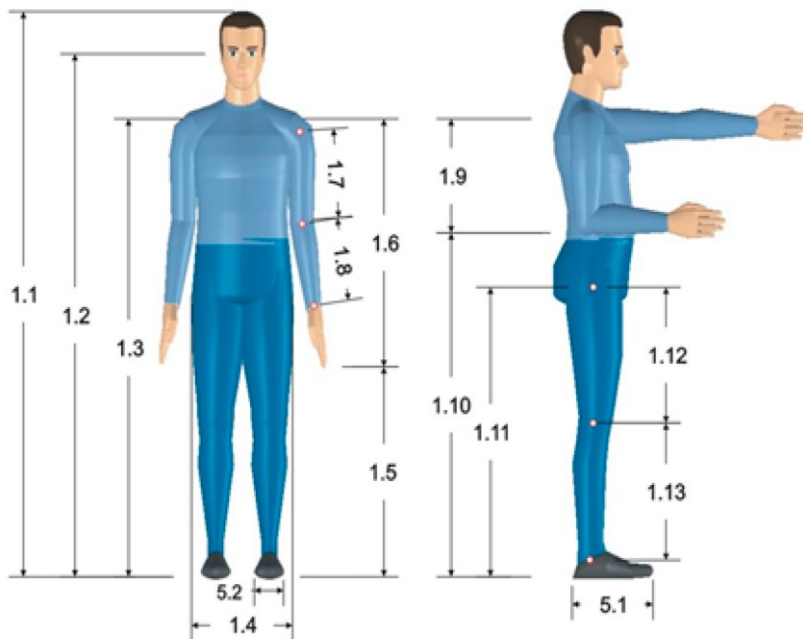
Corresponde a cota 1.1 da imagem



11. Altura do nível dos olhos, em pé (mm) *
Corresponde a cota 1.2 da imagem

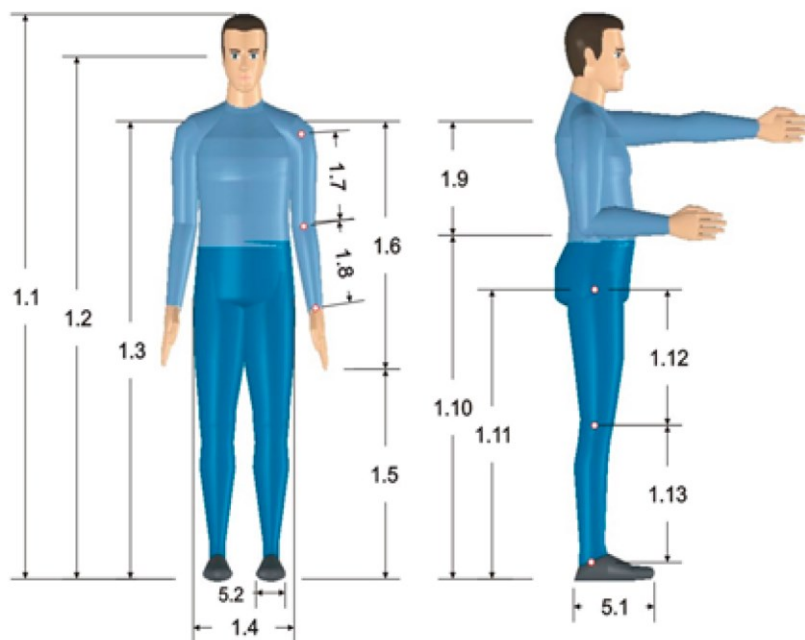


12. Altura do ombro, em pé (mm) *
Corresponde a cota 1.3 da imagem



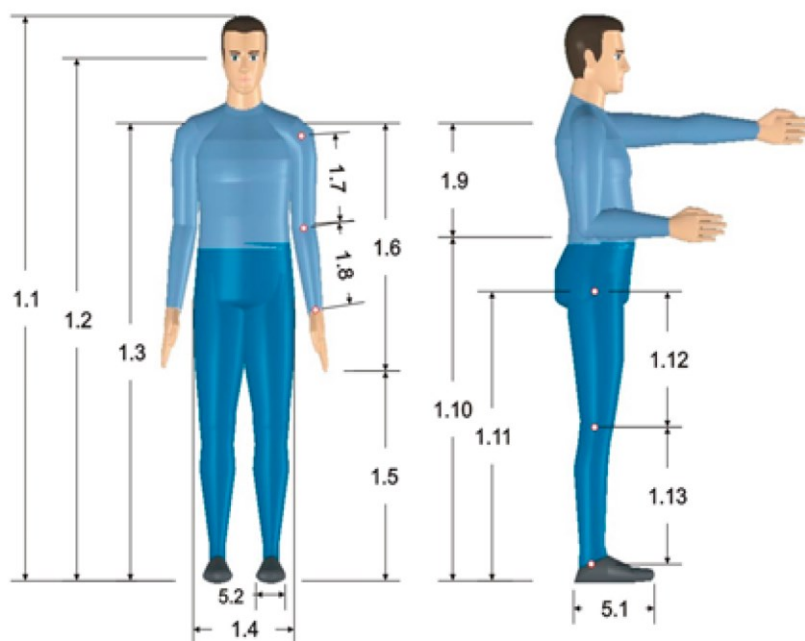
13. Largura da cintura, em pé (mm) *

Corresponde a cota 1.4 da imagem

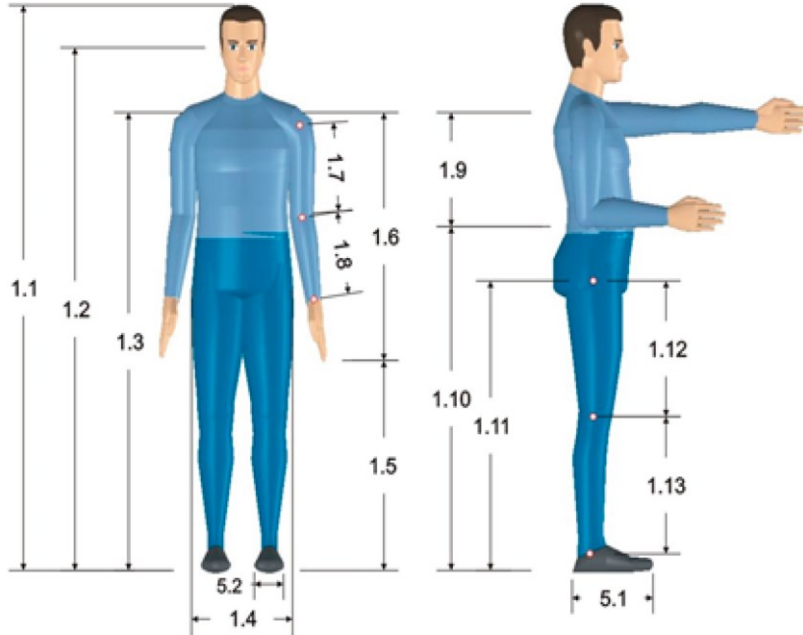


14. Comprimento do membro superior (mm) *

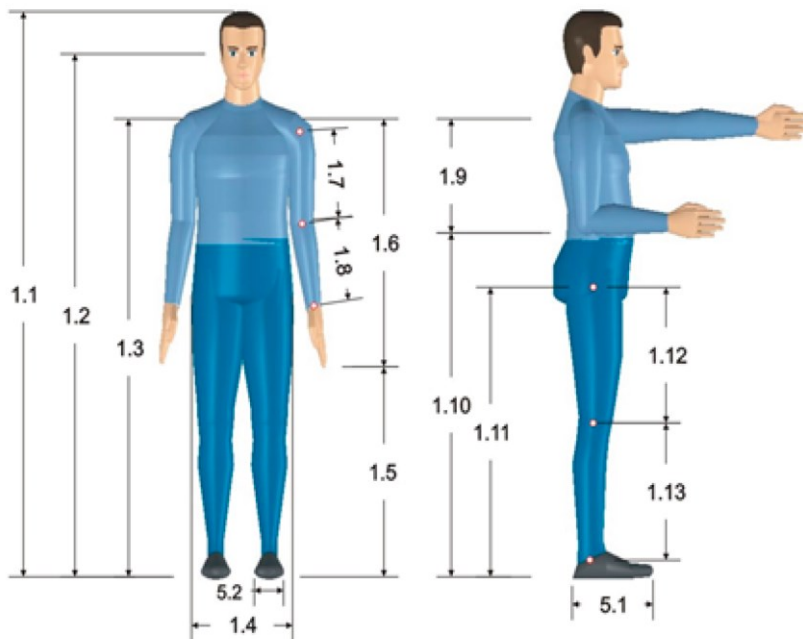
Corresponde a cota 1.6 da imagem



15. Comprimento interarticular ombro - cotovelo (mm) *
Corresponde a cota 1.7 da imagem

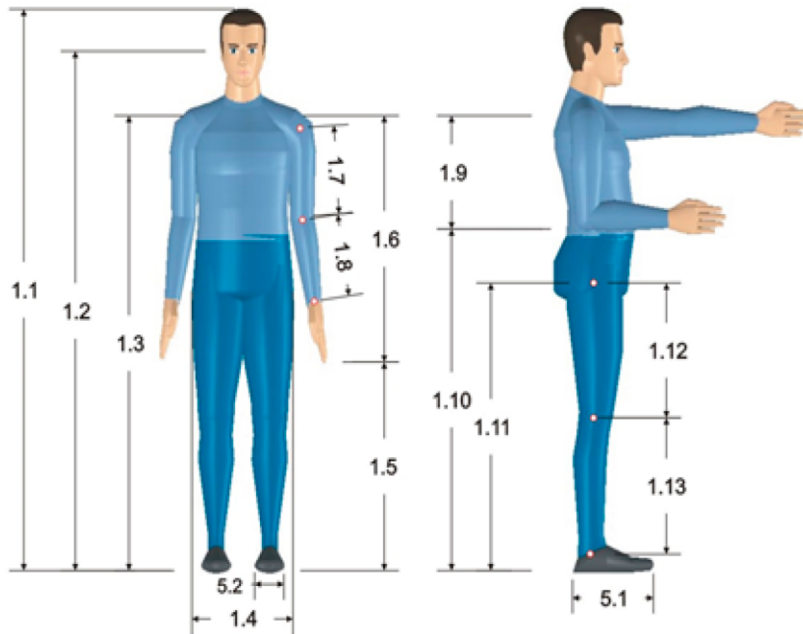


16. Comprimento interarticular cotovelo - punho (mm) *
Corresponde a cota 1.8 da imagem



17. Altura do trocanter* (mm) *

*Trocanter ou trocânter: parte superior do fêmur. Corresponde a cota 1.11 da imagem,



18. Você dirige ? *

Marcar apenas uma oval.

Sim Pular para a pergunta 19

Não Pular para a pergunta 30

Pré-ensaio

19. Você já tinha visto algum modelo de veículo parecido ? *

Se sim, adicione o nome do veículo na opção "outros"

Marcar apenas uma oval.

Não

Outro: _____

20. Como se sente hoje ? *

Marcar apenas uma oval.

- Cansado com sono
- Cansado sem sono
- Disposto

21. Você ingeriu bebida alcoólica durante as últimas 24 horas ? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim
- Não

22. Quantas horas você dormiu na última noite, aproximadamente ? *

Marcar apenas uma oval.

- Até 4 horas
- 5 horas
- 6 horas
- 7 horas
- 8 horas
- Mais de 8 horas

23. Com que frequência você dirige em: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Nunca	Quase nunca	Às vezes	Quase sempre	Sempre
Asfalto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Calçamento	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Estrada de terra	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

24. Quanto tempo, em média, você dirige por dia, aproximadamente ? *

25. Quantos dias por semana você dirige ? *

26. A quanto tempo você dirige ? *

Marcar apenas uma oval.

- Menos de 1 ano
- Entre 1 e 5 anos
- Entre 5 e 10 anos
- Entre 10 e 15 anos
- Mais de 15 anos

27. Geralmente você costuma dirigir em qual período do dia ? *

Marque todas que se aplicam.

- Ao amanhecer
- Durante o dia
- Ao anoitecer
- A noite

28. Qual tipo de veículo você costuma dirigir ? *

Marcar apenas uma oval.



Micro carro (Ex.: Smart ForTwo)



Econômico (Ex.: Renault Kwid)



Utilitário (Ex. Ford Fiesta)



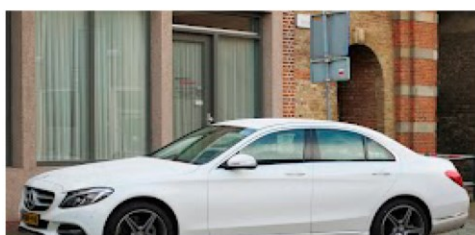
Compacto (Ex.: Volkswagen Golf)



Familiar (Ex.: Toyota Corolla)



Executivo (Ex.: Jaguar XF)





Luxo (Ex.: Mercedes C180)



Esporte (Ex.: Lamborghini)



Minivan (Ex.: Nissan Livina)



SUV (Ex.: Chevrolet Tracker)



Pick-up (Ex.: Ford F250)



Van (Ex.: Fiat Ducato)

Outro: _____

29. Como você se descreveria quanto a experiência de condução? *

Marcar apenas uma oval.

1 2 3 4 5

Muito inexperiente Muito experiente

Pós-ensaio

Avaliação ergonômica do mockup rápido

direito								
Antebraço direito	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Punho direito	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mão direita	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ombro esquerdo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Braço esquerdo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Antebraço esquerdo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Punho esquerdo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mão esquerda	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Coxa direita	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Perna direita	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tornozelo e/ou pé direito	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Coxa esquerda	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Perna esquerda	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tornozelo e/ou pé esquerdo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>