



**Sara Pinheiro
Brandão**

**Desenvolvimento do quadro-suspensão-direção do
veículo de comutação urbana GHISALLO-BERG
Cycles**



**Sara Pinheiro
Brandão**

**Desenvolvimento do quadro-suspensão-direção do
veículo de comutação urbana GHISALLO-BERG
Cycles**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica do Doutor António Manuel Godinho Completo, Professor Auxiliar com Agregação do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

Este trabalho foi apoiado no âmbito projeto de IDT em Co Promoção intitulado "GHISALLO - Investigação e Desenvolvimento de uma nova solução de comutação urbana, segura, confortável, rápida, ecossustentável, inteligente e multimodal " - Projeto n.º: 33769, financiado pelos fundos europeus estruturais e de investimento (FEEI) na sequência da candidatura apresentada ao Programa Operacional Competitividade e Internacionalização, apoiada pelo FEDER, nos termos do aviso n.º 03/SI/2017.

o júri / the jury

presidente / president

Prof. Doutor António Manuel de Amaral Monteiro Ramos
Professor auxiliar da Universidade de Aveiro

vogais / examiners committee

Doutora Ana Sofia dos Santos Conceição
Técnica Especialista da Renault Cacia, SA (arguente principal)

Prof. Doutor António Manuel Godinho Completo
Professor Auxiliar com Agregação da Universidade de Aveiro (orientador)

**agradecimentos /
acknowledgements**

Quero agradecer ao Professor Doutor António Completo pela ajuda e suporte técnico que prestou durante esta dissertação e por tudo o que me ensinou ao longo do meu percurso académico. Quero ainda agradecer ao Engenheiro Rui Martins e ao Engenheiro João Lima, da SONAE, por toda a disponibilidade e suporte e ainda por me terem dado a oportunidade de desenvolver o tema em questão. Tenho a agradecer à minha família todo o apoio incondicional e a possibilidade que me foi concedida de ter chegado aqui. Tenho também que agradecer aos meus amigos Joana, Carmen, Nunes, Gaspar, Carneiro, Hardcore, Barros, Johny e André pela partilha de ideias para Start-ups, pelo companheirismo e por todas as vezes que me deixaram dormir nas casas deles. Um especial obrigada à Inês e à Raquel, por nunca terem deixado de estar presentes e de ouvir as minhas lamúrias. Por fim, resta-me agradecer ao Flávio, por me lembrar frequentemente que a vida não deve ser levada demasiado a sério, que há sempre tempo para tudo. Não teria sido a mesma coisa sem todos vocês.

Palavras-chave

Mobilidade suave, Veículo, Ecosustentável, Quadro, Direção pendular, Ergonomia, Simulação estrutural, Esquema de fecho, Sistema de bloqueio

Resumo

O presente relatório de estágio teve como objetivo o desenvolvimento de uma proposta técnica e anteprojeto dos sistemas mecânicos quadro e direção de uma nova solução de comutação urbana, baseada num conceito de veículo elétrico de próxima geração que garante uma deslocação segura, confortável, rápida, saudável, ecosustentável, inteligente e multimodal, promovida pela empresa SONAE SERVIÇOS II, promotora do presente estágio. Para este desenvolvimento tomou-se como referência o cliente tipo e o princípio funcional do veículo, identificado pela empresa no âmbito de projeto GHISALLO desenvolvido previamente. Assim, no presente estágio foram desenvolvidas um conjunto de etapas de suporte entre as quais se destacam as tarefas de *benchmarking*; o estabelecimento e atualização dos requisitos do cliente tipo; o estabelecimento das especificações técnicas associadas aos sistemas mecânicos quadro e direção e respetivas métricas e metas; o desenvolvimento e análise crítica da matriz QFD e o estabelecimento das prioridades competitivas. Do tratamento e análise aos parâmetros relativos às tarefas de suporte, procedeu-se à etapa de geração e seleção de conceitos aplicados ao quadro e direção do veículo, por forma a estes garantirem o alcance das metas definidas para as especificações técnicas que melhor respondem à priorização dos requisitos do cliente tipo. Após a seleção dos conceitos procedeu-se a modelação CAD dos principais elementos estruturais do veículo onde se incluem o quadro e a direção e a integração de todos os restantes componentes que interagem funcionalmente com estes. Complementarmente, procedeu-se à avaliação do comportamento estrutural do quadro e direção do veículo, por forma a verificar a sua integridade estrutural aquando da aplicação das normas de segurança para este tipo de plataforma. Após a concretização de todas estas etapas, chegou-se a uma proposta de anteprojeto de veículo que garante uma solução de quadro e direção compatível com diferentes estaturas de utilizadores mantendo um bom nível de ergonomia; que assegura uma boa robustez e integridade estrutural dos principais componentes; uma solução de direção pendular que garante o bom conforto do utilizador e a boa dirigibilidade do veículo; um sistema de fecho do quadro com minimização de gestos e ergonómico para o cliente; uma pegada do veículo fechado compatível com o seu transporte em elevadores ou transportes públicos; um peso competitivo relativamente à melhor concorrência; a integração do transporte de mochilas ou objetos similares e a sua utilização em modo de carrinho de compras; sendo ainda esta solução capaz de responder a um plano de personalização do cliente.

Palavras-chave

Soft mobility, Vehicle, Eco-sustainable, Frame, Steering, Ergonomics, Structural simulation, Closing system, Lock system

Abstract

The present report aimed at the development of a technical propose and preliminary project of the mechanical systems frame and steering of a new urban mobility solution, focused on the concept of a next-generation electric vehicle that ensures a safe, comfortable, fast, healthy, eco-sustainable, smart and multimodal travelling, which is promoted by SONAE SERVIÇOS II, the promoter of current internship. For this development was established as reference the typical customer and the main feature of the vehicle, settled by the sponsor in the previous project GHISALLO. Therefore, in the present project were developed a number of important steps such as benchmarking; establishment and update of the client requirements; establishment of the technical specifications related with the mechanical systems frame and steering and specific metrics and targets; development and critical analysis of QFD matrix and establishment of competing priorities. After the handling and analysis of the variables related with the support steps, followed the concept creation and selection applied to the frame and steering of the vehicle, to assure the target values attributed to the technical specifications which secure a better response to the client needs. Afterwards, proceeded the CAD modelling of the vehicle main structural elements, which included frame and steering and the integration of other components that functionally interact with them. In addition, was made an evaluation of the structural behaviour of the vehicle frame and steering, in order to verify its structural integrity when applied the safety requirements for bicycles. The accomplishment of all of this steps lead to a project propose that assures a frame and steering solution compatible with different types of user while keeping a good level of ergonomics; that secures the toughness and structural integrity of the main components; a good solution to the steering system which provides comfort to the user and an easy driving of the vehicle; an efficient closing system done in a few steps and assuring ergonomics; a closed vehicle footstep compatible with its transportation in lifts and public transportation; a competing weight facing the best competition; an integration of backpack or other similar objects and the possibility of use in trolley mode; and in addition, the capability of responding to a plan of personalization chosen by the customer.

Conteúdo

Conteúdo	i
Lista de Figuras	v
Lista de Tabelas	xi
1 Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Estrutura	3
2 Enquadramento e <i>Benchmarking</i>	5
2.1 Introdução	5
2.2 Enquadramento do conceito a desenvolver	5
2.3 Análise do <i>Benchmarking</i>	7
2.3.1 Bicicletas	7
2.3.2 Bicicletas Elétricas	8
2.3.3 Bicicletas Dobráveis	10
2.3.4 Bicicletas Elétricas Dobráveis	12
2.3.5 Veículos Elétricos de Três Rodas	17
2.3.6 Veículos Elétricos de Três Rodas Dobráveis	18
Com duas rodas traseiras	18
Com duas rodas dianteiras	21
3 Processo de desenvolvimento do veículo	29
3.1 Introdução	29
3.2 Estudo da ergonomia e antropometria	29
3.2.1 Posição de Condução	30
3.2.2 Variáveis Dimensionais do Veículo	31
3.2.3 Variáveis e Dados Antropométricos	33
3.3 QFD - Casa da Qualidade	35
3.3.1 Identificação das necessidades do utilizador	35
3.3.1.1 Diagrama de Mudge	36
3.3.1.2 Diagrama de Kano	38
3.3.2 Identificação das especificações técnicas	40
3.3.3 Matriz QFD	41
Matriz de Relações	41

	Matriz Correlações	43
	<i>Benchmarking</i> do mercado	45
	<i>Benchmarking</i> Técnico	46
	Valores Meta	46
3.3.4	Interpretação da matriz QFD	50
3.4	Geração e seleção de conceitos	51
3.4.1	Decomposição de funções do veículo e conceitos	51
	Quadro	51
	Esquema de Dobragem	57
	Direção Pendular	61
	Travões	63
	Posicionamento do Motor	65
	Posicionamento da Bateria	66
	Posicionamento da Estrutura da bagagem	67
3.5	Arquitetura e modularidade	68
3.5.1	Introdução	68
3.5.2	Principais módulos	69
3.5.3	Plano de personalização	70
4	Projeto e dimensionamento mecânico	73
4.1	Introdução	73
4.2	Modelação estrutural do quadro e do sistema de direção	73
4.2.1	Módulo frontal	74
	Direção e sistema de equilíbrio	74
	Estrutura da bagagem	82
	Estrutura do guiador	83
	Bloqueio quadro frontal	84
4.2.2	Módulo central	87
	Quadro	87
	Bloqueio quadro central	88
	Bateria	90
	Motor	91
	Estrutura da pedaleira	92
4.2.3	Módulo posterior	93
	Estrutura posterior	93
	Selim	94
	Veículo final	96
4.3	Validação do estudo de ergonomia	101
4.4	Simulação estrutural de elementos críticos	104
4.4.1	Introdução	104
4.4.2	Materiais e métodos	105
	Condições de carga e fronteira analisadas	105
	Características mecânicas dos materiais utilizados	110
	Características da malha e elementos	110
4.4.3	Resultados e Discussão	112
4.5	Cálculo analítico da mola do sistema de equilíbrio pendular	117

4.6	Cálculo analítico para verificação do dimensionamento do sistema de bloqueio da estrutura móvel	119
4.7	Documentação Técnica	123
4.7.1	Desenhos de Conjunto	123
5	Conclusões e trabalhos futuros	127
5.1	Conclusões	127
5.2	Trabalhos futuros	129
	Bibliografia	131
	Anexos	140
	Anexo A Matriz QFD	140
	Anexo B Lista de Peças	142
	Anexo C Desenhos de Conjunto	148
	Anexo D Referências componentes	158

Lista de Figuras

2.1	Protótipo do veículo do projeto Ghisallo. [3]	6
2.2	Bicicleta Vanhawks Valour. [8]	8
2.3	(a) Bicicleta elétrica Denny [9]; (b) Bicicleta elétrica Desire [11]; (c) Bicicleta elétrica Lightfog [12]; (d) Bicicleta elétrica Turbo. [14]	9
2.4	(a) Bicicleta dobrável Verge N8 [15]; (b) Bicicleta dobrável Vigor P9. [16] . .	11
2.5	(a) Bicicleta Velectrix [17]; (b) Bicicleta Sonata [18].	13
2.6	(a) Bicicleta Brompton [19]; (b) Bicicleta Vektron S10 [20].	15
2.7	(a) Bicicleta Impossible Bike [21]; (b) Bicicleta Blaze Smart EV [22].	16
2.8	(a) Veículo elétrico E Trike [23];(b) Veículo elétrico Pronto [23].	17
2.9	(a) Triciclo Liberty Trike [24]; (b) Triciclo Jorvik. [25]; (c) Triciclo Monty [26].	20
2.10	Direção pendular da eKiffy. [29]	21
2.11	(a) Triciclo elétrico Kiffy [30], (b) Triciclo elétrico Eletric Bike [31] e (c) Triciclo elétrico Etnnic [32], não dobrados e dobrados respetivamente.	23
2.12	Comparação dos veículos anteriormente mencionados relativamente ao seu peso em quilogramas.	25
2.13	Comparação dos veículos anteriormente mencionados relativamente ao seu preço no mercado.	25
2.14	Comparação dos veículos dobráveis anteriormente mencionados relativamente à sua pegada dobrada, sendo esta dada pela largura pelo comprimento, em milímetros.	26
2.15	Comparação dos veículos dobráveis anteriormente mencionados relativamente ao número de gestos necessários para o seu fecho.	26
3.1	(a) Posição clássica <i>Dutch</i> ; (b) Posição cidadina; (c) Posição Desportiva/Turismo; (d) Posição de competição. [36]	30
3.2	(1) Distância selim-guiador, afetada pelo alcance funcional do utilizador; (2) Altura do selim, influenciada pela estatura do utilizador. Adaptação de [34, 38].	32
3.3	Inclinação do tubo do selim, de 72° a 74° [41].	33
3.4	Dimensões do corpo humano mais relevantes. Adaptado de [42].	34
3.5	Diagrama de Mudge.	37
3.6	Diagrama de Kano. [46]	39
3.7	Sketch do quadro curvo bifurcado.	55
3.8	Quadro baixo tido como referência. [64, 65]	56
3.9	Quadro em cruz tido como referência. [66]	56
3.10	Esquema de dobragem do conceito Ghisallo. [3]	58
3.11	Esquema de fecho B.	58

3.12	Esquema de dobragem C.	59
3.13	Esquema de fecho D.	59
3.14	Esquema de fecho E.	60
3.15	(a) Direção pendular eKiffy [29] e (b) Direção pendular Trego [68].	61
3.16	(a) Direção pendular e-clip [71] e (b) Direção pendular Kaylad-e [69].	62
3.17	Direção pendular Trileaf: ligações à roda e guiador. [65]	62
3.18	(a) Conjunto travões de disco hidráulicos Shimano [73]; (b) Freio travões V [74]; (c) Travões cantilevers [75].	64
4.1	CAD do produto final, dividido em três módulos respetivamente assinalados, seguindo a estrutura definida anteriormente.	74
4.2	Sistema de direção incorporado no veículo em pormenor e identificação dos diferentes componentes.	75
4.3	Pormenor da zona da manga de eixo e suporte do veio da roda da direção.	76
4.4	Pormenor do sistema de equilíbrio da direção e identificação dos diferentes componentes.	76
4.5	Vistas lateral, de baixo, de trás e de frente do sistema da direção e identificação dos diferentes componentes.	77
4.6	Inclinação máxima do veículo de 25°.	78
4.7	Inclinação máxima do veículo com a estrutura da bagagem acoplada em posição de transporte de mercadoria e fechada, à esquerda e à direita respetivamente.	79
4.8	Rotação das rodas em função da rotação do guiador e verificação do raio de viragem de 2.03 metros.	80
4.9	Rotação das rodas em função da rotação do guiador e verificação do raio de viragem de 3.69 e 3.28, com a estrutura da bagagem acoplada aberta e fechada, à esquerda e à direita, respetivamente.	81
4.10	Pormenor do bloqueio da direção.	82
4.11	(a) Estrutura da bagagem na posição fechada, (b) Estrutura da bagagem na posição aberta para transporte de mercadoria; (c) Pormenor do sistema de fecho da estrutura; (d) Pormenor da estrutura da bagagem na posição aberta.	83
4.12	Pormenor da estrutura do guiador com base na estrutura das Popal Daily Dutch.	84
4.13	Integração do bloqueio frontal (16) no quadro (3) e ilustração do esquema de montagem do mesmo.	85
4.14	Pormenor do bloqueio frontal (16) e da posição dos respetivos componentes, quando o veículo se encontra aberto na posição de condução.	85
4.15	(a) Avanço longitudinal do manípulo (16.7) e pino de bloqueio (16.9); (b) Rotação axial do manípulo (16.7); (c), (d), (e) e (f) Pormenor do bloqueio frontal (16) e da posição dos respetivos componentes, quando o veículo se encontra na posição de dobrado.	86
4.16	Enquadramento do quadro (3) na estrutura do veículo.	87
4.17	Pormenor do quadro (3), da sua fixação e da pega para o fecho do veículo.	88
4.18	Integração do bloqueio quadro central (14) na estrutura do veículo e pormenor do mesmo na posição associada ao veículo aberto em modo de condução.	89
4.19	Pormenor do bloqueio quadro central (14) na posição associada ao pressionar do botão (14.2).	89
4.20	Integração do bloqueio quadro central (14) na estrutura do veículo e pormenor do mesmo na posição associada ao veículo fechado.	90

4.21	Integração da bateria na estrutura do veículo.	91
4.22	Integração do motor na estrutura do veículo.	92
4.23	Integração da estrutura da pedaleira no veículo.	93
4.24	Integração da estrutura posterior (12) no veículo.	94
4.25	Integração da estrutura do selim no veículo.	95
4.26	Veículo em posição de condução e dobrado em modo <i>trolley</i>	96
4.27	Veículo inclinado ao máximo de 13° com a estrutura da bagagem, assinalado no canto inferior esquerdo, e inclinação máxima de 25° do sistema sem a estrutura da bagagem, no canto inferior direito.	97
4.28	(a) Dimensões do veículo em posição de condução; (b) Pegada do veículo dobrado.	98
4.29	(a) Veículo em posição de condução; (b) Recuo do tubo de altura do selim; (c) Recuo da manga telescópica da direção e (d) Fecho da estrutura da bagagem.	100
4.30	(e) Desbloqueio do sistema central; (f) Desbloqueio do sistema frontal; (g) Elevação do quadro até à posição final; (h) Posição do veículo dobrado final.	101
4.31	Valores de estatura e entrepernas dos percentis 95, 50 e 5 do género masculino e feminino.	102
4.32	Posicionamento no veículo de três utilizadoras femininas de diferentes percentis, com diferentes medidas de altura de selim e guiador.	103
4.33	Posicionamento no veículo de três utilizadores masculinos de diferentes percentis, com diferentes medidas de altura de selim e guiador.	103
4.34	Posicionamento no veículo de dois utilizadores, (a) e (b), do género masculino com percentil 95 e género feminino com percentil 5 respetivamente, com o veículo dobrado em modo de transporte de mercadoria.	104
4.35	Adaptação do ensaio de solicitação vertical da norma ISO 4210-2 [51]: (1) Apoio simples que permite a flexão do quadro; (2) Tubo do selim; (3) Apoio rígido que apenas permite rotação em torno do eixo.	105
4.36	Ensaio de solicitação vertical: 1-Restrição de deslocamento nas três direções (apoio rígido na roda traseira); 2-Ligação rígida da estrutura posterior com o tubo de altura do selim (6); 3-Ligação rígida do motor (4) com a estrutura posterior (12); 4-Restrição de deslocamento longitudinal do veio do bloqueio central (14.3); 5-Ligação rígida do veio do bloqueio central (14.3) com o quadro (3) e contacto do veio com o motor (4); 6-Contacto do motor (4) com o quadro; 7-Ligação rígida do veio do bloqueio frontal (16.1) com o quadro (3); 8-Contacto entre o tubo do bloqueio frontal (16.4) e o veio (16.1) e entre esse mesmo tubo (16.4) e a coluna da direção (1.10); 9-Restrição de deslocamento longitudinal do tubo do bloqueio frontal (16.4); 10-Restrição de deslocamento longitudinal e vertical da coluna da direção (1.10) (apoio simples que permite deslocamento horizontal).	106
4.37	Ensaio de solicitação horizontal da norma ISO 4210-2 (Adaptado de [51]): (1) Apoio simples que permite a flexão do quadro; (2) Apoio rígido que permite rotação em torno do eixo.	107

4.38	Ensaio de solicitação horizontal: 1-Restrição de deslocamento nas três direções (apoio rígido na roda traseira); 2-Ligação rígida da estrutura posterior com o tubo de altura do selim (6); 3-Ligação rígida do motor (4) com a estrutura posterior (12); 4-Restrição de deslocamento longitudinal do veio do bloqueio central (14.3); 5-Ligação rígida do veio do bloqueio central (14.3) com o quadro (3) e contacto do veio com o motor (4); 6-Contacto do motor (4) com o quadro (3); 7-Ligação rígida do veio do bloqueio frontal (16.1) com o quadro (3); 8-Contacto entre o tubo do bloqueio frontal (16.4) e o veio (16.1) e entre esse mesmo tubo (16.4) e a coluna da direção (1.10); 9-Restrição de deslocamento longitudinal do tubo do bloqueio frontal (16.4); 10-Restrição de deslocamento longitudinal e vertical da coluna da direção (1.10) (apoio simples que permite deslocamento horizontal).	108
4.39	Ensaio de solicitação horizontal e vertical da direção: (1) Contacto do pendular superior (1.3) com as mangas de eixo (1.5) (restrição definida à esquerda e à direita do pendular); (2) Contacto do pendular inferior (1.7) com as mangas de eixo (1.5) (restrição definida, de igual modo, à direita e à esquerda do pendular); (3) e (4) Restrição do deslocamento do pendular inferior (1.7) e superior (1.3) , respetivamente, nas três direções (apoio rígido na zona onde os pendulares são fixos à coluna da direção); (5) Força horizontal de 1200 N distribuída nas mangas de eixo (1.5), em duas superfícies (cargas de 300 N em cada); (6) Força vertical relativa às reações das rodas dianteiras, distribuída pelas duas mangas de eixo (1.5).	109
4.40	Representação das forças atuantes numa das mangas de eixo da direção pendular do veículo.	109
4.41	Malha de elementos finitos do motor (4), estrutura posterior (12), coluna da direção (1.10), veio do bloqueio central (14.3), quadro (3), veio e tubo do bloqueio frontal (16.1 e 16.4, respetivamente) e tubo de altura do selim (6).	111
4.42	Malha de elementos finitos do pendular superior (1.3), do pendular inferior (1.7) e das duas mangas de eixo (1.5).	112
4.43	Tensão de von Mises na simulação da solicitação horizontal e vertical da estrutura, à esquerda e à direita, respetivamente.	112
4.44	Tensão de von Mises na simulação da solicitação vertical e horizontal da direção.	113
4.45	Deslocamentos na simulação da solicitação horizontal da estrutura, à direita, e na simulação vertical, à esquerda.	113
4.46	Deslocamentos na simulação da solicitação do sistema da direção.	114
4.47	Zonas críticas onde a tensão é máxima na solicitação horizontal da estrutura do veículo: (a) Motor; (b) Estrutura posterior; (c) Coluna da direção; (d) Veio do bloqueio central do quadro; (e) Tubo de altura do selim; (f) Tubo do bloqueio frontal do quadro; (g) Veio do bloqueio frontal do quadro; (h) Quadro - Corte da estrutura por a zona crítica ser na sua superfície interior.	115
4.48	Zonas críticas onde a tensão é máxima na solicitação horizontal e vertical da direção: (a) Pendular superior; (b) Pendular inferior; (c) Manga de eixo(a); (d) Manga de eixo(b).	116
4.49	Zonas críticas onde a tensão é máxima na solicitação vertical da estrutura do veículo: (a) Motor; (b) Estrutura posterior; (c) Coluna da direção; (d) Tubo de altura do selim; (e) Veio do bloqueio frontal do quadro; (f) Tubo do bloqueio frontal do quadro; (g) Quadro; (h) Veio do bloqueio central do quadro.	117

4.50	Representação das forças atuantes quando o veículo sofre uma inclinação de seis graus.	118
4.51	Representação esquemática das forças atuantes no veículo aquando o posicionamento do utilizador e do momento resultante atuante no bloqueio frontal. .	119
4.52	Representação do raio R considerado no cálculo da força tangencial atuante no manípulo de bloqueio.	120
4.53	Raio de 5 mm do manípulo do sistema de bloqueio adotado no CAD atual. .	121
4.54	Representação da espessura tida em consideração no cálculo da área resistente.	122
4.55	Análise de Pareto em função do peso de cada componente no total do veículo.	125

Lista de Tabelas

2.1	Especificações técnicas das bicicletas elétricas.	10
2.2	Especificações técnicas das bicicletas dobráveis.	12
2.3	Especificações técnicas das bicicletas elétricas dobráveis.	16
2.4	Especificações técnicas veículos elétricos de três rodas.	18
2.5	Especificações técnicas veículos elétricos dobráveis com duas rodas traseiras.	20
2.6	Especificações técnicas veículos elétricos dobráveis com duas rodas dianteiras.	24
3.1	Dados antropométricos do género feminino e masculino da população por portuguesa, para os percentis 5, 50 e 95. Adaptado de [44].	35
3.2	Necessidades e requisitos do cliente.	36
3.3	Requisitos do cliente com designação atribuída.	37
3.4	Grau de importância dos requisitos do cliente.	38
3.5	Diagrama de Kano aplicado aos requisitos do cliente estabelecidos anteriormente.	39
3.6	Especificações técnicas do produto.	40
3.7	Matriz representativa da relação entre os requisitos do cliente e as especificações do produto.	42
3.8	Matriz de correlações.	44
3.9	Matriz da avaliação da concorrência e comparação com o nosso produto.	45
3.10	Matriz de <i>bencharking</i> técnico de produto.	46
3.11	Matriz com os valores meta para as especificações técnicas do produto.	50
3.12	Vantagens e desvantagens de cada material do quadro.	53
3.13	Seleção do conceito do material do quadro.	53
3.14	Vantagens e desvantagens de cada processo de fabrico do quadro.	54
3.15	Seleção do conceito do processo de fabrico do quadro.	54
3.16	Vantagens e desvantagens de cada esquema estrutural do quadro.	57
3.17	Seleção do conceito do esquema estrutural do quadro.	57
3.18	Vantagens e desvantagens de cada esquema de fecho do veículo.	60
3.19	Seleção do conceito do esquema de fecho do veículo.	60
3.20	Vantagens e desvantagens de cada sistema de direção pendular.	63
3.21	Seleção do conceito de direção pendular.	63
3.22	Vantagens e desvantagens de cada tipo de travão.	64
3.23	Seleção do tipo de travão a implementar.	64
3.24	Vantagens e desvantagens dos diferentes posicionamentos do motor.	65
3.25	Seleção do conceito do posicionamento do motor no veículo.	66
3.26	Vantagens e desvantagens dos diferentes posicionamentos da bateria.	67
3.27	Seleção do conceito do posicionamento da bateria no veículo.	67

3.28	Vantagens e desvantagens do diferente posicionamento da estrutura da bagagem.	68
3.29	Seleção do conceito de posicionamento da estrutura da bagagem.	68
3.30	Combinação das opções disponíveis para o cliente para diferentes especificações.	71
4.1	Tabela com os valores da altura do selim em função do entrepernas do utilizador. [44]	102
4.2	Propriedades mecânicas do Alumínio 6061 T6. [49]	110
4.3	Tabela com as propriedades da malha de elementos finitos.	111
4.4	Valores críticos da tensão de von Mises obtidos na simulação horizontal e vertical da estrutura.	114
4.5	Valores críticos da tensão de von Mises obtidos na simulação da direção.	114
4.6	Lista de peças do veículo, ordenada por ordem decrescente de peso.	123
D.1	Lista de peças do veículo que tiveram como referência modelos existentes no mercado.	159

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação

A circulação de veículos com motores de combustão interna é uma realidade ainda muito presente e preocupantemente crescente. O ser humano vê desde há muitos anos o carro como uma dependência para a sua mobilidade, mas cada vez a alternativa ao mesmo começa a surgir como uma nova realidade. A preocupação pela poluição ambiental e sonora, que afetam a qualidade de vida do cidadão, e ainda pelo elevado custo envolvido neste meio de transporte, leva à procura de outras opções alternativas ao mesmo.

Assim, a exploração de uma plataforma de mobilidade suave, o alargamento de redes multimodais e a construção de ciclovias, são cada vez mais uma preferência do cidadão. As bicicletas introduzem um meio de transporte casa-trabalho e trabalho-casa eficiente e sustentável, que permite significativas melhorias da qualidade do ar, uma elevada redução do uso de combustíveis fósseis, a fuga ao congestionamento urbano diário e conseqüente *stress*, um estilo de vida mais saudável e ainda uma diminuição nas despesas não só relativamente ao investimento no combustível e seguros do veículo, mas também em termos de pagamento de estacionamento. Para além das inúmeras vantagens deste meio de transporte comparativamente ao automóvel, o ciclismo tem sido uma mobilidade cada vez mais praticada pela sociedade, tanto em termos profissionais como recreativos.

Posto isto, torna-se ainda mais relevante que este veículo consiga responder às necessidades dos cidadãos que percorrem vários quilómetros para chegar ao seu local de trabalho e têm assim a necessidade de conjugar os transportes públicos com o ciclismo de modo a deslocarem-se para o mesmo. No entanto, algumas restrições como a sensação de insegurança para com os veículos automóveis aquando a circulação nas vias rodoviárias, os problemas evidentes de esforço, a diminuição do conforto e comodidade, a dificuldade no transporte de bens como o portátil, sacos de compras ou saco do ginásio, entre outros, e ainda a conseqüente roupa transpirada devido ao esforço físico, levam o cidadão a não aceitar plenamente esta plataforma de mobilidade.

Torna-se então necessário desenvolver um transporte multimodal que permita ao condutor uma condição suave, confortável, estável, segura, limitada a poucos esforços e que ao mesmo tempo seja fácil de adaptar e transportar para transportes públicos como o metro, o comboio e até o autocarro. Esta adaptabilidade a outros meios de transporte requer o desenvolvimento de um veículo dobrável, de modo a que as suas dimensões sejam coerentes com as dimensões das portas destes transportes. Para além deste fator, é também importante referir que o

utilizador sente-se também limitado no uso deste meio de deslocação por não conseguir transportar o mesmo para o local de trabalho e isso poder originar o furto do veículo. Assim, a introdução de uma plataforma dobrável conseguiria responder a estes dois parâmetros fulcrais para a satisfação do utilizador. A condução confortável e estável são dois requisitos que têm também de ser cumpridos através de um produto que garanta equilíbrio quando parado ou em movimento, sem que seja necessário colocar os pés no chão.

O utilizador foco, promovido pela empresa no projeto Ghisallo previamente desenvolvido, é uma cidadã residente em Lisboa, Portugal, que pretende ter uma vida ativa e saudável, mas tem preocupações quanto ao uso destes veículos alternativos, sentido insegurança. Esta utilizadora tipo de 29 anos leva uma vida ocupada e para ela, a nível profissional e pessoal, a aparência é um fator determinante: o seu vestuário é preenchido por diversas saias, vestidos, roupas claras, calças de ganga e acessórios. Na sua deslocação para o trabalho, este utilizador tipo demora cerca de 50 minutos a pé para apanhar posteriormente o comboio, carregando simultaneamente a mala do trabalho e do ginásio. Por não ter orçamento para um automóvel nem garagem para guardar o mesmo e por detestar o tráfego urbano, a sua solução ideal seria o uso de uma bicicleta, por ser a solução mais barata e eficiente em termos de tempo, ainda que combinada com outros meios de transporte públicos devido à elevada distância a percorrer. Este cliente tipo representa uma elevada percentagem da população que ainda não vê na bicicleta a resposta mais segura e confortável para as suas necessidades de comutação.

A motivação deste trabalho prende-se então em reimaginar a experiência de deslocação urbana numa lógica de mobilidade suave e pela ótica do utilizador final, respondendo assim a todas as suas necessidades.

1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho concentra-se no desenvolvimento do projeto detalhado dos princípios fundamentais relativos ao quadro e ao sistema de direção de um veículo elétrico para comutação urbana, mas mais eficaz, seguro, confortável e rápido que as bicicletas comuns.

O veículo tem de introduzir novidade e sofisticação, permitir uma utilização combinada com outros meios de transporte e ainda garantir ao utilizador um estilo de vida saudável e simultaneamente sustentável. A versatilidade e usabilidade do veículo são fatores fulcrais a ter em consideração, assegurando a multimodalidade do mesmo, o seu uso intuitivo, a segurança e o seu fácil transportar e carregar. Assim, o projeto foca-se também em garantir a leveza do veículo e na integração de um inovador sistema de dobragem, que tem de permitir que o veículo fique compacto para poder ser transportado para espaços confinados sem qualquer obstáculo.

Este projeto foca-se então não no desenvolvimento de um produto final, mas sim no estudo e desenvolvimento de soluções para dois importantes aspetos do veículo através de uma ferramenta CAD: o quadro, de modo a garantir a leveza do mesmo e uma dobragem fácil, como mencionado anteriormente; e o sistema de direção, de modo a permitir uma condução suave e intuitiva, sem que o utilizador tenha de exercer força quando curvar e de modo a que a sua estabilidade estática seja sempre garantida, sem que seja necessário colocar os pés no chão.

Para além do desenvolvimento do CAD das duas estruturas anteriormente referidas, outro dos objetivos deste projeto é a verificação desses mesmos sistemas através de ferramentas CAE. Deste modo, é possível no fim do projeto confirmar se o veículo respeita as normas

legais em vigor e se pode efetivamente circular na via pública.

1.3 Estrutura

O documento apresenta uma estrutura dividida em cinco capítulos, sendo o capítulo presente introdutório ao projeto, permitindo fazer uma breve descrição da organização do mesmo e permitindo ao leitor entender a importância do seu desenvolvimento.

O capítulo dois relativo ao enquadramento e *benchmarking*, aborda a necessidade de um meio de transporte alternativo aos veículos de combustão interna devido ao seu impacto ambiental e ao tráfego muito presente atualmente nas grandes cidades. Além disso, introduz o veículo de três rodas como uma melhoria à comum bicicleta de duas rodas e através de uma análise de *benchmarking* elabora uma lista de especificações técnicas de produtos presentes no mercado que servem como referência para o projeto.

Relativamente ao capítulo três, este é referente ao processo de desenvolvimento do veículo e apresenta um estudo de ergonomia e antropometria indispensável para que o produto seja funcional e desenvolvido pela ótica do utilizador final. Para além disso, identifica as necessidades do cliente e expõe as mesmas em requisitos cumpridos pelas especificações técnicas do produto. Por último, após o estabelecimento dos requisitos e especificações, é preenchida e interpretada a casa da qualidade (QFD).

Quanto ao capítulo quatro, do projeto e dimensionamento mecânico, este apresenta e explica a modelação de cada componente do veículo e posteriormente os cálculos analíticos para verificação do dimensionamento de determinados sistemas. É ainda apresentada toda a documentação técnica relativa aos desenhos de conjunto da plataforma e dos seus subsistemas.

Por fim, o capítulo cinco estabelece todas as conclusões do projeto e sugere trabalhos complementares a desenvolver no futuro.

Capítulo 2

Enquadramento e *Benchmarking*

2.1 Introdução

Neste capítulo é abordada a problemática relacionada com o uso recorrente dos recursos energéticos por parte do sector dos transportes, como o impacto no meio ambiente e na saúde pública. Posteriormente, é introduzida a bicicleta como uma alternativa a estes meios de transporte poluentes, sendo um veículo incluído na mobilidade suave. Para além de serem apresentadas as vantagens da utilização destes veículos alternativos, é também feita uma abordagem à sua história e à sua introdução na indústria.

Nesta fase, é ainda apresentado o estudo do *benchmarking* realizado com base no mercado dos veículos de duas e três rodas elétricos e elétricos dobráveis. No final, é apresentada uma tabela síntese com as especificações técnicas de cada veículo, de modo a que seja possível compará-los mais facilmente.

2.2 Enquadramento do conceito a desenvolver

Nos dias de hoje, a poluição atmosférica provocada pelos veículos com motores de combustão interna é um assunto preocupante e um problema crescente. A procura por alternativas a estes veículos é cada vez maior através da introdução de viaturas elétricas, apesar de ainda de elevado custo e com baixa autonomia, ou através do retorno ao uso da clássica bicicleta.

Estudos realizados no Reino Unido sobre o impacto da poluição provocada pela circulação de carros entre 1995 e 2005, comprovam o efeito negativo da mesma na saúde do ser humano. [1] Através do estudo do número de mortes ocorridas e admissões no hospital provocadas pelo excesso de NOx e CO, entre outros, comprova-se este impacto na saúde devido a uma má qualidade ambiental. Apesar da implementação das normas Euro em prol da redução das emissões dos automóveis, estando atualmente em vigor a norma Euro VI [2], a poluição proveniente do desgaste do travão, do pneu e mesmo da abrasão da estrada, continuam a ser problemas presentes aquando o uso destes veículos.

Para além do aumento dos gases do efeito de estufa, o crescente aumento do uso deste tipo de veículos provoca também um maior consumo de energia, mais congestionamentos em termos de tráfego urbano e o conseqüente aumento de acidentes rodoviários. [3]

Surge então a exploração do conceito de um veículo fácil de transportar, económico e amigo do ambiente: a bicicleta. A bicicleta enquadra-se no conceito de mobilidade suave, que inclui todo o veículo movido a propulsão humana. [4] A mobilidade suave pode ser definida

também como uma forma especial de mobilidade sustentável, que corresponde à capacidade de dar resposta às necessidades do ser humano em se deslocar livremente e ter fácil acesso e comunicação, sem sacrificar outros valores humanos e ecológicos. [5]

Este veículo introduz então uma alternativa que permite limitar as emissões e os resíduos, minimizar o impacto sobre o uso do solo, diminuir a poluição sonora, diminuir o congestionamento do tráfego e aumentar a qualidade do ar, levando conseqüentemente a uma melhor qualidade de vida. Para além disso, o uso da bicicleta tem também um elevado impacto positivo em termos económicos, por o uso de combustíveis fósseis ser bastante dispendioso e por a manutenção do automóvel envolver também diversos custos. [5, 4]

A bicicleta, já muito usual em países como a Holanda, Alemanha e Inglaterra, consegue facilmente substituir o automóvel para viagens curtas, no entanto acarreta alguns inconvenientes como o cansaço do utilizador, a limitação em termos de vestuário e a dificuldade no transporte de malas, de que são consequência a roupa transpirada, o desgaste e o desconforto do utente.

Assim, introduz-se o conceito de um veículo elétrico de três rodas, que permite ao utilizador o equilíbrio quando parado ou em movimento sem que tenha de colocar os pés no chão e também uma assistência ao pedalar quando este se sentir mais desgastado ou quiser evitar desconfortos como o suor para chegar ao local de trabalho.

Promovido pela empresa SONAE, foi desenvolvido um projeto Ghisallo anterior ao presente, que se focou então no desenvolvimento de um veículo de comutação urbana ambientalmente sustentável, que garanta o conforto, acessibilidade e segurança do habitual usuário que faz casa-trabalho e trabalho-casa, e que ao mesmo tempo tenha personalidade e qualidade. Gerou-se então o conceito de um veículo elétrico de duas rodas dianteiras e uma traseira, com motor posterior, com uma estrutura para o transporte de adereços como malas, e ainda facilmente dobrável permitindo o seu transporte como carrinho de mão e o fácil acesso aos transportes públicos, ocupando o mínimo espaço possível. [3]

Este conceito desenvolvido pela SONAE em parceria com alunos de diversas universidades nacionais e internacionais, é apresentado na figura 2.1.



Figura 2.1: Protótipo do veículo do projeto Ghisallo. [3]

Antes de se iniciar o estudo do *benchmarking*, foi importante explorar de forma breve a introdução da bicicleta elétrica e da bicicleta dobrável na sociedade. Abordando então a bicicleta elétrica, esta surgiu por volta de meados de 1890 nos Estados Unidos e mesmo na Europa, aquando a tentativa de motorizar um veículo de uso individual. Atualmente, na Ásia e na Europa, este tipo de veículo é indispensável, sendo produzidas na China cerca de 34 milhões de bicicletas elétricas todos os anos. [6] Com a evolução, diferentes variantes deste tipo de bicicletas têm sido estudadas, com diferentes posicionamentos do motor, diferentes formas do quadro e a adaptação às três rodas, de forma a garantir melhor estabilidade do veículo sem que o utilizador tenha de colocar o pé no chão.

A bicicleta dobrável é também um conceito bastante explorado nos dias que correm, essencialmente pela necessidade do utilizador conciliar o seu uso com o dos transportes públicos. Devido à maior procura por parte do consumidor de apartamentos mais pequenos e com menor espaço de arrumação, encaixa-se também a bicicleta dobrável, que consiste numa bicicleta vulgar mas que permite a redução da sua pegada aquando dobrada. Este tipo de bicicletas surgiu originalmente com o propósito de servir no exército, por serem compactas e devido à sua fácil portabilidade; no entanto, na altura o processo de dobragem da bicicleta envolvia uma mecânica que hoje em dia é dispensável. Atualmente, em países como Áustria, Rússia, Japão, Inglaterra, Alemanha e Holanda, este é já um conceito muito usual e prático. [7]

2.3 Análise do *Benchmarking*

No desenvolvimento de um projeto é fulcral recorrer a uma análise do mercado para identificação do estado da concorrência em produtos idênticos. Relativamente à competição no mercado, começou-se por uma pesquisa aprofundada de veículos elétricos atualmente comercializados e posteriormente veículos elétricos com a particularidade de terem a função de fecho.

2.3.1 Bicicletas

Relativamente às bicicletas não elétricas, desenvolvida em Toronto, no Canadá, a Vanhawks Valour destaca-se como uma bicicleta movida a propulsão humana com um *design* inovador. Este veículo introduz a inovação de ter o quadro em fibra de carbono, que lhe permite atingir um peso simbólico de 7.3 a 8.9 kg, dependendo da existência ou não de mudanças. Para além disso, esta bicicleta tem associado um sistema que conecta com o telemóvel do utilizador e que permite, através do Google Maps, indicar a trajetória a percorrer através da vibração dos punhos direito e esquerdo do guiador consoante a direção, sem que seja necessário que este retire os olhos da estrada. Este sistema de vibração possibilita também alertar o condutor da aproximação de carros, garantindo uma condução mais segura. [8]

Esta bicicleta, apresentada na figura 2.2, tem um *design* ergonómico e um dínamo na roda frontal que permite carregar componentes eletrónicos, como o telemóvel, aquando a condução do veículo. O seu leve peso permite o fácil transporte para o interior do local de trabalho ou residência, evitando o furto do veículo. A Valour já existe à venda no mercado, com um custo associado de 813 a 1016 €. [8]



Figura 2.2: Bicicleta Vanhawks Valour. [8]

2.3.2 Bicicletas Eléctricas

Pertencente à Teague e à Taylor Sizemore, a Denny Bike é o conceito de uma bicicleta eléctrica com um *design* inovador, destacável pelo seu guiador em forma de U, amovível de modo a funcionar como um cadeado de elevada segurança. Com luzes automáticas que ligam e desligam em função do movimento ou não da bicicleta; onze velocidades; escovas nas rodas que atuam como guarda-lamas de modo a evitar que o utilizador se suje; piscas para avisar os automobilistas das intenções do condutor e ainda uma base para transporte de pequenas mercadorias na parte frontal da bicicleta; este veículo destaca-se por garantir a comodidade do ciclista, a segurança relativamente aos restantes veículos na via e ainda a segurança relativamente ao furto da mesma. [9]

No entanto, esta bicicleta vencedora do *Oregon Manifest Bike Design Project*, cujo prémio envolvia a sua produção patrocinada pela Fuji Bikes, acabou por não passar de um protótipo por o seu *design* complexo envolver restrições que impossibilitam a sua produção em massa. O seu *design* inovador é visível na figura 2.3 (a). [10]

A empresa espanhola Yamimoto desenvolveu a Desire, uma bicicleta eléctrica que garante a mobilidade sustentável, presente na figura 2.3 (b). Com o auxílio do motor eléctrico e de uma bateria de lítio de 36v e 13Ah, este veículo de duas rodas permite ao utilizador um suporte eléctrico de 80 km, de forma a garantir uma mais fácil deslocação para o trabalho sem qualquer esforço físico e evitando o trânsito regular. Uma das limitações desta bicicleta é o seu peso, de aproximadamente 25 kg, o que torna difícil carregá-la para locais interiores. Apresenta um *display* LCD com seis níveis diferentes de assistência e uma luz *led* traseira e dianteira, para permitir a melhor visibilidade do condutor e do veículo perante os automóveis presentes na estrada. Permitindo uma carga máxima de 120 kg, esta bicicleta também já se encontra disponível no mercado por um preço de 1580 €. [11]

Existe ainda um conceito em desenvolvimento, apresentado na figura 2.3 (c), de uma bicicleta eléctrica purificadora do ar, pertencente à Lightfog, com sede em Bangkok, na Tailândia: Air Purifier Bike. A inovação deste conceito é o facto de o guiador conter um filtro de ar que permite limpar poeiras e grande parte da poluição presente no mesmo aquando a utilização do veículo. Para além disso, contém também um “sistema de fotossíntese” que permite a

produção de oxigénio através da reação da água com a energia armazenada na sua bateria de lítio. O impacto positivo do uso deste veículo na pegada ambiental seria significativo se a sua comercialização conseguisse atingir níveis elevados. No entanto, este conceito ainda não foi estudado em protótipo e portanto não se garante a sua viabilidade. [12, 13]

Pertencente à Specialized Bicycle Components, uma marca americana de bicicletas e equipamentos ciclísticos, fundada na Califórnia, a Turbo Levo FSR Comp 6Fattie é uma bicicleta elétrica com elevada tecnologia, *performance* e resistência ao desgaste. Esta bicicleta apresenta um *design* alternativo, com um quadro em alumínio M5 *premium*, que o torna mais leve e robusto. De modo a auxiliar o condutor em subidas ou percursos mais sinuosos, sem que seja necessário recorrer ao apoio elétrico, o veículo tem 11 velocidades e uma cassete 10-42t. [14]

Todos os cabos presentes na Turbo Levo, figura 2.3 (d), estão escondidos e relativamente à componente elétrica, o motor e a bateria encontram-se integrados no quadro. O motor tem uma potência de 250W e a bateria, facilmente removível e acoplada no *down tube* do quadro, tem cerca de 500Wh. Para além disso, a bateria está associada a um sistema de *bluetooth*. O preço deste veículo encontra-se nos 4463.34 €. [14]



Figura 2.3: (a) Bicicleta elétrica Denny [9]; (b) Bicicleta elétrica Desire [11]; (c) Bicicleta elétrica Lightfog [12]; (d) Bicicleta elétrica Turbo. [14]

A tabela 2.1 apresenta sucintamente as especificações técnicas das bicicletas elétricas abordadas, sendo que para a Denny e para a Lightfog não são apresentadas especificações por não serem bicicletas atualmente comercializadas.

Tabela 2.1: Especificações técnicas das bicicletas elétricas.

Especificações Técnicas	Un	Métrica dos Concorrentes	
		Desire	Turbo Levo
Material do quadro	-	Al 6061	Carbono
Peso	kg	25	-
Peso suportado	kg	120	127
Rodas	inch	26	29
Motor	W	*	250
	Localização	Centro	Centro
Bateria	Ah	13	*
	km	80	*
Travões	-	V Brake	*
Preço	€	1580	4463.34

*Especificações não encontradas.

Observa-se então que a bicicleta Turbo apresenta um preço muito superior ao preço da Desire, no entanto também o peso que consegue suportar é superior e o material que usa é mais resistente, aparentando ser mais robusta e segura. Ambas contêm um motor central, no que concerne a componente elétrica e quanto ao peso, apesar de o peso da Turbo Levo não ser especificado, é possível prever uma maior leveza desta por o material do quadro ser carbono, muito mais leve que o alumínio e mais resistente.

2.3.3 Bicicletas Dobráveis

Relativamente às bicicletas dobráveis já existentes no mercado, é de salientar então a Verge N8, da Tern, empresa sediada em Taiwan, e a Vigor P9, da Dahon com sede na Califórnia, Los Angeles.

A Verge N8, presente na figura 2.4 (a), é uma bicicleta com um *design* futurístico apropriada para utilizadores que presam a velocidade e uma condução em posições mais aerodinâmicas. Esta bicicleta dobra em apenas dez segundos e apresenta duas rodas de dimensões inferiores às rodas das bicicletas convencionais, de cerca de 20 polegadas. Sendo a cassette, o conjunto de engrenagens presentes na roda traseira da bicicleta e que auxiliam o pedalar em subidas ou acelerações, a Verge N8 contém uma cassette 11 a 32 T, com oito velocidades. Além disso, por o seu quadro dobrar no meio, inclui um sistema OCL Joint que garante a imobilidade do mesmo em movimentos suaves ou bruscos, de modo a que o veículo esteja sempre fechado. Com o quadro em alumínio e a opção, por parte do cliente, da implementação de guarda-lamas, a bicicleta está limitada a um peso máximo total de 105 kg. Apesar da sua qualidade estrutural e do elevado número de mudanças para diminuir o esforço do utilizador, esta bicicleta não contém um motor elétrico, o que se torna inconveniente e desconfortável quando o seu uso não se restringe a distâncias inferiores a 20/30 km. [15]

A Vigor P9 é também uma possível concorrente do projeto Ghisallo, por ser uma bicicleta que quando dobrada atinge uma pegada muito reduzida, permitindo que caiba num autocarro ou comboio ou mesmo na mala do carro. Para além das suas reduzidas dimensões aquando dobrada, tem também um peso bastante simbólico de 11.7 kg, permitindo assim o seu fácil transporte. De igual modo à Verge N8, também a Vigor P9 aguenta um peso máximo de utilizador de 105 kg; o seu quadro é de alumínio e contém rodas de apenas 20 polegadas,

apesar destas terem a particularidade de serem mais largas que o habitual, garantindo uma melhor estabilidade do veículo. Apesar destas duas bicicletas terem bastantes semelhanças entre si, a Vigor P9 destaca-se por permitir uma maior assistência ao ciclista, devido às suas nove mudanças e também ao kit de primeiros socorros contido no veículo, com ferramentas que possibilitam que o utilizador resolva pequenos problemas no exato local onde estes surgem. Na figura 2.4 (b) é possível observar o veículo dobrado e não dobrado. [16]

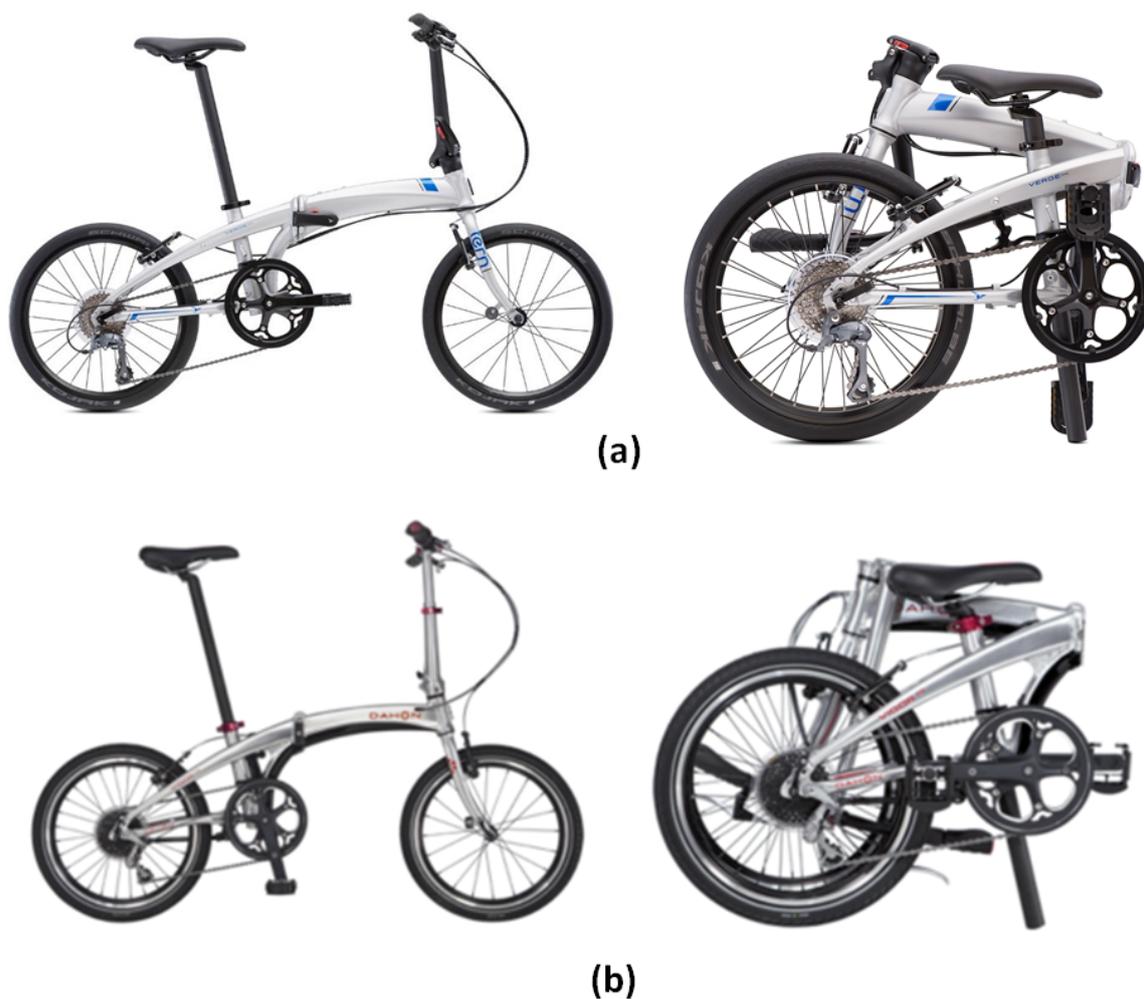


Figura 2.4: (a) Bicicleta dobrável Verge N8 [15]; (b) Bicicleta dobrável Vigor P9. [16]

A tabela 2.2 apresenta sucintamente as especificações técnicas das bicicletas dobráveis abordadas anteriormente.

Tabela 2.2: Especificações técnicas das bicicletas dobráveis.

Especificações Técnicas	Un	Métrica dos Concorrentes	
		Verge N8	Vigor P9
Material do quadro	-	Al 6061	Al
Peso	kg	11	11.7
Peso Suportado	kg	105	105
Altura Dobrada	mm	380	340
Largura Dobrada	mm	790	810
Comprimento Dobrada	mm	720	660
Rodas	inch	20	20
Travões	-	V Brake	V Brake
Tempo de Dobragem	s	10	*

*Especificações não encontradas.

Analisando então as especificações da Verge N8 e da Vigor P9, consegue-se observar que a primeira verifica uma pegada dobrada superior, sendo a pegada relativa à largura do veículo pelo seu comprimento. Ambas conseguem suportar o mesmo peso e têm o mesmo tamanho de rodas, no entanto a Vigor P9 é ligeiramente mais pesada que a Verge. Relativamente ao tempo de dobragem, apenas é especificado o tempo de dobragem da Verge N8, que corresponde a uma média de 10 segundos, comum a este tipo de veículos.

2.3.4 Bicicletas Elétricas Dobráveis

Um mercado de ainda maior relevância para o projeto baseia-se no mercado das bicicletas elétricas dobráveis, por o produto se aproximar ainda mais do produto a ser desenvolvido.

A Velectrix é a empresa líder na produção de bicicletas elétricas na Austrália e um dos seus projetos de maior destaque é a Velectrix Foldaway E-Bike, uma bicicleta elétrica dobrável facilmente adaptável a diferentes percentis e já com um elevado nível de tecnologia presente. Tem o quadro e as jantes em alumínio, pneus de tamanho reduzido de 20 polegadas e um peso máximo com bateria de 19.8 kg, aproximado ao da Ghisallo. [17]

Este veículo tem um motor dianteiro com uma potência de 200 W e 36 V, que garante uma velocidade média de 25 km/h. De modo a que o utilizador acompanhe a autonomia da bateria, no guiador localiza-se um ecrã LCD, que permite ainda ligar e desligar as luzes dianteiras e posteriores da bicicleta. A bateria de lítio, com 8.5 Ah, garante uma autonomia de 30 a 40 km. [17]

O seu quadro mais baixo que o quadro comum, observável na figura 2.5 (a), permite o fácil acesso à bicicleta, principalmente por utilizadores com idades mais elevadas e movimentos mais condicionados. Além disso, este veículo suporta um peso máximo de 110 kg e tem dois anos de garantia; o seu preço é de cerca de 2031.67 €. No entanto, apresenta algumas limitações como o facto de não permitir transporte de carga, o que obriga o utilizador a levar os seus bens numa mochila às costas, tornando-se desconfortável e aumentando o esforço físico; e o facto de ter apenas três mudanças, não fornecendo tanto apoio em subidas ou arranques mais rápidos, em que o cliente não queira recorrer à assistência do motor elétrico. Esta E-Bike tem a particularidade de ter um saco à sua medida, opcional por parte do cliente, para que seja mais fácil carregar e transportar a mesma. [17]

Ainda na Austrália, existe a Power-Ped, uma empresa produtora de bicicletas elétricas. Esta empresa encontra-se associada aos correios e as suas bicicletas são usadas pelos carteiros diariamente. A empresa desenvolveu então uma bicicleta compacta, leve e adequada para o utilizador diário ou para quem pedala apenas por lazer: a Sonata. [18]

A Sonata, na figura 2.5 (b), é também uma bicicleta elétrica com a particularidade de se dobrar em apenas 15 segundos, cabendo facilmente em autocaravanas e carros comuns, e sendo ainda possível guardá-la num saco, de modo semelhante à Velectrix, mas desta vez com rodinhas, permitindo assim o seu mais fácil transporte e uma melhor conservação do estado da mesma. [18]

Assistida por um motor elétrico dianteiro de 250 W, que permite uma velocidade média de 25 km/h; por uma bateria de lítio de apenas 2.4 kg, fácil de remover do veículo e que garante uma autonomia de 50 km; e com seis mudanças que auxiliam o condutor sem recurso à componente elétrica; esta bicicleta destaca-se como um dos veículos ideais para quem gosta de pedalar. Também este veículo usa rodas de apenas 20 polegadas e dispõe de um ecrã LCD para visualização da autonomia da bateria, distância e tempo percorrido, e até sinalização de eventuais falhas no sistema elétrico. No entanto, apresenta a desvantagem do seu peso elevado de 20 kg, dificultando o seu transporte pelo utilizador comum. [18]



Figura 2.5: (a) Bicicleta Velectrix [17]; (b) Bicicleta Sonata [18].

A Brompton Electric, da empresa Brompton Bicycle com sede em Londres, no Reino Unido, faz também parte do mercado das bicicletas elétricas dobráveis. Com rodas de apenas 16 polegadas, que permitem atingir velocidades maiores, esta bicicleta diferencia-se pelo seu quadro de aço, de elevada resistência, e por ser facilmente personalizável. [19]

Dobrável em cerca de 20 segundos, o seu design permite integrar uma mala na parte frontal, de diferentes estilos e tamanhos de acordo com a dimensão da bagagem do cliente. Dobrado, este veículo ocupa dimensões reduzidas que permitem que caiba em espaços confinados, como malas de automóveis e transportes públicos. [19]

O motor da bicicleta localiza-se na roda dianteira e é um motor sem escovas DC com uma potência de 250 W e que permite atingir uma velocidade máxima de 25 km/h. Inclui ainda uma bateria de 36 V e 8.55 Ah, que garante uma autonomia de 40 a 80 km, conforme as condições ambientais e a condução do utilizador. Associada à bateria está uma porta USB que permite carregar aparelhos eletrónicos durante a utilização do veículo, como o telemóvel ou o MP3; e também uma *interface* para o acompanhamento do estado da bateria. A bateria é facilmente removível e a empresa fornece um saco de 1.5 L para armazenamento da mesma; para além disso, se o utilizador desejar existe também uma mala de maiores dimensões (20 L) para guardar outros objetos como o computador. [19]

Esta bicicleta é comercializada em duas versões: uma com apenas duas velocidades e outra com seis velocidades. A bateria tem um peso de apenas 2.2 kg e a mala de 0.7 kg. Esta bicicleta suporta um peso máximo de 107 kg e tem um peso de 16.6 kg a 17.3 kg, mediante o número de velocidades, permitindo ao utilizador o transporte da mesma para divisões interiores ou mesmo transportes públicos. A Brompton Electric, visível na figura 2.6 (a), tem uma garantia de dois anos e encontra-se à venda no mercado por 2941.51 a 3122.87 €. [19]

A Tern, mencionada anteriormente, está também envolvida no mercado das bicicletas elétricas dobráveis. Uma das suas bicicletas desta categoria a ser comercializada de momento é a Vektron S10, um projeto em parceria com a Bosch. [20]

A Vektron S10, na figura 2.6 (b), é uma bicicleta dobrável em 10 segundos de modo a permitir o transporte multimodal para quem tem de se deslocar grandes distâncias impossíveis de percorrer apenas de bicicleta. Para além disso, é facilmente ajustável para que possa ser usada por pessoas de diferentes percentis, podendo ser partilhada por toda a família. [20]

Todo o sistema de transmissão e sistema elétrico foram desenvolvidos e produzidos pela Bosch, a empresa alemã líder no que concerne a tecnologia em bicicletas elétricas. As suas rodas de apenas 20 polegadas, quadro em alumínio e um sistema de transmissão de dez velocidades, entre outros, conferem à bicicleta um peso de cerca de 21.8 kg e a capacidade máxima de 105 kg. Além do mais, o quadro da bicicleta permite o encaixe de assentos de criança comercializados pela Thule, para que o utilizador possa transportar consigo o seu bebé ou criança, em segurança e confortavelmente. [20]

O motor, posicionado no centro da bicicleta, tem uma potência de 250 W e permite atingir uma velocidade máxima de 25 km/h, sendo silencioso e garantido pouca vibração. A bateria, rapidamente recarregável em 2.5 a 3.5 horas, pode ter uma capacidade de 300, 400 ou 500 Wh, influenciando assim a autonomia da mesma: 35 a 90 km; 45 a 100 km; 55 a 120 km, respetivamente. [20]

Desenvolvido também pela Bosch, a Vektron S10 contém um ecrã no guiador que fornece informações do estado da bateria, da velocidade e da distância percorrida, sendo robusto, compacto e permitindo constantes *updates*. [20]

Existe também ainda apenas em protótipo e em desenvolvimento pela Impossible Tech-

nology, um novo conceito de bicicleta elétrica dobrável, ainda não disponível no mercado por a empresa não ter recursos suficientes: a Impossible Bike. [21]

A Impossible Bike consiste numa bicicleta de tamanho e peso muito reduzidos, com rodas de 10.5 polegadas e 7 kg e quando dobrada cabe numa mala de tamanho equivalente à mala de um computador portátil. Este veículo elétrico é de fácil transporte devido ao material do seu quadro, em fibra de carbono, que lhe confere uma leveza inatingível com o alumínio ou aço e ao mesmo tempo garante uma elevada durabilidade. O quadro apresenta a particularidade de ter um *design* que consiste em apenas duas circunferências e de ter o assento e o guiador a alturas equiparadas, o que confere estabilidade à estrutura em termos de distribuição do peso. A unir as duas circunferências existe uma “caixa” de aço que dá mais apoio à estrutura e a protege contra choques, permitindo que a bicicleta suporte uma carga até 100 kg. [21]

Devido às limitadas dimensões da Impossible Bike, o motor usado está projetado para ser um motor DC de escovas, totalmente desenvolvido pela própria empresa. Um *chip* microprocessador está associado ao disco do motor, à bateria e ainda a um receptor *wireless*; o sistema elétrico garante uma autonomia de cerca de uma hora e uma velocidade máxima de 20 km/h. De modo a otimizar o espaço e a tornar o design mais atrativo, a bateria de lítio facilmente removível, encontra-se camuflada no assento do veículo. Esta bateria fica totalmente recarregada em cerca de duas horas. [21]

Esta bicicleta, apresentada na figura 2.7 (a), pode ser personalizada e está associada a uma mala criada para o transporte da mesma, a Impossible Backpack. Além disso, foi também desenvolvida uma aplicação para o telemóvel para que o utilizador possa acompanhar o desempenho de veículo e notificações sobre a bateria, entre outros. No entanto, esta bicicleta apresenta alguns problemas começando pelo facto de não ter pedais e a sua autonomia ser reduzida, obrigando o utilizador a percorrer curtas distâncias ou a andar precavido com uma bateria suplente; por ser tão leve e ter um design mais simples, apresenta mais fragilidades em termos estruturais requerendo uma maior manutenção. [21]

A empresa Japonesa Harada Vehicle Design criou recentemente uma bicicleta elétrica dobrável em apenas três segundos, a Blaze Smart EV. Esta bicicleta contém um motor elétrico que permite atingir uma velocidade de cerca de 29 km/h e uma bateria de 400 Wh, que demora cerca de 3.5 horas a recarregar na sua totalidade e garante uma autonomia de aproximadamente 30 km. O veículo com um peso de cerca de 18 kg não permite uma assistência suficiente para o seu uso diário e foi portanto concebido a pensar essencialmente em passeios turísticos. O preço estabelecido no mercado encontra-se nos 1239 €. A imagem 2.7 (b) que se segue é ilustrativa do veículo. [22]



Figura 2.6: (a) Bicicleta Brompton [19]; (b) Bicicleta Vektron S10 [20].



(a)



(b)

Figura 2.7: (a) Bicicleta Impossible Bike [21]; (b) Bicicleta Blaze Smart EV [22].

A tabela 2.3 apresenta sucintamente as especificações técnicas das bicicletas elétricas dobráveis abordadas anteriormente, com exceção da Impossible Bike por ser apenas um protótipo e da Blaze Smart EV por não serem fornecidas as suas características.

Tabela 2.3: Especificações técnicas das bicicletas elétricas dobráveis.

Especificações Técnicas	Un	Métrica dos Concorrentes			
		Velectrix	Sonata	Brompton	Vektron S10
Material do quadro	-	Al	Al 6061	*	Al 6061
Peso	kg	19.8	20	16.6-17.3	21.8
Peso Suportado	kg	110	*	107	105
Altura Dobrada	mm	670	*	585	650
Largura Dobrada	mm	550	*	270	410
Comprimento Dobrada	mm	850	*	565	860
Rodas	inch	20	20	16	20
	W	200	250	250	250
Motor	km/h	25	25	25	25
	Localização	Dianteira	Dianteira	Dianteira	Dianteira
Bateria	Ah	8.5	8.6	8.55	8.2 a 13.4
	km	30-40	50	40-80	35-120
Travões	-	*	V Brake	Dual Pivot	Hidráulicos
Tempo de Dobragem	s	10	15	20	10
Preço	€	2031.67	*	3122.87	*

*Especificações não encontradas.

Relativamente às bicicletas elétricas dobráveis, a que consegue obter a menor pegada dobrada é a Brompton, com cerca de $0.15 m^2$. A Brompton é ainda o veículo mais leve, suportando cargas máximas semelhantes aos restantes apresentados. Apenas se conseguiu especificar o preço de duas bicicletas, que permitiram concluir que a Brompton apresenta um preço elevado no mercado. Relativamente ao tempo de dobragem, a Velectrix e a Vektron S10 conseguem apresentar valores mais competitivos.

2.3.5 Veículos Elétricos de Três Rodas

Introduzindo os veículos de três rodas, numa fase inicial foi importante explorar o mercado dos elétricos não dobráveis com duas rodas dianteiras. Vindos de uma empresa Finlandesa e outra Francesa, os velocípedes abordados de seguida têm um *design* semelhante mas especificações distintas.

O E Trike Tricycle idealizado e concebido na Finlândia, figura 2.8, apresenta uma elevada qualidade, robustez e um *design* inovador e elegante. As suas rodas têm apenas 20 polegadas, o quadro é mais baixo de forma a facilitar a entrada e saída do veículo e a sua parte frontal contém um suporte com um cesto que permite o transporte da mercadoria do utilizador. Para além disso, as suas luzes dianteiras e traseiras são acionadas por um dínamo presente no cubo dianteiro, e garantem a segurança e visibilidade do usuário. [23]

Este veículo apresenta um elevado peso de 30 kg, um comprimento de cerca de 1750 mm e um desviador traseiro Shimano. Relativamente à componente elétrica, é assistido por um motor elétrico de 36 V e 400 W, e uma bateria de lítio removível, de origem japonesa, com apenas 3 kg, 36 V e 400 Wh. O velocípede está atualmente à venda por 4199.96 €. [23]

Existe também um veículo elétrico de uma empresa francesa, designado de Pronto e de semelhante configuração ao anteriormente mencionado. O Pronto permite o transporte de mercadorias de um máximo de 20 kg, no cesto que acopla na sua frente. A sua estrutura pesa cerca de 45 kg e suporta um peso máximo do usuário de 100 kg. Com um comprimento de 1820 mm e uma largura de 710 mm, não é propriamente compacto e leva a restrições em termos de espaços onde não consegue circular. Encontra-se à venda no mercado por 4839 € e existe ainda pouca informação disponível sobre o mesmo, no entanto a figura 2.8 (b) ilustra o produto. [23]



(a)



(b)

Figura 2.8: (a) Veículo elétrico E Trike [23];(b) Veículo elétrico Pronto [23].

A tabela 2.4 apresenta sucintamente as especificações técnicas dos veículos elétricos não dobráveis de três rodas.

Tabela 2.4: Especificações técnicas veículos elétricos de três rodas.

Especificações Técnicas	Un	Métrica dos Concorrentes	
		E Trike	Pronto
Material do quadro	-	Al	*
Peso	kg	30	45
Peso Suportado	kg	*	100
Altura	mm	980-1080	*
Largura	mm	1010	710
Comprimento	mm	1750	1820
Mercadoria suportada	kg	*	20
Rodas	inch	20	20 e 26
Motor	W	400	*
	Localização	Traseira	*
Bateria	Wh	400	*
	km	80	*
Preço	euro	4199.96	4839

*Especificações não encontradas.

Estes dois veículos de duas rodas dianteiras apresentam elevadas dimensões e um peso exagerado, dificultando o seu transporte pelo utilizador. Para além do elevado peso, ambos estão presentes no mercado por um preço demasiado acima do preço acessível ao utilizador comum.

2.3.6 Veículos Elétricos de Três Rodas Dobráveis

Relativamente ao mercado de maior concorrência ao projeto, o mercado dos velocípedes elétricos dobráveis de três rodas, estão já a ser comercializados alguns produtos de características semelhantes, uns de igual modo com duas rodas dianteiras e outros com duas rodas traseiras.

Com duas rodas traseiras

Numa primeira fase analisaram-se os veículos com duas rodas traseiras. A Electric Bike Technologies LLC especializada na produção de bicicletas elétricas de elevada *performance* desde 2008, e nos seus motores e baterias, desenvolveu um novo conceito e fabricou um novo velocípede elétrico dobrável, com duas rodas traseiras e uma dianteira, a Liberty Trike. [24]

Em 2015, a empresa criou a Liberty Trike, presente na figura 2.9 (a), com base em várias sugestões e pedidos enviados por clientes. Destinada a todo o tipo de clientes e com o intuito de promover o estilo de vida saudável, a Liberty permite a fácil deslocação do utilizador sem que fique fisicamente desgastado. [24]

Relativamente aos componentes elétricos, contém um motor com uma potência de 750 W que permite atingir uma velocidade máxima de cerca de 18 km/h e uma bateria de lítio de 36 V e 10 Ah, que demora cerca de três horas a recarregar na sua totalidade, oferecendo uma autonomia de 29 a 49 km. O ecrã LCD que se encontra no guiador permite visualizar o estado do sistema elétrico e selecionar uma das cinco velocidades disponíveis. [24]

O seu sistema de fecho consiste no rebaixar do assento e no folgar do sistema de bloqueio do quadro, facilitando assim o seu transporte e permitindo que caiba em espaços reduzidos. Além disso, a distância entre as suas rodas traseiras foi calculada para que o condutor consiga sempre com facilidade passar nas portas dos estabelecimentos em cima do seu veículo. [24]

A estrutura da Liberty Trike suporta um peso máximo de cerca de 180 kg e por pesar 27 kg, requer sempre o recurso à assistência elétrica em subidas. As suas rodas apresentam um diâmetro de 16 polegadas e maior largura, de modo a garantir mais estabilidade durante a sua condução. Para além disso, o motor situa-se na roda dianteira. [24]

De *design* semelhante ao da Liberty Trike, com duas rodas traseiras e uma dianteira, existe ainda o velocípede elétrico dobrável da Jorvik, uma empresa sediada em Inglaterra: Jorvik Folding Electric Trike. [25]

A Jorvik Trike tem então um quadro de um leve alumínio para garantir o menor peso possível do veículo; suportes que permitem o uso de cestos na parte traseira e frontal do veículo, para o transporte das mercadorias do utilizador; um sistema para rápido desenganche da roda frontal, de modo a diminuir a altura do veículo para que possa caber em malas de carros ou mesmo em elevadores e transportes públicos, sem qualquer dificuldade; e ainda, pneus adaptáveis a todo o tipo de terreno e um quadro dobrável em apenas alguns segundos. [25]

O motor encontra-se localizado na roda dianteira e é um motor sem escovas de 250 W que permite atingir uma velocidade máxima de cerca de 24 km/h. A bateria de lítio de 36 V permite uma autonomia de 48 km e tem aproximadamente 10 anos de vida. Esta bateria recarrega em cerca de 4 horas e é facilmente removível por se localizar debaixo do assento do condutor. Para além disso, a bicicleta tem um acelerador que permite que a mesma ande a 7 km/h sem que seja necessário pedalar. Tem ainda um sistema de seis velocidades. [25] De modo a proteger o utilizador da lama e de roupas presas nas correntes, o veículo está equipado com guarda-lamas e uma caixa protetora no sistema de engrenagens. O assento e o guiador são ambos de fácil ajuste de modo a garantir o máximo conforto do utilizador. [25] A Jorvik Trike, presente na figura 2.9 (b) que se segue, pesa cerca de 32 kg, suporta um peso máximo de 159 kg, inclui um carregador para a bateria e é personalizável, por ser possível optar por diferentes cores do quadro e assento e pelo uso ou não dos cestos. O seu preço de venda ronda os 2041 €. [25]

Ainda neste mercado existe também o Tricycle E132, na figura 2.9 (c), da empresa Monty fundada em 1983 por Pere Pi, um empreendedor com elevada experiência em motociclos. Este veículo elétrico dobrável tem um quadro de alumínio com uma geometria especial que garante a fácil montagem do mesmo e tem ainda a particularidade de ter um assento com encosto para as costas, tornando-se assim mais apelativo para o utilizador por garantir maior conforto e ser fácil e rápido de usar. [26]

Com rodas de apenas 20 polegadas e um peso considerável de 30 kg, permite acoplar dois cestos para o transporte de carga, um à frente e outro atrás, que conseguem suportar 25 e 40 kg, respetivamente. Contém um motor sem escovas no centro do veículo, com uma potência de 250 W e uma bateria de lítio de 36V e 9Ah, que garantem uma velocidade máxima de 25 km/h e uma autonomia de 25 a 40 km, mediante o terreno e o utilizador em questão. A bateria demora cerca de quatro a seis horas a recarregar na sua totalidade. O seu sistema de sete velocidades permite assistir o cliente em subidas mais inclinadas e o seu sistema de dobragem garante o mais fácil transporte do veículo e a sua arrumação dentro do automóvel e até dentro de casa. [26]



Figura 2.9: (a) Triciclo Liberty Trike [24]; (b) Triciclo Jorvik. [25]; (c) Triciclo Monty [26].

A tabela 2.5 apresenta as especificações técnicas dos veículos elétricos dobráveis abordados anteriormente.

Tabela 2.5: Especificações técnicas veículos elétricos dobráveis com duas rodas traseiras.

Especificações Técnicas	Un	Métrica dos Concorrentes		
		Liberty	Jorvik	Tricycle E132
Material do quadro	-	*	Al	Al
Peso	kg	27	32	30
Peso Suportado	kg	180	159	*
Altura	mm	*	*	1050
Altura Dobrada	mm	*	290	960
Largura	mm	*	*	680
Largura Dobrada	mm	*	410	840
Comprimento	mm	1450	*	1550
Comprimento Dobrada	mm	*	500	860
Mercadoria suportada	kg	*	*	25-40
Rodas	inch	16	20	20
	W	250	250	250
Motor	km/h	18	24	25
	Localização	Dianteira	Dianteira	Centro
Bateria	Ah	10	10	8,9
	km	29-49	48	25-40
Travões	-	Disco	V brake	Disco
Preço	€	1217.5	2041	*

*Especificações não encontradas.

Dos veículos de duas rodas traseiras e uma dianteira apresentandos, o que contém mais especificações definidas é o Tricycle E132. No entanto, pode-se observar que os três veículos

têm um *design* semelhante e um peso também aproximado. O Jorvik é a plataforma de mobilidade que apresenta uma menor pegada dobrada, no entanto o seu preço de venda é elevado.

Com duas rodas dianteiras

Relativamente aos veículos de duas rodas dianteiras elétricos o mercado não é ainda muito vasto. No entanto, existe a eKiffy criada pela Easy Design Technology, uma sociedade francesa composta pelo gerente do grupo ITI e pelo CEO da Chaudronnerie Fine de la LOIRE. [27]

Este veículo de três rodas, duas à frente e uma atrás, de cerca de 20 polegadas, é constituído por um quadro de fácil fecho que permite que a bicicleta caiba em transportes públicos ou noutros espaços confinados. Para além destas três rodas, a eKiffy tem ainda mais duas rodas pequeninas associadas a uma plataforma onde encaixa a parte traseira do veículo quando dobrado, facilitando o seu posterior transporte. No seu fecho, o quadro é separado em dois componentes distintos, de forma a que se consiga usar apenas a parte da frente do veículo como um *trolley*. [28]

A eKiffy tem a singularidade de ter o seu próprio *Swing System*, patenteado pela Easy Design Technology, que lhe confere elevada estabilidade quando parada num terreno plano ou íngreme, e especialmente em curvas acentuadas. Este sistema presente na figura 2.10, permite uma condução mais segura por garantir a estabilidade estática do veículo, sendo assim apropriado para todas as idades. [29]



Figura 2.10: Direção pendular da eKiffy. [29]

O veículo, visível na figura 2.11 (a), é constituído por um quadro de alumínio, um sistema de travões de disco hidráulicos que asseguram uma travagem eficaz, um motor localizado no centro da bicicleta de 250 W que permite velocidades máximas de 25 km/h, e uma bateria de lítio removível de 6.25 Ah e 48 V que permite uma elevada autonomia de 105 km e que demora cerca de três horas a recarregar na sua totalidade. Apresenta ainda três modos diferentes: modo *eco*; modo *smart*; e modo *sport*. [30]

Na sua parte frontal há um suporte que permite o fácil transporte de malas e outras mercadorias de até 30 kg. O suporte e todo o quadro do veículo são personalizáveis consoante o gosto do utilizador. Este velocípede suporta um peso máximo de 120 kg. [30]

A eKiffy existe em duas versões distintas, a eKiffy Fix ou Flash, sendo que a Fix não é dobrável por o seu quadro não ser desmontável, contrariamente à versão Flash. Para além das versões elétricas, existem de igual modo a Fix e a Flash para a Kiffy sem motor de características semelhantes. Não sendo um veículo elétrico, dependendo da possibilidade de separação ou não do seu quadro, o seu preço encontra-se entre os 2150.40 € e os 2349.60 €, respetivamente. Relativamente à eKiffy, o preço desta vai desde os 3690 €. Para além disso, existem também à venda alguns acessórios como um protetor de cabeça para condições atmosféricas adversas e coberturas para o transporte mais seguro de crianças, entre outros. [30]

Para além da eKiffy desenvolvida pela empresa francesa, a Smabike Technology, uma empresa sediada na China criada em 2015, desenvolveu e tem atualmente à venda no mercado a Electric Bike, um velocípede elétrico de duas rodas dianteiras e uma traseira com sistema de fecho. No entanto, este tem a particularidade de não ter pedais e das suas rodas frontais não terem qualquer tipo de ligação entre si, facilitando, este último, o movimento de viragem ao dar mais amplitude ao mesmo e permitindo um mais eficaz e compacto fecho do veículo. [31]

As suas rodas têm apenas 14 polegadas e o seu quadro é baixo e apresenta um *design* simples, pesando cerca de 21.5 kg. O seu motor DC sem escovas, situado na traseira do veículo, de 250 W, permite atingir velocidades máximas de 30 km/h e a sua bateria de lítio, de 36 V e 7.8 Ah, garante uma autonomia de 30 a 35 km e demora quatro a seis horas a recarregar na sua totalidade. Para além disso, é possível o uso simultâneo de duas baterias. [31]

O seu sistema de fecho permite diminuir significativamente a altura e comprimento do veículo, em cerca de 300 a 400 mm, permitindo assim o seu fácil transporte e entrada em espaços confinados. No entanto, este veículo não permite o transporte de qualquer carga por não ter nenhum suporte para malas. Anualmente, são produzidos cerca de 18000 destes veículos a 705.25 € e o maior *output* anual atingido pela empresa foi de 50000 veículos. A figura 2.11 (b) ilustra o veículo dobrado e também na posição de condução. [31]

A Etnnic, sediada em Espanha, introduziu e desenvolveu um novo conceito de velocípede elétrico dobrável: Etnnic Folding Trike, na figura 2.11 (c). [32]

A Etnnic apresenta o quadro mais baixo dos veículos anteriormente referidos, a cerca de 260 mm do chão, de alumínio 6000, levando a um peso total do veículo de 21 kg. Este veículo é comercializado com dois tipos diferentes de quadro, um mais simples e outro semelhante mas com a possibilidade de acoplar uma mala à frente para o transporte das mercadorias do utilizador. [32]

Dobrado, o veículo consegue diminuir em 75 % a sua pegada. Para além da assistência das mudanças com duas velocidades, garante também assistência elétrica pelo seu motor de 250 W e pela bateria de 11 Ah, presentes no quadro. De referir também que consegue suportar uma carga máxima de 100 kg e encontra-se à venda no mercado por 2295 €. [32]



Figura 2.11: (a) Triciclo elétrico Kiffy [30], (b) Triciclo elétrico Eletric Bike [31] e (c) Triciclo elétrico Etnnic [32], não dobrados e dobrados respectivamente.

Na tabela 2.6 são expostas sucintamente as especificações técnicas dos veículos mencionados anteriormente, de duas rodas dianteiras e uma traseira.

Tabela 2.6: Especificações técnicas veículos elétricos dobráveis com duas rodas dianteiras.

Especificações Técnicas	Un	Métrica dos Concorrentes		
		eKiffy	Eletric Bike	Etnnic
Material do quadro	-	Al	Al	Al
Peso	kg	13	21.5	21
Peso Suportado	kg	120	*	100
Altura	mm	1150	1350	1000
Altura Dobrada	mm	1150	1060	800
Largura	mm	530	570	800
Largura Dobrada	mm	530	570	390
Comprimento	mm	1700	870	1350
Comprimento Dobrada	mm	570	380	690
Mercadoria suportada	kg	80	**	*
Rodas	inch	20	14	20
	W	250	250	250
Motor	km/h	25	30	*
	Localização	Centro	Traseira	Centro
	Ah	6.25	7.8	11
Bateria	km	105	30-40	*
Travões	-	Hidráulicos	Disco	*
Preço	€	3690	705.25	2295

*Especificações não encontradas.

**A Eletric Bike não possui nenhuma estrutura para transporte de bagagem.

Dos veículos apresentados, o que apresenta menor pegada dobrada é a Eletric Bike, no entanto, por não ter pedais a sua avaliação em relação às outras não é tão relevante. Depois de dobradas, a eKiffy e a Etnnic conseguem reduzir consideravelmente a sua pegada, sendo que a Etnnic consegue uma pegada inferior a $0.3 m^2$. Estes dois veículos ainda apresentam preços algo elevados no mercado, no entanto balanceando fatores como o peso, a autonomia e a sua robustez, estas duas plataformas conseguem satisfazer plenamente as necessidades do utilizador.

Para efeitos comparativos das especificações mais relevantes de cada veículo abordado anteriormente, apresentam-se os quatro gráficos 2.12, 2.13, 2.14 e 2.15, relativos ao peso, preço, pegada dobrada e número de gestos para o fecho do veículo, respetivamente.

Interpretando os gráficos apresentados, facilmente se consegue observar que sobre os veículos elétricos recai um preço muito superior relativamente aos não elétricos, devido ao custo desta componente; o mesmo se pode confirmar relativamente ao peso, visto que o motor e a bateria acrescentam cerca de 7 kg ao peso total do veículo. Quanto ao esquema de fecho dos veículos, a eKiffy de três rodas consegue ser dobrada em apenas 4 gestos equiparando-se a veículos de duas rodas. Quanto à pegada dobrada, a plataforma de três rodas Tricycle E132 é a que verifica uma maior área dobrada. Relativamente aos veículos de duas rodas dianteiras, apesar da Etnnic ter um peso ligeiramente mais elevado e necessitar de mais gestos para o seu fecho, analisando os quatro gráficos, esta consegue sobressair positivamente comparativamente à eKiffy.

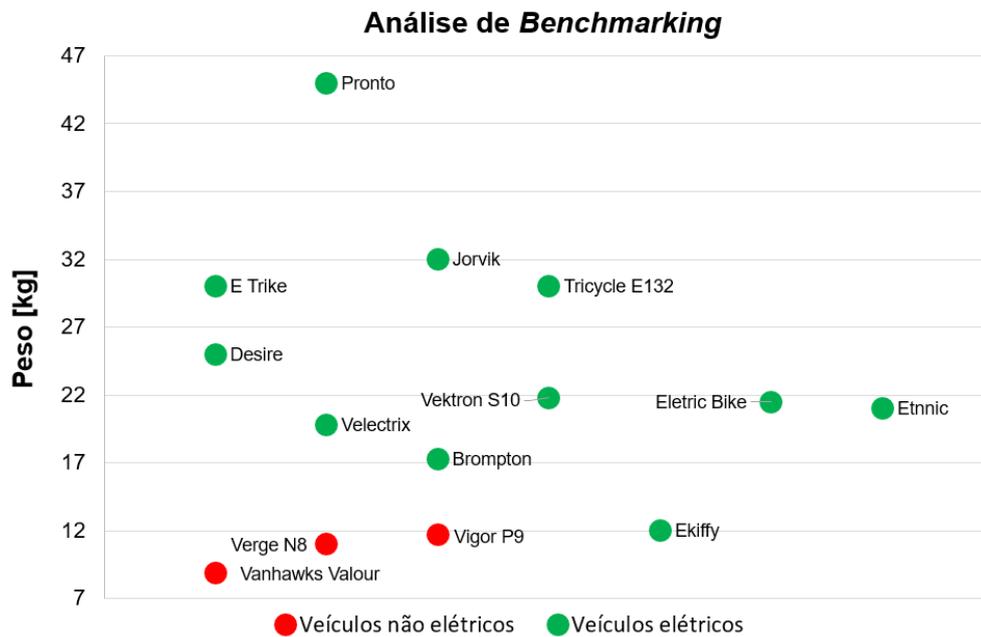


Figura 2.12: Comparação dos veículos anteriormente mencionados relativamente ao seu peso em quilogramas.

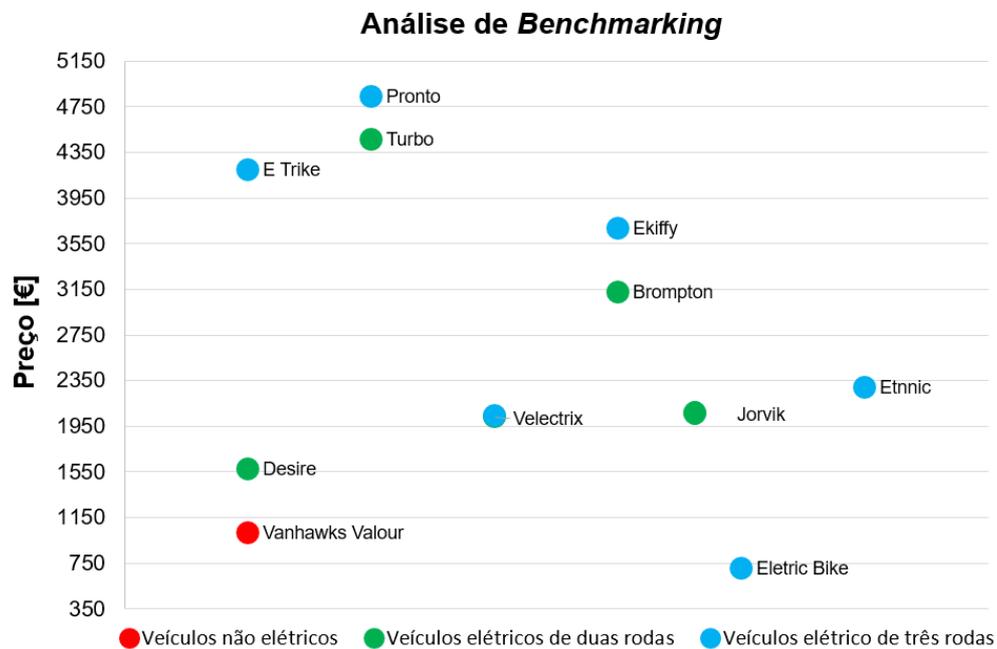


Figura 2.13: Comparação dos veículos anteriormente mencionados relativamente ao seu preço no mercado.

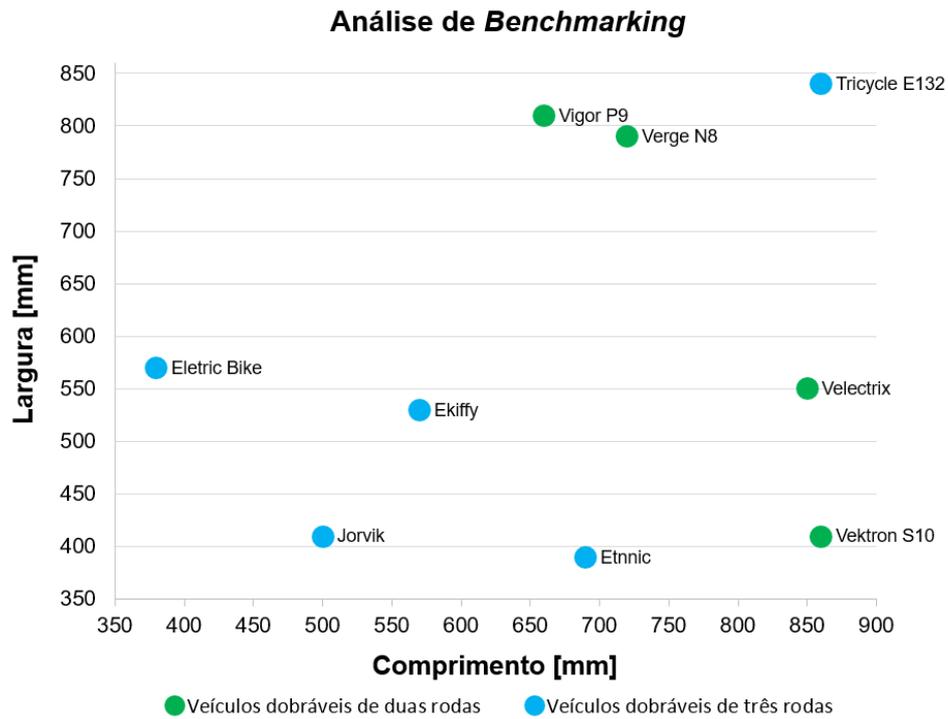


Figura 2.14: Comparação dos veículos dobráveis anteriormente mencionados relativamente à sua pegada dobrada, sendo esta dada pela largura pelo comprimento, em milímetros.

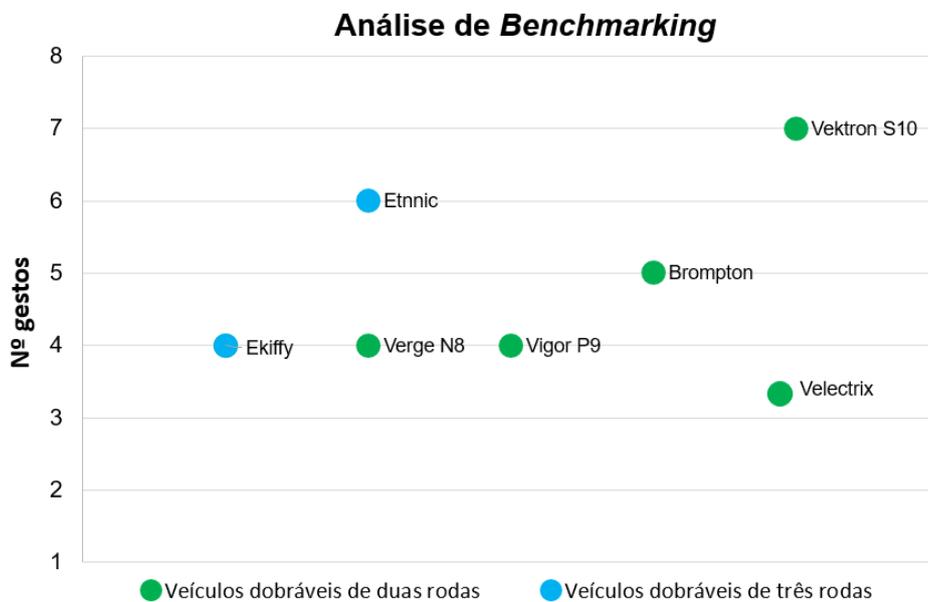


Figura 2.15: Comparação dos veículos dobráveis anteriormente mencionados relativamente ao número de gestos necessários para o seu fecho.

Estes gráficos permitem que na fase que se segue do projeto, facilmente se consigam identificar os concorrentes mais relevantes para ter em consideração como referência e se definirem os valores meta.

Capítulo 3

Processo de desenvolvimento do veículo

3.1 Introdução

Neste capítulo é apresentado todo o processo de desenvolvimento do veículo em questão, desde o estudo ergonómico e antropométrico, à identificação dos requisitos do utilizador e ao relacionamento destes com as especificações técnicas do produto. São expostas as ferramentas utilizadas para priorizar os requisitos e posteriormente as especificações: como o diagrama de Mudge, o diagrama de Kano e a casa da qualidade.

Ainda neste capítulo são explorados diversos conceitos para o quadro e direção do veículo e através de tabelas comparativas, selecionados os conceitos finais. Por fim, é apresentada a arquitetura e modularidade do produto, para que se consiga ter uma mais fácil percepção a que funções estão associados os diversos componentes e as relações entre os mesmos.

3.2 Estudo da ergonomia e antropometria

Previamente ao preenchimento da matriz da qualidade, recorreu-se a um estudo de ergonomia e antropometria de modo a garantir que, desde o início, o produto cumpriria as dimensões e geometria necessárias ao seu fácil uso por parte do condutor. [33, 34]

A palavra ergonomia, originária do grego *ergon* e *nomos*, designa o conjunto de leis e normas que estudam a interação entre humanos e produtos de forma a otimizar o conforto e segurança do homem e garantir a melhor *performance* do produto. Para além disso, este estudo permite identificar logo numa fase primitiva, quais os aspetos que poderão trazer a inovação e distinção do modelo. [35]

Este estudo tem em consideração diversos factores mediante o produto a ser desenvolvido: factores físicos, biológicos, psicológicos, de trabalho e organizacionais. No entanto, no desenvolvimento deste produto, recorreu-se a uma análise física do mesmo, por as suas dimensões serem o aspeto fulcral para o conforto do cliente durante a sua condução. [33]

Duas variáveis importantes neste estudo são a antropometria e a posição de condução. A posição de condução influencia medidas como o alcance funcional do utilizador, a ter em consideração no dimensionamento do veículo. No caso da antropometria, esta consiste no estudo das medidas do corpo humano e permite obter informações para o desenvolvimento do veículo à medida do mesmo.

3.2.1 Posição de Condução

A postura de condução é um fator determinante na geometria do veículo e no conforto do utilizador. No mercado, existem atualmente variados modelos de bicicletas associados a um conjunto de posições de condução. [36]

As posições apresentadas na figura 3.1, representam as posturas adotadas por diferentes utilizadores, consoante a sua preferência e também consoante o motivo do uso do veículo.

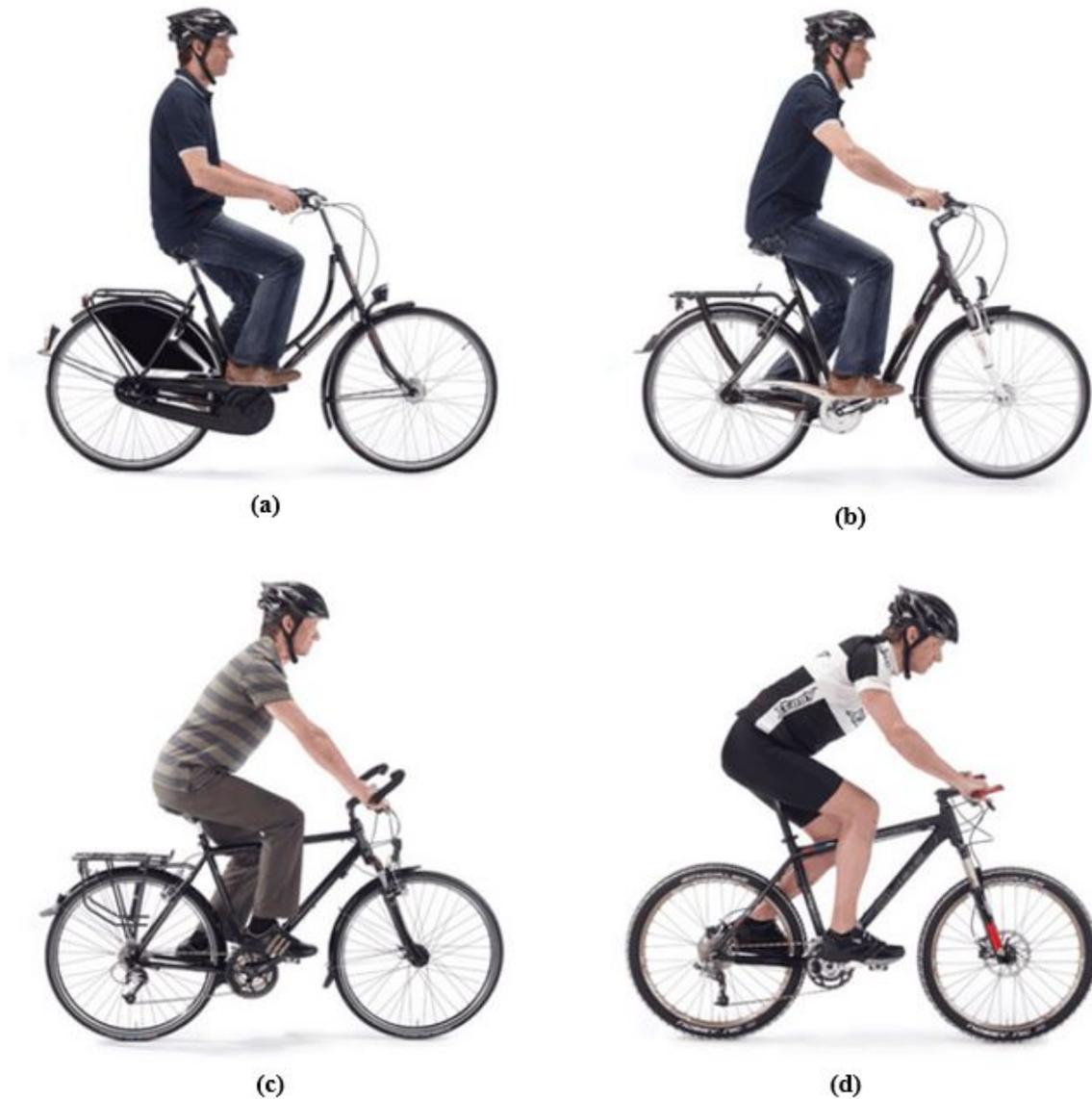


Figura 3.1: (a) Posição clássica *Dutch*; (b) Posição cidadina; (c) Posição Desportiva/Turismo; (d) Posição de competição. [36]

- **Posição Clássica (Dutch)**

A posição clássica, também conhecida pela posição *Dutch*, garante o pleno conforto do

utilizador. A sua postura com a coluna direita a fazer um ângulo de 90° com o chão e com o guiador perto do tronco, alivia a tensão nos braços e nas mãos, para uma viagem mais cómoda. A desvantagem desta posição é o facto do peso recair em grande parte na zona posterior do veículo. [37]

- **Posição Citadina**

Na posição citadina, o tronco do condutor está inclinado perfazendo um ângulo de aproximadamente 60° a 70° com o chão. Nesta posição, o condutor consegue uma boa visibilidade do trânsito e tem mais facilidade em pedalar. No entanto, exige um assento mais alto que pode ser inseguro e devido à necessidade dos braços estarem esticados, torna-se mais desconfortável para o utilizador, podendo originar câimbras nos ombros e dores nas mãos. [37]

- **Posição Desportiva/Turismo**

Esta posição é adequada para viagens longas pelo facto dos ombros, pescoço e mãos suportarem uma grande parte da força e aliviarem a pressão nas costas, espinha e nádegas. O tronco do utilizador, contrariamente às posições anteriores, encontra-se bastante inclinado fazendo um ângulo de cerca de 30° a 60° com o chão e a distância do guiador ao selim é considerável. A grande desvantagem desta postura é a necessidade do treino dos músculos para que o corpo reaja confortavelmente. [37]

- **Posição de Competição**

Por último, a posição de competição envolve uma condução agressiva, de grandes velocidades, e por isso exige um tronco exageradamente inclinado de 15° a 30° com o chão e um assento de altura superior ao guiador. Esta postura garante uma ótima transmissão de potência e é bastante aerodinâmica, no entanto é incompatível com a condução diária e citadina, por esforçar continuamente o corpo. [37]

O projeto em questão envolve uma plataforma de mobilidade suave citadina, em que o utilizador pretende usar diariamente o veículo e esforçar o mínimo possível o seu corpo de forma a que consiga realizar a viagem casa-trabalho confortavelmente e nas mesmas condições em que saiu de casa.

Assim, a postura aconselhada ao utilizador é a postura clássica, que garante a melhor condução possível para este propósito.

3.2.2 Variáveis Dimensionais do Veículo

Esta plataforma, de igual modo às bicicletas, caracteriza-se por dois conjuntos de medidas: as medidas de estrutura, que correspondem a medidas fixas, independentes dos componentes presentes; e as medidas variáveis, que podem variar consoante a regulação do utilizador. [38]

Existem um conjunto de medidas de estrutura relevantes no desenvolvimento do veículo:

- Altura do quadro;
- Comprimento do quadro;
- Distância entre o eixo central da bicicleta e o eixo da roda dianteira;
- Distância entre o eixo central da bicicleta e o eixo da roda traseira;

- Distância entre as rodas dianteiras.

Quanto às medidas variáveis, para o desenvolvimento deste projeto destacam-se as duas ilustradas na figura 3.2 que se segue:

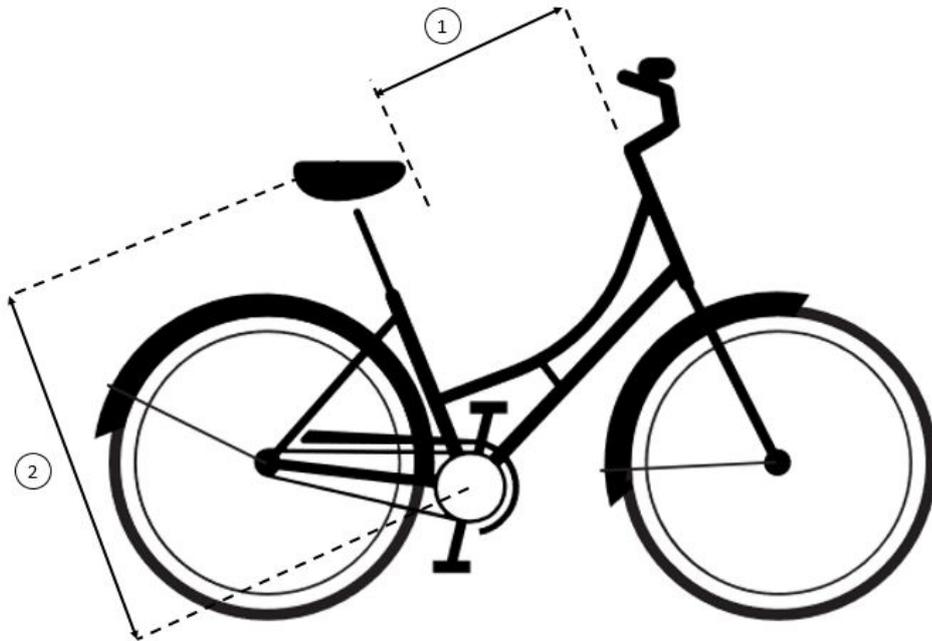


Figura 3.2: (1) Distância selim-guiador, afetada pelo alcance funcional do utilizador; (2) Altura do selim, influenciada pela estatura do utilizador. Adaptação de [34, 38].

- Altura do selim;
- Distância entre o bico do selim e a zona onde é montado o espigão do guiador.

Algumas das medidas mencionadas anteriormente requerem cálculos dependentes da antropometria do utilizador. São apresentadas de seguida essas medidas e também outras igualmente relevantes.

- **Altura máxima do quadro**

A altura máxima do quadro é obtida em função do entrepernas do utilizador, ilustrado mais à frente na figura 3.4, pela equação 3.1. [38]

$$\text{Altura do quadro} = \text{Entrepernas} \times 0.65 \quad (3.1)$$

- **Limites de altura do selim**

A altura do selim tem de ser ajustada pelo utilizador, portanto o comprimento do seu tubo tem de garantir um posicionamento do assento a uma altura máxima e mínima, consoante o percentil do utilizador. Estas alturas são determinadas pela equação 3.2. [38]

$$\text{Altura do selim} = \text{Entrepernas} \times 0.885 \quad (3.2)$$

- **Comprimento da pedaleira**

A pedaleira é um elemento *standard* e portanto o seu comprimento habitual é de 170 mm, podendo variar em função do condutor se essa for a sua preferência. [38]

- **Comprimento do guiador**

A escolha do guiador tem uma elevada influência na qualidade da condução e é importante referir que um guiador de comprimento inferior à largura dos ombros do utilizador reduz a eficiência da direção, e um com comprimento superior pode provocar lesões devido à excessiva abertura dos braços. [39]

- **Inclinação do tubo do selim**

A inclinação do tubo de selim, representada na figura 3.3, tem impacto na eficiência da condução e é comumente estabelecida nos 72° podendo ser alterada até um máximo de 74°. [40]

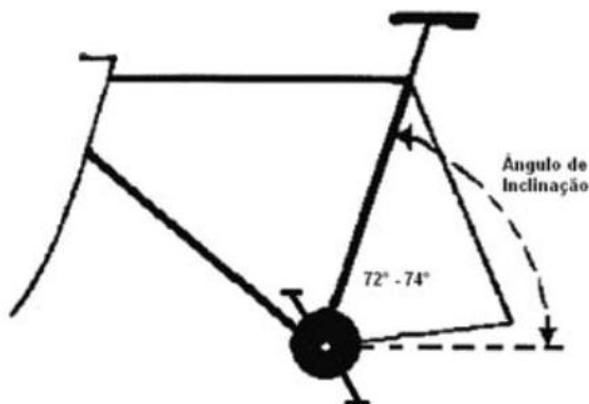


Figura 3.3: Inclinação do tubo do selim, de 72° a 74° [41].

3.2.3 Variáveis e Dados Antropométricos

Como referido anteriormente, a antropometria é a ciência que estuda o corpo humano e estabelece as suas dimensões físicas. No desenvolvimento deste veículo de comutação urbana existem sete dimensões do corpo necessárias de estabelecer, ilustradas na figura 3.4.

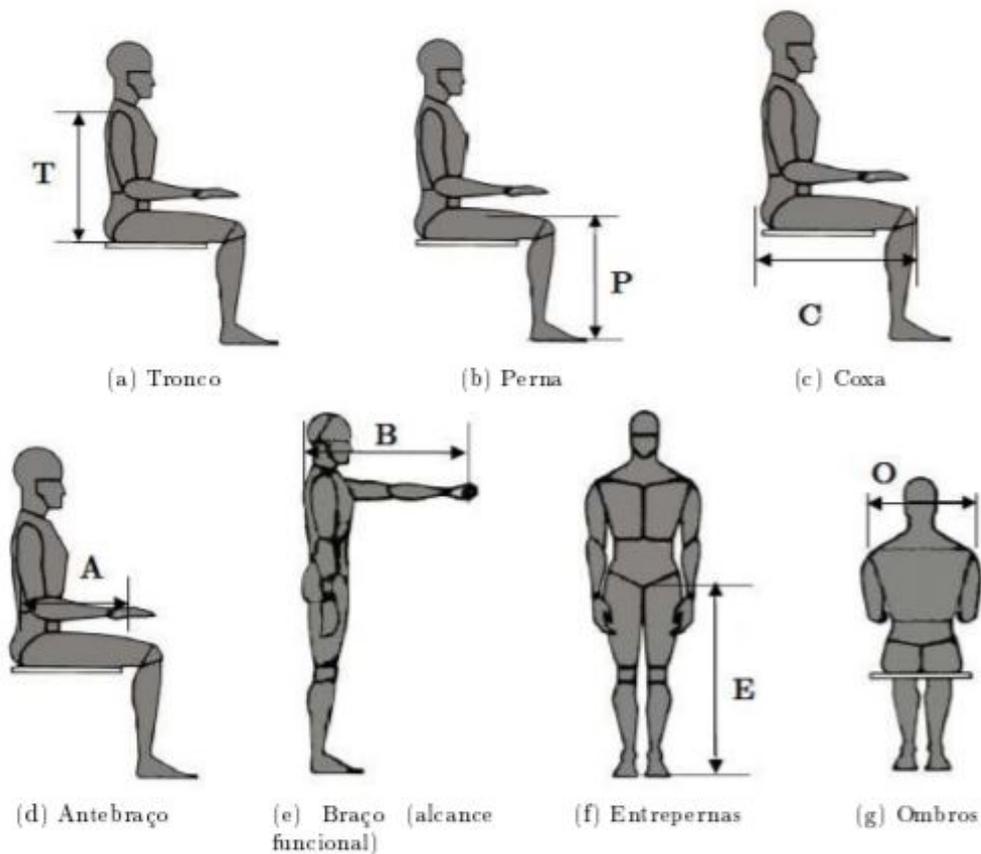


Figura 3.4: Dimensões do corpo humano mais relevantes. Adaptado de [42].

Estes dados ilustrados na figura variam consoante a população em análise e o percentil adotado. O percentil é uma medida que divide uma amostra ordenada em cem partes e estabelece uma percentagem que corresponde a um número de observações que existem abaixo da amostra em causa. [43] Relativamente à análise do corpo humano, é de interesse analisar os percentis extremos e médio. O percentil 5 indica a população de menor estatura, isto porque apenas 5% da população se encontra abaixo deste valor e 95% encontra-se acima do mesmo; e o inverso para o percentil 95, em que 95% da população apresenta valores inferiores e apenas 5% verificam valores superiores. Relativamente ao percentil 50, este corresponde à mediana, em que 50% da população apresenta valores superiores e outros 50% representam valores inferiores.

Assim, estabeleceram-se os dados antropométricos relativos à população portuguesa para os três percentis e para os dois géneros feminino e masculino, apresentados na tabela 3.1.

Tabela 3.1: Dados antropométricos do género feminino e masculino da população por portuguesa, para os percentis 5, 50 e 95. Adaptado de [44].

Designação	Un	Homem			Mulher		
		Percentil	Percentil	Percentil	Percentil	Percentil	Percentil
		5	50	95	5	50	95
Estatura	mm	1.566	1.690	1.814	1.456	1.565	1.674
Largura dos ombros	mm	425	475	525	260	300	341
Alcance funcional	mm	627	730	833	620	675	730
Comprimento do Antebraço	mm	320	350	380	292	320	348
Comprimento do Tronco	mm	575	630	685	539	595	650
Comprimento da Coxa	mm	536	590	644	518	570	622
Comprimento do Entrepernas *	mm	752	811	871	699	751	804
Massa Corporal	kg	56	74	92	48	64	80

*Relativamente ao valor do entrepernas, sendo a distância entre as virilhas e o solo, admitiu-se que este corresponde a 48% da estatura do corpo humano.

3.3 QFD - Casa da Qualidade

3.3.1 Identificação das necessidades do utilizador

A identificação das necessidades do utilizador é uma etapa determinante no desenvolvimento de um produto. Visto que o produto é desenvolvido com foco na ótica do cliente e tem como objetivo cumprir todas as funções esperadas pelo mesmo quando o adquire, identificar os requisitos que este visa ver no veículo garante então que estes sejam transformados em atributos e funcionalidades. [45]

Relativamente à identificação destes requisitos, para além de uma pormenorizada pesquisa das necessidades base estabelecidas para outros veículos de características semelhantes, recorreu-se também ao documento descritivo do projeto Ghisallo prévio facultado pela SONAE. Este documento permitiu identificar a maioria dos requisitos exigidos, por a equipa ter recorrido a questionários a diferentes tipos de utilizadores que expressaram as suas necessidades num veículo desta categoria.

É importante mencionar que o público-alvo adotado é a mulher profissional que valoriza o seu estilo, conveniência e segurança. A cliente tipo de 29 anos, vive em Lisboa e é o utilizador alvo. Esta jovem considera a aparência um fator fundamental no seu dia-à-dia, tanto a nível profissional como pessoal, e comumente usa saias, roupas brancas, calças, *blazers*, entre outros. Ela demora todos os dias cerca de 50 minutos a pé a chegar à estação de comboios para se conseguir deslocar para o seu local de trabalho e carrega duas malas, a do ginásio e a do computador. Para além disso, este utilizador não tem capacidade em termos monetários para suportar um carro, não tem garagem e não tolera o tráfego citadino. Assim, a utilizadora gostaria de um veículo multimodal que lhe garantisse uma viagem cómoda, sem recorrer a grandes esforços físicos e sem comprometer o seu visual. [3]

Numa primeira fase, estabeleceram-se então as necessidades do utilizador presentes na tabela 3.2.

Tabela 3.2: Necessidades e requisitos do cliente.

Necessidades do Cliente	Requisitos do Cliente	
Design inovador	Atrativo	Design
Caber debaixo de uma secretária	Ser compacto	
Ser compatível com o uso de outros transportes	Dimensões compatíveis com portas de edifícios e transportes públicos	
Não se sentir a estrada	Amortecimento	Desempenho e Segurança
Estar no veículo parado e em movimento sem os pés no chão	Estabilidade	
Transportar o veículo para todo o lado	Fácil transporte	
Guardar o veículo dentro de casa ou no trabalho	Fácil armazenamento	
Visibilidade na estrada e estabilidade a conduzir	Segurança	
Pouca manutenção	Robustez	
Dobragem simples e rápida	Fácil fecho	
Permitir usar qualquer roupa e uma viagem confortável	Conforto	
Permitir transportar o que for preciso	Transporte de mercadoria	
Funcionamento em boas condições	Eficiência	
Leveza	Peso reduzido	
Uso imediato	Fácil uso	
Assistência em subidas e percursos mais longos	Assistência elétrica	
Adaptação aos diferentes utilizadores	Ergonomia	
Boa relação qualidade-preço	Preço acessível	Custo

Estabelecidos os requisitos do cliente interligados com as suas necessidades, seguiu-se a hierarquização dos mesmos, de modo a estabelecer a priorização dos requisitos.

3.3.1.1 Diagrama de Mudge

De modo a definir a priorização dos requisitos do cliente, utilizou-se a ferramenta de Mudge. O diagrama de Mudge consiste numa análise comparativa destes requisitos entre si, de forma a que se consiga atribuir uma ordem de importância a cada um relativamente aos outros todos. Para além de definir o requisito mais importante para o sucesso do produto, este diagrama permite também estabelecer o quão mais importante é este requisito. [45]

Este diagrama baseou-se na seguinte escala comparativa: 0 - igualmente importante; 1 - ligeiramente mais importante; 2 - medianamente mais importante; 3 - muito mais importante. Numa primeira fase, relacionou-se cada requisito com uma designação alfabética a introduzir posteriormente no diagrama, como se pode observar na tabela que se segue 3.3. [45]

Tabela 3.3: Requisitos do cliente com designação atribuída.

Requisitos do Cliente	Designação
Atrativo	A
Ser Compacto	B
Dimensões compatíveis com portas de edifícios e transportes públicos	C
Amortecimento	D
Estabilidade	E
Fácil transporte	F
Fácil armazenamento	G
Segurança	H
Robustez	I
Fácil fecho	J
Conforto	K
Transporte de mercadoria	L
Eficiência	M
Peso reduzido	N
Fácil uso	O
Assistência elétrica	P
Ergonomia	Q
Preço acessível	R

A figura 3.5 apresenta então o diagrama de Mudge, cuja priorização se baseou nas necessidades tidas como foco na tabela anteriormente apresentada.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	TOTAL	%	IMPORTÂNCIA
A	B3	C3	D2	E3	F3	G2	H3	I2	J2	K2	L2	M2	N2	O2	P3	Q3	R2	0	0	18
	B	C0	B2	E2	B2	G0	H2	I1	B1	B1	L0	M1	B1	B2	B0	Q0	B3	15	7,4	4
		C	C1	E2	F0	C2	H1	I1	J0	K1	C1	M1	N1	O0	P0	Q1	C2	9	4,5	9
			D	E2	F1	G1	H2	I1	D1	K0	L1	M1	N1	O0	P1	Q1	D1	4	2	16
				E	E2	E2	H0	I0	E2	E2	E2	E2	E2	E2	E2	E2	E3	32	16	1
					F	F2	H2	I2	J1	K1	L1	M1	N0	O1	P1	Q1	F2	8	4	11
						G	H2	I2	J1	K1	L1	M1	N2	O1	P2	Q1	G2	5	2,5	15
							H	I0	H2	H2	H2	H2	H2	H2	H2	H2	H2	30	15	2
								I	I1	I1	I2	I2	I1	I1	I2	I1	I2	20	9,9	3
									J	K0	L0	M1	N1	J1	P1	Q1	J2	6	3	13
										K	L0	M1	N0	O0	P0	Q0	K2	7	3,5	12
											L	M1	L0	L1	P0	Q1	L3	9	4,5	10
												M	M1	M1	P0	Q0	M2	14	6,9	5
													N	N1	P1	Q1	N2	10	5	8
														O	P1	Q0	O2	6	3	14
															P	Q1	P2	12	5,9	7
																Q	Q2	13	6,4	6
																	R	2	1	17
																		202	100	

Figura 3.5: Diagrama de Mudge.

Para além da posição de cada requisito na escala de importância, esta análise permitiu também obter o seu peso. Os requisitos do cliente com maior importância segundo esta análise são a estabilidade, segurança, robustez e compactidade do veículo.

Por fim, após a soma da pontuação atribuída a cada requisito estes são hierarquizados em cinco níveis que definem o seu grau de importância. O grau de importância 1 é atribuído aos requisitos com a pontuação mais baixa e o grau 5 aos requisitos de pontuação mais elevada. Esta pontuação é apresentada na tabela 3.4. [45]

Tabela 3.4: Grau de importância dos requisitos do cliente.

Requisitos do Cliente	Total	Peso	Grau de Importância
Estabilidade	32	1	5
Segurança	30	2	
Robustez	20	3	
Ser compacto	15	4	
Eficiência	14	5	4
Ergonomia	13	6	
Assistência elétrica	12	7	
Peso reduzido	10	8	
Dimensões compatíveis	9	9	
Transporte de mercadoria	9	10	3
Fácil transporte	8	11	
Conforto	7	12	
Fácil fecho	6	13	
Fácil uso	6	14	2
Fácil armazenamento	5	15	
Amortecimento	4	16	
Preço acessível	2	17	1
Atrativo	0	18	

Mediante estas classificações, observa-se que os requisitos a ter em maior foco aquando o desenvolvimento do conceito do mesmo são a estabilidade, segurança, robustez e dimensões do veículo, para que seja o mais compacto possível, mencionados anteriormente. No entanto, a ergonomia do veículo, a assistência, o seu peso, dimensões reduzidas e ainda o transporte de mercadoria, são requisitos também importantes para que o produto cumpra com os seus objetivos.

3.3.1.2 Diagrama de Kano

É importante também realizar uma hierarquização dos requisitos através de uma análise de Kano. A análise de Kano consiste na classificação do requisito em Óbvio/Obrigatório, Esperado/Linear e Excitante, garantindo assim um desempenho pobre ou excelente do produto e um cliente satisfeito ou não, mediante a sua presença (fig. 3.6). [45]

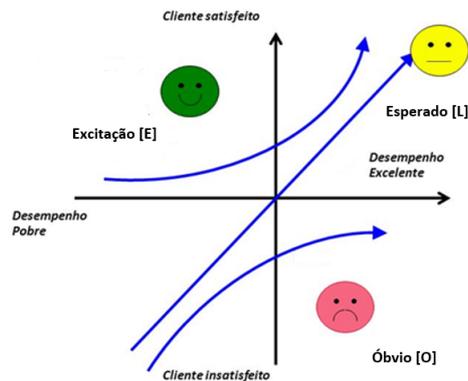


Figura 3.6: Diagrama de Kano. [46]

Antes desta divisão dos requisitos, é necessário compreender o que cada classificação implica: os atributos óbvios correspondem a atributos que o cliente já espera que estejam integrados no produto e portanto a sua presença não leva a qualquer tipo de satisfação por parte do mesmo, mas a sua insuficiência leva à insatisfação e mesmo ao desinteresse pelo produto; os atributos esperados definem todos os atributos em que quanto maior for o seu desempenho maior é a satisfação do cliente, ou seja, têm um comportamento linear satisfação/desempenho; por último, os atributos excitantes são atributos inesperados e cuja presença traz satisfação ao cliente, e quanto melhor o desempenho maior a satisfação. Assim, na tabela 3.5 é feita a divisão dos requisitos do cliente. [47]

Tabela 3.5: Diagrama de Kano aplicado aos requisitos do cliente estabelecidos anteriormente.

Requisitos do Cliente			
Atrativo	•		
Ser compacto		•	
Dimensões compatíveis com portas de edifícios e transportes públicos		•	
Amortecimento			•
Estabilidade			•
Fácil transporte		•	
Fácil armazenamento		•	
Segurança			•
Robustez			•
Fácil fecho		•	
Conforto	•		
Transporte de mercadoria		•	
Eficiência			•
Peso reduzido	•		
Fácil uso	•		
Assistência elétrica			•
Ergonomia			•
Preço acessível	•		

Este diagrama apresentado permite identificar facilmente quais os requisitos que serão uma boa estratégia de *marketing* aquando a comercialização do produto: a sua atratividade, o seu conforto, o peso reduzido para que seja fácil o seu transporte, a acessibilidade relativamente ao seu uso e o seu preço acessível a diferentes leques de utilizador.

3.3.2 Identificação das especificações técnicas

Nesta etapa procurou-se estabelecer as especificações técnicas do produto de modo a este satisfazer os requisitos do cliente identificados anteriormente. A tabela 3.6 ilustra estas especificações técnicas e respetiva métrica.

Tabela 3.6: Especificações técnicas do produto.

Especificações do Produto	Métrica
Altura do quadro	[mm]
Comprimento do quadro	[mm]
Altura do selim	[mm]
Distância entre as rodas dianteiras	[mm]
Distância eixo de transmissão e rodas dianteiras	[mm]
Distância eixo de transmissão e roda traseira	[mm]
Rigidez do material do quadro	[GPa]
Raio de viragem	[mm]
Pegada dobrada (largura x comprimento)	[mm]
Altura dobrado	[mm]
Nº guarda-lamas	[un]
Ângulo de <i>tilt</i>	[graus]
Nº velocidades	[un]
Diâmetro das rodas	[inch]
Rigidez do veículo	[N/mm]
Peso do motor	[kg]
Dimensões do motor	[mm]
Potência do motor	[W]
Dimensões da bateria	[mm]
Capacidade da bateria	[Ah]
Peso da bateria	[kg]
Tempo de fecho	[s]
Nº gestos para fecho/abertura	[un]
Peso total bicicleta	[kg]
Peso máximo a suportar	[kg]
Peso máximo da bagagem	[kg]
Volume máximo da bagagem	[L]
Verificação norma ISO 4210-2	[MPa]
Número de rodas com travão	[un]
Pressão hidráulica para travagem	[bar]

Estas especificações técnicas apresentadas são fulcrais para a definição do produto. As especificações relativas às dimensões do veículo, como a altura do quadro e a distância entre

as rodas dianteiras, são fatores determinantes no desenvolvimento deste projeto. A altura do quadro é uma característica com um grande impacto na ergonomia do veículo, por estabelecer a fácil ou não subida para o veículo por utilizadores de diferentes percentis. Relativamente à distância entre as rodas dianteiras, esta tem uma elevada influência no cumprimento do propósito do veículo, isto porque tendo-se definido anteriormente o utilizador alvo como o cliente que tem a necessidade de combinar a bicicleta com outros meios de transporte públicos, é imperativo que a largura do veículo seja inferior às dimensões *standard* das portas presentes nesses meios de transporte e ainda inferior à largura das portas comumente presentes nas nossas casas; permitindo assim que o veículo possa ser transportado para diversos espaços confinados.

São ainda extremamente relevantes para este projeto, especificações como o ângulo de inclinação do veículo, o raio de viragem, o tempo de fecho do mesmo e ainda a verificação da norma ISO 4210-2. O ângulo de *tilt* é relativo ao ângulo de inclinação máximo atingindo pelo veículo para a realização de uma curva e é fulcral para a satisfação de requisitos do utilizador como o conforto e fácil uso do produto. Este valor está diretamente relacionado com o raio de viragem e portanto o valor tido como meta é o valor que garante que o cliente consegue curvar sem dificuldade e confortavelmente, sem implicar raios muito elevados e inconvenientes. No que concerne o tempo de fecho, esta especificação é relevante por estabelecer se o dobrar do veículo é ou não intuitivo para o utilizador. Por último, é muito importante que o projeto desenvolvido cumpra a norma ISO 4210-2 que expõe os requisitos de segurança obrigatórios para este tipo de bicicletas citadinas. O não cumprimento da norma implica que o veículo não é seguro de usar na via pública e que certas estruturas têm de ser alteradas ou reforçadas.

3.3.3 Matriz QFD

A matriz QFD, Desdobramento das Funções Qualidade, é uma ferramenta que define os requisitos do cliente e os converte em especificações técnicas do produto e planos de produção que preenchem esses requisitos. [48] Nesta matriz é também feita uma avaliação ao mercado, *benchmarking* do produto, uma análise das restrições do projeto e uma avaliação das correlações entre as diferentes especificações técnicas. Além disso, as classificações anteriormente atribuídas através do diagrama de Mudge e de Kano têm também influência no grau de importância final de cada especificação do produto. [45] A matriz QFD completa é apresentada no Anexo A.

Matriz de Relações

O primeiro passo no preenchimento desta matriz passou pela atribuição do grau de relação de um - fraco, três - moderado ou nove - forte, entre cada requisito do cliente e cada requisito do produto (3.3.3). Assim, facilmente se conseguem identificar os atributos do produto com maior influência na satisfação do cliente e verificar se todos os requisitos têm pelo menos uma especificação técnica associada, senão não poderiam ser cumpridos. Ainda nesta matriz, se associaram as classificações anteriormente mencionadas e se atribuiu um grau de importância geral.

Tabela 3.7: Matriz representativa da relação entre os requisitos do cliente e as especificações do produto.

Requisitos do Cliente	Especificações	Altura do quadro	Comprimento do quadro	Altura do selim	Distância entre as rodas dianteiras	Distância eixo de transmissão e rodas dianteiras	Distância eixo de transmissão e roda traseira	Rigidez do material do quadro	Raio de viragem	Região Dobrada (Largura x Comprimento)	Altura Dobrada	Nº Guardalinas	Ângulo de tilt	Nº velocidades	Diâmetro das rodas	Rigidez do veículo	Peso do motor	Dimensões do motor	Potência do motor	Capacidade da bateria	Peso da bateria	Dimensões da bateria	Tempo de recarregamento	Nº gestos para fecho/bateria	Peso total bicicleta	Peso máximo a suportar	Peso máximo da bagagem	Volume máximo da bagagem	Verificação norma ISO 21012	Número de rodas com travão	Pressão hidráulica para travagem	
		Design	Atrativo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Desempenho e Segurança	Ser compacto	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	Dimensões compatíveis com portas de edifícios e transportes públicos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	Amortecimento	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
	Estabilidade	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
	Fácil transporte	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
	Fácil armazenamento	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Segurança	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
	Robustez	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
	Fácil dobragem	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
	Conforto	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
	Transporte de mercadoria	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
	Eficiência	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
	Peso reduzido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Fácil uso	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Assistência elétrica	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Ergonomia	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Custo	Preço acessível	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	Grau de importância (req. produto)	403,7	282	276	278	190	190	332	245	167	167	42,8	173	144	137	259	92,8	125	121	126	92,3	125	105	105	106	151	175	209	164	143	265	4892,2
	Percentual	9	6	6	6	4	4	7	5	3	3	1	4	3	3	5	2	3	3	3	2	2	2	2	3	4	4	3	3	5	5	100

De modo a facilitar a compreensão da matriz apresentada, é necessário justificar a relação atribuída entre certos requisitos e especificações:

- Preço acessível

1. Dependência linear da capacidade da bateria, quanto maior a capacidade de armazenamento maior a despesa na compra deste componente;
2. Pouco dependente da potência do motor devido à limitação da Homologação *Standard* Europeia aos 250 W, no entanto, pode ter impacto se se abordar a questão da fiabilidade do produto, por um motor de maior qualidade requerer um maior investimento;
3. Elevada dependência do material escolhido, devido ao seu preço e ao processo de fabrico envolvido.

- Amortecimento

1. Relativamente ao amortecimento, foi estipulado pelo promotor deste projeto, a SONAE, que o veículo não pretende ter este tipo de sistema semelhante às bicicletas de montanha por ser apenas de uso citadino, o que envolve estradas planas pouco sinuosas, comparativamente a terrenos montanhosos. O curso da suspensão, não existindo, é substituído através de outros elementos como o selim, o espigão e os pneus, que facilmente conseguem compensar o veículo em termos de altura, ao invés do suposto aumento do curso da suspensão. O amortecimento é então dado apenas pelos pneus.

- Atrativo, dimensões compatíveis e ergonomia

1. A altura do quadro tem elevada influência no impacto visual do veículo e nas suas dimensões. A altura influencia a sua pegada quando dobrado e a sua ergonomia e fácil uso, isto por o veículo ser direcionado a um leque específico de utilizadores e alturas de quadro inferiores permitirem subir e descer facilmente da bicicleta, seja qual for a estatura do usuário.

Analisando as relações apresentadas e justificadas, é possível observar que as dimensões do veículo como a altura e comprimento do quadro, distância entre rodas dianteiras e entre eixos, a altura do selim e ainda o diâmetro das rodas, são especificações relacionadas com quase todos os requisitos do cliente: o conforto, fácil armazenamento do veículo, o ser compacto, o seu fácil uso e a ergonomia do mesmo.

O peso total do veículo é um parâmetro de elevada importância, por ter uma forte relação com a facilidade de transporte do mesmo, com a sua leveza, facilidade de uso e ainda com a acessibilidade do preço, devido ao material e processo de fabrico escolhidos, tal como mencionado anteriormente.

Relativamente aos requisitos de segurança e robustez, essenciais para que o utilizador não veja restrições ao uso do veículo, estes verificam uma elevada dependência da rigidez do mesmo. O tempo de fecho e o número de gestos para efetuar o mesmo, são especificações com uma forte e óbvia relação com o fácil fecho e fácil uso do velocípede. Ainda o raio de viragem e o ângulo de *tilt*/inclinação, relacionados entre si, têm um forte impacto nos requisitos de eficiência e fácil uso.

A componente elétrica não tem uma elevada influência no cumprimento dos requisitos, por serem especificações que o cliente espera, por defeito, ver cumpridas no veículo e que têm também restrições em termos normativos que não permitem grandes alterações.

Esta definição das relações entre os requisitos do cliente e as especificações do produto, é claramente subjetiva por ser diretamente influenciada por quem faz a análise à relação.

Matriz Correlações

A matriz de correlações permite estabelecer as relações entre as próprias especificações do produto. O objetivo é então definir se o aumento do valor nominal de uma determinada especificação, influencia negativa ou positivamente as restantes, de modo a garantir que o produto combina as suas especificações da melhor maneira possível. Como se pode observar na figura 3.8, as correlações dividem-se em positivamente fortes (++) , positivamente fracas (+) , negativamente fortes (- -) , negativamente fracas (-) e inexistentes (). Se a relação for inexistente, significa que a alteração de uma determinada especificação não tem qualquer impacto na outra. Ainda nesta matriz é apresentado o direcionador de melhoria de cada especificação, que permite ilustrar o que pode melhorar o veículo e garantir maior satisfação do cliente. O direcionador indica então se é a diminuição ou o aumento dessas especificações que leva a melhorias, ou se a variação desse valor é indiferente.

Benchmarking do mercado

Nesta fase, realizou-se uma avaliação da concorrência com base na pesquisa efetuada anteriormente. Optou-se pela comparação com os dois velocípedes elétricos dobráveis com mais especificações apresentadas e mais aproximadas ao projeto em questão: eKiffy, de origem francesa e a Etnnic, duma empresa espanhola.

Estabeleceu-se também o argumento de vendas, que consiste na atribuição de um peso de 1, 1.2 ou 1.5 a cada requisito, consoante o seu menor ou maior impacto no fator chamativo ao cliente, respetivamente. A figura 3.9 ilustra a matriz que estabelece essas relações.

Tabela 3.9: Matriz da avaliação da concorrência e comparação com o nosso produto.

			Bechmarking de Mercado										
			Cliente	Kano (interno)	Grau de importância (geral)	Nosso Produto (bicicleta elétrica convencional)	eKiffy	ETNNIC	Plano	Índice de melhoria	Argumento de vendas	Peso absoluto	Peso relativo
RC: Requisitos do Cliente	Design	Atrativo	3	L	1	4	3	3	2	0,5	1,2	0,6	0,57156
		Ser compacto	5	E	5	4	4	5	5	1,25	1,5	9,375	8,9307
		Dimensões compatíveis com portas de edifícios e transportes públicos	5	E	4	4	4	5	3	0,75	1,5	4,5	4,28673
	Desempenho e Segurança	Amortecimento	1	O	2	4	5	2	4	1	1	2	1,90522
		Estabilidade	2	O	5	2	5	4	5	2,5	1	12,5	11,9076
		Fácil transporte	4	E	3	3	5	3	3	1	1,2	3,6	3,42939
		Fácil armazenamento	3	E	2	2	4	4	3	1,5	1,2	3,6	3,42939
		Segurança	3	O	5	2	4	3	5	2,5	1	12,5	11,9076
		Robustez	1	O	5	3	4	3	4	1,33333	1	6,66667	6,35072
		Fácil dobragem	4	E	3	3	3	2	5	1,66667	1,5	7,5	7,14456
		Conforto	4	L	3	3	3	3	3	1	1,2	3,6	3,42939
		Transporte de mercadoria	4	E	4	2	4	2	4	2	1,5	12	11,4313
		Eficiência	2	O	4	3	4	4	4	1,33333	1	5,33333	5,08057
		Peso reduzido	2	L	4	4	4	2	4	1	1,2	4,8	4,57252
		Fácil uso	2	L	3	3	3	3	4	1,33333	1,2	4,8	4,57252
		Assistência elétrica	3	O	4	4	4	4	5	1,25	1,2	6	5,71565
		Ergonomia	2	O	4	4	3	3	5	1,25	1	5	4,76304
		Custo	3	L	2	4	2	2	1	0,25	1,2	0,6	0,57156
													104,975	100

Balançando estes fatores descritos, obteve-se então o peso de cada um dos requisitos do cliente. Esta ordenação corresponde a uma nova priorização destes requisitos, denominada de priorização revista.

Na priorização revista verifica-se uma reordenação dos requisitos do cliente, isto porque esta teve também em consideração o plano/objetivos para o veículo a desenvolver e as características do nosso produto assumido como a bicicleta elétrica convencional; com base nisto, são prioritárias as metas que não estão a ser cumpridas por este veículo e que são de máxima importância para o cliente. Redefiniu-se efetivamente a importância de cada requisito, sendo que a segurança e estabilidade permanecem como dois requisitos extremamente importantes

para o cliente, seguidos do transporte de mercadoria, agora a ter em maior foco, e da capacidade do veículo. Estes requisitos têm uma elevada importância por permitirem ao cliente andar no veículo sem recar a sua segurança e garantirem a sua multimodalidade.

Benchmarking Técnico

Após a avaliação da concorrência é necessário estabelecer os seus valores das especificações técnicas para que o produto a desenvolver consiga superar, ou pelo menos igualar, as mesmas. Este *benchmarking* técnico é apresentado na figura 3.10 que se segue e é referente à eKiffy e Etnnic mencionadas anteriormente.

Tabela 3.10: Matriz de *benchmarking* técnico de produto.

		Unidade	mm	mm	mm	mm	mm	GPa	mm	mm	mm	mm	mm	un	un	un	un	mm	kg	mm	mm	s	un	kg	kg	kg	L	Mpa	un	bar
Bechmarking Técnico de Produto	Nosso Produto (se existente)																													
	eKiffy		450	1450	.	>530	.	.	.	.	530 x 570	1150	0	0	2	20	.	.	.	250	6,25	.	10	4	13	120	30	.	2	.
	ETNNIC		260	>1500	680-880	720	>530	.	.	.	300 x 690	800	0	0	2	20	.	.	.	250	11	.	15	6	21	100	.	.	.	.

Relativamente à eKiffy, este veículo com assistência elétrica e reduzidas dimensões que permitem o seu transporte para dentro de transportes públicos e elevadores, é uma excelente referência para metas como a distância entre as rodas dianteiras e a pegada dobrada.

O segundo concorrente é a Etnnic, um veículo dobrável também com assistência elétrica mas reduzida capacidade de transporte de mercadoria. As suas dimensões e o seu diferenciador sistema de fecho servem também de referência.

Valores Meta

O estabelecimento dos valores meta para o produto em desenvolvimento, é nesta fase um fator determinante para o avançar do projeto. Através do estudo de ergonomia anteriormente realizado e da análise da competição, estabeleceram-se os valores ideais para o veículo de modo a garantir o máximo conforto e segurança do utilizador e a melhor *performance* do produto.

Primeiramente é importante abordar o tipo de utilizador em questão, visto que o objetivo é o desenvolvimento de um produto pela ótica do utilizador final, sendo este o cliente tipo referido anteriormente e que se enquadra no leque da mulher portuguesa com uma estatura média. No entanto, é importante que o veículo consiga ser adaptado a diferentes percentis, de modo a atingir um elevado leque de utilizadores.

Tendo então estabelecido a população a considerar, definiram-se as especificações do veículo presentes na matriz da qualidade com os seguintes valores meta:

1. Altura do quadro

A altura do quadro é uma dimensão inalterável após o fabrico do mesmo e determinante no fácil uso ou não do veículo. Sendo assim, calculou-se a altura do quadro com base no percentil 5 e com base na equação 3.1 anteriormente apresentada. Obteve-se um valor máximo de altura de 454 mm, no entanto a meta será sempre um quadro mais baixo, para que o fácil acesso ao veículo seja alargado a diferentes utilizadores e que através do ajuste do selim e espigão seja possível a acomodação de utilizadores mais altos.

2. Comprimento do quadro

No que concerne ao comprimento do quadro, estabeleceu-se um valor médio de cerca de 1000 mm com base no definido pelo promotor e nos valores da concorrência.

3. Altura do selim

A altura do selim, visto ser um elemento ajustável à estatura do utilizador, foi calculada com base nos percentis extremos, de 5 e 95, de acordo com a equação 3.2 previamente apresentada. Este valor foi estabelecido entre os 619 mm, relativos ao percentil 5 do género feminino, e os 771 mm, direccionados ao percentil 95 do género masculino.

4. Distância entre as rodas dianteiras

A distância máxima entre as rodas dianteiras foi estabelecida com base na largura de elevadores e das portas de espaços fechados, de modo a que seja possível deslocar o veículo facilmente para qualquer lado. Assim sendo, o objetivo meta estabelece-se em valores inferiores a 800 mm.

5. Distância do eixo de transmissão às rodas dianteiras e à roda traseira

Estas duas distâncias entre eixos foram também baseadas na informação cedida pelo promotor do projeto. A distância do eixo de transmissão às rodas dianteiras fixou-se em cerca de 590 mm e a distância à roda traseira em cerca de 374 mm.

6. Rigidez do material do quadro

A rigidez do material do quadro definiu-se na matriz como sendo a rigidez do alumínio, apesar da seleção deste conceito ainda não ter sido efetuada mas por ser uma boa referência. Dentro do alumínio, optou-se pelo Alumínio 6061 T6 por ser a série usual no mercado das bicicletas. A rigidez do material do quadro é medida através do módulo de elasticidade do material de cerca de 68.9 GPa. [49]

7. Raio de viragem

Relativamente ao raio de viragem, sendo este o raio da curva que o veículo tem de percorrer quando quer mudar de direção e circula a uma determinada velocidade, não foi estipulado pelo promotor nenhum valor meta. Assim sendo, calculou-se o valor com base na equação 3.4 [50] para bicicletas de duas rodas, tendo em consideração a velocidade do veículo estipulada numa média de 5 m/s e um ângulo de inclinação de 35 graus definido como valor meta para o *tilt* pelo promotor SONAE [3].

$$v^2 = g \times r_{viragem} \times tg(\theta_{inclinação}) \quad (3.3)$$

$$r_{viragem} = \frac{5^2}{10 \times \text{tg } 35} \approx r_{viragem} = 3.57m \quad (3.4)$$

Definiu-se assim o valor meta do raio de viragem nos 3570 mm.

8. Pegada Dobrada

A pegada dobrada é relativa à área de solo ocupada pelo veículo quando dobrado: largura por comprimento. O propósito do fecho do veículo é o seu fácil transporte e a sua possível entrada e saída de sítios confinados, como autocarros, comboios e até elevadores; assim sendo, estipulou-se uma pegada de 700 x 900 mm². O objetivo do projeto passa também por conseguir a menor pegada possível num veículo funcional.

9. Altura Dobrado

Semelhante à pegada dobrada, também a altura máxima do veículo dobrado foi definida de modo a que este conseguisse aceder facilmente a espaços fechados: 900 mm.

10. Número de Guarda-Lamas

Definiu-se uma meta de três guarda-lamas presentes no veículo, um em cada roda, de modo a garantir a máxima proteção do condutor.

11. Ângulo de tilt

O ângulo de *tilt* é um fator importante no desenvolvimento do projeto, por ser essencial para uma condução fácil, suave e confortável aquando curvas. Este valor foi estipulado pelo promotor do projeto em 35°. [3]

12. Número de velocidades

Relativamente ao número de velocidades, devido à assistência elétrica o veículo não requer o mesmo apoio mecânico que uma bicicleta convencional não elétrica. Este valor foi também definido pela empresa, de 3 a 8 velocidades.

13. Diâmetro das rodas

Quanto ao diâmetro das rodas, adotou-se um diâmetro igual para as três rodas, de 20 polegadas.

14. Rigidez do veículo

A rigidez do veículo adotada baseou-se na rigidez dos pneus influenciada pela pressão dos mesmos. A pressão dos pneus foi estipulada pelos promotores entre os 3 e os 5 bar. Um pneu com uma largura de cerca de 32 mm, como o considerado para este projeto, cede cerca de 5 mm quando lhe é aplicado o peso do corpo humano. Definido este peso em 1200 N de acordo com a norma ISO 4210-2, assumiu-se uma rigidez do veículo de cerca de 240 N/mm. [51, 52]

15. Peso, Dimensões e Potência do motor

Abordando a componente elétrica do veículo, o motor é um elemento já predefinido pela empresa. Optou-se por um motor com cerca de 3 a 4 kg, 186x120x130 mm e uma potência máxima de 250 W, especificações indicadas pelo promotor após o contacto com o fornecedor do componente. A potência de 250 W é limitada pela norma de circulação das bicicletas elétricas citadinas.

16. Capacidade, Peso e Dimensões da bateria

Ainda relativamente à componente elétrica, também a bateria foi definida pelo promotor. Esta corresponde a uma bateria da Bosch, com cerca de 3 kg, 325x92x90 mm e uma capacidade máxima de 13.4 Ah. [53]

17. Tempo de fecho e número de gestos

O tempo de fecho e o número de gestos são duas especificações fulcrais no projeto e que trazem a inovação do mesmo. A meta é o fecho do veículo em menos de dez segundos e com apenas três gestos principais.

18. Peso total da bicicleta

De modo a garantir o possível e fácil transporte do veículo pelo utilizador para dentro dos transportes públicos ou mesmo para o seu lar, o peso total do mesmo não pode ultrapassar os 16 kg.

19. Peso máximo a suportar

Mesmo abrangendo uma elevada gama de percentis, o veículo define um limite tolerável de peso a suportar em cerca de 100 kg, estipulado pelo promotor.

20. Peso e Volume máximo da bagagem

Através do cesto incorporado no veículo, este permite o transporte de bagagem, no entanto existem determinadas limitações da mesma em termos de peso e dimensões: 15 kg e 25 L.

21. Verificação norma ISO 4210-2

A circulação do veículo nas estradas Europeias apenas é permitida se se verificar o cumprimento da norma ISO 4210-2. Esta norma, para além de outros parâmetros, estabelece a tensão limite do veículo que corresponde à tensão limite de fadiga do material escolhido para o quadro. Considerando o alumínio 6061 T6 como o material escolhido para a estrutura do veículo, coloca-se o valor meta para uma tensão máxima de 96.5 MPa.

22. Número de rodas com travão

O número de rodas com travão foi outro parâmetro definido pela empresa, em apenas dois travões dianteiros. Durante a realização do anterior projeto foram realizados testes que confirmaram a eficiência dos dois travões de disco dianteiros aquando a paragem brusca ou não do veículo, e a não necessidade de um travão na roda traseira.

23. Pressão hidráulica de travagem

Relativamente à pressão hidráulica de travagem, após uma breve pesquisa sobre as bicicletas comuns, definiu-se o valor em cerca de 9.3 bar. [54]

Através da imagem 3.11 é possível observar sucintamente os valores meta para o produto na matriz QFD.

Tabela 3.11: Matriz com os valores meta para as especificações técnicas do produto.

Unidade		Altura do quadro	Comprimento do quadro	Altura do selim	Distância entre as rodas dianteiras	Distância eixo de transmissão e rodas dianteiras	Distância eixo de transmissão e roda traseira	Rigidez do material do quadro	Raio de viragem	Fregada Dobrada (Largura x Comprimento)	Altura Dobrado	Nº Guardalimas	Ângulo de tilt	Nº velocidades	Diâmetro das rodas	Rigidez do veículo	Peso do motor	Dimensões do motor	Potência do motor	Capacidade da bateria	Peso da bateria	Dimensões da bateria	Tempo de fecho	Nº gestos para fecho/abertura	Peso total bicicleta	Peso máximo a suportar	Peso máximo da bagagem	Volume máximo da bagagem	Verificação norma ISO 4210-2	Número de rodas com travão	Pressão hidráulica para travagem
Plano (valor meta)	< 454	< 1000	619-771	< 800	< 600	< 400	68,9	3570	700 x 900	< 900	3	35	3 a 8	20	240	3 a 4	186x120x130	250	13,4	3	325x92x90	< 10	3	< 16	100	15	25	96,5	2	9,3	

3.3.4 Interpretação da matriz QFD

O processo de desenvolvimento da matriz QFD permitiu estabelecer, de uma forma mais organizada e esquemática, todos os requisitos a ter em conta aquando a geração e seleção de conceitos para a criação do produto de modo a satisfazer plenamente as necessidades do cliente. Para além disso, após o seu preenchimento conseguiram-se definir as especificações do veículo que requerem mais detalhe para que este sirva a cem por cento o seu propósito.

Após a priorização revista dos requisitos do cliente, definiu-se que o foco será garantir a estabilidade do veículo e segurança do utilizador, a compacidade da plataforma e ainda a sua capacidade para transporte de mercadoria.

Relativamente aos requisitos do produto, a priorização revista permite concluir que as especificações relativas às dimensões do veículo e à rigidez do material do quadro, têm uma maior importância por influenciarem a segurança do utilizador e a compacidade do veículo, como já referidos como requisitos com maior impacto. Importante referir que as especificações relativas às dimensões do veículo em posição de condução e dobrado, foram as especificações que mais responderam aos requisitos do cliente por envolverem diversas variáveis como o conforto, ergonomia, atratividade, fácil fecho e ainda o seu fácil armazenamento e transporte, entre outras.

Interpretando a matriz QFD cuja versão completa é apresentada em anexo, observa-se que cada requisito do cliente corresponde a pelo menos uma especificação do produto, garantindo que aquando a compra do mesmo o consumidor vê todos os seus desejos satisfeitos. Relativamente à inversa correspondência das especificações com os requisitos do consumidor, também se observa que cada especificação corresponde pelo menos a um requisito. Especificações sem correspondência são normalmente indicativas de que está a ser estipulada para o produto uma determinada característica sobrevalorizada, ou seja, que o consumidor não vai usufruir; assim, garante-se que nesta fase inicial o produto não é sobredimensionado.

Relativamente à análise da avaliação competitiva, comparando a bicicleta elétrica de duas rodas, escolhida como o nosso produto, com as existentes eKiffy e Etnnic de três rodas, observa-se que os requisitos mais importantes para o cliente como assegurar o transporte de mercadoria, a assistência elétrica, a estabilidade do veículo e a sua segurança, estão classificados abaixo da concorrência. Este facto implica uma urgente alteração no produto para que

possa responder às necessidades do cliente e diferenciar-se da concorrência positivamente.

Através da análise do *benchmarking* técnico, é possível constatar os pontos fortes da concorrência e as metas que o nosso produto tem de atingir de modo a que estes possam ser usados como argumento de *marketing* e como elementos diferenciadores. Factores como o uso de guarda-lamas, não presentes nos outros veículos, e um método de dobragem rápido e sem necessidade de partição do quadro, são características muito valorizadoras no produto pelo cliente. Ainda relativamente à concorrência, certos valores meta foram estipulados com base em informações fornecidas pelo promotor do projeto e outros com base na avaliação desta. O objetivo é então convergir para resultados que consigam pelo menos equiparar a concorrência.

Por último, quanto à dificuldade técnica do projeto a desenvolver, os valores atribuídos permitem verificar que certas especificações como a pegada dobrada e o ângulo de *tilt* a garantir, serão objetivos mais difíceis de atingir e que poderão ter de seguir caminhos alternativos.

3.4 Geração e seleção de conceitos

A geração e seleção de conceitos consiste num *brainstorming* de várias ideias para os diferentes elementos a desenvolver, que consigam responder às metas impostas anteriormente e aos requisitos estabelecidos. A metodologia da escolha de conceitos e a formulação do projeto, teve por base a estrutura apresentada no livro Introdução ao Projeto Mecânico. [45]

3.4.1 Decomposição de funções do veículo e conceitos

Nesta fase do projeto geraram-se diversos conceitos para vários elementos do veículo como o quadro, o sistema de fecho, o sistema da direção e ainda componentes como a bateria e o motor.

Após a geração dos conceitos, é necessário escolher criteriosamente e de forma fundamentada o conceito a desenvolver. [45] Para esta seleção de conceitos expuseram-se os mesmos em tabelas e realizou-se uma análise de comparação segundo determinados critérios. De modo a comparar as diferentes soluções, optou-se por classificar de 1 a 4, de muito mau a muito bom, respetivamente, cada conceito de acordo com o critério de seleção em questão. Tendo ainda em consideração o peso de cada critério, selecionaram-se as soluções com maior pontuação final.

Quadro

Relativamente ao quadro, dividiu-se a geração de conceitos em três áreas distintas: material; processo de fabrico e esquema estrutural. Estes três fatores relativos ao quadro do veículo têm elevada importância no que concerne o peso e preço do mesmo.

- **Material**

Quanto ao material, optou-se por comparar cinco tipos diferentes: aço, alumínio, fibra de carbono, titânio e magnésio.

1. **Tipo A: Aço**

O aço é facilmente moldável e permite liberdade relativamente ao esquema estrutural. Apesar de ter elevada duração e ser muito resistente e elástico, permitindo uma condução de extremo conforto e segurança, o aço é um material muito pesado.

A variável custo é um ponto a favor para este material, por ser ainda mais barato que o alumínio. [55]

2. **Tipo B: Alumínio**

Este material era dos mais usuais nos quadros das bicicletas antes da introdução da fibra de carbono. Este facto deve-se à sua considerável leveza e rigidez e ainda ao preço baixo comparativamente ao carbono. Quando aplicado em quadros, este material é usado em liga e tem uma durabilidade de uma vida; além disso, tem ainda a vantagem da sua facilidade de produção. O alumínio é suscetível a situações de corrosão, mas apenas residuais. [56]

3. **Tipo C: Fibra de carbono**

A presença desta matéria-prima no quadro de uma bicicleta é uma alternativa cada vez mais comum e de elevada viabilidade e qualidade, sendo estas últimas características extremamente dependentes do tratamento inicial do material em termos da resina usada, da quantidade de camadas e da direção das fibras. A mistura da fibra de carbono com a resina, a sobreposição das folhas, o ângulo e o grau de carbono, são os parâmetros que garantem a elevada rigidez, conformidade e resistência do quadro. Este material é extremamente duro, muito leve e bastante maleável. O seu preço é elevado devido à dificuldade e tempo no tratamento do mesmo para produção. [57]

4. **Tipo D: Titânio**

Este material apresenta uma rigidez superior à do aço a um peso inferior, apesar do seu custo ser mais elevado até que o do alumínio. Para além de confortável, leve, rígido e duradouro, o titânio apesar de mais pesado que o alumínio, permite a produção de quadros mais leves; isto porque para alcançar o mesmo nível de resistência é necessário usar muito mais alumínio do que titânio. É também importante referir, que o titânio consegue ser tão rígido como o aço, com apenas metade do peso do mesmo. [58, 59]

5. **Tipo E: Magnésio**

O magnésio é também um material que apresenta algumas vantagens relativamente aos usualmente implementados nos quadros. Apresenta as vantagens da sua fácil produção e elevada resistência ao calor, relativamente à fibra de carbono. Em termos de peso é também consideravelmente mais leve que o alumínio e apenas com uma diferença de gramas do carbono. No entanto, apresenta menor elasticidade e é extremamente inflamável. [59, 60, 61]

Seguem-se então a tabela 3.12, síntese das vantagens e desvantagens de cada material e ainda a tabela 3.13 que define os conceitos selecionados.

Tabela 3.12: Vantagens e desvantagens de cada material do quadro.

		Vantagens	Desvantagens
A	Aço	<ul style="list-style-type: none"> ● Resistente ● Elevada duração ● Baixo custo 	<ul style="list-style-type: none"> ● Elevado peso
B	Alumínio	<ul style="list-style-type: none"> ● Leveza ● Elevada duração ● Rígido ● Baixo custo ● Resistente ● Facilidade de Produção 	<ul style="list-style-type: none"> ● Suscetível à fadiga ● Suscetível à corrosão (residual)
C	Fibra de Carbono	<ul style="list-style-type: none"> ● Elevada dureza ● Extremamente leve ● Maleável 	<ul style="list-style-type: none"> ● Elevado custo ● Tratamento demorado
D	Titânio	<ul style="list-style-type: none"> ● Elevada duração ● Rígido ● Elevada resistência 	<ul style="list-style-type: none"> ● Elevado peso ● Elevado custo
E	Magnésio	<ul style="list-style-type: none"> ● Fácil produção ● Resistência ao calor ● Leveza 	<ul style="list-style-type: none"> ● Pouca elasticidade ● Inflamável

Tabela 3.13: Seleção do conceito do material do quadro.

Critério de Seleção	Peso (%)	A	B	C	D	E
Custo	25	4	4	1	1	2
Peso	25	1	2	4	1	2
Facilidade de Produção	25	2	3	2	2	2
Durabilidade	25	3	3	4	2	2
Total		2,5	3	2,8	1,5	2
Continua?		Não	Sim	Sim	Não	Não

O material do quadro mais adequado é o alumínio e a fibra de carbono, por terem obtido maior cotação segundo os critérios expostos na tabela. Numa primeira fase, o material adotado será o alumínio por ser mais económico e mais fácil de trabalhar, devido a parcerias da empresa com outros produtores e fornecedores nas proximidades da mesma. O uso de fibra de carbono é uma hipótese viável a considerar para componentes periféricos ou outros componentes de produção *standard*, como as rodas.

● **Processo de Fabrico**

Quanto ao processo de fabrico do quadro, o estudo destes diferentes conceitos é muito importante por ter uma grande influência no custo do produto final e também no seu tempo de produção.

1. **Tipo A: Soldadura de perfis tubulares e/ou hidroconformação**

Este é o processo mais usual de fabrico de quadros de bicicletas para se obter o esquema estrutural pretendido. Na hidroconformação um fluido é introduzido a

alta pressão dentro do tubo usualmente de aço ou alumínio, que assim é moldado à forma pretendida; a posterior soldadura permite concluir a estrutura. [62]

2. Tipo B: Injeção em moldes

Na injeção em moldes é possível produzir quadros de materiais alternativos, como plásticos e outros compósitos e obter uma precisão superior do modelo, precisando posteriormente de menos acabamentos. No entanto, devido à necessidade de produção do molde, este processo torna-se muito dispendioso. Existe apesar de tudo a possibilidade deste processo de fabrico ser usado para elementos *standard*. [63]

3. Tipo C: Deposição de camadas num molde

Existem processos diferentes de fabrico de quadros em fibra de carbono, mas usualmente após serem feitas as folhas, através da deposição do material camada a camada como referido anteriormente, este é moldado a uma estrutura previamente concebida e seguidamente fechada. Posteriormente, o molde é fechado em vácuo de modo a que todo o ar entre as camadas saia e por fim, é aquecido e é aplicada pressão para que se adapte à estrutura moldada. Este processo é muito dispendioso e demorado, mas garante ao quadro uma estrutura muito resistente, com elevada durabilidade e leveza. [57]

Seguem-se então a tabela 3.14, síntese das vantagens e desvantagens de cada processo e ainda a tabela 3.15 que define os conceitos selecionados.

Tabela 3.14: Vantagens e desvantagens de cada processo de fabrico do quadro.

		Vantagens	Desvantagens
A	Soldadura de perfis tubulares e/ou hidroconformação	<ul style="list-style-type: none"> ● Reduz retorno elástico ● Requer poucas operações ● Peças resistentes 	<ul style="list-style-type: none"> ● Requer equipamento dispendioso
B	Injeção em moldes	<ul style="list-style-type: none"> ● Elevada eficiência ● Elevado leque de materiais ● Elevada precisão 	<ul style="list-style-type: none"> ● Investimento inicial muito elevado (equipamento e ferramentas) ● O CAD tem de considerar o processo
C	Deposição de camadas num molde	<ul style="list-style-type: none"> ● Bom acabamento ● Elevada resistência 	<ul style="list-style-type: none"> ● Processo demorado ● Custo elevado

Tabela 3.15: Seleção do conceito do processo de fabrico do quadro.

Critério de Seleção	Peso (%)	A	B	C
Custo	40	4	1	1
Qualidade	30	3	3	4
Acabamento	30	2	3	4
Total		3,1	2,2	2,8
Continua?		Sim	Não	Sim

Os processos de fabrico seleccionados são a deposição de camadas num molde e a soldadura de perfis tubulares e/ou hidroconformação, por terem obtido as maiores cotações para os critérios definidos, tendo em consideração os materiais anteriormente seleccionados. A melhor solução será a A por a empresa ter como parceiro um produtor de fabrico em alumínio. No entanto, e como referido anteriormente, o fabrico de certos elementos periféricos *standard*, como o espigão e o guiador, pode envolver o uso de fibra de carbono e assim a deposição em camadas; esta junção dos dois processos leva uma elevada redução do peso do veículo.

- **Esquema Estrutural**

O conceito do esquema estrutural do quadro assentou em três conceitos principais: um quadro curvo bifurcado baixo; um quadro baixo de geometria mais simples; um quadro em cruz. O objetivo é então implementar uma estrutura que conjugue a inovação e a atratividade, que ao mesmo tempo permita que o veículo ocupe o menor volume possível e ainda que possibilite a sua fácil e instintiva dobragem.

1. **Tipo A: Quadro curvo bifurcado**

Um dos conceitos para o quadro do veículo, baseia-se então num quadro baixo, curvado e com uma abertura – bifurcado.

Este formato apresenta vantagens por se aliar a diversos esquemas de dobragem apresentados de seguida. Além disso, garante a estabilidade do veículo, apesar do seu processo de fabrico poder ser mais demorado. A figura 3.7 é ilustrativa deste conceito.

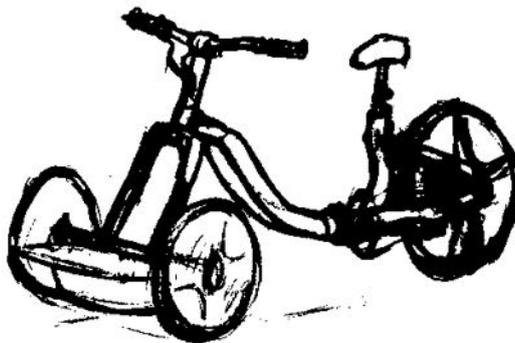


Figura 3.7: Sketch do quadro curvo bifurcado.

2. **Tipo B: Quadro baixo**

Este tipo de quadro, ilustrado na figura 3.8, apresenta duas grandes vantagens: o seu fácil uso e fabrico. A ideia seria um quadro representado por uma estrutura de um tubo só, a menos de 300 mm do chão, com a possibilidade de separação do tubo em dois elementos, na zona próxima do assento, como se pode observar nas imagens exemplo que se seguem. É também de referir que o quadro baixo apresenta a vantagem de poder incluir a bateria dentro do tubo central, com acesso através da sua zona de dobragem.



Figura 3.8: Quadro baixo tido como referência. [64, 65]

3. Tipo C: Quadro em X

O quadro em cruz introduz um *design* alternativo ao comumente presente nos veículos de duas e três rodas do dia-à-dia. Para além disso, permite uma grande redução de material e simultaneamente do volume da bicicleta. No entanto, esta geometria pode trazer condicionantes em termos da estabilidade do veículo. A figura 3.9 que se segue, permite visualizar um exemplo de uma bicicleta com este tipo de quadro.



Figura 3.9: Quadro em cruz tido como referência. [66]

Seguem-se então a tabela 3.16, síntese das vantagens e desvantagens de cada esquema e ainda a tabela 3.17 que define os conceitos seleccionados.

Tabela 3.16: Vantagens e desvantagens de cada esquema estrutural do quadro.

		Vantagens	Desvantagens
A	Quadro curvo bifurcado	<ul style="list-style-type: none"> ● Boa estabilidade ● Atratividade 	<ul style="list-style-type: none"> ● Dificuldade de produção
B	Quadro baixo	<ul style="list-style-type: none"> ● Fácil acesso ao veículo ● Atratividade ● Fácil produção ● Pode incluir a bateria 	<ul style="list-style-type: none"> ● Baixa estabilidade
C	Quadro em X	<ul style="list-style-type: none"> ● Design inovador ● Atratividade 	<ul style="list-style-type: none"> ● Dificuldade de produção ● Baixa estabilidade

Tabela 3.17: Seleção do conceito do esquema estrutural do quadro.

Critério de Seleção	Peso (%)	A	B	C
Custo	20	3	4	1
Estabilidade	30	4	4	2
Facilidade de uso	20	3	4	2
Atratividade	15	4	3	4
Peso	15	3	4	3
Total		3,5	3,9	2,3
Continua?		Sim	Sim	Não

Selecionaram-se também dois conceitos para o esquema estrutural do quadro, baseados na maior cotação obtida de acordo com os critérios previamente definidos: um quadro curvo bifurcado e ainda um quadro baixo. Estes dois conceitos podem inclusive ser conjugados num só.

Esquema de Dobragem

Relativamente ao esquema de dobragem, geraram-se então seis conceitos diferentes apresentados esquematicamente e descritos de seguida. Estes esquemas tiveram um grande impacto na escolha do *design* da estrutura do quadro, por restringirem as suas dimensões e geometria para que a dobragem funcionasse.

- **Esquema A: Esquema do conceito Ghisallo**

O esquema do conceito Ghisallo é apresentado na imagem que se segue, fig. 3.10, e consiste no encaixe da roda traseira entre as duas rodas dianteiras, através de uma rotação de 180 graus da mesma no sentido dos ponteiros do relógio.



Figura 3.10: Esquema de dobragem do conceito Ghisallo. [3]

- **Esquema B**

O segundo esquema, na figura 3.11, é semelhante ao esquema anteriormente apresentado, também constituído por três gestos e com um quadro de geometria muito simples. Neste esquema de fecho o quadro apresenta a particularidade de ser mais baixo, facilitando a entrada e saída do veículo. Essa estrutura tubular apresenta uma zona de fecho/aperto que permite a sua partição, separando assim a parte dianteira da posterior. O segundo gesto consiste no encaixe da roda traseira entre as duas rodas dianteiras e por último o uso de um mecanismo para bloquear a estrutura.

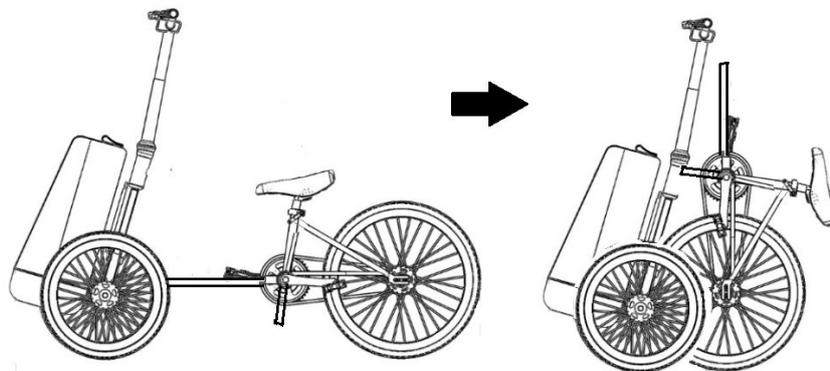


Figura 3.11: Esquema de fecho B.

- **Esquema C**

O esquema C, na figura 3.12, consiste numa dobragem rápida com apenas três gestos. O quadro de geometria simples contém uma dobradiça a meio ou outra alternativa a explorar, de forma a permitir o fecho do mesmo nessa zona. O esquema consiste então em dobrar o quadro a meio e encaixar assim a roda traseira no meio das duas rodas dianteiras. Assim, a sequência dos gestos seria: folgar o aperto do quadro, puxar e encaixar o mesmo e por fim, bloquear a estrutura. A possibilidade de descida do selim permite uma elevada diminuição da pegada e acrescenta apenas mais um gesto.

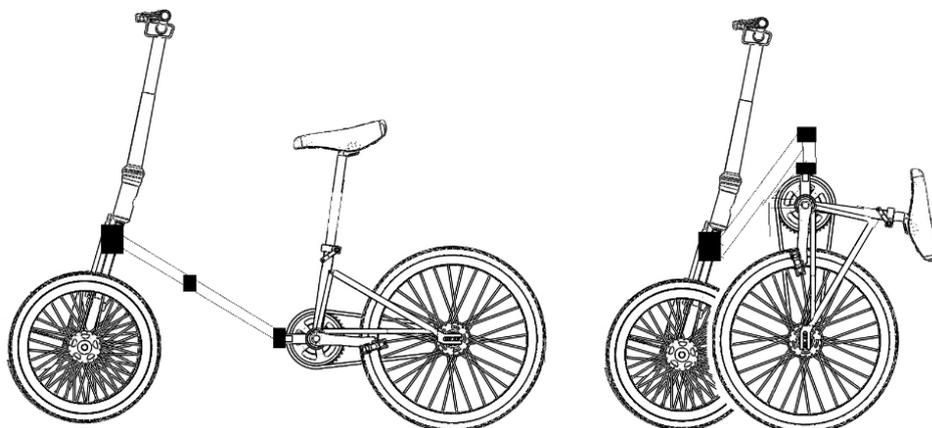


Figura 3.12: Esquema de dobragem C.

- **Esquema D**

No esquema D, figura 3.13, recorre-se à separação do veículo em duas partes distintas, mas o quadro apresenta uma estrutura em X. Esta estrutura do quadro é necessária para que seja possível mover a estrutura tubular de apoio do selim ao longo do quadro. Este movimento permite levar o tubo do selim até à sua posição vertical, em apenas dois gestos: folgar a dobradiça e puxar o selim. O terceiro gesto consiste na então separação do quadro e o quarto no encaixe da parte traseira do veículo numa base com rodinhas, fixa à outra metade do quadro.

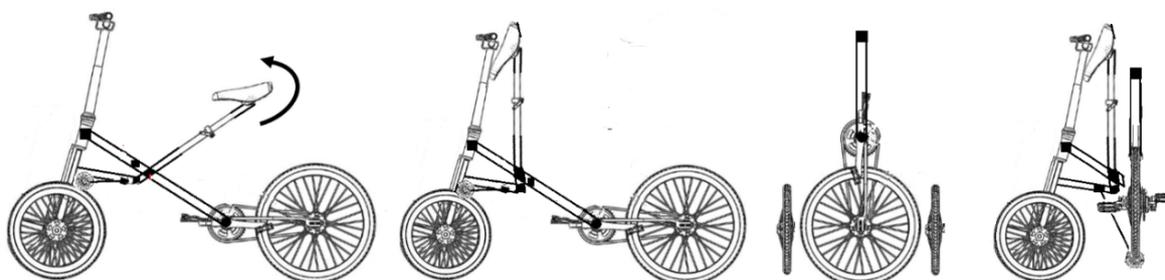


Figura 3.13: Esquema de fecho D.

- **Esquema E**

No esquema E, na figura 3.14, o quadro apresenta uma estrutura semelhante a uma estrutura em X, em que o tubo de apoio do selim está conectado ao quadro através de uma dobradiça, para permitir o seu rebaixamento até à altura da roda traseira. Para além disso, existe também um aperto no quadro que permite a sua separação em dois e posterior encaixe entre as duas rodas dianteiras.

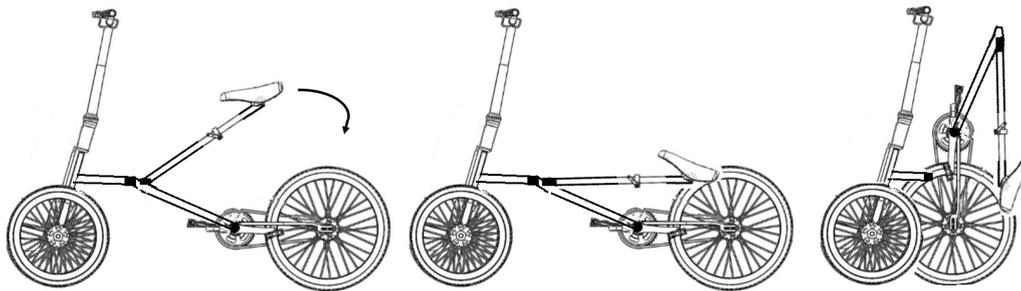


Figura 3.14: Esquema de fecho E.

Seguem-se então a tabela 3.18, síntese das vantagens e desvantagens de cada esquema de fecho e ainda a tabela 3.19 que define os conceitos selecionados.

Tabela 3.18: Vantagens e desvantagens de cada esquema de fecho do veículo.

		Vantagens	Desvantagens
A	Esquema A	<ul style="list-style-type: none"> ● Poucos gestos 	<ul style="list-style-type: none"> ● Exige força ● Pouca estabilidade ● Pegada dobrada elevada
B	Esquema B	<ul style="list-style-type: none"> ● Poucos gestos ● Reduzida pegada dobrada ● Boa estabilidade ● Fácil transporte 	<ul style="list-style-type: none"> ● Exige alguma força ● Exige partição do quadro
C	Esquema C	<ul style="list-style-type: none"> ● Poucos gestos ● Fecho intuitivo ● Reduzida pegada dobrada ● Fácil transporte 	<ul style="list-style-type: none"> ● Baixa estabilidade
D	Esquema D	<ul style="list-style-type: none"> ● Boa estabilidade ● Diferenciação ● Exige partição do quadro 	<ul style="list-style-type: none"> ● Elevado número de gestos ● Pouco intuitivo
E	Esquema E	<ul style="list-style-type: none"> ● Reduzida pegada dobrada ● Fácil transporte ● Boa estabilidade 	<ul style="list-style-type: none"> ● Pouco intuitivo ● Exige partição do quadro

Tabela 3.19: Seleção do conceito do esquema de fecho do veículo.

Critério de seleção	Peso (%)	A	B	C	D	E
Facilidade de fecho	30	2	3	4	1	1
Pegada	30	2	3	3	2	2
Estabilidade Dobrada	20	1	3	2	3	3
Transporte	20	1	3	4	2	3
Total		1,6	3	3,3	1,9	2,1
Continua?		Não	Não	Sim	Não	Não

Após a cotação de cada esquema exposto anteriormente e segundo os critérios definidos, selecionou-se o esquema C como potencial esquema a aplicar no fecho do veículo, por não

exigir a partição do quadro e permitir uma reduzida pegada, condições preferidas no início do projeto pela empresa promotora.

Direção Pendular

Relativamente à direção do veículo pretende-se desenvolver uma direção pendular com o objetivo de aumentar a estabilidade da condução num ambiente citadino, garantindo uma boa manobrabilidade do veículo e estabilidade direcional em linha reta e curva. [67] De seguida são expostos então os três tipos de direção presentes no mercado que melhor se adaptam ao objetivo pretendido.

- **Tipo A**

Um conceito possível de integrar na Ghisallo está presente em algumas bicicletas já existentes no mercado como a eKiffy e a Trego, na figura 3.15 (a) e (b) respetivamente. Através da rotação de dois pendulares, um superior e um inferior, ligados às rodas dianteiras através de um estrutura solidária com as mesmas, é garantida a inclinação da direção e conseqüentemente a das rodas. No caso da eKiffy, o *tilt* é limitado pela estrutura da bagagem que faz batente na manga de eixo das rodas. Esta manga assegura, aquando a rotação axial do guiador o movimento das rodas, de modo a ser possível curvar o veículo. [29, 68]



Figura 3.15: (a) Direção pendular eKiffy [29] e (b) Direção pendular Trego [68].

- **Tipo B**

Semelhante ao conceito anteriormente apresentado, existe um sistema de direção pendular presente em bicicletas como a e-clip e a Kaylad-e, também de estrutura em paralelogramo, no entanto estes sistemas apresentam quatro pendulares, dois solidários com a roda direita e outros dois associados com a roda esquerda. Estes estão solidários com as rodas através de um estrutura onde são integrados quatro veios que permitem a rotação axial dos pendulares. De igual forma ao sistema A, a inclinação da coluna da direção leva ao *tilt* das rodas e a manga permite a sua rotação em função da rotação do guiador. A figura 3.16, são ilustrativas da direção pendular e-clip e Kaylad-e, respetivamente. [69, 70]

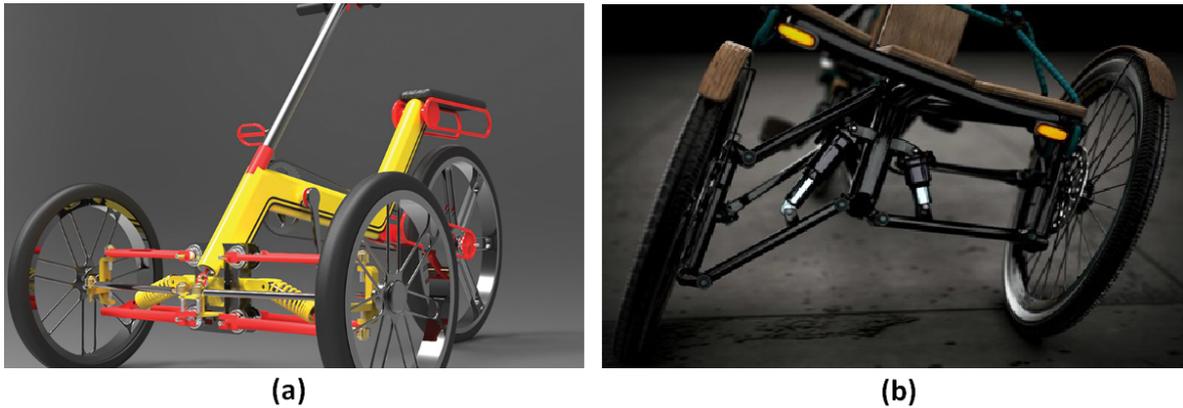


Figura 3.16: (a) Direção pendular e-clip [71] e (b) Direção pendular Kaylad-e [69].

- **Tipo C**

Este tipo de direção assenta numa estrutura como a apresentada na figura que segue, relativa à Trileaf presente no mercado. De igual modo ao sistema anteriormente apresentado, a direção da Trileaf é constituída por dois pendulares aparafusados à coluna da direção, permitindo o seu movimento segundo esses eixos, e fixos às rodas através de duas mangas de eixo e duas cavilhas em cada uma. A inclinação do guiador implica o movimento axial dos pendulares segundo o eixo dos parafusos e garante o *tilt* das rodas. A rotação das rodas aquando a rotação do guiador é garantida por dois componentes elásticos fixos numa estrutura solidária com o tubo do guiador e com as mangas de eixo. [65]

Este sistema, presente na figura 3.17, garante uma condução estável e simultaneamente o equilíbrio estático do veículo aquando parado ou em movimento. [65]

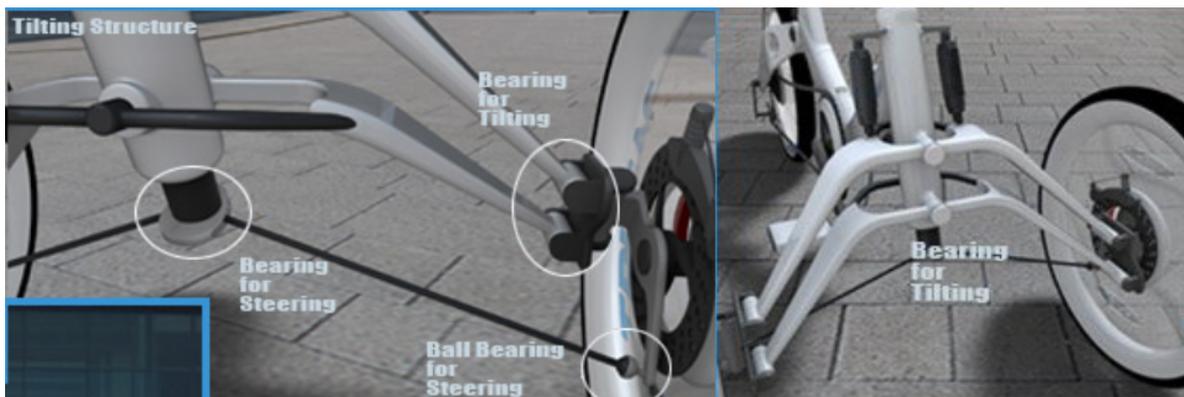


Figura 3.17: Direção pendular Trileaf: ligações à roda e guiador. [65]

Seguem-se então a tabela 3.20, síntese das vantagens e desvantagens de cada direção pendular e ainda a tabela 3.21 que define os conceitos seleccionados.

Tabela 3.20: Vantagens e desvantagens de cada sistema de direção pendular.

		Vantagens	Desvantagens
A	Tipo A	<ul style="list-style-type: none"> • Estabilidade parado em subidas e planícies • Inibe a possibilidade do utilizador cair 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado raio de viragem
B	Tipo B	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada estabilidade • Fácil inclinação • Adaptável a diferentes terrenos 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado raio de viragem
C	Tipo C	<ul style="list-style-type: none"> • Condução fácil • Estabilidade parado • Estrutura simples 	<ul style="list-style-type: none"> • Geometria mais complexa

Tabela 3.21: Seleção do conceito de direção pendular.

Critério de Seleção	Peso (%)	A	B	C
Estabilidade	30	3	4	4
Fácil Manobralidade	30	3	4	4
Volume Máximo	15	2	2	2
Facilidade de Fabrico	15	2	2	2
Peso	10	3	3	3
Total		2,7	3,3	3,3
Continua?		Não	Sim	Sim

Relativamente à direção, selecionaram-se dois conceitos a explorar considerados ideais por serem os melhores a responder aos critérios expostos: a direção do tipo B e C.

Travões

Relativamente aos travões, este é também um conceito importante de explorar por estar relacionado com a segurança do condutor.

• Tipo A: Disco Hidráulicos

Os freios de disco são os travões mais comuns usados nas bicicletas e podem ou não ser hidráulicos. Os mecânicos não são tão potentes como os hidráulicos e precisam de ajustes para o alongamento do cabo e desgaste das pastilhas; enquanto que os hidráulicos usam uma alavanca conectada aos pistões através de uma mangueira que contém um fluido incompressível, sendo extremamente eficazes na travagem. [72]

Estes travões são eficazes em piso seco e molhado e têm elevada resistência ao desgaste, apenas requerem a troca ocasional do fluido e de novas pastilhas. [72]

• Tipo B: V Brake

Este tipo de travões funciona através de duas pinças com pastilhas que pressionam os dois lados do aro da roda, causando um forte atrito que diminui a velocidade de rotação. Uma das pinças é puxada e outra empurrada simultaneamente, quando acionado o cabo de aço na manete. [72]

- **Tipo C: Cantilevers**

Os travões cantilevers são semelhantes aos V, mas com um cabo entre eles que é puxado verticalmente para a travagem. Apesar da sua dificuldade de montagem, em comparação com os travões em V, estes têm elevada durabilidade e qualidade de travagem. Estes travões apresentam um preço mais elevado que os V Brake. [72]

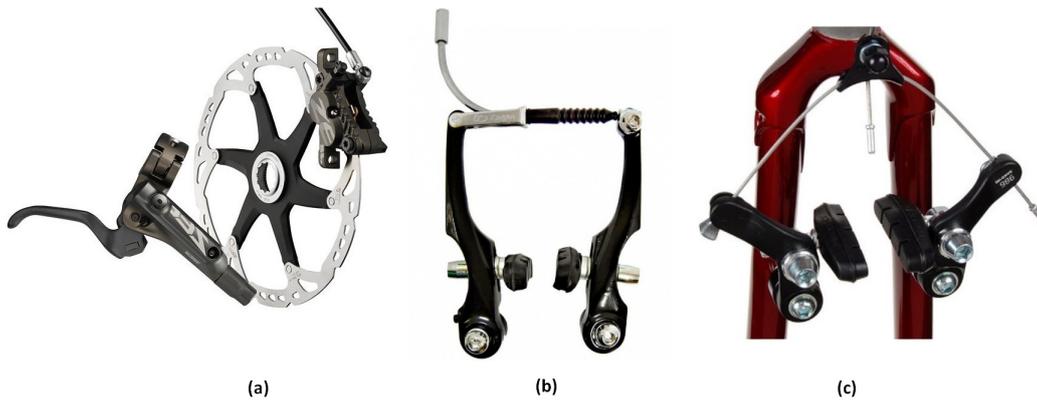


Figura 3.18: (a) Conjunto travões de disco hidráulicos Shimano [73]; (b) Freio travões V [74]; (c) Travões cantilevers [75].

Seguem-se então a tabela 3.22, síntese das vantagens e desvantagens de cada tipo de travão e ainda a tabela 3.23 que define o conceito selecionado.

Tabela 3.22: Vantagens e desvantagens de cada tipo de travão.

		Vantagens	Desvantagens
A	Disco Hidráulico	<ul style="list-style-type: none"> • Extremamente eficazes • Resistência ao desgaste • Pouca manutenção 	<ul style="list-style-type: none"> • Difícil de instalar
B	V Brake	<ul style="list-style-type: none"> • Mais baratos • Mais leves 	<ul style="list-style-type: none"> • Menor eficiência • Ação diminuída em dias de chuva
C	Cantilevers	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada durabilidade • Qualidade de travagem 	<ul style="list-style-type: none"> • Difícil montagem • Preço elevado

Tabela 3.23: Seleção do tipo de travão a implementar.

Critério de Seleção	Peso (%)	A	B	C
Custo	20	3	4	1
Peso	25	3	4	3
Eficiência	35	4	2	3
Durabilidade	20	4	3	4
Total		3,6	3,1	2,8
Continua?		Sim	Não	Não

Segundo os critérios estabelecidos e a cotação obtida para cada tipo de travão, selecionou-se o travão de disco hidráulico como o conceito a implementar.

Posicionamento do Motor

Relativamente ao motor a escolha da sua posição no veículo tem um grande impacto no uso do mesmo, nas suas dimensões e ainda no seu peso. Assim, seguem-se os vários conceitos de posicionamento a considerar.

- **Tipo A: Central**

O motor central é o de mais difícil implementação e maior custo, no entanto é o que melhor resposta apresenta a pisos planos ou montanhosos. O posicionamento central do motor garante uma boa distribuição do peso do veículo e consegue ser mais leve, mais pequeno e mais fácil de remover e substituir. A tendência do mercado é o uso do motor nesta posição, similar à Brose, Bosch e Shimano. Este conceito é também benéfico por permitir libertar o cubo traseiro para a colocação do sistema de transmissão Shimano Nexus, pretendido no veículo (definido pelo promotor) [3]

- **Tipo B - No cubo traseiro**

O motor no cubo traseiro é de mais fácil implementação que o motor central e também mais barato, no entanto não permite uma igual distribuição do peso do veículo. Para além disso este motor é mais pesado, de maiores dimensões e além da sua menor eficiência, requer também mais manutenção. [3]

- **Tipo C - No cubo dianteiro**

Quanto ao motor no cubo dianteiro, de igual modo à posição no cubo traseiro, é mais fácil de implementar que o central e de menor custo, no entanto é menos eficiente, mais pesado e de maiores dimensões. Contrariamente ao motor no cubo traseiro, permite uma equilibrada distribuição do peso se a bateria, como usualmente costuma acontecer, se localizar na zona posterior do veículo. [3]

Segue-se então a tabela 3.24, síntese das vantagens e desvantagens dos diferentes posicionamentos do motor e ainda a tabela 3.25 que define o conceito selecionado.

Tabela 3.24: Vantagens e desvantagens dos diferentes posicionamentos do motor.

		Vantagens	Desvantagens
A	Central	<ul style="list-style-type: none">• Boa distribuição de peso• Leveza• Reduzidas dimensões• Fácil remover	<ul style="list-style-type: none">• Difícil implementação• Maior custo
B	No cubo traseiro	<ul style="list-style-type: none">• Fácil implementação• Mais barato	<ul style="list-style-type: none">• Mais pesado• Maiores dimensões• Menor eficiência
C	No cubo dianteiro	<ul style="list-style-type: none">• Fácil implementação• Mais barato• Boa distribuição de peso	<ul style="list-style-type: none">• Mais pesado• Maiores dimensões• Menor eficiência

Tabela 3.25: Seleção do conceito do posicionamento do motor no veículo.

Critério de Seleção	Peso (%)	A	B	C
Custo	25	3	4	4
Peso	25	4	2	2
Eficiência	25	4	2	2
Facilidade de montagem	25	3	4	4
Total		3,5	3	3
Continua?		Sim	Não	Não

Através das especificações mencionadas e da capacidade de resposta de cada conceito às mesmas, selecionou-se o conceito que melhor pontuação obteve: posicionamento do motor no centro do veículo.

Posicionamento da Bateria

Relativamente à bateria, de igual modo ao motor, a escolha da sua posição no veículo tem um grande impacto na facilidade de uso do mesmo, nas suas dimensões e ainda no seu peso. A sua localização pode ser debaixo da estrutura da bagagem (caso esta exista), na zona posterior do veículo, debaixo do selim e ainda no quadro.

- **Tipo A: Debaixo da estrutura da bagagem**

A bateria pode-se encontrar debaixo da estrutura da bagagem, caso esta exista, e apesar deste posicionamento apresentar vantagens em termos estéticos e de aproveitamento do espaço no veículo, pode condicionar o esquema de fecho do mesmo.

- **Tipo B: Na zona posterior do veículo**

O posicionamento da bateria na parte traseira do veículo é favorável se o motor se localizar na parte frontal do mesmo, de forma a se conseguir uma equilibrada distribuição do peso. No entanto, caso o motor se situe atrás ou no centro, esta posição deixa de ser vantajosa.

- **Tipo C: Debaixo do selim**

A bateria debaixo do selim permite poupar espaço, torna o veículo mais atrativo para o utilizador por ficar escondida e permite uma equilibrada distribuição do peso.

- **Tipo D: No quadro**

Tal como na posição debaixo do assento, o posicionamento no quadro é também favorável por permitir um melhor aproveitamento do espaço do veículo e ser mais discreto. No entanto, dependendo do sítio, pode ou não condicionar os movimentos do utilizador.

Seguem-se então a tabela 3.26, síntese das vantagens e desvantagens dos diferentes posicionamentos da bateria e ainda a tabela 3.27 que define os conceitos selecionados.

Tabela 3.26: Vantagens e desvantagens dos diferentes posicionamentos da bateria.

		Vantagens	Desvantagens
A	Debaixo da estrutura da bagagem	<ul style="list-style-type: none"> • Atratividade • Poupa espaço 	<ul style="list-style-type: none"> • Dificil implementação • Interferência no fecho do veículo
B	Na zona posterior do veículo	<ul style="list-style-type: none"> • Peso equilibrado (se o motor não estiver atrás) 	<ul style="list-style-type: none"> • Ocupa mais espaço
C	Debaixo do selim	<ul style="list-style-type: none"> • Poupa espaço • Atratividade 	<ul style="list-style-type: none"> • Pode dificultar movimento do selim
D	No quadro	<ul style="list-style-type: none"> • Poupa espaço 	<ul style="list-style-type: none"> • Pode atrapalhar movimento

Tabela 3.27: Seleção do conceito do posicionamento da bateria no veículo.

Critério de Seleção	Peso (%)	A	B	C	D
Custo	20	3	3	3	3
Peso	20	2	3	4	4
Autonomia	30	3	3	3	3
Facilidade de montagem	15	2	2	4	4
Atratividade	15	3	2	3	3
Total		2,7	2,7	3,4	3,4
Continua?		Não	Não	Sim	Sim

Consoante os critérios acima mencionados e a cotação dos conceitos, optou-se pelo posicionamento da bateria debaixo do selim ou no quadro, considerando que dependendo da geometria do mesmo e das suas dimensões, esta não atrapalha o movimento de saída e entrada do veículo.

Posicionamento da Estrutura da bagagem

Quanto à estrutura da bagagem, também esta se pode localizar em diferentes posições que influenciam a segurança do utilizador e também o equilíbrio do veículo.

- **Tipo A: Zona frontal do veículo**

O transporte de bagagem na zona frontal do veículo é vantajoso por garantir mais segurança ao utilizador, por permitir ter sempre visão sobre os seus pertences e por facilitar o acesso aos mesmos, garantido que se situa abaixo do nível do guiador de modo a não prejudicar o seu ângulo de visão. Para além disso, se componentes como a bateria e o motor se localizarem a meio ou na parte traseira do veículo, o peso será igualmente distribuído.

- **Tipo B: Zona posterior do veículo**

A estrutura da bagagem na parte traseira do veículo pode ser vantajosa por diminuir as dimensões do veículo na parte frontal, no entanto não permite ao utilizador visualizar a sua mercadoria enquanto conduz, transmitindo-lhe insegurança.

- **Tipo C: Zona central do veículo**

O transporte de bagagem no meio do veículo é apenas vantajoso para mercadorias de reduzida dimensão; o transporte de bagagem maior pode condicionar o correto movimento do utilizador na condução do veículo e também a sua entrada e saída do mesmo.

Seguem-se então a tabela 3.28, síntese das vantagens e desvantagens dos diferentes posicionamentos para a estrutura da bagagem e ainda a tabela 3.29 que define o conceito selecionado.

Tabela 3.28: Vantagens e desvantagens do diferente posicionamento da estrutura da bagagem.

		Vantagens	Desvantagens
A	Zona frontal do veículo	<ul style="list-style-type: none"> • Segurança do utilizador • Fácil acesso • Distribuição equilibrada do peso 	<ul style="list-style-type: none"> • Pode dificultar a visão do condutor
B	Zona posterior do veículo	<ul style="list-style-type: none"> • Diminui dimensões entre as rodas dianteiras 	<ul style="list-style-type: none"> • Insegurança
C	Zona central do veículo	<ul style="list-style-type: none"> • Reduz espaço no transporte de mercadorias pequenas 	<ul style="list-style-type: none"> • Condiciona movimento • Condicionada entrada e saída

Tabela 3.29: Seleção do conceito de posicionamento da estrutura da bagagem.

Critério de Seleção	Peso (%)	A	B	C
Contribuição para o equilíbrio	30	4	2	3
Dimensões	30	3	3	2
Facilidade de montagem	40	4	3	2
Total		3,7	2,7	2,3
Continua?		Sim	Não	Não

Segundo a cotação dos conceitos para os critérios impostos, selecionou-se então o posicionamento da estrutura da bagagem na parte frontal do veículo, entre as duas rodas dianteiras.

3.5 Arquitetura e modularidade

3.5.1 Introdução

Após a seleção de conceitos e estabelecidos os valores meta do projeto, seguiu-se a fase de organização do produto com base numa arquitetura que facilite o posterior fabrico do mesmo.

A arquitetura designa então a organização da estrutura do produto e pode ser dividida em dois tipos diferentes: a arquitetura integral e a modular. [76]

A arquitetura integral baseia-se numa divisão dos elementos funcionais em diversos sub-sistemas, sendo que a sua identificação é difícil ou mesmo inexistente, ou num bloco que implementa várias funções. Este tipo de arquitetura não é vantajosa porque a modificação de um único componente pode originar a alteração de todo o produto. [76]

Relativamente à arquitetura modular, cada bloco é constituído por alguns elementos funcionais cujas interações são bem definidas. Esta arquitetura permite a fácil adaptação do produto às necessidades de cada utilizador sem que seja necessário criar um novo, por ser possível alterar cada módulo individualmente. [76]

Neste projeto, optou-se então pela adoção de uma arquitetura modular e são de seguida apresentados os diferentes módulos presentes no veículo e o seu plano de diferenciação.

3.5.2 Principais módulos

Sendo então o módulo um conjunto de elementos interligados, este veículo está dividido em três módulos diferentes que validam a combinação de várias soluções técnicas:

- **Módulo frontal**

O módulo frontal é constituído por toda a estrutura que inclui a direção do veículo como a estrutura do guiador, o sistema de direção, as rodas dianteiras, o bloqueio da direção e ainda a estrutura da bagagem, por o conceito selecionado ter definido o posicionamento deste na zona frontal do veículo e existir uma forte possibilidade de estar fixa na direção do mesmo.

Na eventualidade do surgimento de alterações ao sistema da direção, por exemplo para um sistema que consiga garantir uma condução ainda mais suave, um maior ângulo de inclinação ou ainda um sistema que implemente suspensão, este módulo permite facilmente essa mudança não sendo necessário modificar os restantes componentes do veículo, por serem independentes. Também em termos de *design* da estrutura do guiador ou mesmo relativamente à sua ergonomia, esta pode ser rapidamente substituída por outro modelo escolhido. Relativamente à estrutura da bagagem, optando-se por fixar a mesma na estrutura da direção, esta consegue ser facilmente amovível e incorporada noutro módulo do veículo; existe também flexibilidade na escolha do *design* da mesma. Seria ainda possível, consoante os requisitos do utilizador para o produto, optar pelo veículo sem uma estrutura de transporte de mercadoria.

- **Módulo central**

No que concerne ao módulo central este é representado pelo quadro, motor, bateria, sistemas de bloqueio necessários à fixação do quadro e ainda a estrutura da pedaleira.

Para este módulo central adotou-se a possibilidade da integração de uma geometria diferenciadora das plataformas de mobilidade suave atualmente existentes. Ao invés da adoção de uma só estrutura que integrasse o motor central, pensou-se então no uso do motor como um elemento estrutural do quadro. A implementação de um motor a integrar o quadro do veículo iria permitir facilmente alterações ao nível do *design* do quadro e da estrutura posterior, não sendo necessário alterar ambos nem outros componentes do veículo. Para além disso, seria gasto menos material na produção do quadro e o seu processo de fabrico seria simplificado. Ainda importante de referir que por o motor ser um elemento bastante robusto, garantir-se-ia uma maior rigidez da estrutura.

- **Módulo posterior**

Por último, relativamente ao módulo posterior, deste faz parte todo o sistema de tração que permite a deslocação do veículo, a estrutura posterior, o seu sistema de fixação e ainda o selim, tubo e aperto de regulação da altura do mesmo.

A grande vantagem deste módulo recai sobre a possibilidade do utilizador querer um veículo para além do veículo citadino, com um sistema de suspensão que aumente o seu conforto. Assim, facilmente se conseguia por exemplo retirar a estrutura posterior e implementar uma de que já fizesse parte esse sistema. Para além disso, caso o cliente preferisse o transporte de mercadoria na parte traseira do veículo ou mesmo um *design* mais desportivo do mesmo, rapidamente se faria a substituição da estrutura. Relativamente à roda traseira, no caso do utilizador preferir um veículo com um *design* mais sofisticado optando por outro tipo de jante, por exemplo, não haveria qualquer restrição nem alteração aos restantes componentes.

A independência do componente selim permite também facilmente alterar o mesmo. Visto que cada cliente tem o seu ideal de conforto muito pessoal, este é um elemento muito suscetivo a alterações, sendo assim vantajosa a sua simplicidade de troca.

3.5.3 Plano de personalização

O plano de personalização baseia-se na possibilidade do utilizador conseguir personalizar o seu veículo, para que seja único e adaptado ao seu gosto pessoal.

Para que o veículo seja adaptável a todo o tipo de utilizador, tanto o selim como o guiador permitem a sua regulação em altura, de forma a que variados percentis tenham garantida uma condução confortável e ergonómica. Além da adaptação à estatura do utilizador, é também possível agradar ao seu gosto pessoal através do tipo de assento, guiador, cor do quadro, esquema de iluminação, presença ou não de suspensão dianteira e posterior, presença ou não de uma estrutura para transporte de mercadoria e se sim diferentes volumes permitidos, entre outros.

Relativamente à estrutura que permite o transporte da bagagem, existem ainda duas variações da mesma: uma estrutura dobrável, que permite que o utilizador a mantenha retraída aquando o não transporte de mercadoria; e uma estrutura aberta e estática, mais leve e mais interessante para os utilizadores que gostarem de elementos mais simples.

Estudou-se ainda a possibilidade de alteração do tipo de roda: a roda raiada, com um raiado diferenciador e leve esteticamente; e ainda a roda com jante, para usuários que gostem de um *design* mais futurístico e sofisticado.

Relativamente à suspensão, o veículo a ser desenvolvido não vai adotar qualquer sistema de suspensão por definição do promotor do projeto. No entanto, para utilizadores que queiram maior conforto ou que pretendam usar a plataforma em solos mais acidentados, é possível implementar suspensão dianteira e suspensão atrás. Ainda dentro de cada um existem diferentes tipos de suspensão que podem também ser uma escolha do utilizador.

Também componentes como a estrutura da pedaleira podem ser alterados, caso não se ajustem ergonómica ou esteticamente ao utilizador, optando por modelos diferentes. Relativamente a especificações técnicas, mediante o investimento que o utilizador pretender realizar, especificações como a potência do motor e o material do quadro, podem ser alteradas de modo a reforçar a qualidade do veículo.

A tabela 3.5.3 apresenta as várias especificações que podem ser modificadas consoante os critérios do utilizador.

Tabela 3.30: Combinação das opções disponíveis para o cliente para diferentes especificações.

Especificações	Opção 1	Opção 2	Opção 3	Opção 4
Cor do quadro	 [77]	 [78]	 [79]	 [80]
Ajuste da suspensão dianteira	Não	 [81]	 [82]	
Selim	 [83]	 [84]	 [85]	 [86]
Design do guiador	 [87]	 [88]	 [89]	 [90]
Esquema de iluminação	 [91]	 [92]	 [93]	 [94]
Roda	 [95]	 [96]	 [97]	
Suspensão posterior	 [98]	 [99]	 [100]	 [101]
Estrutura da pedaleira	 [102]	 [103]		
Diâmetro das rodas	16 inch	20 inch	24 inch	26 inch
Potência do motor	200 W	250 W	350 W	400 W
Estrutura da bagagem	Sim, dianteira	Sim, posterior	Não	
Volume da bagagem	11 L	18 L	25 L	28 L
Material do quadro	Alumínio	Aço	Fibra de carbono	

As opções apresentadas permitem observar que a arquitetura modular do produto lhe garante uma mais fácil adaptação às diferentes exigências de cada cliente.

Capítulo 4

Projeto e dimensionamento mecânico

4.1 Introdução

Neste capítulo é apresentada toda a componente de projeto mecânico associada à concepção do quadro e sistema de direção do veículo. Através de uma ferramenta de modelação desenvolveu-se o CAD do veículo por forma a responder aos valores meta estabelecidos na matriz QFD. Para além disso, é também apresentada a verificação, através de simulação estrutural, da Norma Europeia ISO 4210-2 que tem de ser cumprida pelo veículo para que este possa circular. São também apresentados os cálculos analíticos realizados para definir a constante elástica das molas incorporadas na direção e para verificar o dimensionamento do sistema de bloqueio frontal do quadro. Posteriormente, é apresentada toda a documentação técnica relativa a desenhos de conjunto do produto e subsistemas, e a lista de peças associada.

4.2 Modelação estrutural do quadro e do sistema de direção

A modelação estrutural do veículo teve em foco o desenvolvimento do quadro e do sistema da direção pendular, no entanto outros elementos foram também modelados.

Na modelação usou-se a ferramenta CAD Catia V5R20, um *software* pertencente à *Dassault Systèmes*, usado para *design*, simulação, análise e manufatura, que está presente em várias indústrias como a aeroespacial e a automóvel. [?]

A figura 4.1 ilustra o veículo desenvolvido com base na arquitetura modular definida anteriormente, com três módulos distintos: módulo frontal, central e posterior. Estes três módulos são subdivididos e descritos em detalhe de seguida.

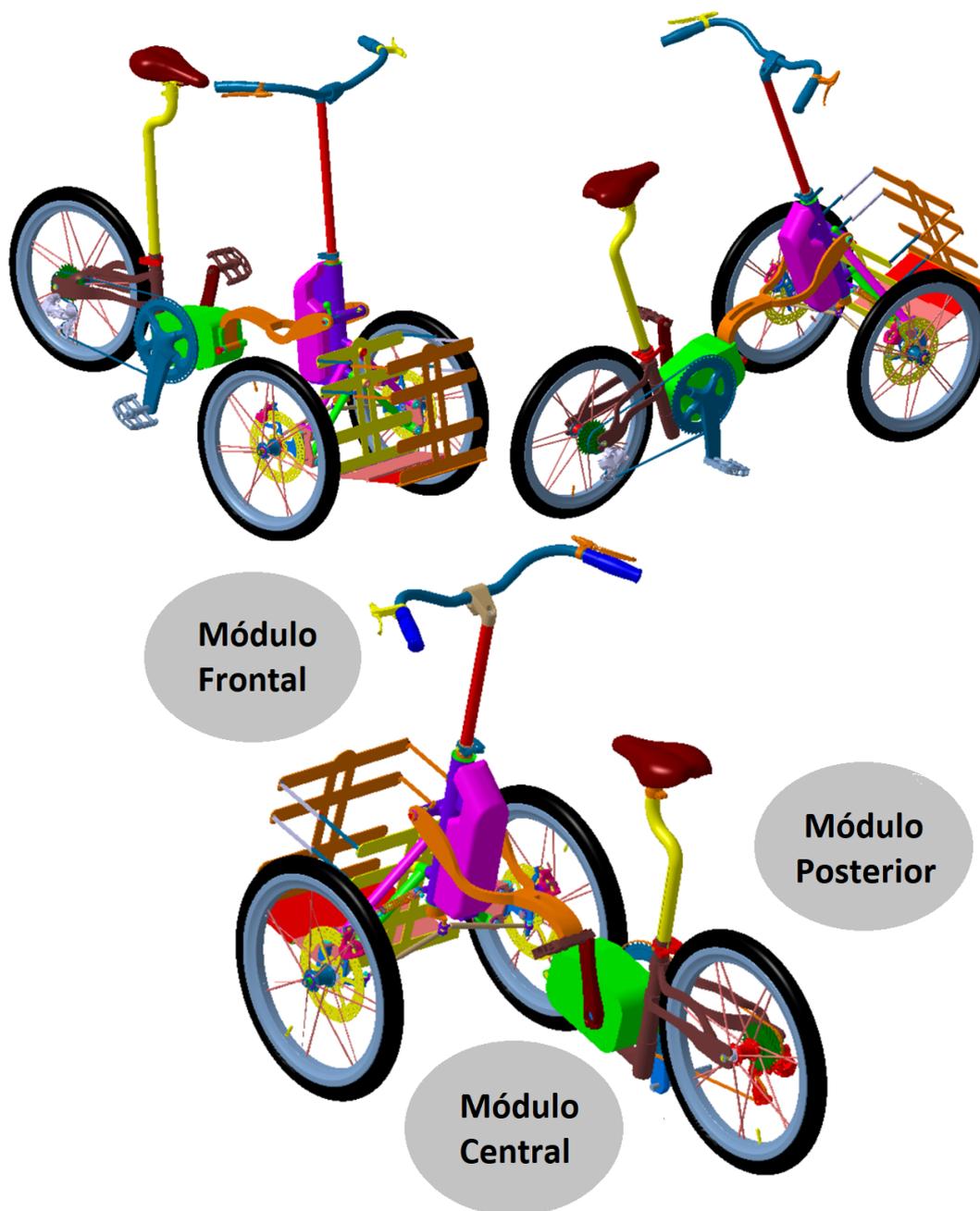


Figura 4.1: CAD do produto final, dividido em três módulos respectivamente assinalados, seguindo a estrutura definida anteriormente.

4.2.1 Módulo frontal

Direção e sistema de equilíbrio

Primeiramente, tendo os objetivos definidos na matriz da qualidade, modelou-se a direção do veículo. Para esta modelação teve-se por base a estrutura apresentada na seleção de

conceitos, presente no veículo *Trileaf*.

A direção tem de permitir uma inclinação de 0° a 35° do veículo nas curvas, o equilíbrio estático do condutor e uma condução suave, confortável e estável. A figura 4.2 permite observar o sistema e compreender melhor o seu funcionamento.

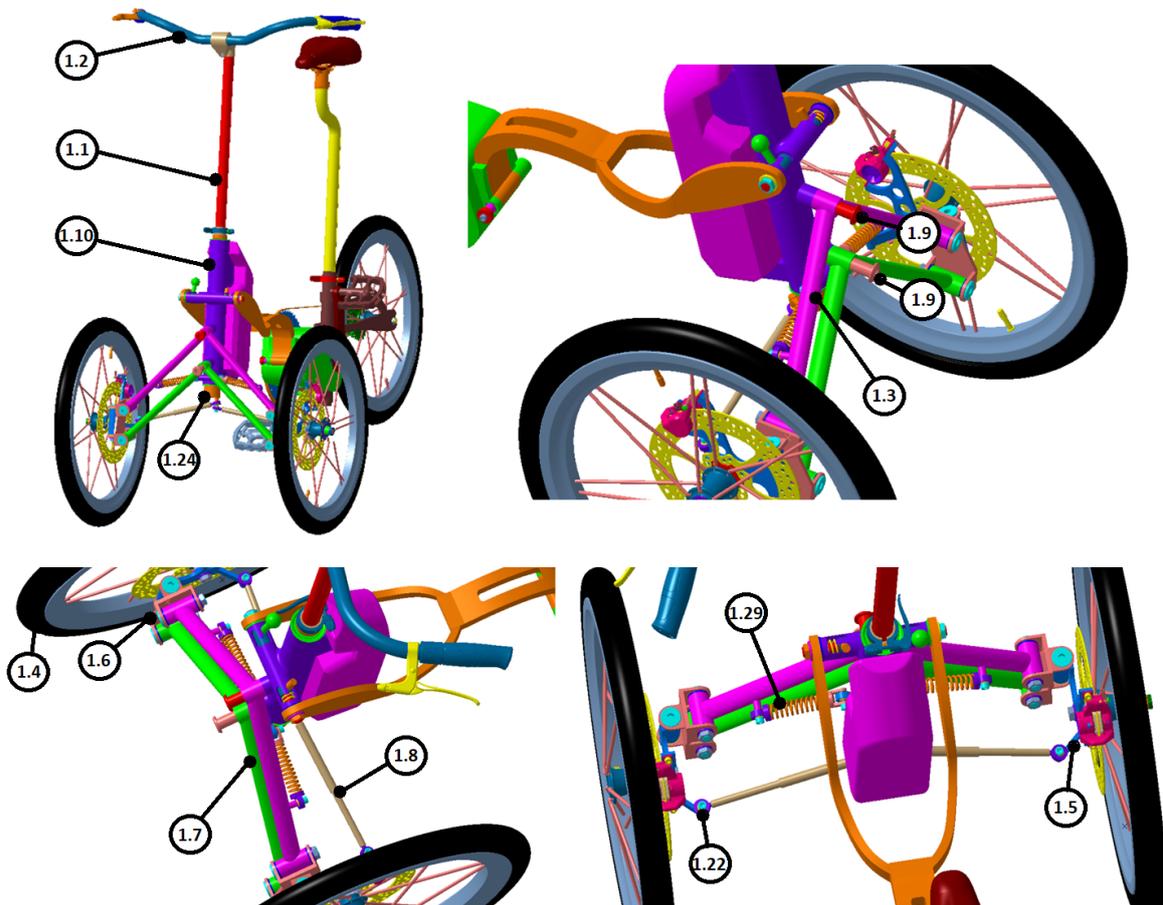


Figura 4.2: Sistema de direção incorporado no veículo em pormenor e identificação dos diferentes componentes.

Os pendulares superior (1.3) e inferior (1.7) permitem fazer a ligação da coluna da direção (1.10) com as rodas dianteiras (1.4) através de um suporte (1.5) e de uma manga de eixo (1.6) em cada terminal dos pendulares. A inclinação do guiador aquando a condução da plataforma incute um deslocamento na coluna da direção (1.10) que provoca o movimento axial dos pendulares segundo o eixo dos parafusos de bloqueio (1.9). Este mecanismo garante a inclinação de todo o veículo durante curvas. Para o sistema funcionar, as mangas de eixo (1.6) e os pendulares (1.3 e 1.7) não podem ser estruturas rígidas e portanto foram usados veios (1.19) assentes em casquilhos nas mesmas.

A figura 4.3 mostra em pormenor a manga de eixo (1.6) e respetivos veios (1.19) e ainda o parafuso (1.17) de aperto do suporte do veio da roda (1.5) à manga de eixo.

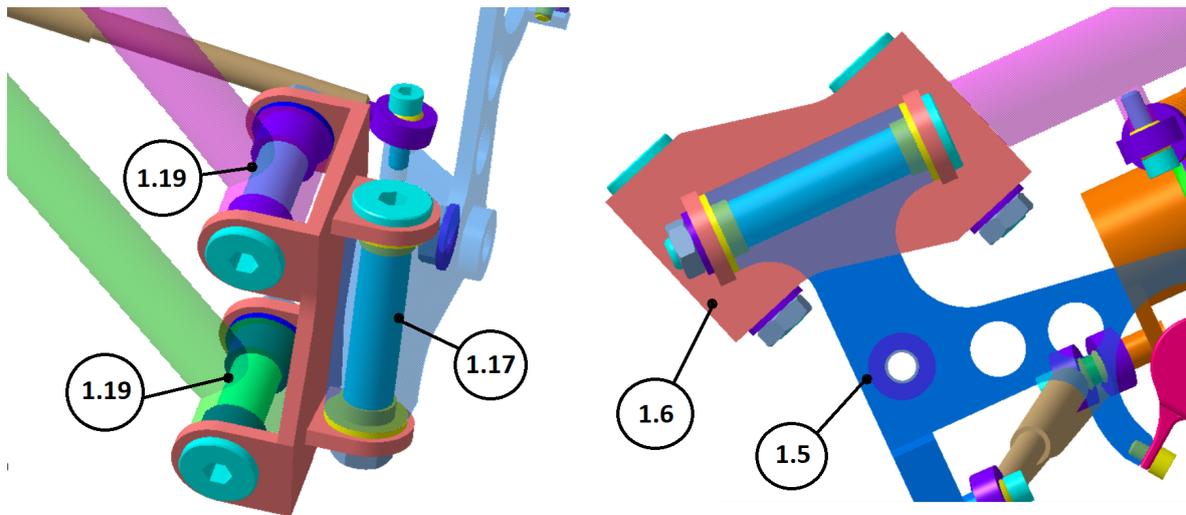


Figura 4.3: Pormenor da zona da manga de eixo e suporte do veio da roda da direção.

As rodas têm de acompanhar o movimento de rotação do resto do veículo, ou seja, têm de se deslocar em função da rotação axial do guiador (1.2). Este movimento é dado através de uma haste (1.8) de cada lado, fixa na ancoragem da direção (1.24), solidária com a coluna da direção (1.10), e no suporte do veio das rodas (1.5). Estas duas hastes garantem o deslocamento das rodas nas curvas aquando a rotação do guiador, por fazerem a ligação do movimento da coluna da direção (1.10) com as mangas de eixos (1.6) ligadas às rodas (1.4).

Além disso, o sistema tem de assegurar o equilíbrio estático do veículo. Implementaram-se então duas molas (1.29) à compressão/tração, solidárias com a coluna da direção (1.10) e o pendular superior (1.3), garantindo este equilíbrio. A mola é fixa através dois apoios (1.28 e 1.30) e dois parafusos (1.27). A ligação desta estrutura à coluna da direção (1.10) é dada por dois rolamentos de haste (1.22). Na modelação as molas são ilustrativas e o cálculo analítico da sua constante é apresentado posteriormente. O retorno à posição original é dado apenas pela força centrífuga do corpo do condutor.

A figura 4.4 permite observar em pormenor a fixação das molas no sistema da direção.

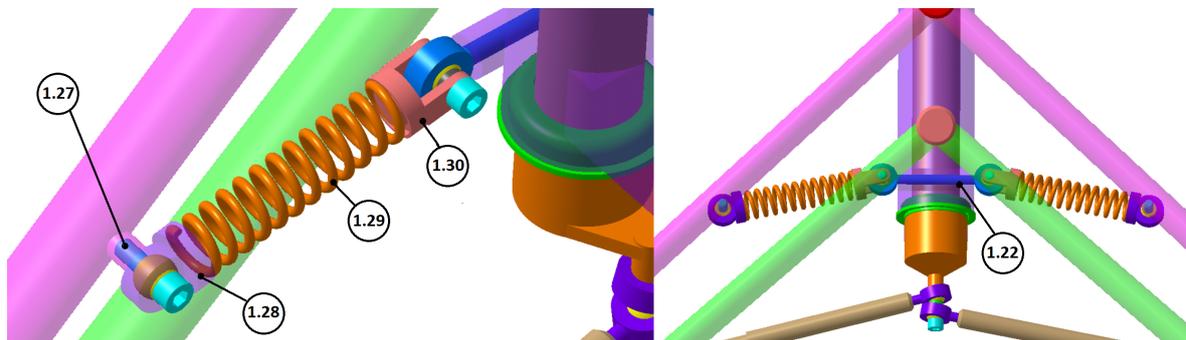


Figura 4.4: Pormenor do sistema de equilíbrio da direção e identificação dos diferentes componentes.

Na figura 4.5 é possível observar estes componentes mencionados e verificar o ângulo de inclinação de 72° da coluna da direção (1.10) definido como especificação do produto.

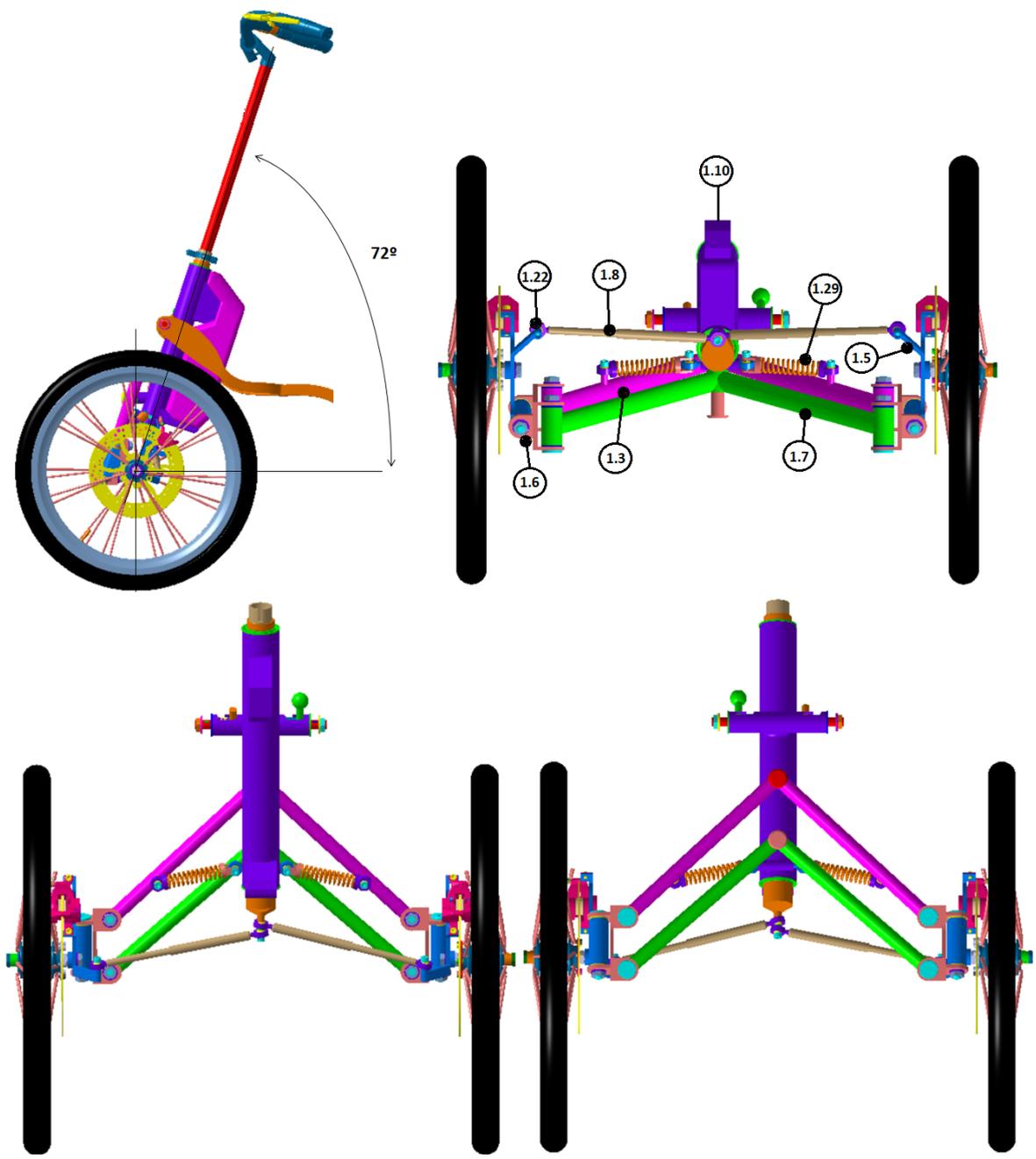


Figura 4.5: Vistas lateral, de baixo, de trás e de frente do sistema da direção e identificação dos diferentes componentes.

Na matriz da qualidade definiram-se dois valores meta para o sistema de direção: um *tilt* de 35° e um raio de viragem de cerca de 3.57 metros. Analisando a cinemática do sistema, verificou-se então que o ângulo de *tilt* alcançado ronda os 25°. Apesar do valor meta não ter sido atingido, através da figura 4.6 é possível observar que a inclinação do veículo parece bastante razoável para garantir uma condução suave, pouco rígida e fácil aquando a realização de curvas.

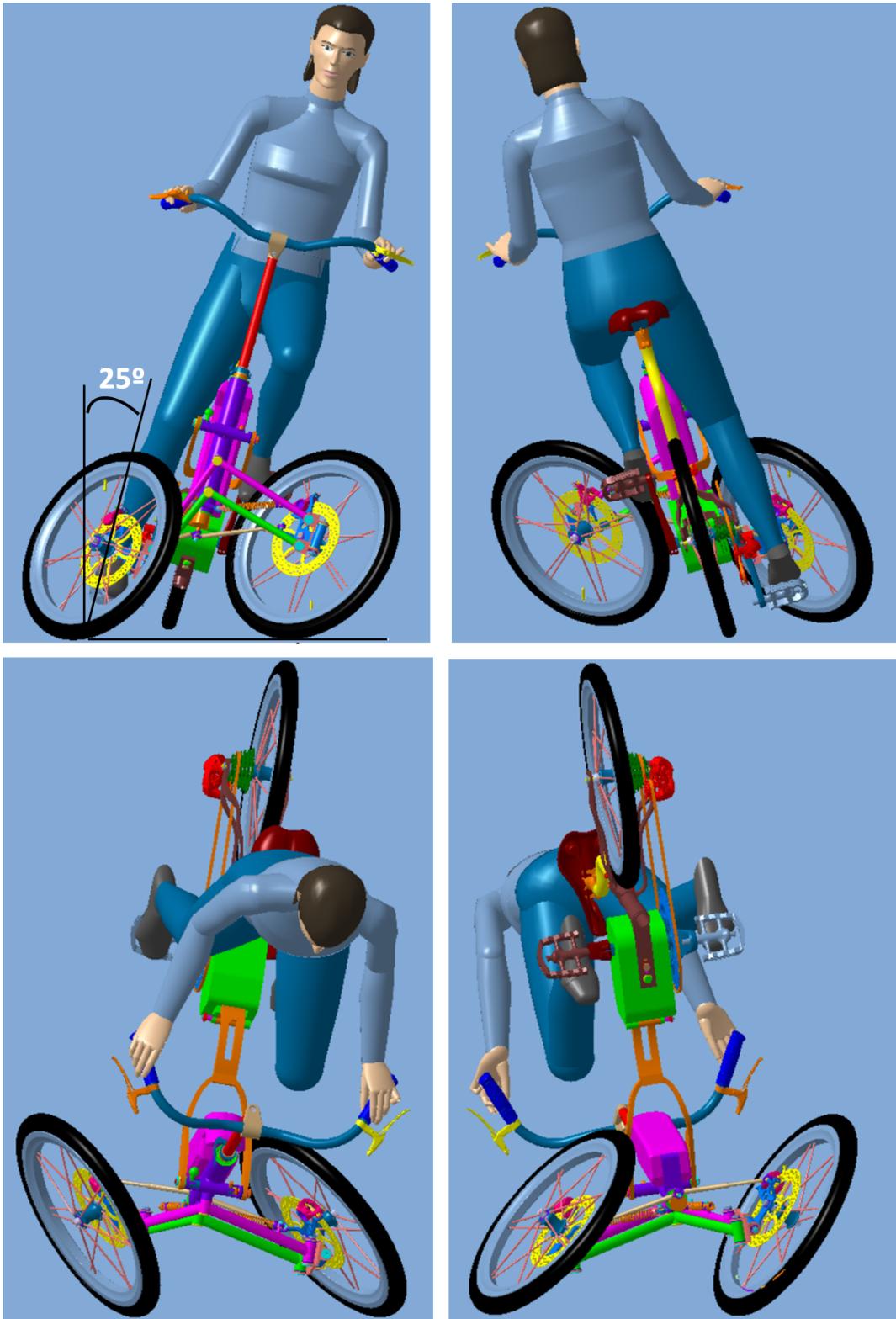


Figura 4.6: Inclinação máxima do veículo de 25°.

No entanto, aquando o acoplamento da estrutura da bagagem, o veículo apresenta limitações no seu ângulo de inclinação devido à geometria da estrutura. Apresentados na figura que segue 4.7, no primeiro caso em que a estrutura da bagagem se encontra em posição de transporte de mercadoria, o veículo consegue atingir uma inclinação de 13° ; quando a estrutura se encontra fechada, consegue atingir uma inclinação de cerca de 17° . A inclinação encontra-se limitada, porque devido à geometria da estrutura esta faz batente nas rodas do veículo. A solução é fácil e baseia-se na adoção de uma geometria compatível com este sistema de *tilt* ou no reposicionamento da estrutura numa posição acima do nível das rodas.

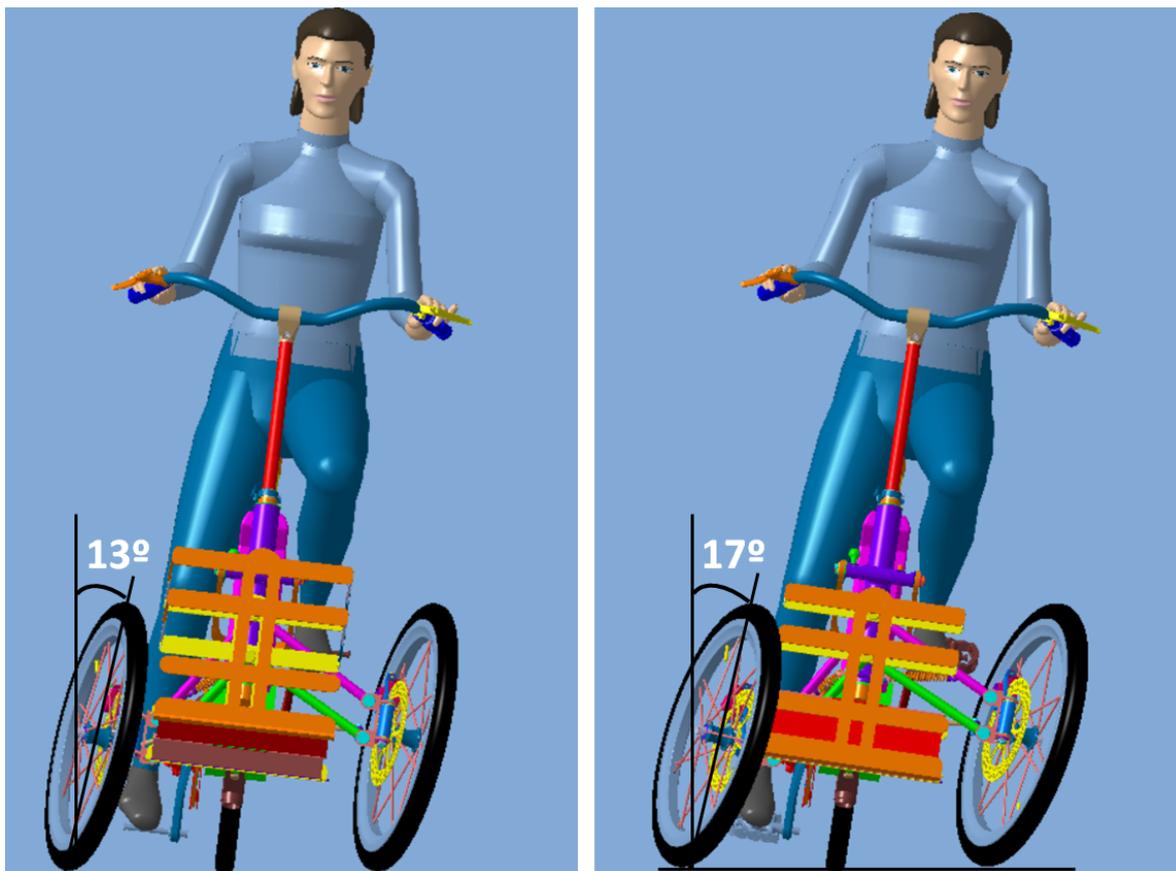


Figura 4.7: Inclinação máxima do veículo com a estrutura da bagagem acoplada em posição de transporte de mercadoria e fechada, à esquerda e à direita respetivamente.

No que concerne o raio de viragem aquando a curva, conforme a equação 3.4 indica, este depende linearmente do ângulo de inclinação atingido. Assim sendo, um menor ângulo de *tilt* implica que o veículo tenha de percorrer um maior raio para realizar uma mesma curva, no entanto, a equação previamente apresentada é relativa a velocípedes de duas rodas e o seu valor serviu apenas para definir uma referência numa fase inicial do projeto. Deste modo, não se recorreu à equação para obter o raio de viragem do presente projeto mas sim ao ficheiro CAD do veículo, observável na figura 4.8. Este raio de curvatura influenciado pelo ângulo

de inclinação efetivamente atingido, obteve-se um valor de 2.03 metros, que é perfeitamente aceitável e que consegue ser inferior ao valor estipulado como meta. No entanto, é de referir que variáveis como a velocidade do veículo consideradas no cálculo anterior, não foram tidas em conta e poderiam influenciar o valor obtido.

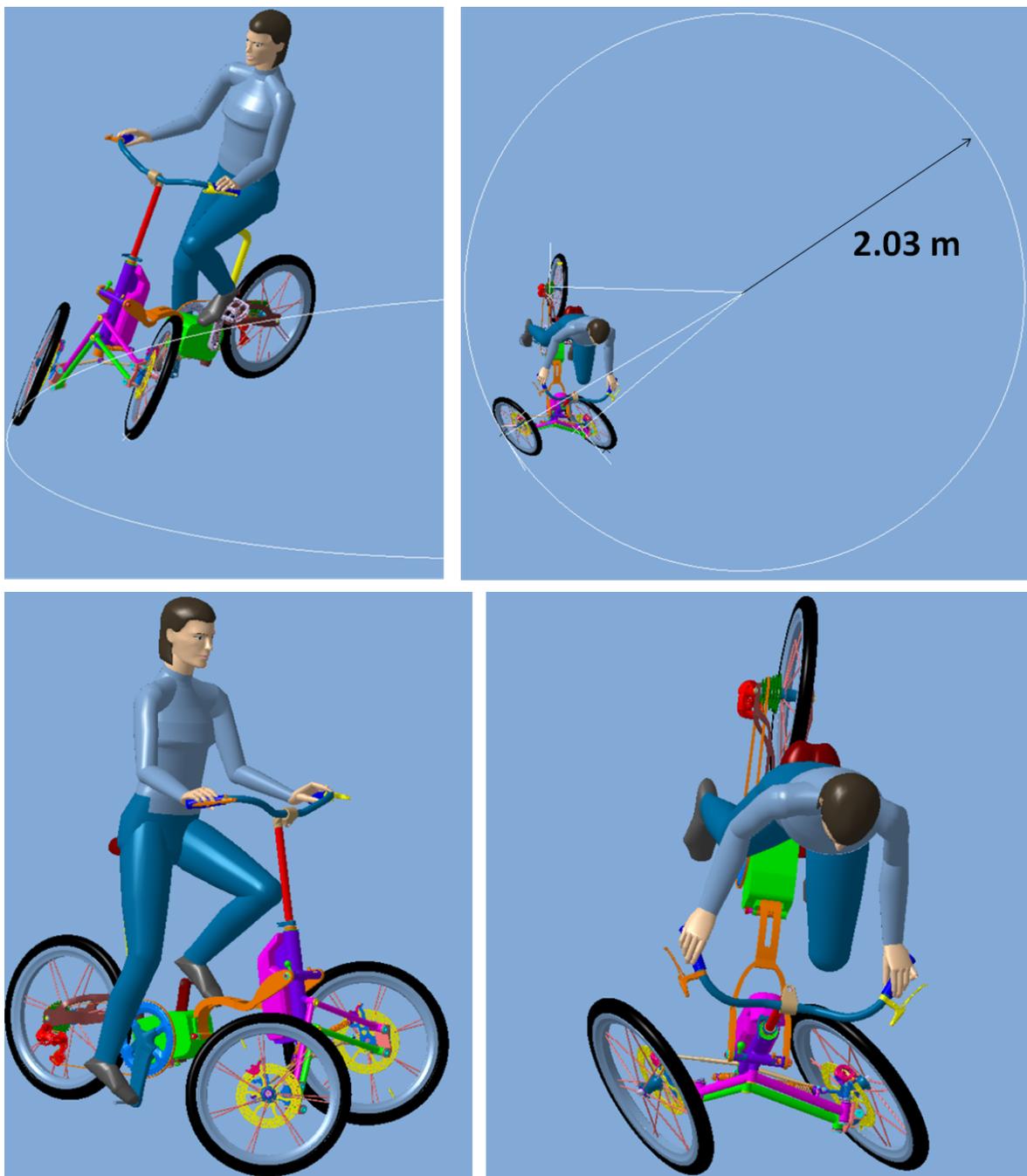


Figura 4.8: Rotação das rodas em função da rotação do guiador e verificação do raio de viragem de 2.03 metros.

No entanto, acoplado a estrutura da bagagem, por esta influenciar o ângulo máximo de inclinação, verifica-se também uma diferença no raio de viragem. A figura 4.9 permite observar os valores obtidos com a estrutura em posição de transporte de mercadoria e com a estrutura na posição fechada. Como seria de esperar, o raio de viragem assume um valor mais elevado quanto mais reduzido for o ângulo de inclinação do veículo. No entanto, mesmo com este aumento, o valor obtido equipara-se ao valor estabelecido como meta.

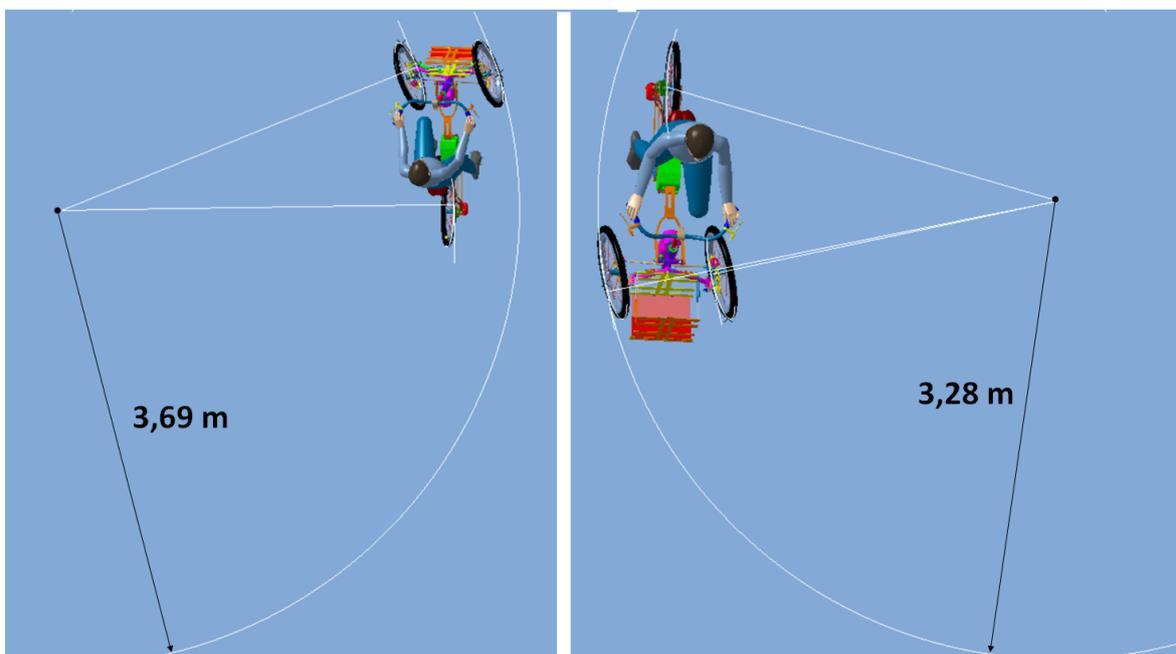


Figura 4.9: Rotação das rodas em função da rotação do guiador e verificação do raio de viragem de 3.69 e 3.28, com a estrutura da bagagem acoplada aberta e fechada, à esquerda e à direita, respetivamente.

Ainda relativamente à direção, é importante referir o sistema de aperto da manga telescópica (1.1) associada ao guiador (1.2), com o tubo da direção (1.20). Visto que o veículo tem a vertente de ser dobrável e ajustável a diferentes utilizadores, é importante permitir que elementos como o guiador, de igual forma ao selim, possam ser rebaixados e ajustados à estatura do cliente. Assim implementou-se um sistema igual ao sistema do selim utilizado nas bicicletas comuns, presente na figura 4.10; de forma a não permitir que o aperto caia quando se folga o mesmo, usou-se um parafuso M5 (1.31) roscado no tubo (1.20) e no aperto (1.11). Há que sublinhar que o guiador (1.2) e o tubo da direção (1.20) têm de rodar solidariamente; assim aproveitou-se o parafuso (1.31) que prende a estrutura de aperto (1.11) para fazer batente no rasgo da manga telescópica (1.1). Relativamente ao tubo da direção, para que este permita o funcionamento do bloqueio (1.11), foi necessário fazer um rasgo no mesmo.

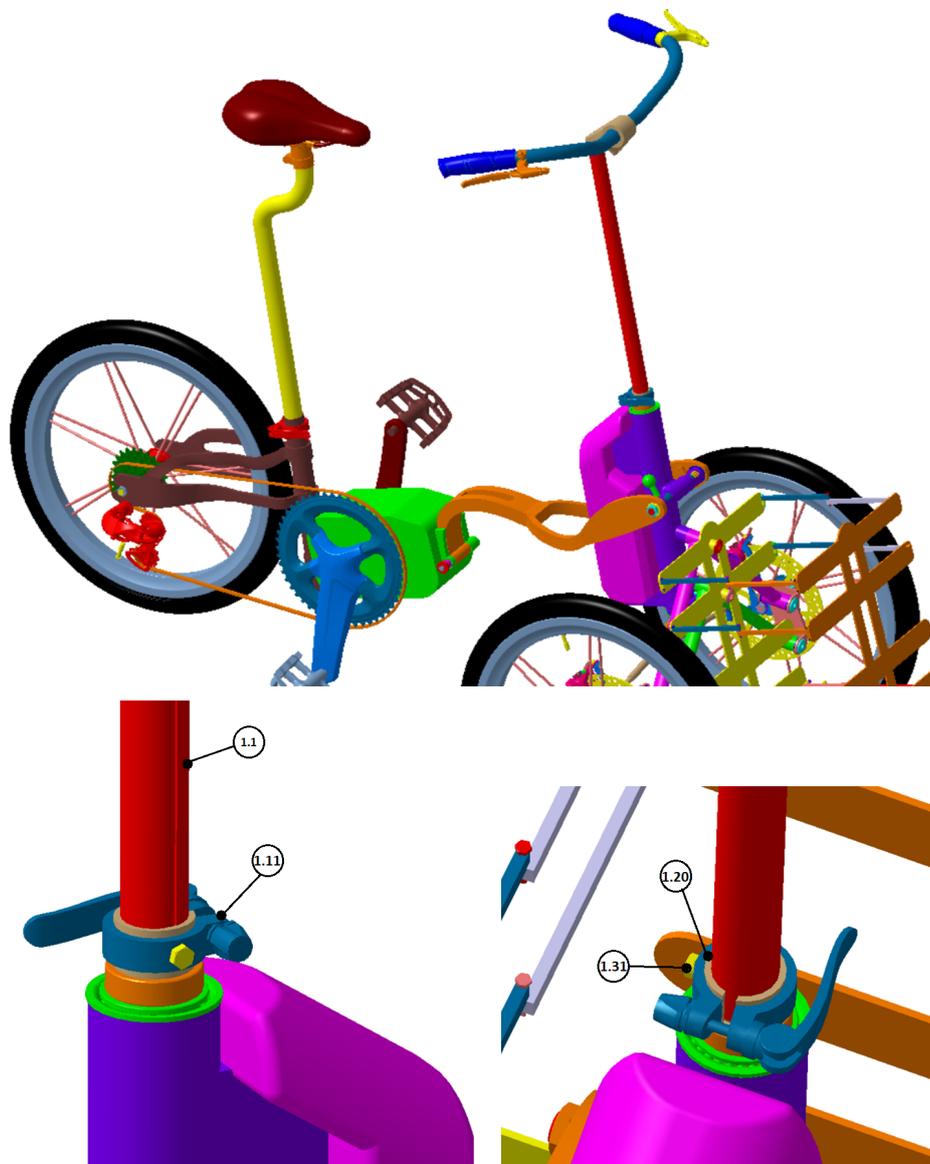


Figura 4.10: Pormenor do bloqueio da direção.

Estrutura da bagagem

Esta plataforma de mobilidade suave pretende atingir clientes que necessitem de transportar bagagem, como malas de computador e malas de ginásio, no seu dia-à-dia. Desenvolveu-se então uma estrutura para o transporte de mercadoria (15) de dimensões semelhantes às malas de computadores portáteis, colocada na frente do veículo e acoplada à coluna da direção (1.10) através de dois parafusos (1.9). Esta estrutura é também dobrável e constitui um dos passos de fecho do veículo caso o utilizador queira reduzir ao máximo a pegada dobrada. A dobragem da estrutura é também vantajosa porque o utilizador pode não necessitar de transportar bagagem diariamente e assim consegue-se poupar espaço na zona frontal. A figura 4.11 é representativa deste sistema.

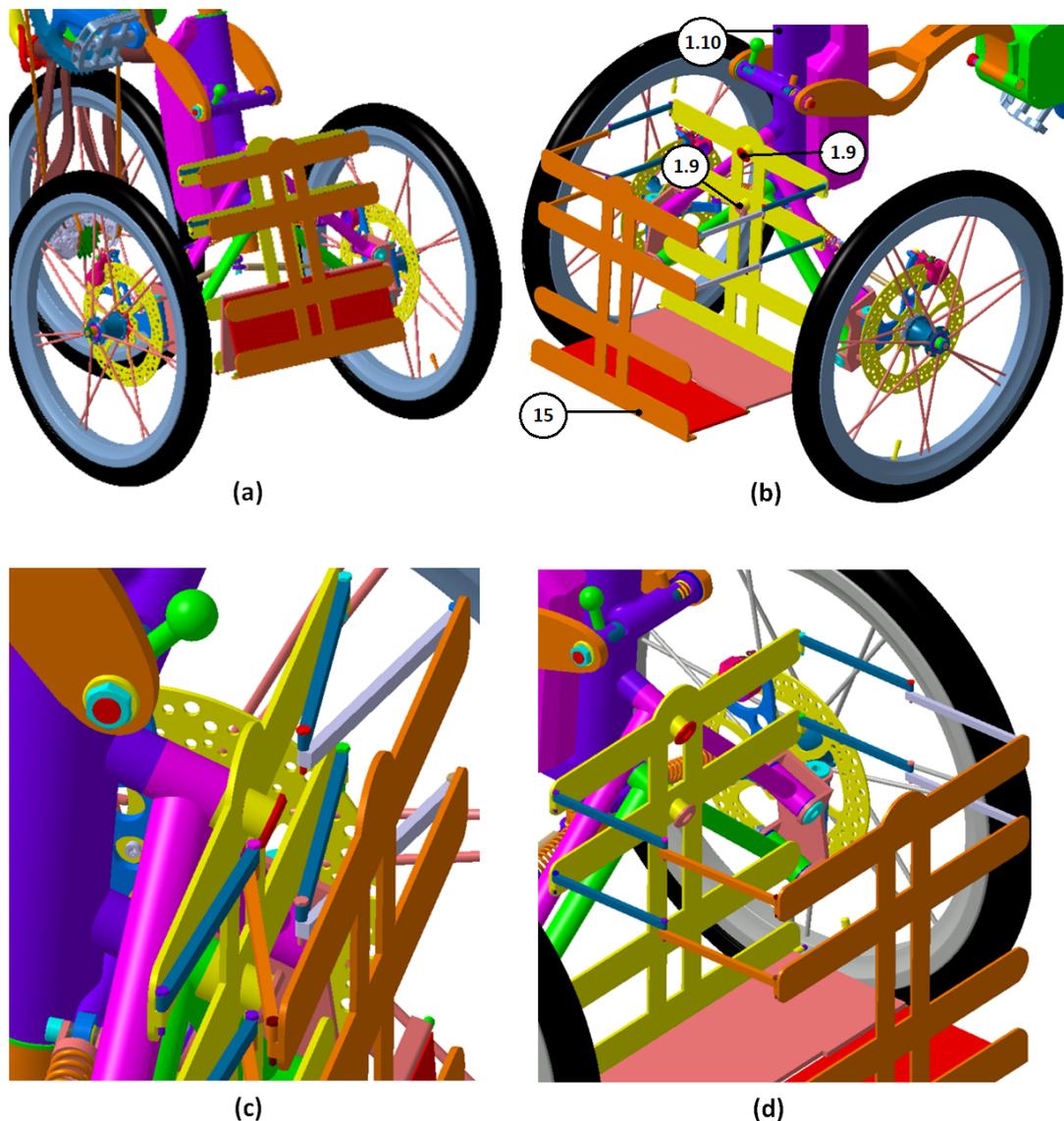


Figura 4.11: (a) Estrutura da bagagem na posição fechada, (b) Estrutura da bagagem na posição aberta para transporte de mercadoria; (c) Pormenor do sistema de fecho da estrutura; (d) Pormenor da estrutura da bagagem na posição aberta.

Estrutura do guiador

A escolha do guiador focou-se em garantir uma posição de máximo conforto do utilizador. Apresentado na figura 4.12, a estrutura do guiador (1.2) foi desenvolvida com base no modelo usado nas Popal Daily Dutch, pertencentes à empresa holandesa Popal que produz bicicletas de elevada qualidade, com um *design* moderno e a preços bastante acessíveis. [105]

A estrutura do guiador está solidária com a manga telescópica da direção (1.1) através de uma ligação aparafusada. Esta estrutura é constituída por dois punhos (1.2.1), por dois travões de mão (1.2.2) e pelo tubo do guiador (1.2.3).

Relativamente aos travões hidráulicos, os cabos não são apresentados no CAD por serem

um acréscimo desnecessário à dificuldade do projeto e por não influenciarem o fechar do veículo.

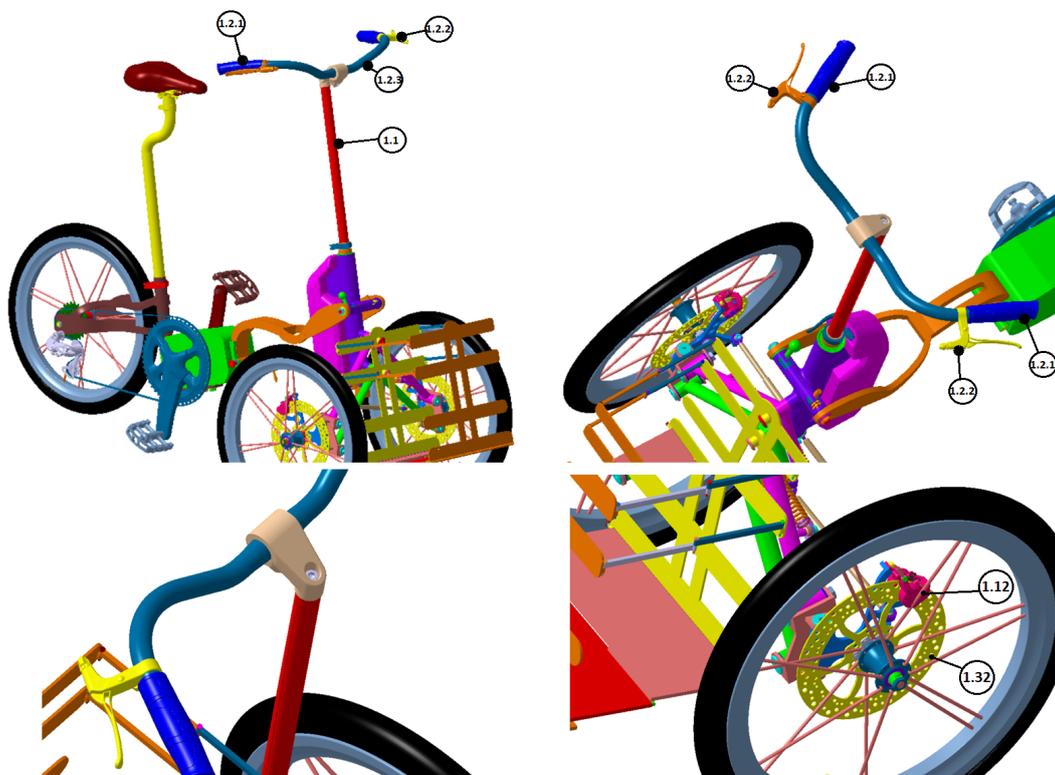


Figura 4.12: Pormenor da estrutura do guiador com base na estrutura das Popal Daily Dutch.

Bloqueio quadro frontal

De modo a possibilitar o fecho do veículo, desenvolveram-se dois sistemas de bloqueio: um associado ao módulo frontal e outro associado ao módulo central. O bloqueio do quadro frontal (16) permite a ligação do quadro (3) com a coluna da direção (1.10); o esquema de montagem presente na figura 4.13 permite compreender melhor o mecanismo. Este sistema é então composto por um veio (16.1) e um tubo de bloqueio (16.4) solidários com a rotação do quadro através de duas chavetas de disco (16.6). A chaveta paralela (16.8) permite acoplar o tubo de bloqueio (16.4) ao veio (16.1). Ao tubo (16.4) encontram-se roscados um manípulo (16.7) e um pino (16.9); o tubo (16.4) consegue-se mover longitudinalmente sobre o veio (16.1) quando o manípulo (16.7) é puxado na mesma direção e o seu retorno à posição inicial é dado pela presença de uma mola de compressão (16.10). O manípulo (1.7) é movido pela força humana longitudinalmente e de seguida axialmente; este segundo movimento permite a elevação do quadro (3) até à sua posição final de fechado, dada quando o manípulo (16.7) e o pino (16.9) retornam à sua posição original em termos longitudinais.

Importante referir que o sistema é montado na coluna da direção (1.10) e fixo através de duas anilhas (16.3) e duas porcas (16.5), ligeiramente à frente do tubo onde encaixa o guiador, isto de modo a que o ajuste da altura do guiador não seja comprometido.

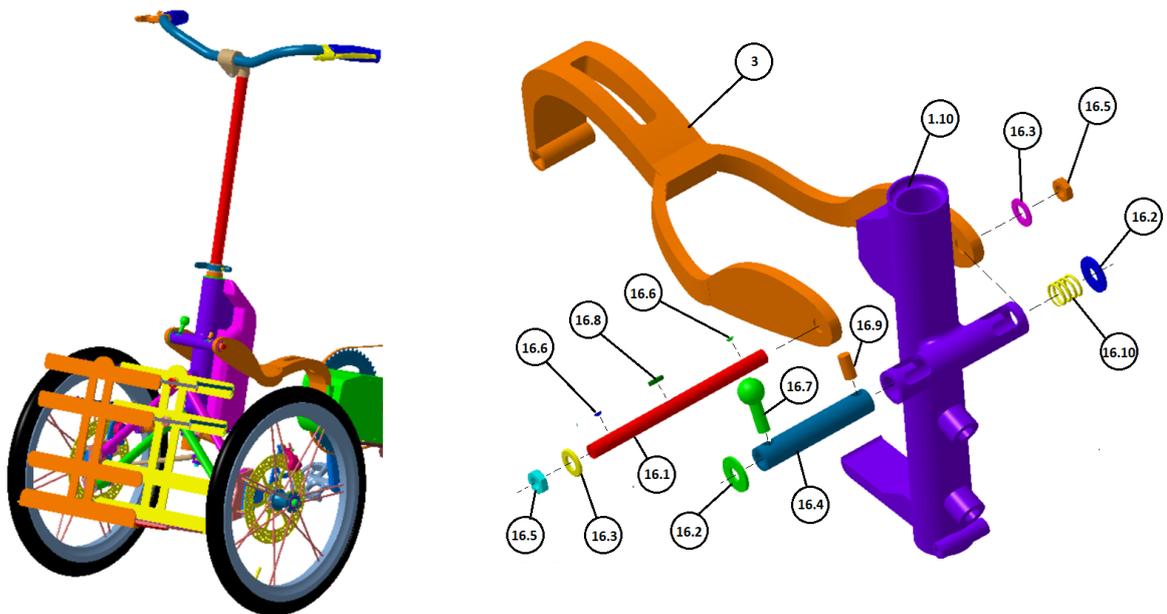


Figura 4.13: Integração do bloqueio frontal (16) no quadro (3) e ilustração do esquema de montagem do mesmo.

Quando o veículo se encontra na posição de condução, o sistema de bloqueio apresenta o posicionamento ilustrado na figura 4.14. O manípulo (16.7) e o pino (16.9) encontram-se próximos da coluna da direção (1.10) e ao fazerem batente na mesma, o quadro (3) encontra-se bloqueado.

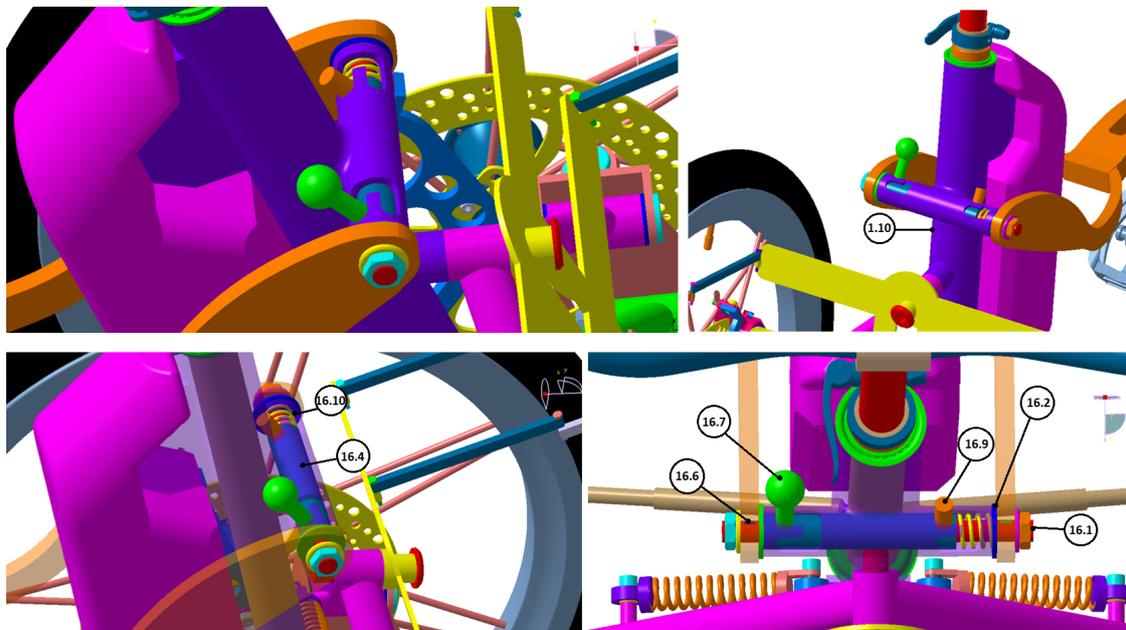


Figura 4.14: Pormenor do bloqueio frontal (16) e da posição dos respetivos componentes, quando o veículo se encontra aberto na posição de condução.

A figura 4.15 permite compreender melhor o procedimento para o fecho do veículo. Primeiramente, o manípulo (16.7) é puxado longitudinalmente (4.15 (a)) e de seguida é empurrado segundo o eixo do veio (16.1) (4.15 (b)). As imagens 4.15 (c), (d), (e) e (f), ilustram a posição dos componentes do sistema quando o veículo se encontra já na posição final de fecho. Conseguem-se então observar o afastamento do manípulo (16.7) e do pino (16.9) da coluna da direção (1.10), relativamente à posição do veículo aberto apresentada anteriormente.

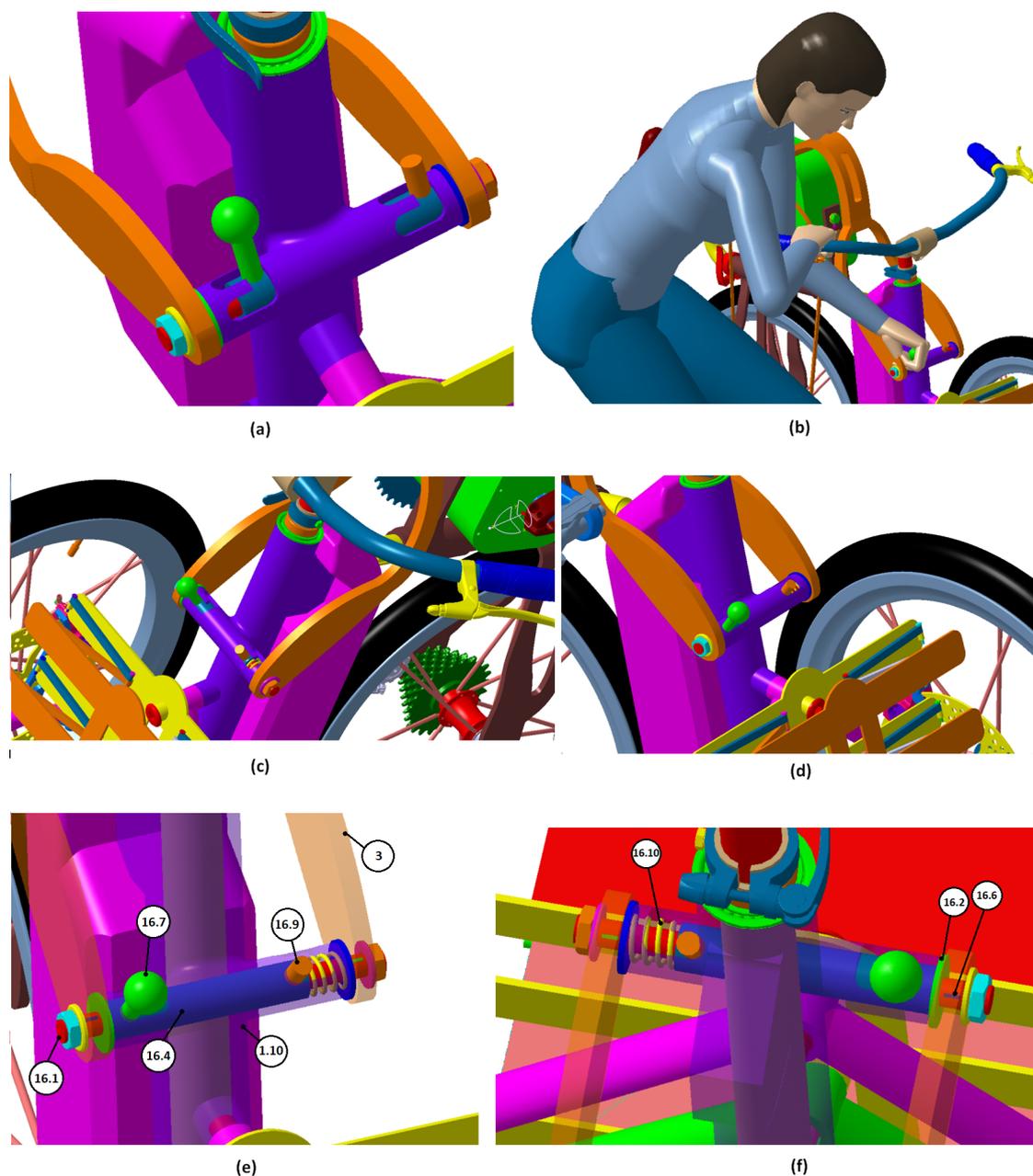


Figura 4.15: (a) Avanço longitudinal do manípulo (16.7) e pino de bloqueio (16.9); (b) Rotação axial do manípulo (16.7); (c), (d), (e) e (f) Pormenor do bloqueio frontal (16) e da posição dos respetivos componentes, quando o veículo se encontra na posição de dobrado.

4.2.2 Módulo central

Quadro

O veículo projetado foi baseado na ideia de uma plataforma de três rodas dobrável. Assim sendo, a geometria do quadro tem uma grande influência na facilidade de fecho do veículo e na pegada que este ocupa quando dobrado e mesmo quando na posição de condução. Além do mais, o facto de ser um veículo elétrico faz com que seja necessário incorporar os seus componentes elétricos, como a bateria e o motor, de uma forma inteligente minimizando o volume do veículo, tornando o *design* atrativo e não obstruindo os movimentos do condutor.

Desenvolveu-se então uma estrutura dividida em duas componentes diferentes e na qual o motor é o elemento de ligação, como se pode observar na figura 4.16. O quadro (3) corresponde ao elemento frontal da estrutura, o motor (4) é o elemento estrutural relativo ao elemento central e a estrutura posterior (12) o elemento posterior.

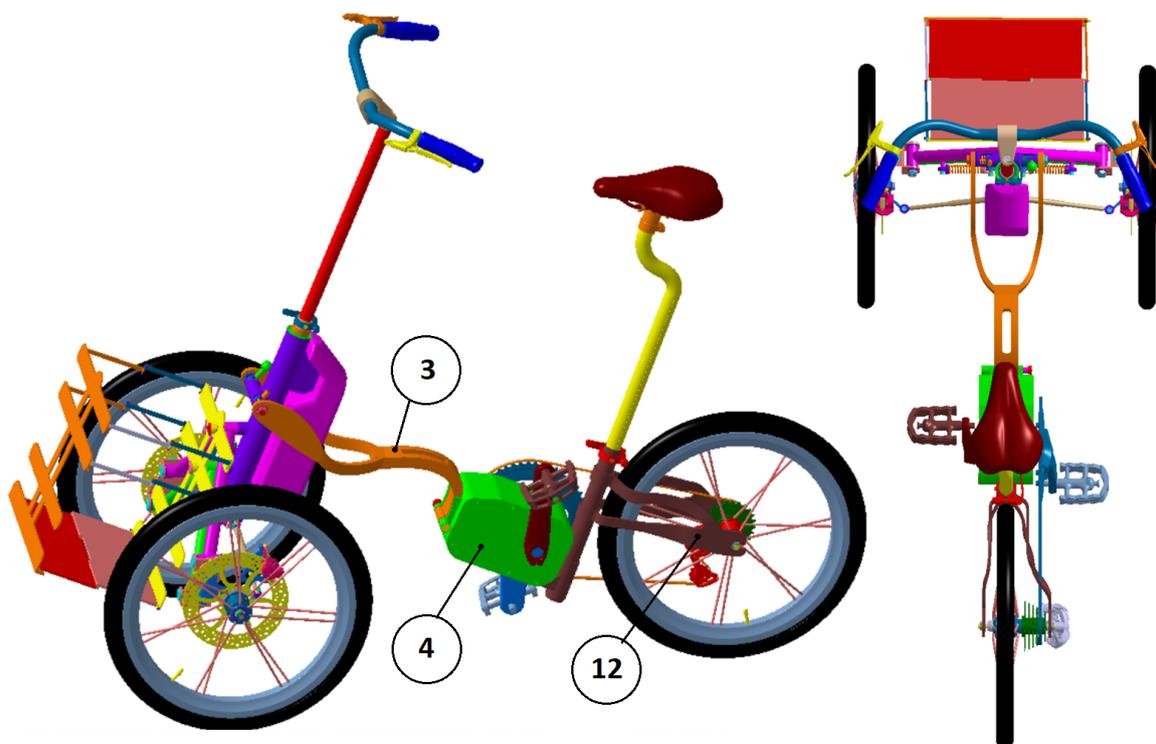


Figura 4.16: Enquadramento do quadro (3) na estrutura do veículo.

O quadro (3) encontra-se fixo à coluna da direção (1.10) através do bloqueio frontal (16) e ao motor (4) através do bloqueio central (14). Estes sistemas de bloqueio, quando desbloqueados, permitem a movimentação do quadro para o fecho do veículo. Na figura 4.17 consegue-se observar que o *design* do quadro (3) foi pensado de forma a que não condicionasse a dobragem do veículo, por ser uma estrutura aberta, larga e curva, e que ao mesmo tempo possibilitasse ao utilizador que o processo fosse mais fácil e intuitivo, através do rasgo retangular que permite o encaixe da mão. Este rasgo leva a que o utilizador não tenha de exercer tanta força para elevar o veículo aquando o seu fecho.

É também importante referir que o quadro foi adaptado geométrica e dimensionalmente,

por forma a se compatibilizar com os parâmetros antropométricos do utilizador, e também com o sistema de tração elétrica e respetivos acessórios, como referido anteriormente.

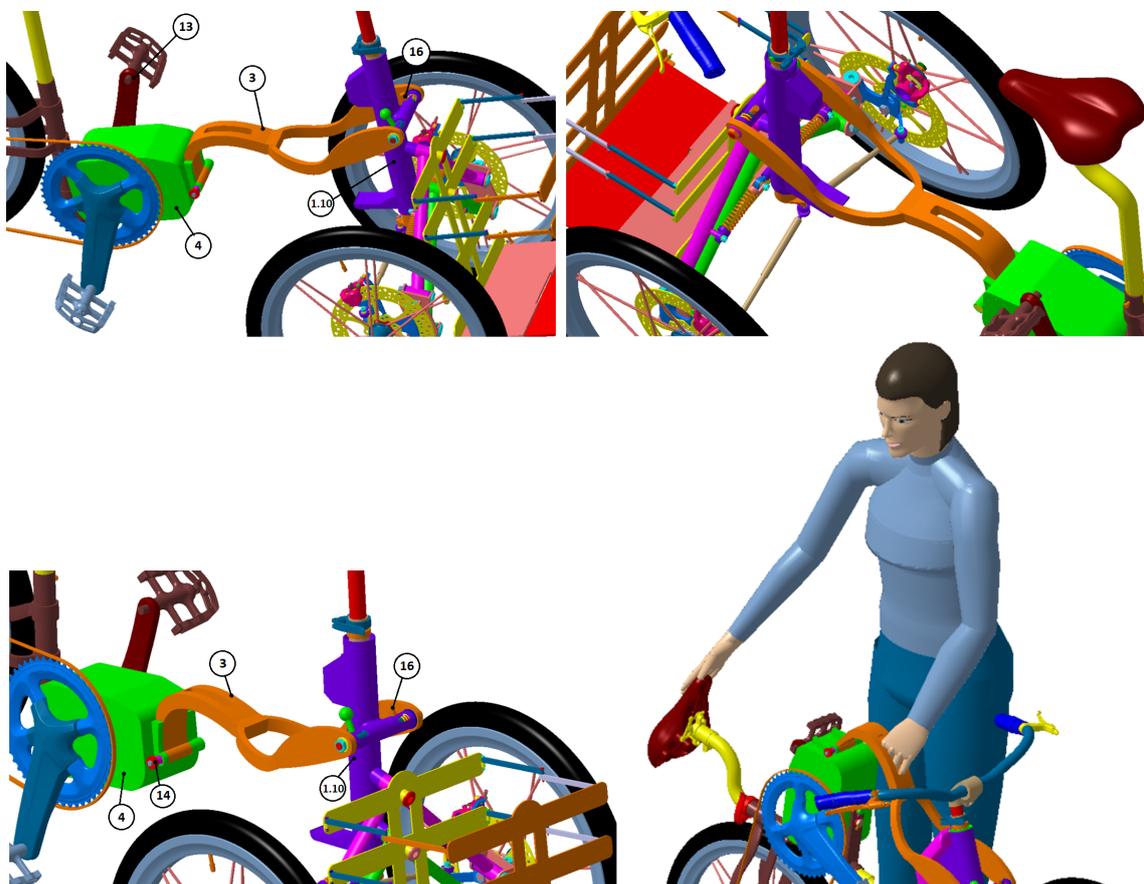


Figura 4.17: Pormenor do quadro (3), da sua fixação e da pega para o fecho do veículo.

Bloqueio quadro central

Antes do utilizador efetuar o desbloqueio frontal do quadro (3), procede primeiramente para o desbloqueio central. O bloqueio do quadro central (14) é o sistema relativo à fixação do motor (4) ao quadro (3) e é constituído por cinco elementos exteriores a estes dois. A figura 4.18 que se segue permite observar a posição do bloqueio quando o veículo se encontra aberto e em modo de condução. Consegue-se constatar que o furo no quadro (3) tem uma geometria quadrada e o furo no motor (4) tem uma geometria em "estrela", isto porque o veio (14.3) que atravessa estes dois elementos tem uma fração retangular e outra cilíndrica. Este veio (14.3) encontra-se fixo a um botão (14.2) através de uma ligação aparafusada (14.1). A geometria retangular do veio (14.3) permite fixá-lo ao quadro (3) e a sua geometria circular permite o movimento axial do mesmo, solidário com o quadro (3), mas sem influência no motor, explicado em pormenor de seguida. Deste sistema fazem ainda parte um tampão (14.5) roscado ao motor e uma mola de compressão (14.4), cujo objetivo é respetivamente fechar o sistema não permitindo que os componentes saiam do sítio e proporcionar o retorno do veio (14.3) à posição original.

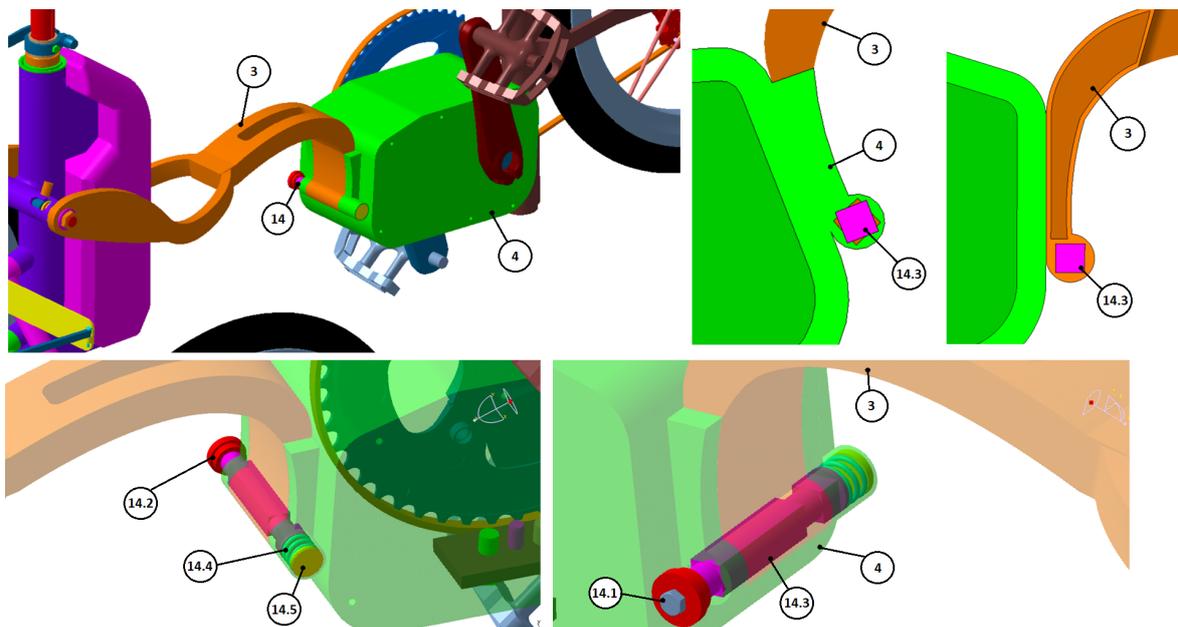


Figura 4.18: Integração do bloqueio quadro central (14) na estrutura do veículo e pormenor do mesmo na posição associada ao veículo aberto em modo de condução.

Pressionando o botão (14.2) este empurra o veio (14.3) longitudinalmente, acrescentando-lhe assim um grau de liberdade associado à sua rotação axial. Este grau de liberdade é garantido porque a zona retangular do veio deixa de estar em contacto com o motor, que passa a estar em contacto com a fração cilíndrica. Assim, quando o utilizador levanta o quadro (3), já após ter sido pressionado o botão (14.2), o veio (14.3) move-se solidariamente. A posição aquando do pressionar do botão encontra-se ilustrada na figura 4.19; permite observar a mola (14.4) comprimida devido ao avançar do veio (14.3) e a zona circular do mesmo situada nas laterais do motor (4) que lhe fazem ligação, garantindo assim a liberdade de movimento do mesmo, como já mencionado.

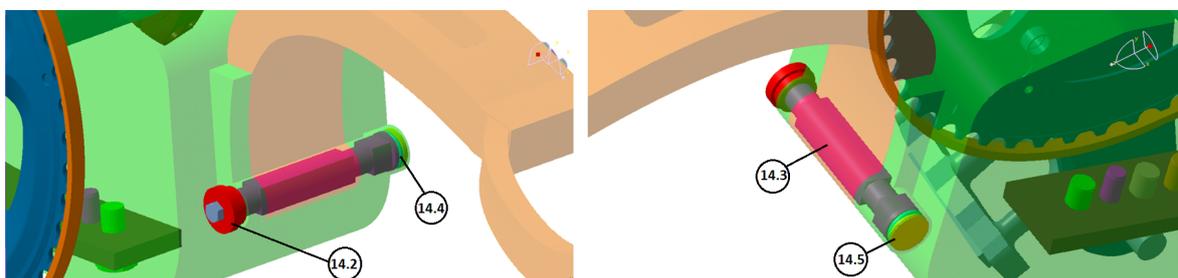


Figura 4.19: Pormenor do bloqueio quadro central (14) na posição associada ao pressionar do botão (14.2).

O quadro (3) fica bloqueado na posição de dobrado quando o veio (14.4) volta a encaixar no motor (4), desta vez numa posição avançada 69° (90° menos os 21° assinalados na figura 4.20). Esta posição de encaixe corresponde à posição final do veículo dobrado. O retorno do sistema de bloqueio à posição original é dado através da mola de compressão (14.4) mencionada, sem exigir qualquer gesto por parte do utilizador.

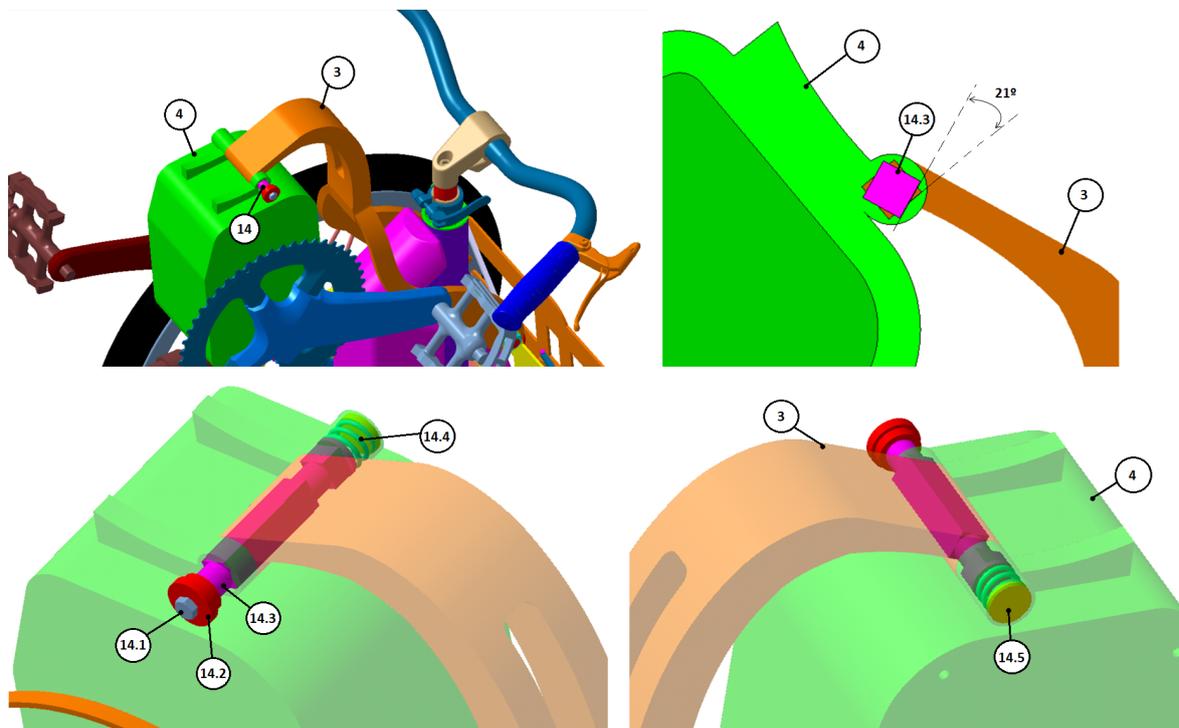


Figura 4.20: Integração do bloqueio quadro central (14) na estrutura do veículo e pormenor do mesmo na posição associada ao veículo fechado.

Bateria

Relativamente à bateria (2), a sua modelação foi baseada num modelo da Bosch de 325x92x90 mm, estipulado na matriz da qualidade, com uma capacidade de armazenamento de 300 a 500 Wh, observável na figura 4.21. Optando pela implementação da bateria de 300 Wh e 36V, esta demora cerca de 2.5 horas a recarregar na sua totalidade, num carregador *standard*, e tem uma autonomia de 120 km quando no modo económico e em condições favoráveis. [53]

A bateria (2) é fixa à coluna da direção (1.10) através de um sistema de encaixe desenvolvido pelo produtor, sendo facilmente removível com um baixo ângulo de inclinação de 7° . Também na zona de encaixe a bateria (2) realiza a ligação ao motor (4) e consegue ser recarregada, sem que seja necessária a sua remoção. Os cabos de ligação ao motor (4) não são apresentados no CAD por a componente elétrica não ser um elemento fulcral do projeto, no entanto a ideia recai na passagem dos cabos pelo quadro (3) do veículo. [53]

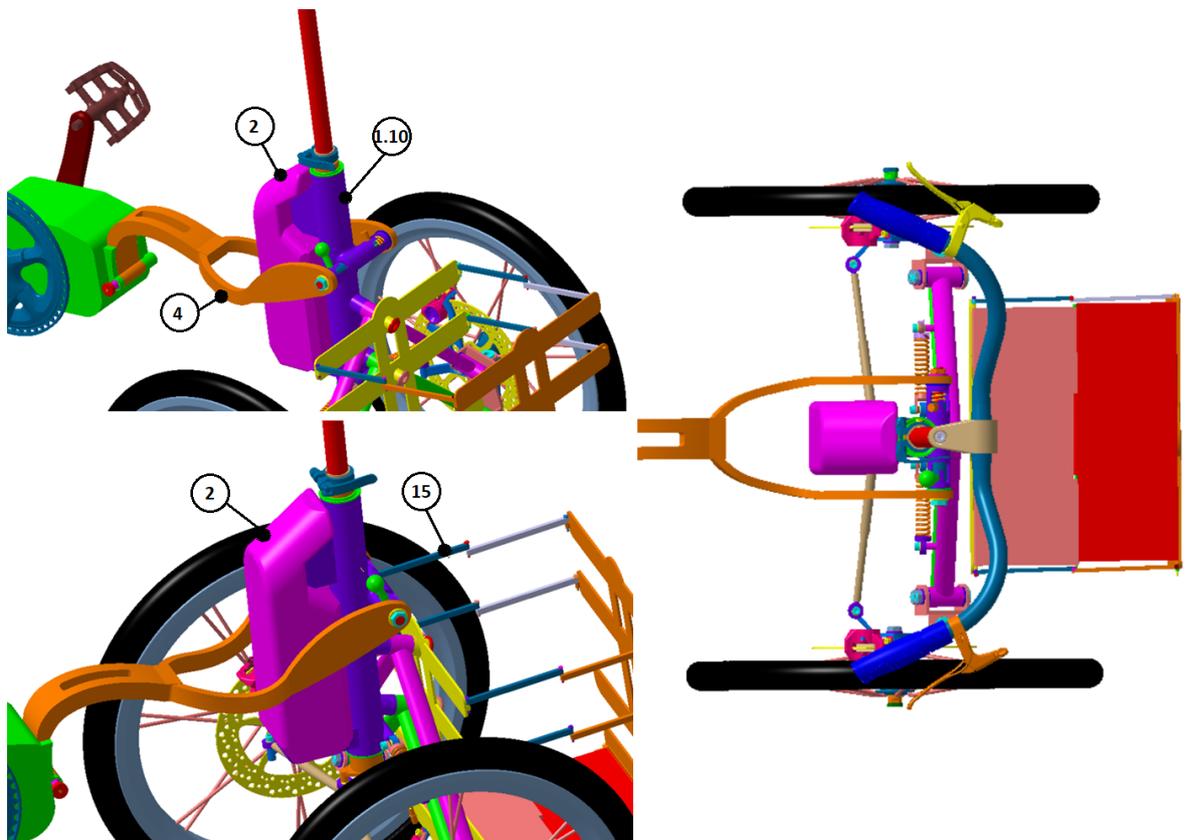


Figura 4.21: Integração da bateria na estrutura do veículo.

Motor

A modelação da carcaça do motor baseou-se no desenho técnico fornecido pelo SONAE, concebido pelos seus fornecedores. Na figura 4.22 é apresentado o modelo, com alterações ao nível do *design* de modo a permitir a sua fixação. O sistema elétrico é então acionado apenas quando o utilizador já se encontra a pedalar, de modo a que este continue a ter de fazer esforço físico mas com assistência elétrica, tornando esse esforço muito menor. Este projeto introduz a inovação de usar o motor (4) como um elemento estruturante do quadro do veículo. O facto deste integrar o quadro, traz mais robustez e resistência ao mesmo por ser um elemento sólido devido ao cárter que protege os componentes interiores. Para além de tornar o veículo mais robusto, o facto do motor integrar o quadro permite que o fabrico deste último seja simplificado e ainda uma mais fácil e rápida substituição do mesmo.

O motor (4) é fixo ao quadro (3) através do bloqueio central (14) e fixo à estrutura posterior através de dois parafusos (18) e dois pinos (19). Esta simples e segura fixação permite também uma fácil troca do motor por um mais ou menos potente, ou com um *design* diferente.

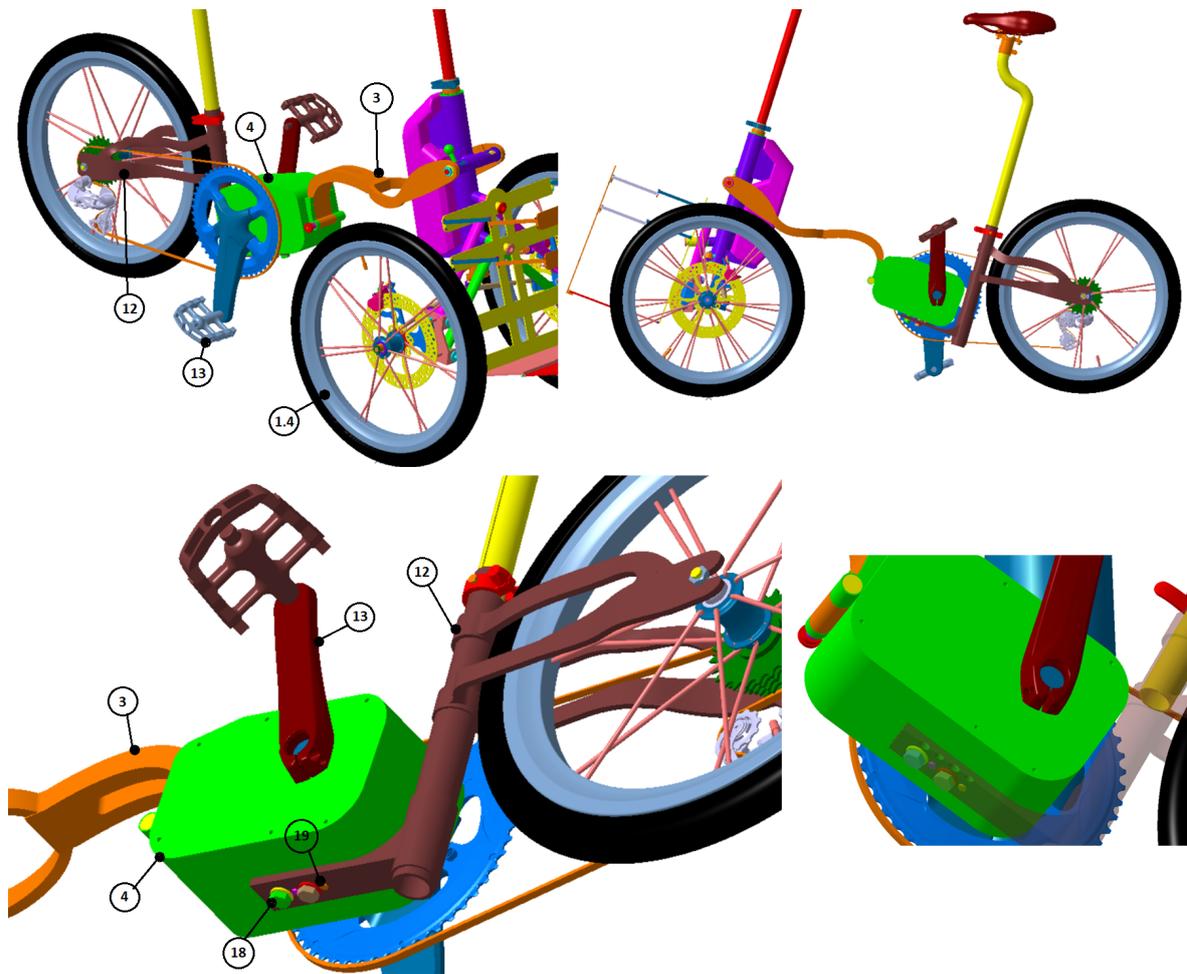


Figura 4.22: Integração do motor na estrutura do veículo.

Estrutura da pedaleira

Relativamente à estrutura da pedaleira, que inclui a roda da coroa (13.4), dois braços da pedaleira (13.2), dois pedais (13.1) e suas hastes (13.3), esta baseou-se no modelo Shimano Sora. [106] O CAD da estrutura da pedaleira (13) encontra-se integrado na estrutura do veículo na figura 4.23.

Este modelo é ergonómico e cumpre o valor meta estabelecido na matriz da qualidade referente ao comprimento da pedaleira de cerca de 170 mm. O modelo contém apenas uma engrenagem, isto porque de forma a garantir o conforto do utilizador a conduzir, por o veículo ser elétrico, não é requerido o mesmo número de velocidades de uma bicicleta comum. [107]

Ainda importante referir que a estrutura da pedaleira (13) se encontra fixa no motor (4). Este sistema permite facilmente a sua troca, caso o utilizador não ache a estrutura confortável ou mesmo ergonómica.

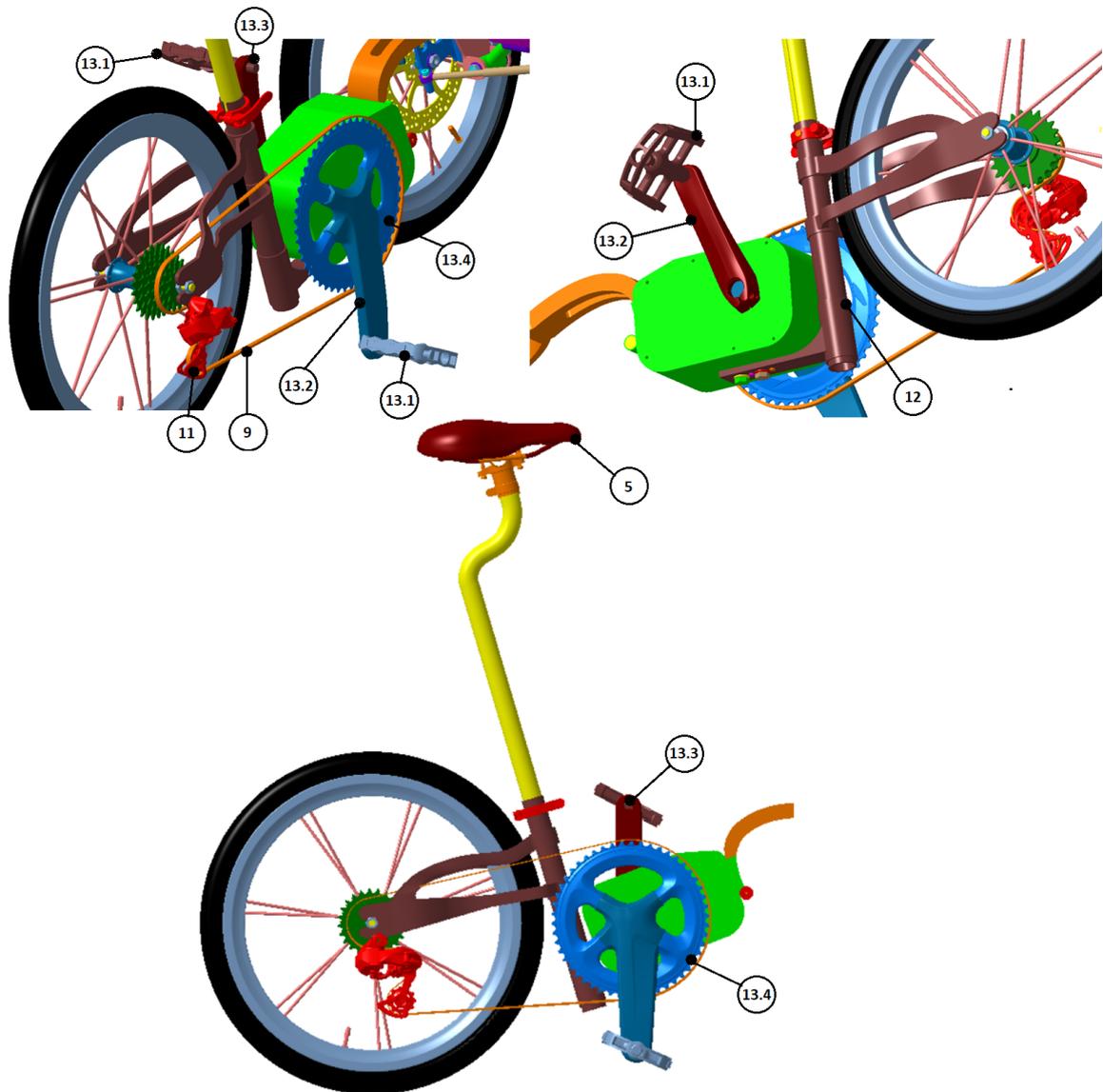


Figura 4.23: Integração da estrutura da pedaleira no veículo.

4.2.3 Módulo posterior

Estrutura posterior

Neste módulo enquadra-se a estrutura posterior (12) do veículo, fixa no motor (4) e na roda traseira (8). Esta estrutura sólida é fixa no motor (4) através de dois parafusos (18) e dois pinos (19), que bloqueiam o movimento lateral da mesma.

A estrutura posterior (12) é fixa à roda traseira através da forma em garra dos seus terminais e de duas porcas (8.7), uma de cada lado. O *design* deste elemento foi comprometido pelo volume ocupado pela cassette (10) escolhida, por exigir uma largura mínima de modo a que o movimento da roda não seja condicionado. No entanto, é importante referir que apesar de no CAD se apresentar a cassette (10) exterior ao cubo, o promotor estipulou que aquando

o fabrico do produto seria adotado um cubo com engrenagens interiores, como são exemplo os cubos da Shimano [108]. Esta substituição do cubo permitirá uma notória diminuição na largura do quadro e um *design* mais sofisticado e atrativo.

Este componente para além de ligar o módulo central ao módulo posterior, permite também o posicionamento do tubo de altura do selim (6) e o seu ajuste através de um sistema de bloqueio mencionado de seguida.

A figura 4.24 permite observar a integração da estrutura posterior (12) com os restantes componentes do veículo.

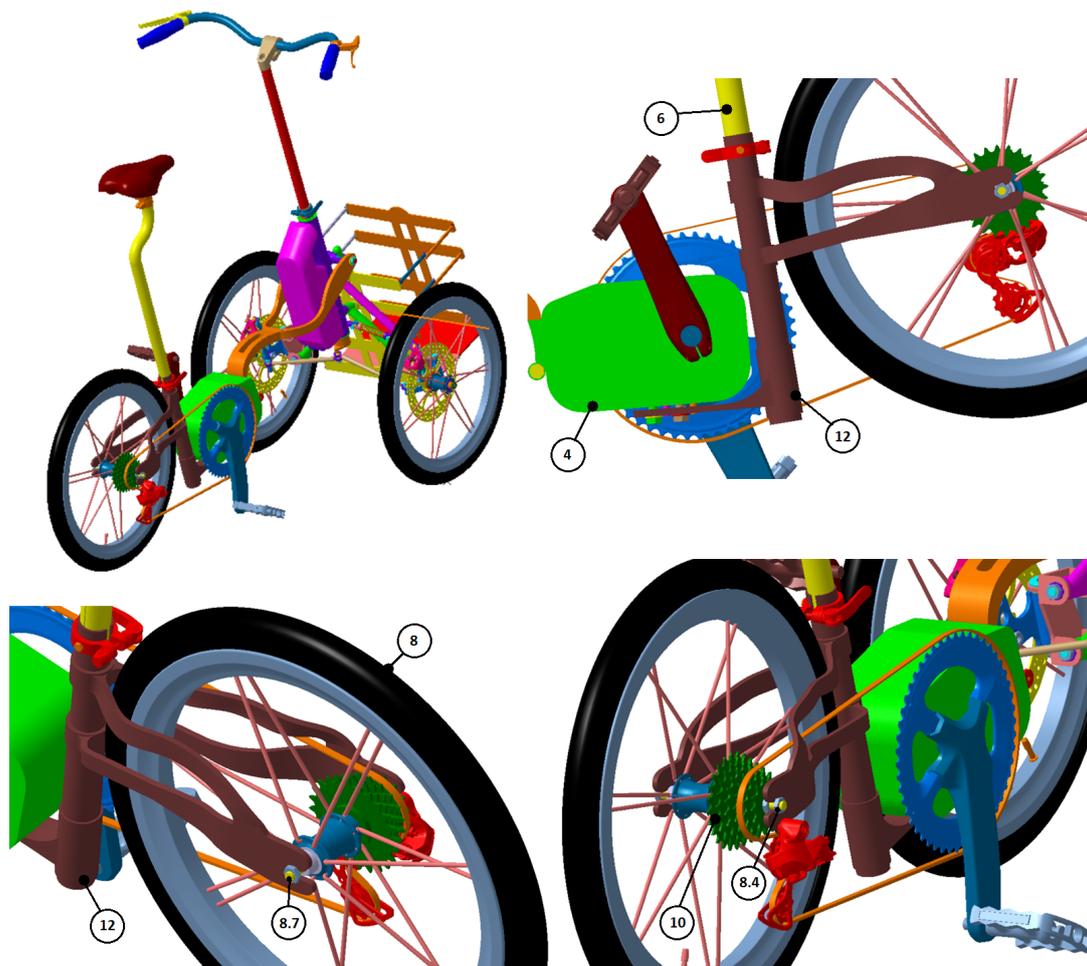


Figura 4.24: Integração da estrutura posterior (12) no veículo.

Selim

Quanto ao selim (5), a modelação deste baseou-se no modelo da Specialized Power Expert [109], um selim de espuma com memória de forma combinado com molas de elastómero, garantindo o máximo conforto do utilizador. [72] No entanto, o tubo de altura do selim (6) não foi modelado com base numa referência, mas sim modelado especificamente para este veículo por exigir uma geometria especial. Devido ao posicionamento do selim (5) no veículo e à necessidade de garantir a ergonomia do mesmo, adotou-se uma geometria curva no tubo

de altura. Esta geometria curva permite que o selim (5) esteja mais avançado que a zona de encaixe do tubo de altura (6) na estrutura posterior (12), sendo assim garantida a ergonomia do veículo e simultaneamente possível rebaixar o tubo. Na figura 4.25 consegue-se observar em detalhe a curva descrita.

Após a modelação deste elemento, verificaram-se duas soluções alternativas a esta geometria curva: o uso de um outro elemento que fizesse ligação entre o selim (5) e o seu tubo (6), sendo estes dois últimos componentes elementos separados; ou a alteração da inclinação da estrutura posterior (12), permitindo um tubo de altura do selim (6) reto que não chocaria com o motor (4) ao ser rebaixado. A primeira solução tornaria a estrutura mais frágil, mas a segunda seria uma boa alternativa à modelação apresentada. Estas soluções trazem ainda a vantagem de diminuir a pegada do veículo, por permitirem rebaixar mais o selim (5) visto que o atual não desce para além da sua zona reta.

Relativamente à fixação do tubo de altura do selim (6) à estrutura posterior (12) do veículo, de igual modo à direção e comumente presente nas bicicletas, utilizou-se um bloqueio (7) de fácil abertura e fecho, com a particularidade de ser fixo à estrutura posterior (12) através de um parafuso M5 (21) que faz também batente no rasgo presente no tubo de altura (6) não permitindo a rotação axial do selim (5).

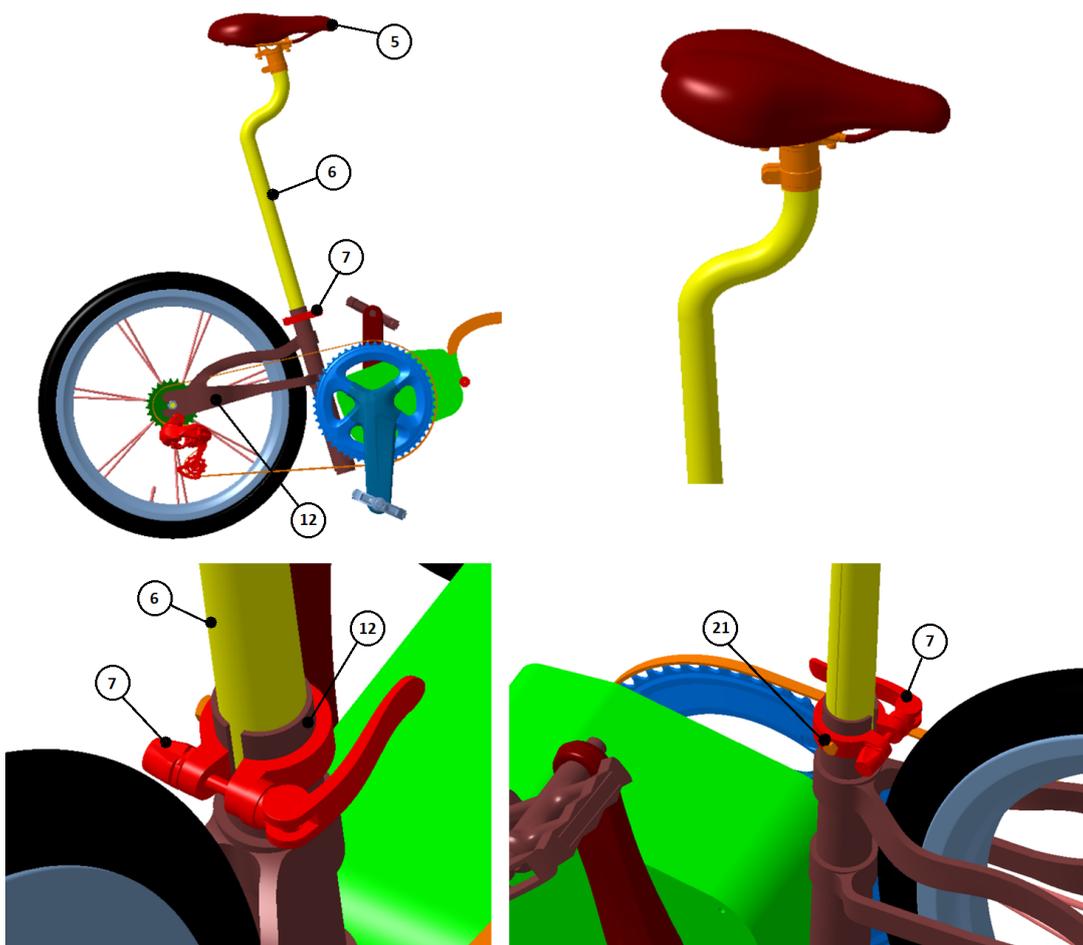


Figura 4.25: Integração da estrutura do selim no veículo.

Veículo final

Após a modelação do veículo, verificou-se então que com um peso de cerca de 16.44 kg este ultrapassa ligeiramente o valor meta fixado nos 16 kg. No entanto, optando por componentes elétricos mais leves ou pelo uso de materiais alternativos pelo menos em componentes periféricos, facilmente se conseguiria reduzir o peso do veículo com poucas alterações no mesmo. Relativamente ao fecho do veículo, é possível observar na figura 4.26 a sua posição de condução e quando dobrado em modo *trolley*, que permite que seja transportado sem requerer um elevado esforço por parte do utilizador.



Figura 4.26: Veículo em posição de condução e dobrado em modo *trolley*.

Sendo o foco deste projeto a modelação do quadro e da direção do veículo, é importante referir que com um *tilt* de 25°, a nível teórico esta plataforma permite ao utilizador uma condução estável, confortável e suave em curvas e em vias retilíneas. A geometria do sistema da direção não permite atingir os 35° estipulados, no entanto o valor obtido de 25° é aparentemente razoável pela observação da inclinação do veículo no ficheiro CAD e pelo valor do raio de curvatura bastante plausível. A figura 4.27 permite observar a inclinação máxima do veículo projetado, com e sem a estrutura da bagagem. Esta última influencia negativamente a inclinação máxima do veículo, mas alterando a sua geometria ou reposicionando a estrutura, garantir-se-ia esta inclinação.

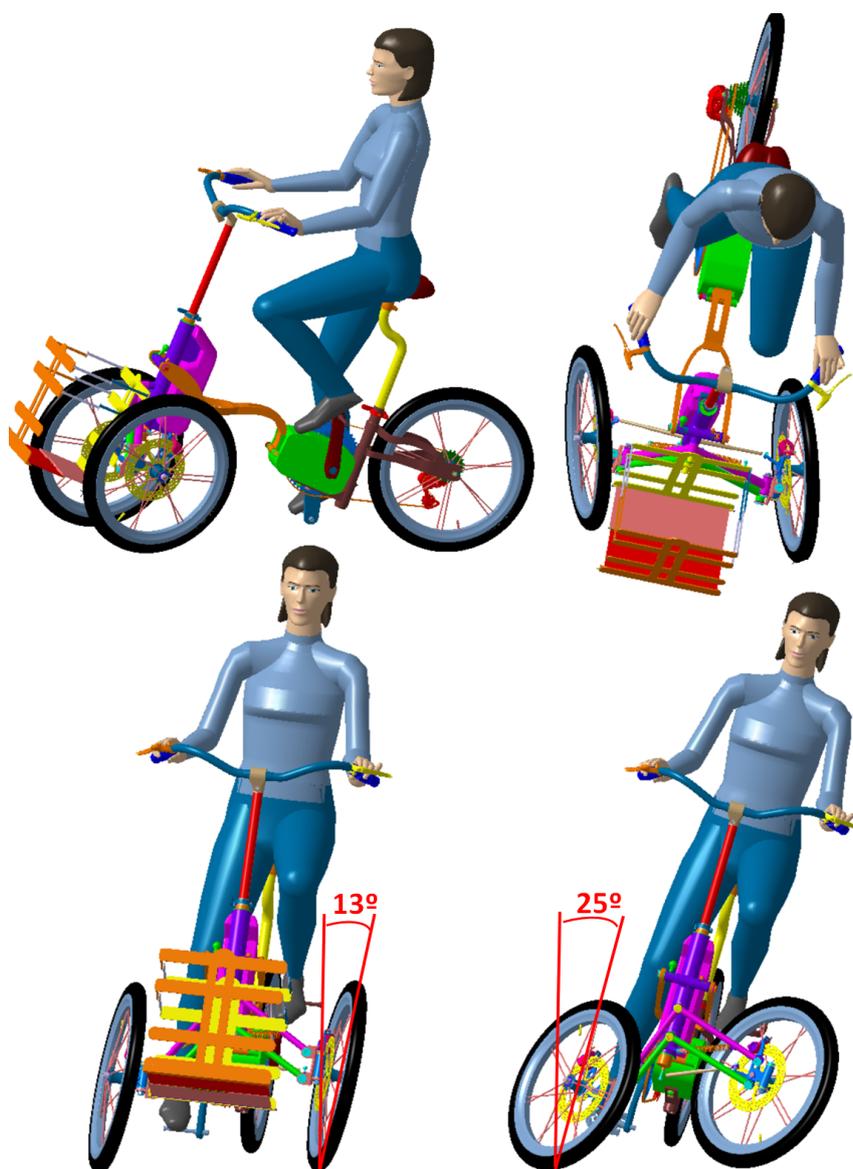


Figura 4.27: Veículo inclinado ao máximo de 13° com a estrutura da bagagem, assinalado no canto inferior esquerdo, e inclinação máxima de 25° do sistema sem a estrutura da bagagem, no canto inferior direito.

Relativamente às suas dimensões, a imagem 4.28 ilustra as mesmas do veículo em posição de condução e do veículo dobrado.

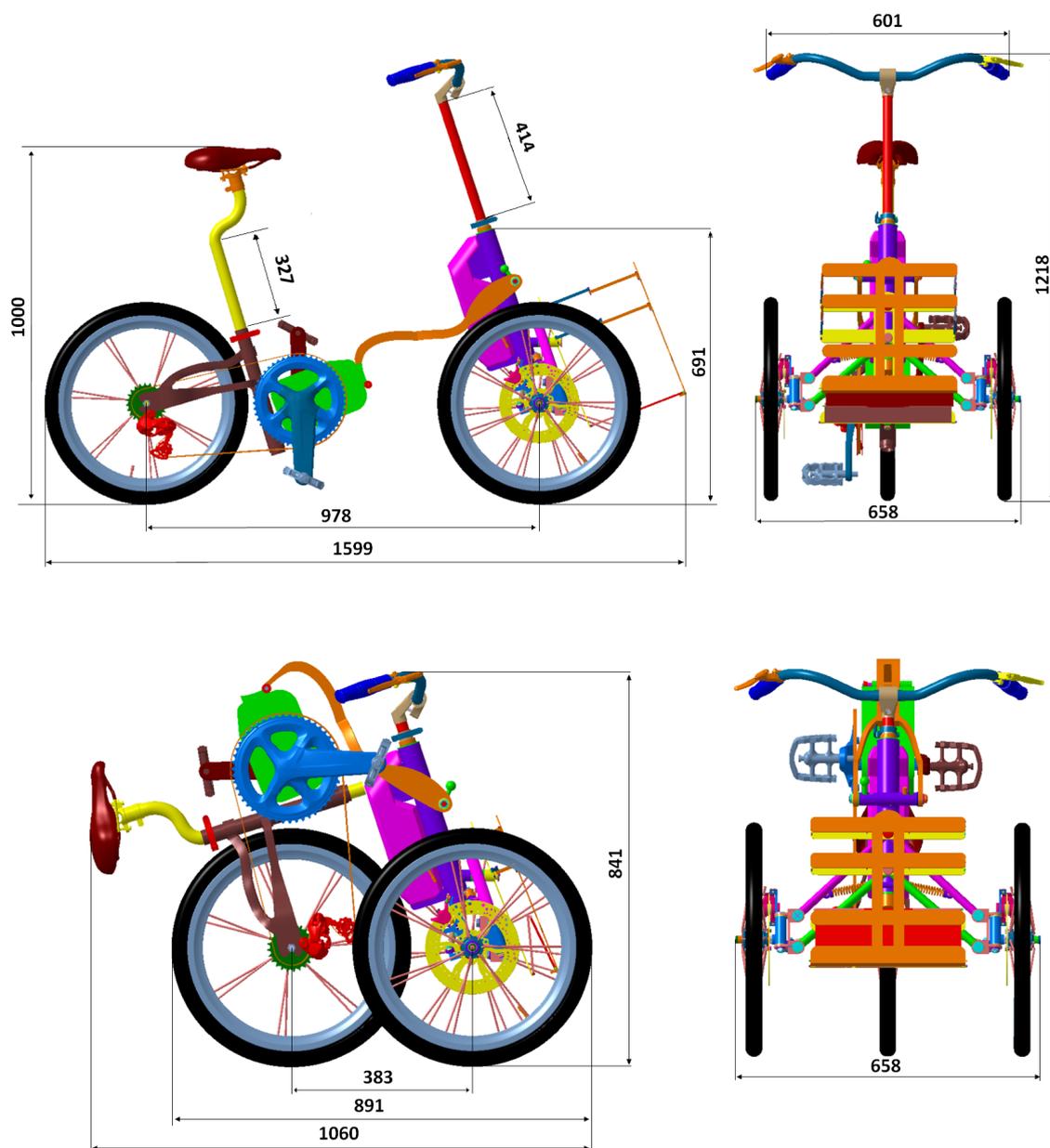


Figura 4.28: (a) Dimensões do veículo em posição de condução; (b) Pegada do veículo dobrado.

Verifica-se então que na posição de condução, o veículo conseguiu atingir os valores definidos como meta, tendo uma distância entre as rodas dianteiras inferior a 800 mm e um comprimento do quadro inferior aos 1000 mm, com base no definido pelo promotor.

Relativamente à pegada dobrada estipulada num valor meta de $700 \times 900 \text{ mm}^2$ (largura x comprimento), o valor meta da largura foi atingido com um valor bastante inferior, no entanto

o comprimento dobrado obteve um valor superior de 1060 mm. Devido à geometria curva do tubo de altura do selim e devido ao posicionamento da bateria, o rebaixamento deste componente é condicionado e provoca um aumento do comprimento do veículo quando dobrado. Solucionando este problema através da alteração da inclinação da estrutura posterior e da adoção de um tubo de altura reto, como mencionado anteriormente, seria possível rebaixar o selim de forma a que ficasse alinhado com a roda traseira e se obtivesse um comprimento dobrado de 891 mm. Acrescentando ainda a mudança do posicionamento da bateria ou a implementação de uma bateria de menores dimensões, conseguir-se-ia um maior avanço da roda traseira na dobragem do veículo e uma considerável diminuição da sua pegada.

O processo de dobragem do veículo, ilustrado nas figuras 4.29 e 4.30, é constituído pelos seguintes passos:

1. Figura 4.29 (a): A figura (a) não constitui um gesto para a dobragem do veículo mas ilustra o mesmo na posição de condução, antes de se iniciar o processo de dobragem;
2. Figura 4.29 (b): A figura (b) é relativa ao primeiro gesto de dobragem do veículo, em que o utilizador através do desbloqueio do aperto do tubo de altura do selim consegue recuar o mesmo até à sua altura mínima;
3. Figura 4.29 (c): O segundo gesto consiste no recuar da manga telescópica da direção, de modo a diminuir o máximo possível a altura dobrada do veículo. Este recuo é dado depois do utilizador desbloquear o aperto da direção e é opcional, consoante o modo de transporte que o utilizador escolher: pegar no veículo ou puxar como um *trolley*;
4. Figura 4.29 (d): O terceiro gesto é relativo ao fecho da estrutura da bagagem. O fecho da estrutura é garantido apenas pelo empurrar da mesma, porque os parafusos que a prendem na posição aberta permitem a liberdade de rotação dos seus braços laterais; para assegurar a estabilidade da estrutura quando aberta, nas bases existem duas batentes que não permitem que estas cedam com o peso;
5. Figura 4.30 (e): A figura (e) ilustra o gesto número quatro, relativo ao desbloqueio do sistema central, através do pressionar do botão que folga o quadro de modo a permitir a sua posterior elevação;
6. Figura 4.30 (f): O quinto gesto baseia-se no desbloqueio do sistema frontal. Havendo já folga no sistema central, o utilizador pode agora empurrar o manípulo presente no bloqueio do quadro frontal. Através de um movimento longitudinal e posteriormente axial, o quadro é elevado quase até à sua posição final;
7. Figura 4.30 (g): Esta etapa é considerada como um complementar do gesto 5; o utilizador usa a pega incorporada no *design* do quadro para elevar o mesmo até à sua efetiva posição final. O bloqueio na posição final é dado automaticamente através de sistemas com molas, sem que o utilizador tenha de realizar mais gestos;
8. Figura 4.30 (h): A figura (h) não é representativa de nenhum gesto para a dobragem do veículo, mas ilustra a posição do veículo aquando a finalização do seu processo de dobragem.

O processo de dobragem é então constituído por cinco gestos principais, no entanto caso o objetivo do utilizador seja o uso do veículo dobrado para transporte de mercadoria, as etapas

de recuo do guidador e de fecho da estrutura da bagagem serão excluídas e este processo passa a ser efetuado em apenas três gestos principais.

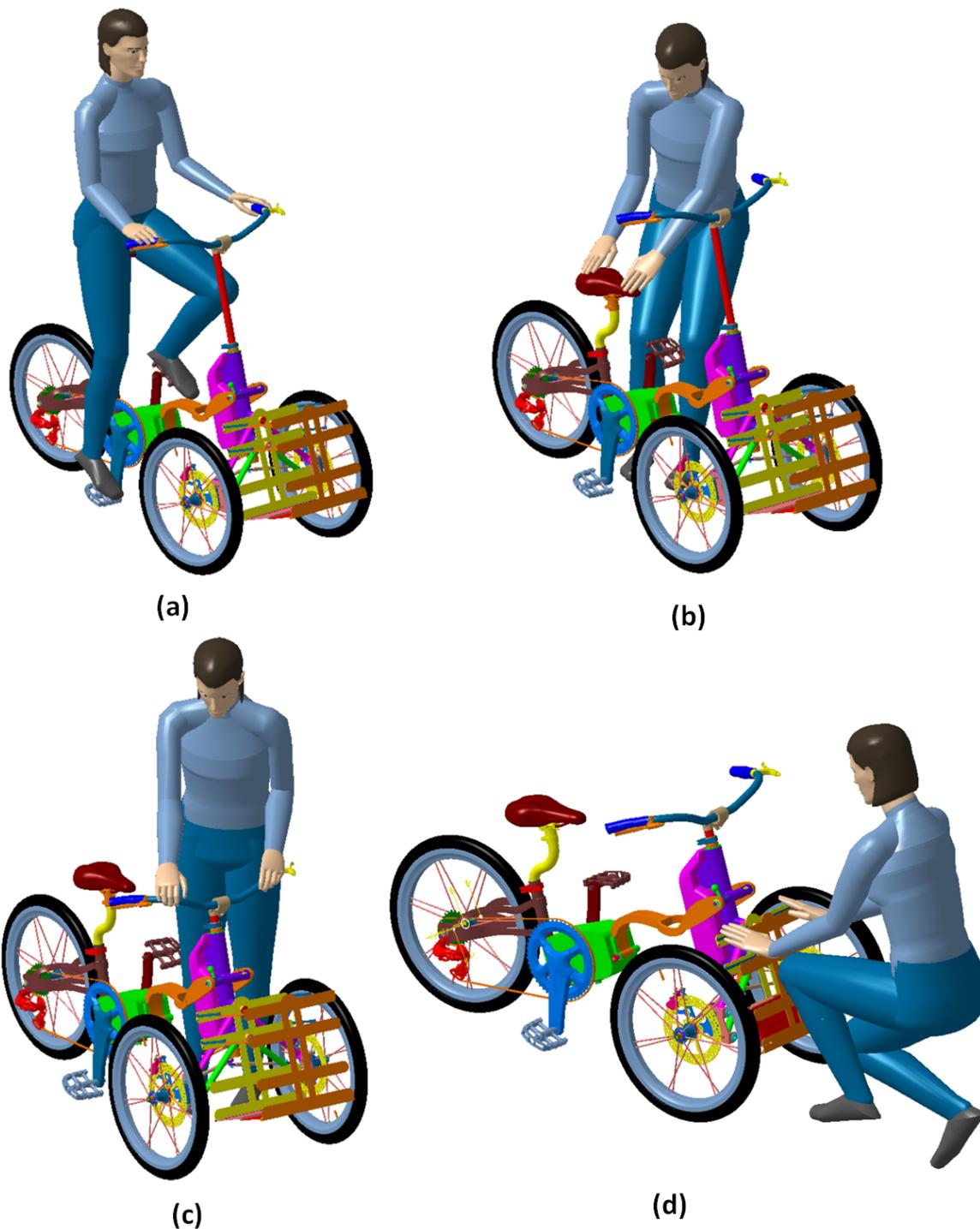


Figura 4.29: (a) Veículo em posição de condução; (b) Recuo do tubo de altura do selim; (c) Recuo da manga telescópica da direção e (d) Fecho da estrutura da bagagem.

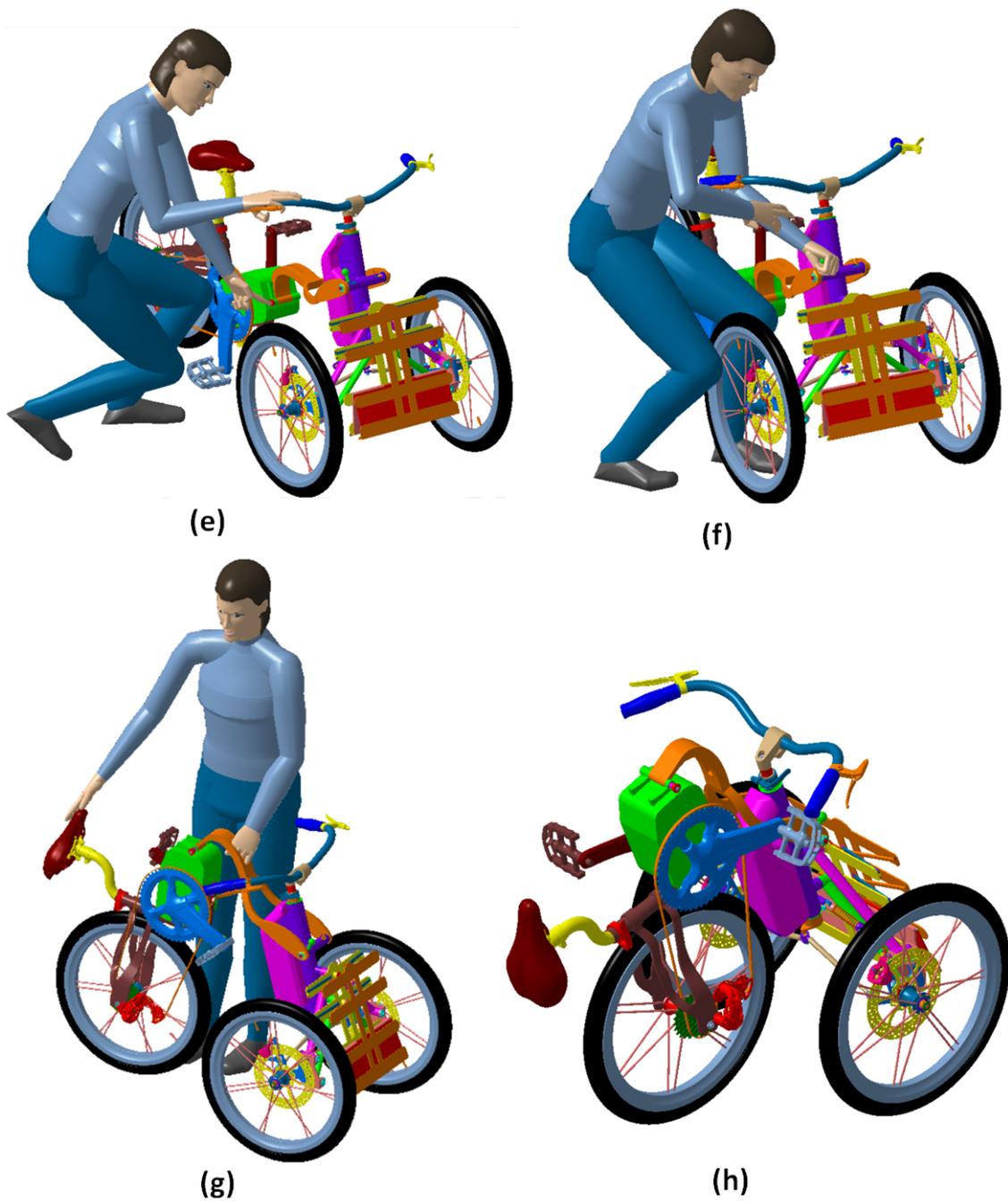


Figura 4.30: (e) Desbloqueio do sistema central; (f) Desbloqueio do sistema frontal; (g) Elevação do quadro até à posição final; (h) Posição do veículo dobrado final.

4.3 Validação do estudo de ergonomia

Após a modelação do veículo, seguiu-se a validação do estudo de ergonomia de forma a que o requisito da adaptação do mesmo a diferentes utilizadores seja efetivamente cumprido.

Analisaram-se os seis utilizadores, cujas medidas foram mencionadas anteriormente na

tabela 3.1: os percentis 5, 50 e 95 dos géneros masculino e feminino. Com base na equação 3.2, calcularam-se as respetivas alturas do selim apresentadas na tabela 4.1.

Tabela 4.1: Tabela com os valores da altura do selim em função do entrepernas do utilizador. [44]

Designação	Un	Homem			Mulher		
		Percentil 5	Percentil 50	Percentil 95	Percentil 5	Percentil 50	Percentil 95
Comprimento do Entrepernas	mm	752	811	871	699	751	804
Altura do Selim **	mm	666	718	771	619	665	712

**Altura relativa à distância entre o ponto mais alto do selim e o eixo da pedaleira.

Para a validação deste estudo, utilizaram-se seis modelos do *software* CATIA apresentados na figura 4.31.

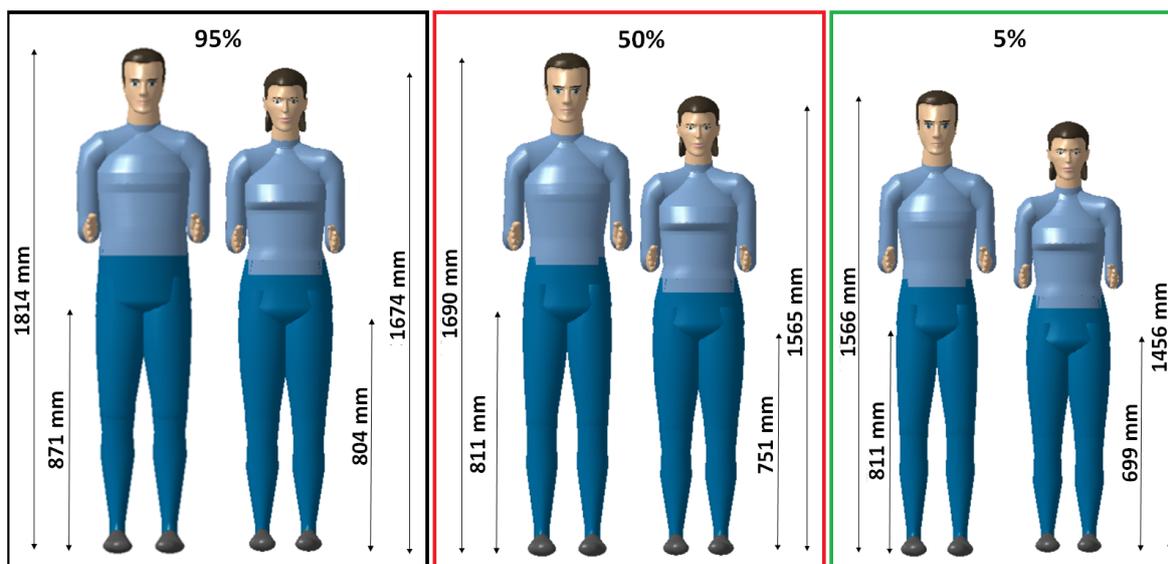


Figura 4.31: Valores de estatura e entrepernas dos percentis 95, 50 e 5 do género masculino e feminino.

Para além do ajuste da altura do selim alterou-se também a altura do guiador através do ajuste da manga telescópica da direção, isto porque o alcance funcional varia consoante a estatura do utilizador. Como mencionado anteriormente, por este veículo ser de condução citadina e diária, adotou-se uma posição de condução clássica (Dutch) e variou-se a altura do guiador respeitando sempre o posicionamento do tronco e braços (figura 4.32 e 4.33).

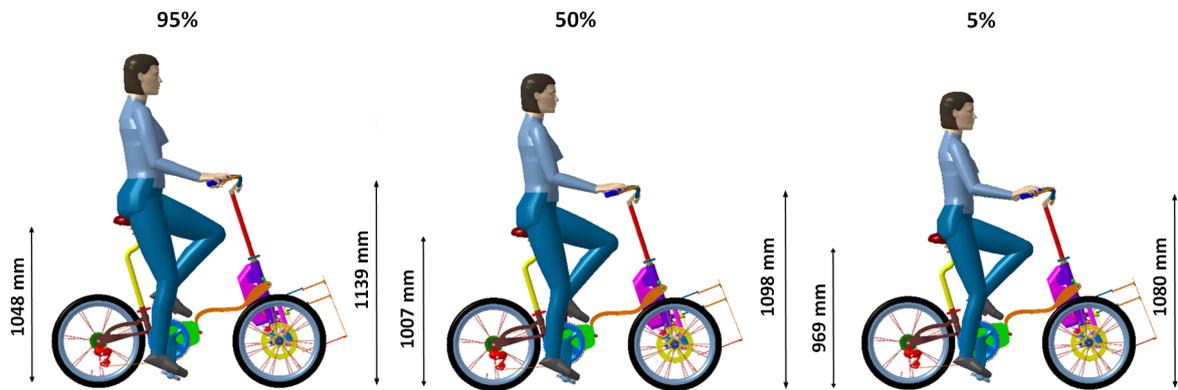


Figura 4.32: Posicionamento no veículo de três utilizadoras femininas de diferentes percentis, com diferentes medidas de altura de selim e guiador.

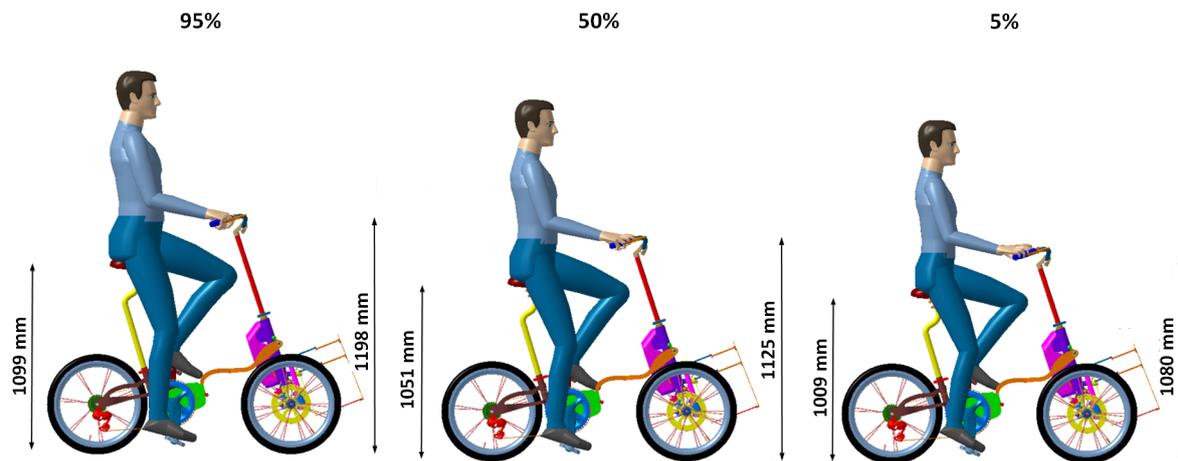


Figura 4.33: Posicionamento no veículo de três utilizadores masculinos de diferentes percentis, com diferentes medidas de altura de selim e guiador.

Através das figuras apresentadas é possível validar o veículo em termos ergonómicos, por condutores de diferentes percentis conseguirem conduzir o veículo com uma postura correta e confortável, tanto em termos de tronco e braços, como relativamente ao posicionamento das pernas: uma fletida e a outra quase esticada; sempre no que concerne à postura de condução clássica.

O veículo pode ser dobrado para transporte em modo de *trolley*, permitindo que o utilizador possa ir às compras com o mesmo e transportar a sua mercadoria. Assim, verificou-se também a sua ergonomia nesta posição para os dois utilizadores de estaturas extremas: a mulher do percentil 5 e o homem do percentil 95, na figura 4.34.

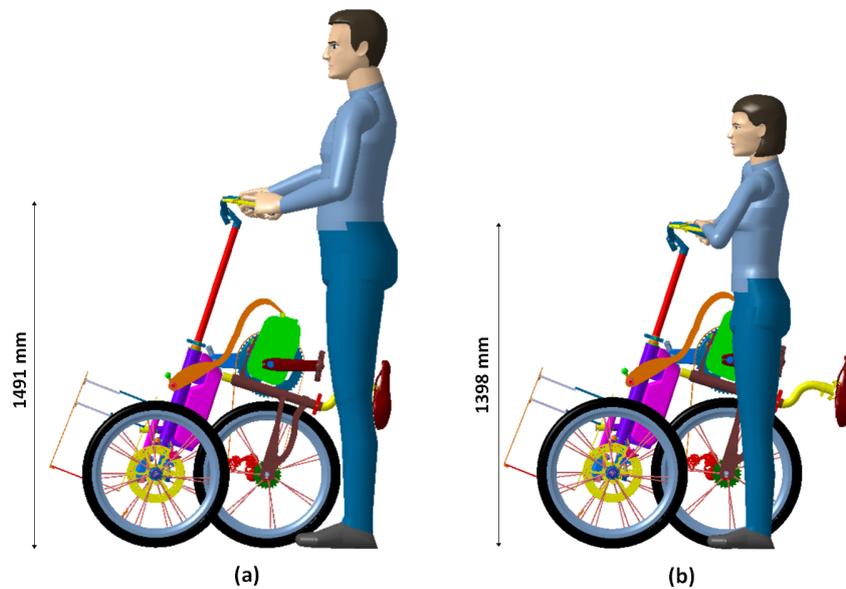


Figura 4.34: Posicionamento no veículo de dois utilizadores, (a) e (b), do género masculino com percentil 95 e género feminino com percentil 5 respetivamente, com o veículo dobrado em modo de transporte de mercadoria.

Verificou-se então uma correta posição do utilizador devido à adaptação da altura do guiador e do selim à estatura do mesmo.

4.4 Simulação estrutural de elementos críticos

4.4.1 Introdução

De forma a avaliar o veículo em termos estruturais recorreu-se a simulações com base no método dos elementos finitos (MEF). O MEF consiste numa técnica numérica computacional utilizada para realizar análises de elementos finitos de um determinado fenómeno físico. Este tipo de análise permite observar o campo de deslocamentos, tensões e deformações de uma determinada estrutura em resposta a um esforço que lhe é aplicado e segundo predefinidas condições de fronteira e geometria. [110]

Este método define que um número infinito de variáveis são substituídas por um número limitado de elementos de comportamento definido conectados entre si através de pontos nodais, constituindo assim a malha de elementos finitos. Relativamente à malha, quanto mais refinada a mesma mais precisos serão os resultados obtidos na simulação. [?]

No que concerne o desenvolvimento de um produto, a análise dos elementos finitos traz inúmeras vantagens como aumentar a *performance* do produto, reduzir custos de *design* e produção, diminuir o número de ensaios físicos necessários para a sua validação, introduzir a possibilidade de avaliar alternativas ao *design* e material do mesmo e aumentar a segurança do utilizador, entre outros. [112]

A norma ISO 4210-2, *Requirements for city and trekking, young adult, mountain and racing bicycles*, define os requisitos de segurança e métodos de ensaio de bicicletas citadinas e será a aplicação dos ensaios previstos nesta norma ao veículo que permitirão concluir se o

mesmo é válido de ser comercializado. [51]

Neste projeto avaliou-se através do método dos elementos finitos, as tensões e deslocamentos dos principais elementos da estrutura do quadro e da direção no domínio linear elástico.

4.4.2 Materiais e métodos

Condições de carga e fronteira analisadas

- **Solicitação vertical**

O ensaio da solicitação vertical é aplicado a veículos de duas rodas, mas pode de igual modo ser testado em veículos de três rodas e tem como objetivo estudar a ação do peso do condutor sobre o quadro da bicicleta. Consultando a norma ISO 4210-2 referida anteriormente, substituiu-se o selim por um dispositivo similar de ligação ao tubo de altura e apresentado na figura 4.35 presente na norma. Este dispositivo encontra-se posicionado à altura máxima do selim e é lhe aplicada uma força vertical de 1200 N, relativa ao peso do condutor. [51]

A norma define que a roda traseira está fixa através de um apoio rígido no seu eixo, que permite a rotação do mesmo mas restringe os deslocamentos. Relativamente à roda dianteira, esta é representada por um apoio simples de modo a permitir o deslocamento horizontal do quadro. [51]

A imagem que se segue é uma adaptação da norma referida e ilustra os elementos a considerar na simulação e as suas condições de fronteira. Esta figura é uma adaptação porque na norma consta um quarto elemento a ter consideração, relativo ao sistema de suspensão, não incluído no caso deste veículo desenvolvido.

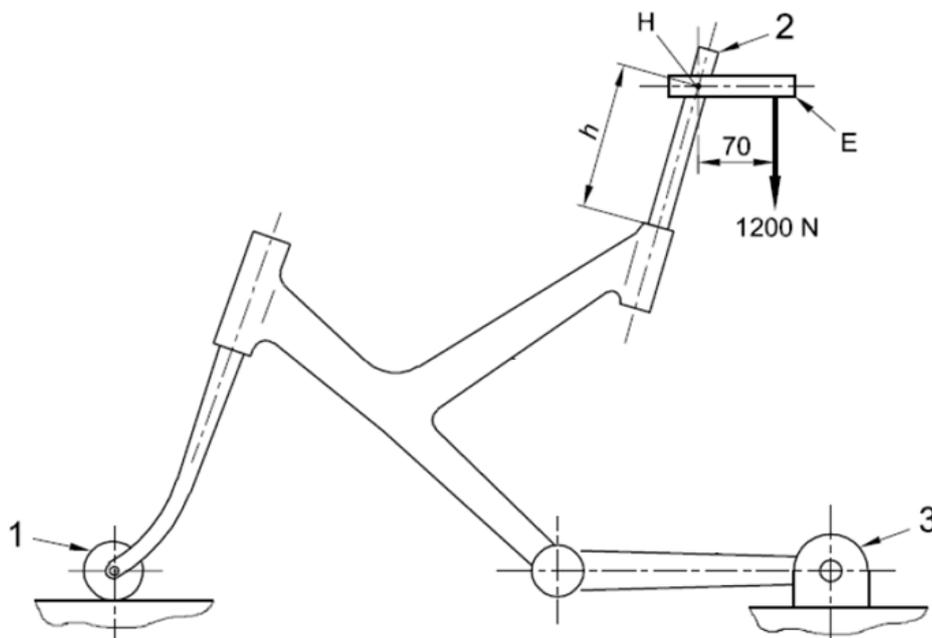


Figura 4.35: Adaptação do ensaio de solicitação vertical da norma ISO 4210-2 [51]: (1) Apoio simples que permite a flexão do quadro; (2) Tubo do selim; (3) Apoio rígido que apenas permite rotação em torno do eixo.

O veículo em questão apresenta um quadro com uma estrutura diferente da convencional, como mencionado anteriormente, por ser constituído por três elementos estruturantes: o quadro (3), o motor (4) e a estrutura posterior (12). Assim, no ensaio estrutural apresentaram-se estes elementos e ainda o bloqueio central e frontal do quadro, por realizarem a ligação do módulo posterior do veículo com o módulo frontal e central e definiram-se as respetivas condições de fronteira e de contacto, como se pode observar na figura 4.36. Nesta simulação, o selim foi substituído por uma barra de alumínio onde foram aplicados os 1200 N referentes ao peso do condutor, modelada com o propósito de cumprir a norma ISO 4210-2.

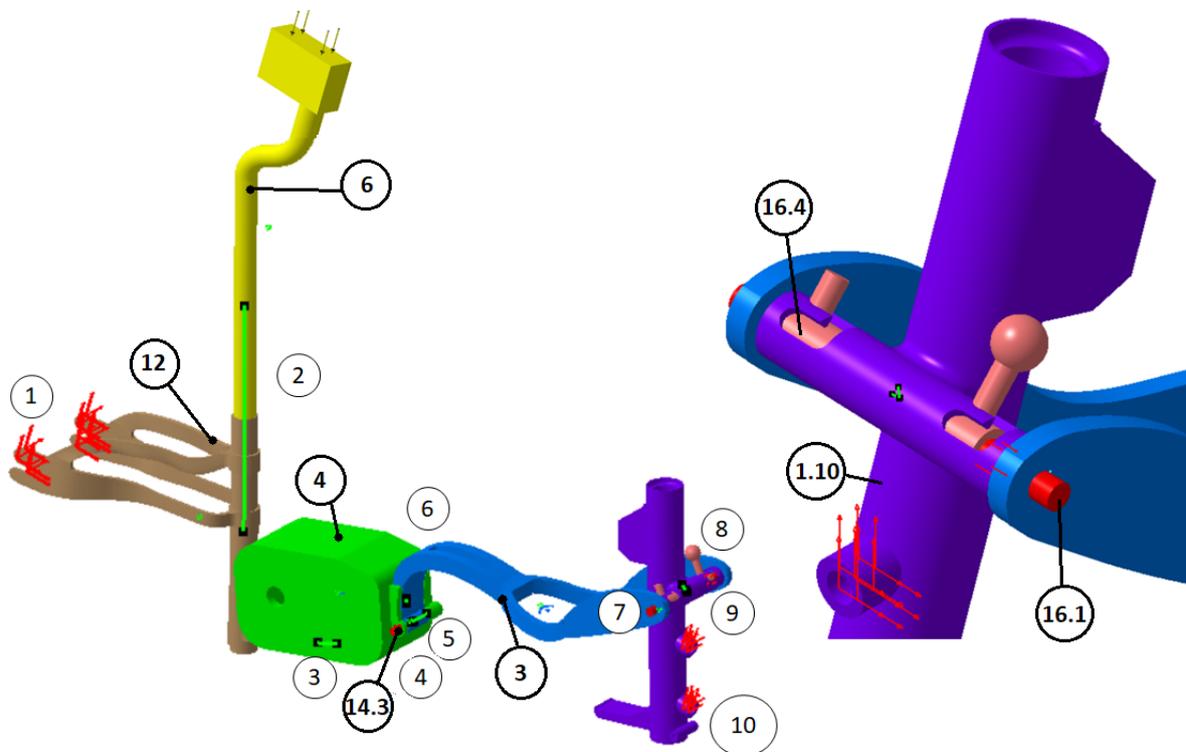


Figura 4.36: Ensaio de solicitação vertical: 1-Restrição de deslocamento nas três direções (apoio rígido na roda traseira); 2-Ligação rígida da estrutura posterior com o tubo de altura do selim (6); 3-Ligação rígida do motor (4) com a estrutura posterior (12); 4-Restrição de deslocamento longitudinal do veio do bloqueio central (14.3); 5-Ligação rígida do veio do bloqueio central (14.3) com o quadro (3) e contacto do veio com o motor (4); 6-Contacto do motor (4) com o quadro; 7-Ligação rígida do veio do bloqueio frontal (16.1) com o quadro (3); 8-Contacto entre o tubo do bloqueio frontal (16.4) e o veio (16.1) e entre esse mesmo tubo (16.4) e a coluna da direção (1.10); 9-Restrição de deslocamento longitudinal do tubo do bloqueio frontal (16.4); 10-Restrição de deslocamento longitudinal e vertical da coluna da direção (1.10) (apoio simples que permite deslocamento horizontal).

- **Solicitação horizontal**

De igual modo, o ensaio da solicitação horizontal é um requisito de segurança presente na norma ISO 4210-2. Este teste é designado por teste de impacto e avalia o comportamento do quadro quando lhe são induzidos esforços provocados por elementos exteriores ao condutor e veículo, como lombas na estrada ou mesmo piso irregular e degradado. De igual modo é aplicada uma força de 1200 N, neste caso horizontal, e novamente a roda traseira é fixa através de um apoio rígido e a dianteira por um apoio simples, como se pode observar na figura 4.37. [51]

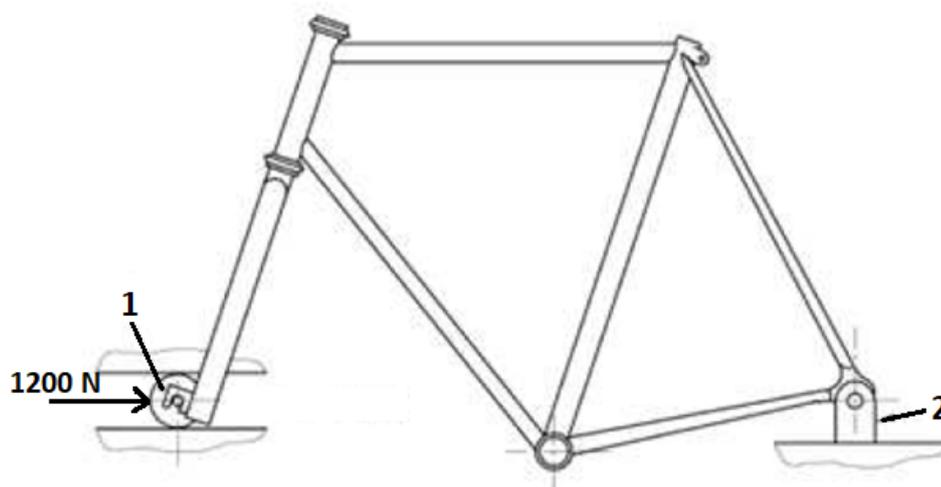


Figura 4.37: Ensaio de solicitação horizontal da norma ISO 4210-2 (Adaptado de [51]): (1) Apoio simples que permite a flexão do quadro; (2) Apoio rígido que permite rotação em torno do eixo.

De igual modo à análise vertical, também na simulação horizontal se apresentaram componentes como o motor e os sistemas de bloqueio. As restrições, condições de fronteira e contacto mantiveram-se semelhantes às da simulação vertical, apenas se alterou o sentido e ponto de atuação da força. Estas condições encontra-se assinaladas e descritas na figura 4.38.

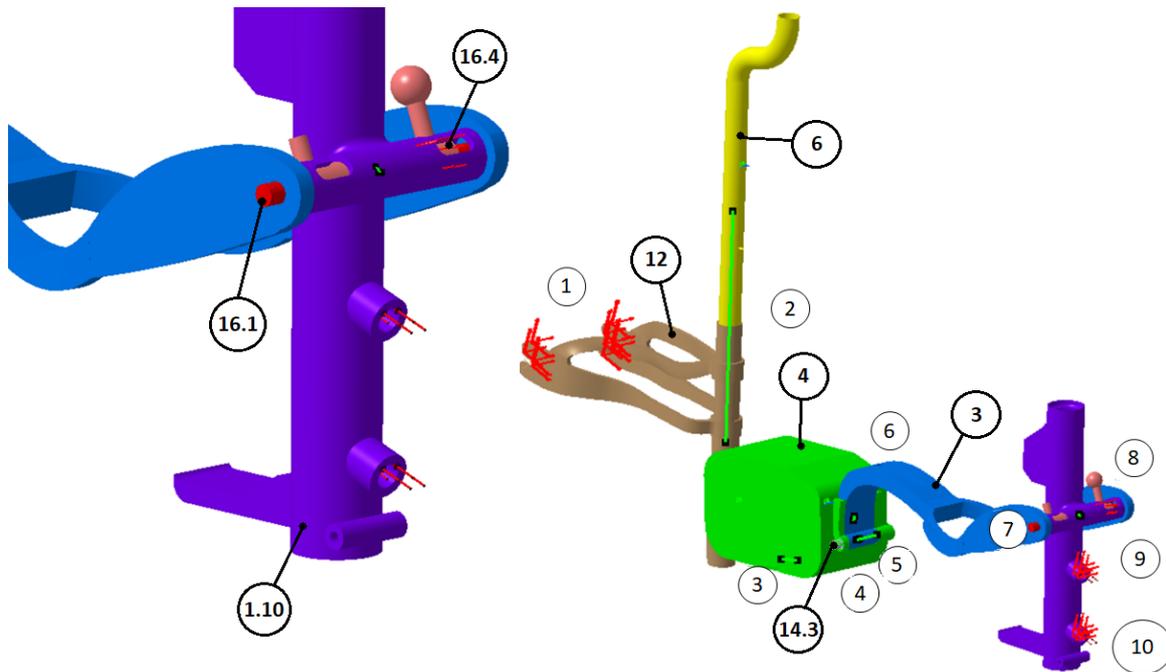


Figura 4.38: Ensaio de solicitação horizontal: 1-Restrição de deslocamento nas três direções (apoio rígido na roda traseira); 2-Ligação rígida da estrutura posterior com o tubo de altura do selim (6); 3-Ligação rígida do motor (4) com a estrutura posterior (12); 4-Restrição de deslocamento longitudinal do veio do bloqueio central (14.3); 5-Ligação rígida do veio do bloqueio central (14.3) com o quadro (3) e contacto do veio com o motor (4); 6-Contacto do motor (4) com o quadro (3); 7-Ligação rígida do veio do bloqueio frontal (16.1) com o quadro (3); 8-Contacto entre o tubo do bloqueio frontal (16.4) e o veio (16.1) e entre esse mesmo tubo (16.4) e a coluna da direção (1.10); 9-Restrição de deslocamento longitudinal do tubo do bloqueio frontal (16.4); 10-Restrição de deslocamento longitudinal e vertical da coluna da direção (1.10) (apoio simples que permite deslocamento horizontal).

• Solicitação horizontal e vertical da direção

É importante mencionar que para além da geometria do quadro, o veículo difere por ter duas rodas dianteiras. A ligação entre estas rodas é feita por uma direção pendular que terá de suportar, de igual modo ao quadro, perturbações presentes na estrada. Assim, realizou-se também uma simulação da direção tendo em consideração ambas as solicitações horizontal e vertical. Nesta simulação considerou-se o esforço horizontal atuante nas mangas de eixo da direção, igualmente de 1200 N, mas tendo também em consideração a carga representativa do peso do condutor, correspondente à reação das rodas.

A figura 4.39 ilustra as condições de fronteira e de carga definidas na simulação da solicitação horizontal e vertical do sistema da direção.

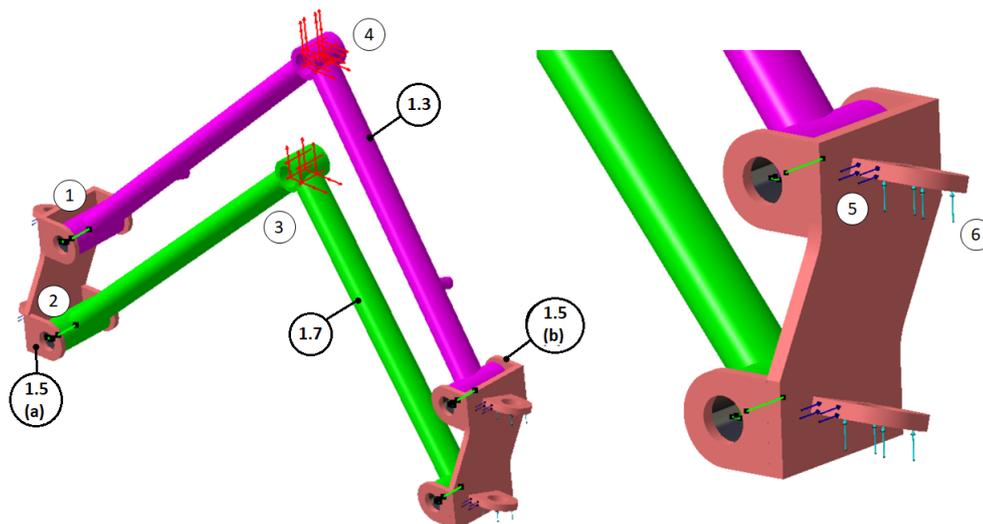


Figura 4.39: Ensaio de solicitação horizontal e vertical da direção: (1) Contacto do pendular superior (1.3) com as mangas de eixo (1.5) (restrição definida à esquerda e à direita do pendular); (2) Contacto do pendular inferior (1.7) com as mangas de eixo (1.5) (restrição definida, de igual modo, à direita e à esquerda do pendular); (3) e (4) Restrição do deslocamento do pendular inferior (1.7) e superior (1.3), respetivamente, nas três direções (apoio rígido na zona onde os pendulares são fixos à coluna da direção); (5) Força horizontal de 1200 N distribuída nas mangas de eixo (1.5), em duas superfícies (cargas de 300 N em cada); (6) Força vertical relativa às reações das rodas dianteiras, distribuída pelas duas mangas de eixo (1.5).

Esta força de reação foi calculada com base no peso de 1200 N do condutor e a sua distribuição pelas rodas dianteiras e traseira, tendo em consideração a distância horizontal entre as rodas e o ponto de atuação da força. Esta força relativa à reação das rodas dianteiras ao peso do utilizador foi calculada com base nas equações 4.1, 4.2 e 4.3 que relacionou as distâncias apresentadas na figura 4.40 com a força vertical de 1200 N exercida no selim.

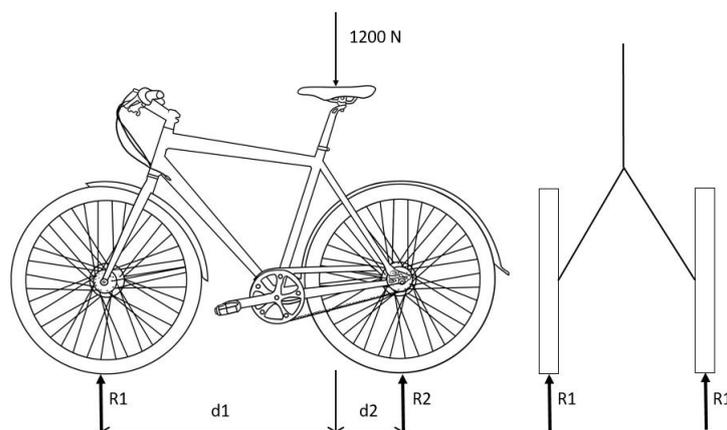


Figura 4.40: Representação das forças atuantes numa das mangas de eixo da direção pendular do veículo.

$$R_2 = 1200 \times \frac{d_1}{d_1 \times d_2} \quad (4.1)$$

$$R_1 = 1200 - R_2 = 260 \text{ N} \quad (4.2)$$

$$\text{Reação de cada roda dianteira} = \frac{R_1}{2} = 130 \quad (4.3)$$

Deste modo, obteve-se uma força vertical de 130 N aplicada em cada manga de eixo apresentada e 75 N aplicada em cada superfície da manga.

Assim sendo o deslocamento total da estrutura é dado pela soma dos deslocamentos de cada uma das duas simulações.

Características mecânicas dos materiais utilizados

Relativamente ao material dos elementos apresentados, optou-se pelo alumínio 6061-T6 já abordado na secção de seleção de conceitos. As propriedades mecânicas deste material, presentes na tabela 4.2, são importantes para a definição do modelo antes da simulação e para a posterior análise dos resultados.

Tabela 4.2: Propriedades mecânicas do Alumínio 6061 T6. [49]

Alumínio 6061 T6		
Propriedade	Un	
Densidade	kg/m ³	2700
Tensão de cedência	MPa	275
Tensão de rutura	MPa	310
Tensão limite de fadiga	MPa	96.5
Módulo de elasticidade	GPa	68.9
Módulo de rigidez	GPa	26.5
Coefficiente de Poisson		0.33

Características da malha e elementos

Após se definir o material dos componentes e as respetivas condições de fronteira e carga, gerou-se a malha de elementos finitos. Esta malha tridimensional apresenta diferentes propriedades mediante o componente e a simulação em questão, apresentadas na tabela 4.3.

Tabela 4.3: Tabela com as propriedades da malha de elementos finitos.

Propriedades da malha			
Tipo de elementos finitos	Tetraedros de 4 nós (lineares)		
	Dimensão média da aresta dos elementos [mm]		
	Simulação do quadro		Simulação da direção
	<i>Solicitação vertical</i>	<i>Solicitação horizontal</i>	
Estrutura posterior	8		-
Tubo de altura selim	8		-
Veio bloqueio central	8		-
Motor	8		-
Quadro	8		-
Veio bloqueio frontal e manípulos	2		-
Tubo bloqueio frontal	5		-
Coluna da direção	8		-
Pendular superior	-	-	4
Pendular inferior	-	-	4
Mangas de eixo	-	-	4
Número de elementos finitos	102 365	100 850	68 102
Número de nós	28 401	27 698	18 667

A figura 4.41 permite observar o pormenor das malhas definidas na análise estrutural do quadro nas simulações da solicitação vertical e horizontal do mesmo.

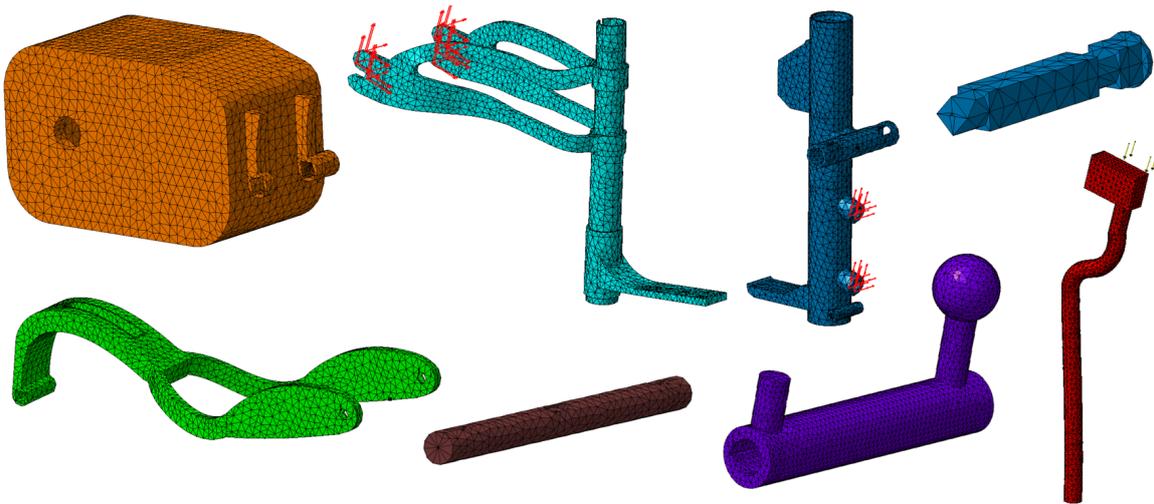


Figura 4.41: Malha de elementos finitos do motor (4), estrutura posterior (12), coluna da direção (1.10), veio do bloqueio central (14.3), quadro (3), veio e tubo do bloqueio frontal (16.1 e 16.4, respetivamente) e tubo de altura do selim (6).

A figura 4.42 ilustra as malhas definida na simulação do sistema da direção, com as propriedades descritas anteriormente na tabela 4.3.

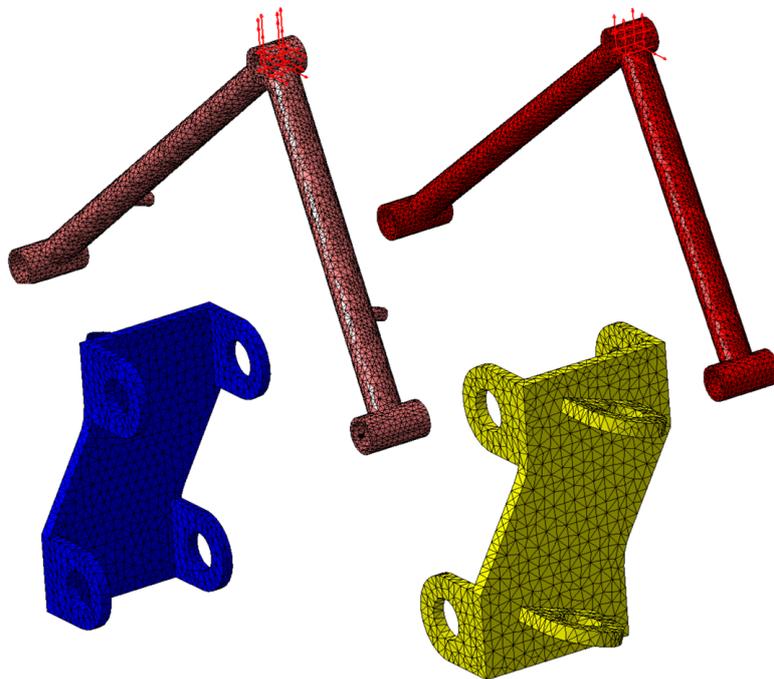


Figura 4.42: Malha de elementos finitos do pendular superior (1.3), do pendular inferior (1.7) e das duas mangas de eixo (1.5).

4.4.3 Resultados e Discussão

As figuras 4.43 e 4.44 permitem visualizar o comportamento relativo ao campo da tensão de von Mises na estrutura do quadro e na direção do veículo, respetivamente.

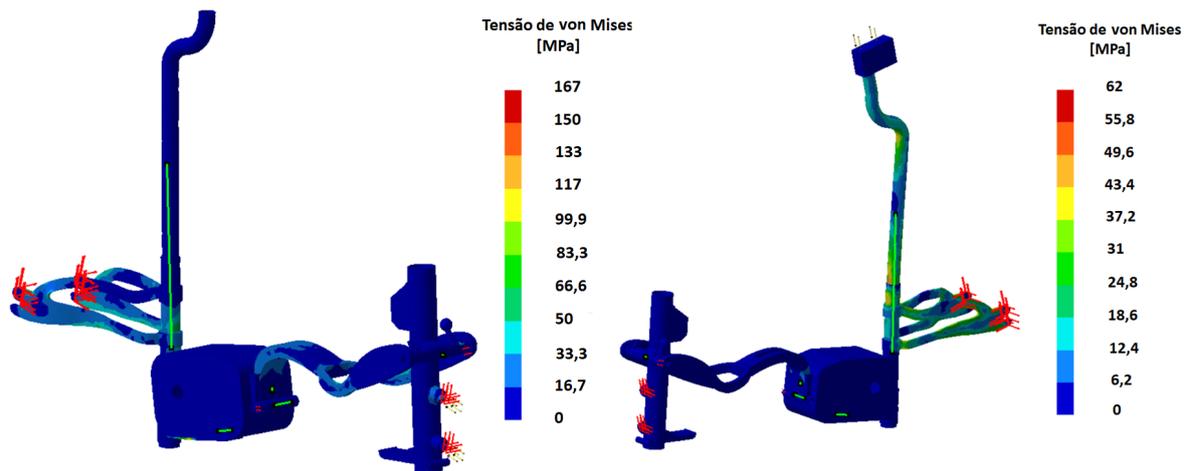


Figura 4.43: Tensão de von Mises na simulação da solicitação horizontal e vertical da estrutura, à esquerda e à direita, respetivamente.

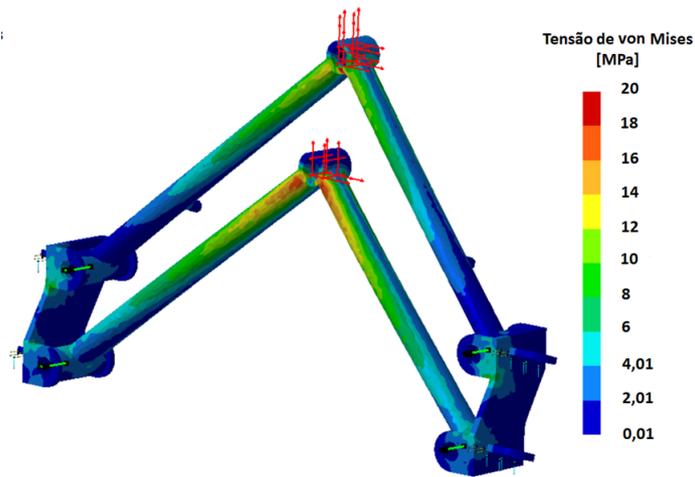


Figura 4.44: Tensão de von Mises na simulação da solicitação vertical e horizontal da direção.

As figuras 4.45 e 4.46 permitem visualizar o comportamento relativo ao campo dos deslocamentos na estrutura do quadro e na direção do veículo, respetivamente.

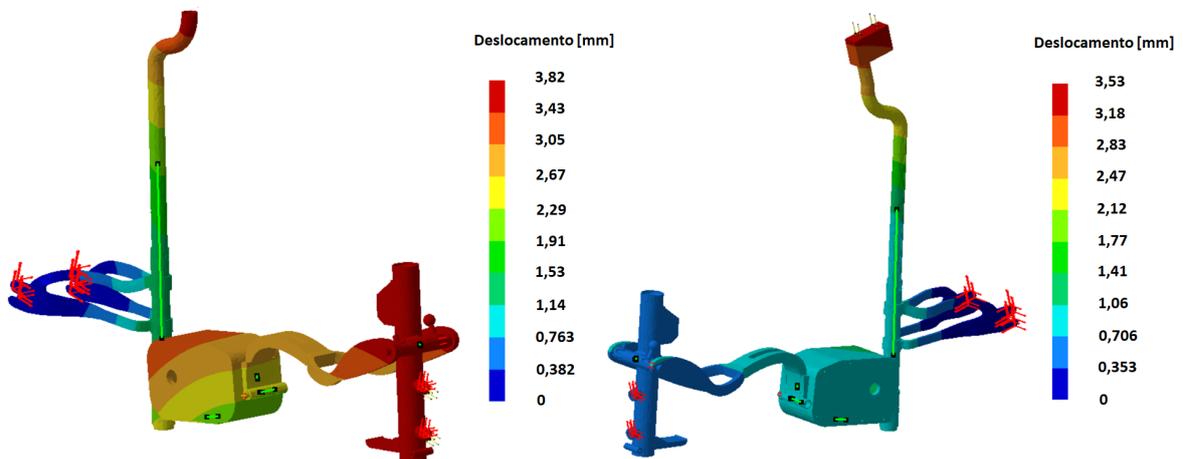


Figura 4.45: Deslocamentos na simulação da solicitação horizontal da estrutura, à direita, e na simulação vertical, à esquerda.

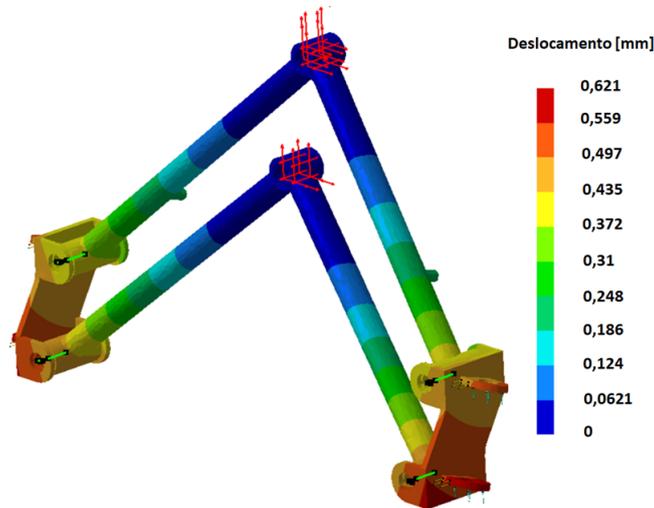


Figura 4.46: Deslocamentos na simulação da solicitação do sistema da direção.

A tabela 4.4 que se segue apresenta os valores de tensão de von Mises referentes às zonas críticas de cada elemento das simulações de solicitação horizontal e vertical da estrutura do veículo.

Tabela 4.4: Valores críticos da tensão de von Mises obtidos na simulação horizontal e vertical da estrutura.

Simulação da estrutura: Valores Críticos da Tensão de von Mises									
		Estrutura Posterior	Motor	Tubo de altura selim	Veio de bloqueio frontal	Tubo de bloqueio e manípulos	Coluna da direção	Veio de bloqueio central	Quadro
Simulação Horizontal	σ_{Mises} [MPa]	153	29.6	0.97	34	100	25.5	26.3	167
Simulação Vertical	σ_{Mises} [MPa]	62	19.3	60.3	0.90	1.61	0.30	5.25	12.3

De igual forma para a simulação relativa à solicitação da direção, é apresentada na tabela 4.5 com os valores máximos de tensão obtidos nas zonas críticas de cada elemento.

Tabela 4.5: Valores críticos da tensão de von Mises obtidos na simulação da direção.

Simulação da direção: Valores Críticos da Tensão de von Mises					
		Pendular Superior	Pendular Inferior	Manga de eixo (a)	Manga de eixo (b)
Simulação	σ_{Mises} [MPa]	20	18.3	12.9	16.7

Analisando os valores apresentados na tabela 4.4 de cada componente na simulação da solicitação horizontal da estrutura, verifica-se que os componentes críticos são a estrutura posterior que apresenta uma tensão máxima de 153 MPa, o quadro com um valor máximo de 167 MPa e ainda o tubo do bloqueio frontal do quadro com 100 MPa. Tendo em consideração a tensão limite de fadiga do alumínio, de 96.5 MPa, estes são os três elementos que ultrapassam o valor máximo suportável pelo material aquando a atuação de uma carga cíclica, que vai acabar por levar à sua rutura. Os restantes componentes respeitam a norma ISO 4210-2, com valores de tensão bastante inferiores à tensão limite de fadiga do alumínio.

Visto que a estrutura posterior, o quadro e o tubo do bloqueio frontal não respeitam a exigência da norma referida, a solução será então o redimensionamento dos componentes de forma a reforçar as estruturas. Eventualmente, por a carga horizontal aplicada de 1200 N ser um valor elevado e talvez excessivo, visto que o veículo não está sujeito diariamente a estes esforços, será mais coerente comparar os valores de tensão obtidos com a tensão de rutura do material, de 310 MPa. Comparativamente a este valor de tensão, os três elementos apresentam valores inferiores.

Por forma a evidenciar as zonas críticas relativas às tensões de von Mises máximas em cada componente analisado, são apresentados na figura 4.47 os diferentes componentes simulados.

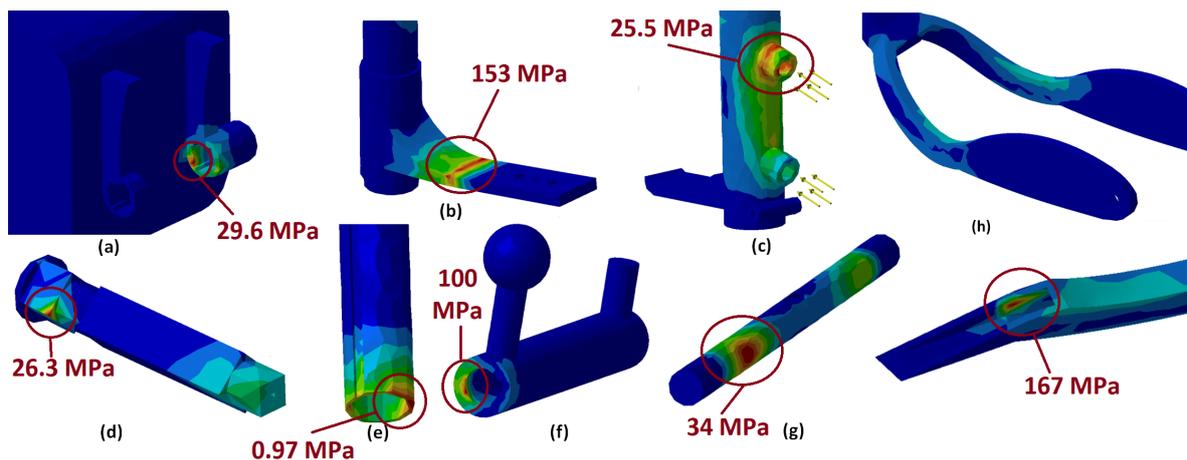


Figura 4.47: Zonas críticas onde a tensão é máxima na solicitação horizontal da estrutura do veículo: (a) Motor; (b) Estrutura posterior; (c) Coluna da direção; (d) Veio do bloqueio central do quadro; (e) Tubo de altura do selim; (f) Tubo do bloqueio frontal do quadro; (g) Veio do bloqueio frontal do quadro; (h) Quadro - Corte da estrutura por a zona crítica ser na sua superfície interior.

Ainda relativamente à simulação horizontal, é importante analisar os resultados obtidos na simulação da estrutura da direção. Todos os componentes da direção simulados apresentam um valor inferior à tensão limite de fadiga do alumínio, com um valor máximo de 20 MPa relativo ao pendular superior e um valor mínimo de 12.9 MPa associado à manga de eixo (a). Desta forma, a estrutura respeita a norma ISO 4210-2 no que concerne os valores limite de tensão; observa-se assim que o dimensionamento da estrutura é adequado para a solicitação imposta.

A figura 4.48 ilustra em detalhe, as zonas críticas dos componentes analisados nesta simulação, em termos de valores de tensão.

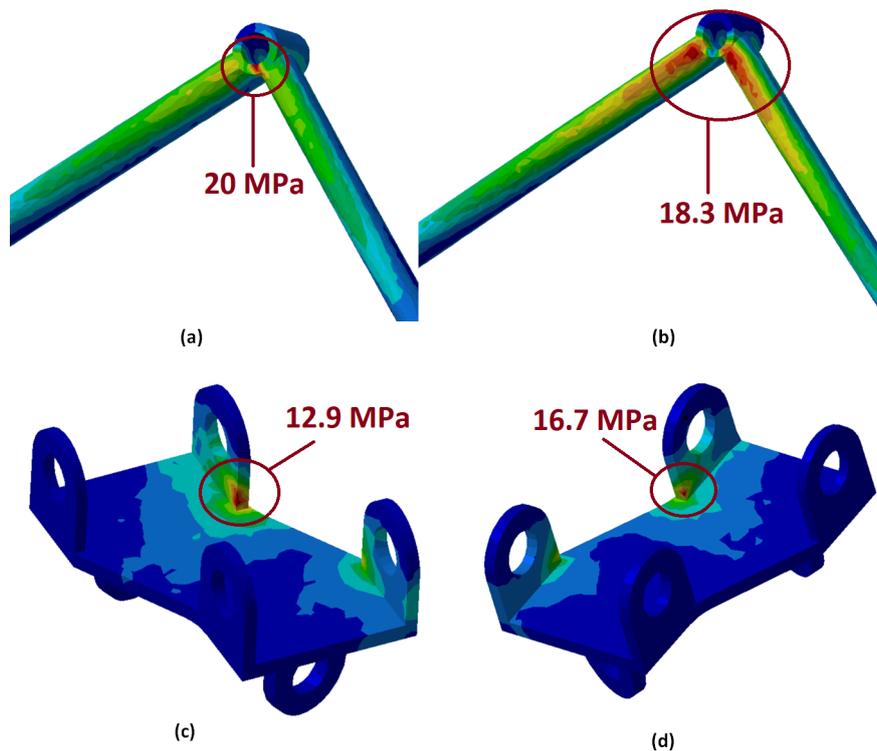


Figura 4.48: Zonas críticas onde a tensão é máxima na solicitação horizontal e vertical da direção: (a) Pendular superior; (b) Pendular inferior; (c) Manga de eixo(a); (d) Manga de eixo(b).

Quanto ao campo dos deslocamentos relativo à solicitação horizontal, é necessário ter em consideração as duas simulações apresentadas. A norma ISO 4210-2 define que o deslocamento tem de ser inferior a 10 mm para que o veículo possa circular. O deslocamento máximo obtido é de 4.44 mm, sendo que na simulação da estrutura do veículo se verificou um deslocamento de 3.82 mm e na simulação da direção de apenas 0.62 mm. De constatar também que o deslocamento e tensões na estrutura da direção são inferiores, por as rodas dianteiras permitirem amortecer parte do impacto.

No que diz respeito à simulação da solicitação vertical da estrutura do veículo, os valores máximos de tensão verificaram-se igualmente na estrutura posterior, de cerca de 62 MPa, e ainda no tubo de altura do selim, de 60.3 MPa. Por a força ser aplicada no selim, como seria de prever estes são os elementos que suportam mais carga. No entanto, estes valores de tensão são inferiores aos 96.5 MPa relativos à tensão limite de fadiga do alumínio e portanto verifica-se que a norma ISO 4210-2 é respeitada.

Analisando o deslocamento aquando esta solicitação, verifica-se um deslocamento máximo de 3.53 mm. Com o valor imposto em termos normativos de 10 mm, verifica-se que a estrutura cumpre com a norma.

A figura 4.49 permite observar as zonas críticas de tensão de cada componente analisado na simulação.

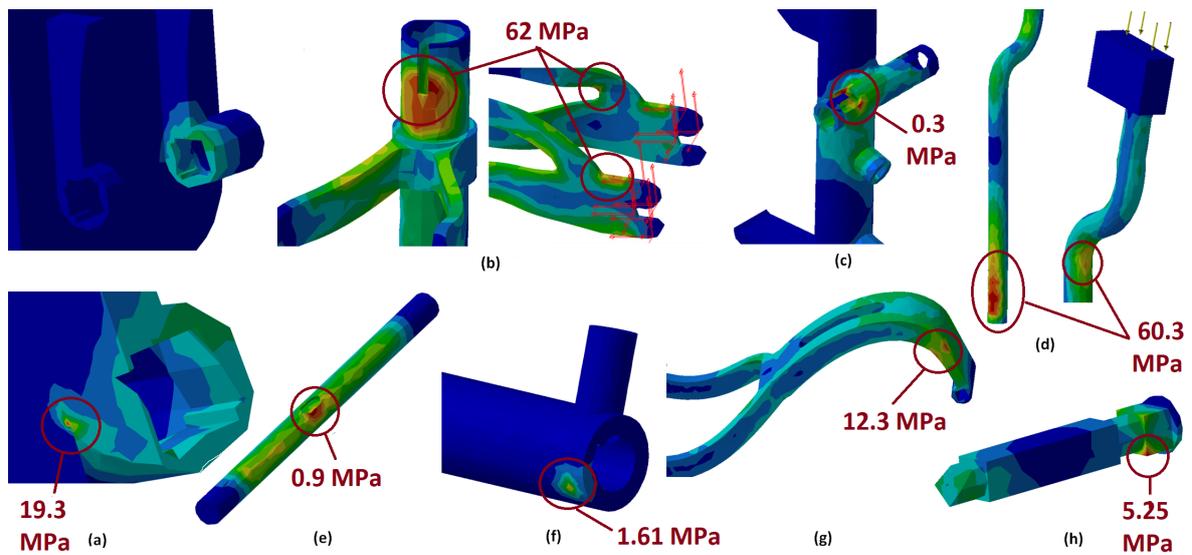


Figura 4.49: Zonas críticas onde a tensão é máxima na solicitação vertical da estrutura do veículo: (a) Motor; (b) Estrutura posterior; (c) Coluna da direção; (d) Tubo de altura do selim; (e) Veio do bloqueio frontal do quadro; (f) Tubo do bloqueio frontal do quadro; (g) Quadro; (h) Veio do bloqueio central do quadro.

Apesar de a maioria dos componentes da estrutura respeitar a norma de circulação nas estradas europeias, para a produção do veículo seria necessário um estudo mais minucioso que considerasse o tempo de vida do material e o seu desgaste devido a fatores externos. Para além disso, certas zonas mais frágeis como o tubo do selim, deveriam ser reforçadas.

4.5 Cálculo analítico da mola do sistema de equilíbrio pendular

No que concerne o sistema usado para garantir o equilíbrio estático do veículo aquando parado e em movimento, após a sua modelação foi necessário definir a constante elástica das duas molas usadas. Estas duas molas apresentam iguais características e têm de assumir uma constante tal, que garanta sempre o equilíbrio estático do veículo quando este se encontra parado com zero graus de inclinação e inclusive no caso do utilizador se desequilibrar e consequentemente atingir um desvio da posição original que pode alcançar os 5 a 6°. Assim sendo, o momento provocado pelo peso do condutor tem de igualar o momento referente à força das molas atuante no mesmo ponto.

A figura 4.50 de seguida apresentada ilustra esquematicamente as forças relativas às molas e ao peso do condutor.

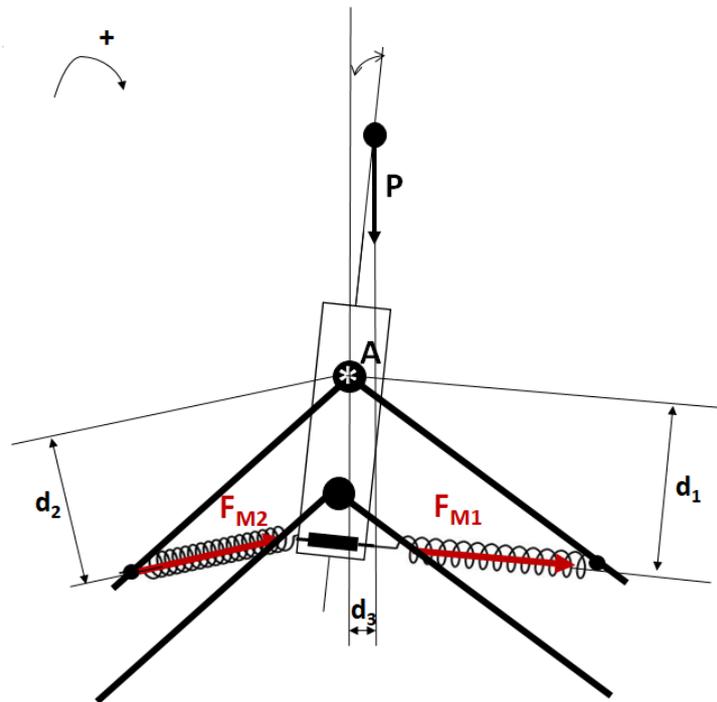


Figura 4.50: Representação das forças atuantes quando o veículo sofre uma inclinação de seis graus.

O esquema apresentado permite então observar que as forças das molas 1 e 2, provocam um momento negativo atuante no ponto A e que o peso do condutor provoca um momento atuante no mesmo ponto, mas com sentido positivo. O equilíbrio estático é garantido pela igualdade deste momentos.

As molas utilizadas no sistema são molas à compressão e tração, isto porque quando o veículo se inclina para um dos lados umas das molas é comprimida e outra tracionada, sendo então a força das duas em simultâneo que permite ao veículo este equilíbrio estático. Devido à sua igual configuração, pode-se assumir que as molas apresentam igual constante elástica, no entanto a força exercida pelas mesmas difere, porque o deslocamento destas é diferente.

A equação 4.4 apresentada de seguida, é relativa à igualdade de momentos e a constante da mola é dada em função da equação 4.7. As equações 4.5 e 4.6, são referentes ao cálculo da força de cada mola em função da constante elástica e do seu deslocamento. A força do peso tem o valor de 1200 N e a extensão de cada mola foi calculada com base no CAD desenvolvido, através do seu comprimento inicial (inclinação de zero graus) e final (inclinação de 6 graus). Assim, obteve-se um deslocamento de 0.0062 m para a mola 1 e um deslocamento de 0.0034 m para a mola 2.

Os braços para o cálculo dos momentos foram também retirados do CAD, sendo $d_1 = 0.110\text{ m}$, $d_2 = 0.092\text{ m}$ e $d_3 = 0.041\text{ m}$.

$$P \times d_3 - F_{M1} \times d_1 - F_{M2} \times d_2 = 0 \quad (4.4)$$

$$F_{M1} = k_{mola} \times \Delta x_1 \text{ [N]} \quad (4.5)$$

$$F_{M2} = k_{mola} \times \Delta x_2 \text{ [N]} \quad (4.6)$$

$$k_{mola} = \frac{1200 \times 0.041}{0.0062 \times 0.110 + 0.0034 \times 0.092} = 49457 \text{ N/m} \quad (4.7)$$

Através da equação 4.7 obteve-se então um valor de aproximadamente de 49.46 kN/m de constante elástica da mola.

4.6 Cálculo analítico para verificação do dimensionamento do sistema de bloqueio da estrutura móvel

Relativamente ao cálculo analítico para verificação do dimensionamento do sistema de bloqueio do quadro frontal, este é extremamente importante para que após a sua modelação se consiga verificar se o diâmetro estipulado para a zona tubular dos manípulos é suficiente para o sistema suportar as tensões de corte máxima e de esmagamento do material. Visto que os dois manípulos apresentam iguais dimensões e também forças atuantes de igual magnitude e direção, verificou-se o dimensionamento apenas do manípulo de bloqueio, que permite assim também verificar o dimensionamento do pino de bloqueio. Deste modo, através da equação 4.8 calculou-se o momento representativo da magnitude da reação R_1 das duas rodas dianteiras, calculada anteriormente, a uma distância L_1 do eixo de rotação. No esquema da figura 4.51, é possível observar estas forças e o momento. O cálculo do momento exercido no manípulo permitiu calcular, através da equação 4.9, a força tangencial exercida no mesmo.

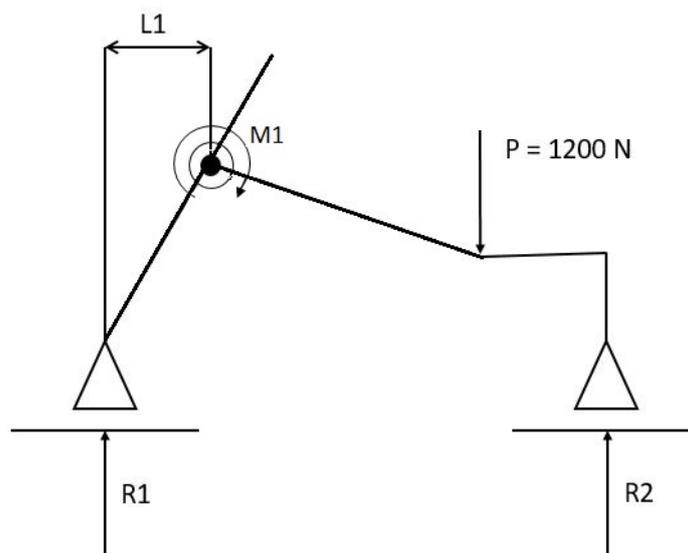


Figura 4.51: Representação esquemática das forças atuantes no veículo aquando do posicionamento do utilizador e do momento resultante atuante no bloqueio frontal.

$$M_1 = R_1 \times L_1 \approx 15.48 \text{ Nm}, R_1 = 260 \text{ N e } L_1 = 0.0595 \text{ m} \quad (4.8)$$

Como mencionado anteriormente, por no manípulo e no pino atuarem forças de igual magnitude e estes apresentarem a mesma geometria, analisou-se apenas o manípulo. Assim sendo, nos cálculos adotou-se o momento como metade de M_1 , calculado anteriormente: $M_2 = 7.74 \text{ Nm}$.

A figura 4.52 permite visualizar o raio R de 14 mm a ter em consideração no cálculo da força tangencial.

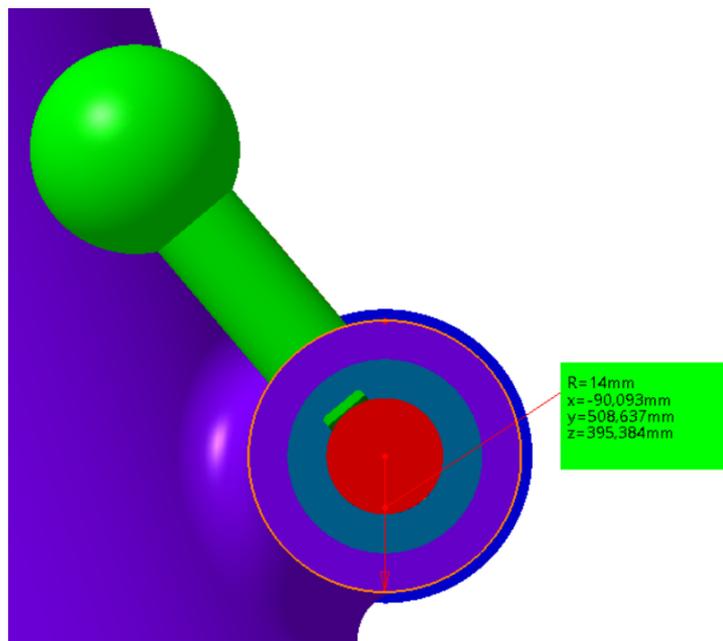


Figura 4.52: Representação do raio R considerado no cálculo da força tangencial atuante no manípulo de bloqueio.

$$F_t = \frac{M_2}{R} \approx 552.9 \text{ N}, R = 0.014 \text{ m} \quad (4.9)$$

Para que o sistema tenha então as dimensões adequadas é necessário que a tensão de corte verificada seja inferior à tensão de corte máxima do material, que neste caso é o alumínio. Esta relação apresentada na equação 4.10 permite então relacionar estas variáveis e através das equações 4.11 e 4.13 observar se se verifica esta condição. A área resistente ao corte tem em consideração o raio do manípulo que se pretende verificar, ilustrado na figura 4.53, cujo valor apresentado de 5 mm é o correspondente ao CAD.

$$\frac{F_t}{A_p} \leq \tau_{max} \quad (4.10)$$

$$A_p = \pi \times r^2 \text{ [m}^2\text{]} \quad (4.11)$$

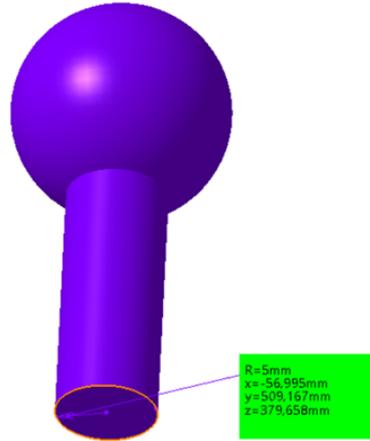


Figura 4.53: Raio de 5 mm do manípulo do sistema de bloqueio adotado no CAD atual.

A equação 4.12 é referente ao valor máximo de tensão de corte do alumínio 6061 T6, que se baseia na tensão de cedência apresentada na secção das propriedades do material.

$$\tau_{max} = \frac{1}{2} \times \sigma_{cedência} = 137.5 \text{ MPa} \quad (4.12)$$

A equação que se segue permite observar se a condição anteriormente imposta se verifica para os raios do manípulo e pino de bloqueio frontal.

$$\frac{F_t}{\pi \times r^2} \leq \tau_{max} \Leftrightarrow 7.043 \text{ MPa} \leq 137.5 \text{ MPa} \quad (4.13)$$

Concluiu-se então que o valor de raio admitido na modelação é consideravelmente superior ao mínimo necessário porque o valor de tensão verificado é muito inferior à tensão de corte máxima do alumínio. Esta considerável diferença é facilmente justificável pela não elevada magnitude da força tangencial atuante no manípulo. Assim, tanto o manípulo como o pino de bloqueio foram dimensionados corretamente por forma a suportar os esforços de corte impostos.

Para além da verificação da resistência destes aos esforços de corte, é necessário que os mesmos aguentem as forças de esmagamento. Tendo em consideração a força tangencial calculada anteriormente e através da equação 4.14, é possível verificar se o dimensionamento foi o adequado. A área resistente ao esmagamento considera a área de contacto ente o manípulo e a coluna da direção: sendo b a espessura da coluna da direção apresentada na figura 4.54, que faz batente com o manípulo, e r o raio da zona tubular do manípulo. Assim, definiram-se então as variáveis necessárias para obter o valor de tensão e verificar se o mesmo cumpre com a condição estabelecida.

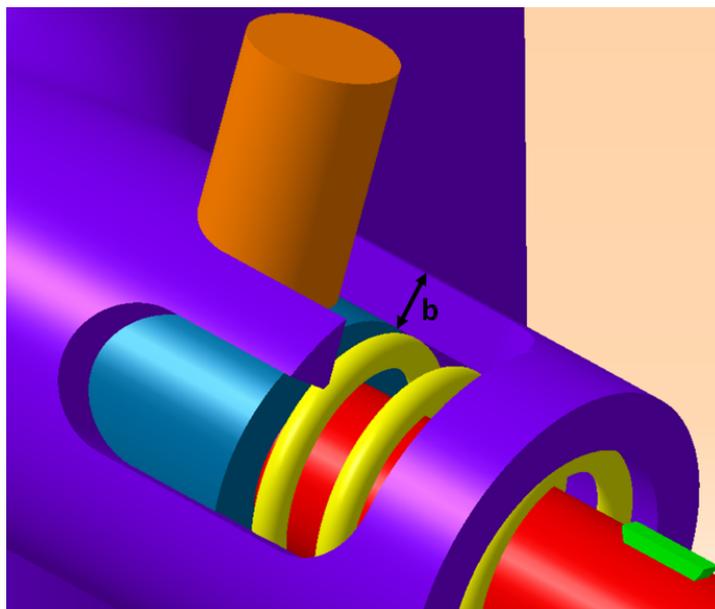


Figura 4.54: Representação da espessura tida em consideração no cálculo da área resistente.

$$\sigma_{esm} > \frac{F_t}{\pi \times r \times b} *, b = 4 \text{ mm} \quad (4.14)$$

*A área resistente considera apenas metade da área da superfície, porque apenas metade do manípulo se encontra em contacto com a coluna da direção.

O alumínio apresenta uma tensão de esmagamento de cerca de 80 MPa e sabe-se que manípulo apresenta um raio de 5 mm, ilustrado anteriormente. Assim sendo, verificou-se se a condição era ou não cumprida, como se pode observar na equação 4.15:

$$80 \text{ MPa} > 8.804 \text{ MPa} \quad (4.15)$$

Também relativamente à deformação por compressão, o dimensionamento do manípulo e do pino de bloqueio, assegura sempre valores de tensão inferiores à tensão de esmagamento. O raio de 5 mm atribuído no CAD assegura robustez aos componentes, visto que há uma elevada diferença entre o valor máximo de tensão e o valor obtido, no que concerne a esforços de esmagamento.

De facto, por a distância do selim ao eixo das rodas dianteiras ser superior à distância ao eixo da roda posterior, o peso do ciclista não causa tensões elevadas no sistema de bloqueio frontal. Assim, verifica-se que o sistema foi sobredimensionado com um raio de 5 mm, o que assegura a estabilidade do mesmo por garantir que o seu uso diário não tornará o sistema débil e sujeito a deformações plásticas ou mesmo à rutura.

4.7 Documentação Técnica

Após a fase de desenvolvimento e projeto do veículo, sucedeu-se a fase da elaboração da documentação técnica do mesmo.

Antes da elaboração dos desenhos técnicos, estipularam-se os números e designações de cada componente e organizaram-se os mesmos em módulos e sub-módulos de acordo com a sua função e de acordo com a arquitetura modular anteriormente definida. Esta lista de peças apresentada de seguida, permite identificar no desenho cada elemento, o módulo a que pertence, o quanto contribui em termos de peso e em que quantidade existe. Esta lista de peças é um elemento fulcral na elaboração de um desenho e segue diversas normas relativas à designação de elementos normalizados.

4.7.1 Desenhos de Conjunto

Elaboraram-se diversos desenhos de conjunto segundo a arquitetura modular adotada que divide o veículo nos três módulos frontal, central e posterior; são então apresentados estes conjuntos e sub-conjuntos e as suas dimensões. O veículo em posição de condução e dobrado são dois desenhos de conjunto apresentados. Para os restantes elementos, optou-se pela organização segundo a arquitetura referida. Ainda dentro do módulo, agruparam-se os componentes de acordo com a sua função e associação direta a outros elementos, como por exemplo o grupo das peças do bloqueio frontal ou o grupo dos componentes da roda traseira. Os desenhos de conjunto do veículo e dos três módulos são apresentados no Anexo C e a respetiva lista de peças é apresentada no Anexo B.

De seguida é apresentada a lista de peças de todos os componentes do veículo, ordenada por ordem decrescente segundo o seu peso em quilogramas. Esta lista, presente na tabela 4.6, permite a sua posterior integração num gráfico de Pareto, de modo a facilitar a percepção de quais os componentes com maior influência no peso total da plataforma.

Tabela 4.6: Lista de peças do veículo, ordenada por ordem decrescente de peso.

Lista de Componentes do Veículo					
Nº	Designação	Norma	Material	Quantidade	Peso (kg)
2	Bateria	Bosch PowerPack 300	Lítio	1	3
4	Motor	Shimano		1	3
13	Estrutura pedaleira	Shimano Sora	Alumínio	1	1,368
12	Estrutura posterior		Alumínio	1	0,948
15	Estrutura da bagagem		Policarbonato	1	0,9
1.2	Estrutura guiador			1	0,656
8	Roda traseira	Dahon	Alumínio	1	0,573
1.4	Roda dianteira	Dahon		2	0,559
1.3	Pendular superior		Alumínio	1	0,5
1.7	Pendular inferior		Alumínio	1	0,5
1.1	Coluna de direção		Alumínio	1	0,5
3	Quadro		Alumínio	1	0,484
13.2	Braço pedaleira		Alumínio	2	0,365
1.4.8	Jante		Alumínio	1	0,3
8.1	Jante		Alumínio	1	0,3
10	Cassete		Aço	1	0,263
1.2.3	Tubo guiador	[116]	Alumínio	1	0,25
5	Selim	Specialized Power Expert	Plástico e Espuma	1	0,235
1.4.3	Pneu		Borracha	1	0,2
1.3.2	Disco	Shimano XT RT76 6-Bolt	Aço	2	0,2
13.1	Pedal		Alumínio	2	0,2
8.2	Pneu		Borracha	1	0,2

1.1	Manga telescópica direção		Alumínio	1	0,19
16	Bloqueio quadro frontal			1	0,187
11	Desviador	Shimano 2300	Alumínio	1	0,179
6	Tubo de altura selim		Alumínio	1	0,15
1.2.2	Travão de mão	BRL29	Alumínio	2	0,143
1.5	Suporte veio roda		Alumínio	2	0,1
1.6	Manga de eixo		Alumínio	2	0,1
1.20	Tubo direção		Alumínio	1	0,1
16.1	Veio de bloqueio		Alumínio	1	0,1
13.4	Roda da coroa		Alumínio	1	0,1
1.25	Rolamento direção		Aço	2	0,08
9	Corrente		Alumínio	1	0,072
1.12	Travão de disco	Shimano CX77	Alumínio	2	0,07
1.2.1	Punho guiador	SC50	Fibra de carbono	2	0,06
1.24	Ancoragem da direção		Alumínio	1	0,051
7	Bloqueio selim			1	0,051
13.3	Hastes pedal		Alumínio	2	0,05
14	Bloqueio quadro central			1	0,046
1.11	Bloqueio direção		Alumínio	1	0,035
1.4.1	Cubo	Shimano HB-M9010	Alumínio	1	0,03
1.9	Parafuso bloqueio pendular		Aço	2	0,03
1.26	Porca de ajuste rolamento		Aço	1	0,03
14.3	Veio bloqueio central		Alumínio	1	0,03
8.8	Cubo	Shimano Tiagra FH-RS400	Alumínio	1	0,03
16.4	Tubo de bloqueio		Alumínio	1	0,02
16.3	Anilha 12x24	ISO 7089	Aço	2	0,012
1.8	Haste		Alumínio	2	0,01
16.5	Porca M12x15	ISO 8675	Aço	2	0,009
1.4.7	Veio		Aço	1	0,007
16.7	Manipulo de bloqueio		Alumínio	1	0,007
8.6	Rolamentos		Aço	2	0,007
8.7	Veio		Aço	1	0,007
16.2	Anilha 10x30	DIN 9021	Aço	2	0,006
14.2	Botão		Policarbonato	1	0,006
1.18	Casquilho da manga		Aço	8	0,005
1.28	Apoio mola 1		Alumínio	2	0,005
1.30	Apoio mola 2		Alumínio	2	0,005
18	Parafuso M10x20	DIN 933	Aço	2	0,005
1.29	Mola		Aço	2	0,004
1.17	Parafuso M10x90	DIN 931	Aço	2	0,003
1.19	Veio da manga		Alumínio	4	0,003
19	Pino 8x22	ISO 2338	Aço	2	0,003
1.4.5	Cone do rolamento		Aço	1	0,002
1.16	Rolamento axial		Aço	4	0,002
16.9	Pino de bloqueio		Alumínio	1	0,002
16.10	Mola de compressão		Aço	1	0,002
14.5	Tampão		Alumínio	1	0,002
17	Anilha 10x20	ISO 7089	Aço	2	0,002
1.4.2	Raios		Alumínio	14	0,0014
8.3	Raios		Alumínio	14	0,0014
1.21	Parafuso CHC M6x30	JIS B 1176	Aço	1	0,001
1.22	Rolamento de haste SCHS10	AISI 52100	Aço	4	0,001
16.8	Chaveta paralela fina 5x3x14	DIN 6885	Aço	2	0,001
8.5	Porca M12x1.5	ISO 8676	Aço	1	0,001
1.14	Porca M10	JIS B 1181	Aço	2	0,0009
1.27	Parafuso M6x20	JIS B 1177	Aço	6	0,0009
1.4.6	Porca M10x1.5	ANSI B18.2.4.5M	Aço	1	0,0007
8.4	Porca M10x1	ISO 8675	Aço	2	0,0007
1.31	Parafuso M5x8	DIN 933	Aço	1	0,00066
1.15	Anilha 10x20	ISO 7089	Aço	2	0,0004

21	Parafuso M5x8	DIN 933	Aço	1	0,00035
1.13	Parafuso CHC M5x8	JIS B 1176	Aço	4	0,0003
14.1	Parafuso CHC M5x15	ISO 4014	Aço	1	0,0003
14.4	Mola de compressão		Aço	1	0,0003
16.6	Chaveta de disco 1_1.5x2_6	DIN 6888	Aço	2	0,00015
1.23	Anilha 3x9	ISO 7089	Aço	1	0,00014
1.4.4	Tampa do rolamento		Aço	1	3,40E-07

Peso total **16,445**

Através da ordenação dos componentes por ordem decrescente do seu peso, apresentada na lista de peças, realizou-se o gráfico de Pareto.

Este gráfico é essencial para garantir o foco nos fatores mais importantes, quando num determinado produto existem variados problemas ou causas. O princípio de Pareto, também conhecido como a regra dos 80-20, desenvolvida pelo economista italiano Vilfredo Pareto, estabelece que cerca de 80% dos efeitos advêm de 20% das causas. Esta teoria é muito aplicada no mundo empresarial e está relacionada com a regra do polegar dos negócios, em que 80% das vendas advêm de apenas 20% dos clientes. [113]

O gráfico de Pareto é então uma ferramenta essencial para se adotarem ações mais eficientes e apropriadas no que concerne a melhorias no produto. [113]

No presente projeto, o gráfico é relativo ao peso dos componentes e permite verificar quais os componentes cuja redução do peso traz melhorias significativas ao produto final. Este gráfico é apresentado de seguida, 4.55.

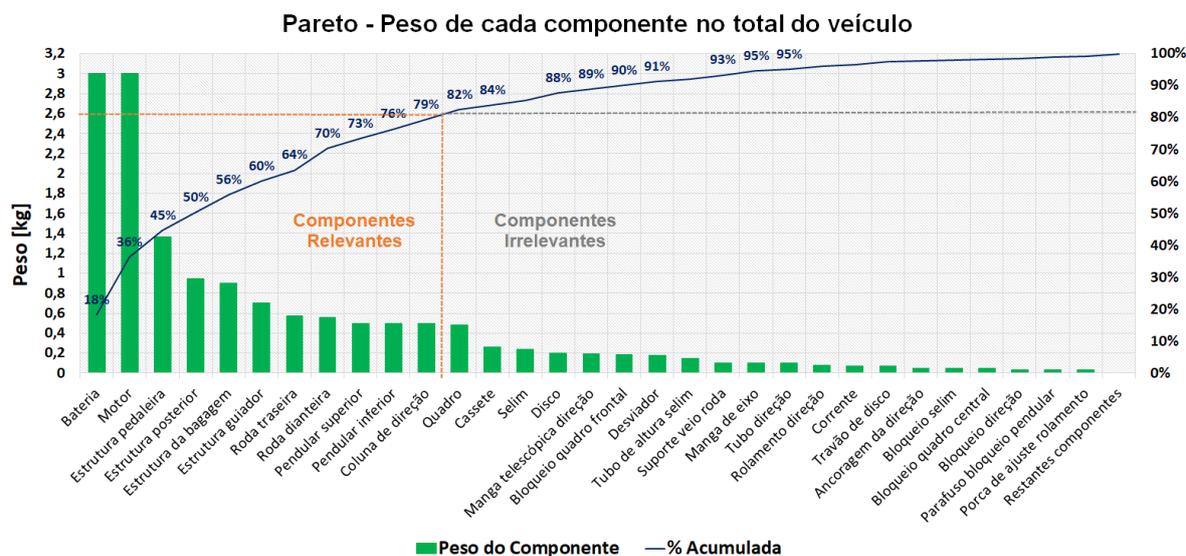


Figura 4.55: Análise de Pareto em função do peso de cada componente no total do veículo.

Através da análise do gráfico apresentado consegue-se observar que, segundo o princípio de Pareto, existem onze componentes do veículo com elevada relevância no que concerne o seu peso total. Estes onze componentes correspondem a 80% dos efeitos, que advêm de cerca de 22% das causas. Isto corresponde a uma desigual distribuição de Pareto, porque efetivamente não se obteve uma relação perfeita de 80% / 20%, o que é muito comum na realidade por a distribuição perfeita ser meramente teórica.

Assim, observa-se então que para melhorias significativas a nível do peso do veículo, a

diminuição do peso dos componentes bateria, motor, estrutura da pedaleira, estrutura da bagagem, estrutura do guidador, roda traseira, roda dianteira, pendulares superior e inferior e da coluna da direção, teria um elevado impacto. Desta forma, para futuras melhorias do projeto, torna-se fácil identificar este parâmetro e tentar convergir para um peso inferior ao peso total de 16.44 kg.

Capítulo 5

Conclusões e trabalhos futuros

5.1 Conclusões

O projeto focou-se num veículo alternativo ao automóvel, mais barato, mais amigo do ambiente e que garantisse ao utilizador uma melhor qualidade de vida. Delineado o objetivo, procederam-se várias etapas que levaram ao projeto e dimensionamento mecânico do quadro e direção desta plataforma enquadrada na mobilidade suave. Assim, desenvolveu-se um quadro leve mas com elevado nível de rigidez, associado a um esquema de fecho simples e com uma experiência de utilização superior às soluções atuais, com vantagens na mobilidade e conforto do utilizador; e desenvolveu-se ainda um sistema de direção pendular com o propósito de aumentar a estabilidade da condução do utilizador em ambiente citadino e que garantisse a boa manobrabilidade e estabilidade direcional em linha reta e em curva.

Numa primeira fase do trabalho, através de uma análise de *benchmarking* de outros veículos enquadrados no tema, constatou-se que o mercado dos veículos de três rodas não é muito vasto e ainda menos no que concerne aos veículos de três rodas dobráveis. Observou-se que grande parte destes veículos a serem comercializados, apresentam um peso elevado que impossibilita que o utilizador os consiga transportar, e ainda um preço elevado não acessível a todos os escalões. Apesar deste tipo de plataforma ainda não ser muito usual nem muito comercializada, existem dois produtos atualmente presentes no mercado estabelecidos como fortes concorrentes ao projeto Ghisallo: a eKiffy e a Etnnic. Uma análise mais aprofundada da eKiffy, permitiu verificar que este veículo tem um sistema de direção que cumpre com os objetivos delineados neste projeto e que apresenta um esquema de fecho simples de apenas quatro gestos, que foi tido também como referência. A Etnnic serviu de referência principalmente no que concerne a sua pegada dobrada, inferior a 0.03 m^2 .

Tendo o desenvolvimento do produto foco na ótica do utilizador final, a análise dos requisitos deste e das especificações a ter presentes para o cumprimento dos mesmos, permitiu retirar variadas conclusões para o projeto. Observou-se então que para o cliente os requisitos fulcrais são a estabilidade, segurança e compacidade do veículo, respondidos pelas especificações do produto relativas à rigidez do material do quadro e às suas dimensões aquando a posição de condução e dobrado. Concluiu-se também que o veículo teria de atingir um peso inferior a 16 kg, uma pegada dobrada inferior a $700 \times 900\text{ mm}^2$, um *tilt* de 35° e conseguir ser dobrado em apenas 3 gestos principais. Para além disso, verificou-se a vantagem da escolha da arquitetura modular na facilidade de adaptação do veículo ao cliente por forma a responder às suas necessidades e plano de personalização.

No projeto e dimensionamento mecânico, apresenta-se a modelação estrutural do quadro e do sistema de direção e a verificação da norma ISO 4210-2.

Relativamente à direção do veículo, o conceito modelado garante a sua compatibilidade com o mecanismo de fecho; garante a sua adaptabilidade geométrica e dimensional para compatibilização com os parâmetros antropométricos, através da autorregulação da altura da manga telescópica, onde se encontra fixo o guiador, em função da altura e posição de condução do utilizador; assegura a redução do esforço do condutor nas curvas; e certifica ainda a sua durabilidade e viabilidade. Esta redução do esforço aquando a condução em curvas é assegurada pelo sistema de inclinação, que permite um ângulo máximo de 25 graus quando a estrutura da bagagem não se encontra acoplada. Se se acoplar a estrutura da bagagem, o veículo encontra-se limitado devido à geometria da mesma e garante uma inclinação mais reduzida de 13° e 17°, com a estrutura na posição aberta e fechada, respetivamente. Esta limitação consegue ser facilmente resolvida através de alterações geométricas à estrutura ou do reposicionamento da mesma, numa posição mais alta. Relativamente aos 25° permitidos pelo sistema, apesar deste ângulo não atingir o valor meta estipulado, concluiu-se através duma análise da cinemática do veículo no CAD e através do plausível raio de viragem obtido, que o valor é aceitável e suficiente para garantir uma condução suave nas curvas. No entanto, através de uma reengenharia do sistema, fazendo pequenas alterações a nível da geometria dos pendulares ou da distância entre os mesmos, ou ao invés, através duma reengenharia do conceito, seria possível atingir o valor meta estabelecido.

No que diz respeito à modelação do quadro do veículo, obteve-se uma estrutura leve, resistente e inteligente. Ao incorporar o motor como elemento estrutural, confere-se mais robustez, fiabilidade e resistência ao desgaste à estrutura. Para além disso, o fabrico do quadro torna-se mais fácil, simples e, conseqüentemente, mais económico. Ainda de referir que a geometria do quadro garante a sua compatibilidade com o esquema de *folding* adotado. Este esquema de fecho efetua-se em poucos gestos principais, acrescentando apenas dois ao valor meta estipulado. Além disso, faz recurso a sistemas elásticos passivos, neste caso duas molas, incorporados nos sistemas de bloqueio para garantir a fixação do veículo quando dobrado sem que seja necessário o utilizador realizar mais gestos para o seu bloqueio. O esquema garante também uma boa rigidez do quadro aquando a sua utilização em modo de condução e fácil portabilidade do veículo quando dobrado, permitindo subir escadas e entrar e sair de transportes. No caso do utilizador pretender usar o mesmo para efetuar compras, este é facilmente dobrável e transportável em modo *trolley*. Neste modo é possível também adaptar a altura do guiador à altura dos braços do cliente, de modo a que o transporte não requira qualquer esforço.

Relativamente às dimensões do veículo dobrado, cumpriu-se a meta quanto à largura, mas o valor do comprimento ultrapassou, ainda que apenas 160 mm, o valor estipulado como objetivo. No entanto, este fator é facilmente corrigido através de uma alteração da geometria da estrutura tubular do selim. Concluiu-se que efetivamente a causa desta pegada mais elevada é o recuo do selim, por este não recuar para além da sua zona curva. O ideal seria que o selim recuado estivesse alinhado com a roda traseira, diminuindo o comprimento dobrado para apenas 891 mm e cumprindo assim o valor meta. O aumento do recuo pode ser solucionado através da implementação de um tubo de altura reto, mas simultaneamente inclinado de modo a garantir a ergonomia do veículo; ou mesmo o uso de uma estrutura complementar que estabeleça ligação entre o selim e o tubo de altura, permitindo que o recuo do selim seja dado pelo tubo situado na mesma posição que o atual modelo. Esta última alternativa apresenta algumas fragilidades em termos da robustez que confere ao veículo. De

modo a diminuir ainda mais a pegada, para além destas alternativas seria também interessante estudar um reposicionamento ou redimensionamento da bateria, que restringe também o recuo deste componente.

Em termos de ergonomia, observa-se que o veículo cumpre com os requisitos necessários permitindo ao condutor uma condução confortável e que segue os ângulos e posicionamento da posição de condução clássica (Dutch). Quanto ao peso, o seu valor de 16.44 kg aproxima-se muito do valor meta e consegue facilmente ser diminuindo: através da introdução de materiais alternativos mais leves em elementos periféricos e outros elementos *standard*, como a fibra de carbono; através da redução de material de certos componentes; ou até através da escolha de componentes elétricos mais leves.

Em termos de verificação da norma ISO 4210-2, o veículo cumpriu com as condições impostas mas certos elementos apresentam algumas fragilidades devido à sua geometria e material. Assim, seria necessária uma análise mais rigorosa e um posterior reforço das zonas mais fragilizadas desses mesmos elementos.

Os objetivos delineados para o projeto foram atingidos, por se ter conseguido desenvolver um conceito funcional e inovador da direção e quadro do veículo e posteriormente projetar o mesmo, em termos de modelação e verificação das normas necessárias. O projeto exhibe soluções para os problemas propostos, nunca tendo sido o seu objetivo a apresentação de um produto final, mas sim de um produto que integra os sistemas e estruturas necessários para cumprir o seu propósito mas que requer a continuação do seu estudo e a melhoria de certos fatores para que possa ser dado como um produto final e posteriormente comercializado.

Em jeito de conclusão, chegou-se a uma proposta de anteprojecto de veículo que garante uma solução de quadro e direção compatível com diferentes estaturas de utilizadores mantendo um bom nível de ergonomia; que assegura uma boa robustez e integridade estrutural dos principais componentes; uma solução de direção pendular que garante o bom conforto do utilizador e a boa dirigibilidade do veículo; um sistema de fecho do quadro com minimização de gestos e ergonómico para o cliente; uma pegada do veículo fechado compatível com o seu transporte em elevadores ou transportes públicos; um peso competitivo relativamente à melhor concorrência; a integração do transporte de mochilas ou objetos similares e a sua utilização em modo de carrinho de compras; sendo ainda esta solução capaz de responder a um plano de personalização do cliente.

5.2 Trabalhos futuros

A natureza do produto desenvolvido no âmbito desta dissertação não se encontra concluída, isto porque devido à dimensão do projeto não foram considerados diversos detalhes e não foram desenvolvidas algumas alternativas mais automatizadas de certos mecanismos.

Apresentam-se então as seguintes propostas a desenvolver:

1. Modelação dos guarda-lamas para as três rodas dianteiras, doravante não modelados e extremamente importantes, por garantirem o conforto do utilizador;
2. Modelação do sistema de luzes do veículo, também não modelado, e essencial para que o veículo possa circular nas estradas europeias cumprindo as normas e para que a segurança do utilizador seja assegurada acima de tudo;
3. Desenvolvimento de um mecanismo que associe o sistema de bloqueio do quadro frontal com o sistema de bloqueio central, de modo a que de uma forma mais rápida e recor-

rendo a menos gestos e esforços, acionando apenas um mecanismo o desbloqueio seja automaticamente feito nos dois;

4. Desenvolvimento de um mecanismo de bloqueio do selim aquando o seu recuo, de modo a que o utilizador não tenha novamente de recorrer ao sistema de aperto para estabilizar o tubo de altura quando rebaixado; recorrendo por exemplo a um sistema com íman;
5. Desenvolvimento de um mecanismo de bloqueio da direção aquando o seu recuo, de igual modo ao tubo do selim, recorrendo a sistemas de íman, por exemplo;
6. Desenvolvimento de uma geometria alternativa de tubo de altura do selim, de modo a que este consiga recolher mais sem colidir com a bateria, de modo a diminuir a pegada dobrada;
7. Modelação de uma geometria alternativa para a estrutura da bagagem, de forma a esta não influenciar a inclinação do veículo aquando curvas.
8. Modelação de componentes para tapar cabos e outros elementos visualmente menos agradáveis ou que possam sujar o utilizador, como a corrente e os cabos da bateria;
9. Desenvolvimento de um ecrã para acompanhamento do estado da bateria e controlo da assistência elétrica, a implementar no guiador.

Bibliografia

- [1] T. W. Smith, C. J. Axon e R. C. Darton - The impact on human health of car- related air pollution in the UK, 1995-2005. *Atmospheric Environment* 77. (2013), pp. 260–266. Disponível na internet: <URL:<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.05.016>>.
- [2] RSA - Euro IV , Euro V and VI Emissions Regulations for Heavy Duty Vehicle. (2009), pp. 1–10.
- [3] Team Berg e Spring Documentation - Project Ghisallo. (2016).
- [4] Rosa Anna e La Rocca - Soft Mobility and Urban Transformation. (2010), pp. 85–90.
- [5] Sérgio Manso Pinheiro - Mobilidade Sustentável Introdução à temática da. (2010), pp. 1–13.
- [6] Electric Bike Association. History of Electric Bikes. 2016. [Consult. 1 Março 2018] Disponível em: <URL:<https://electricbike-association.org/about/history/>>.
- [7] Neil. The History of Folding Bikes. 2016. [Consult. 1 Março 2018] Disponível em: <URL:<http://www.fitclarity.com/the-history-of-folding-bikes/>>.
- [8] PBC Kickstarter. Vanhawks Valour — First ever connected carbon fibre bicycle. 2018. [Consult. 27 Fev 2018] Disponível em: <URL:<https://www.kickstarter.com/projects/1931822269/vanhawks-valour-first-ever-connected-carbon-fibre>>.
- [9] Teague. Co-founding new futures. [Consult. 27 Fev 2018] Disponível em: <URL:<http://dennybike.com/>>.
- [10] Tom Fucoloro. The famed DENNY bike won't go into production after all. 2016. [Consult. 7 Março 2018] Disponível em: <URL:<https://www.seattlebikeblog.com/2016/06/02/the-famed-denny-bike-wont-go-into-production-after-all/>>.
- [11] Yamimoto. Desire. 2018. [Consult. 26 Fev 2018] Disponível em: <URL:<http://www.yamimoto.com/bicicletas/modelo/desire>>.
- [12] Lightfog. Lightfog Creative and Design. 2018. [Consult. 27 Fev 2018] Disponível em: <URL:<http://www.designdirectory.com/lightfog>>.
- [13] Derek Markham. Air-purifying bicycle concept eats pollution, generates oxygen. 2013. [Consult. 26 Fev 2018] Disponível em: <URL:<https://www.treehugger.com/clean-technology/air-purifying-bicycle-concept-eats-pollution-generates-oxygen.html>>.

- [14] Specialized Bicycle Components. Turbo Levo FSR Comp 6Fattie. [Consult. 22 Março 2018] Disponível em: <URL:specialized.com>.
- [15] Ltd Mobility Holdings. Verge N8 — Tern Folding Bikes — Worldwide. [Consult. 12 Março 2018] Disponível em: <URL:https://www.ternbicycles.com/bikes/474/verge-n8#specs>.
- [16] Dahon. Folding Bikes by DAHON Vigor P9.[Consult. 12 Março 2018] Disponível em: <URL:https://dahon.com/bikes/vigor-p9/>.
- [17] VelectriX. VelectriX Foldaway E-Bike. [Consult. 12 Março 2018] Disponível em: <URL:https://www.velectrix.com.au/bike/velectrix-foldaway-e-bike>.
- [18] Power-Ped. Sonata - Power-Ped Electric Bicycles. [Consult. 12 Março 2018] Disponível em: <URL:http://power-ped.com/sonata>.
- [19] Brompton Bicycle. Brompton Electric Reservation. [Consult. 13 Março 2018] Disponível em: <URL:https://www.brompton.com/brompton-gbr/uk-store/bikes/Brompton-Electric-Reservation-Deposit/c-24/c-77/p-2897>.
- [20] Tern. Vektron S10. [Consult. 13 Março 2018] Disponível em: <URL:https://www.ternbicycles.com/bikes/471/vektron-s10#specs>.
- [21] Indiegogo. Impossible Bike. [Consult. 13 Março 2018] Disponível em: <URL:https://www.indiegogo.com/projects/impossible-bike#/>.
- [22] PC. Harada's Electric Bike Folds Up in 3 Seconds. 2018. [Consult. 13 Março 2018] Disponível em: <URL:https://www.pcmag.com/news/359771/haradas-electric-bike-folds-up-in-3-seconds>.
- [23] Evol Mobilités. Découvrez le tricycle électrique Classic Advanced basic - Evol Mobilités. [Consult. 22 Março 2018] Disponível em: <URL:http://www.evol-mobilites.com/tricycle-electrique-pronto.html#>.
- [24] Electric Bike Technologies LLC. Contact — Electric Bike Technologies. [Consult. 15 Março 2018] Disponível em: <URL:https://electricbiketechologies.com/contact/>.
- [25] Jorvik Tricycles. Jorvik 20 Folding Frame Electric Adult Tricycle. [Consult. 15 Março 2018] Disponível em: <URL:https://jorviktricycles.com/product/jorvik-20-folding-aluminium-electric-adults-tricycle-250w-36v-folding-frame-copy/>.
- [26] S.A Bicicletas Monty. Electric folding tricycle, E132. [Consult. 15 Março 2018] Disponível em: <URL:https://montybikes.com/en/bike/electric-tricycle-e132/>.
- [27] Easy Design Technology. Qui sommes nous ? [Consult. 14 Março 2018] Disponível em: <URL:http://www.easydesigntechnology.com/fr/easydesigntechnology-story>.
- [28] Easy Design Technology. eKIFFY. [Consult. 14 Março 2018] Disponível em: <URL:http://www.easydesigntechnology.com/index-famille-86312-lng-en.html>.
- [29] Easy Design Technology. The Swing System. [Consult. 14 Março 2018] Disponível em: <URL:http://www.easydesign-technology.com/index-famille-68594-lng-en-ID_MS-75663.html>.

- [30] Easy Design Technology. Ekiffy Fix or Flash option. [Consult. 14 Março 2018] Disponível em: <URL:http://www.easydesign-technology.com/index-famille-86312-lng-en-ID_MS-75699.html>.
- [31] Alibaba Group. *36v Easy Folding High Quality Electric Tricycle Electric Chopper Bike 3 Wheel Electric Bicycle E Bike Frame*. [Consult. 22 Março 2018] Disponível em: <URL:https://wholesaler.alibaba.com/product-detail/36V-Easy-Folding-High-Quality-Electric_60723223802.html?spm=a2700.7724857.main07.38.5721320aBEPnnw>.
- [32] Etnnic. Folding Trike Eléctrico (Bateria en bolsa). [Consult. 16 Abril 2018] Disponível em: <URL:<http://www.etnnic.com/es/product/folding-trike-electrico-bateria-en-bolsa/>>.
- [33] Cornell University Ergonomics. Ergonomics: Origin and Overview. [Consult. 15 Jun 2018] Disponível em: <URL:<http://ergo.human.cornell.edu/dea3250flipbook/dea3250notes/ergorigin.html>>.
- [34] Pedro Rios - "Conceção, Desenvolvimento e Projeto de uma Bicicleta Multimodo". Aveiro: Universidade de Aveiro, 2014.
- [35] Nibusiness. The importance of ergonomics. [Consult. 16 Jun 2018] Disponível em: <URL:<https://www.nibusinessinfo.co.uk/content/importance-ergonomics>>.
- [36] Humpert - The guide to cycling ergonomics. *ergotec*. (2012). Disponível na internet: <URL:<http://www.hr.ubc.ca/ergonomics/files/Bike-Ergonomics-reduced-size.pdf>>.
- [37] CyclingRight. Riding Style. [Consult. 15 Maio 2018] Disponível em: <URL:<http://cyclingright.com/en/riding-style.html>>.
- [38] Suzi Marino, Anamaria Moraes e Paolo Pequini - Bicicletas para uso personalizado: Recomendações antropométricas. (2014).
- [39] Henri H.C.M. Christiaans and Angus Bremner - Comfort on bicycles and the validity of a commercial bicycle fitting system. *Applied Ergonomics*, 29(3):201 - 211. (1998).
- [40] Julio Francisco Kleinpaul, Luana Mann, Fernando Diefenthaler, António Renato Pereira Moro e Felipe Pivetta Carpes - Aspects determinants of body positioning for cycling: a systematic review. *Revista de Educação Física*, 16(4): 1013- 1023. (2010).
- [41] Julio Francisco Kleinpaul, Luana Mann, Fernando Diefenthaler, Antonio Renato Pereira Moro e Felipe Pivetta Carpes - Aspectos determinantes do posicionamento corporal no ciclismo: uma revisão sistemática. *Revista de Educação Física UNESP* 16.4. (2010), pp. 1013–1023. Disponível na internet: <URL:<http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/motriz/article/view/3255>>.
- [42] Thiago Ayala Melo Di Alencar, Karinna Ferreira de Sousa Matias e Franassis Barbosa de Oliveira - Cinesiologia e biomecânica do ciclismo: Uma revisão. *Movimenta*. Vol 3(1) (2010).
- [43] MathisFun. Percentiles. 2016. [Consult. 22 Jun 2018] Disponível em: <URL:<https://www.mathsisfun.com/data/percentiles.html>>.

- [44] Pedro M Arezes, Mónica P Barroso, Patrício Cordeiro, Luís Gomes da Costa e A Sérgio Miguel - Estudo antropométrico da população portuguesa. Tese de doutoramento. Lisboa: ISHST, 2006.
- [45] António Manuel Godinho Completo e Francisco José Malheiro Queirós de Melo - Introdução ao Projeto Mecânico. Aveiro: PUBLINDUSTRIA, 2017.
- [46] Gerson Tontini e Jaime Dagostim Picolo. Kano Model of Attractive and Must-be Attributes. 2013. [Consult. 24 Jun 2018] Disponível em: <URL:https://www.researchgate.net/figure/Kano-Model-of-Attractive-and-Must-be-Attributes.fig1_263248287>.
- [47] MindTools. Kano Model Analysis.[Consult. 3 Fev 2018] Disponível em: <URL:https://www.mindtools.com/pages/article/newCT_97.html>.
- [48] Quality-One International. QFD — Quality Function Deployment — Quality-One. [Consult. 25 Março 2018] Disponível em: <URL:https://quality-one.com/qfd/>.
- [49] ASM. Aerospace Specification Metals. Aluminum 6061-t6. [Consult. 15 Out 2018] Disponível em: <URL:http://www.aerospacemetals.com/>.
- [50] David Gordon Wilson, Jim Papadopoulos e Frank Rowland Whitt - Bicycling Science. 3^a ed. Massachusetts: Mit Press. [Consult. 2 Nov 2018] Disponível na internet: <URL:https://books.google.pt/books?id=0JJo6DlF9iMC&printsec=frontcover&hl=pt-PT&source=gbs_ge_summary_r&cad=0v=onepage&q&f=false>.
- [51] International Organization for Standardization - ISO 4210-2:2015, Cycles – Safety requirements for bicycles – Part 2: Requirements for city and trekking, young adult, mountain and racing bicycle. 2015.
- [52] Lennard Zinn. Tech FAQ: More on fast-rolling tires. 2012. [Consult. 15 Nov 2018] Disponível em: <URL:https://www.velonews.com/2012/03/bikes-and-tech/technical-faq/tech-faq-more-on-fast-rolling-tires_210962>.
- [53] Bosch eBike Systems. The eBike battery: long range, low weight, easy to charge. 2018. [Consult. 2 Out 2018] Disponível em: <URL:https://www.bosch-ebike.com/en/products/batteries/>.
- [54] Fargas Cabanillas, Josep Maria, Olivé Delgado, San Salvador Cabonés e Bonada Bo - Bike brake lever design. Barcelona: Universidade Politécnica da Catalunha, 2013. Disponível na internet: <URL:http://docs.gestionaweb.cat/0761/bike-brake-lever.pdf>.
- [55] SteelConstruction.info. Steel material properties. [Consult. 10 Maio 2018] Disponível em: <URL:https://www.steelconstruction.info/Steel_material_properties>.
- [56] MetalMiner. MetalMiner Prices: Aluminum Prices. 2018. [Consult. 29 Abril 2018] Disponível em: <URL:https://agmetalmminer.com/metal-prices/aluminum/>.
- [57] CyclingWeekly. Bike test Aluminium, steel, carbon or titanium. 2017. [Consult. 29 Abril 2018] Disponível em: <URL:http://www.cyclingweekly.com/group-tests/carbon-aluminium-steel-titanium-132965>.

- [58] MetalMiner. MetalMiner Prices: Titanium Prices. 2018.[Consult. 18 Abril 2018] Disponível em: <URL:https://agmetalmminer.com/metal-prices/titanium/>.
- [59] Laurie Watanabe. Aluminum vs. Titanium – Mobility Management. 2010. [Consult. 18 Abril 2018] Disponível em: <URL:https://mobilitymgmt.com/articles/2010/03/01/aluminum-vs-titanium.aspx>.
- [60] AndrewRSR. Magnesium vs Carbon Fiber: cars. 2017. [Consult. 19 Abril 2018] Disponível em: <URL:https://www.reddit.com/r/cars/comments/6ks04/magnesium_vs_carbon_fiber/>.
- [61] Difference Between. Difference Between Aluminum and Magnesium. 2018. [Consult. 19 Abril 2018] Disponível em: <URL:http://www.differencebetween.net/object/difference-between-aluminum-and-magnesium/>.
- [62] Niner Bikes. Hydroforming. 2018. [Consult. 20 Abril 2018] Disponível em: <URL:http://www.ninerbikes.com/Hydroforming_2>.
- [63] Shi Shusen - Injection-molded bicycle frame and manufacturing method thereof. 2014. Disponível na internet: <URL:https://patents.google.com/patent/CN104118513A/en>.
- [64] Anton Kostetskiy. Folding Bike For Couriers on Behance. 2013.[Consult. 16 Abril 2018] Disponível em: <URL:https://www.behance.net/gallery/6835967/Folding-Bike-For-Couriers>.
- [65] Jihyeong Kim. Trileaf. 2010. [Consult. 20 Abril 2018] Disponível em: <URL:https://www.designboom.com/project/trileaf/>.
- [66] Dimond Bikes. X-Cut. 2018. [Consult. 15 Abril 2018] Disponível em: <URL:https://www.dimondbikes.com/product/x-cut/>.
- [67] Aviso No Si e Projetos E M Co-promoção - Parte B (Anexo Técnico) Sistema De Incentivos à Investigação E Desenvolvimento Tecnológico (Si I & Dt)”. (2015), pp. 1–75.
- [68] TRego. TReGo, upgrade your bike. [Consult. 10 Março 2018] Disponível em: <URL:http://trego-trolley.com/>.
- [69] Core77. Kaylad-e—trike evolved. 2018. [Consult. 5 Março 2018] Disponível em: <URL:http://www.core77.com/projects/29231/Kaylad-e-trike-evolved>.
- [70] Eletric-Vehicles. E-CLIP. 2017. [Consult. 13 Março 2018] Disponível em: <URL:http://www.instructables.com/id/E-CLIP/>.
- [71] D art of science. E-CLIP: 14 Steps. 2018. [Consult. 20 Abril 2018] Disponível em: <URL:https://www.instructables.com/id/E-CLIP/>.
- [72] Evan Cycles. Bike Brakes—Types of Brakes—Buying Guide. 2018. [Consult. 22 Abril 2018] Disponível em: <URL:https://www.evanscycles.com/buying-guides/brakes>.
- [73] VitalMTB. Shimano M640 Zee Hydraulic Disc Brakes. 2018. [Consult. 15 Out 2018] Disponível em: <URL:https://www.vitalmtb.com/product/guide/Hydraulic-Disc-Brakes,11/Shimano/M640-Zee,12169>.

- [74] Centauro. Freio V-Brake Logan em Alumínio. 2018. [Consult. 15 Out 2018] Disponível em: <URL:https://www.centauro.com.br/freio-logan-v-brake-em-aluminio-m00nypmktp.html>.
- [75] StackExchange. Direct Pull (V-Brake) vs. Center Pull Cantilevers (pros and cons). 2011. [Consult. 15 Out 2018] Disponível em: <URL:https://bicycles.stackexchange.com/questions/4863/direct-pull-v-brake-vs-center-pull-cantilevers-pros-and-cons>.
- [76] Fabrício Eduardo Henriques e Paulo Augusto Cauchick Miguel - Adoção da modularidade em produto e em produção na indústria automotiva: uma análise comparativa em projetos de veículos com participação da engenharia brasileira. Gestão e Produção 24. (2017), pp. 161–177. Disponível na internet: <URL:http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci.arttext&pid=S0104-530X2017000100161&lng=pt&tlng=pt>.
- [77] Marczak. Quadro Sloop 20 Azul c/ Garfo. 2018. [Consult. 20 Out 2018] Disponível em: <URL:https://atacado.marczak-bikeparts.com.br/quadro-sloop-azul-garfo-p-845.html>.
- [78] Marczak. Quadro Pro-X Serie 7 Vermelho c/ Garfo. 2018. [Consult. 20 Out 2018] Disponível em: <URL:https://atacado.marczakbikeparts.com.br/quadro-serie-vermelho-garfo-p-348.html>.
- [79] Sportbay. Quadro Bicicleta Em Aço Carbono Ultra Bike Aro 29 Laranja. 2018. [Consult. 20 Out 2018] Disponível em: <URL:http://www.sportbay.com.br/quadro-bicicleta-em-aco-carbono-ultra-bike-aro-29-laranja>.
- [80] Drisun Bicycle. Pintura personalizada da bicicleta da fibra do carbono quadro completo preto para a bicicleta da neve. 2018. [Consult. 20 Out 2018] Disponível em: <URL:http://portuguese.lightweightbikeframe.com/sale-10500844-black-full-carbon-fiber-fat-bike-frame-customized-painting-for-snow-bike.html>.
- [81] Mtbr. RockShox Judy XC 2002 Front Shocks. 2004. [Consult. 20 Out 2018] Disponível em: <URL:https://www.mtbr.com/product/older-categories-bikes/front-shocks-2002/rockshox/judy-xc.html>.
- [82] ViaExpressaBike. Suspensão RST Dianteira Blaze TNL Ahead Set 100mm Aro 27.5. 2018. [Consult. 20 Out 2018] Disponível em: <URL:http://www.viaexpressabike.com.br/ciclismo/componentes/garfo-e-suspensao/suspensao-rst-dianteira-blaze-tnl-ahead-set-100mm-aro-27-5/>.
- [83] George's Bike Shop. Giant Contact Comfort Neutral Saddle. 2018. [Consult. 20 Out 2018] Disponível em: <URL:https://www.georgesbikeshop.com.au/products/bicycle-accessories/giant-contact-comfort-neutral-saddle/>.
- [84] Wheel World Bike Shops. Blackburn Sport Trail Saddle Women's. 2018. [Consult. 20 Out 2018] Disponível em: <URL:https://www.wheelworld.com/product/blackburn-sport-trail-saddle-womens-156218-1.htm>.
- [85] TriRadar. Best Bike Saddles For Triathlon Review. 2014. [Consult. 20 Out 2018] Disponível em: <URL:https://www.triradar.com/gear/best-bike-saddles-for-triathlon-review/>.

- [86] Planet Bike. Little A.R.S. Bike seat. [Consult. 20 Out 2018] Disponível em: <URL:<https://www.planetbike.com/store/little-a-r-s-bike-seat-small.html>>.
- [87] Bikeshop. Jones H-Bar SG Loop Aluminum 710 Styre Sort, 710 mm, 625 gram. 2018. [Consult. 20 Out 2018] Disponível em: <URL:<https://bikeshop.no/sykelkomponenter/styrer/tilbehør/styrer-terreng/jones-h-bar-sg-loop-aluminum-710-styre-sort-710-mm-625-gram-jones005-p0000113164>>.
- [88] A269. Multifuncional suporte de bicicleta, suporte da lâmpada de Bicicleta Ferramentas de Reparo para ROSWHEEL bicicleta garmin TRIGO/fourier montar computador. [Consult. 20 Out 2018] Disponível em: <URL:<https://sites.google.com/a/d.bestledlights.ga/a269/Multifuncional-suporte-de-bicicleta-suporte-da-l-mpada-de-Bicicleta-Ferramentas-de-Reparo-para-ROSWHEEL-bicicleta-garmin>>.
- [89] Trousseau. Bicicleta Elétrica Motorizada Vintage. [Consult. 20 Out 2018] Disponível em: <URL:<https://www.rousseau.com.br/lifestyle/bicicleta>>.
- [90] Gumtree. Vintage Batavus Old Dutch Bicycle company imported from holland. [Consult. 20 Out 2018] Disponível em: <URL:<https://www.gumtree.com/p/bicycles/vintage-batavus-old-dutch-bicycle-company-imported-from-holland/1268848414>>.
- [91] Third kind. Bike and Accessory Lights. 2018. [Consult. 20 Out 2018] Disponível em: <URL:<https://thirdkindlights.com/product/bike-accessory-lights/>>.
- [92] NiteRider Technical Lighting. NiteRider Technical Lighting9216 - Digital Patrol LED. 2018. [Consult. 20 Out 2018] Disponível em: <URL:<https://www.niterider.com/product/digital-patrol-led/>>.
- [93] Average Joe Cyclist. When to Use Flashing Bike Lights. 2018. [Consult. 20 Out 2018] Disponível em: <URL:<https://averagejoe-cyclist.com/use-flashing-bike-lights/>>.
- [94] Unigear. New Arrival Colorful Bicycle Lights Bike Cycling Wheel Spoke Light 32. [Consult. 20 Out 2018] Disponível em: <URL:<https://unigearshop.com/products/new-arrival-colorful-bicycle-lights-bike-cycling-wheel-spoke-light-32-led-32-pattern-waterproof>>.
- [95] Decathlon. Triban 100 Road Bike Wheel - Rear. 2018. [Consult. 20 Out 2018] Disponível em: <URL:<https://www.decathlon.co.uk/triban-100-road-bike-wheel-rear-id.8379877.html>>.
- [96] EBay. 26" MTB Bike Mag Magnesium Front Rear Wheel Rim Wheelset Set Disc 8/9/10 Speed. 2018. [Consult. 20 Out 2018] Disponível em: <URL:<https://www.ebay.com/itm/26-MTB-Bike-Mag-Magnesium-Front-Rear-Wheel-Rim-Wheelset-Set-Disc-8-9-10-Speed-/201374098729>>.
- [97] BicycleHero. Dahon Repair Part Wheel Kinetix Pro 20. 2018. [Consult. 20 Out 2018] Disponível em: <URL:<https://www.bicyclehero.com/us/dahon-repair-part-wheel-front-kinetix-pro-20.html>>.
- [98] Whycycle? Increasing Cycling Comfort. Suspension Forks and Frames. 2018. [Consult. 20 Out 2018] Disponível em: <URL:<https://www.whycycle.co.uk/cycling-advice/increasing-comfort/suspension-forks-and-frames/>>.

- [99] Bicyclesonline. Marin Rift Zone 1 29er Dual Suspension Bike. [Consult. 20 Out 2018] Disponível em: <URL:[https://www.bicyclesonline.com.au/marin-rift-zone-1-29er-dual-suspension-mountain- bi 2663803](https://www.bicyclesonline.com.au/marin-rift-zone-1-29er-dual-suspension-mountain-bi-2663803)>.
- [100] Tredz. Bikes — Mountain Bikes — Road Bikes — Cycle Clothing. [Consult. 20 Out 2018] Disponível em: <URL:<https://www.tredz.co.uk/>>.
- [101] Eurocycles. BySchulz Suspension Seat Post. [Consult. 20 Out 2018] Disponível em: <URL:[https:// eurocycles.com.au/parts/parts-brands/by-schulz-parts.html?limit=all](https://eurocycles.com.au/parts/parts-brands/by-schulz-parts.html?limit=all)>.
- [102] AllBike. Bielas y Platos Shimano Road 50-34T. [Consult. 20 Out 2018] Disponível em: <URL:<https://www.allbike.pt/bielas-y-platos-shimano-carretera-compacto>>.
- [103] Alibaba. Max Meados Bafang Unidade Sistema de Trilha de Bicicleta Elétrica/Gordura Bicicleta Elétrica Bicicleta de Montanha-Bicicletas elétricas. [Consult. 20 Out 2018] Disponível em: <URL:<https://portuguese.alibaba.com/p-detail/mid-drive-e-bicycle-fat-bike-tire-electric-bike-electric-dirt-bikes-for-adults-60592315130.html>>.
- [104] 3DS Academy. CATIA V5 Student Edition. 2018. [Consult. 1 Out 2018] Disponível em: <URL:<https://academy.3ds.com/en/software/catia-v5-student-edition>>.
- [105] Popal. Catalog. 2018. [Consult. 1 Maio 2018] Disponível em: <URL:<https://www.popal.nl/catalog>>.
- [106] Shimano. SHIMANO SORA R3000 SERIES. [Consult. 25 Abril 2018] Disponível em: <URL:<https://bike.shimano.com/en-EU/product/component/sora-r3000.html>>.
- [107] Deporvillage. Pedaleira Shimano Sora FCR3000 170 mm 50-34 9V dupla. [Consult. 20 Out 2018] Disponível em: <URL:<https://www.deporvillage.pt/pedaleira-shimano-sora-fcr3000-170-mm-50-34-9v-dupla>>.
- [108] Shimano. Urban Internal Geared Hub. [Consult. 20 Jun 2018] Disponível em: <URL:[https://bike.shimano.com/en-EU/ components/urban/category/internal-geared-hub.html](https://bike.shimano.com/en-EU/components/urban/category/internal-geared-hub.html)>.
- [109] Cyclist. Nine best road bike saddles for longer rides reviewed. 2018. [Consult. 20 Out 2018] Disponível em: <URL:<https://www.cyclist.co.uk/buying-guides/2011/buyers-guide-the-best-road-bike-saddles>>.
- [110] F. Teixeira-Dias, R. A. Fontes Valente, R. J. de Alves de Sousa e J. Pinho-da-Cruz - Método dos Elementos Finitos Técnicas de Simulação Numérica em Engenharia. 2^a ed. Aveiro: ETEP, 2007.
- [111] ESSS. Método dos Elementos Finitos - o que é? 2016. [Consult. 20 Out 2018] Disponível em: <URL:<https://www.esss.co/blog/metodo-dos-elementos-finitos-o-que-e/>>.
- [112] Engineering Exchange. 20 Reasons to Use Finite Element Analysis for Product Design and Development. [Consult. 16 Out 2018] Disponível em: <URL:<https://www.engineeringexchange.com/profiles/blogs/20-reasons-to-use-finite-element-analysis-for-product-design>>.

- [113] What is Six Sigma. Pareto Chart and Analysis. [Consult. 23 Nov 2018] Disponível em: <URL:<https://www.whatissixsigma.net/pareto-chart-and-analysis/>>.
- [114] Saleting. Saleting Bike Handlebar Ends 1Pair Carbon Fiber Mountain Bike Bar Ends. [Consult. 20 Out 2018] Disponível em: <URL:<https://www.amazon.com/Saleting-Handlebar-1Pair-Carbon-Mountain/dp/B07D344RYP>>.
- [115] Harris Cyclery. Brake Levers for Bicycles with Drop (Road) Handlebars. [Consult. 26 Nov 2018] Disponível em: <URL:<http://www.sheldonbrown.com/harris/brake-levers-drop.html>>.
- [116] Pearce Coaching and Fitting. Handlebars: Carbon vs. Aluminum. [Consult. 20 Out 2018] Disponível em: <URL:<http://www.colbypearce.com/handlebars-carbon-vs-aluminum/>>.
- [117] Dahon. Folding Bikes Mu LT10. [Consult. 10 Abril 2018] Disponível em: <URL:<https://usa.dahon.com/bikes/mu-lt10/>>.
- [118] CanadaBicycleParts. Shimano Tiagra FH-RS400 Rear Hub. [Consult. 12 Abril 2018] Disponível em: <URL:<https://www.canadabicycleparts.com/shimano-tiagra-fh-rs400-rear-hub-8025>>.
- [119] Shimano. Front Hub for Disc Brake HB-M9010. [Consult. 10 Abril 2018] Disponível em: <URL:<https://bike.shimano.com/en-EU/product/component/xtr-m9000/HB-M9010.html>>.
- [120] Chain Reaction Cycles. Shimano XT RT76 6-Bolt Disc Rotor. [Consult. 1 Maio 2018] Disponível em: <URL:<https://www.chainreactioncycles.com/pt/pt/shimano-xt-rt76-6-bolt-disc-rotor/rp-prod39007>>.
- [121] Chain Reaction Cycles. Shimano CX77 Mechanical Disc Brake Caliper. [Consult. 28 Abril 2018] Disponível em: <URL:<https://www.chainreactioncycles.com/pt/pt/shimano-cx77-mechanical-disc-brake-caliper/rp-prod120012>>.
- [122] Evan Cycles. Shimano 2300 Rear Derailleur with Smart Cage. [Consult. 10 Maio 2018] Disponível em: <URL:<https://www.evanscycles.com/shimano-2300-8-speed-rear-derailleur-with-smart-cage-00102142>>.

Anexo A

Matriz QFD

Anexo B

Lista de Peças

D

C

B

A

Nº	Designação	Norma	Material	Quantidade	Peso (kg)
1	Direção			1	6,10
2	Bateria	Bosch PowerPack	Lítio	1	3
3	Quadro		Alumínio	1	0,484
4	Motor	Shimano		1	3
5	Tube de altura selim		Alumínio	1	0,15
6	Selim	Specialized Power Expert	Plástico e Espuma	1	0,235
7	Bloqueio selim		Alumínio	1	0,051
8	Roda traseira			1	0,573
9	Corrente		Aço	1	0,072
10	Cassete		Aço	1	0,263
11	Desviador		Alumínio	1	0,179
12	Estrutura posterior		Alumínio	1	0,948
14	Bloqueio quadro central		Alumínio	1	0,038
15	Estrutura da bagagem		Policarbonato	1	0,9
16	Bloqueio quadro frontal			1	0,187

DESIGNED BY:

S. Brandão

DATE:

26/10/2018

CHECKED BY:

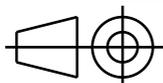
A. Completo

DATE:

26/10/2018

SIZE

A4



Veículo de Mobilidade Urbana

SCALE

1:1

WEIGHT (kg)

16,44

Lista de Componentes

SHEET

1/5

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

D

A

D

C

B

A

Nº	Designação	Norma	Material	Quantidade	Peso (kg)
1.1	Manga telescópica direção		Alumínio	1	0,19
1.2	Estrutura guiador			1	0,7
1.2.1	Punho guiador	SC50	Fibra de carbono	2	0,06
1.2.2	Travão de mão	BRL29	Alumínio	2	0,143
1.2.3	Tubo guiador	[110]	Alumínio	1	0,25
1.3	Pendular superior		Alumínio	1	0,5
1.4	Roda dianteira			2	0,559
1.4.1	Cubo		Alumínio	1	0,03
1.4.2	Raios		Alumínio	14	0,0014
1.4.3	Pneu		Borracha	1	0,2
1.4.4	Tampa do rolamento		Aço	1	3,4E-7
1.4.5	Cone do rolamento		Aço	1	0,002
1.4.6	Porca M10x1.5	ANSI B18.2.4.5M	Aço	1	0,0007
1.4.7	Veio		Aço	1	0,007
1.4.8	Jante		Alumínio	1	0,3
1.5	Suporte veio roda		Alumínio	2	0,1
1.6	Manga de eixo		Alumínio	2	0,1
1.7	Pendular inferior		Alumínio	1	0,5
1.8	Haste		Alumínio	2	0,01
1.9	Parafuso bloqueio pendular		Aço	2	0,03
1.10	Coluna de direção		Alumínio	1	0,5
1.11	Bloqueio direção		Alumínio	1	0,035
1.12	Travão de disco		Alumínio	2	0,07
1.13	Parafuso CHC M5x8	JIS B 1176	Aço	4	0,0003
1.14	Porca M10	JIS B 1181	Aço	2	0,0009
1.15	Anilha 10x20	ISO 7089	Aço	2	0,0004
1.16	Rolamento axial		Aço	4	0,002
1.17	Parafuso M10x90	DIN 931	Aço	2	0,003
1.18	Casquilho da manga		Aço	8	0,005
1.19	Veio da manga		Alumínio	4	0,003
1.20	Tubo direção		Alumínio	1	0,1
1.21	Parafuso CHC M6x30	JIS B 1176	Aço	1	0,001
1.22	Rolamento de haste SCHS10	AISI 52100	Aço	4	0,001
1.23	Anilha 3x9	ISO 7089	Aço	1	0,00014
1.24	Ancoragem da direção		Alumínio	1	0,051
1.25	Rolamento direção		Aço	2	0,08
1.26	Porca de ajuste rolamento		Aço	1	0,03
1.27	Parafuso M6x20	JIS B 1177	Aço	6	0,0009
1.28	Apoio mola 1		Alumínio	2	0,005

DESIGNED BY:

S. Brandão

DATE:

25/10/2018

CHECKED BY:

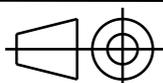
A. Completo

DATE:

25/10/2018

SIZE

A4



Veículo de Mobilidade Urbana

SCALE

1:1

WEIGHT (kg)

6,10

Lista de Componentes do Módulo Frontal

SHEET

2/5

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

D

A

D

C

B

A

Nº	Designação	Norma	Material	Quantidade	Peso (kg)
1.29	Mola		Aço	2	0,004
1.30	Apoio mola 2		Alumínio	2	0,005
1.31	Parafuso M5x8	DIN 933	Aço	1	0,00066
1.32	Disco		Aço	2	0,2
15	Estrutura da bagagem		Polycarbonato	1	0,9
16	Bloqueio quadro frontal			1	0,187
16.1	Veio de bloqueio		Alumínio	1	0,1
16.2	Anilha 10x30	DIN 9021	Aço	2	0,006
16.3	Anilha 12x24	ISO 7089	Aço	2	0,012
16.4	Tubo de bloqueio		Alumínio	1	0,02
16.5	Porca M12x15	ISO 8675	Aço	2	0,009
16.6	Chaveta de disco 1_1.5x2_6	DIN 6888	Aço	2	0,00015
16.7	Manipulo de bloqueio		Alumínio	1	0,007
16.8	Chaveta paralela fina 5x3x14	DIN 6885	Aço	1	0,001
16.9	Pino de bloqueio		Alumínio	1	0,002
16.10	Mola de compressão		Aço	1	0,002

4

4

3

3

2

2

DESIGNED BY:

S. Brandão

DATE:

25/10/2018

CHECKED BY:

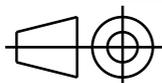
A. Completo

DATE:

25/10/2018

SIZE

A4



Veículo de Mobilidade Urbana

SCALE

1:1

WEIGHT (kg)

6,10

Lista de Componentes do Módulo Frontal

SHEET

3/5

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

D

A

D

C

B

A

Nº	Designação	Norma	Material	Quantidade	Peso (kg)
2	Bateria	Bosch PowerPack	Lítio	1	3
3	Quadro		Alumínio	1	0,484
4	Motor	Shimano		1	3
13	Estrutura pedaleira		Alumínio	1	1,368
13.1	Pedal		Alumínio	2	0,2
13.2	Braço pedaleira		Alumínio	2	0,365
13.3	Hastes pedal		Alumínio	2	0,05
13.4	Roda da coroa		Alumínio	1	0,1
14	Bloqueio quadro central			1	0,0386
14.1	Parafuso CHC M5x15	ISO 4014	Aço	1	0,0003
14.2	Botão		Polycarbonato	1	0,006
14.3	Veio bloqueio central		Alumínio	1	0,03
14.4	Mola de compressão		Aço	1	0,0003
14.5	Tampão		Alumínio	1	0,002
17	Anilha 10x20	ISO 7089	Aço	2	0,002
18	Parafuso M10x20	DIN 933	Aço	2	0,005
19	Pino 8x22	ISO 2338	Aço	2	0,003

DESIGNED BY:

S. Brandão

DATE:

25/10/2018

CHECKED BY:

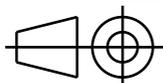
A. Completo

DATE:

25/10/2018

SIZE

A4



Veículo de Mobilidade Urbana

SCALE

1:1

WEIGHT (kg)

7,92

Lista de Componentes do Módulo Central

SHEET

4/5

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

D

A

D

C

B

A

Nº	Designação	Norma	Material	Quantidade	Peso (kg)
5	Selim	Specialized Power Expert	Plástico e Espuma	1	0,235
6	Tubo de altura selim		Alumínio	1	0,15
7	Bloqueio selim		Alumínio	1	0,051
8	Roda traseira			1	0,573
8.1	Jante		Alumínio	1	0,3
8.2	Pneu		Borracha	1	0,2
8.3	Raios		Alumínio	14	0,0014
8.4	Porca M10x1	ISO 8675	Aço	2	0,0007
8.5	Porca M12x1.5	ISO 8675	Aço	1	0,001
8.6	Rolamentos		Aço	2	0,007
8.7	Veio		Aço	1	0,007
8.8	Cubo		Alumínio	1	0,03
9	Corrente		Alumínio	1	0,072
10	Cassete		Aço	1	0,263
11	Desviador		Alumínio	1	0,179
12	Estrutura posterior		Alumínio	1	0,948
13	Estrutura pedaleira		Alumínio	1	1,368
21	Parafuso M5x8	DIN 933	Aço	1	0,00035

DESIGNED BY:

S. Brandão

DATE:

25/10/2018

CHECKED BY:

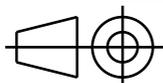
A. Completo

DATE:

25/10/2018

SIZE

A4



Veículo de Mobilidade Urbana

SCALE

1:1

WEIGHT (kg)

3,84

Lista de Componentes do Módulo Posterior

SHEET

5/5

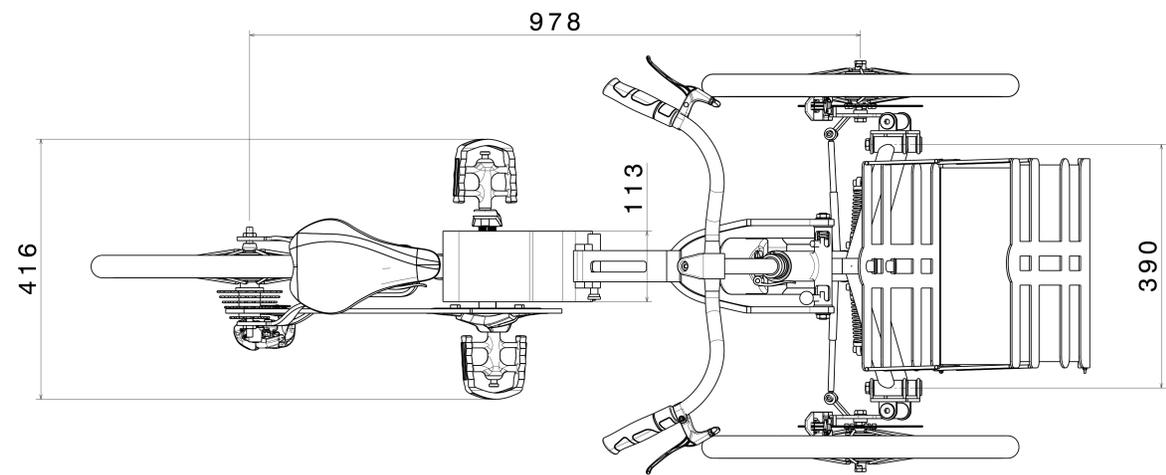
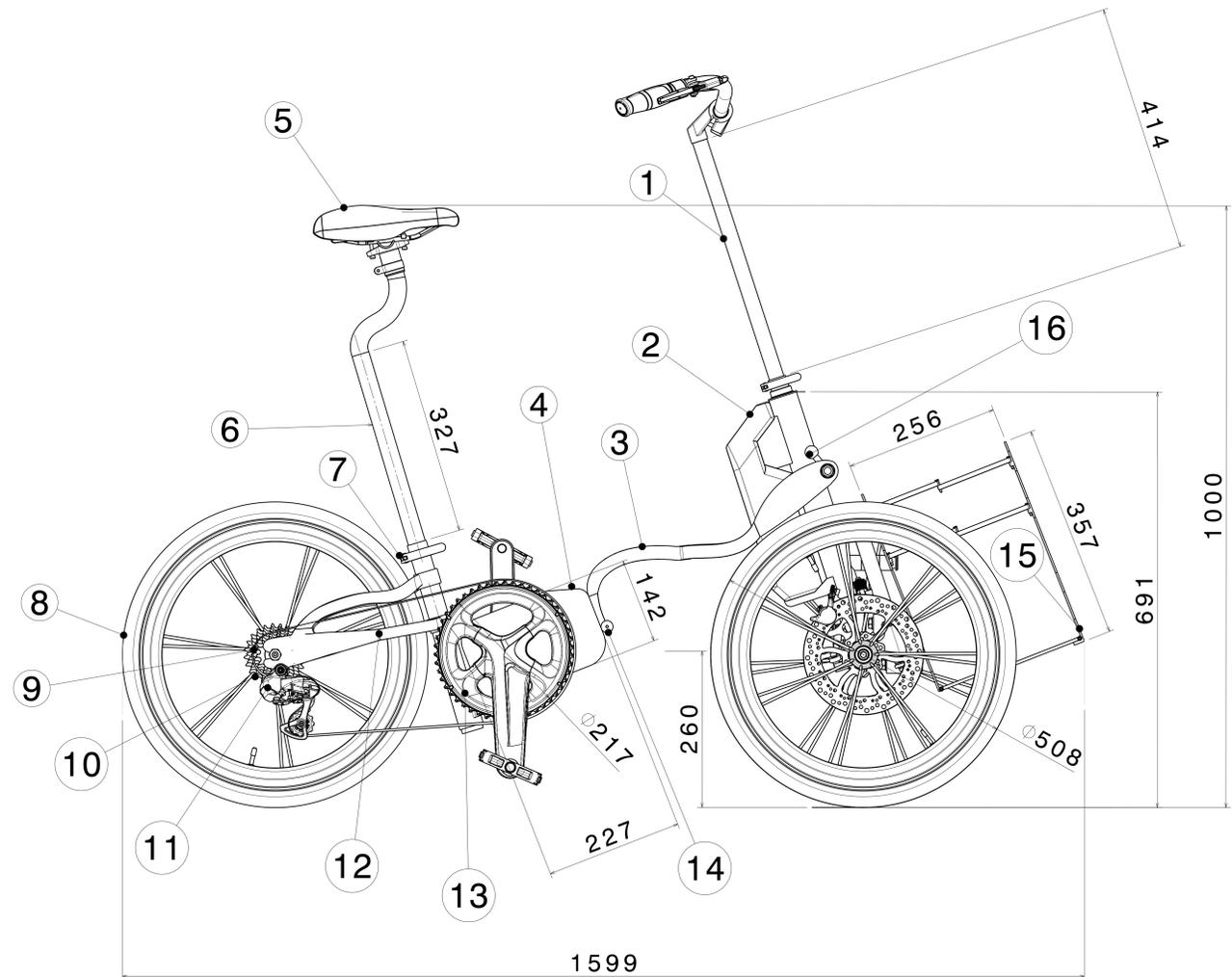
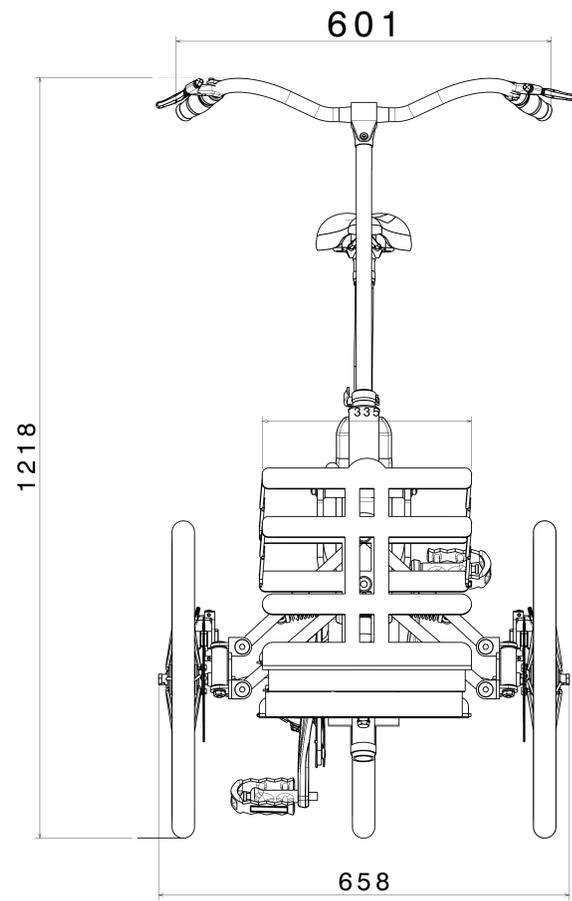
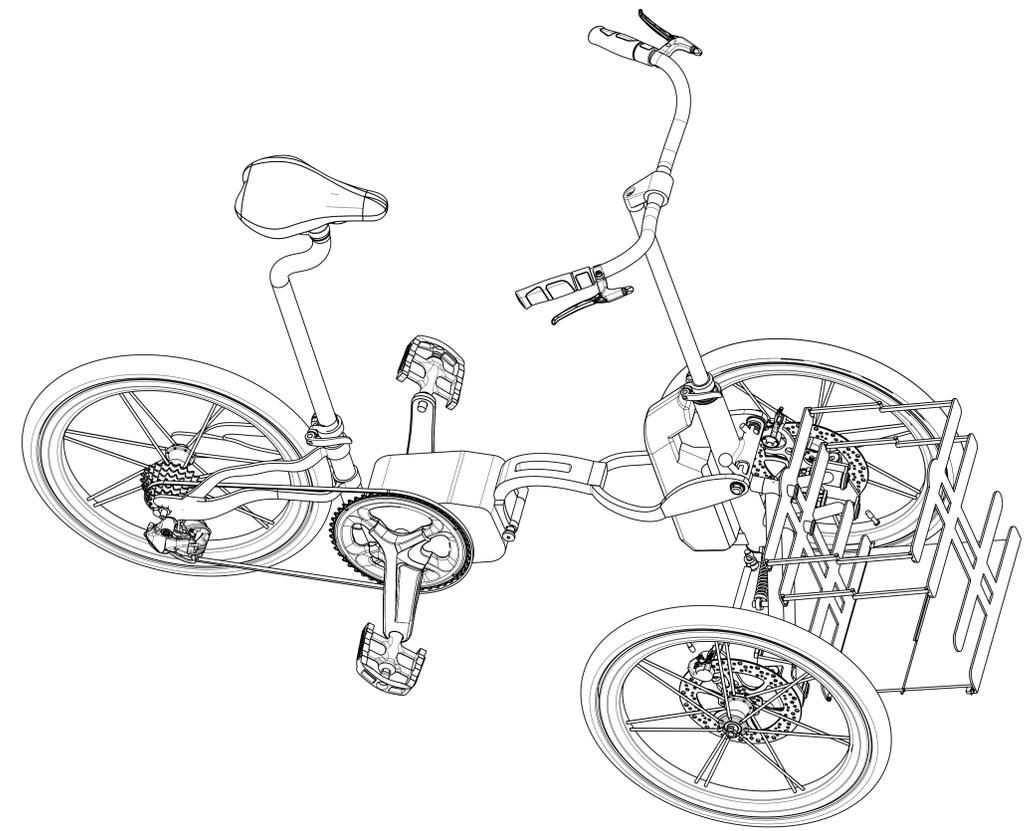
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

D

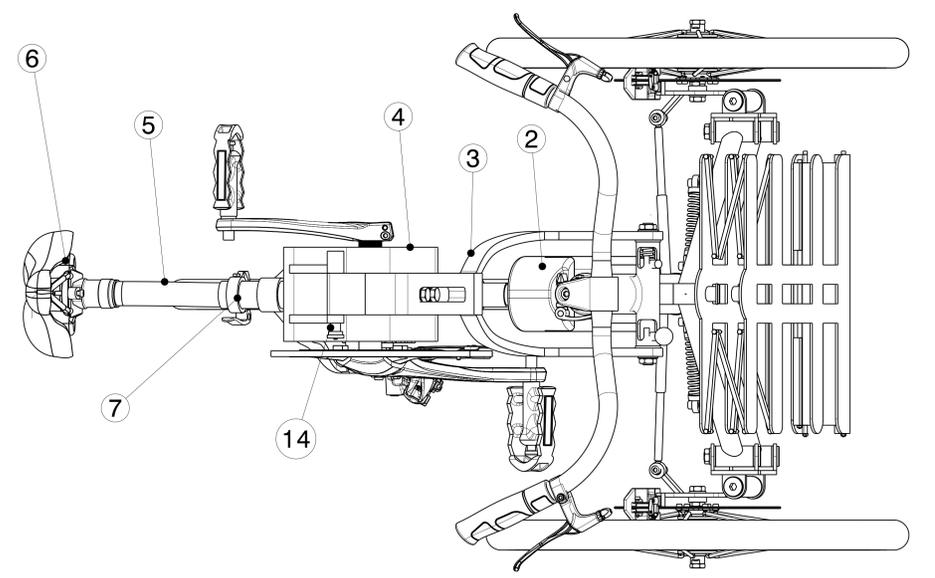
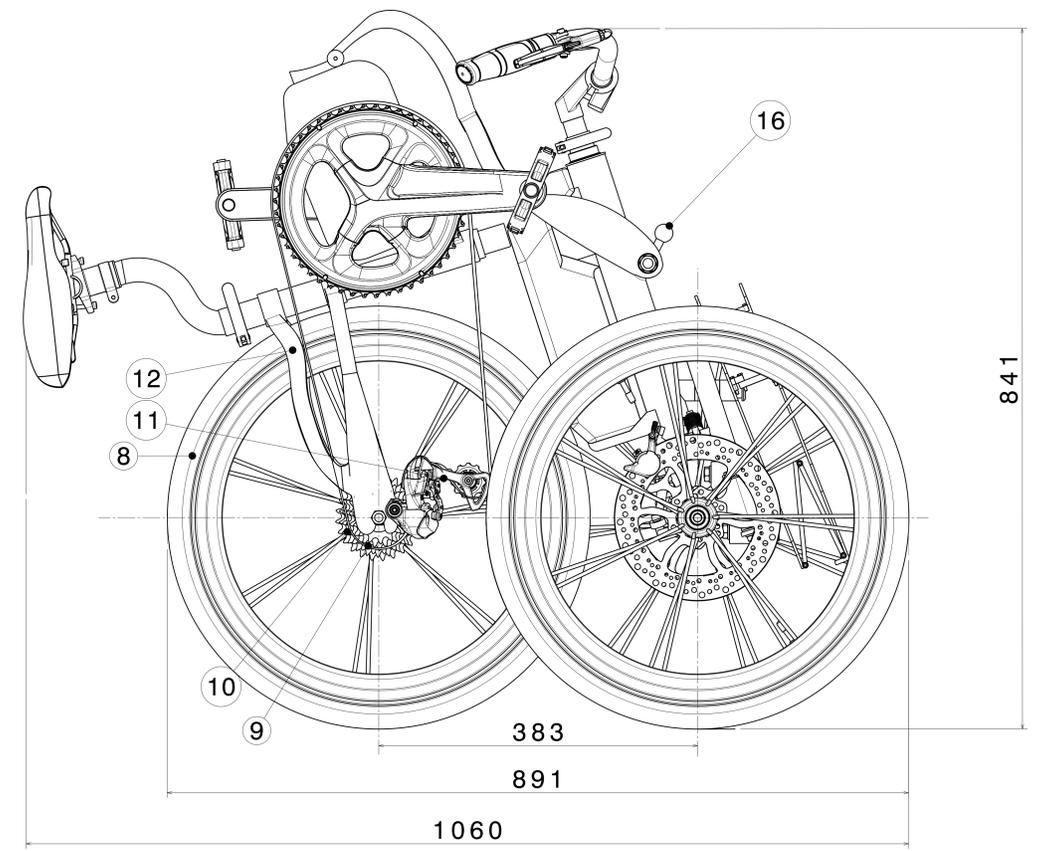
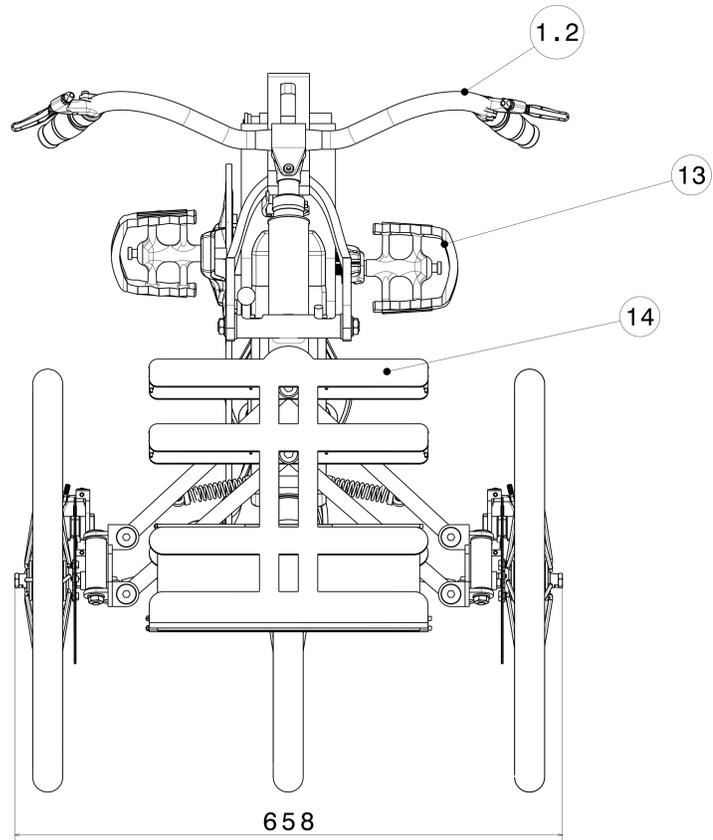
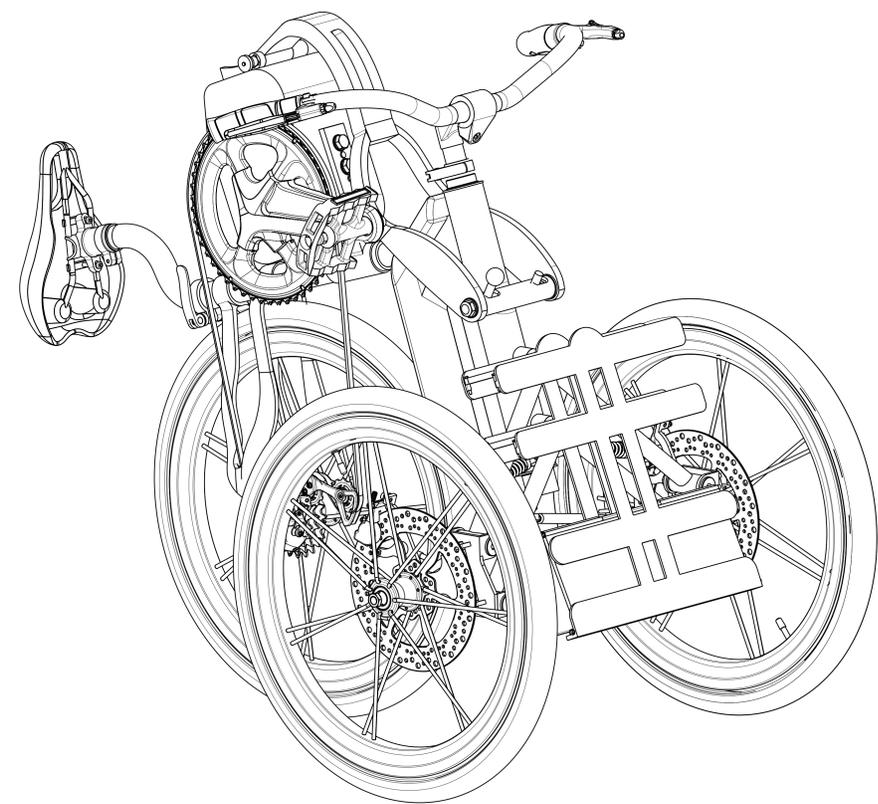
A

Anexo C

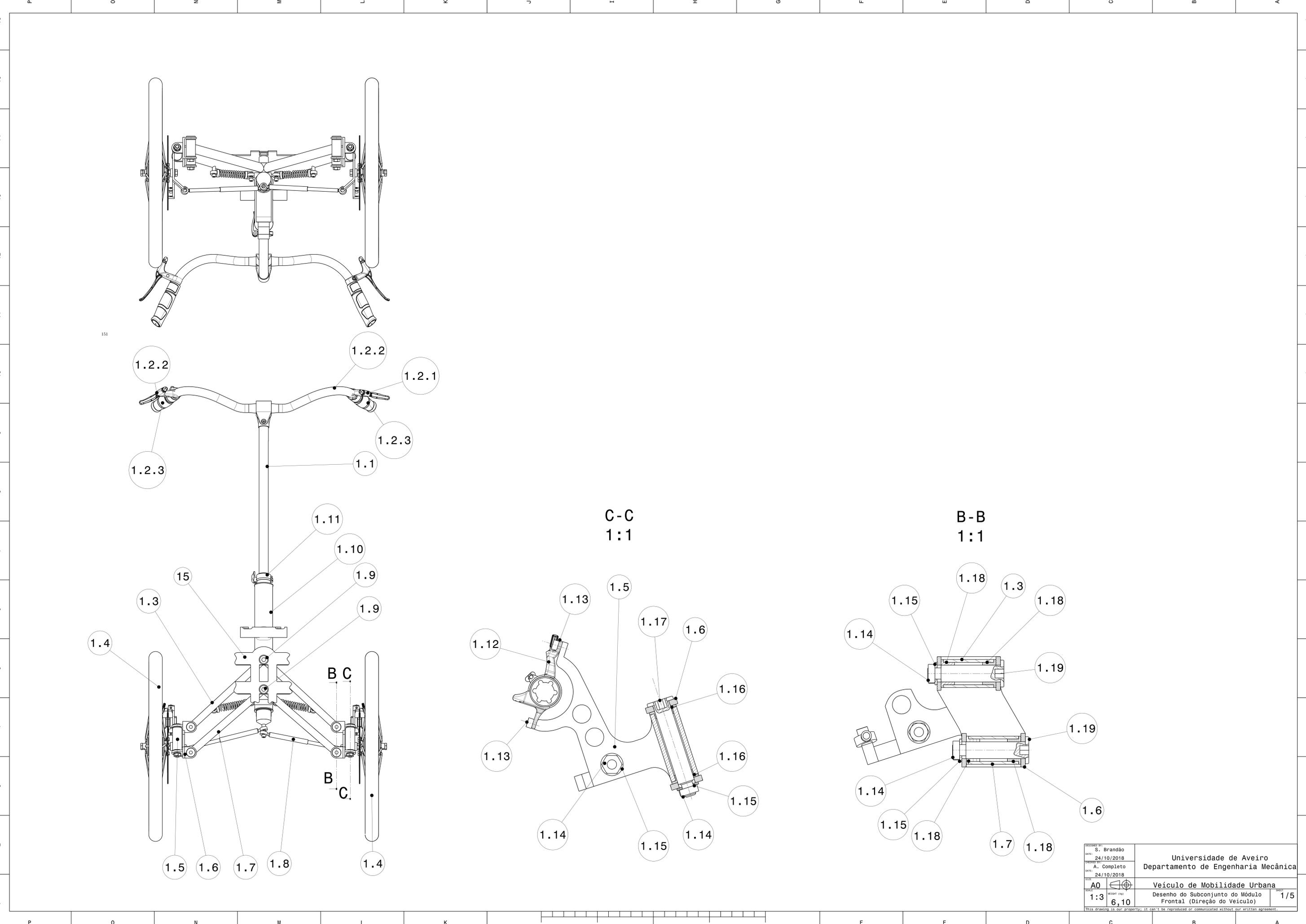
Desenhos de Conjunto



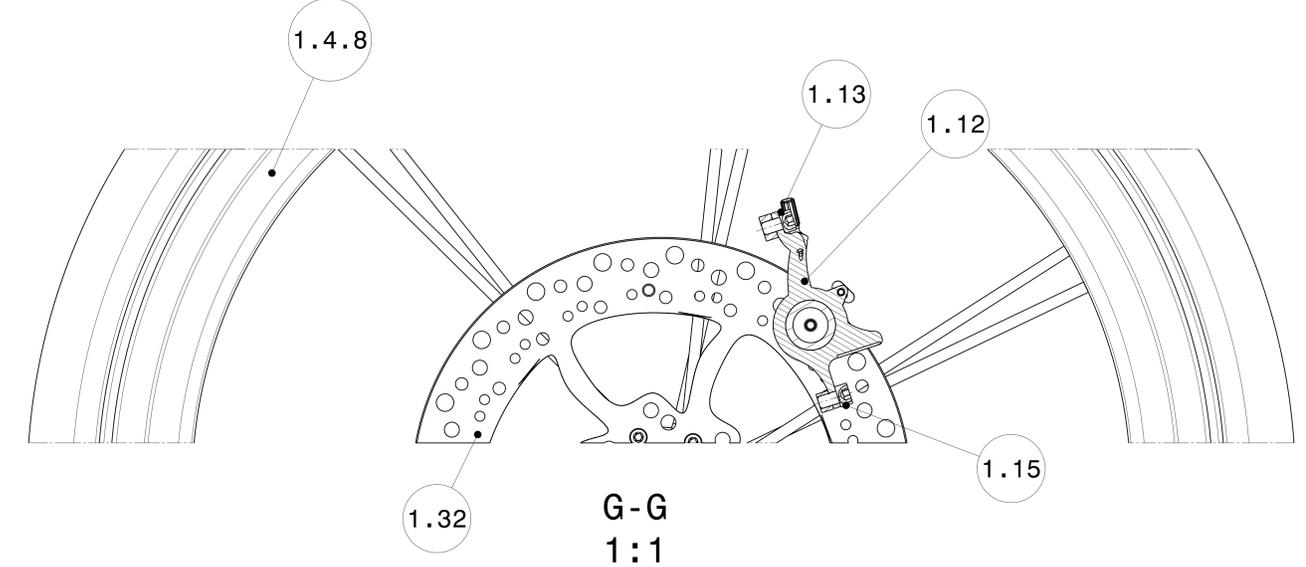
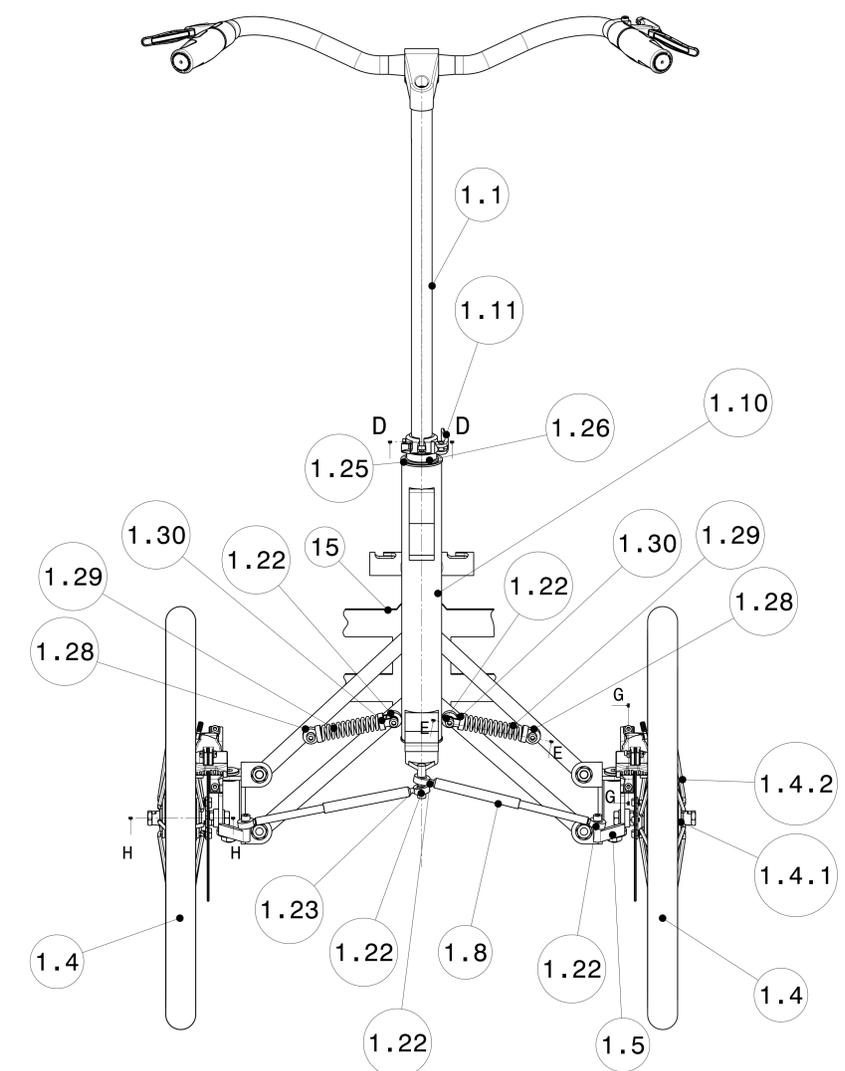
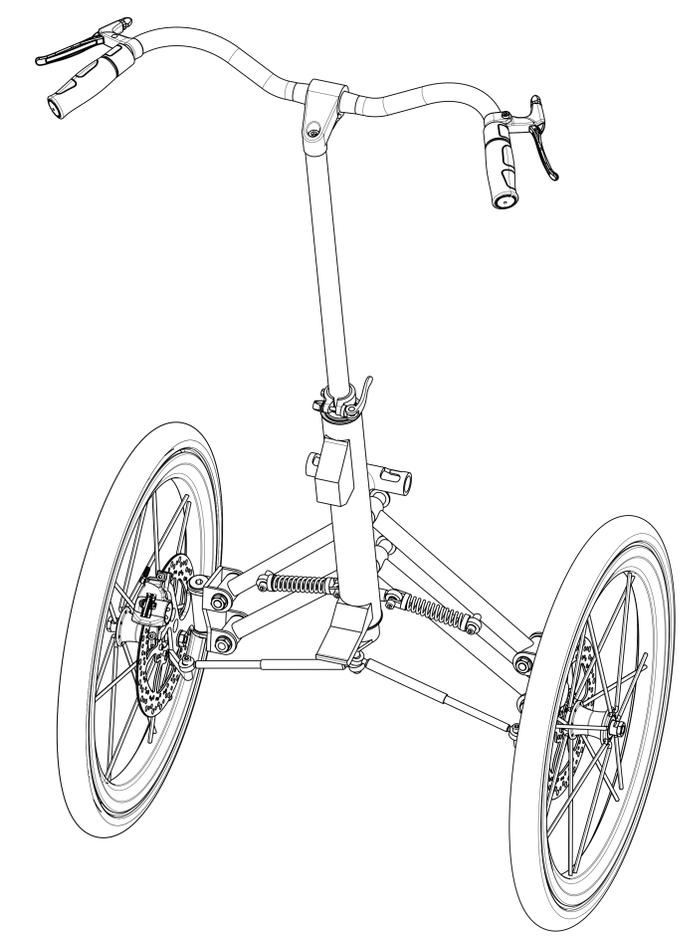
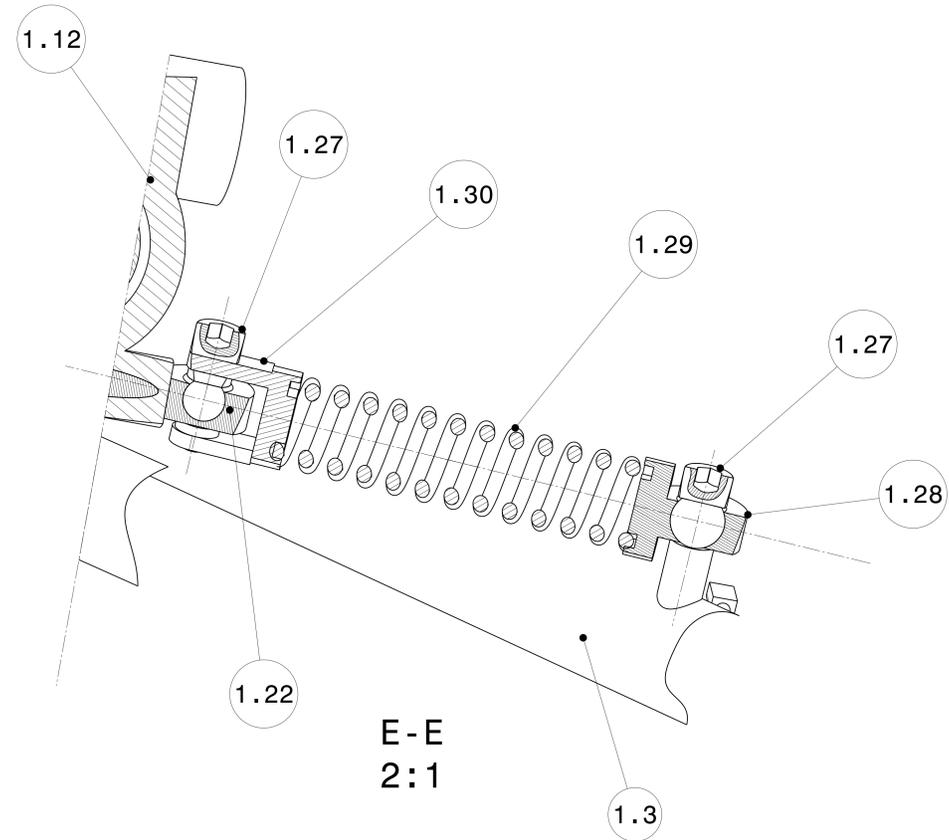
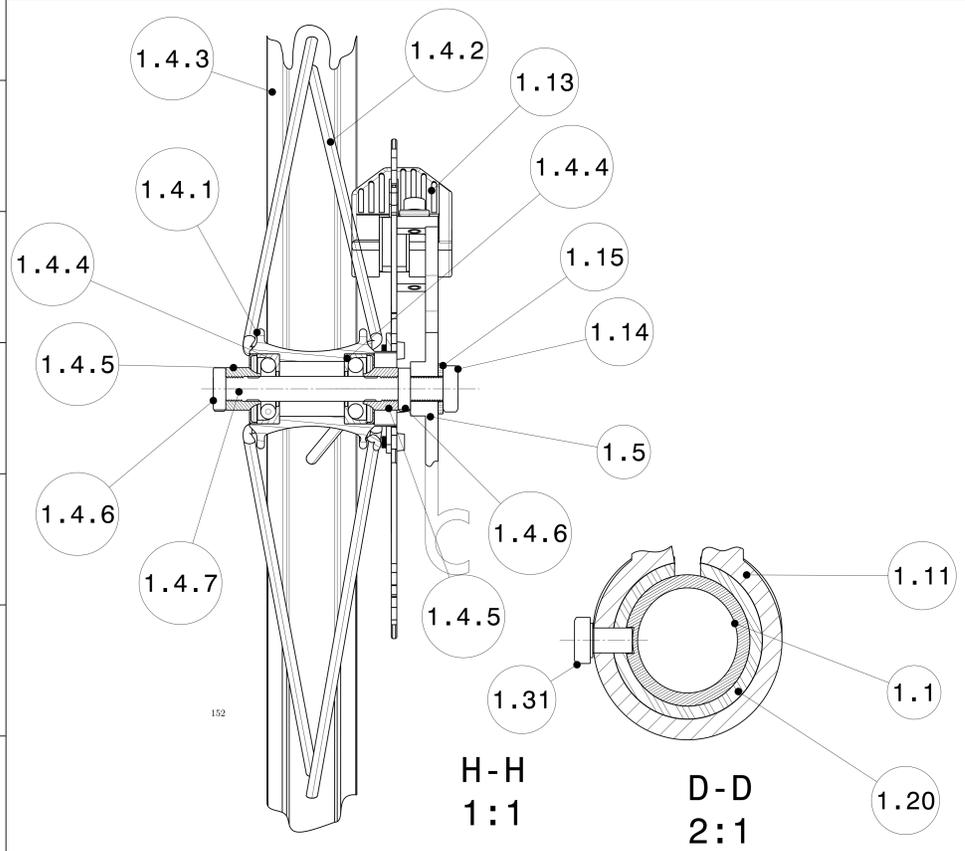
DESIGNER BY: S. Brandão	Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Mecânica	
DATE: 26/10/2018		
PROJECT BY: A. Completo		
DATE: 26/10/2018		
SIZE: A0		
SCALE: 1:4		
WEIGHT (kg): 16,44		
Veículo de Mobilidade Urbana		1/1
Desenho de Conjunto do Veículo		
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.		



DESIGNER BY: S. Brandão	Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Mecânica	
DATE: 26/10/2018		
CREATED BY: A. Completo		
DATE: 26/10/2018		
SIZE: A0	Veículo de Mobilidade Urbana	
SCALE: 1:3	DESIGN NUMBER: 16,44	SHEET: 1/1
<small>This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.</small>		

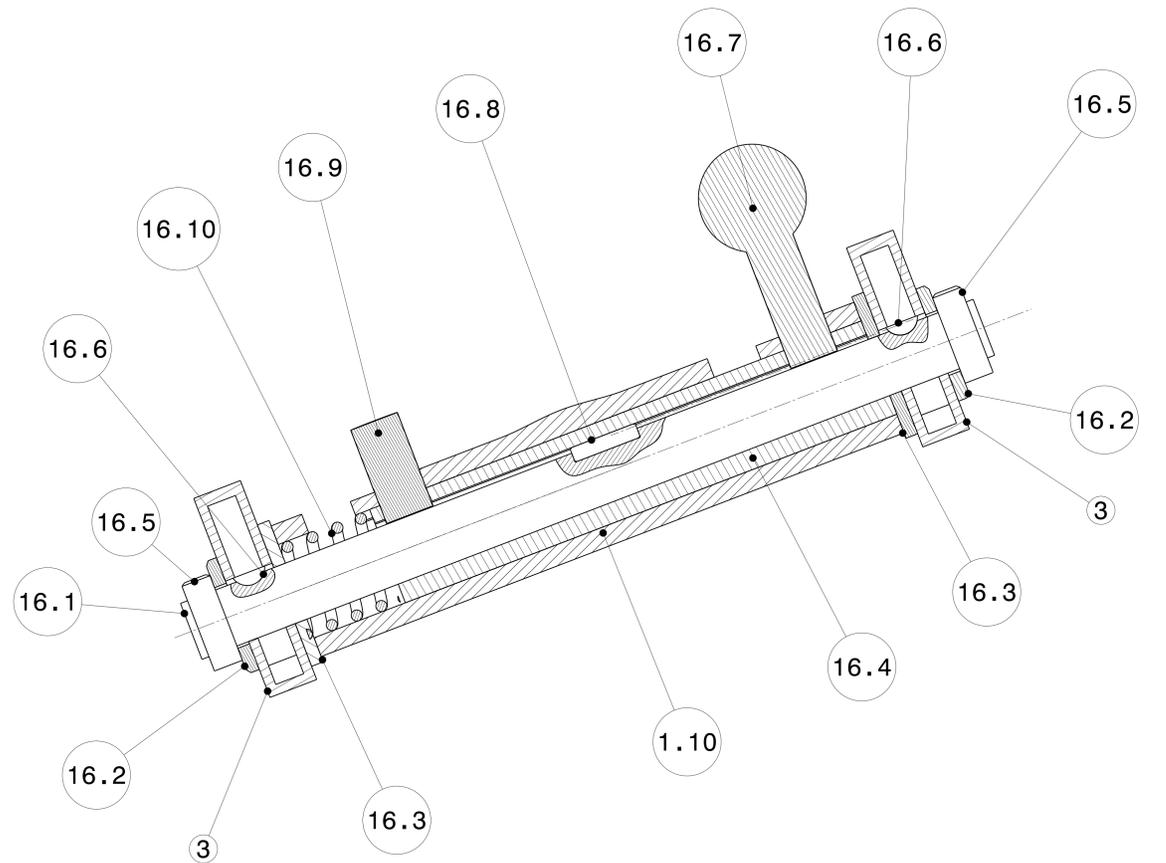
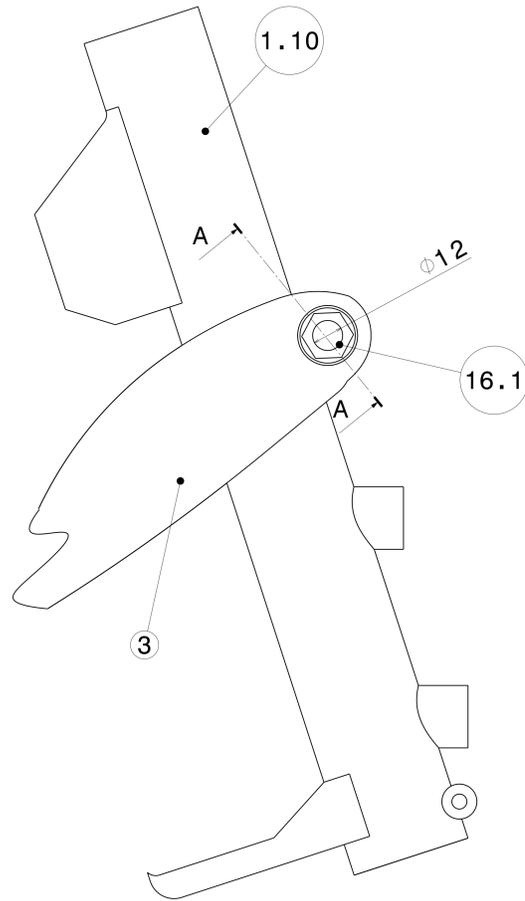
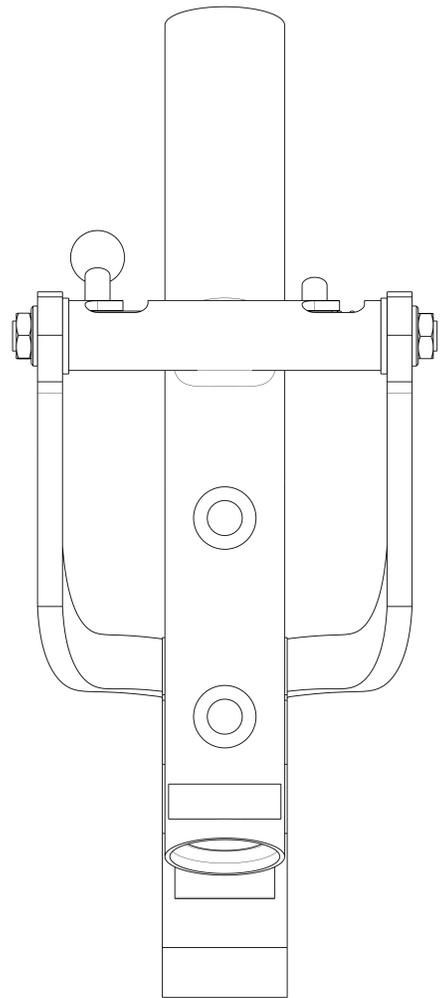


DESIGNER BY:	S. Brandão	Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Mecânica
DATA:	24/10/2018	
OPERATION:	A. Completo	Veículo de Mobilidade Urbana
DATA:	24/10/2018	
SCALE:	1:3	Desenho do Subconjunto do Módulo Frontal (Direção do Veículo)
SCALE:	6,10	
<small>This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.</small>		1/5

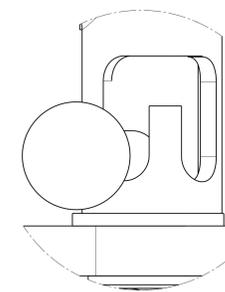
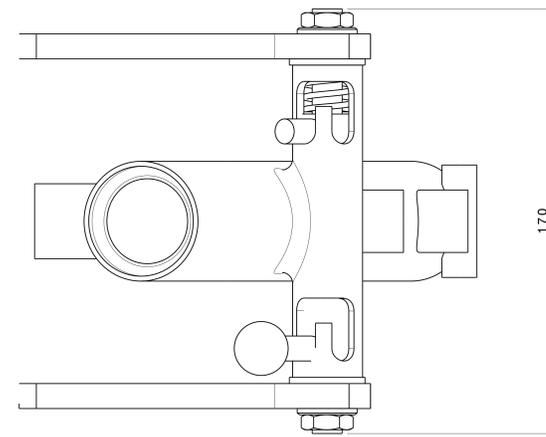
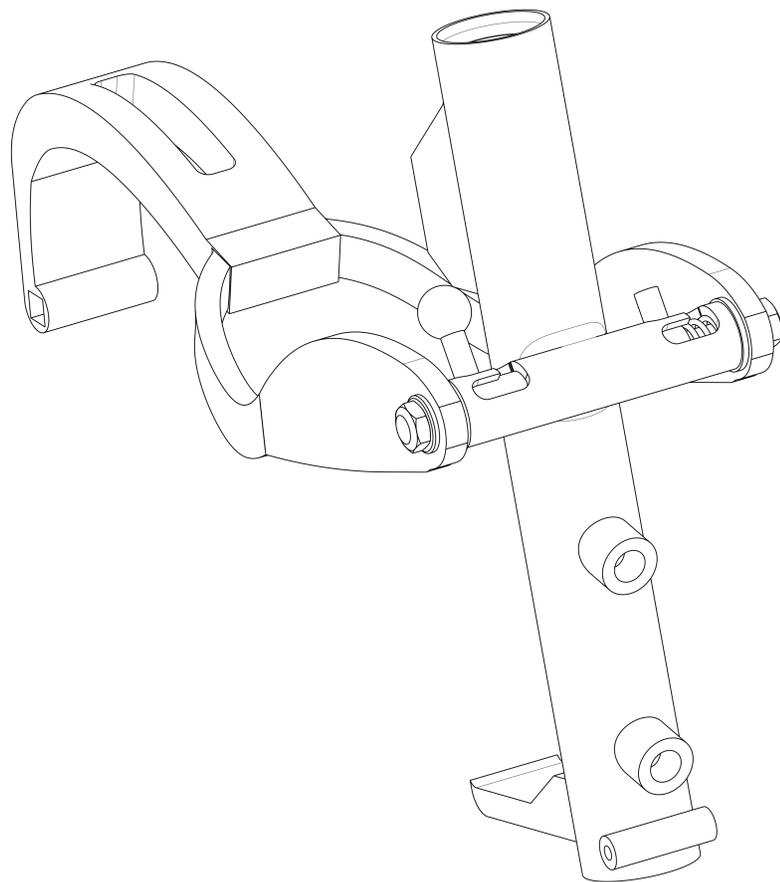


DESIGNER BY: S. Brandão		Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Mecânica	
DATE: 24/10/2018			
DESIGNER BY: A. Completo			
DATE: 24/10/2018			
SCALE: A0	PROJ. NO: 6,10	Veículo de Mobilidade Urbana	
SCALE: 1:3	PROJ. NO: 6,10	Desenho do Subconjunto do Módulo Frontal (Direção do Veículo)	
		2/5	

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.



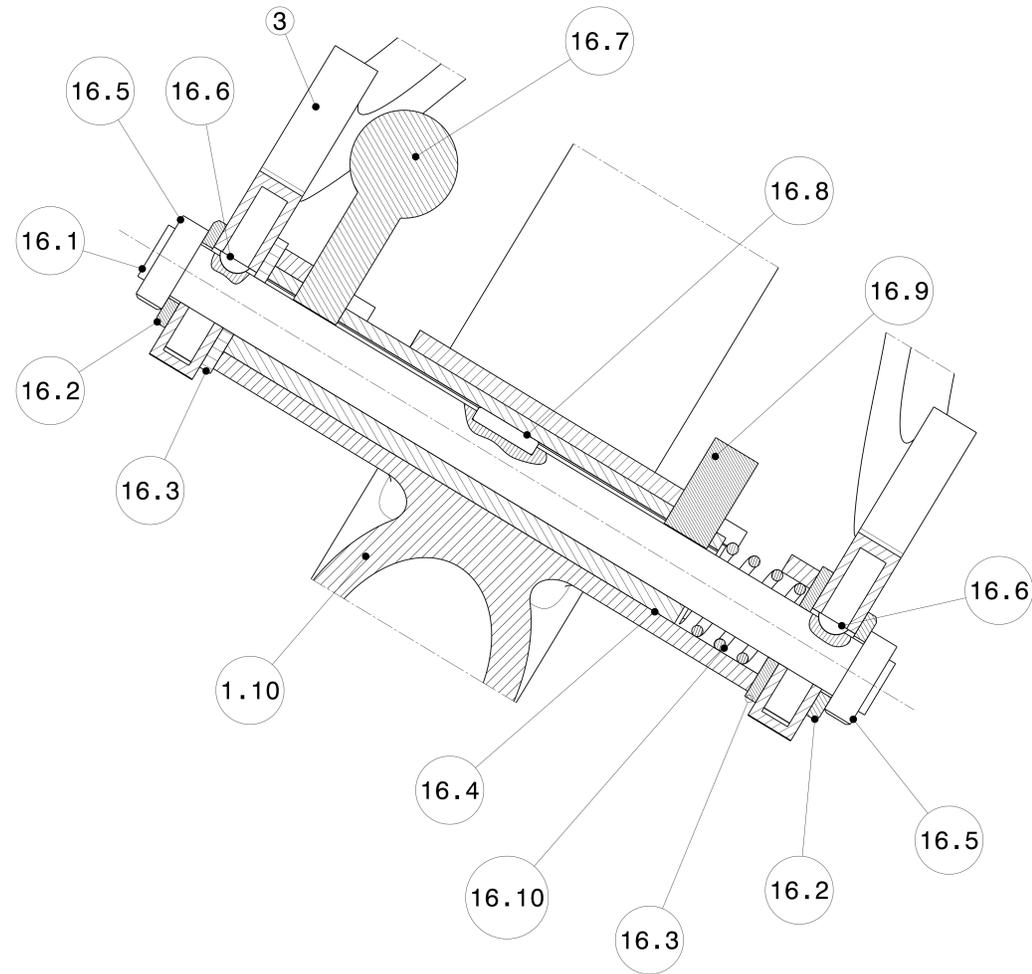
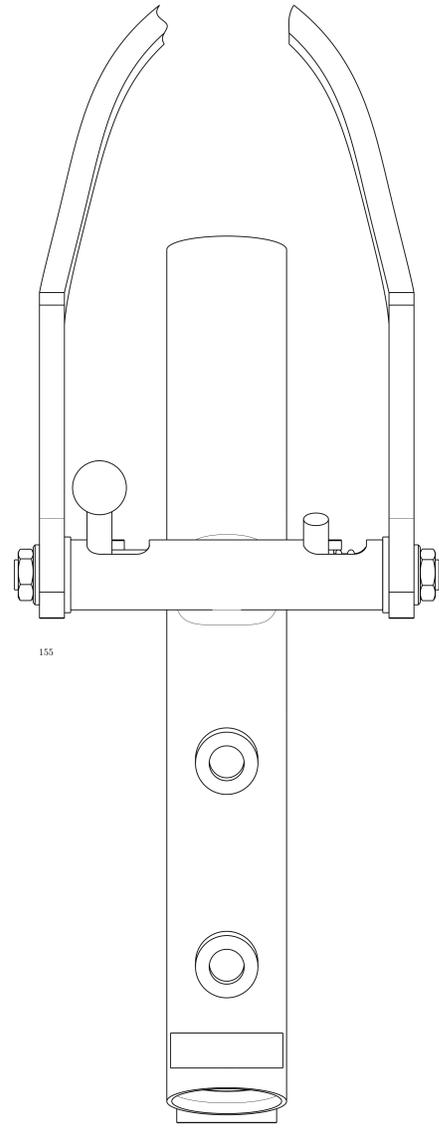
A-A
2:1



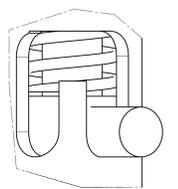
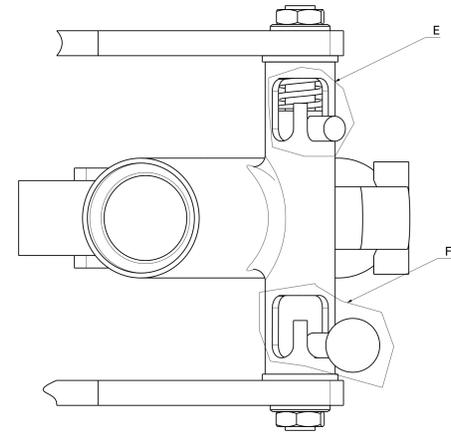
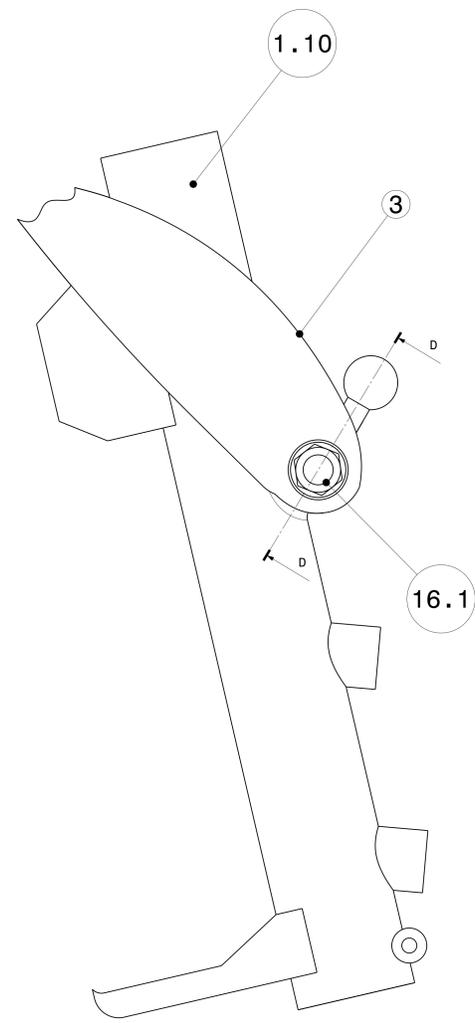
C
2:1

DESIGNADO POR: S. Brandão	Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Mecânica
DATA: 25/10/2018	
PROJETO: A. Completo	Veículo de Mobilidade Urbana
DATA: 25/10/2018	
ESCALA: 1:1	Desenho do Subconjunto Bloqueio do Quadro Frontal (Posição Fechado)
REVISÃO: 0,187	
FOLHA 4/5	

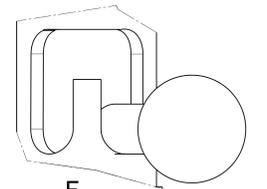
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.



D-D
2:1

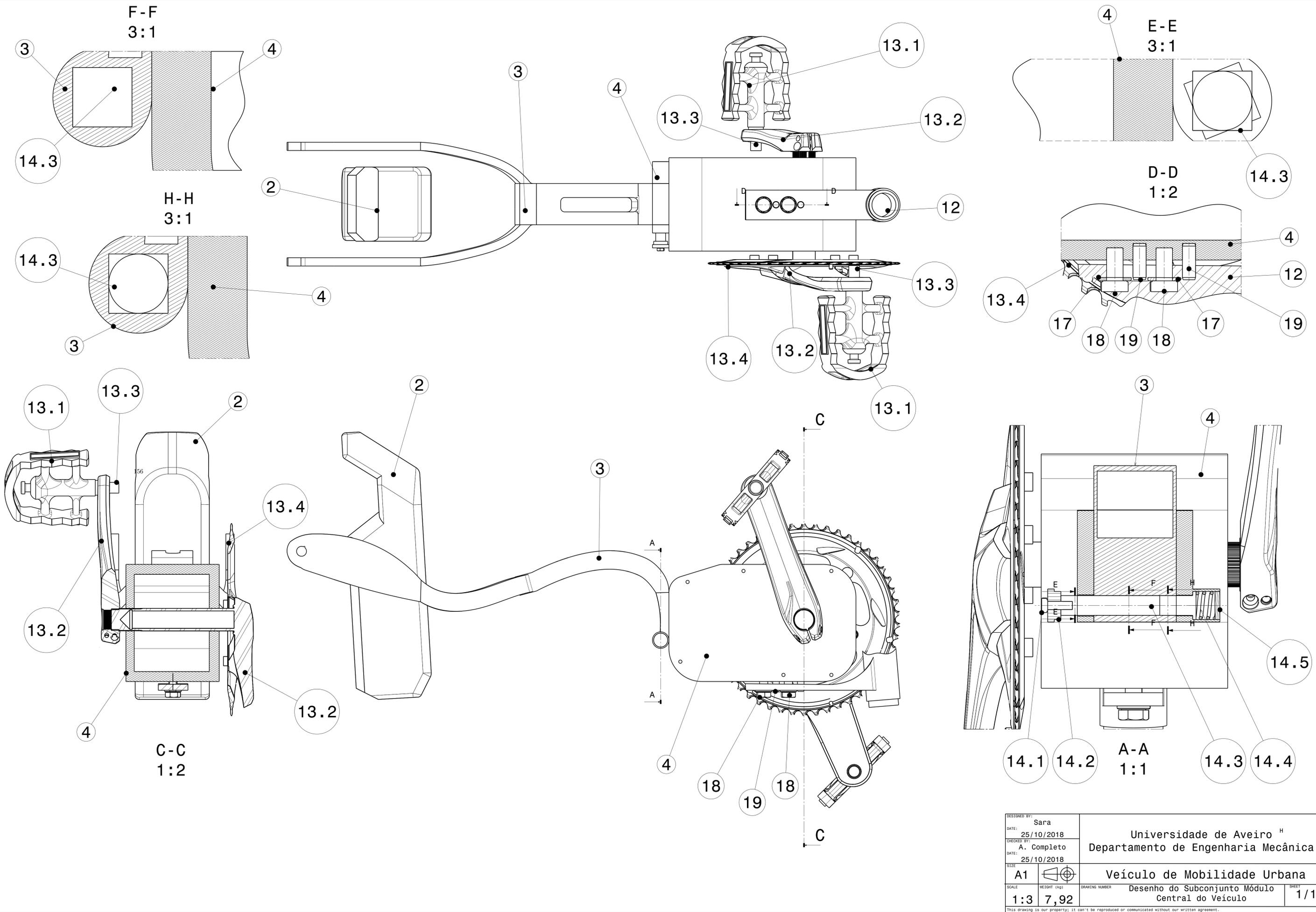


E
2:1

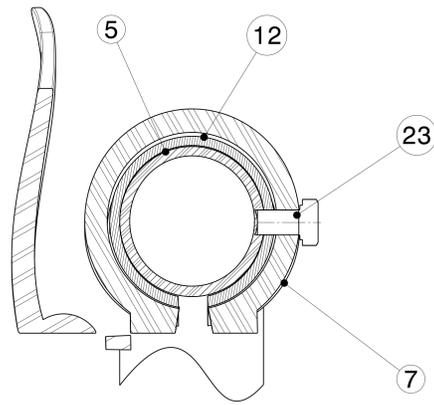
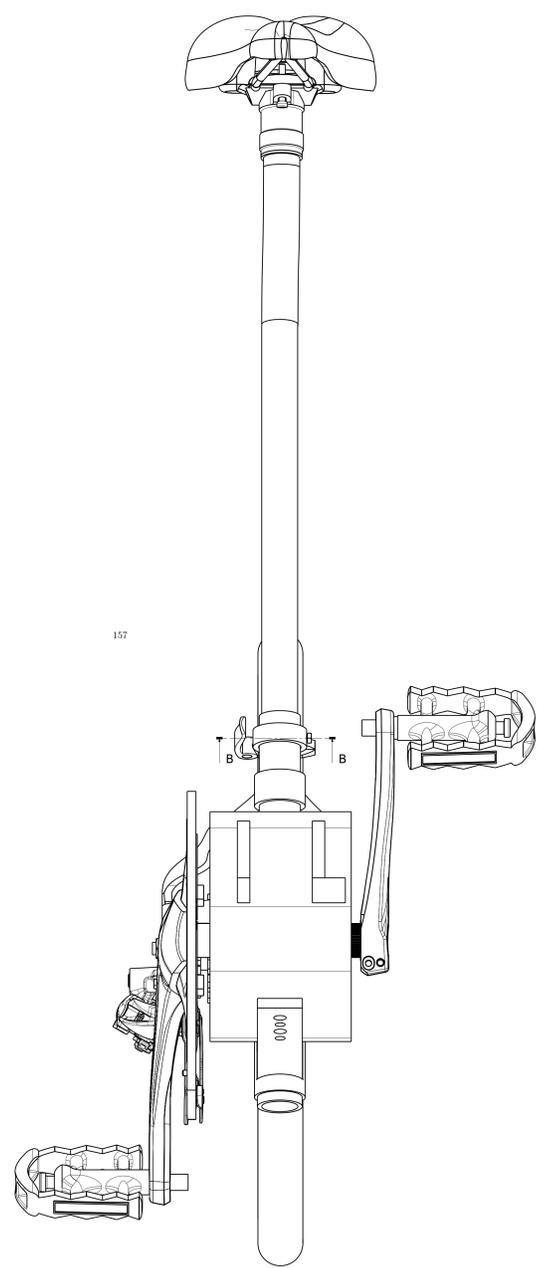


F
2:1

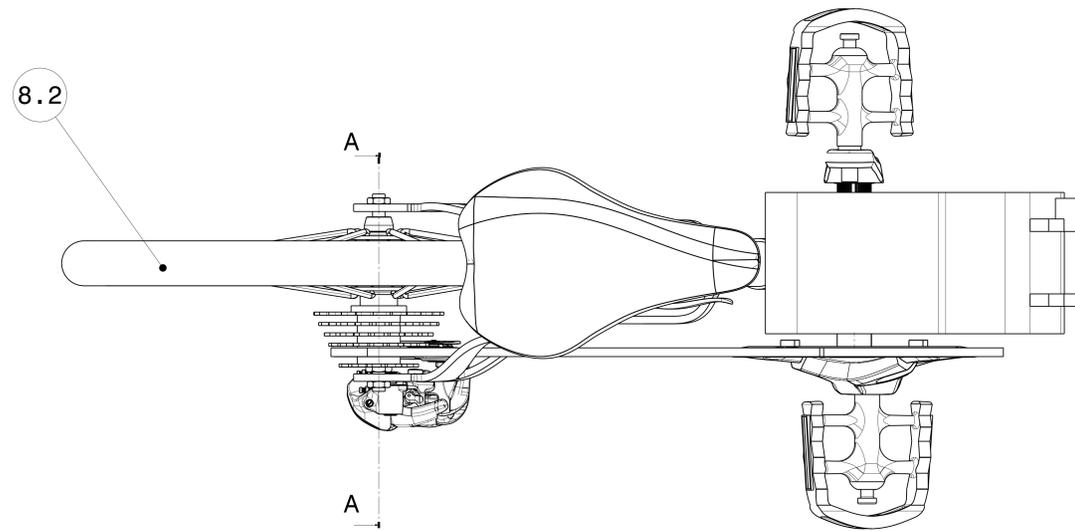
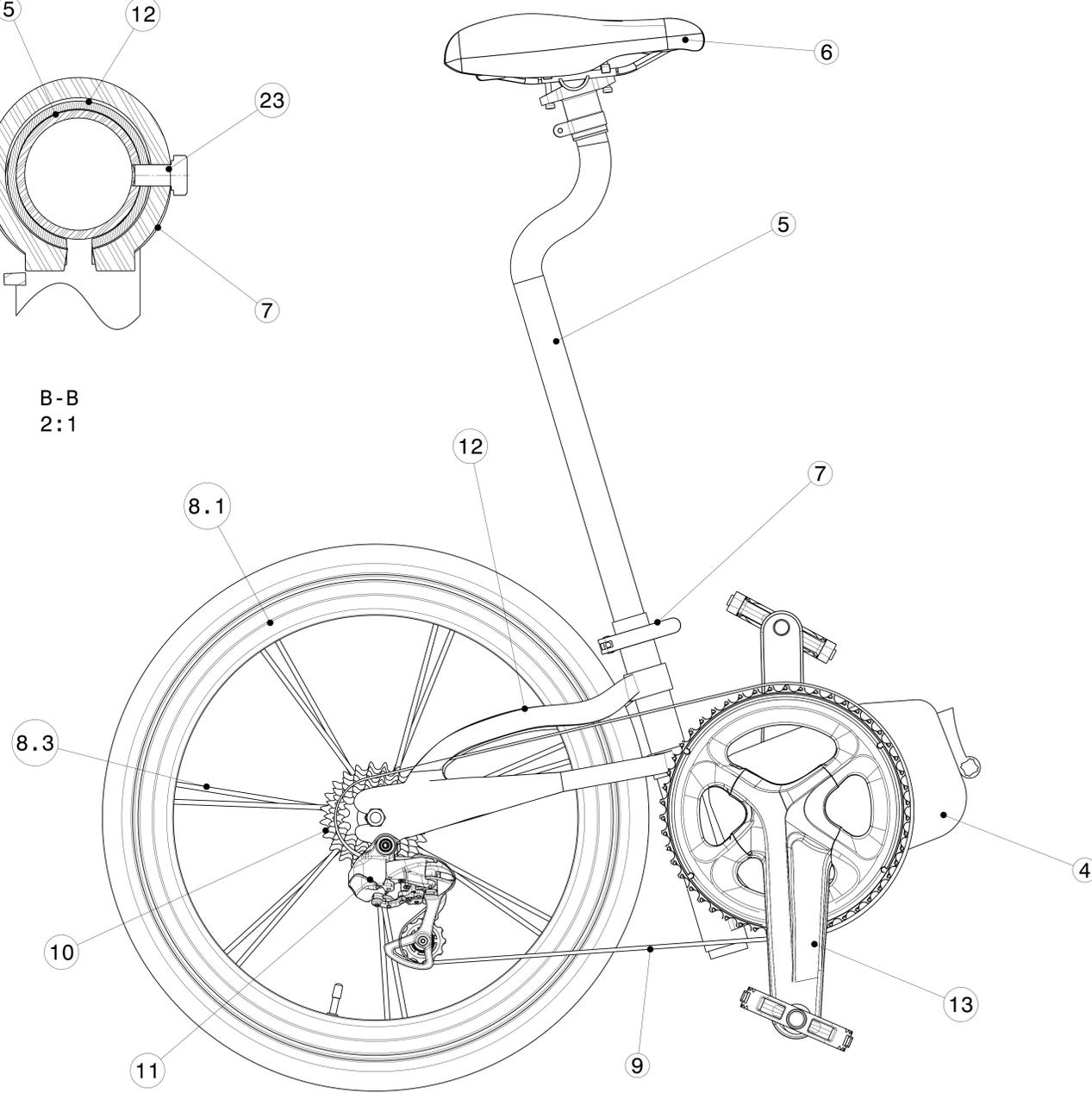
DESIGNADO POR: S. Brandão	Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Mecânica	
DATA: 25/10/2018		
PROJETO POR: A. Completo		
DATA: 25/10/2018		
FOLHA: A0	VEÍCULO DE MOBILIDADE URBANA	
ESCALA: 1:1	DESIGNO DO SUBCONJUNTO BLOQUEIO DO QUADRO FRONTAL (POSIÇÃO FECHADO)	5/5
<small>REGRAS (mm): 0,187</small>		
<small>This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.</small>		



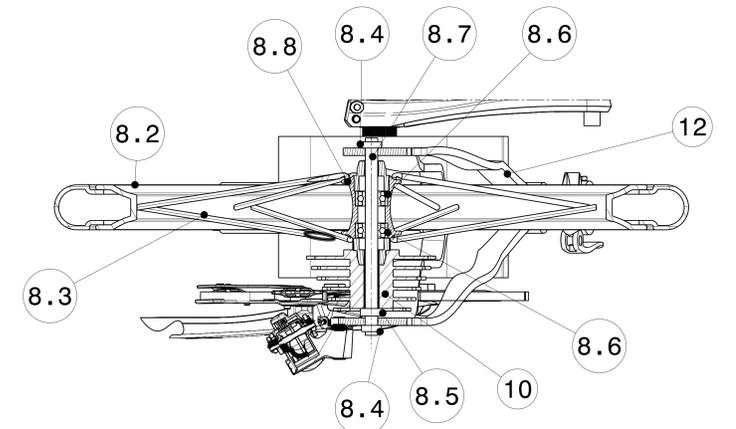
DESIGNED BY: Sara		Universidade de Aveiro ^H Departamento de Engenharia Mecânica	
DATE:	25/10/2018		
CHECKED BY:	A. Completo		
DATE:	25/10/2018	Veículo de Mobilidade Urbana	
SIZE:	A1	Desenho do Subconjunto Módulo Central do Veículo	
SCALE:	1:3	WEIGHT (kg):	7,92
		DRAWING NUMBER:	1/1
<small>This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.</small>			



B-B
2:1



A-A
1:2



DESIGNADO POR: S. Brandão	UNIVERSIDADE DE AVEIRO Departamento de Engenharia Mecânica
DATA: 25/10/2018	
OPERAÇÃO: A. Completo	
DATA: 25/10/2018	
FORMATO: A0	Veículo de Mobilidade Urbana
ESCALA: 1:2	Desenho do Subconjunto Módulo Posterior do Veículo
ÁREA: 3,84	1/1

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

Anexo D

Referências componentes

Para a realização da lista de peças com o respetivo peso de cada componente do veículo e posterior análise do peso total do mesmo, foi necessário efetuar uma pesquisa sobre alguns elementos *standard*. De seguida é então apresentada uma lista com os componentes cujo peso ou o modelo atribuído foi baseado numa pesquisa do mercado, D.1:

Tabela D.1: Lista de peças do veículo que tiveram como referência modelos existentes no mercado.

Lista de Componentes do Veículo com Referência					
Nº	Designação	Norma	Material	Quantidade	Peso (kg)
1.2	Estrutura guiador			1	0,656
1.2.1	Punho guiador	SC50 [114]	Fibra de carbono	2	0,06
1.2.2	Travão de mão	BRL29 [115]	Alumínio	2	0,143
1.2.3	Tubo guiador	[116]	Alumínio	1	0,25
2	Bateria	Bosch PowerPack 300 [53]	Lítio	1	3
4	Motor	Shimano		1	3
13	Estrutura pedaleira	Shimano Sora [106]	Alumínio	1	1,368
5	Selim	Specialized Power Expert [108]	Plástico e Espuma	1	0,235
8	Roda traseira	Dahon [117]	Alumínio	1	0,573
8.8	Cubo	Shimano Tiagra FH-RS400 [118]	Alumínio	1	0,03
1.4	Roda dianteira	Dahon [117]		2	0,559
1.4.1	Cubo	Shimano HB-M9010 [119]	Alumínio	1	0,03
1.32	Disco	Shimano XT RT76 6-Bolt [120]	Aço	2	0,2
1.12	Travão de disco	Shimano CX77 [121]	Alumínio	2	0,07
11	Desviador	Shimano 2300 [122]	Alumínio	1	0,179