Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica



Projeto de design e conceção de um novo quadro de bicicleta

Rosa Margarida de Miranda Moreira

Orientador da FEUP:
Professor Doutor Rui Neto

Orientador da IDEIA.M:
Engenheiro João Petiz

Porto
Junho de 2018

Rosa Margarida de Miranda Moreira

Projeto de design e conceção de um novo quadro de bicicleta

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Orientador: Rui Jorge de Lemos Neto

Porto
Junho de 2018

Aluna, Rosa Margarida de Miranda Moreira.
Projeto de design e conceção de um novo quadro de bicicleta
122 páginas
Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Identificação das oportunidades no mercado das bicicletas
2. Projeto de design e conceção de um novo quadro de bicicleta

I. Universidade do Porto. Faculdade de Engenharia. Departamento de Engenharia Mecânica.

Júri:

Prof. Dr.
Filipe Chaves

Prof. Dr.
Abel Santos

Prof. Dr.
Rui Neto

Dedico esta dissertação de mestrado aos meus pais que me proporcionaram todas as condições para a fazer nunca deixando de acreditar em mim e ao meu irmão por sempre estar disponível para me ouvir e ajudar

Epígrafe

"Sucess is not final, failure is not fatal:
it is the courage to continue that counts."

Winston Churchill

Resumo

A presente dissertação foi realizada no âmbito da Unidade Curricular Dissertação, que se enquadra no 5º ano do plano de estudos da opção Produção, Conceção e Fabrico do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, lecionado na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). Este trabalho foi desenvolvido em contexto empresarial na empresa IDEIA.M e teve como objetivo desenvolver um quadro de bicicleta que conseguisse, de alguma forma, apresentar um carácter inovador e diferenciador das já existentes no mercado. Assim, foram utilizadas estratégias de design para identificar oportunidades inerentes ao desenvolvimento de um novo produto e seguidamente aplicaram-se valências de Engenharia para desenvolver o projeto do produto.

A primeira fase, consistiu no planeamento do projeto a realizar, efetuando-se um estudo de mercado para identificar as oportunidades e os locais onde o produto se poderia vir a inserir. Neste seguimento, realizou-se, um *Workshop* de co-criação para ajudar a clarificar o problema. Selecionou-se um público alvo (mulheres adultas) e um segmento (urbano), tendo sido possível definir, claramente, o problema: desenvolvimento de um quadro de bicicleta em alumínio pelo processo de embutidura. Nesta fase, foi ainda estipulado, pela empresa, um preço de venda de 250 euros para a bicicleta a desenvolver.

Na segunda e terceira fase, desenvolveu-se o conceito (design do quadro) adotado para a bicicleta e realizou-se a análise do sistema. Nestas fases foram identificadas as necessidades e as especificações técnicas e ergonómicas do produto. Foi feita ainda, a seleção de conceito a desenvolver, a seleção do material a utilizar (liga 6022 T4), o estudo de mercado dos componentes, a seleção e a modelação no *software Solidworks* dos mesmos.

Posteriormente, realizou-se o design detalhado do produto e obteve-se a solução final, tendo sido desenvolvidos dois quadros de bicicleta que respeitam as normas de segurança ISO 4210:2014. Para confirmar a viabilidade dos quadros projetados, realizaram-se diversas modelações e simulações no *software Solidworks*. Por último, foi ainda concretizada uma análise de custo total dos quadros da bicicleta desenvolvidos.

Abstract

This dissertation was developed within the Integrated Master's in Mechanical Engineering syllabus in Production, Conception and Manufacturing branch of the same course, regarding the 5th grade course Dissertation, taught at the Faculty of Engineering of University of Porto (FEUP). The present work was developed at IDEIA.M, a mechanical design company. The goal of this dissertation was to develop a bicycle frame that could present in some way a different point from the ones that already exist in the market. For that, some design strategies were used to assist the identification of opportunities related to the development of a new product as well as engineering methodologies to transform the created ideas in a real product.

In the first stage, the project was planned and a market study was performed in order to identify the opportunities for the product implementation. For this purpose, a co-creation Workshop that helped to clarify the problem was done. A selection of the target public (adult women) and segmentation (urban) were made so that the problem could be correctly identified: development of an aluminium frame bicycle using stamping as the manufacturing process. The company established the selling price of the bicycle at 250 euros.

In the second and third stage, the concept development and system analysis were made. In these stages, the requirements and the ergonomic and technical specifications were identified and the concept (bicycle frame design) and material (aluminium alloy 6022 T4) were selected. Afterwards, in order to identify the components needed, a brief market study was made, and then a selection and CAD modelling of them.

Finally, the detail design and final solution were obtained with two bicycle frames that respect the safety regulations established in ISO 4210:2014. To support the veracity of the developed frames, modelling and simulations were made in *Solidworks 2017*. At the end, a cost analysis of the bicycles' frames was also performed, having accomplish a price between 11 and 10 euros each.

Agradecimentos

Ao professor Rui Jorge de Lemos Neto desejo exprimir o meu agradecimento pela colaboração e disponibilidade prestada ao longo da realização da presente dissertação, sem nunca hesitar na prestação de qualquer esclarecimento.

Agradecimentos ao orientador da empresa ao Eng. João Petiz por toda a passagem de conhecimento, por todos os esclarecimentos e simpatia ao longo dos meses de estágio.

Ao professor José Luís Soares Esteves por toda a preocupação e ajuda prestada na componente estrutural da análise do quadro.

À Viviane Peçaibes pela alegria contagiante, pelos conselhos, por todas as palavras de motivação e todos os conhecimentos de design prestados. Aos designers da empresa pela contribuição e feedback fornecidos no processo de design e recolha de informação. A estes e aos restantes elementos da equipa da IDEIA.M, pelo bom acolhimento, camaradagem e espírito de entreajuda.

Ao Professor Doutor José Manuel Ferreira Duarte pela ajuda na recolha de informação relevante. Ao técnico Paulo Pires da ABIMOTA pela disponibilidade em mostrar-nos os gabinetes de testes às bicicletas e no esclarecimento de dúvidas. Ao Engenheiro Pedro Santos da PJF pela colaboração na estimativa de preço do processo de fabrico.

A todos os meus amigos que sempre estiveram lá para ajudar a descomprimir de momentos menos positivos com um sorriso e uma palavra de motivação. Em particular à Mariana e a Maria Inês por serem a família longe de casa. À Mariana um especial obrigada por tudo ao longo destes cinco anos, entramos e saímos juntas.

Por último às pessoas mais importantes da minha vida, mãe, pai e irmão, que sempre me ensinaram a navegar mares desconhecidos, a nunca baixar os braços, e que as nossas limitações podem ser sempre transformadas nas nossas maiores virtudes. À minha avó Mercedes que não foi a tempo de me ver acabar o curso mas que foi e sempre será o meu maior exemplo de resiliência. Obrigada por tudo!

Conteúdo

1 Introdução **1**

1.1 Enquadramento do Projeto 1

1.2 Motivação do Projeto 1

1.3 Empresa - IDEIA.M 2

1.4 Objetivos da dissertação 3

1.5 Método seguido no projeto 3

1.5.1 Metodologia da Empresa 6

1.6 Estrutura da dissertação 6

2 Fase 0: Planeamento **9**

2.1 Introdução 9

2.2 Bicicletas 9

2.2.1 Mercado das bicicletas 10

2.2.2 Anatomia da Bicicleta 12

2.3 Workshop de Co-criação 12

2.3.1 Preparação do *workshop* 12

2.3.2 Durante o *workshop* 21

2.4 Processos de fabrico de quadros de bicicleta 25

2.4.1 Processos tradicionais 25

2.4.2 Processos alternativos 26

2.5 Escolha do processo Embutidura 28

2.6 Definição de segmento e publico alvo 28
2.7 Definição do problema 31

3 Fase 1: Desenvolvimento 33
3.1 Introdução 33
3.2 Identificação das necessidades 33
3.3 Identificação das especificações 35
3.3.1 Especificações Ergonómicas 35
3.3.2 Especificações técnicas 36
3.3.3 Geração de conceitos 41

4 Fase 2: Análise do Sistema 45
4.1 Introdução 45
4.2 Análise do Material 46
4.2.1 Ligas de alumínio na indústria automóvel 46
4.3 Identificação dos componentes de uma bicicleta 52
4.3.1 Estudo de mercado dos componentes 53
4.3.2 Modelação em *Solidworks* dos componentes 54

5 Fase 3: Design Detalhado 61
5.1 Introdução 61
5.2 Primeiro conceito 61
5.2.1 Soluções construtivas adotadas 63
5.2.2 Problemas 65
5.3 Segundo conceito 66
5.3.1 Detalhes de design do quadro 67
5.3.2 Ensaios Realizados 70
5.3.3 1º Resultados Obtidos 74
5.3.4 Aplicação de melhorias 78
5.3.5 Resultados Finais 83

5.3.6 Discussão de Resultados 86

6 Solução Final **91**

6.1 Componentes dos Quadros 91

6.1.1 Quadro A 91

6.1.2 Quadro B 92

6.2 *Renders* Finais 92

6.2.1 Render Quadro A 92

6.2.2 Render Quadro B 95

6.3 Desenho 2D das Versões Finais Obtidas 97

6.4 Análise de Custo 98

6.4.1 Peso e preço dos componentes 98

6.4.2 Custo de amortização das Ferramentas 99

6.4.3 Custo do processo 99

6.4.4 Custo total 100

7 Conclusões **103**

7.1 Trabalhos Futuros 105

Referências bibliográficas **106**

A Estudo de mercado - Bicicletas de desporto **109**

B Estudo de mercado - Bicicletas urbanas **110**

C Guia de tamanhos **111**

D Conceitos de quadros **112**

E Simulações ao Quadro A **114**

F Simulações ao Quadro B **118**

G Desenho técnico dos dois quadros obtidos **122**

Lista de Figuras

1.1 Logótipo da Empresa IDEIA.M. 2

1.2 Objetivos. 3

1.3 Metodologias adotadas. 5

2.1 Anatomia de uma bicicleta - principais componentes. 12

2.2 *Mood Board* referente à utilização das bicicletas em contexto urbano, nomeadamente aspetos comportamentais e dificuldades enfrentadas. . . . 15

2.3 *Mood Board* referente à utilização das bicicletas em contexto desportivo e de lazer. 15

2.4 *Mood Board* referente às limitações físicas das pessoas que podem ser impeditivas da utilização da bicicleta. 16

2.5 *Mood Board* referente à posição ergonómica das pessoas quando utilizam uma bicicleta. 16

2.6 *Mood Board* referente a elementos de inspiração para o design de uma nova bicicleta. 17

2.7 *Mood Board* referente ao *Commuting*. 17

2.8 *Mood Board* referente aos materiais utilizados nos quadros das bicicletas. 18

2.9 *Mood Boards* na parede da empresa. 18

2.10 Produção e vendas de bicicletas, em 2016, por país da Europa. Adaptado de (Conebi, 2017). 19

2.11 Preço médio das bicicletas vendidas na Europa por país, em 2016. Adaptado de (Conebi, 2017). 20
2.12 Vendas de bicicletas no Reino Unido por segmento, em 2016. Adaptado de (Riley, 2017). 21
2.13 Mapa de polaridades. 23
2.14 *Workshop* de ideação. 23
2.15 Discussão dos resultados do *workshop de ideação*. 24
2.16 Percentagem de ciclistas por país (BradLaybourneLaw, 2015). 29

3.1 Respostas nos quadrantes referentes à cidade. 34
3.2 Altura média das mulheres nos países europeus. Adaptado de: (Height, 2018). 36
3.3 Aberturas para evitar concentração de tensões e posteriores rasgos. . . . 38
3.4 Colares nas zonas de abertura. 39
3.5 Entalhes para aliviar tensões. 39
3.6 Recortes para diminuir o efeito de *springback*. 40
3.7 Distâncias mínimas para a realização de furos. 40
3.8 Soluções construtivas de encaixes. 42
3.9 Quadro selecionado. 43

4.1 Tensão limite elástico em função da extensão após rotura (CesEdupack, 2017). 52
4.2 Bicicleta ELOPS 500 da *Decathlon*. 54
4.3 Modelação CAD da roda de frente e de trás e respetivos cubos (*Solidworks 2017*) 55
4.4 Modelação CAD da cassete (A) e desviador traseiro (B) (*Solidworks 2017*). 56
4.5 Modelação CAD do Kit de transmissão (*Solidworks 2017*). 56
4.6 Modelação CAD da zona de transmissão de velocidades (*Solidworks 2017*). 57
4.7 Modelação CAD da forqueta sem suspensão (A) e V-brake (B) (*Solidworks 2017*). 57

4.8 Modelação CAD do guiador, mudanças e manípulos dos travões (*Solidworks 2017*). 58
4.9 Modelação CAD e anatomia da caixa de direção com rosca (*Solidworks 2017*). 58
4.10 Modelação CAD do guarda de lamas traseiro (A), guarda lamas da frente (B) e selim (C) (*Solidworks 2017*). 59

5.1 Modelação em 3D da bicicleta. 63
5.2 Reforços internos. 64
5.3 Elemento de ligação entre o componente superior e inferior. 64
5.4 Elemento de reforço da zona inferior. 65
5.5 Segundo conceito do quadro. 66
5.6 Conceito final do quadro. 67
5.7 Zonas tubulares do quadro a azul. 67
5.8 Saliências tubulares do quadro a azul. 68
5.9 Zona de saída a azul e posterior zona de encaixe de suporte. 68
5.10 Detalhe da zona de abertura, aba para corte. 69
5.11 Vista 2D do quadro. 69
5.12 Zonas analisadas no estudo de deslocamentos do quadro de aço. 71
5.13 Restrições e força aplicada no teste 1. 72
5.14 Restrições e forças aplicadas no teste 2. 73
5.15 Restrições e forças aplicadas no teste 3. 74
5.16 Zonas de maior tensão. 77
5.17 Melhoria do raio de concordância e tensões de Von Mises no local. . . . 79
5.18 Aumento da área da zona que sofre momento. 80
5.19 Antes de depois dos melhoramentos efetuados. 80
5.20 Aumento dos *fillets*. 81
5.21 Representação do cordão de soldadura. 82
5.22 Representação dos locais dos pontos de solda. 82

5.23 Representação das zonas onde se efetuaram a análise dos deslocamentos no quadro A. 83
5.24 Representação das zonas onde se efetuaram a análise dos deslocamentos no quadro B. 83

6.1 *Render* dos componentes do quadro A (*Solidworks 2017).* 92
6.2 *Render* dos componentes do quadro B (*Solidworks 2017).* 92
6.3 *Render* do quadro A -1 (*Solidworks 2017).* 93
6.4 *Render* do quadro A -2 (*Solidworks 2017).* 93
6.5 *Render* da bicicleta completa com os componentes selecionados e o quadro A -1 (*Solidworks 2017).* 94
6.6 *Render* da bicicleta completa com os componentes selecionados e o quadro A -2 (*Solidworks 2017).* 94
6.7 *Render* do quadro B -1 (*Solidworks 2017).* 95
6.8 *Render* do quadro B -2 (*Solidworks 2017).* 95
6.9 *Render* da bicicleta completa com os componentes selecionados e quadro B -1 (*Solidworks 2017).* 96
6.10 *Render* da bicicleta completa com os componentes selecionados e quadro B -2 (*Solidworks 2017).* 96
6.11 Desenho 2D do quadro A com algumas cotas de referência (*Solidworks 2017).* 97
6.12 Desenho 2D do quadro B com algumas cotas de referência (*Solidworks 2017).* 97

A.1 Estudo de mercado. 109

B.1 Estudo de mercado. 110

C.1 Dimensões do quadro de referencia. 111

D.1 Esboços assumindo a embutidura como componente de design. 112
D.2 Esboços focados num quadro com uma abordagem mais futurista. 113

E.1 Detalhes da malha da simulação e análise das tensões Von Mises. 114
E.2 Deslocamento geral e deslocamento em X. 114
E.3 Deslocamento em Y e deslocamento em Z. 115
E.4 Detalhes da malha da simulação e análise das tensões Von Mises. 115
E.5 Deslocamento geral e deslocamento em X. 115
E.6 Deslocamento em Y e deslocamento em Z. 116
E.7 Detalhes da malha da simulação e análise das tensões Von Mises. 116
E.8 Deslocamento geral e deslocamento em X. 116
E.9 Deslocamento em Y e deslocamento em Z. 117

F.1 Detalhes da malha da simulação e análise das tensões Von Mises. 118
F.2 Deslocamento geral e deslocamento em X. 118
F.3 Deslocamento em Y e deslocamento em Z. 119
F.4 Detalhes da malha da simulação e análise das tensões Von Mises. 119
F.5 Deslocamento geral e deslocamento em X. 119
F.6 Deslocamento em Y e deslocamento em Z. 120
F.7 Detalhes da malha da simulação e análise das tensões Von Mises. 120
F.8 Deslocamento geral e deslocamento em X. 120
F.9 Deslocamento em Y e deslocamento em Z. 121

Lista de Tabelas

3.1 Importância das necessidades. 34

4.1 Composição química em percentagem das ligas utilizadas em painéis dos automóveis - segundo a AA (*Aluminium Association*) (Altan and Tekkaya, 2012). Os valores individuais representam os valores máximos . . . 47

4.2 Composição química em percentagem das ligas utilizadas em componentes estruturais - segundo a AA (*Aluminium Association*) (Altan and Tekkaya, 2012). Os valores individuais representam os valores máximos . 47

4.3 Propriedades mecânicas das ligas de alumínio utilizadas em estampagem na industria automóvel segundo a *Aluminium Association AA* (Altan and Tekkaya, 2012) (Davies, 2012) 48

4.4 Propriedades mecânicas das ligas de alumínio utilizadas nos quadro de bicicletas 48

4.5 Grau de encruamento 49

4.6 Propriedades mecânicas das ligas 5182 e 5052 com os diferentes tratamentos (CesEdupack, 2017) 50

4.7 Dimensões relativas aos diferentes parâmetros da geometria da bicicleta ELOPS 500 55

5.1 Valores dos deslocamentos máximos [mm] obtidos do quadro em aço para os diferentes testes realizados, nas três zonas analisadas 75

5.2 Valores de Tensão de Von Mises máximas do quadro de aço para os três testes realizados 75
5.3 Tensão de Von Mises do quadro da versão inicial 76
5.4 Valores dos deslocamentos máximos [mm] obtidos da versão inicial do quadro para os diferentes testes realizados, nas três zonas analisadas . . 78
5.5 Valores dos deslocamentos máximos [mm] obtidos do quadro A para os diferentes testes realizados, nas três zonas analisadas 84
5.6 Tensão de Von Mises do quadro A 84
5.7 Valores dos deslocamentos máximos [mm] obtidos do quadro B para os diferentes testes realizados, nas três zonas analisadas 85
5.8 Tensão de Von Mises do quadro B 85
5.9 Fatores de Segurança obtidos em cada teste relativamente à tensão limite fadiga (σ_f) e tensão limite elástico (σ_e) 87
5.10 Variação percentual dos resultados obtidos para todos os quadros realizados em comparação com o quadro de aço 90

6.1 Massa e custo dos componentes do quadro A 98
6.2 Massa e custo dos componentes do quadro B 98
6.3 Parâmetros e custo de amortização das ferramentas 99
6.4 Custo do Processo 100

Nomenclatura

Símbolos

σ_e	Tensão Limite Elástico
σ_R	Tensão de Rotura
σ_f	Tensão Limite de Fadiga a 10^7 ciclos
A	Extensão após Rotura
n	Coeficiente de encruamento
r	Índice de anisotropia

Abreviaturas

BTT	Bicicletas todo terreno
EUROSTAT	Autoridade estatística da União Europeia
T.T.	Tratamento Térmico
UPETEC	Parque da Ciência e Tecnologia da Universidade do Porto

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento do Projeto

O tema desta dissertação, *Projeto de Design e Conceção de um Novo Quadro de Bicicleta*, foi apresentado pela empresa IDEIA.M no âmbito de explorar o desenvolvimento de um novo produto. Esta proposta não definia claramente qual o tipo de bicicleta a ser desenvolvido, tendo sido definido após uma clarificação inicial do problema, utilizando técnicas e abordagens especificas da área do design. Após a definição do problema procedeu-se ao desenvolvimento do projeto na vertente de Engenharia.

O desafio de desenvolver um quadro de bicicleta foi apresentado pela empresa em paralelo a duas alunas do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, sendo que a primeira parte do projeto, clarificação do problema, foi realizada em parceria. Uma vez o objetivo do problema bem definido, os dois projetos seguiram caminhos distintos e foram desenvolvidos de forma independente.

1.2 Motivação do Projeto

A motivação para o desenvolvimento desta dissertação surge da enorme vontade de desenvolver novos produtos. E pela possibilidade de poder aliar os conhecimentos de engenharia mecânica adquiridos ao longo do curso com a paixão e vontade de aprender

mais sobre o mundo do design.

O desafio de se desenvolver uma bicicleta cujo o único critério exigido é que tenha um carácter inovador e diferenciador das já existentes, foi extremamente estimulante. Sendo a bicicleta um produto que faz parte do dia-a-dia do ser humano, que já tem tantas formas e que já existem varias empresas que se dedicam exclusivamente ao desenvolvimento das mesmas, encontrar um ponto diferenciador foi uma enorme motivação.

1.3 Empresa - IDEIA.M

A IDEIA.M é uma empresa sediada no UPTEC - Parque da Ciência e Tecnologia da Universidade do Porto, cujo o principal foco é criar inovação através do design e engenharia, sendo, portanto, especialista no processo de desenvolvimento do produto.

É uma empresa que acredita que a criação de novos produtos e serviços é a melhor forma de fazer avançar a sociedade, suprimindo assim, cada vez mais, as necessidades das populações. Consegue, deste modo, converter a imaginação e pensamentos em algo real, seguindo parâmetros bem definidos de comportamento e assegurando viabilidade tecnológica e financeira.

O *portfolio* de clientes conta com empresas de renome tais como a Amorim, SONAE, NOS, Polisport e Caetano-BUS, centros de investigação e start-ups.

A IDEIA.M, cujo logótipo se apresenta na Figura 1.1, é uma empresa que já se mostrou capaz de não só criar novos produtos como também alargar os seus horizontes e criar duas novas marcas, a AVA e OXIO. Tendo sido a AVA premiada com um *iF Design Award 2018*, um dos mais conceituados prémios a nível mundial na área do design.



Figura 1.1: Logótipo da Empresa IDEIA.M.

1.4 Objetivos da dissertação

Tendo em conta o tema proposto pela empresa em desenvolver uma bicicleta com um conceito diferente, os principais objetivos desta dissertação estão apresentados, de forma sucinta, no esquema da Figura 1.2, onde se distinguem as várias fases do projeto (planeamento, desenvolvimento do conceito, análise do sistema e design detalhado).

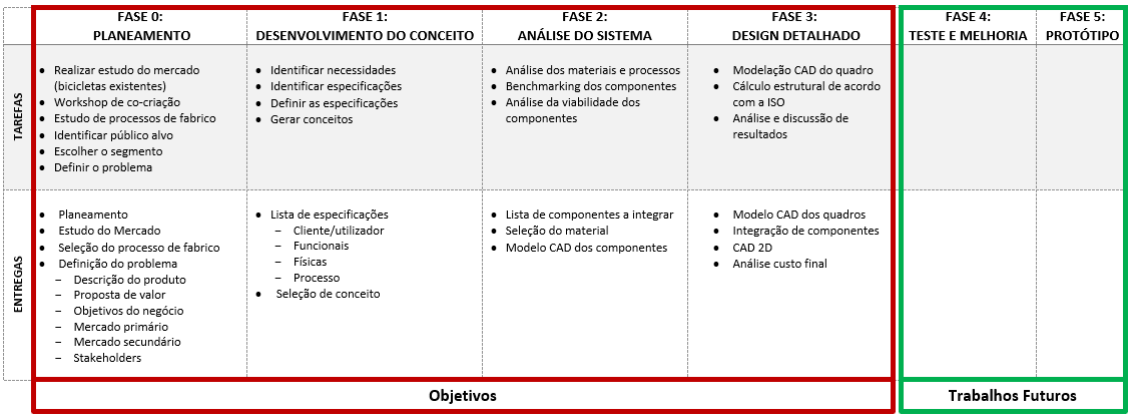


Figura 1.2: Objetivos.

1.5 Método seguido no projeto

O método adotado para o desenvolvimento do projeto é um dos primeiros parâmetros a ter em consideração dado que existem diversas abordagens utilizadas na criação de novos produtos. Após uma pesquisa sobre algumas dessas metodologias e discussão com a equipa da IDEIA.M, a escolha do método recaiu não só sobre uma abordagem, mas na junção de três, sendo elas o processo de design *Double Diamond* (Adams, 2015), a técnica de *Design Thinking* (Brown, 2008) e a metodologia de Karl Ulrich e Steven Eppinger (apresentada no livro "Desenvolvimento e design de produto") (Ulrich and Eppinger, 2012).

Sendo esta dissertação sobre o desenvolvimento de um novo produto, é conveniente a utilização métodos de geração de ideias, para que o processo de criação seja o mais eficiente possível. Nos projetos de criação e de desenvolvimento de novos produtos é

usual que se utilizem técnicas de pensamento de design, isto é, técnicas que fomentam a geração de ideias de uma forma organizada.

De acordo com o processo de design *Double Diamon* quando uma ideia é gerada, primeiramente promove-se a expansão das ideias da equipa envolvida (processo denominado divergência) permitindo assim à equipa explorar todos os aspetos relacionados com a ideia de design a realizar. Assim que todas as ideias são exploradas e revistas, a equipa pode focar o seu pensamento nas ideias que o design deverá efetivamente ter (processo de convergência). Após a equipa decidir qual o design que devem atingir, é necessário novamente expandir o seu pensamento agora para formas de solucionar o problema (divergência). Finalmente, tendo explorado todas as possíveis soluções, a equipa foca-se então numa única solução que pareça a mais favorável (convergência). Em suma, o *Double Diamond* primeiramente define corretamente o problema e seguidamente usa o mesmo processo de divergência/convergência para solucionar o problema anteriormente definido (Adams, 2015).

Por sua vez, o *Design Thinking* é uma metodologia que tem vindo a ser cada vez mais aplicada, mesmo fora do contexto do design, que utiliza uma abordagem "Centrada no Ser Humano", isto é, no seu comportamento, necessidades e preferências (Brown, 2008). Nesta metodologia, o observador é primeiramente obrigado a relacionar-se com as pessoas para as quais vai desenvolver o produto. Seguidamente, terá que transformar os dados em ideias implementáveis, o que facilitará a identificação de novas oportunidades. O *Design Thinking* idealmente utiliza equipas com formações nas mais diversas áreas, permitindo assim diferentes tipos de perspetivas (IDEO, 2011). Nesta metodologia, incentiva-se a criação de protótipos o mais rápido possível para ser possível descobrir as falhas e soluciona-las de forma eficaz. Assim sendo, no *Design Thinking* existem três fases essenciais:

1. Inspiração - adquirida através da observação do publico;
2. Ideação - processo de geração de ideias e prototipagem;
3. Implementação - tornar o processo de ideação real, aplicando a engenharia aos

produtos.

A metodologia de Karl Ulrich e Steven Eppinger consiste numa metodologia com seis fases, onde, em cada uma delas, existem diversas etapas bem definidas e estruturadas a seguir (Ulrich and Eppinger, 2012). Este tipo de abordagem é o mais característico de um projeto de engenharia do produto, sendo que segue as metodologias atualmente tidas como referência.

Tendo em conta as metodologias previamente mencionadas, o método adotado para o desenvolvimento do projeto, apresentado na Figura 1.3, encontra-se subdividido em cinco fases. A metodologia do *Double Diamond* (a vermelho na figura mencionada) foi aplicada às duas primeiras fases, fase 0 e fase 1, com a definição do problema na fase 0 e a solução ao problema na fase 1. O *Design Thinking* foi também utilizado na fase 0, utilizando-se técnicas de geração de ideias muito características desta metodologia que serão apresentadas adiante (a azul na Figura 1.3). As fases 2, 3 e 4 foram definidas de acordo com a metodologia de Ulrich e Eppinger a amarelo na figura.

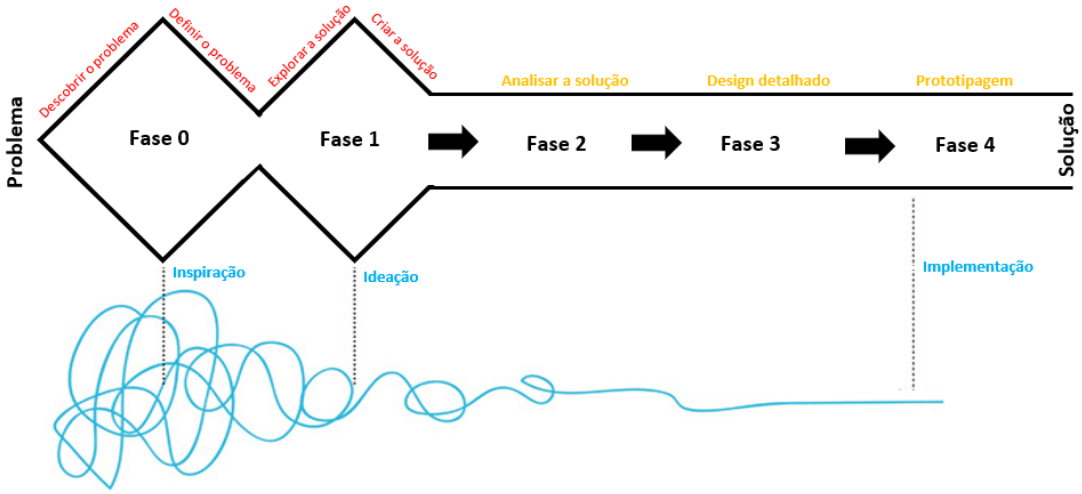


Figura 1.3: Metodologias adotadas.

1.5.1 Metodologia da Empresa

Dado que esta dissertação foi realizada em contexto empresarial, a metodologia utilizada ao longo do projeto foi de encontro ao modelo adotado pela empresa no seu quotidiano. A empresa rege-se por um processo de design caracterizado por três fases:

1. Descobrir: Fase inicial do processo onde se realiza a avaliação do problema, a integração em contexto, as restrições fundamentais, a monitorização tecnológica, *benchmarking* e a análise de tendências. Fase caracterizada essencialmente pela identificação de oportunidades.

2. Desenvolver: Fase que procura encontrar soluções utilizando-se ferramentas de engenharia (projeto e modelação) e de design (definição do estilo a adotar e ergonomia).

3. Entregar: Nesta fase entrega-se o produto ao cliente com a realização de todos os processos de logística inerentes à implementação de um novo produto no mercado.

Salienta-se que esta dissertação só se focou na fase 1, descobrir, e na fase 2, desenvolver.

1.6 Estrutura da dissertação

Como previamente mencionado, o problema não estava totalmente definido no início do projeto. Desta forma, decidiu-se que a fase referente ao "Descobrir"seria apresentada na Fase 0 (Planeamento) e a fase referente ao "Desenvolver seria desenvolvida nos capítulos seguintes, como se verá adiante.

Esta dissertação está subdividida em 7 capítulos, estando apresentados de forma sucinta e sequencial de seguida.

Capítulo 1: Introdução

É o presente capítulo, onde é apresentada uma introdução ao trabalho a ser realizado, servindo como guia do mesmo.

Capítulo 2: Fase 0 - Planeamento

Este capítulo aborda a Fase 0 do desenvolvimento de um produto, estudando-se o mercado das bicicletas e os seus principais elementos constituintes, a fase de produção e de realização de um *workshop* de co-criação, a definição da melhor bicicleta a desenvolver e do melhor processo a seguir, justificando-se convenientemente. Por fim, aborda ainda a definição do segmento e do público alvo, apresentando-se, no final deste capítulo, a definição clara do problema a solucionar.

Capítulo 3: Fase 1 – Desenvolvimento do conceito

Ao longo deste capítulo estão identificadas as necessidades do utilizador, definidas as especificações ergonómicas e técnicas que o quadro terá que cumprir e, por último a geração e a seleção do conceito para o quadro.

Capítulo 4: Fase 2 – Análise do sistema

Neste capítulo é realizado o estudo de mercado dos componentes das bicicletas, a análise de viabilidade para a escolha final dos componentes e a modelação em 3D dos componentes selecionados. Neste capítulo é, ainda, selecionado o material a utilizar no quadro da bicicleta.

Capítulo 5: Fase 3 – Design detalhado

Ao longo deste capítulo apresenta-se todas as soluções encontradas para a realização do quadro, bem como as simulações estruturais realizadas para assegurar o cumprimento dos requisitos necessários. Apresentam-se, ainda, as versões iniciais e finais dos quadros realizados e as melhorias aplicadas. Por último, efetua-se uma análise e discussão de resultados.

Capítulo 6: Solução Final

Neste capítulo são apresentados os desenhos 2D e os *renders* da versão final e é realizada uma breve análise de custo associada ao quadro obtido.

Capítulo 7: Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste capítulo, apresentaram-se as principais conclusões retiradas com a realização desta dissertação, bem como a proposta de trabalhos futuros.

Capítulo 2

Fase 0: Planeamento

2.1 Introdução

Neste capítulo apresenta-se a fase 0 do desenvolvimento de um produto, abordando o mercado das bicicletas, a fase de produção e de realização de um *workshop* de co-criação, a definição do melhor conceito e processo da bicicleta a desenvolver e, por fim, a definição do segmento e do público alvo.

Salienta-se, mais uma vez, que, até à fase de escolha do processo de fabrico a adotar, o trabalho foi realizado em parceria com uma colega da IDEIA.M, que também estava a desenvolver a sua dissertação de mestrado.

2.2 Bicicletas

Quando se entra no universo da criação de novos produtos é essencial a habilidade em mergulhar no produto que se vai desenvolver, isto é, adquirir o máximo conhecimento sobre tudo que pode envolver este novo produto a ser realizado, da forma mais eficiente possível.

A bicicleta surgiu em meados do século XX, proveniente da necessidade humana de percorrer longas distâncias, utilizando menor esforço. Hoje em dia, apresenta-se como um dos meios de transporte mais populares em todo o mundo.

Este meio de transporte encontra-se tanto nas sociedades mais evoluídas como nas menos desenvolvidas, dada a sua capacidade de suprimir necessidades tão diferenciadas. O facto de ter baixos custos de utilização faz com que nos países carenciados seja o meio de transporte mais utilizado. Por sua vez, nos países mais desenvolvidos, o encorajamento à utilização de meios de transportes mais sustentáveis faz com que as bicicletas sejam, cada vez mais, um produto de interesse.

Contudo, a utilização da bicicleta não remete só para a vertente de transporte, tem também associada uma enorme componente ligada a atividade física e no lazer. Existe, deste modo,uma enorme variedade de bicicletas, dividindo-se em 2 grupos dentro da atividade física: bicicletas de desporto exterior e bicicletas de manutenção física estáticas no interior de ginásios e de estabelecimentos de atividade física.

As bicicletas, ao longo dos anos, têm evoluído não só ao nível de componentes como também do material utilizado nas mesmas, de acordo com as especificações necessárias, tendo em conta o ponto de vista do utilizador. Assim sendo, foi feita uma pesquisa intensiva de todos os tipos de bicicletas existentes, das suas vantagens e desvantagens e dos seus valores de mercado.

2.2.1 Mercado das bicicletas

Atualmente, existem diversos tipos de bicicletas, sendo um mercado que tenta colmatar as necessidades de todos aqueles que a utilizam. Desta forma, pode-se dividir as bicicletas em dois universos, as bicicletas desportivas e as urbanas, tendo ambas necessidades especificas distintas. De seguida, apresenta-se a distinção destes 2 grupos de bicicletas supramencionados.

Bicicletas desportivas

Existem dois tipos de desportos ligados às bicicletas, o desporto de montanha (BTT - bicicletas todo o terreno) e o ciclismo de estrada, com diferentes modalidades dentro de cada um. Relativamente ao desporto de montanha, existe o XC, *all mountain, enduro, downhill, fat bike, bmx*, e, em relação ao ciclismo de estrada, o performance, *touring*,

ciclocross e triatlo. Para cada uma destas modalidades o tipo de requisitos varia, sendo necessário um tipo de bicicleta diferente consoante a finalidade.

As bicicletas de ciclismo de estrada têm como principais requisitos o baixo peso, boa performance nas subidas e boa aerodinâmica para aumentar a velocidade atingida pelas mesmas. Por sua vez, as bicicletas de BTT têm como principais requisitos a elevada resistência ao impacto e a adaptação a terrenos irregulares.

Naturalmente o preço destas bicicletas varia drasticamente tal como é possível observar no Apêndice A.

Bicicletas urbanas

Ao longo deste capítulo serão consideradas bicicletas urbanas todas aquelas que não são utilizadas para desporto. Dentro das bicicletas urbanas encontram-se as bicicletas dobráveis, clássicas, elétricas, híbridas e, ainda, as de criança.

As bicicletas dobráveis podem ser de três tipos:de rodas pequenas, de *treking* e elétricas. A principal característica associada a este tipo de bicicletas é a facilidade com que se consegue guardá-las e transportá-las.

As bicicletas clássicas, também denominadas de *dutch*, muito utilizadas em contexto citadino e em sistemas de *Share Bike*, têm como principais vantagens a possibilidade de colocação de suportes para cargas e a utilização com qualquer tipo de roupa.

As bicicletas elétricas constituem um mercado que tem vindo a crescer cada vez mais nos últimos anos, tendo como grande vantagem a diminuição de esforço físico aplicada pelo utilizador da mesma.

As bicicletas híbridas destinam-se às pessoas que requerem uma bicicleta citadina mas que, ao mesmo tempo, precisam de uma bicicleta com resistência para ser utilizada em passeios por terrenos mais complicados.

As bicicletas de criança têm como principal dificuldade a adaptação do tamanho das mesmas ao crescimento brusco da crianças, sendo necessário existir vários modelos e dimensões para acompanhar o desenvolvimento físico das crianças.

No Apêndice B apresenta-se o estudo de mercado realizado das bicicletas urbanas,

onde é possível observar a oscilação de preços das mesmas.

2.2.2 Anatomia da Bicicleta

Uma vez que será desenvolvida uma bicicleta, considerou-se também relevante fazer uma breve contextualização sobre os componentes integrantes da mesma. Na Figura 2.1 apresentam-se representados alguns dos principais componentes de uma bicicleta. No entanto, importa referir que uma bicicleta não é constituída somente pelos elementos apresentados na figura seguinte, como se pode observar no Capítulo 4, sendo esta figura apenas para uma contextualização inicial.

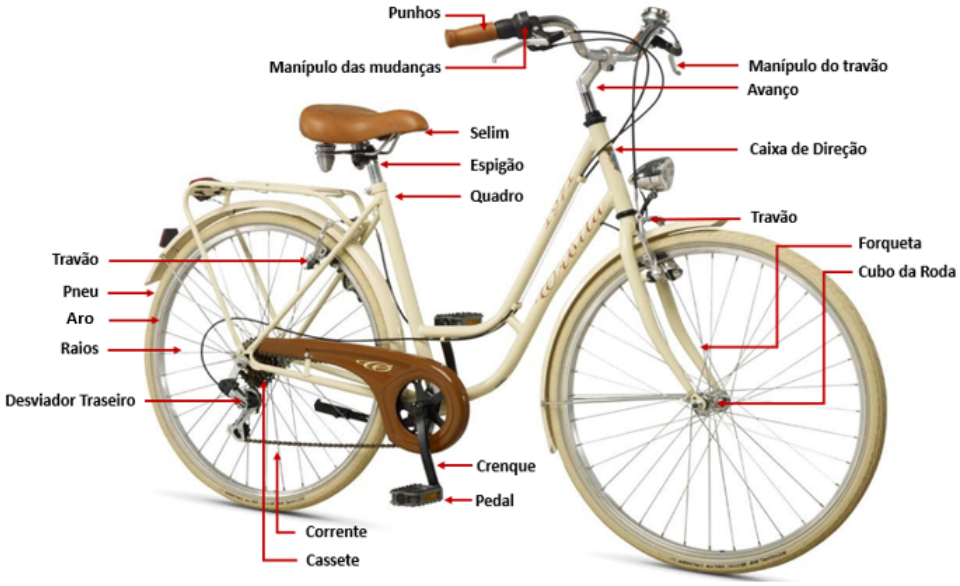


Figura 2.1: Anatomia de uma bicicleta - principais componentes.

2.3 Workshop de Co-criação

2.3.1 Preparação do *workshop*

Uma das técnicas mais utilizadas atualmente para desenvolvimento de novos produtos é o *Design Thinking*, como referido anteriormente. Nesta abordagem, uma das etapas

principais é o *workshop* de co-criação com o principal objetivo de gerar ideias, onde se promove a imaginação.

Um *Design Thinker* não tem necessariamente de ser um designer, uma vez que existem várias características que não se relacionam com a sua área de formação, até porque existem pessoas com queda natural para este tipo de pensamento (Brown, 2008). Dado que um engenheiro mecânico preza pela capacidade de ser um engenheiro polivalente, estas características não devem faltar à sua formação. Desta forma, um *Design Thinker* deverá ter:

- Empatia - habilidade em observar o Mundo e as suas necessidades, imaginando-o de múltiplas perspetivas;
- Pensamento integrador - não se focar somente nos processos analíticos (que produzem escolhas), mas tentar pensar no problema de outras formas;
- Otimismo - acreditar que, independentemente do desafio, a solução a encontrar será melhor que as previamente existentes;
- Experimentalismo - a inovação não deriva de ajustes a realidades já existentes, mas sim de abordagens aos problemas e restrições de forma criativa;
- Colaboração - trabalhar com equipas multifacetadas, onde a capacidade de trabalho em grupo é essencial.

Tendo estas características comportamentais em mente, iniciou-se a preparação prévia do *workshop*. Esta preparação consistiu na aquisição do máximo de informação sobre o assunto a ser discutido para que os participantes do *workshop*, que não se encontravam dentro do problema, pudessem ter informações suficientes para a geração de ideias.

A coletânea de informação recolhida focou-se em dois parâmetros, primeiramente realizou-se uma pesquisa visual - *mood boards* e, de seguida, uma compilação de diversos dados estatísticos sobre o universo das bicicletas.

Pesquisa Visual - *Mood Boards*

A realização da pesquisa visual para a criação de *mood boards* foi utilizada para que o orador do *workshop* conseguisse absorver o máximo de informação visual e tomasse conhecimento de tudo o que já existia referente a essa área, criando, assim, uma conexão com o produto a desenvolver.

Após interiorização do problema, por parte do orador, criaram-se, então, os *mood boards*. Estes são painéis visuais que conseguem transmitir emoções a todos aqueles a quem estes painéis seriam apresentados, com o principal intuito de provocar, aos mesmos, reações que suscitariam ideias que, de outra forma, não se lembrariam.

Destaca-se que estes painéis não são meras imagens colocadas ao acaso, mas imagens selecionadas e colocadas de forma coerente. Foi um processo que, na visão de engenharia, levou a algumas dificuldades, pois despertar emoções a outras pessoas é uma tarefa completamente fora da vertente de engenharia.

O facto do mercado das bicicletas ser tão abrangente, foi necessário subdividir por temas os *mood boards* criados. Só desta forma foi possível despertar interesse, focando em pontos distintos.

Os dois primeiros *mood boards* são relativos aos aspetos comportamentais dos utilizadores das bicicletas, sendo um deles relativo ao contexto urbano e o outro ao desportivo, tal como é possível observar nas Figuras 2.2 e 2.3, respetivamente.

À medida que se realiza a pesquisa tornava-se cada vez mais claro que as pessoas eram o foco de maior relevo na nossa pesquisa e que, se fosse possível colmatar as limitações associadas à utilização da bicicleta, poderia-se estar a desenvolver um produto de elevado interesse. Desta forma, os *mood board* posteriormente realizados tiveram como principal foco as limitações físicas das pessoas, Figura 2.4, bem como a ergonomia das pessoas aquando da utilização da bicicleta, Figura 2.5.

Tendo sido criados os *mood boards* referentes às pessoas e aos aspetos comportamentais das mesmas com as bicicletas, sentiu-se a necessidade de criar dois *mood boards* que não estivessem diretamente relacionados com as bicicletas, mas que pudessem servir de inspiração para o desenvolvimento da mesma. Assim sendo, foi criado um *moodboard*



Figura 2.2: *Mood Board* referente à utilização das bicicletas em contexto urbano, nomeadamente aspetos comportamentais e dificuldades enfrentadas.



Figura 2.3: *Mood Board* referente à utilização das bicicletas em contexto desportivo e de lazer.

Futurista que, através das imagens, pudesse contribuir na vertente de texturas, linhas ou formas da bicicleta a realizar, apresentado na Figura 2.6. Foi criado também um



Figura 2.4: *Mood Board* referente às limitações físicas das pessoas que podem ser impeditivas da utilização da bicicleta.



Figura 2.5: *Mood Board* referente à posição ergonómica das pessoas quando utilizam uma bicicleta.

mood board inspirado no *Commuting* um dos fenómenos de deslocamento urbano mais evidentes dos dias de hoje, apresentado na Figura 2.7.

Por fim, considerou-se também relevante desenvolver um quadro com todos os ma-

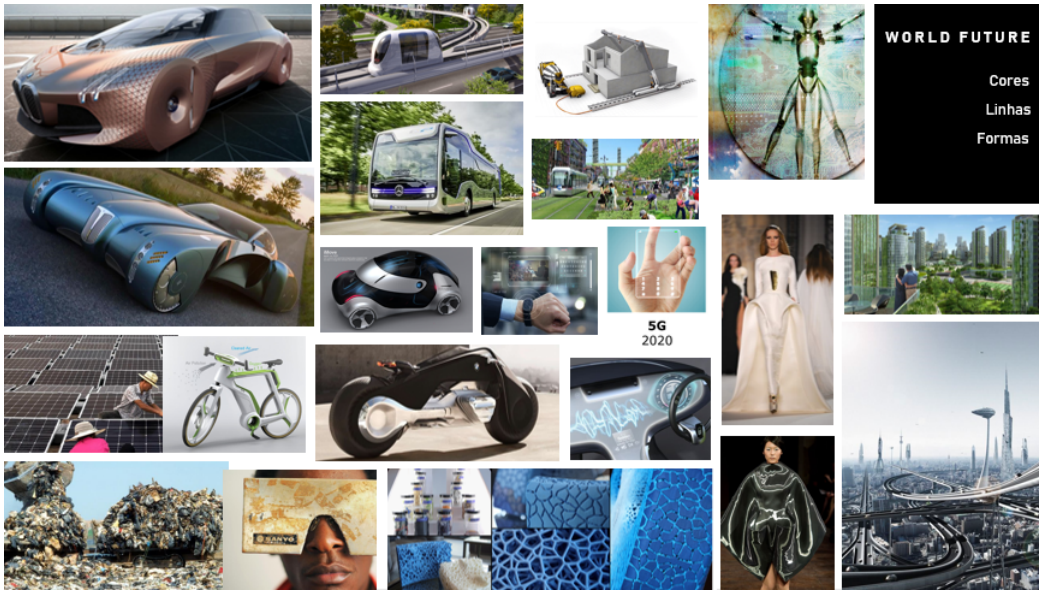


Figura 2.6: *Mood Board* referente a elementos de inspiração para o design de uma nova bicicleta.



Figura 2.7: *Mood Board* referente ao *Commuting*.

teriais já utilizados em bicicletas, tal como se pode ver na Figura 2.8.

Estes *moodboards* foram colocados nas paredes da empresa, como se pode ver na Figura 2.9, uns dias antes do *workshop*, com vista a suscitar o interesse por parte da

equipa à medida que passavam pelos mesmos.

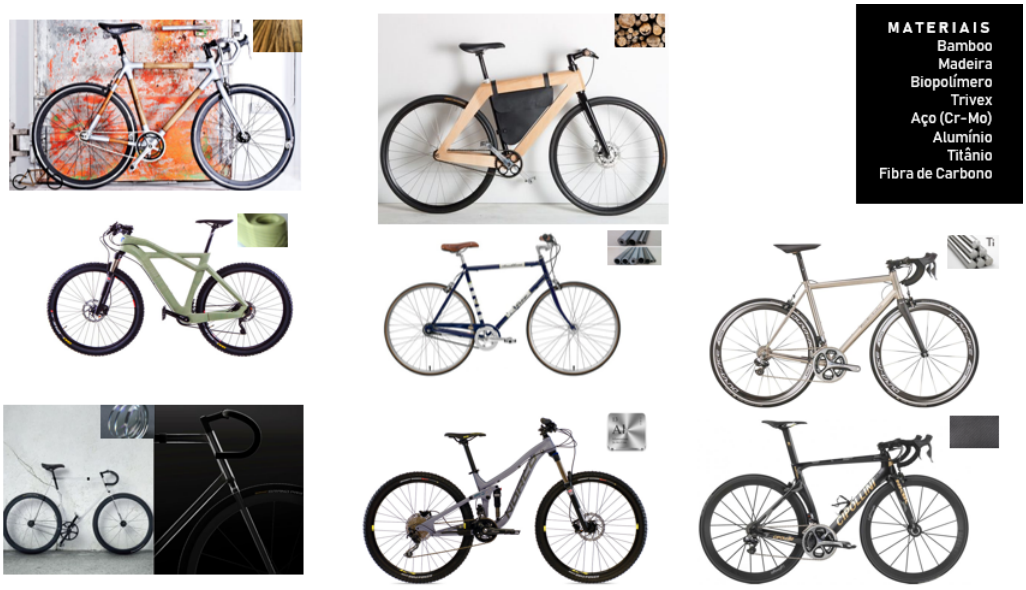


Figura 2.8: *Mood Board* referente aos materiais utilizados nos quadros das bicicletas.



Figura 2.9: *Mood Boards* na parede da empresa.

Compilação de informação relevante

Realizada a pesquisa de imagens para os *mood boards*, reuniram-se os dados estatísticos relevantes para apresentar aos restantes membros da equipa de forma a terem o máximo de informação relevante e, assim, contribuírem de forma eficaz na geração de ideias do *workshop*. A recolha da informação foi realizada para informar os participantes de possibilidades de público alvo.

Desta forma, foram feitas pesquisas sobre a percentagem de bicicletas vendidas e produzidas anualmente por país (Figura 2.10), verificando-se que existem países que não produzem o suficiente para o número de vendas e que, portanto, seriam uma ótima possibilidade para implementação de uma bicicleta, nomeadamente Alemanha, Reino Unido e França. Portugal, por sua vez, é exatamente o oposto, produzindo mais do que o que vende, sendo o reflexo da enorme indústria ligada às bicicletas. Este facto pode ser interpretado como uma vantagem em termos de produção de uma nova bicicleta, uma vez que já existem infraestruturas no país capazes de produzir, bicicletas em grande escala. Portugal, em 2016, foi o país Europeu que mais exportou na industria das bicicletas.

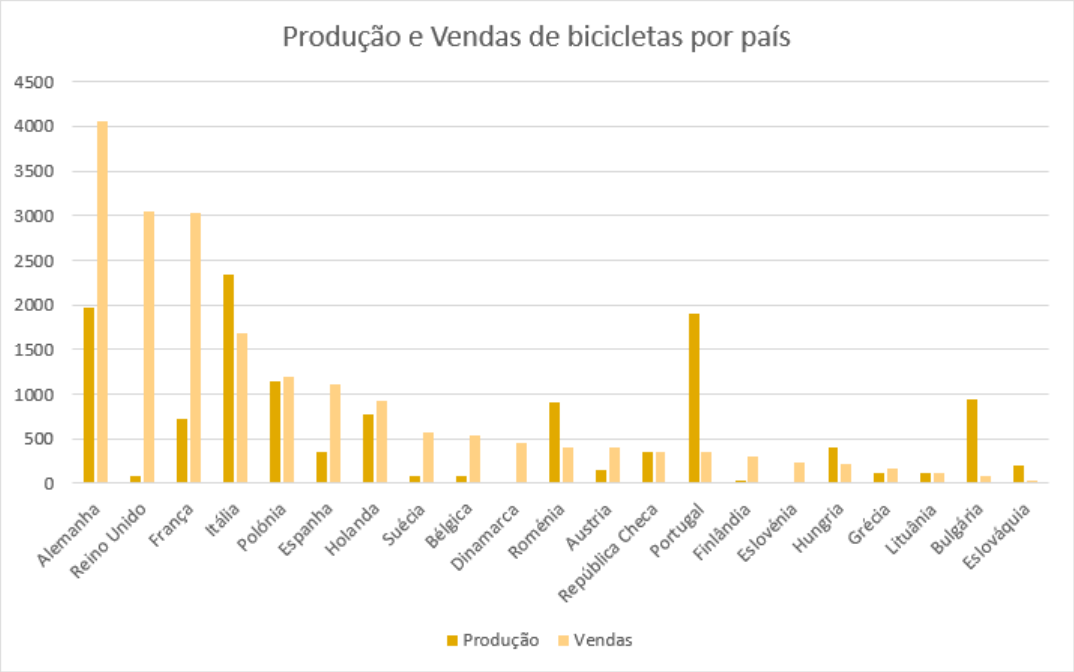


Figura 2.10: Produção e vendas de bicicletas, em 2016, por país da Europa. Adaptado de (Conebi, 2017).

Uma vez que se pretende implementar a bicicleta no mercado, é necessário ter uma noção dos preços das bicicletas praticados por cada país. Apesar destes valores serem influenciados pelo poder de compra de cada país, ainda assim é importante ter uma visão geral dos mesmos. Assim na Figura 2.11 pode-se observar o preço médio das

bicicletas por país em 2016.

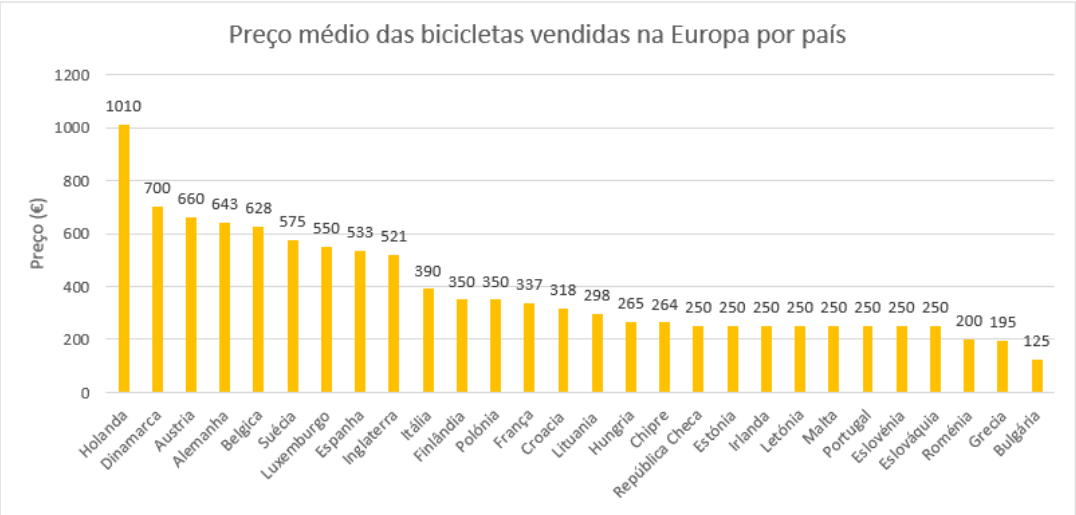


Figura 2.11: Preço médio das bicicletas vendidas na Europa por país, em 2016. Adaptado de (Conebi, 2017).

Considerou-se igualmente relevante apresentar a percentagem de bicicletas vendidas por segmento, como por exemplo bicicletas clássicas, de crianças, dobráveis, de montanha, de estrada, entre outras. Idealmente a percentagem que se deveria analisar seria relativa à União Europeia, no entanto, dada a dificuldade em obter dados estatísticos a nível europeu, estudou-se a venda apenas no Reino Unido. Salienta-se que, apesar de não ser correto o estudo dos dados estatísticos de um só país, como se pretende apenas colocar o público dentro de contexto, decidiu-se utilizar na mesma os dados. Estes dados podem ser observados na Figura 2.12.

Por último, ainda foram realizadas pesquisas que revelaram um crescimento acentuado do mercado das bicicletas elétricas nos, últimos anos, e a enorme expansão que o mercado do *bike sharing* têm vindo a demonstrar.

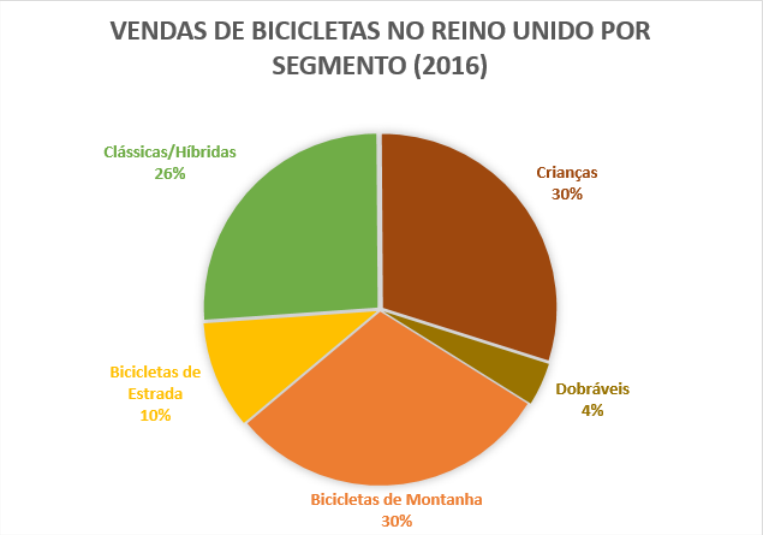


Figura 2.12: Vendas de bicicletas no Reino Unido por segmento, em 2016. Adaptado de (Riley, 2017).

Organização do *Workshop*

Com toda a informação recolhida e selecionada, foi necessário organizar a informação de forma lógica para que fosse possível, para todos os participantes, a geração de ideias de forma organizada e coerente.

Dado que o objetivo do *workshop* determinar o tipo de bicicleta que ia ser desenvolvido e, sendo este um mercado muito abrangente, tanto na viabilidade construtiva como na população abrangida, foi necessário criar um mapa de polaridades. Este permitiu que, durante a realização do *brainstorming* (explicado na secção 2.3.2), os participantes se pudessem focalizar em áreas mais especificas e não num mundo das bicicletas em geral. Desta forma foi pedido aos mesmos para identificaram no *brainstorming* as necessidades e oportunidades inerentes ao universo das bicicletas.

2.3.2 Durante o *workshop*

O *workshop* de ideação foi composto por duas partes: inicialmente foi fornecida a informação previamente recolhida a todos os participantes para se familiarizarem com

o problema e seguidamente realizou-se o *brainstorming carrosel* para a identificação de necessidades e oportunidades.

A primeira parte, foi dividida no mundo do desporto e da cidade, onde se apresentaram os seguintes tópicos:

Mundo do desporto

- Quais as bicicletas/modalidades que existem;
- Qual a cota de mercado;
- Quais as faixas etárias que praticam cada modalidade.

Mundo da cidade

- Quais as necessidades da população em se deslocar;
- Abordagem ao *bike sharing* e estudos relacionados;
- Quais os tipos de bicicletas que existem e quais os preços;
- Qual a cota de mercado.

O *brainstorming carrosel* é uma ferramenta utilizada em processos de ideação, onde todos os participantes na sessão são divididos por equipas (neste caso criaram-se 4 equipas) e têm 5 minutos para gerar ideias no sector do mapa de polaridades onde se encontrarem (neste caso existiram 4 polos: crianças,idosos,desporto e cidade).

O mapa de polaridades consiste na divisão de toda a informação em vários quadros de geração de ideias, tendo-se criado, portanto, 4 quadros distintos (desporto- crianças; desporto - idosos; cidade - crianças; cidade - idosos). As ideias geradas para cada quadro tinham um largo horizonte de aplicabilidade, uma vez que os participantes com o quadro crianças-cidade, por exemplo, podiam gerar ideias de pessoas até 30 anos num ambiente sem ser desporto mas num citadino mais rural.

O resultado final da geração de ideias utilizando o mapa de polaridades encontra-se na Figura 2.13. Na Figura 2.14 é possível observar a dinâmica criada durante a identificação das necessidades e oportunidades no *workshop*.



Figura 2.13: Mapa de polaridades.



Figura 2.14: *Workshop* de ideação.

Conclusões do *workshop*

Com a realização do *workshop* foram tomadas algumas decisões sobre o caminho a adotar no decorrer dos trabalhos. Essas decisões derivaram essencialmente do facto do

sector das bicicletas ser muito diversificado e que era necessário encontrar um foco que não tivesse ainda sido abordado.

Neste seguimento, surgiu o alvo principal de conceber um quadro de bicicleta por um processo de fabrico alternativo aos utilizados atualmente, com o intuito de se encontrar novas vantagens, seguindo-se a seleção de então todos os parâmetros como o público alvo e o segmento.

Deste modo, seguiu-se uma pesquisa mais intensiva sobre diversos tipos de processos de fabrico já utilizados e possíveis de vir a ser utilizados no mercado das bicicletas, apresentada no subcapítulo 2.4.

Quanto às restantes ideias recolhidas no mapa de polaridades, muitas delas serão novamente analisadas e implementadas na fase de desenvolvimento de conceito. Esta metodologia é, como já foi referida anteriormente, uma das características do *design thinking*, onde se aconselha fazerem-se pequenas retrospetivas ao trabalho já realizado para poder melhorá-lo.

Destaca-se ainda que, devido ao facto das equipas serem formadas por pessoas da área da engenharia mecânica e design, fez com que a abordagem aos problemas fosse mais abrangente e a troca de conhecimentos maior. Na Figura 2.15 é possível observar a dinâmica gerada na troca de ideias.



Figura 2.15: Discussão dos resultados do *workshop de ideação*.

2.4 Processos de fabrico de quadros de bicicleta

Nesta secção serão referidas as vantagens, as desvantagens, as especificidades e os materiais utilizados nos processos de fabrico de quadros de bicicletas tradicionais e possíveis processos alternativos que poderão ser utilizados na produção dos mesmos.

2.4.1 Processos tradicionais

Corte de tubos, dobragem e soldadura

Este conjunto de processos foi o primeiro a ser utilizado na produção de bicicletas e é, ainda hoje, o mais utilizado. Isto deve-se ao facto de ter como principais vantagens o baixo custo do processo e a capacidade de poder utilizar diversos tipos de materiais tais como aço, alumínio, titânio e magnésio, que fornecem ao quadro boas propriedades mecânicas.

A desvantagem deste processo consiste na necessidade de se utilizar vários processos na produção dos quadros. Primeiramente é necessário obter e cortar os tubos, seguidamente da-se a dobragem dos respetivos tubos com o formato pretendido e, por fim, é imprescindível um técnico especializado em soldadura para realizar os *gabaritos* de soldadura e as soldaduras em si.

Hidroformagem

É um processo de fabrico complexo que se insere dentro de um conjunto de técnicas de conformação plástica, onde as ferramentas usadas definem a parte exterior e a pressão elevada de um fluído é aplicada no interior dos tubos. A utilização desde processo é muito interessante em bicicletas em liga de alumínio ou em aços dúcteis.

A grande vantagem deste processo é de ser possível obter formas mais complexas dos quadros ou forquetas. No entanto, tem como desvantagem o facto de ser uma tecnologia recente e complexa, associada a um elevado custo (Ramalheira, 2008). Dado que este processo só confere formatos mais complexos aos tubos, é ainda necessário zonas de soldadura.

Integrated molding process

Este processo é utilizado na produção de quadros em plástico, especialmente termoendurecíveis, reforçados com fibra de carbono. Tem como principais vantagens a elevada resistência e a rigidez específica, o baixo peso, a possibilidade de controlar propriedades como a rigidez e a espessura em zonas especificas.

Contudo, a desvantagem deste processo reside na elevada componente manual que necessita, elevada complexidade do processo e a reduzida resistência ao impacto. Este processo apresenta ainda uma cadência baixa,e um custo do material elevado, sendo que a sua utilização está ligada a bicicletas de desporto, onde as especificações são mais exigentes e o preço atinge valores superiores (SCOTTSports, 2013).

2.4.2 Processos alternativos

Fundição Injetada

A fundição injetada é utilizada para materiais como alumínio, zinco, cobre, magnésio e estanho. É um processo que permite a obtenção de peças finas (2-2.5 mm), sendo apenas viável quando aplicado a grandes séries devido ao elevado custo das moldações. As peças apresentam baixa tenacidade e baixa ductilidade devido à presença de porosidades. A sua cadência é bastante elevada, representando esta uma enorme vantagem. Porém, tendo em conta as desvantagens do processo, concluiu-se que não seria uma boa hipótese a explorar, rejeitando-se este processo (Neto, 2017b).

Fundição em Coquilha

A fundição em coquilha apresenta valores de tenacidade e ductilidade superiores à fundição injetada, mas as espessuras mínimas são mais elevadas (4-5 mm), sendo vocacionada para ligas com baixo ponto de fusão como a de alumínio. É um processo que, de forma geral, originaria custos mais elevados, tendo-se também eliminado este processo (Neto, 2017a).

Embutidura

O processo de embutidura tem como grande vantagem poder realizar formas complexas e, ainda, poder utilizar chapas de diversos tipos de materiais (ligas de alumínio, aço, magnésio), sendo que a profundidade de embutidura dependeria evidentemente das propriedades do material selecionado.

No entanto, a desvantagem deste processo é a espessura do material ser constante, contrariamente ao que acontece no caso geral dos quadros das bicicletas, sendo esta uma das características que se altera para melhorar as propriedades do mesmo. Com a implementação deste processo obteria-se cadências elevadas de produção (Santos et al., 2005).

De um ponto de vista geral, este processo seria bastante interessante de explorar, pois não foi ainda muito desenvolvido no contexto de quadros de bicicletas e é um processo bastante utilizado na indústria automóvel. Para a montagem dos vários componentes seria necessário utilizar processo de soldadura.

Injeção de plásticos

O processo da injeção de plásticos tem como vantagens a produção de peças com formas muito complexas e a cadência de produção bastante elevada.

Este processo tem como desvantagens a impossibilidade de realizar paredes de espessura elevada, o custo elevado das ferramentas e o facto de depender do número de ocos e cavidades da peça (Thompson, 2007).

Este processo utilizaria materiais como termoplásticos ou termoplásticos reforçados com fibras curtas, algo que seria interessante de explorar numa visão de quadro de bicicleta, tendo algumas pesquisas sobre o mesmo já sido realizadas.

Superforming

Este processo traria como vantagem a possibilidade de produzir formas complexas com qualidade superficial elevada (Thompson, 2007). Contudo só seria possível utilizar

metais com micro estrutura super plástica, sendo esta claramente uma desvantagem demasiado significativa, impedindo, assim, a seleção do mesmo.

Termoformagem

Na termoformagem utilizam-se materiais como ABS, PET, PP, PC, HIPS, HDPE, PVC, PS, PA, o que seria uma abordagem interessante se o caminho fosse realizar um quadro num material plástico. Como vantagens deste processo encontra-se a elevada cadência, e a obtenção de peças grandes com boas propriedades físicas (Thompson, 2007). No entanto, este processo apresenta como desvantagem a dificuldade na realização de formas complexas e profundas, que teria de ser combatida no design no quadro, caso este processo fosse escolhido. Para a montagem final seria necessário utilizar o processo de soldadura que, para plásticos, é complexo.

2.5 Escolha do processo Embutidura

Feita a análise a todos os processos possíveis de utilizar, a escolha incidiu sobre a possibilidade de converter uma tecnologia que está a ser aplicada na industria automóvel à industria das bicicletas, isto é, embutir um quadro de bicicleta numa liga de alumínio.

Esta escolha proveio também do interesse da empresa em estudar um campo ainda pouco explorado e, ainda, porque a ideia do quadro em injeção de plástico iria ser explorada por uma colega.

2.6 Definição de segmento e publico alvo

Neste momento, foi possível definir os fatores diferenciadores: público alvo e segmento da bicicleta a realizar.

Definição de publico alvo

Após o *workshop* e em conjunto com o orientador da IDEIA.M, acordou-se que talvez o melhor caminho seria ir para um público alvo mais abrangente uma vez que só faria

sentido utilizar o processo de embutidura para uma produção a larga escala dos quadros.

Foi então realizada uma análise aos países que tinham maior percentagem de ciclistas para encontrar então um possível mercado alvo. Como é possível observar na Figura 2.16, os países com maior percentagem de ciclistas encontram-se na Europa central e no norte da Europa. Desta forma, como Portugal é um país da União Europeia, onde se encontram os países com maior percentagem de ciclistas *per capita*, tornou-se evidente que a adoção deste mercado seria a escolha mais acertada (BradLaybourneLaw, 2015).

	CYCLISTS (% of pop.)	SQUARE MILES (sq. mi.)
Nethelands	99.1% cyclists	16,033 sq. mi.
Denmark	80.1% cyclists	16,562 sq. mi.
Germany	75.8% cyclists	137.847 sq. mi.
Sweden	63.7% cyclists	175.896 sq. mi.
Norway	60.7% cyclists	148,718 sq. mi.
Japan	56.9% cyclists	145,925 sq. mi.
Finland	60.4% cyclists	130,596 sq. mi.
Switzerland	48.8% cyclists	15,940 sq. mi.
U.S.A.	34% cyclists	3,805,927 sq. mi.

Figura 2.16: Percentagem de ciclistas por país (BradLaybourneLaw, 2015).

Definido o mercado a explorar, foi necessário decidir qual a faixa etária pretendida para colmatar as necessidades. Mais uma vez, o critério foi selecionar a faixa etária com maior número de utilizadores, recorrendo a dados estatísticos. De acordo com o EUROSTAT, mais de 30% da população europeia encontra-se entre os 16 e os 50 anos, tornando-se esta a faixa etária do público alvo (Commission, 2017b).

Uma vez que o número de mulheres a utilizar bicicletas tem vindo a aumentar na Europa, tendo como exemplo a Dinamarca onde 53% dos ciclistas são mulheres, foi feita a opção de realizar uma bicicleta que tivesse em conta as necessidades das mesmas (Aldred et al., 2016). Contudo, dado que, nos dias de hoje, a sociedade incute cada vez mais a não divisão de géneros, optar por uma bicicleta que consiga colmatar as necessidades das mulheres sem as tornar exclusivas para este sexo foi um dos requisitos a ter em conta. Assim, além desta opção estar de acordo com a realidade de géneros,

é, em termos empresariais, uma vantagem económica, pois permite um maior volume de vendas já que aumenta o público alvo.

Definição de segmento

Com a informação recolhida no *workshop*, tornou-se evidente que, tendo em conta que se iria utilizar um processo de fabrico alternativo, quanto menos requisitos específicos a bicicleta tivesse, mais provável seria tornar o projeto viável, uma vez que a IDEIA.M não é uma empresa especializada em bicicletas. A acrescer a esse fator, os países do público alvo escolhido têm uma grande utilização, como meio de transporte para o trabalho, a bicicleta (Commission, 2017a). Assim sendo, o segmento de bicicletas citadinas foi o escolhido.

A empresa decidiu ainda que a bicicleta deveria ter rodas de diâmetro 28" (0.7112 m) e que deveria ser uma bicicleta não desdobrável.

Escolhido o mercado de bicicletas citadinas, foi necessário escolher a gama de valores em que a bicicleta estaria inserida. Foi feita uma pesquisa sobre o valor médio das bicicletas de cidade na Europa, contudo o único dado estatístico fornecido gratuitamente era referente à França, representando um valor médio de 230 euros (Statista, 2018). A opção da empresa foi selecionar um preço de venda na ordem dos 250 euros, o que em termos de custo de produção representa cerca de 1/4 deste valor, chegando-se a um valor de cerca de 70 euros para a produção da bicicleta. Destaca-se que na Figura 2.11 apresenta-se o preço médio de todas as bicicletas por país, no entanto, nesta fase, apenas é relevante o preço das bicicletas citadinas, tal como já foi explicado. Assim sendo, o preço dos 2 estudos não coincidem e, para o presente caso, foi só mesmo utilizado a informação sobre França.

É também importante referir que, apesar de na pesquisa de dados estatísticos revelar-se que o mercado de partilha de bicicletas se encontra elevado crescimento a nível mundial, a opção da empresa não recaiu sobre isso, uma vez que já tinha desenvolvido projetos nessa área, estando agora mais interessada no mercado privado.

2.7 Definição do problema

Dada a limitação de tempo associada ao desenvolvimento deste projeto, decidiu-se que só se iria desenvolver o quadro, sendo que os restantes componentes seriam adquiridos conforme a sua existência no mercado.

Nos pontos abaixo apresentados é possível observar as especificações iniciais obtidas para a definição do problema.

Descrição do produto

- Bicicleta para utilização em meio citadino.

Benefício Proposto

- Utilização do processo de embutidura, massificando a produção dos quadros e reduzindo o custo final.

Objetivos principais do negócio

- Competir com as bicicletas na gama de preços apresentada, reduzindo o número de operações, aumentando, desta forma, a cadência de produção.

Caracteristicas a cumprir

- O quadro tem que ser capaz de resistir às condições atmosféricas adversas;
- O processo deverá reduzir o custo do quadro ou o tempo de produção do mesmo;
- O produto deve promover a utilização da bicicleta no quotidiano das pessoas.

Mercado primário e secundário

- Mercado primário: mulheres na faixa etária dos 16-50 anos, do centro e norte da Europa;

- Mercado secundário: homens e mulheres do mundo inteiro que se identifiquem com a bicicleta criada.

Stakeholders

- Lojas de retalho de material desportivo de preço médio/baixo;
- Lojas de bicicletas citadinas;
- Utilizadores de bicicletas.

Capítulo 3

Fase 1: Desenvolvimento

3.1 Introdução

Ao longo deste capítulo serão abordadas todas as fases para o desenvolvimento da bicicleta, nomeadamente a identificação das necessidades, a identificação das especificações e a geração de conceitos.

3.2 Identificação das necessidades

Definido o produto a desenvolver, passa a ser necessário identificar e prever as possíveis necessidades que o produto terá de colmatar, tendo em conta os requisitos do utilizador.

Para esta identificação podem ser utilizados muitos processos. No caso da presente dissertação, foram utilizados os dados do *brainstorming* carrossel obtido no *workshop*, conjugados com a avaliação de produtos existentes e a pesquisa sobre necessidades do utilizador. Destaca-se ainda que poderiam ter sido realizados inquéritos, mas tendo em vista que o principal objetivo do trabalho era conseguir desenvolver um quadro para o processo de embutidura, a empresa considerou que a realização de inquéritos não iria acrescentar grande valor, tendo em conta o tempo de espera para os resultados dos mesmos.

Análise dos quadrantes do *brainstorming* carrossel

Uma vez que o segmento adotado foi o de bicicletas citadinas, para a fase da identificação das necessidades utilizou-se a informação recolhida no *brainstorming* relativa aos dois quadrantes que envolviam a cidade, apresentados na Figura 3.1. Foi, então, necessário selecionar a informação que pudesse ser relevante, tendo em conta a faixa etária do nosso público alvo e o facto de ser uma bicicleta não desdobrável e não elétrica.



Figura 3.1: Respostas nos quadrantes referentes à cidade.

Da analise dos quadrantes supramencionados, retirou-se a informação apresentada na Tabela 3.1, avaliada a sua importância com uma escala de 1 a 5, sendo 5 a nota máxima.

Tabela 3.1: Importância das necessidades.

Características	Importância
Custo baixo ou moderado	5
Bicicleta fácil de transportar crianças/ carga	5
Bicicleta leve	5
Sistema de iluminação	5
Assento confortável	5
Equipamento seguro com aspeto "normal"	4
Proteção para não sujar a roupa	4
Local para guardar capacete	3
Costumização personalizada de cor	2
Sistema de aloquete mais seguro	2
Sistema de GPS	2

Tendo em conta a análise anteriormente feita nos *mood board* comportamentais, tornou-se evidente a vantagem de um quadro rebaixado na utilização da bicicleta em contexto citadino, nomeadamente o facto de facilitar a utilização de uma maior diversidade de peças de roupa e permitir ao utilizador maior facilidade em entrar na bicicleta.

Em suma, analisando as necessidades do nosso público alvo, optou-se por uma bicicleta de quadro rebaixado, com possibilidade de colocar um cesto para suporte de carga, com um estilo de design bastante neutro possibilitando assim a utilização de qualquer pessoa (não sendo exclusiva de um género nem para uma faixa etária muito estreita).

3.3 Identificação das especificações

Antes da realização da geração de conceitos é necessário explorar todas as especificidades que devem ser cumpridas pelo produto, nomeadamente as especificações ergonómicas, tendo em conta as necessidades do utilizador, e as especificações técnicas, relacionadas com as propriedades mecânicas e estruturais que devem ser cumpridas pela bicicleta e com as propriedades do processo de embutidura.

3.3.1 Especificações Ergonómicas

As especificações ergonómicas de uma bicicleta já estão definidas, sendo que, apesar de variarem ligeiramente de marca para marca, apresentam sempre uma certa concordância. Desta forma, foi feita uma pesquisa sobre os tamanhos das mesmas, observando-se que os tamanhos de quadro variam de acordo com a altura da pessoa que vai utilizar a bicicleta.

Dado que o público alvo principal são mulheres da Europa central e norte, realizou-se uma pesquisa sobre a altura média das mesmas para se determinarem as medidas ergonómicas que o quadro teria de cumprir. De acordo com a Figura 3.2, a altura média das mulheres referentes ao mercado selecionado varia entre 1.625 m a 1.699 m, representando-se a vermelho os países de referência.

Seguidamente, optou-se pelo modelo de tamanhos da marca *ORBEA*, porque era a marca que fornecia mais informações sobre as medidas necessárias para o estilo de quadro rebaixado com tamanho de roda 28" (0.7112 m) (ORBEA, 2018). Como é possível observar no Apêndice C, a gama das alturas selecionadas insere-se entre o tamanho S e M , tendo-se optado pelo tamanho M, pois possibilita uma maior utilização por parte do sexo masculino, garantindo o estilo neutro já mencionado na dissertação.

Ainda no Apêndice C é possível consultar as dimensões de referência mais importantes relativas ao quadro.

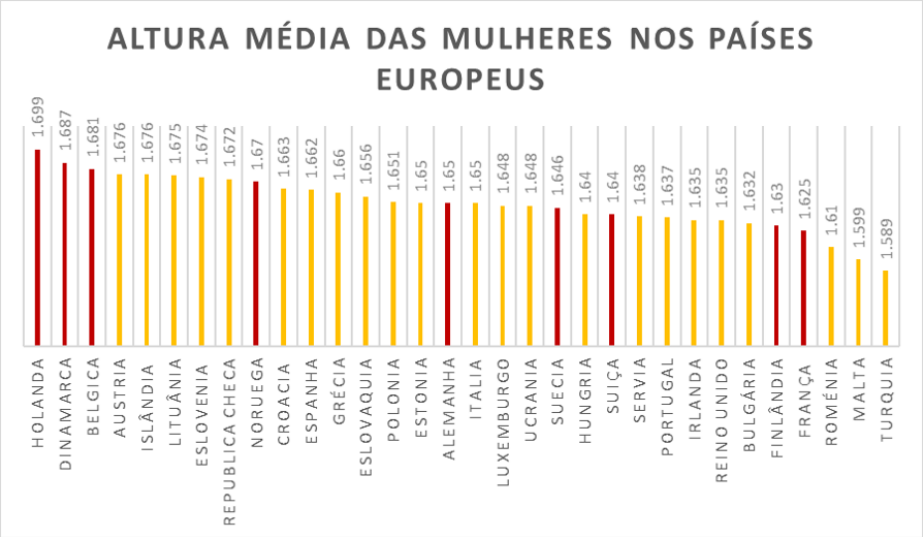


Figura 3.2: Altura média das mulheres nos países europeus. Adaptado de: (Height, 2018).

3.3.2 Especificações técnicas

Normas legais

Os quadros de uma bicicleta, tipicamente, têm dois critérios que devem cumprir:

1. Devem possuir uma resistência mecânica suficiente para aguentar esforços pontuais de elevado valor e resistência à fadiga suficiente para ter uma durabilidade longa para o uso normal da mesma;

2. O nível de deformação deve encontrar-se entre valores pré-determinados para que o quadro absorva o mínimo possível de energia proveniente do pedalar do ciclista.

Assim, para que uma bicicleta seja inserida no mercado, existe uma série de requisitos legais que estas devem cumprir, estando definidos pelas Normas Europeias ISO 4210:2014(E)(2014). Estas normas têm diversos requisitos a cumprir, mas, tendo em conta que só se altera o quadro e que todos os outros componentes serão comprados separadamente, apenas é relevante o cumprimento das normas referentes ao quadro.

Um quadro de bicicleta e a forqueta têm de respeitar cinco testes, sendo que para cada teste existem parâmetros a cumprir, de acordo com o tipo de bicicleta (neste caso bicicleta citadina). Dado que a forqueta a utilizar não será desenvolvida pela empresa, dos cinco testes, só três é que serão realizados, o ensaio à fadiga com força vertical aplicada, o ensaio à fadiga com as forças exercidas ao pedalar e o ensaio à fadiga com força horizontal aplicada.

Os ensaios da norma serão apresentados no Capítulo 7, acompanhados dos resultados das simulações realizadas no *software Solidworks Simulation*.

Regras de design para embutidura

Na construção de um produto, seja qual for o processo de fabrico utilizado, é necessário ter em consideração as respetivas regras de design para o processo selecionado.

Como se pretende realizar o quadro com o processo de embutidura, em primeiro lugar, é necessário ter informações sobre as operações possíveis de realizar com este processo de fabrico. É ainda importante ter em conta que o retorno elástico no processo de embutidura é bastante elevado quando se utiliza chapa de alumínio. Por outro lado, nos parâmetros de design de peças estampadas nos automóveis, um dos requisitos a ter em consideração é a rigidez à flexão. Sabendo que o módulo de elasticidade do alumínio (70 GPa) é cerca de um terço do aço (210 GPa), todas as secções que eram previamente realizadas em aço, têm de sofrer alterações para que consigam atingir a mesma rigidez. Para melhorar a rigidez do alumínio pode-se optar por aumentar o momento de inércia, usar nervuras ou aumentar as espessuras. Para as chapas das portas

ou partes estruturais dos automóveis a espessura em alumínio deve ser aumentada num fator de 1.45 relativamente ao aço (Mao and Altan, 2013). Desta forma, caso o objetivo do trabalho fosse realizar um quadro da bicicleta exatamente com o mesmo formato dos quadros convencionais em tubos de aço, seria suficiente aumentar a espessura da chapa para que este funcionasse. No entanto, o objetivo deste trabalho é também fazer um design diferente, tal como mensionado ao longo da dissertação.

O processo de embutidura é caracterizado por obtenção de peças ocas por deformação plástica de chapas planas. Com este processo é possível obter peças cilíndricas, cónicas, parabólicas, esféricas, retângulares, ovais e, ainda, peças complexas (que será o caso do quadro a realizar) (Santos et al., 2005). É de referir que, como o quadro não irá ter um formato convencional, o processo de análise da embutidura terá de ser feito através de um processo iterativo de simulações estruturais.

No entanto, não esquecer que o próprio processo de embutidura esta associado a uma série de regras de traçado que devem ser respeitadas. Na realização de dobragens, não é possível realizar arestas vivas. Quando se pretende uma zona plana a seguir a uma dobragem, é necessário colocar uma pequena abertura para que não se forme um rasgo, tal como é possível de visualizar na Figura 3.3.

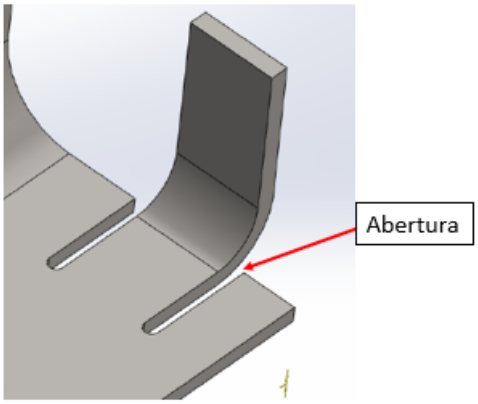


Figura 3.3: Aberturas para evitar concentração de tensões e posteriores rasgos.

No que diz respeito ao aumento da rigidez das peças, pode-se optar por criar saliências nas zonas internas das peças ou, no caso de furos, realizar alguns colares ou

rebordos, como é possível observar na Figura 3.4.

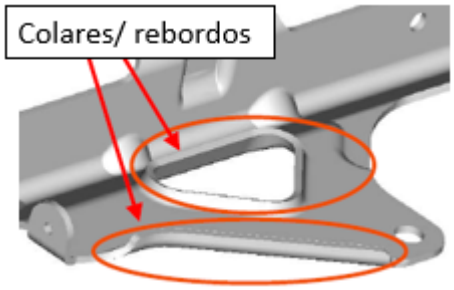


Figura 3.4: Colares nas zonas de abertura.

A profundidade de embutidura possível de realizar na chapa depende da espessura da chapa, dos raios interiores de curvatura, da altura e do diâmetro da peça final. Um outro cuidado a ter nas peças embutidas é a possibilidade de formação de pregas ou rugas provocadas por tensões tangenciais de compressão, evitando-se estes fenómenos com pequenos entalhes, como se pode ver na Figura 3.5.

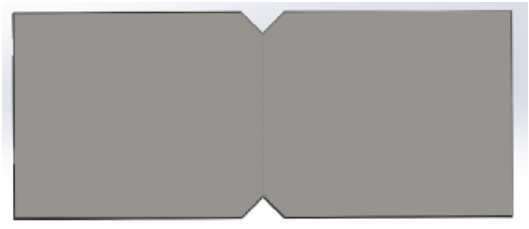


Figura 3.5: Entalhes para aliviar tensões.

Ainda numa peça de embutidura, deve-se ter em consideração o efeito de *springback*, caracterizado pelo ligeiro retorno que uma peça embutida sofre após o processo. Existem, no entanto, algumas formas de contornar este efeito, nomeadamente a realização de pequenos recortes nos cantos das dobras, apresentado na Figura 3.6.

No que diz respeito à realização de furos, existem 5 critérios a cumprir:

1. O diâmetro mínimo deverá ser duas vezes o valor da espessura da chapa;

2. A distância mínima entre as laterais de dois furos deverá ser duas vezes a espessura da peça;

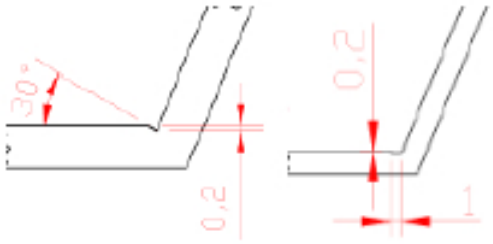


Figura 3.6: Recortes para diminuir o efeito de *springback*.

3. A distância mínima entre a lateral de um furo e a borda da chapa deverá ser 1.5 vezes a espessura da chapa ;

4. Para furos não redondos, se o comprimento dos mesmos for 10 vezes maior que a espessura, a distância mínima à borda deverá ser 4 vezes a espessura da chapa, caso contrario deverá ser 2 vezes a espessura da chapa;

5. Os furos perto de uma dobragem devem estar a uma distância mínima de 2.5 vezes a espessura mais o raio da dobra.

As distâncias mínimas anteriormente referidas estão esquematizadas na Figura 3.7.

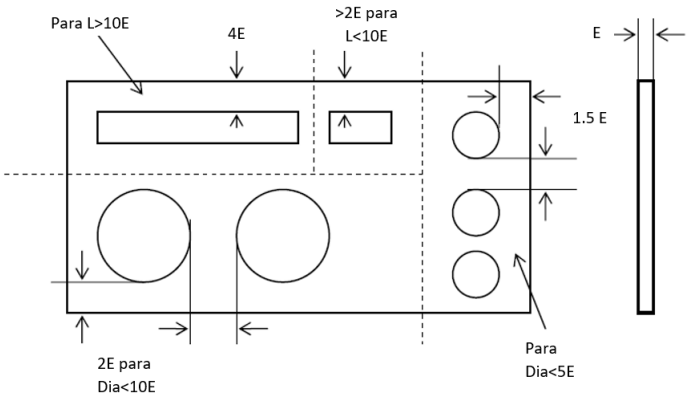


Figura 3.7: Distâncias mínimas para a realização de furos.

3.3.3 Geração de conceitos

Com a informação recolhida sobre todos os requisitos que o quadro da bicicleta teria que cumprir, iniciou-se a fase de geração de conceitos. Nesta fase, foram realizados diversos esquissos com diferentes abordagens ao design do quadro, tendo sempre em consideração as regras de design para a embutidura.

Inicialmente, foram realizados alguns esboços individualmente, sem a presença da equipa da IDEIA.M. Para esta ideação, considerou-se como ponto de partida a realização de duas meias peças que, posteriormente, seriam encaixadas uma na outra.

No entanto, esta abordagem trouxe mais um problema para análise: como é que os diversos componentes do quadro se iriam encaixar. Deste modo, foi realizada uma pesquisa de métodos de encaixe das chapas de liga de alumínio.

Para a realização desta pesquisa, analisou-se novamente indústria automóvel e a forma como esta fazia a ligação dos componentes. Dado que se irá utilizar a liga 6022, como será visto no Capítulo 4, a pesquisa, focou-se mais nas formas de ligação utilizadas para esta liga, podendo ser ligada através de soldadura ou rebites auto-furantes, ligação por adesivos ou rebitagem (ALCOA, 2012).

O tipo de soldadura mais usado nas ligas de alumínio é a soldadura TIG, podendo também a soldadura MIG ser utilizada. Um dos grandes cuidados a ter com a soldadura da liga de alumínio é a necessidade de remover a camada de óxidos existente antes de se iniciar o processo, para que esta não provoque inclusão de óxidos, o que diminui a resistência e prejudica o aspeto estético da soldadura. A soldadura por pontos também não é fácil de realizar em ligas de alumínio, precisamente devido ao problema anteriormente frisado sobre a presença de óxidos na superfície (Mota, 2016).

Contudo, uma forma de superar este obstáculo, é realizar-se um pequeno furo, no local do suposto ponto de soldadura e inserir-se um pequeno cordão de soldadura, no local do furo. Com este método, fica, então, possível realizar a bicicleta em aço, já que se poderia usar a soldadura por "pontos". Este tipo de procedimento faz com que num dos lados exista a marca do cordão e no outro não. Porém, pode-se utilizar este fator como parte do design, através de um detalhe pensado esteticamente.

Relativamente aos adesivos e as uniões mecânicas, muitas vezes estes são utilizados simultaneamente. Dentro das uniões mecânicas, encontram-se os rebites ou a dobragem das chapas.

Considerando, então, todos estes parâmetros, obtiveram-se algumas soluções construtivas, representadas na Figura 4.9. No decorrer do pensamento destas soluções, alguns problemas foram surgindo, nomeadamente se seria possível realizar a embutidura de alguns encaixes, uma vez que alguns poderiam estar numa posição que seria necessário a utilização de bastantes etapas para conseguir o formato desejado.

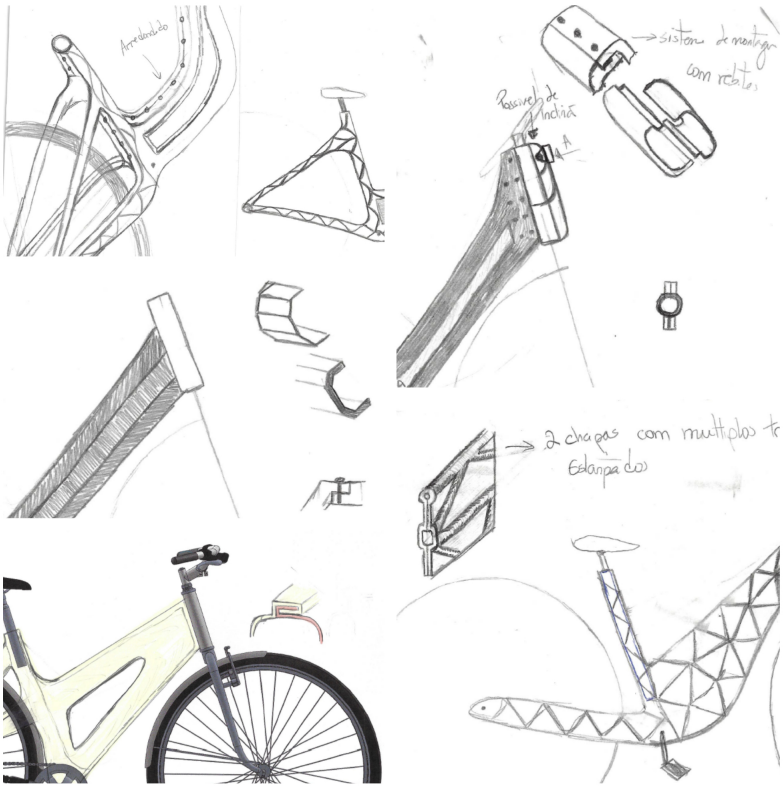


Figura 3.8: Soluções construtivas de encaixes.

Posteriormente, realizou-se uma sessão de ideação com alguns designers da empresa, onde se obtiveram quadros interessantes, como é possível observar no Apêndice D. Dos design gerados e após discussão com a empresa, selecionou-se um quadro com uma abordagem diferente das já existentes, uma vez que não iria ser utilizado o plano de

apartação correspondente ao plano de simetria do quadro. Em vez disso, ir-se-ia realizar uma embutidura para a parte superior e outra para a parte inferior, sendo unidos na roda traseira e no tubo do guiador. Na Figura 3.9 está representado o quadro selecionado, onde a parte superior tem a forma de U virada para baixo, e a parte inferior a forma de V virado para cima .

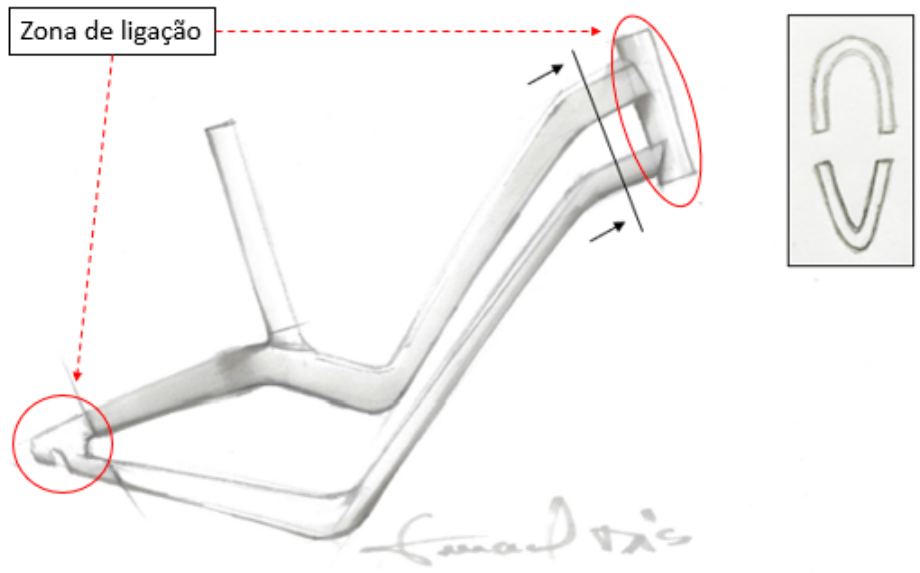


Figura 3.9: Quadro selecionado.

Esta escolha de conceito gerou alguma controvérsia, uma vez que era notável que o quadro, por ter estruturas abertas não tubulares, não iria ter capacidade para cumprir os requisitos necessários para suporte das cargas,levando ao aparecimento de zonas de arestas que poderiam acarretar perigo para o utilizador. No entanto, decidiu-se experimentar esta abordagem e tentar solucionar de alguma forma os problemas que surgissem.

Capítulo 4

Fase 2: Análise do Sistema

4.1 Introdução

Neste capítulo é efetuada a análise do sistema, isto é, a determinação e o estudo, mais detalhado, de alguns parâmetros envolvidos na conceção de uma bicicleta.

Desta forma, primeiramente é efetuada uma análise e seleção da liga, seguindo-se o estudo mais minucioso dos parâmetros relacionados com os componentes das bicicletas. Como se sabe, uma bicicleta é constituída por diversos componentes, existindo várias diferenças entre eles, diferenças estas que influenciam as características finais da bicicleta e o preço. Foi realizado um breve estudo de mercado a estes componentes, tendo em conta as características que melhor se adequam ao produto em questão. No final da pesquisa, foi adquirida pela empresa uma bicicleta com os componentes selecionados, como se verá adiante.

Por fim, realizou-se a modelação de todos os componentes no *software Solidworks*, com o objetivo de apresentar a bicicleta completa.

4.2 Análise do Material

4.2.1 Ligas de alumínio na indústria automóvel

O processo de embutidura de chapa de aço já é utilizado há muitos anos na indústria automóvel, contudo tem-se assistido a uma maior evolução desta tecnologia, aplicada, agora, em ligas de alumínio. Esta nova abordagem à embutidura de ligas de alumínio foi despoletada, essencialmente, pela vontade da sociedade global em solucionar o conflito de mobilidade pública e privada, eficiência ambiental e emissão crítica de CO_2. Para solucionar estes problemas, a industria automóvel sentiu a obrigação de alterar o design dos automóveis, passando por reduzir o peso dos mesmos, uma vez que, por cada 100 kg de peso retirado a um automóvel, consomem-se menos 9 gramas de CO_2 por quilometro (Hirsch, 2011).

As ligas de alumínio mais utilizadas na indústria automóvel, nomeadamente nos paineis dos automóveis e nos componentes estruturais, são as ligas da série 5xxx e 6xxx, estanto as composições das mesmas apresentadas nas Tabelas 4.1 e 4.2 . As ligas sem tratamento térmico AlMg(Mn) da série 5000, endurecidas por solução sólida de magnésio no alumínio, demonstram uma boa combinação de formabilidade e resistência. As ligas com tratamento térmico AlMgSi da série 6000 apresentam a resistência necessária através de tratamento térmico de endurecimento estrutural. Além das ligas mencionadas, são ainda utilizadas outras ligas de alumínio na indústria automóvel, contudo não são em peças obtidas por embutidura, mas sim por fundição, não sendo, então, relevantes para o presente trabalho.

Na construção de um automóvel, as ligas dos componentes estampados variam conforme o local onde vão ser aplicados, dado que têm requisitos distintos. Os componentes da parte interior do carro necessitam de boas propriedades de estampagem profunda e de soldabilidade. Por sua vez, as que se encontram na parte exterior do automóvel terão de ter boas propriedades anti corrosão, boa qualidade superficial e elevada resistência à corrosão após pintura (Cantor et al., 2008).

Nas Tabelas 4.3 e 4.4 estão apresentadas algumas das propriedades mecânicas das

Tabela 4.1: Composição química em percentagem das ligas utilizadas em painéis dos automóveis - segundo a AA (*Aluminium Association*) (Altan and Tekkaya, 2012). Os valores individuais representam os valores máximos

Ligas	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
AA5022	0,20	0,4	0,2 - 0,5	0,2	3,5 - 4,9	0,1	0,3	0,1
AA5023	0,25	0,4	0,2 - 0,5	0,2	5,0 - 6,2	0,1	0,3	0,1
AA5182	0,25	0,35	0,15	0,2 - 0,5	4,0 - 5,0	0,1	0,3	0,1
AA5052	0,25	0,25	0,1	0,1	2,2 - 2,8	0,15 - 0,35	0,1	-
AA6022	0,8 - 1,5	0,05 - 0,2	0,01 - 0,11	0,02 - 0,1	0,45 - 0,7	0,1	0,3	0,2
AA6016	1,0 - 1,5	0,5	0,2	0,2	0,25 - 0,6	0,1	0,2	0,2
AA6111	0,7 - 1,1	0,4	0,5 - 0,9	0,15 - 0,45	0,5 - 1,0	0,1	0,2	0,1

Tabela 4.2: Composição química em percentagem das ligas utilizadas em componentes estruturais - segundo a AA (*Aluminium Association*) (Altan and Tekkaya, 2012). Os valores individuais representam os valores máximos

Ligas	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
AA5052	0,25	0,25	0,1	0,1	2,2 - 2,8	0,15 - 0,35	0,1	-
AA5182	0,25	0,35	0,15	0,2 - 0,5	4,0 - 5,0	0,1	0,25	0,1
AA5454	0,25	0,4	0,1	0,5 - 1,0	2,4 - 3,0	0,05 - 0,2	0,25	0,2
AA5154	0,5	0,5	0,1	0,5	3,1 - 3,9	0,25	0,2	0,2
AA6061	0,4 - 0,8	0,7	0,15 - 0,4	0,15	0,8 - 1,2	0.04 - 0,35	0,25	0,15

ligas utilizadas em embutidura na indústria automóvel e na produção de quadros de bicicletas em alumínio. Nas tabelas é, então, possível observar os valor da tensão de rotura, σ_R, da tensão limite elástico, σ_e, de extensão após rotura, A, do coeficiente de encruamento, n, e do índice de anisotropia, r, para diferentes estados metalúrgicos.

Tabela 4.3: Propriedades mecânicas das ligas de alumínio utilizadas em estampagem na industria automóvel segundo a *Aluminium Association AA* (Altan and Tekkaya, 2012) (Davies, 2012)

Nos painéis	σ_R (MPa)	σ_e (MPa)	$A(\%)$	*valor-n*	*valor-r*	T.T.
AA5022	275	135	28	0,34	0,70	O/H111
AA5023	285	130	29	0,7	0,36	O/H111
AA5182	270	140	24	0,33	0,8	O/H111
AA5052	190	90	26	0,26	0,66	-
AA6022	270	150	26	0,26	0,60	T4
AA6016	210	105	26	0,3	0,61	T4
AA6111	290	160	25	0,28	0,55	T4
Nos componentes estruturais						
AA5052	190	90	26	-	-	-
AA5182	275	140	24	-	-	-
AA5454	110	110	24	-	-	-
AA5154	105	105	27	-	-	-
AA6061	315	275	12	-	-	-

T.T - Tratamento Térmico

Tabela 4.4: Propriedades mecânicas das ligas de alumínio utilizadas nos quadro de bicicletas

Nos painéis	σ_R (MPa)	σ_e (MPa)	$A(\%)$	T.T.
AA6061	297	261	12	T6
AA6061	209	119	20.4	T4
AA6061	220	271	15	O
AA7005	380	310	12	T6

O tratamento térmico mais utilizado nos quadros de bicicleta da liga 6061 é o T6, que consiste no tratamento térmico de solubilização e envelhecimento artificial. Por sua vez, o tratamento T4 é caracterizado por tratamento térmico de solubilização e envelhecimento natural. A liga 7005 só utiliza tratamentos térmicos para gamas de preço de quadros muito elevados, não utilizando nenhum tratamento para baixas gamas (Ribeiro, 2013).

Tendo em conta que se pretendia escolher uma liga de alumínio utilizada na indústria automóvel, tentou-te entender a razão de existirem ligas de alumínio que eram utilizadas tanto nos componentes estruturais como nos painéis, como é o caso das ligas AA 5182 e AA 5052. Deste modo, já que estas ligas eram usadas nos dois locais, poderiam ter propriedades interessantes para aplicar à bicicleta.

Ambas as ligas eram possíveis de utilizar em embutidura, uma vez que os valores de extensão após rotura estavam compreendidos entre 24-26%. Então, a análise seguinte passou pela comparação dos valores de tensão limite elástico e tensão de rotura das mesmas, com os valores da liga de alumínio utilizada nas bicicletas convencionais, a liga 6061. No entanto, os valores encontrados eram bastante inferiores. Para ultrapassar esta dificuldade, sugeriu-se a aplicação de tratamentos às ligas com vista ao aumento dos valores de σ_R e σ_e.

As ligas AA 5182 e AA 5052 podem ser encontradas com diversos tratamentos, o "O" e diversos "H". O tratamento "O" refere-se à liga no estado recozido, tendo como objetivo de homogeneizar a estrutura e aliviar as tensões. O tratamento "H" refere-se a ligas que sofreram trabalho mecânico a frio e é, usualmente, seguida de dois dígitos. O primeiro está relacionado com o número de tratamentos sofridos, sendo, o H1x referente à deformação a frio e o H3x à deformação a frio e estabilização. O segundo dígito indica o grau de encruamento sofrido, tal como observado na Tabela 4.5 (Nascimento, 2007).

Tabela 4.5: Grau de encruamento

2	1/4 duro
4	1/2 duro
6	3/4 duro
8	Duro
9	Extra-duro

Na Tabela 4.6 é possível observar as propriedades mecânicas das ligas AA 5182 e AA 5052 com os diferentes tratamentos. Através da análise da tabela, verifica-se que a liga 5182 ao ser deformada apresenta níveis de encruamento interessantes, melhorando as propriedades mecânicas, sendo por isso uma boa opção de escolha para a chapa da

liga de alumínio. A liga 5052, apesar de não ter propriedades tão apelativas, não deixa de ser uma opção interessante.

Tabela 4.6: Propriedades mecânicas das ligas 5182 e 5052 com os diferentes tratamentos (CesEdupack, 2017)

Serie	Tratamento	σ_R (MPa)	σ_e (MPa)	$A(\%)$
5182	O	280	143	25
	H16	339	251	8
	H18	3523	265	8
	H19	421	393	4
	H32	317	324	12
	H34	338	283	10
5052	O	181	70	15
	H11	192	106	15
	H19	311	246	5
	H32	226	162	8
	H34	247	181	7
	H36	269	211	3
	H38	283	233	3

Contudo, ainda sobre as ligas da série 5xxx, uma vez que irá existir soldadura na ligação dos componentes, analisou-se o processo de ligação para esta série. Deste modo, chegou-se à conclusão que o processo de soldadura para esta série acarreta custos e dificuldades acrescidas uma vez que é necessário cuidados especiais na preparação das superfícies devido à formação de filmes de óxidos muito duros (ALCAN, 1993).

Sendo o processo de soldadura uma das grandes possibilidades a utilizar para o a ligação dos diferentes componentes, tornou-se evidente que a escolha acertada seria, então, optar por uma liga da série 6xxx. Este tipo de liga contêm silício e magnésio nas proporções ideais para que a tornem uma série possível de ser tratada termicamente. É uma série que apresenta uma conformabilidade menor que a série 5xxx, boa resistência à corrosão e uma resistência mecânica média. Outra vantagem da série 6xxx em relação à série 5xxx é o facto da primeira apresentar qualidade superficial muito superior, após conformação (Simões, 2003).

Dentro da série 6xxx, tendo em conta as ligas utilizadas na indústria automóvel,

ponderou-se utilizar a liga 6061 que, apesar de ter que ser embutida no estado "O" e o seu valor de extensão após rotura ser bastante reduzido, posteriormente poder-se-iam aplicar tratamentos térmicos com o objetivo de melhorar as propriedades do quadro. No entanto, estaria associada a um maior custo de fabrico, e o nível de embutidura teria de ser bastante reduzido.

Avançando então na pesquisa, percebeu-se que existe uma liga que estava a ser muito investigada, mesmo para uma maior aplicação na indústria automóvel, designada liga 6022. Esta tem maior resistência à corrosão, elevada formabilidade e elevada resistência à *dent resistance* depois da exposição ao calor, quando comparada com as outras ofertas de mercado. Uma enorme vantagem desta liga, é ainda, o facto de satisfazer os requerimentos de deformação e resistência, necessários tanto para os painéis exteriores do automóvel como para componentes estruturais (ALCOA, 2012).

Esta liga tem vindo a ser alvo de muitas pesquisas, podendo ser encontrada com 4 diferentes tipos de tratamentos térmicos a T4, T43, T4E32 e T62. Para se determinar o tratamento térmico mais indicado, apresentaram-se, graficamente na Figura 4.1, os valores das propriedades mais relevantes para o caso da embutidura, a tensão limite elástico e a extensão após rotura. Da análise realizada, tornou-se percetível que o tratamento T62 fornecia um valor da tensão limite elástico muito elevado, acompanhado, contudo, de um valor de extensão após rotura bastante reduzido para o possível nível de deformação, tendo sido o primeiro a ser excluído. Em relação às outras têmperas, todos os valores de extensão após rotura já se encontravam em intervalos suficientemente bons para a realização do processo de embutidura, tendo sido selecionada a T4 por apresentar valores de tensão limite elástico superiores.

Em suma, existiam, neste momento, duas ligas possíveis de aplicar, a liga 6061, que obrigava a uma profundidade de embutidura muito reduzida, e a liga 6022 T4 com possibilidade de fazer embutidura de maior profundidade, mas com propriedades mecânicas bastante inferiores às dos materiais normalmente utilizados nas bicicletas.

Feita esta análise, optou-se pela liga 6022 T4, pois permitia a nível de design da bicicleta explorar um pouco mais as geometrias, visto que não apresentava nenhum

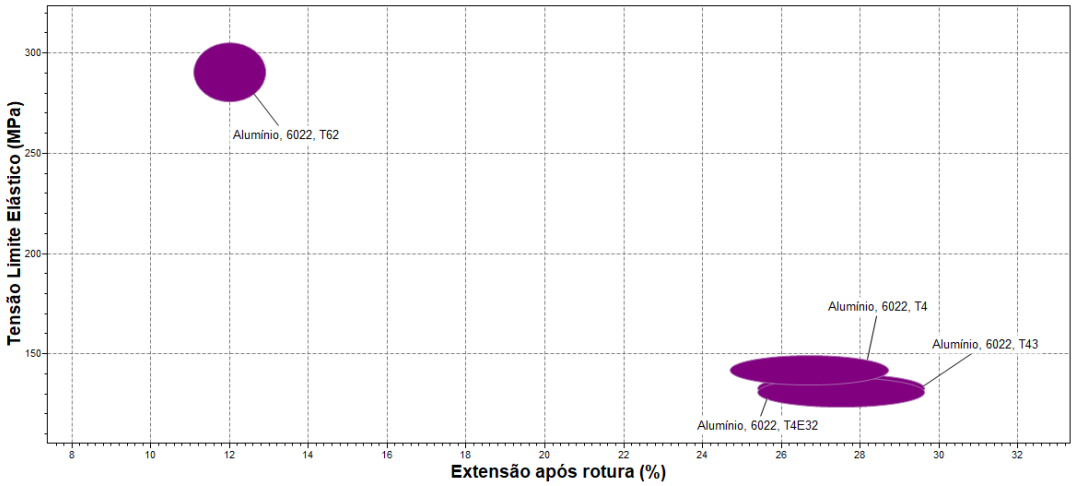


Figura 4.1: Tensão limite elástico em função da extensão após rotura (CesEdupack, 2017).

entrave à profundidade da embutidura.

Destaca-se, ainda, que após a soldadura para a ligação dos vários componentes, o quadro pode ter a necessidade de sofrer um tratamento térmico do tipo T4 ou T6.

4.3 Identificação dos componentes de uma bicicleta

Os componentes de uma bicicleta podem ser subdivididos em seis categorias, o quadro, o sistema de transmissão, o sistema de travagem, o sistema de direção, as rodas e a forqueta, conforme apresentado na Figura 2.1.

A forqueta é o elemento de ligação entre a roda dianteira e o sistema de direção. As forquetas podendo ser rígida ou com suspensão, de acordo com o tipo de necessidade do utilizador da bicicleta. No caso das bicicletas citadinas, tendo em conta a gama de preços selecionada para o produto, decidiu-se que a forqueta não teria suspensão.

A forqueta está ligada à caixa de direção, sendo que esta pode ser com ou sem rosca, utilizando-se a caixa de direção com rosca nas bicicletas citadinas. A caixa de direção é composta por uma porca, espaçador, anilha superior com rolamentos, anel superior e anilha inferior com rolamentos. Para manter forqueta alinhada com a caixa, existe um parafuso, uma cunha e um guiador com rosca. Finalmente. existe, ainda, o avanço para

fazer a ligação entre o guiador e a caixa de direção. No guiador, existem dois punhos e dois manípulos do travão.

As rodas, como foi previamente selecionado, terão 28 polegadas, sendo cada uma das duas rodas composta por um aro, pneu, câmara de ar, raios e cubo. Cada roda tem um cubo específico, existindo cubos para a roda da frente e para a de trás, podendo ser de aperto rápido ou normal. Os cubos têm como função ligar as rodas ao quadro. Neste caso, optou-se pelo cubo de aperto normal, pois as bicicletas citadinas não têm grande necessidade de troca de pneus e estes apresentam um custo mais reduzido.

O sistema de transmissão é constituído pelo desviador traseiro, pedaleira, eixo pedaleiro, pedais, corrente e cassete, existindo diversos tipos de variantes dentro de cada um desses componentes. O desviador traseiro serve para deslocar a corrente de acordo com a mudança que se pretende na cassete.

Relativamente aos travões, estes podem ser de jante ou de cubo. Os de jante, mais conhecidos por *V-brake*, param a roda ao entrarem em contacto com a jante. Por outro lado, os de cubo param a bicicleta ao abrandarem a velocidade do cubo da roda. Na presente dissertação selecionaram-se os travões *V-brake*, uma vez que acarretam custos inferiores.

4.3.1 Estudo de mercado dos componentes

Para o estudo de mercado de todos os componentes, utilizaram-se catálogos da marca *SHIMANO*, *NECO* e, ainda, uma pesquisa mais global de alguns fornecedores na Internet. Após a seleção de vários componentes e análise de preço, chegou-se à conclusão que, para a realização do primeiro protótipo, não seria viável a aquisição de componentes individualmente. Os componentes individuais apenas compensariam se adquiridos em grandes quantidades, o que não é o caso. A melhor solução em termos de investimento da empresa, numa fase inicial como esta, seria, então, a aquisição de uma bicicleta concorrente e a reutilização dos seus componentes numa fase de protótipos.

Deste modo, adquiriu-se a bicicleta de cidade ELOPS 500 da *Decathlon*, com um custo associado de 200€, quadro rebaixado e tamanho M, apresentada na Figura 4.2.

É importante frisar que grande parte dos componentes desta bicicleta são da marca *SHIMANO* que, sendo uma das maiores fornecedoras a nível mundial, no caso do projeto avançar, seria possível a aquisição dos componentes de forma separada.



Figura 4.2: Bicicleta ELOPS 500 da *Decathlon*.

4.3.2 Modelação em *Solidworks* dos componentes

Para realizar a modelação em 3D em *Solidworks* de todos os componentes da bicicleta, foi necessário desmontar a bicicleta adquirida pela empresa e medir os mesmos manualmente, estando as dimensões apresentadas na Tabela 4.7, os nomes de referência estão de acordo com os apresentados no Apêndice C.

Esta fase do processo foi realizada em parceria com a colega da IDEIA.M, que iria realizar um quadro com o processo de injeção plástico, tendo como base a mesma bicicleta ELOPS 500. É de notar que, a partir deste momento como se iriam integrar os componentes da bicicleta ELOPS 500 na bicicleta a realizar, decidiu-se respeitar as dimensões geométricas fundamentais do quadro adquirido, minimizando os possíveis erros de encaixe.

Tabela 4.7: Dimensões relativas aos diferentes parâmetros da geometria da bicicleta ELOPS 500

Referência	**Comprimento [mm]**	**Ângulo [º]**
Tubo do selim	520	
Escora	480	
BB	60	
Ângulo da direção		71.5
Ângulo do selim		73.5
Reach	422	
Stack	570	

Nas Figuras 4.3 a 4.10 pode-se observar todos os componentes modelados, nomeadamente a roda da frente e de trás, cassete e desviador traseiro, Kit de transmissão, forqueta e *V-brake*, guiador, mudanças e manípulos dos travões, caixa de direção, guarda lamas e selim.

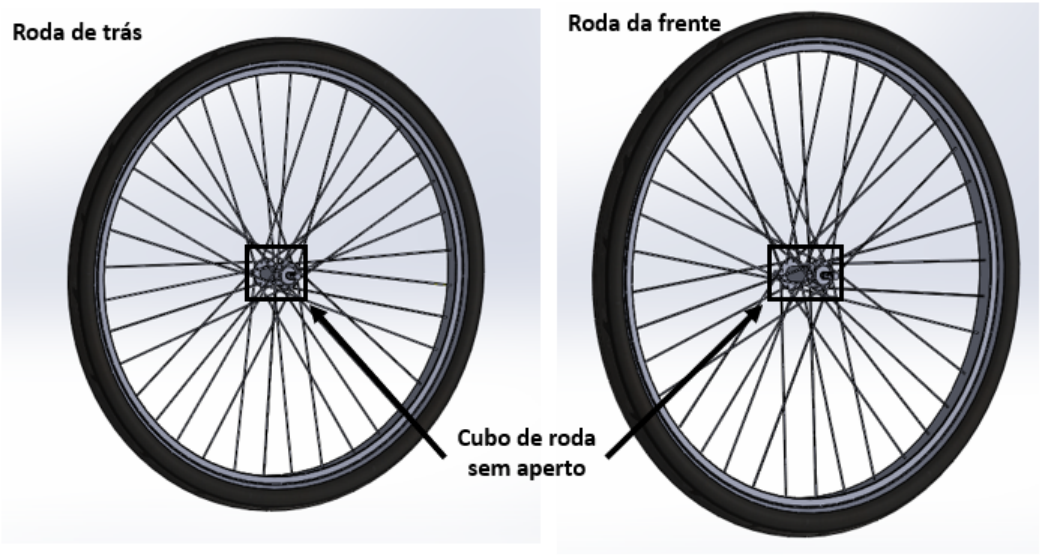


Figura 4.3: Modelação CAD da roda de frente e de trás e respetivos cubos (*Solidworks 2017*) .



Figura 4.4: Modelação CAD da cassete (A) e desviador traseiro (B) (*Solidworks 2017*).

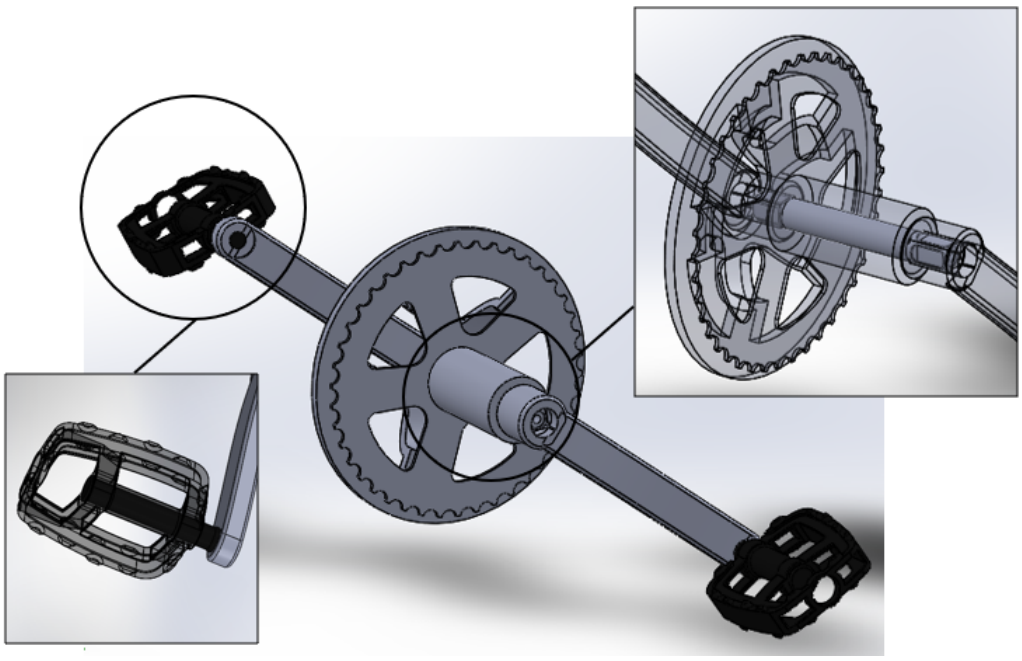


Figura 4.5: Modelação CAD do Kit de transmissão (*Solidworks 2017*).

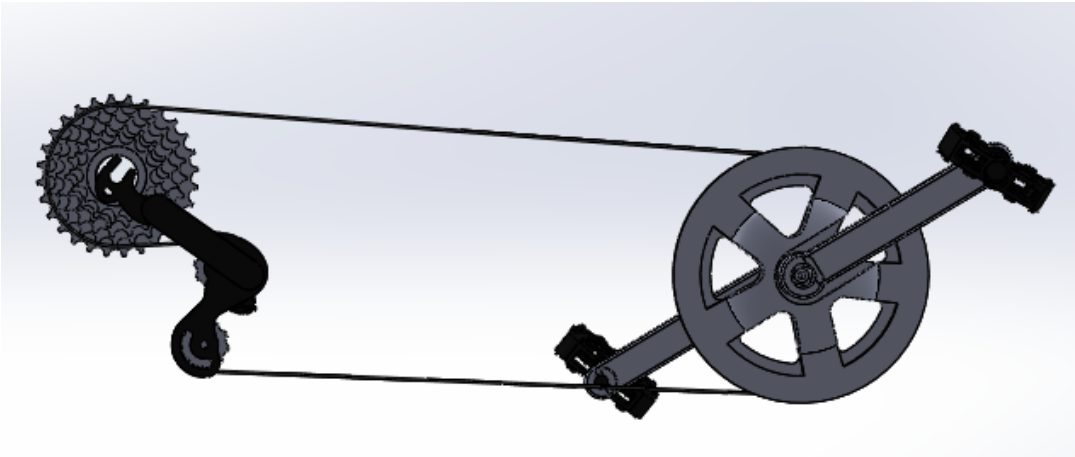


Figura 4.6: Modelação CAD da zona de transmissão de velocidades (*Solidworks 2017*).

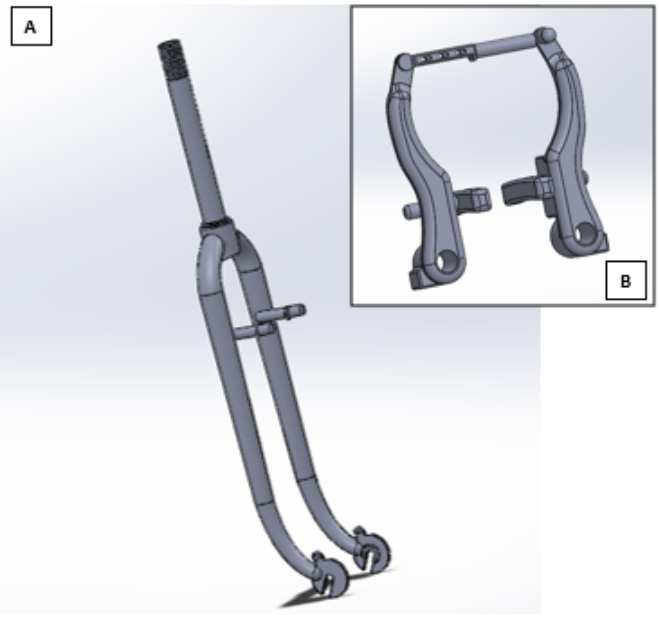


Figura 4.7: Modelação CAD da forqueta sem suspensão (A) e V-brake (B) (*Solidworks 2017*).

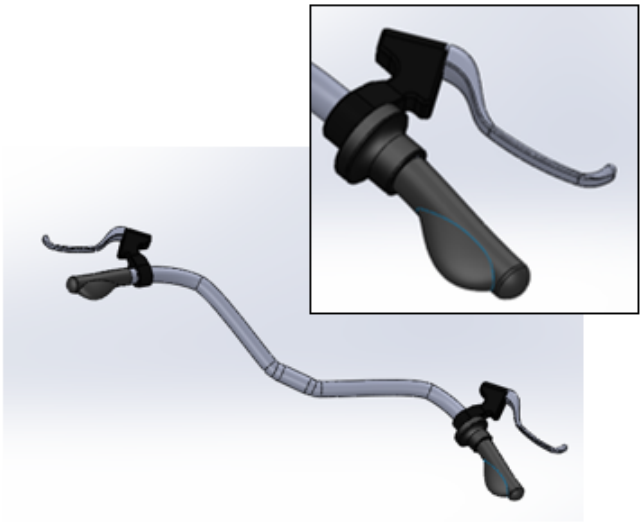


Figura 4.8: Modelação CAD do guiador, mudanças e manípulos dos travões (*Solidworks 2017*).

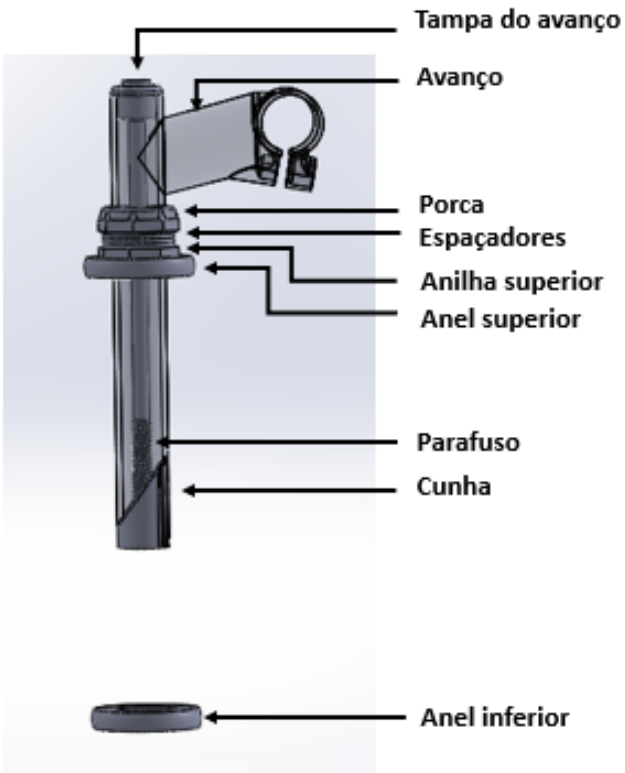


Figura 4.9: Modelação CAD e anatomia da caixa de direção com rosca (*Solidworks 2017*).

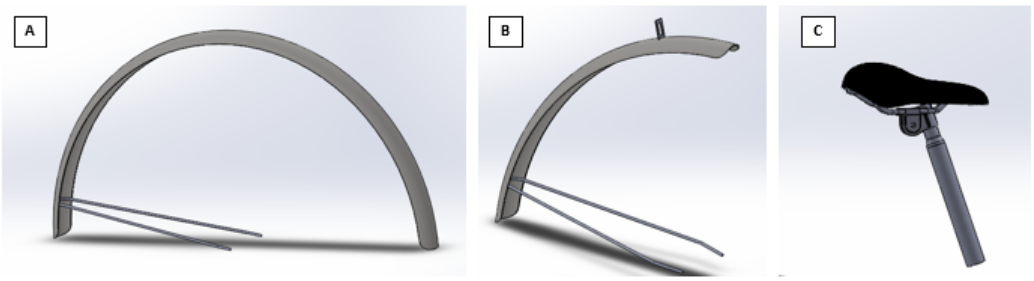


Figura 4.10: Modelação CAD do guarda de lamas traseiro (A), guarda lamas da frente (B) e selim (C) (*Solidworks 2017*).

Capítulo 5

Fase 3: Design Detalhado

5.1 Introdução

Nesta secção, estão explicitadas todas as etapas de conceção do quadro até se chegar à solução final. Como se verá adiante, o primeiro conceito selecionado apresentou uma série de problemas, descritas de seguida, tendo sido necessário alterá-lo, utilizando diversas técnicas para a melhoria do mesmo. Desta forma, primeiramente será abordado, detalhadamente, o primeiro conceito, seguindo-se o segundo conceito, onde são explicitados todos os detalhes, os testes realizados e os resultados obtidos. Por último, apresentam-se as melhorias aplicadas e os respetivos resultados finais.

5.2 Primeiro conceito

Relativamente ao primeiro conceito, o quadro seria composto por duas partes embutidas, a zona superior do quadro e a zona inferior, sendo que não se iria utilizar o plano de simetria. Este conceito apresentou enormes desafios, não só pela a aplicação do processo de embutidura, mas também pelo facto de se ter concebido um quadro que não tinha zona de sustentação central, provocando uma enorme torção na zona central do quadro.

No desenvolvimento de um quadro de bicicleta, é necessário ter em consideração que

a parte traseira do quadro é subdividida em duas partes, formando os apoios de ligação à roda traseira. Foi na zona da divisão onde a maior parte dos problemas apareceu, uma vez que o espaço entre a roda da bicicleta e a roda dentada do kit de transmissão ficava demasiado apertado, podendo seer necessário reduzir a espessura da chapa.

Deste modo, foi necessário determinar a espessura que se deveria selecionar para o quadro. Como o objetivo era realizar um quadro por embutidura, a espessura das várias zonas do mesmo teria de ser a mesma, podendo, no entanto, existir pequenas variantes de acordo com as zonas de deformação da chapa. Como não existia informação quanto à espessura do quadro da ELOPS 500 nas respetivas especificações, foi medida a espessura deste na zona do tubo do selim e considerou-se o valor constante para toda a bicicleta, apresentando um valor de 1,5 mm. Uma vez que o quadro da ELOPS 500 era de aço e o quadro projetado no presente trabalho de alumínio, optou-se por uma espessura de 2 mm, sendo este, de facto, o valor apresentado por vários quadros de alumínio. Assim, a espessura do quadro de alumínio era pouco superior ao de aço, o que normalmente acontece uma vez que a tensão de cedência do aço é superior à do alumínio.

Nesta primeira abordagem à modelação do quadro, esteticamente a bicicleta apresentava um design atrativo e diferenciador, como é possível observar na Figura 5.1. Contudo, no que diz respeito à estrutura da chapa, a parte superior e inferior na zona central do quadro torciam, pois não tinham um suporte que as fixasse, uma vez que a estrutura era aberta, em U e em V, como apresentado na Figura 5.1. Por outro lado, na parte traseira era necessário um maior reforço para suportar as cargas necessárias.



Figura 5.1: Modelação em 3D da bicicleta.

5.2.1 Soluções construtivas adotadas

Para solucionar os problemas anteriormente frisados, foi necessário criar uma zona de ligação, na zona central do quadro, que impedisse a torção das duas partes, a superior e a inferior. Além deste problema, precisava-se ainda de pensar numa solução que evitasse que a estrutura em U e em V abrisse, com a carga da pessoa.

Para isso, realizou-se uma zona que fechasse o U e V, mantendo a estrutura com o formato desejado. Na realização desta solução, foi necessário ter em consideração que a chapa que permitisse fechar o U e o V, independentemente um do outro, teriam de ser ligada à respetiva estrutura, de alguma forma. Ponderou-se utilizar o processo de rebitagem ou ponto de soldadura interno, sendo que, para isso, era necessário existir um espaço para a ferramenta encaixar, como é possível observar na Figura 5.2. Estes reforços iriam ser colocados tanto no componente superior como no inferior, até à zona de abertura da parte traseira do quadro.

Relativamente ao problema de torção na zona central, colocou-se uma chapa de liga-

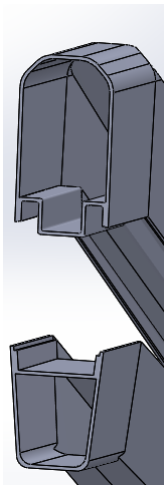


Figura 5.2: Reforços internos.

ção entre o componente superior e o inferior como apresentado na Figura 5.3. Contudo, esta solução, apesar de manter os componentes alinhados, quando aplicadas as cargas, não iria apresentar grande resistência, por ser uma chapa, transferindo as cargas para o componente de inferior e podendo provocar a deformação deste.

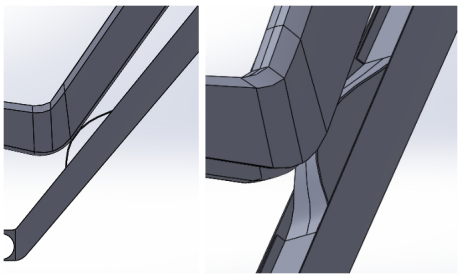


Figura 5.3: Elemento de ligação entre o componente superior e inferior.

Relativamente ao problema da ligação traseira, a solução construtiva optada foi inserir outro componente que viesse reforçar aquela zona, como apresentado na Figura 5.4. Inicialmente, ainda se ponderou aproveitar a peça principal embutida e realizar, de alguma forma, outro embutido que fornecesse resistência àquela zona, não tendo sido encontrada nenhuma solução válida, dentro deste pensamento. A orientação do embutido, caso se realizasse o mesmo que no componente de cima (criação de uma dobra), iria criar duas arestas viradas para cima que, além de visualmente não ser

desejável, representava perigo para o utilizador.

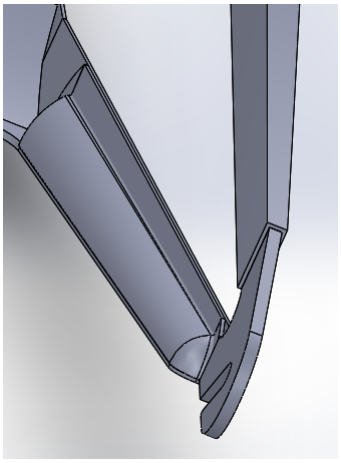


Figura 5.4: Elemento de reforço da zona inferior.

5.2.2 Problemas

A realização deste conceito de quadro, desde o início que apresentava enormes dificuldades, mas, dado o interesse da empresa em desenvolver o mesmo, foram pensadas algumas soluções. No entanto, as soluções pensadas, por sua vez, acarretavam novos problemas.

No conceito inicial existiam apenas dois componentes, o que em termos de tempo de fabrico era uma enorme vantagem, pois reduzia o tempo de produção. Contudo, com estes reforços passava-se a necessitar, no mínimo, de seis componentes, o que deixava de ser uma aposta interessante, tendo em conta o mercado que nos queríamos inserir.

Este conceito apresentava, ainda, como problemas a acumulação de líquidos e lixo no interior dos componentes, em zonas que seriam de difícil acesso para a sua remoção.

Por fim, mesmo em relação à embutidura, eram ainda necessárias algumas alterações, uma vez que existem zonas em que a extensão do material seria tal que iria provocar a formação de roturas.

Assim sendo, após discussão com a empresa decidiu-se partir para um novo conceito, dado que este apresentava diversos problemas, tal como mencionado anteriormente, e

a solução seria impossível tendo em conta o tempo previsto. Destaca-se, ainda, que não chegaram a ser realizadas simulações para este quadro, uma vez que as soluções construtivas encontradas retiraram o interesse da empresa em relação ao design da mesma.

5.3 Segundo conceito

Dada a impossibilidade associada ao primeiro conceito, foi necessária a realização de um outro conceito, tendo sido inspirado numa vespa clássica 98cc re-imaginada por Giulio Iacchetti, como é possível observar na Figura 5.5.

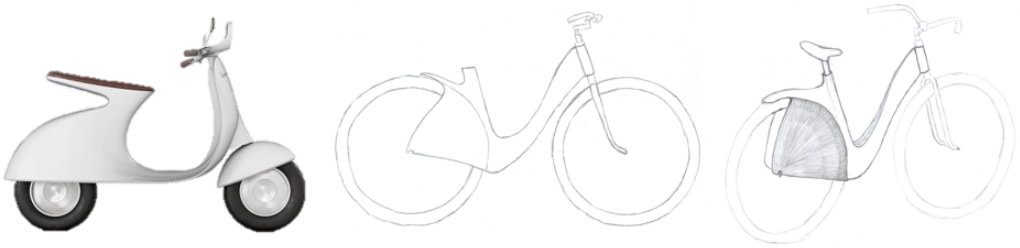


Figura 5.5: Segundo conceito do quadro.

Neste segundo conceito optou-se por manter o formato da parte da frente do primeiro conceito, estando o resultado final apresentado na Figura 5.6, Nesta figura, verifica-se a sobreposição do conceito inicial (a azul) com o segundo conceito gerado (a amarelo), estando apresentado a cinzento o resultado do design final obtido.

Neste conceito, optou-se pelo plano de apartação central, construindo assim duas meias partes simétricas, que facilitariam o processo de embutidura. Decidiu-se, ainda, que as meias partes iriam ser unidas através de um cordão de soldadura na parte superior, parte inferior e parte frontal do tubo. A espessura de 2 mm manteve-se para as chapas das duas meias partes.

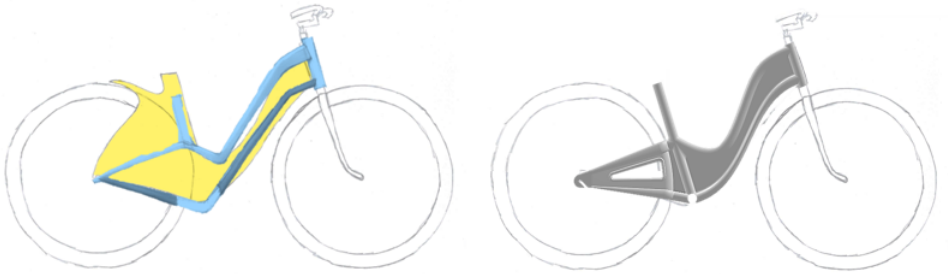


Figura 5.6: Conceito final do quadro.

5.3.1 Detalhes de design do quadro

A opção de colocar estruturas tubulares pareceu interessante, tanto do ponto de vista de processo de fabrico (embutidura), do ponto de vista estrutural, uma vez que iria fornecer rigidez à estrutura, como se pode ver na Figura 5.7. Na realização destas estruturas tubulares foi necessário ter em consideração todos os ângulos de saída, uma vez que não é possível ter arestas vivas em embutidura. Desta forma, o *fillet* mínimo realizado foi de 4 mm, o que respeita as regras de *design* para a espessura da chapa de 2 mm.

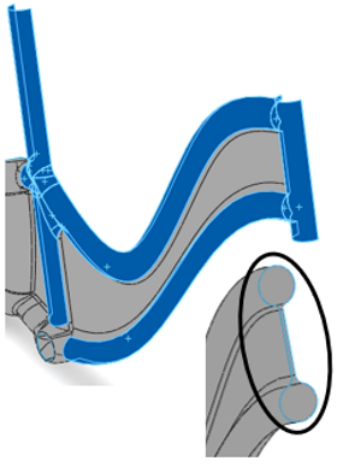


Figura 5.7: Zonas tubulares do quadro a azul.

Uma das zonas onde foi necessário ter especial atenção foi na zona da parte traseira do quadro, visto que, nesse local, as chapas não iriam ser duas meias metades como na parte frontal do quadro. Realizaram-se, então, saliências tubulares no embutido para atribuir rigidez àquela zona do quadro, como se pode ver na Figura 5.8.

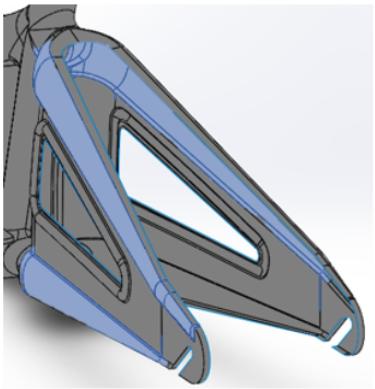


Figura 5.8: Saliências tubulares do quadro a azul.

É importante referir que, desde uma fase inicial, existiu a necessidade de colocar apoios nos encaixes traseiros, uma vez que, sendo esta uma zona muito frágil, manter exclusivamente a chapa não iria ser suficiente. Assim sendo, revelou-se também interessante colocar uma aba de saída para ajudar a manter a rigidez, como também se pode observar na Figura 5.9, servindo também de zona de encaixe para os posteriores reforços.

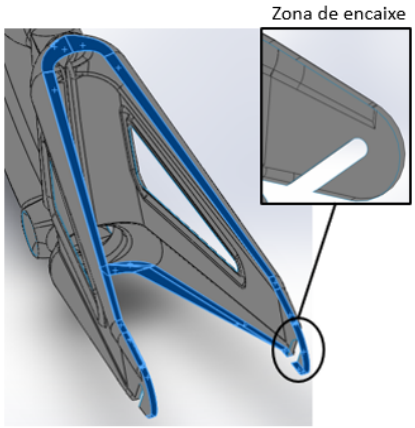


Figura 5.9: Zona de saída a azul e posterior zona de encaixe de suporte.

Dada a necessidade de criar uma abertura na parte central, para que a corrente pudesse fazer a ligação à cassete, foi necessário realizar um embutido para atribuir rigidez àquela zona. Posteriormente, foi também colocado uma aba de saída para permitir o posterior corte desta zona da chapa, como é possível observar a azul na Figura 5.10.

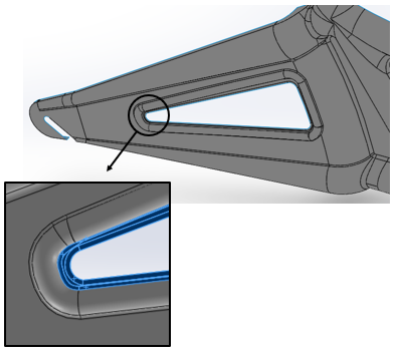


Figura 5.10: Detalhe da zona de abertura, aba para corte.

Destaca-se ainda que todos os ângulos de saída da peça são iguais ou superiores a 90^o, não existindo, portanto, zonas onde a embutidura não fosse possível de ser realizada.

A modelação do quadro é observada na Figura 6.3, onde estão representadas as várias vistas do mesmo.

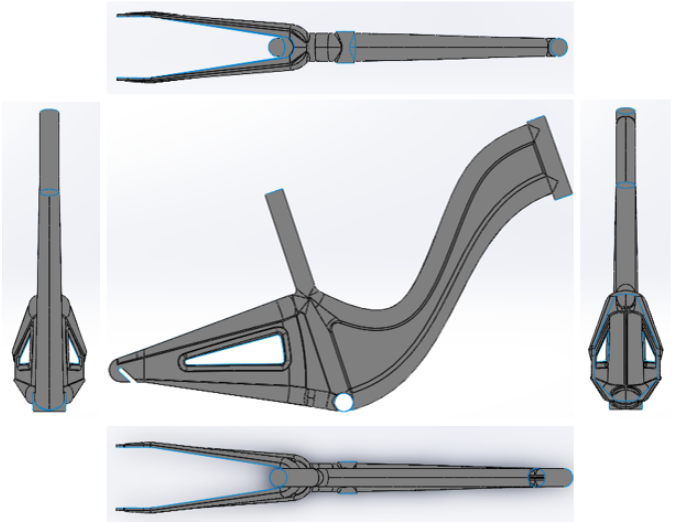


Figura 5.11: Vista 2D do quadro.

5.3.2 Ensaios Realizados

Utilizando a modelação do quadro, realizaram-se as simulações dos três testes previamente mencionados na secção 3.3.2. Com estes ensaios ir-se-ia perceber se o quadro estaria apto ou não e, no caso negativo, identificar os locais onde seria necessário aplicar melhorias.

Para a realização destes testes teve-se em consideração que o valor da tensão limite elástico, σ_e, da liga 6022 T4 é de 150 MPa, o valor de tensão de rotura de, σ_R, é 270 MPa e o seu valor de tensão de limite de fadiga a 10^7 ciclos, σ_f, é de 139 MPa. Estes valores correspondem aos apresentados na Tabela 4.3 do Capítulo 4 e o valor da tensão de fadiga foi considerado o valor mais alto do CesEdupack 2017, uma vez que o valor de tensão de rotura e limite elástico apresentados na Tabela 4.3 encontram-se mais próximos dos valores máximos do CesEdupack.

Para se ter uma noção dos deslocamentos que um quadro de bicicleta apresenta, primeiramente foi simulado o quadro da bicicleta adquirida pela empresa (ELOPS 500), servindo de referência para os resultados da simulação do quadro da bicicleta criado nesta dissertação. Para tal, modelou-se o quadro da bicicleta ELOPS 500 usando o *software Soolidworks*. Como não existia informação clara quanto ao tipo de aço desta bicicleta, considerou-se o aço S275, que é um dos aços estruturais mais utilizados. Em termos de simulação, no entanto, não têm grande relevância especificar o aço, uma vez que o Módulo de Young dos aços varia muito pouco, entre os 205-210 GPa, não interferindo com os resultados obtidos.

O valor dos deslocamentos foi avaliado tendo em consideração três zonas, onde as solicitações eram de maior relevo, estando apresentadas de seguida e esquematizadas na Figura 5.12:

- Zona A: zona de apoio do selim;
- Zona B: zona da direção;
- Zona C: Zona do eixo pedaleiro.

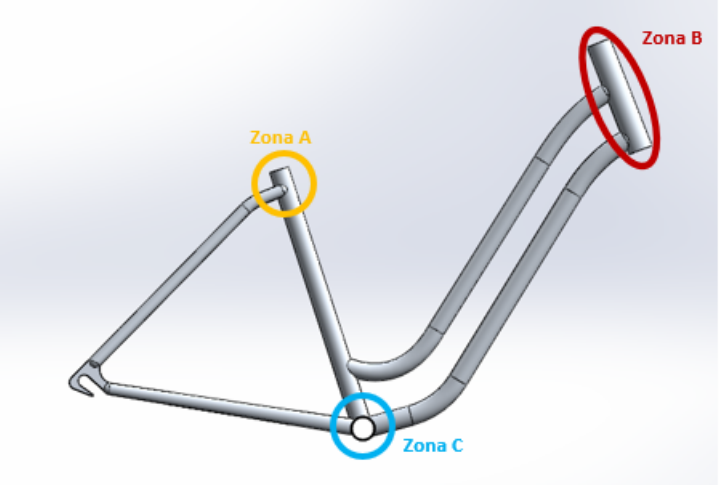


Figura 5.12: Zonas analisadas no estudo de deslocamentos do quadro de aço.

Relativamente à modelação do quadro do segundo conceito, foi feita em superfícies e considerou-se elementos de casca fina, uma vez que o quadro era de chapa. Um outro aspeto para posterior comparação entre os quadros simulados, foi determinar a massa do quadro de aço, sendo igual a 5 Kg.

Teste 1 - Ensaio à fadiga com força vertical aplicada

Para a realização desta simulação, consideraram-se três restrições, duas nos dois encaixes da parte de trás do quadro, onde se considerou que o corpo só poderia ter rotação segundo o eixo de *zz*, aplicando-se um dobradiça (*fixed hinge)*, e a última na parte frontal (onde se criou um corpo para representar a forqueta), onde se restringia o movimento da mesma segundo os eixos de *yy* e *zz*, só podendo o corpo transladar segundo o eixo do *xx*.

A força foi aplicada num corpo que simulava o selim, tendo de apresentar este último pelo menos 75 mm inseridos no quadro e um comprimento máximo até ao selim de 250 mm. A força foi aplicada a 70 mm do centro do tubo do selim e tinha uma componente vertical de 1000 N, tal como é possível observar na Figura 5.13.

Este ensaio deveria ser dinâmico e repetido durante 50.000 ciclos, para ser possível concluir se resiste, ou não, aos esforços necessários. Contudo, dada a complexidade de realizar uma simulação à fadiga utilizando o *software Solidworks*, simplificou-se para um ensaio estático, fazendo-se a análise tendo em conta os valores de tensão limite de fadiga do material. Os corpos representados a cinzento foram criados como auxiliares para as simulações. Considerou-se que estes elementos sólidos, seriam de aço S275, aço laminado a quente.

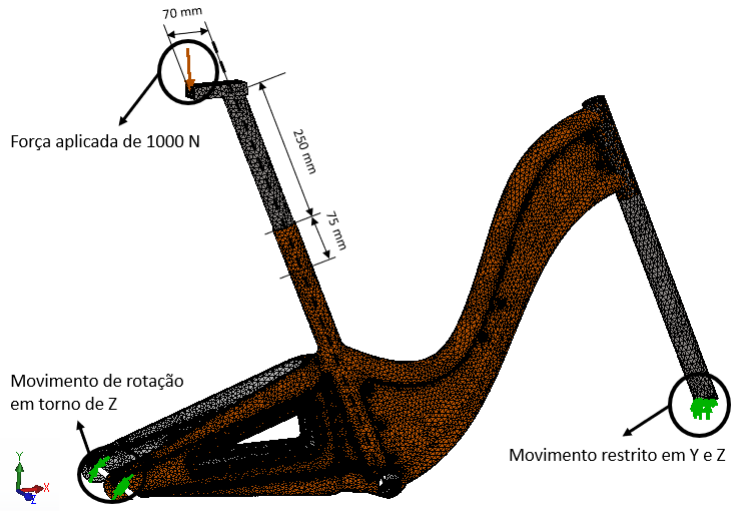


Figura 5.13: Restrições e força aplicada no teste 1.

Teste 2 -Ensaio à fadiga com as forças exercidas ao pedalar

Para a realização deste teste, considerou-se uma força no pedal de 1000 N que deveria ser simulada durante 100.000 ciclos, uma vez que estamos em contexto citadino. Esta força é aplicada com um ângulo de 7.5^o em relação a Y, pelo que, na simulação, a força F1 é de 991.44 N e a força F2 é de 130.33 N, como se observa na Figura 5.14. As distâncias de aplicação da força estão especificadas na figura. Neste ensaio, tal como o ensaio anterior, é realizada uma simulação estática, pelo mesmo motivo acima referido.

Em relação às restrições do corpo, este pode rodar em torno de Z na parte frontal, tendo como condição de fronteira uma dobradiça (*fixed hinge*), e tem movimento restrito nos eixos *yy* e *zz* nos encaixes traseiros, como se pode também observar na Figura 5.14.

O corpo a cinzento na figura é considerado um corpo sólido de aço S275, representando o comportamento da forqueta, estando o eixo alinhado com a zona de rotação dos encaixes traseiros.

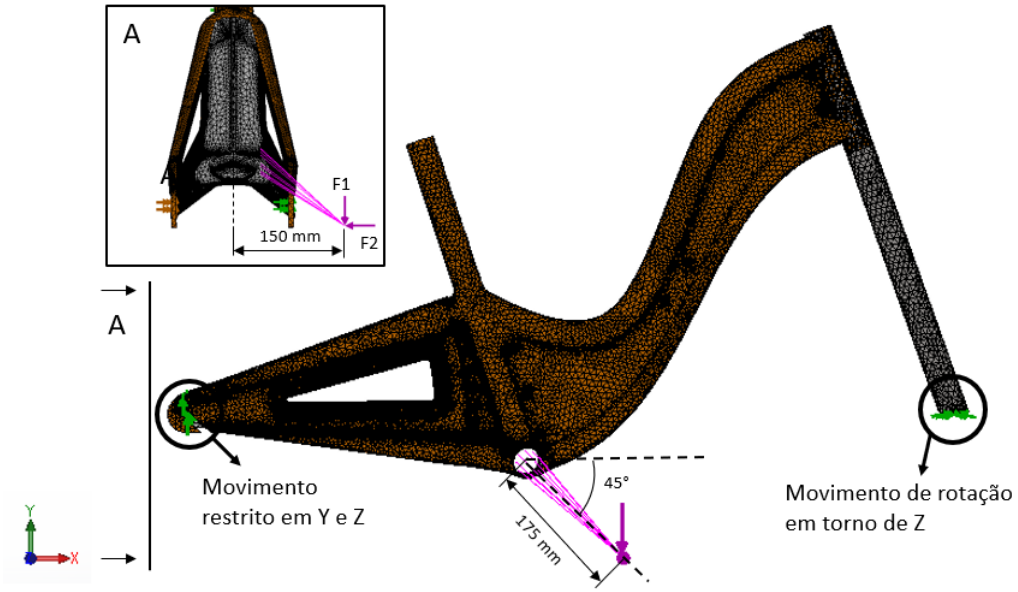


Figura 5.14: Restrições e forças aplicadas no teste 2.

Teste 3 -Ensaio à fadiga com força horizontal aplicada

Na simulação deste teste, existem na mesma três restrições aplicadas, nos encaixes traseiros só existe rotação em torno de *zz* através de uma condição de fronteira de dobradiça (*fixed hinge*), e a forqueta só se pode deslocar segundo o eixo *xx*, estando o movimento restrito segundo os eixos *yy* e *zz*.

A força a aplicar deveria ser de 450 N e -450 N, alternadamente, durante 100.000 ciclos segundo o eixo *xx*, valor este que advém do facto de ser uma bicicleta para contexto citadino. Da mesma forma que os ensaios anteriores, a simulação foi estática, estando na Figura 5.15 representadas todas as restrições e a respetiva força aplicada.

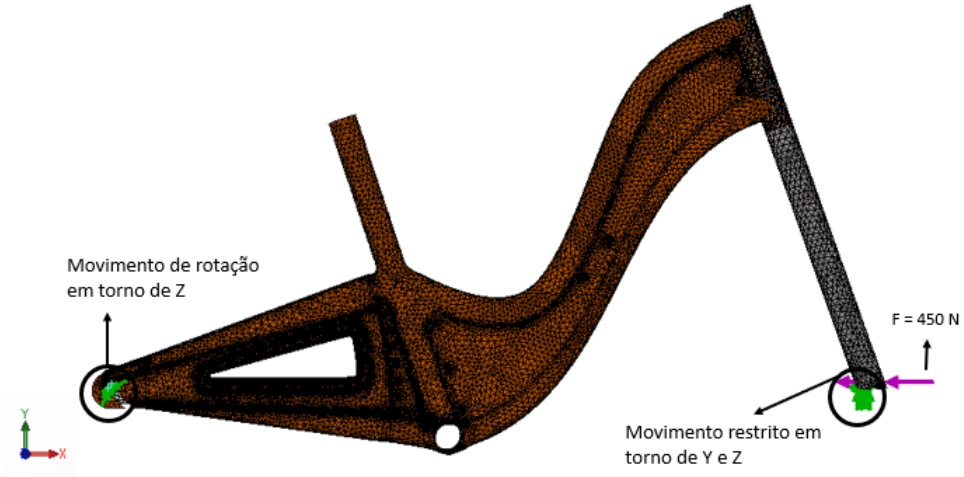


Figura 5.15: Restrições e forças aplicadas no teste 3.

5.3.3 1º Resultados Obtidos

Com as simulações dos ensaios realizados para os dois quadros de bicicleta, recolheram-se os valores máximos referentes ao deslocamento global (URES), deslocamento em xx (UX), deslocamento em yy (UY), deslocamento em zz (UZ) e, ainda, referente à tensão de Von Mises.

Bicicleta de Aço

Os valores dos deslocamentos máximos e os valores de tensão de Von Mises para a bicicleta de aço estão apresentados nas tabelas 5.1 e 5.2, respetivamente.

Tabela 5.1: Valores dos deslocamentos máximos [mm] obtidos do quadro em aço para os diferentes testes realizados, nas três zonas analisadas

		Teste 1	Teste 2	Teste 3
Zona A	URES	0,461	2,087	0,331
	UX	0,291	1,262	0,239
	UY	-0,33	-1,34	-0,228
	UZ	-	-0,99	-
Zona B	URES	0,526	2,446	0,874
	UX	-0,51	-2,226	0,73
	UY	-0,181	-0,928	0,264
	UZ	-	0,342	-
Zona C	URES	0,43	3,169	0,317
	UX	-0,064	0,47	-0,063
	UY	-0,427	-2,06	-0,31
	UZ	-	-2,4	-

Tabela 5.2: Valores de Tensão de Von Mises máximas do quadro de aço para os três testes realizados

	Teste 1	Teste 2	Teste 3
Tensão de Von Mises [MPa]	79,8	395,9	66

Bicicleta versão inicial

Como as simulações realizadas consistiam em ensaios estáticos, para a análise da resistência do quadro, à fadiga, utilizou-se o valor de tensão de limite de fadiga a 10^7

ciclos, como valor de referência máximo para a tensão de Von Mises obtida. Como estas normas já têm em conta fatores de segurança, não foi necessário ter em consideração coeficientes de segurança. No entanto, estes serão calculados e comparados, mais à frente, para se ter uma noção da melhoria obtida.

Com a análise dos resultados obtidos nos testes, fornecidos na Tabela 5.3, verificou-se que a estrutura obtida não teria resistência suficiente para a carga que iria suportar. Os valores de tensão de Von Mises nos testes 1 e 2 estão claramente a cima do valor da tensão de limite de fadiga a 10^7 ciclos da liga, o que iria representar a rutura da mesma. Importa destacar que estes valores de tensão apresentados são referentes à análise global do quadro, e não só às zonas acima referidas para a análise dos deslocamentos.

Tabela 5.3: Tensão de Von Mises do quadro da versão inicial

	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Referência
Tensão de Von Mises [MPa]	168	311	32,64	139

Posteriormente, analisaram-se, mais detalhadamente, os locais que apresentavam valores de tensão maiores que o suposto, com o objetivo de propor a implementação de melhorias.

Dessa análise, foi possível identificar as zonas que sofriam maiores níveis de tensão. No teste 1 era a zona superior do encaixe do tubo do selim e no teste 2 corresponde à zona do encaixe do eixo dos pedais, como se constata na Figura 5.16.

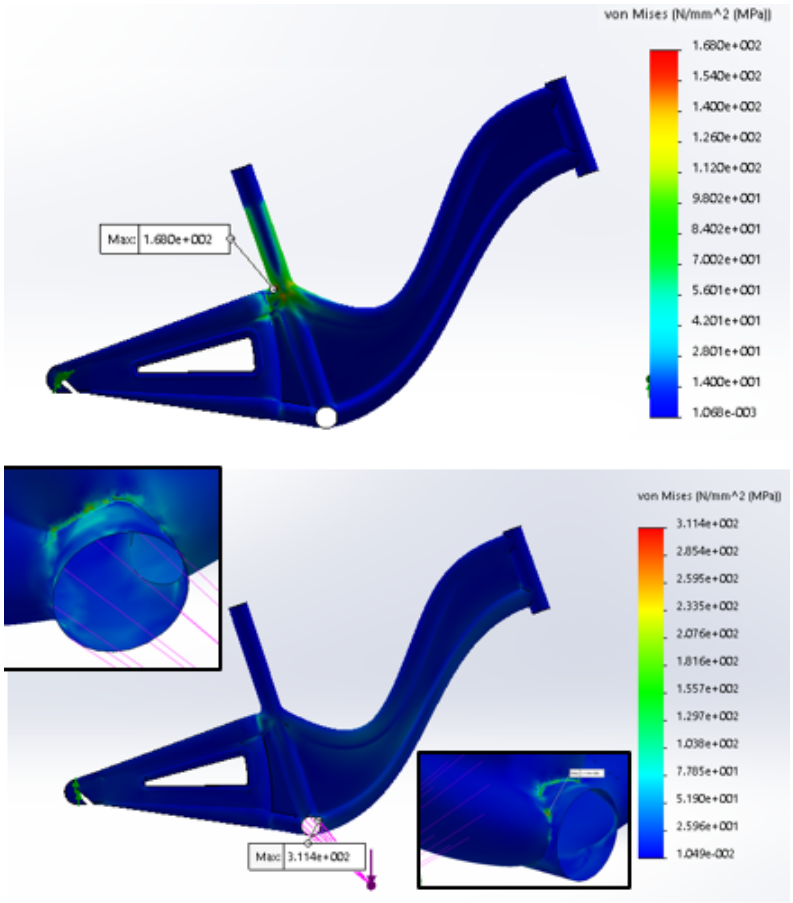


Figura 5.16: Zonas de maior tensão.

Por sua vez, os deslocamentos obtidos estão apresentados na Tabela 5.4. No entanto, como não estavam cumpridos os critérios de resistência, esta análise não teve grande relevo, tendo sido realizada apenas a título de curiosidade.

Tabela 5.4: Valores dos deslocamentos máximos [mm] obtidos da versão inicial do quadro para os diferentes testes realizados, nas três zonas analisadas

		Teste 1	Teste 2	Teste 3
Zona A	URES	3,106	1,062	0,021
	UX	2,44	0,0445	0,0312
	UY	1,468	-0,421	0,0125
	UZ	-	0,732	-
Zona B	URES	0,0034	1,721	0,151
	UX	0,129	-1,824	0,205
	UY	-0,181	-0,674	0,0617
	UZ	-	-0,165	-
Zona C	URES	0,021	2,316	0,03
	UX	0,127	-0,89	0,541
	UY	-0,254	-1,286	0,0016
	UZ	-	-1,943	-

5.3.4 Aplicação de melhorias

Com a realização destes primeiros testes, ficou então evidente que existiam zonas que, além de não suportarem as cargas devidas, não estariam também a respeitar as regras de design para embutidura. Deste modo, foram realizadas algumas melhorias ao quadro da bicicleta, nomeadamente no raio de concordância da zona apresentada na Figura 5.17, suavizando as arestas. No entanto, esta zona continuava a apresentar valores de tensão superiores à tensão de fadiga, representados a vermelho na referida imagem.

Esta zona sofria elevadas tensões quando sujeita ao teste 1, provocadas pelo mo-

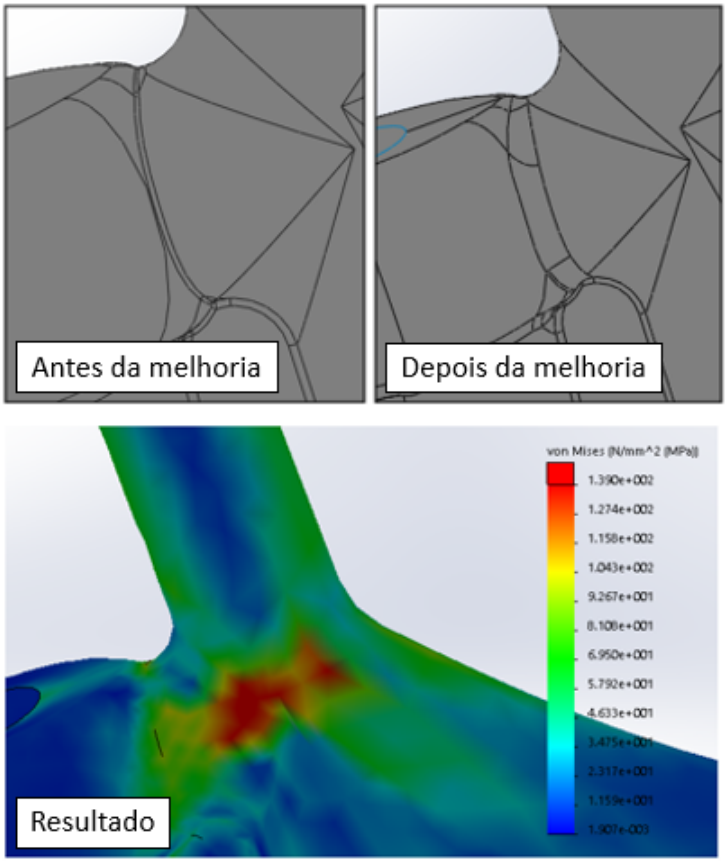


Figura 5.17: Melhoria do raio de concordância e tensões de Von Mises no local.

mento gerado no local devido à carga aplicada no selim. Deste modo, existiam duas formas de contornar o problema, ou se utilizava um reforço na zona interior (através da colocação de um tubo de aço no interior da zona tubular de acesso ao selim), ou se aumentava a área onde as tensões surgem (as cargas estariam mais distribuídas, reduzindo consequentemente o valor das tensões).

Decidiu-se optar pelas duas abordagens, sendo que a primeira impedia que o design do quadro fosse alterado e a segunda evitava a utilização de mais componentes. Na Figura 5.18 (lado esquerdo) é possível observar o formato original e no lado direito o aumento criado de forma a reduzir as tensões. Salienta-se mais uma vez, que a primeira solução (colocar reforço na zona interior) não altera o design do quadro.

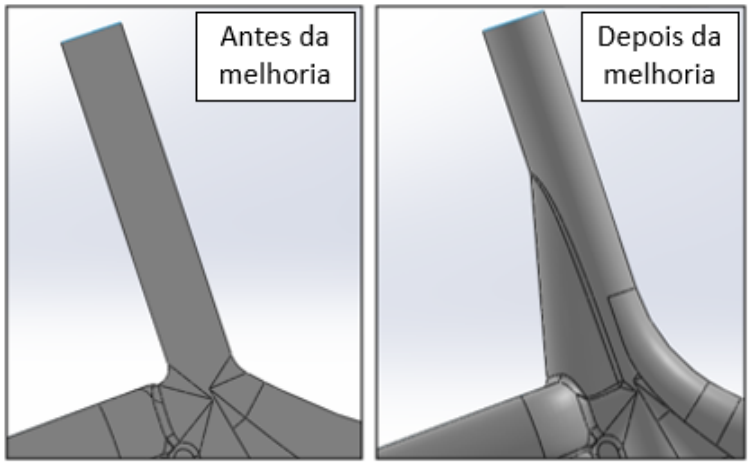


Figura 5.18: Aumento da área da zona que sofre momento.

Relativamente a ambas as abordagens, existia uma zona que ainda necessitava de melhorias, o local onde o eixo pedaleiro encaixava. Esta zona precisava de ser suavizada, não só devido ao processo de embutidura, como também devido às cargas aí sofridas. A solução passou por colocar uma aba, onde no interior iria ser encaixado o eixo pedaleiro e no exterior a tampa do mesmo, mantendo assim a estrutura no local. Posteriormente suavizaram-se todos os raios de concordância, facilitando o processo de embutidura. Estas melhorias efetuadas estão apresentadas na Figura 5.19.

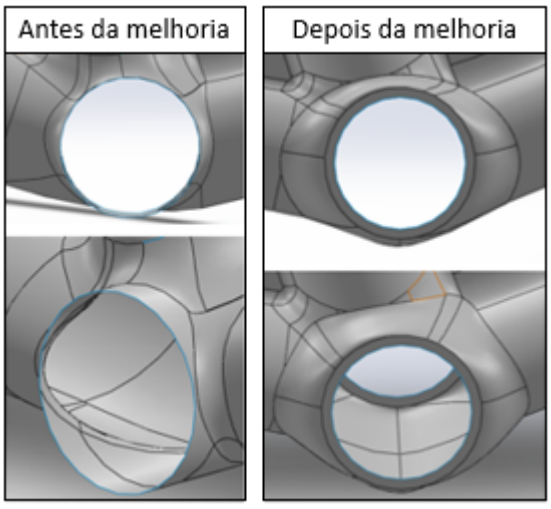


Figura 5.19: Antes de depois dos melhoramentos efetuados.

Outro local que demonstrava algumas falhas, existente nas duas abordagens, correspondia à zona apresentada na Figura 5.20, uma vez que nos testes dos pedais existiam tensões pontuais em certos locais dos *fillets*. Deste modo, os *fillets* tiveram de ser aumentados para que a embutidura fosse possível de ser realizada e as tensões nesses locais reduzidas.

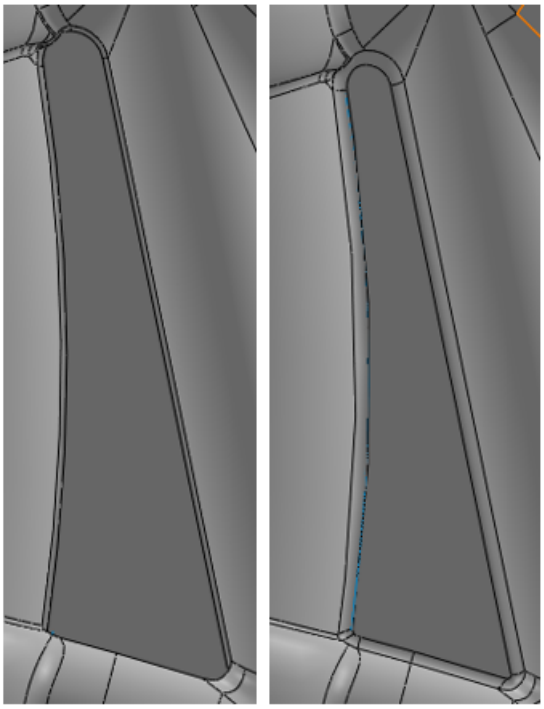


Figura 5.20: Aumento dos *fillets*.

Para a realização das simulações, considerou-se que, nas duas abordagens, as duas meias metades estavam ligadas entre si nos pontos representados a azul na Figura 5.21. Apesar de ser uma análise muito primordial, esta foi a forma de representar o cordão de soldadura.

A realização do cordão não é, no entanto, suficiente para impedir que haja um deslizamento das duas chapas na zona central do quadro. Assim sendo, foi necessário criar pontos de solda, para que estes impedissem o deslizamento das mesmas, tendo sido, para tal, necessário realizar furos numa das meias metades do quadro. Importa

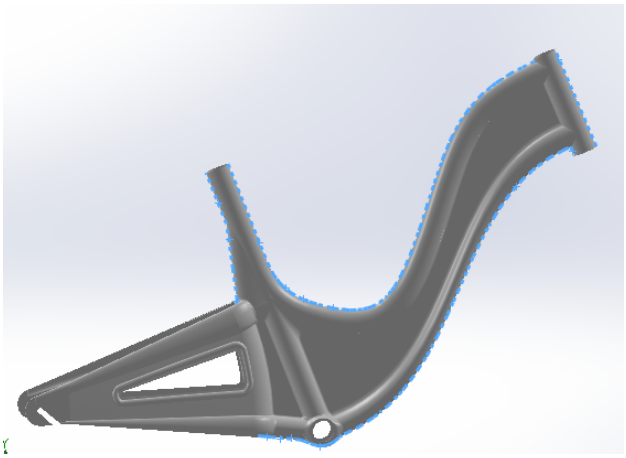


Figura 5.21: Representação do cordão de soldadura.

referir que estes furos apresentavam critérios a cumprir, de acordo com as regras design para embutidura. O diâmetro teria de ser, no mínimo, 2 vezes superior à espessura da chapa (4 mm), e a lateral mais próxima dos furos teria de estar a uma distância do final do *fillet* no mínimo de 2,5 vezes a espessura da chapa (5 mm). Optou-se, então, para ambas as abordagens, por um diâmetro de 5 mm para todos os furos, à exceção dos dois primeiros pontos que estão na zona mais estreita da parte de trás do quadro, que têm 4 mm de diâmetro, tal como apresentado na Figura 5.22.

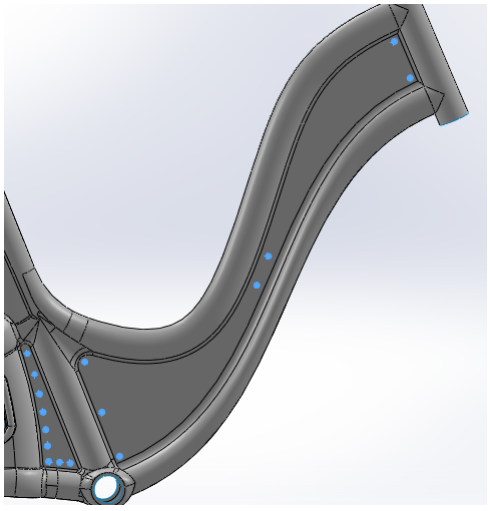


Figura 5.22: Representação dos locais dos pontos de solda.

5.3.5 Resultados Finais

Com as melhorias efetuadas realizaram-se, então, os testes aos dois quadros: o quadro com o tubo de aço no interior, denominado a partir de agora por A (Figura 5.23), e o quadro com o aumento da área de apoio, designado de B (Figura 5.24). Nestas estão ainda identificadas as zonas onde se efetuaram a análise dos deslocamentos, como será visto de seguida.

É de referir que, no quadro A, foi considerado que o tubo introduzido seria de aço S275, com 2 mm de espessura e comprimento de 460 mm. Para ambas as soluções, colocaram-se reforços de espessura 5 mm, na zona de apoio traseiro, de liga 6022, facilitando o processo de ligação com a chapa por soldadura.

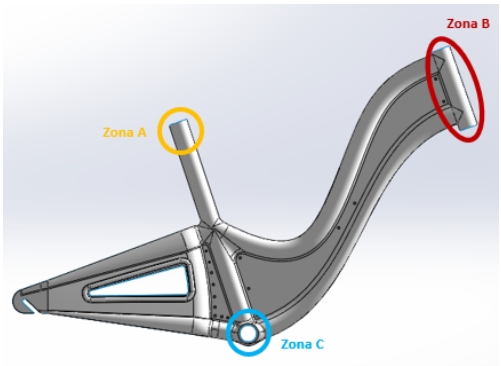


Figura 5.23: Representação das zonas onde se efetuaram a análise dos deslocamentos no quadro A.

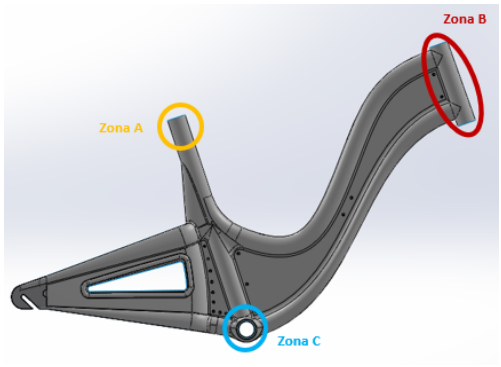


Figura 5.24: Representação das zonas onde se efetuaram a análise dos deslocamentos no quadro B.

Os resultados obtidos para o quadro A estão apresentados nas tabelas seguintes, nomeadamente os resultados dos deslocamentos máximos (Tabela 5.5) e os resultados das tensões máximas (Tabela 5.6). Relativamente ao quadro B, os resultados dos deslocamentos e das tensões encontram-se nas Tabelas 5.7 e 5.8, respetivamente.

Tabela 5.5: Valores dos deslocamentos máximos [mm] obtidos do quadro A para os diferentes testes realizados, nas três zonas analisadas

		Teste 1	Teste 2	Teste 3
Zona A	URES	0,7805	0,6949	0,0569
	UX	-0,6154	-0,2039	-0,0504
	UY	-0,3819	-0,581	0,026
	UZ		0,3217	-
Zona B	URES	0,2259	1,579	0,1831
	UX	-0,203	1,068	-0,1588
	UY	-0,0984	-0,5732	0,1003
	UZ	-	0,0928	-
Zona C	URES	0,2641	2,12	0,0437
	UX	0,044	-0,8326	-0,0165
	UY	-0,251	1,008	0,0435
	UZ	-	0,652	-

Tabela 5.6: Tensão de Von Mises do quadro A

	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Referência
Tensão de Von Mises [MPa]	38	100	12	139

Tabela 5.7: Valores dos deslocamentos máximos [mm] obtidos do quadro B para os diferentes testes realizados, nas três zonas analisadas

		Teste 1	Teste 2	Teste 3
Zona A	URES	1,602	1,143	0,045
	UX	1,436	-0,165	0,0397
	UY	-0,717	-0,739	0,0194
	UZ		0,9102	-
Zona B	URES	0,1927	1,904	0,194
	UX	-0,1745	1,769	-0,12
	UY	-0,0881	-0,683	0,0967
	UZ	-	0,272	-
Zona C	URES	0,2549	3,446	0,033
	UX	0,0464	1,146	-0,02
	UY	-0,238	1,419	0,0272
	UZ	-	3,334	-

Tabela 5.8: Tensão de Von Mises do quadro B

	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Referência
Tensão de Von Mises [MPa]	115,9	119,5	17,8	139

Os resultados das simulações com a interface do *software Solidworks* podem ser consultados nos Apêndices E e F.

5.3.6 Discussão de Resultados

Analisando as Tabelas 5.6 e 5.8 verificou-se que os testes realizados cumpriam os requisitos da norma ISO 4210:2014 (2014), uma vez que as tensões obtidas eram inferiores à de referência. Assim, seguidamente, foi necessário ter em consideração os valores dos deslocamentos do quadro da bicicleta de aço, uma vez que era necessário um termo de comparação.

Salienta-se ainda que se poderia ter tido em consideração os valores máximos de tensão no quadro de aço para a análise de tensões, permitindo o cálculo do fator de segurança associado. No entanto, só fazia sentido se fosse conhecido o material utilizado no mesmo, o que não acontece. Contudo, o valor do fator de segurança, neste caso, só necessita de ser maior que a unidade, uma vez que a norma ISO 4210:2014 já tem implícito fatores de segurança elevados.

Análise das Tensões

Como previamente mencionado, os valores de tensão obtidos, quando o quadro foi sujeito aos testes, foram inferiores aos valores da tensão limite de fadiga de 139 MPa.

Na Tabela 5.9 encontram-se os fatores de segurança (FS) calculados para o quadro inicial, para o quadro A e o quadro B, tendo como referência a tensão limite de fadiga (σ_f) e a tensão limite elástico (σ_e). Estes cálculos foram realizados para permitir uma melhor perceção da evolução do coeficiente de segurança alcançado com as melhorias efetuadas nos dois quadros. Estes foram calculados de acordo com a Equação 5.1:

$$FS\sigma_i = \frac{\sigma_i}{\text{Tensão Von Mises }_{max}} \tag{5.1}$$

onde i é o índice da tensão, podendo ser σ_f quando relacionado com a tensão limite de fadiga e σ_e com a tensão limite elástico.

Apesar de ambos os quadros, A e B, apresentarem melhorias face à versão inicial, como se pode verificar no aumento dos coeficientes de segurança, o quadro B apresenta sempre valores inferiores ao quadro A. Isto é explicado visto que o quadro A apresenta

um tubo no interior do encaixe do selim, conferindo maior rigidez ao quadro.

É, ainda, importante salientar que o valor de tensão limite de fadiga do material utilizado refere-se a 10^7 ciclos de trabalho. Contudo, os ensaios realizados têm como base, no máximo, 100.000 ciclos, indicando, assim, que os fatores de segurança reais seriam superiores aos obtidos. Deste modo, os resultados da presente dissertação encontram-se no lado da segurança do equipamento.

Tabela 5.9: Fatores de Segurança obtidos em cada teste relativamente à tensão limite fadiga (σ_f) e tensão limite elástico (σ_e)

	Quadro	FS,σ_f	FS,σ_e
Teste 1	Inicial	1,27	0,89
	A	3,66	3,95
	B	1,20	1,29
Teste 2	Inicial	0,45	0,48
	A	1,39	1,50
	B	1,16	1,26
Teste 3	Inicial	4,26	4,60
	A	11,58	12,50
	B	7,81	8,43

Análise dos Deslocamentos

Para uma análise viável dos deslocamentos obtidos, foi necessário calcular a diferença percentual dos valores de deslocamento referidos na Tabela 5.1, para todos os quadros realizados em relação ao quadro de aço. Esta diferença percentual foi calculada utili-

zando a Equação 5.2, para todos os deslocamentos pré-mencionados (URES, UX, UY e UZ):

$$\Delta(\%) = \frac{\mathrm{U}i_{Aco} \text{ - } \mathrm{U}i_{proposta}}{\mathrm{U}i_{Aco}} \times 100 \tag{5.2}$$

onde Ui é o deslocamento do respetivo parâmetro i, podendo ser relativo à componente em x, em y, em z ou à resultante. Destaca-se que este cálculo foi realizado para as 3 propostas (solução inicial, quadro A e quadro B), nas três zonas identificadas anteriormente (zona A, zona B e zona C). Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 5.10.

Analisando a Equação 5.2, verifica-se que os valores negativos correspondem a um valor do deslocamento da solução proposta superior ao deslocamento da bicicleta de aço, sendo necessário realizar novos testes ou melhorias.

Importa ainda referir que, o facto dos valores da diferença percentual serem elevados, não indica que os deslocamentos sejam significativos, uma vez que as ordens de grandeza são,por vezes, muito reduzidas, aumentando relativamente ao teste1, os valores percentuais.

Analisando a zona A na Tabela 5.10, verifica-se que tanto a solução A como a B acarretam melhorias relativamente à solução inicial. Apesar de no quadro B ainda existirem problemas, no quadro A são totalmente eliminados, visto ser a solução que traz a maior rigidez na zona do selim. Assim, ainda teriam de ser realizadas melhorias no quadro B para obter um resultado positivo, mas nunca esquecendo que as diferenças de deslocamentos são apenas na ordem de 1mm.

Na zona B todos os resultados são positivos, indicando que os deslocamentos são inferiores ao quadro de aço, para a mesma zona.

No que diz respeito a zona C, no teste 1 do deslocamento em xx obteve-se uma melhoria da versão inicial para as finais (quadro A e B). No teste 2, surgem contudo, alguns problemas no deslocamento em xx, resultando sempre em deslocamentos superiores ao do quadro de aço. Estes deslocamentos apresentam, no entanto, uma ordem

de grandeza muito reduzida, inferiores a 1 mm. Assim, com mais tempo de estudo, poderia-se tentar combater estes erros, através da implementação de uma peça metálica mais espessa na zona do encaixe dos pedais. O quadro B, que não tem peças metálicas no interior, sofreu maiores deslocamentos, pois não apresenta uma estrutura que oferece maior rigidez, como acontece no quadro A.

Tabela 5.10: Variação percentual dos resultados obtidos para todos os quadros realizados em comparação com o quadro de aço

		Quadro	URES (%)	UX (%)	UY (%)	UZ (%)
Zona A	**Teste 1**	Inicial	-573,75	-738,49	-344,85	-
		A	69,31	111,48	15,73	-
		B	-247,51	-393,47	-117,27	-
	Teste 2	Inicial	49,11	96,47	68,58	26,06
		A	66,70	83,84	56,64	67,51
		B	45,23	86,93	44,85	8,06
	Teste 3	Inicial	93,66	86,95	94,54	-
		A	82,8	78,91	88,60	-
		B	86,40	83,39	91,49	-
Zona B	**Teste 1**	Inicial	99,35	74,71	6,08	-
		A	57,05	60,20	45,64	-
		B	63,37	65,78	51,33	-
	Teste 2	Inicial	29,64	18,06	27,37	51,75
		A	35,45	52,02	38,23	72,88
		B	22,16	20,53	26,40	20,56
	Teste 3	Inicial	82,72	71,92	76,63	-
		A	79,05	78,25	62,01	-
		B	77,80	83,56	63,37	-
Zona C	**Teste 1**	Inicial	95,12	-98,44	40,52 6	-
		A	38,58	32,25	41,22	-
		B	40,72	27,50	44,26	-
	Teste 2	Inicial	26,92	-89,36	37,57	19,04
		A	33,10	-77,15	51,07	31,17
		B	-8,74	-143,83	31,12	-38,92
	Teste 3	Inicial	90,54	-758,73	99,48	-
		A	86,21	73,86	85,96	-
		B	89,59	68,25	91,23	-

Capítulo 6

Solução Final

Neste capítulo, serão abordadas as duas soluções finais desenvolvidas ao longo da presente dissertação. Apresentam-se as bicicletas completas e os respetivos quadros detalhados, acompanhados dos respetivos *renders* e desenhos 2D.

No final, será ainda realizada uma análise de custo, evidenciando-se o custo dos componentes, o custo de amortização das ferramentas, o custo do processo e, o consequente, custo de produção.

6.1 Componentes dos Quadros

6.1.1 Quadro A

Para a obtenção do quadro final A é, então, necessário embutir duas meias metades, dois reforços traseiros e um tubo, estando estes componentes apresentados na Figura 6.1.

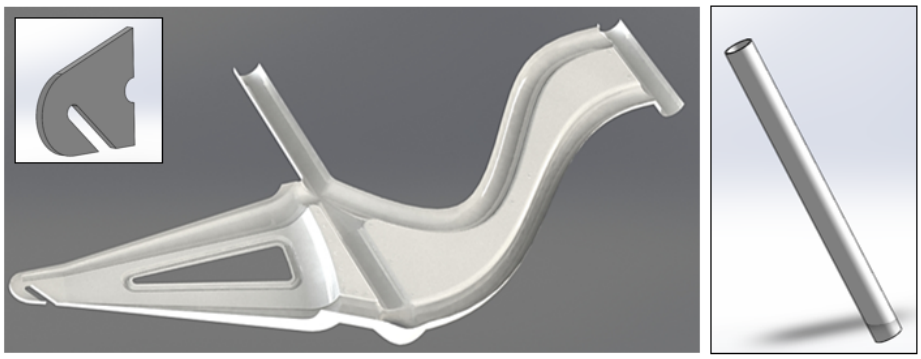


Figura 6.1: *Render* dos componentes do quadro A (*Solidworks 2017).*

6.1.2 Quadro B

Por sua vez, para a obtenção do quadro final B é necessário embutir duas meias metades e dois reforços traseiros, estando esta solução apresentada na Figura 6.2.

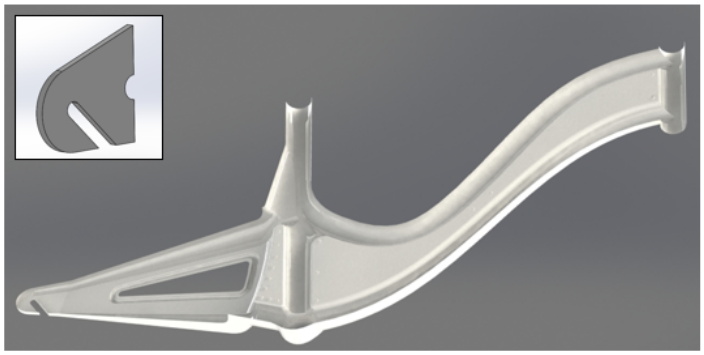


Figura 6.2: *Render* dos componentes do quadro B (*Solidworks 2017).*

6.2 *Renders* Finais

6.2.1 Render Quadro A

Nas Figuras 6.3 e 6.4 apresentam-se os *renders* do quadro A, segundo duas prespetivas diferentes.



Figura 6.3: *Render* do quadro A -1 (*Solidworks 2017).*



Figura 6.4: *Render* do quadro A -2 (*Solidworks 2017).*

Nas Figuras 6.5 e 6.6 encontram-se os *renders* da bicicleta completa com a solução do quadro A, segundo duas perspetivas diferentes.



Figura 6.5: *Render* da bicicleta completa com os componentes selecionados e o quadro A -1 (*Solidworks 2017).*



Figura 6.6: *Render* da bicicleta completa com os componentes selecionados e o quadro A -2 (*Solidworks 2017).*

6.2.2 Render Quadro B

Nas Figuras 6.7 e 6.8 apresentam-se os *renders* do quadro B, segundo duas perspetivas diferentes.



Figura 6.7: *Render* do quadro B -1 (*Solidworks 2017).*



Figura 6.8: *Render* do quadro B -2 (*Solidworks 2017).*

Nas Figuras 6.9 e 6.10 encontram-se os *renders* da bicicleta completa com o quadro B, segundo duas perspetivas diferentes.



Figura 6.9: *Render* da bicicleta completa com os componentes selecionados e quadro B -1 (*Solidworks 2017).*



Figura 6.10: *Render* da bicicleta completa com os componentes selecionados e quadro B -2 (*Solidworks 2017).*

6.3 Desenho 2D das Versões Finais Obtidas

Nas Figuras 6.11 e 6.12 estão apresentados as vistas frontais 2D dos quadros obtidos, com algumas das cotas de referência utilizadas. Os desenhos com todas as vistas podem ser observados no Apêndice G.

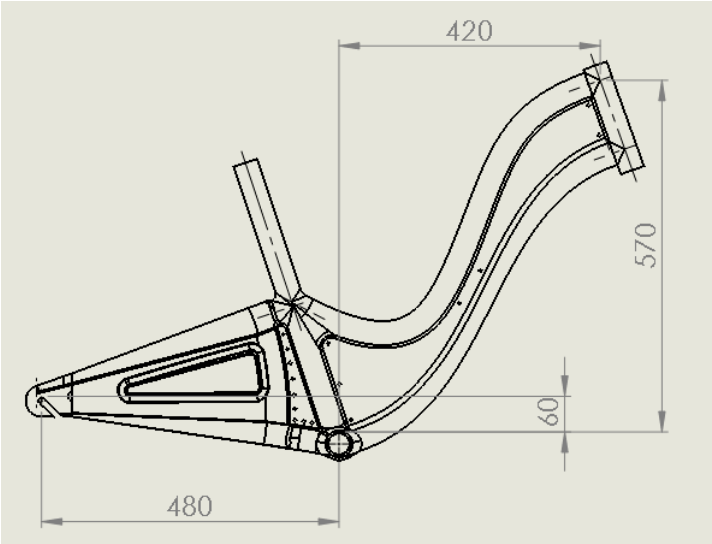


Figura 6.11: Desenho 2D do quadro A com algumas cotas de referência (*Solidworks 2017*).

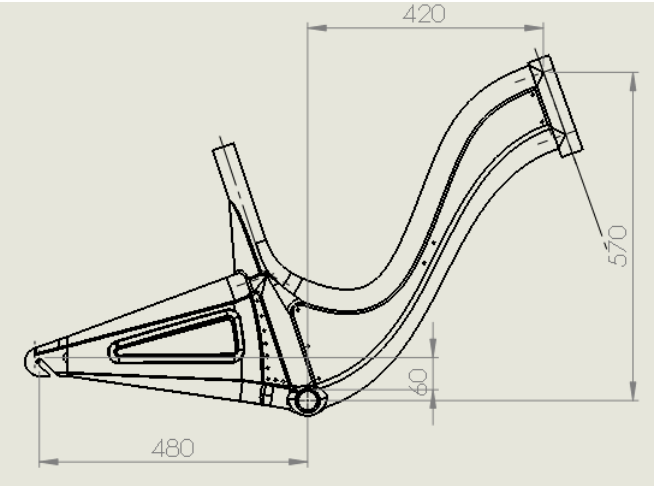


Figura 6.12: Desenho 2D do quadro B com algumas cotas de referência (*Solidworks 2017*).

6.4 Análise de Custo

6.4.1 Peso e preço dos componentes

Nas Tabelas 6.1 e 6.2 estão apresentadas as seguintes propriedades: peso específico, volume, massa e custo de cada componente dos quadros. O quadro A pesa, aproximadamente, 3,5 Kg e o quadro B cerca de 2,7 Kg. O custo de cada quadro foi calculado a partir do valor médio do custo por quilograma dos materiais, retirado do CES Edupack, como se observa nas tabelas seguintes. Assim, estima-se que o custo das matérias primas seja cerca de 5,29 euros no quadro A e de 4,82 euros no quadro B.

Tabela 6.1: Massa e custo dos componentes do quadro A

	Peso específico (g/m^3)	Volume (cm^3)	Massa (g)	Custo (€/Kg)	Custo (€)
2 meias partes	2660	978,46	2602,7	1,755	4,57
Tubo interior	7900	110,4	872,1	0,631	0,55
2 Reforços traseiros	2660	18,08	48,1	1,755	0,084
TOTAL			**3571**		**5,288**

Tabela 6.2: Massa e custo dos componentes do quadro B

	Peso específico (g/m^3)	Volume (cm^3)	Massa (g)	Custo (€/Kg)	Custo (€)
2 meias partes	2660	996,74	2651,3	1,755	4,65
2 Reforços traseiros	2660	18,08	48,1	1,755	0,084
TOTAL			**2747,5**		**4,82**

Ainda para a análise de custo, é necessário ter em consideração o elétrodo que vai ser utilizado na soldadura. Para isso, estimou-se que o custo do elétrodo seria de 10 % do valor da chapa a ser moldada, ou seja, teria um custo aproximado de 0,50 €.

6.4.2 Custo de amortização das Ferramentas

Na tentativa de se conseguir obter uma primeira estimativa do custo associado ao processo de embutidura das duas meias metades, contactou-se a empresa PJF. A empresa estimou um orçamento de 360.000 € sendo necessário para a embutidura das duas peças as seguintes ferramentas: duas de estampar, duas de cortar e uma de calibragem.

Para esta análise, era ainda necessário ter em consideração o custo dos gabaris de soldadura, estimando-se um custo de 50.000 €, resultando um custo total de aquisição das ferramentas de 410.000 €.

O custo de amortização das ferramentas é apresentado na Tabela 6.4 e corresponde à parcela que o custo de aquisição das mesmas representa em cada um dos quadros produzidos.

Tabela 6.3: Parâmetros e custo de amortização das ferramentas

Parâmetro	Valores
Custo de aquisição das Ferramentas	410.000 [€]
Números de quadros a produzir	300.000 [unidades]
Custo de amortização das ferramentas	**1,37 [€/unidades]**

6.4.3 Custo do processo

Para se determinar os custos totais do processo, considerou-se o custo de embutidura e de soldadura, em separado. Estes custos, apresentados na Tabela 6.4, tiveram em consideração o custo de amortização das máquinas, o custo dos operadores e custo da eletricidade utilizada nos processos.

Foi necessário estimar o tempo necessário para a produção do quadro, não estando disponível nenhuma informação concreta para este tipo de quadro e nas mesmas circunstâncias. Tendo em conta que os processos utilizados, quando implementados a larga escala e automatizados, demoram segundos, foi estimado um intervalo de tempo

de 2 minutos, parecendo, então, uma estimativa possível de realizar. Assim, foi possível obter um custo médio do processo por cada peça produzida, apresentado na Tabela 6.4.

Tabela 6.4: Custo do Processo

Parâmetro	Valores
Custo do processo de embutidura	50/60 [€/h]
Custo do processo de soldadura	20/30 [€/h]
Custo total dos processo	70/90 [€/h]
Taxa de produção	30 [peças/h]
CUSTO TOTAL	**2,3/3 [€/peça]**

6.4.4 Custo total

O custo total de produção foi calculado através da soma das parcelas anteriormente calculadas. Após se obter o valor total, considerou-se ainda um aumento de 10 % referente ao tratamento térmico de homogeneização e envelhecimento artificial, que é necessário realizar em todos os quadros de alumínio. Assim, os cálculos realizados surgem nas Equações 6.1, 6.2 e 6.3.

$$\text{C. Total} = [\text{C.Matéria Prima} + \text{C. Ferramentas} + \text{C.Processo}] \times 1.1 \tag{6.1}$$

$$\text{C. Total Quadro A} = [(5{,}29 + 0{,}5) + (1{,}37) + (3)] \times 1.1 = 11{,}18€/\text{peça} \tag{6.2}$$

$$\text{C. Total Quadro A} = [(4{,}82 + 0{,}5) + (1{,}37) + (3)] \times 1.1 = 10{,}66€/\text{peça} \tag{6.3}$$

Destaca-se, por fim, que não se teve em consideração a pintura nem os desempenos finais, que são muitas vezes utilizados para diminuir as distorções causadas pela soldadura e tratamento térmico.

Esta análise permitiu, então, obter a possibilidade de realizar dois quadros com um custo apelativo. Apesar de terem de ser realizadas melhorias e a própria análise ter de ser mais detalhada, para uma primeira abordagem de custos, pode-se concluir que seria um projeto interessante a continuar.

Capítulo 7

Conclusões

No desenvolvimento de um produto de sucesso é fulcral ter em consideração uma série de etapas que envolvem vários profissionais. Os primeiros passos consistem numa pesquisa de mercado realizada pelos especialistas de *marketing* e no desenvolvimento de conceitos criativos por parte dos designers. O papel de um engenheiro assenta na seleção de materiais e processos eficientes para a obtenção do produto final.

Durante a realização da presente dissertação traçaram-se todas as etapas anteriormente referidas e foi possível identificar várias dificuldades inerentes à conceção de um novo produto. Apesar de existirem diversos caminhos a seguir e de cada empresa ter uma forma específica de desenvolver os seus produtos, é também de salientar a importância de explorar diferentes abordagens.

Uma vez que o objetivo do trabalho não estava claramente definido, na fase inicial, a utilização de estratégias de design permitiu esclarecer todos os parâmetros para a posterior realização do quadro da bicicleta.

A seleção do processo de fabrico de embutidura fundamentou-se no interesse da empresa em explorar um processo de fabrico capaz de aumentar a cadência de produção dos quadros, reduzindo assim o custo de produção dos mesmos e dando resposta ao crescente interesse da sociedade nos meios de transporte mais sustentáveis. A exploração de todas as componentes associadas ao processo de fabrico e de seleção de materiais revelou-se um estudo complexo, uma vez que contemplou várias matérias,

nomeadamente regras de design para peças embutidas e limitações associadas às ligas de alumínio e respetivas formas de união. Após a análise de várias ligas, optou-se pela liga de alumínio 6022 T4 para a conceção do quadro da bicicleta.

No que diz respeito ao design dos conceitos, foi necessária uma colaboração constante entre designers e engenheiros para que fosse possível criar um produto novo e diferenciador, sem comprometer os prazos estipulados. Desenvolveu-se um primeiro conceito que acabou por ser descartado por se mostrar impraticável no período de tempo disponível. De seguida, estudou-se um segundo conceito para colmatar as falhas associadas ao primeiro e, assim, realizar um projeto dentro do prazo estipulado. Dentro deste conceito, abordaram-se duas hipóteses, o quadro A e o quadro B.

Para manter o design original, seria necessário inserir um tubo no interior do quadro, sendo esta solução apresentada pelo quadro A. Caso contrário, considera-se a solução do quadro B, que consistiu no aumento da sua área, permitindo diminuir a concentração das tensões.

Após a modelação dos dois quadros, foram realizadas simulações representativas dos três testes, referidos na norma ISO 4210:2014, nomeadamente o ensaio à fadiga com força vertical aplicada, o ensaio à fadiga com as forças exercidas ao pedalar e o ensaio à fadiga com força horizontal aplicada. Identificaram-se as três zonas críticas, em termos de deslocamentos, nos quadros da bicicleta, determinando-se os mesmos segundo as componentes *x, y, z* e global para cada zona crítica e para cada quadro modelado. Os resultados dos deslocamentos dos quadro A e B foram comparados com os deslocamentos do quadro adquirido pela empresa, verificando-se uma melhoria quase global nas soluções propostas.

Relativamente às tensões, foi analisado o campo de tensões global para cada quadro modelado, obtendo-se, para todos os testes, valores inferiores ao valor de referência (tensão limite de fadiga a 10^7 ciclos). Deste modo, ficou comprovado que ambos os quadros suportavam as cargas aplicadas.

Finalmente, realizou-se uma análise de custos associada à produção de quadros, que permitiu constatar que, com a implementação de melhorias, seria possível obter um

quadro por um custo razoável. Constatou-se também que os dois quadros projetados seriam mais leves que o quadro de aço (quadro adquirido pela empresa).

O maior desafio em termos de engenharia surgiu no momento da modelação do quadro. Foi necessário garantir que este, além de cumprir os requisitos do processo de fabrico, apresentasse também características de resistência e rigidez que respeitassem os critérios de segurança apresentados na norma ISO 4210:2014. Além das dificuldades acima mencionadas, é de referir ainda que a modelação do quadro em superfícies exigiu um investimento de tempo na aprendizagem de novas competências relacionadas com os comandos do *software* utilizado.

No desenvolvimento da presente dissertação constatou-se a possibilidade de implementação de um material (chapa liga 6022) e de tecnologias utilizadas na indústria automóvel num novo sector industrial - quadros de bicicletas. Os dois quadros finais, feitos em liga de alumínio 6022, embutidos e soldados, com quadro rebaixado para contexto citadino, são, então, capazes de cumprir as normas requeridas dentro do prazo estipulado.

7.1 Trabalhos Futuros

Como sugestão de um trabalho futuro, propõe-se um estudo mais intensivo em relação ao processo de embutidura, identificando-se as diferentes etapas do mesmo e os seus requisitos adjacentes, para que, assim, se consiga tornar o projeto desenvolvido na presente dissertação real.

Outra proposta para um trabalho futuro passa pelo estudo da possibilidade em diminuir a espessura da chapa, reduzindo assim o peso do quadro. Por outro lado, a pesquisa de novas formas de união das duas partes, nomeadamente a soldadura por pontos, seria interessante uma vez que, quando automatizada, reduz o tempo de produção.

Referências bibliográficas

Adams, K. (2015). *Non-functional Requirements in Systems Analysis and Design*. Springer International Publishing Switzerland.

ALCAN (1993). *Manual de soldagem*. ALCAN, Brasil.

ALCOA (2012). Desenvolvimento de modelos para análise estrutural do quadro tubular de uma bicicleta pelo método dos elementos finitos. *SPD-10-009*, Rev.2.

Aldred, R., Woodcock, J., and Goodman.A (2016). Does more cycling mean more diversity in cycling? *Transport Reviews*, 36(1):28–44.

Altan, T. and Tekkaya, A. (2012). *Sheet Metal Forming: Fundamentals*. ASM International.

BradLaybourneLaw (2015). Bike commuting in a motorized world [infographic]. [web; acedido a 01-03-2018].

Brown, T. (2008). Design thinking. *Harvard Business Review*, pages 84–96.

Cantor, B., Grant, P., and Johnston, C. (2008). *Automotive Engineering: lightwheigt, functional and novel materials*. Materials science and engineering. Taylor Francis.

CesEdupack (2017).

Commission, E.-E. (2017a). Distribution of the principal means of going to work, capital cities, 2015 %. [web; acedido a 06-03-2018].

Commission, E.-E. (2017b). Population structure and ageing. [web; acedido a 06-03-2018].

Conebi (2017). European bicycle market - industry market profile. [web; acedido a 16-02-2018].

Davies, G. (2012). *Materials for Automobile Bodies*. Elsevier.

Height, A. (2018). Average height for women.

Hirsch, J. (2011). Aluminium in innovative light-weight car design. *MATERIALS TRANSACTIONS*, 52(5):818–824.

IDEO (2011). *Human Centered Design Toolkit*. IDEO.

Mao, T. and Altan, T. (2013). Aluminum sheet forming for automotive applications, part i. *STAMPING JOURNAL*, pages 12–13.

Mota, G. (2016). Soldagem do alumínio e suas ligas. [web; acedido a 10-03-2018].

Nascimento, F. (2007). *Processamento por Fricção Linear Caracterização e análise de ligas de alumínio processadas AA5083-O e AA7022-T6*. Tese de Mestrado,IST,Lisboa.

Neto, R. (2017a). Tecnologia de moldação - coquilha. Conteúdos da disciplina de Tecnologia de Moldação.

Neto, R. (2017b). Tecnologia de moldação - injeção. Conteúdos da disciplina de Tecnologia de Moldação.

ORBEA (2018). Comfort 42 pack. [web; acedido a 10-03-2018].

Ramalheira, J. (2008). *Comportamento Mecânico de Peças Hidroformadas*. Tese de Mestrado,FEUP,Porto.

Ribeiro, P. (2013). *Análise dinâmica de um quadro de bicicleta*. Tese de Mestrado,FEUP,Porto.

Riley, J. (2017). Market in focus - uk bicycle market. [web; acedido a 1-03-2018].

Santos, A., Duarte, J., and Rocha, A. (2005). *Tecnologia de Embutidura - Princípios e aplicações*. INEGI - Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial.

SCOTTSports, S. (2013). The carbon experts. [web; acedido a 03-03-2018].

Simões, F. (2003). *Caracterização mecânica de ligas de alumínio : Análise do efeito da recuperação estática à temperatura ambiente*. Tese de Mestrado,FEUP,Porto.

Statista (2018). Average price of bicycles in france in 2016, by type of bike (in euros). [web; acedido a 08-03-2018].

Thompson, R. (2007). *Manufacturing Processes For Design Professionals*. Thames Hudson.

Ulrich, K. and Eppinger, S. (2012). *Product Design and Development*. McGraw-Hill.

Apêndice A

Estudo de mercado - Bicicletas de desporto

Estudo de mercado realizado com base nos sites das marcas frisadas.

Estudo realizado entre os dias 12 e 14 de fevereiro de 2018.

Valores apresentados em euros.

	MODALIDADE/MARCA	Specialized	Giant	Cannondale	Kona	Scott	Trek	Santa Cruz	GT	Yeti	Merida
BTT	XC	1500 – 10000	640-7800	2000-12800	480-6000	1800-12800	430-9000	1700-2600	940-3900	4800-8000	2300-8000
	All mountain			4000-7500				3300 - 4000	2600-6500		2300-2900
	Enduro	3460-9250	2750-7350	3000-7500	3500-5000	2530	3000-7500		1800-4500	3500-9500	3400-6700
	Downhill	4070-8641	2850-4900		2900-7900		5000-11000	5800	6900		
	Fat Bike	1983-3253		1900-3200	390-700	1500-2800	1500-2800				
	BMX	1983-3252				260-520					
ESTRADA	Performance	763-10877	1749-9900	2200-11500	900-1600	2100-12000	740-12500				
	Touring/ Adventure	915-9150	1140-1249		750-2010		700-1300				1400-2000
	Ciclocross/ Endur./Gravel	2135-4067	1999-7849	1200-10000	750-6000	1170-10000	1800-10000				1000-3250
	Triatlo	1728-10877	2349-5099			3500-12400	4500-10000				

Figura A.1: Estudo de mercado.

Apêndice B

Estudo de mercado - Bicicletas urbanas

Estudo de mercado realizado com base nos sites das marcas frisadas.

Estudo realizado entre os dias 12 e 14 de fevereiro de 2018.

Valores apresentados em euros.

			Retalho	Dahon	Tern	Giant	Trek	EarlyRider	Cannondale	Scott	Bobbin	Kalkhoff	Reid
BICICLETAS DE CIDADE	DOBRÁVEL	Rodas pequenas	150-400	231-1170	325-2500	489					400		
		Treking			729-2450								
		Elétricas		1800									
	ELÉTRICAS		700-1900		2500-4000	1450-3899	2112-4760		2350-3700	1900-3400		1800-5000	1400-2300
	CLÁSSICAS		150-400						700-2050	600-1900	392-595	700-1150	328-510
	HIBRIDAS		290-600				416-2261		650-2800	600-1299	220	800-1100	200-1400
	CRIANÇAS	5-7	50-130			119-250		250-330	280		100-150		80-150
		7-9	95-300					350-470	300-340		180-210		
		>10	160			329-400	321- 1785	380-500	470-600		250		265

	Viking	Tucano	GoCycling	Brompton	Specialized
Dobrável elétrica	624	1200	4000	2400	
Dobrável Treking					4000

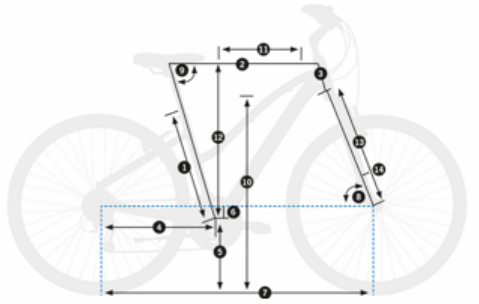
Figura B.1: Estudo de mercado.

Apêndice C

Guia de tamanhos

Guia de tamanhos da marca ORBEA relativa à bicicleta Confort-42 pack 18

Pesquisa realizada no dia 10 de Março de 2018



Altura (cm)	Tamanho
150-165	S – 28''
165-175	M – 28''
175-185	L – 28''
185-208	XL – 28''

Medida	S – 28''	M – 28''		L – 28''	XL – 28''
1 - Tubo do selim	405	450		465	500
2 - Tubo superior	535	569		585	605
3 - Tubo da direção	150	160		170	190
4 - Escora	460	450		450	450
5 - Altura BB	285	303		303	303
6 - BB			65		
7 - Distância entre eixos	1055	1071		1087	1109
8 - Ângulo da direção	69.5º	70.5º		70.5º	70.5º
9 - Ângulo do selim			74º		
10 - "Standover"	679	695		703	724
11 - "Reach"	360	390		403	418
12 - "Stack"	612	624		633	652
13 - Comprimento da forqueta			457		
14 –"Offset"	42	35		35	35

Figura C.1: Dimensões do quadro de referencia.

Apêndice D

Conceitos de quadros

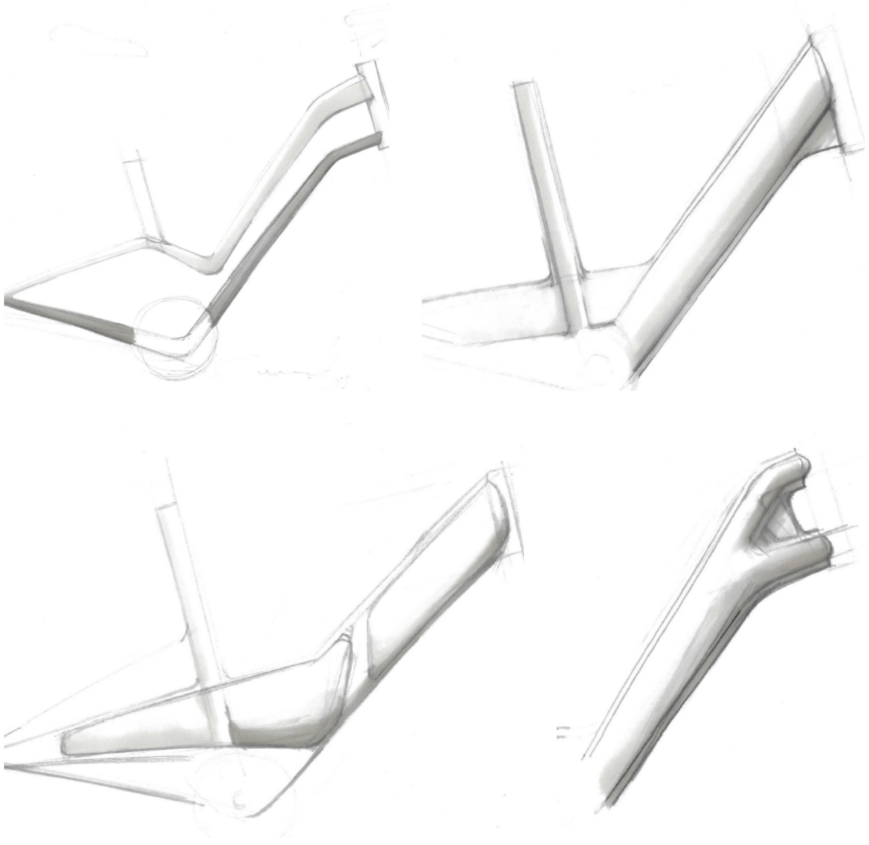


Figura D.1: Esboços assumindo a embutidura como componente de design.



Figura D.2: Esboços focados num quadro com uma abordagem mais futurista.

Apêndice E

Simulações ao Quadro A

Teste 1 - Teste à fadiga com força vertical aplicada

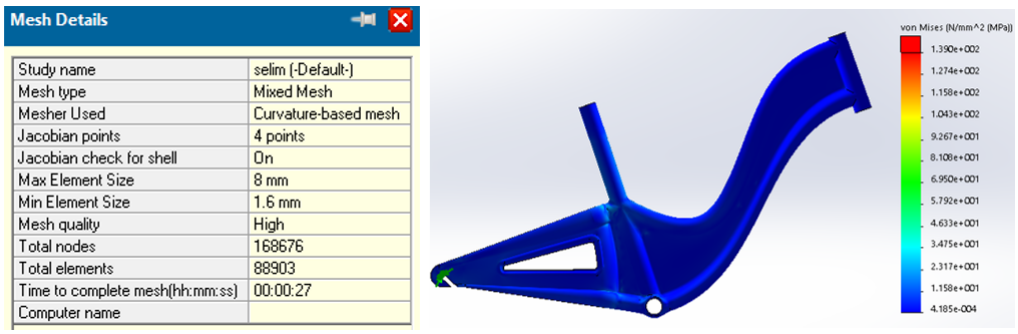


Figura E.1: Detalhes da malha da simulação e análise das tensões Von Mises.

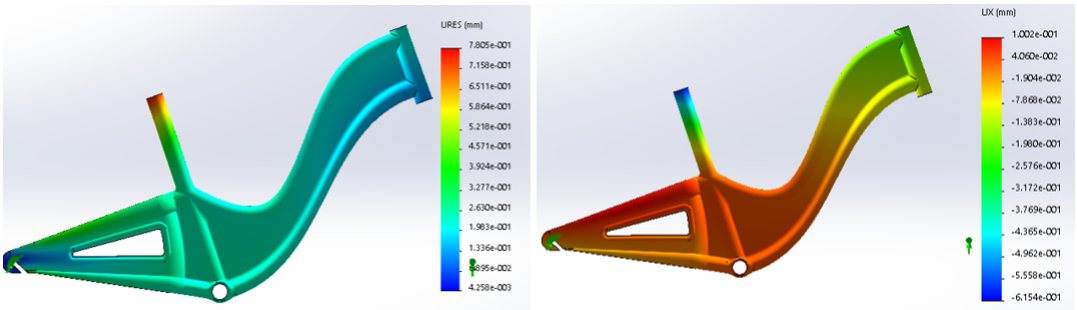


Figura E.2: Deslocamento geral e deslocamento em X.

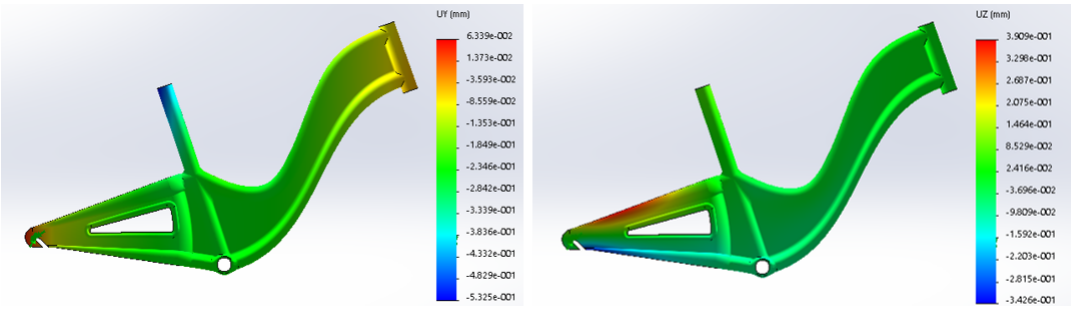


Figura E.3: Deslocamento em Y e deslocamento em Z.

Teste 2 - Teste à fadiga com as forças exercidas ao pedalar

Mesh Details

Study name	pedais (-Default-)
Mesh type	Mixed Mesh
Mesher Used	Curvature-based mesh
Jacobian points	4 points
Jacobian check for shell	On
Max Element Size	8.8 mm
Min Element Size	1.76 mm
Mesh quality	High
Total nodes	141703
Total elements	72679
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:00:21
Computer name	

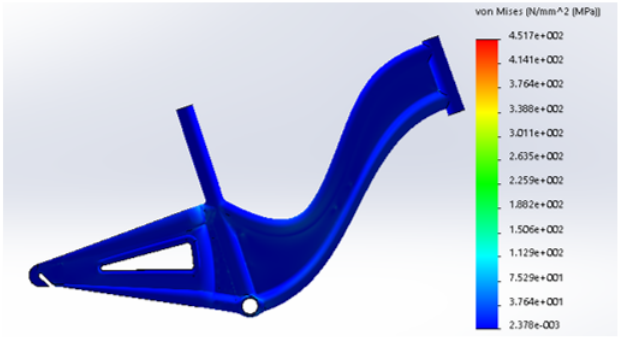


Figura E.4: Detalhes da malha da simulação e análise das tensões Von Mises.

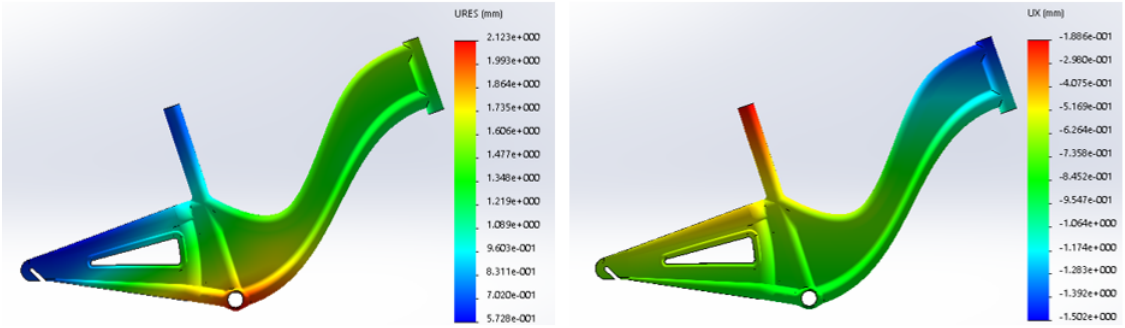


Figura E.5: Deslocamento geral e deslocamento em X.

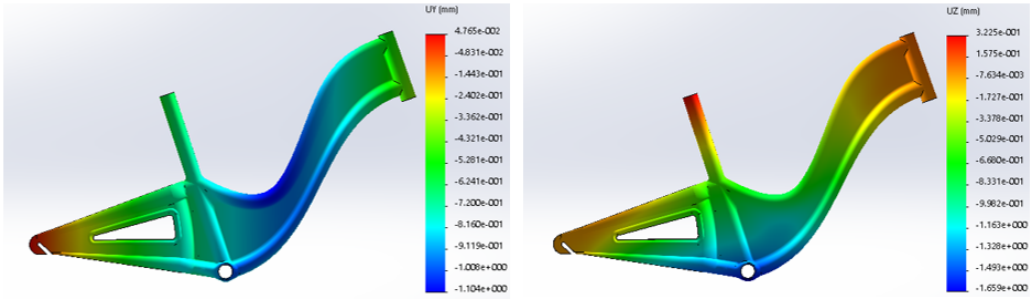


Figura E.6: Deslocamento em Y e deslocamento em Z.

Teste 3 - Teste à fadiga com força horizontal aplicada

Mesh Details

Study name	forqueta (-Default-)
Mesh type	Mixed Mesh
Mesher Used	Curvature-based mesh
Jacobian points	4 points
Jacobian check for shell	On
Max Element Size	8 mm
Min Element Size	1 mm
Mesh quality	High
Total nodes	186446
Total elements	96001
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:00:28
Computer name	

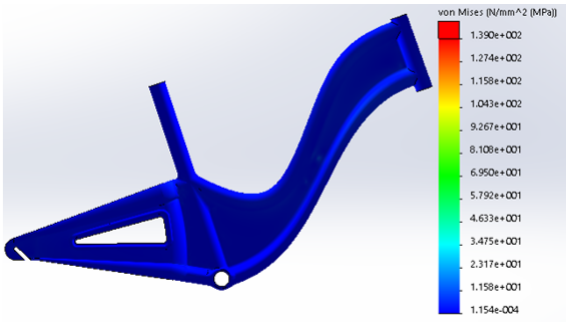


Figura E.7: Detalhes da malha da simulação e análise das tensões Von Mises.

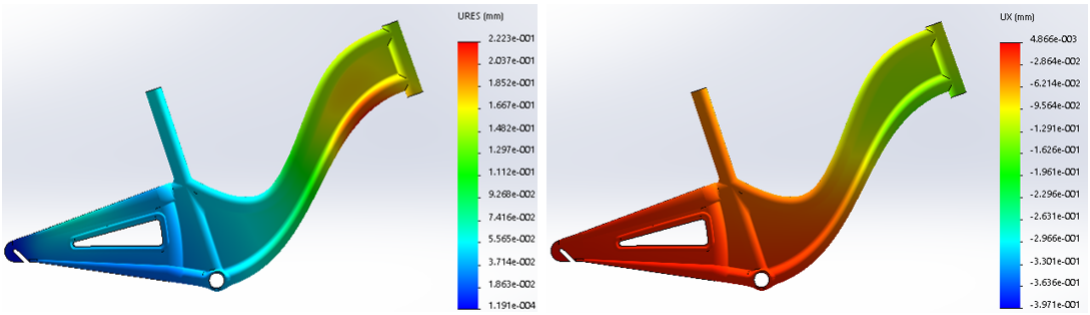


Figura E.8: Deslocamento geral e deslocamento em X.

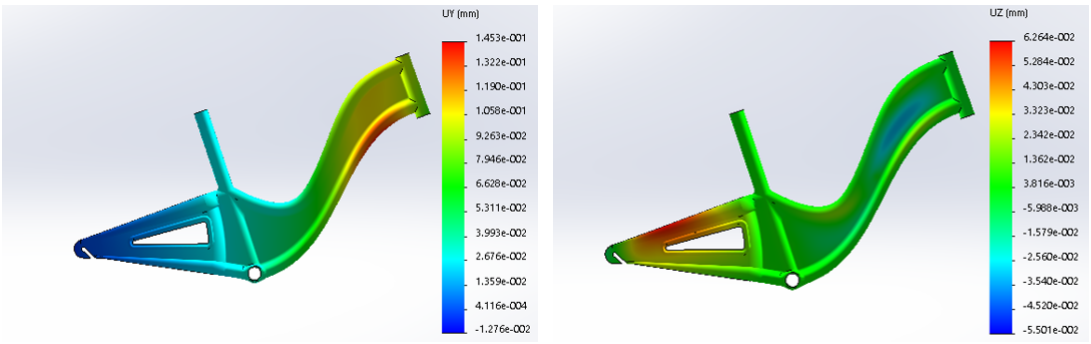


Figura E.9: Deslocamento em Y e deslocamento em Z.

Apêndice F

Simulações ao Quadro B

Teste 1 - Teste à fadiga com força vertical aplicada

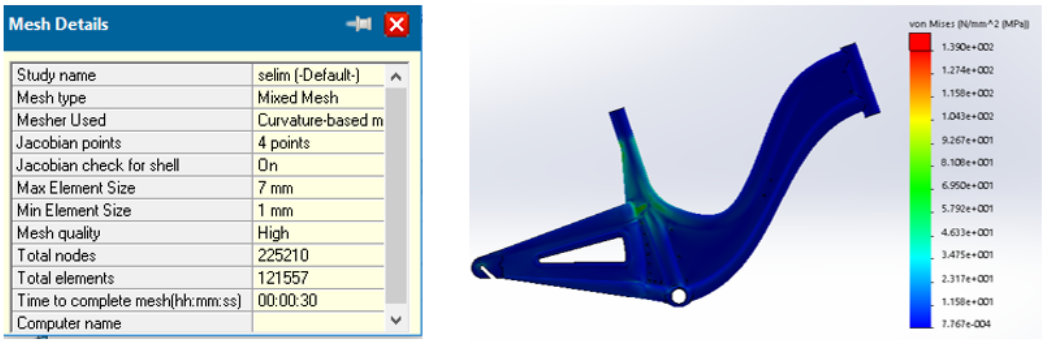


Figura F.1: Detalhes da malha da simulação e análise das tensões Von Mises.

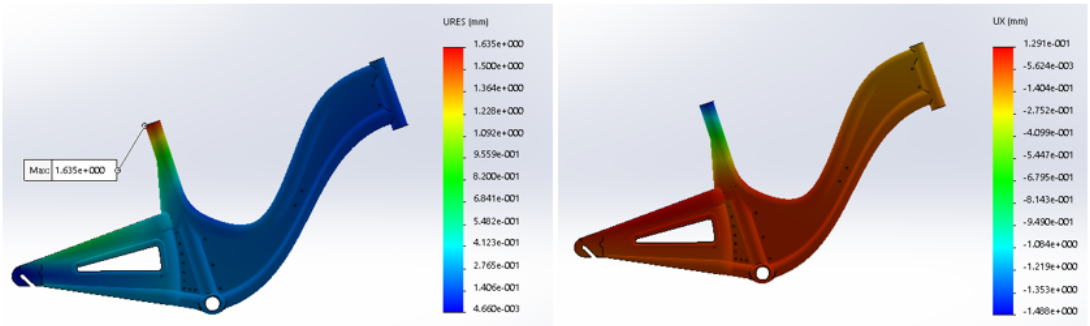


Figura F.2: Deslocamento geral e deslocamento em X.

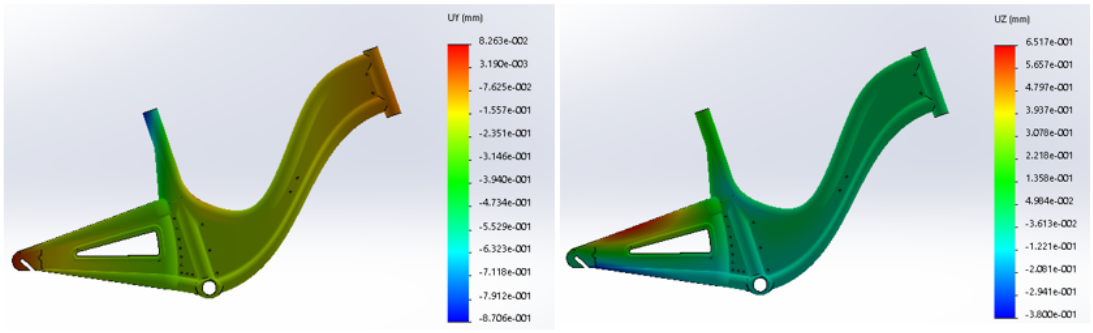


Figura F.3: Deslocamento em Y e deslocamento em Z.

Teste 2 - Teste à fadiga com as forças exercidas ao pedalar

Mesh Details

Study name	pedais (-Default-)
Mesh type	Mixed Mesh
Mesher Used	Curvature-based m
Jacobian points	4 points
Jacobian check for shell	On
Max Element Size	10 mm
Min Element Size	2 mm
Mesh quality	High
Total nodes	115444
Total elements	58810
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:00:20
Computer name	

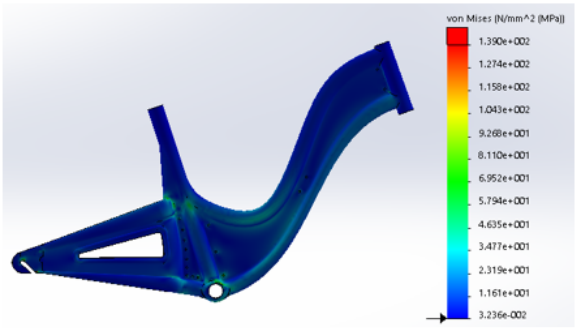


Figura F.4: Detalhes da malha da simulação e análise das tensões Von Mises.

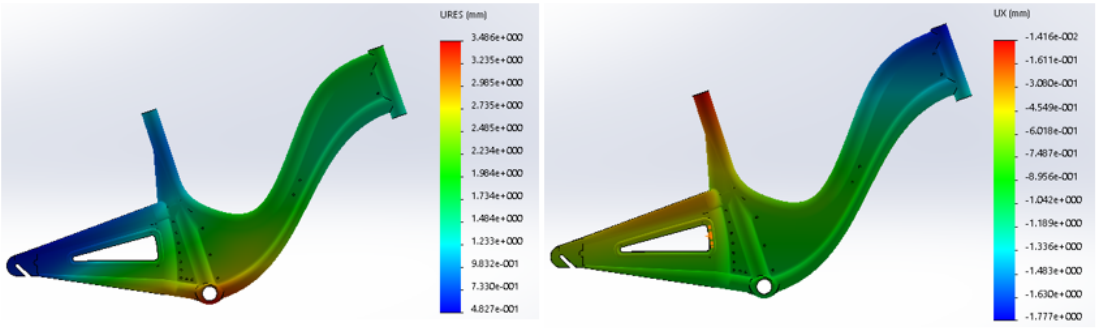


Figura F.5: Deslocamento geral e deslocamento em X.

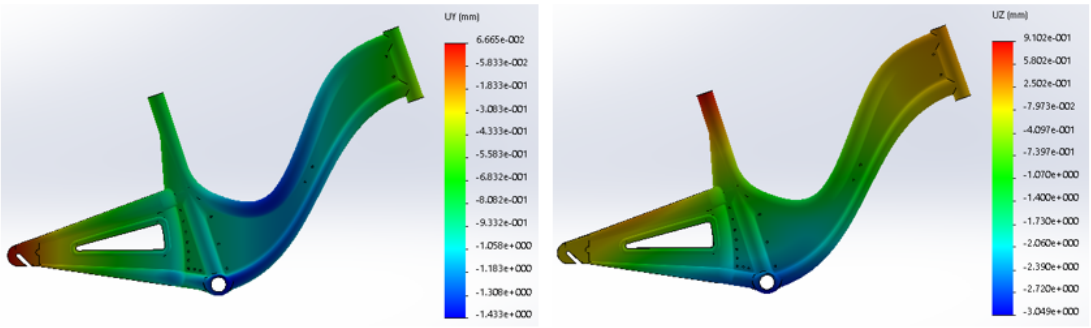


Figura F.6: Deslocamento em Y e deslocamento em Z.

Teste 3 - Teste à fadiga com força horizontal aplicada

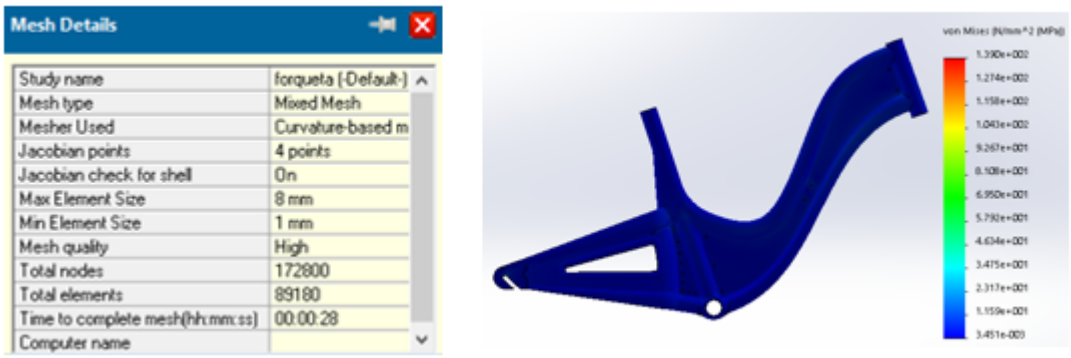


Figura F.7: Detalhes da malha da simulação e análise das tensões Von Mises.

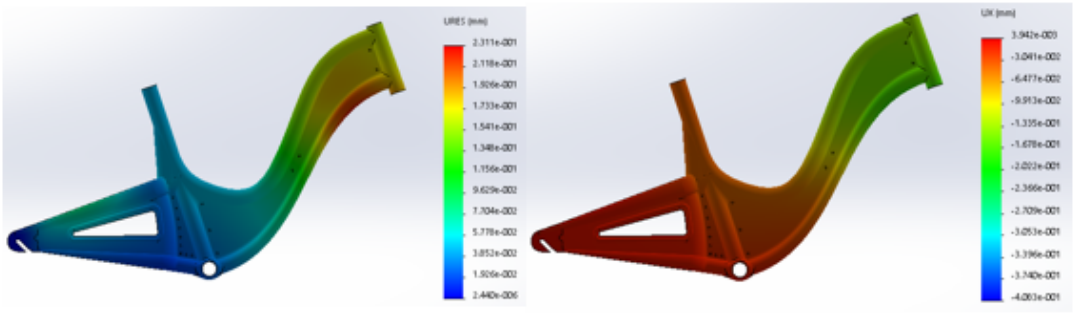


Figura F.8: Deslocamento geral e deslocamento em X.

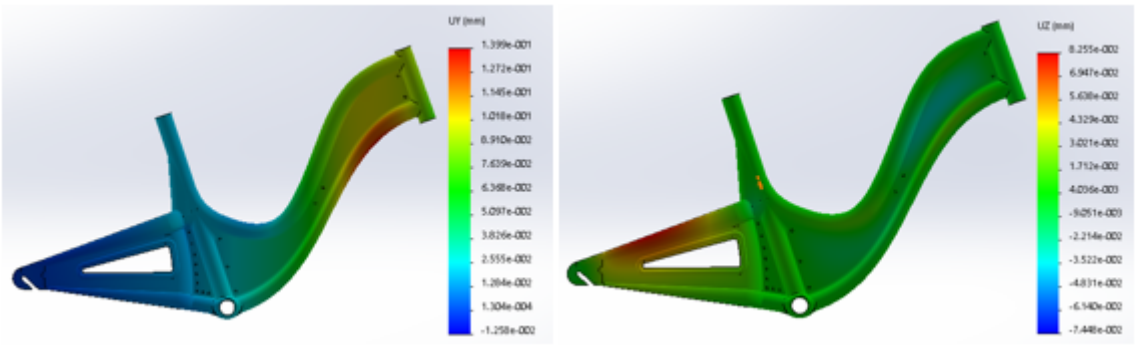


Figura F.9: Deslocamento em Y e deslocamento em Z.

Apêndice G

Desenho técnico dos dois quadros obtidos