

# **Aplicação da filosofia Lean ao desenvolvimento de um veículo para competições de eficiência energética**

Versão final após discussão

**Rafael de Pinho Figueiredo**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia e Gestão Industrial**  
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Fernando Manuel Bigares Charrua Santos

**outubro de 2020**



# **Dedicatória**

Esta dissertação é dedicada aos meus pais e avós que sempre me apoiaram, dando o que tinham, e por vezes, o que não tinham. Ao meu irmão que sempre me incentivou a estudar e a acabar o que tinha iniciado, dando-me todo o apoio no que necessitasse. E à Laura por me cativar a estudar e conseguir atingir esta grande meta para a minha vida futura.



# Agradecimentos

Ao meu orientador professor doutor Fenando Manuel Bigares Charrua Santos, pela aceitação do tema que propus e a disponibilidade para ajudar sempre que necessitei. Ao professor doutor Paulo Manuel Oliveira Fael que foi uma ajuda fulcral para conseguir concretizar este projeto.

O Martim Aguiar pelo auxílio nas dificuldades encontradas ao longo da dissertação, com os desenhos no *Solidworks* e na montagem de alguns componentes.

A toda a equipa UBICAR, em especial, ao Daniel Cardoso, por me proporcionar as condições para a realização da dissertação no seio do projeto.

À minha família, namorada e amigos por estarem sempre presentes nesta jornada, e apoiar-me nos momentos mais difíceis.

O meu sincero obrigado.



## **Resumo**

A filosofia *Lean* é direcionada para a redução ou eliminação de qualquer desperdício que possa ser encontrado, independentemente de qual o setor ou até mesmo organização. Esta filosofia adequa-se plenamente à competição *Shell Eco-marathon*, pois para se cumprir o objetivo da prova, a eficiência energética, é necessário reduzir ao máximo todos os desperdícios que possam ser encontrados.

Com isto, o objetivo deste trabalho em implementar a filosofia *Lean* no desenvolvimento de um novo veículo e no veículo atual, UBIAN19, traz grandes benefícios ao nível da redução de desperdícios, em especial, a massa, bem como, a redução de problemas que surgem na fase de produção do veículo e manutenção do mesmo.

A extensa revisão da literatura sobre a competição de eficiência energética, os veículos desenvolvidos e a filosofia *Lean*, proporcionou avaliar os pontos que eram passíveis de melhoria. E recorrendo às ferramentas da filosofia, como o SMED e os cinco sentidos, foi possível conseguir melhorias significativas na redução de massa, bem como, de tempo na preparação e manutenção dos veículos.

## **Palavras-chave**

*Lean*;SEM;Veículo;UBICAR;SMED;Desperdícios;Redução;Otimização;Eficiência.



# **Abstract**

The Lean philosophy is directed to reduction or elimination of any waste that can be found, no matter the industry or organization. This philosophy fits perfectly in the Shell Eco-marathon competition as its principal purpose is to improve energy efficiency, which requires reducing as much waste as possible.

The objectives of this work are to implement the Lean philosophy in the development of a new vehicle and in the improvement of the current vehicle, UBIAN19. This brings great benefits in terms of reduction of waste, the mass of the vehicle, as well as the reduction of problems in the production of the new vehicle and its maintenance.

The extensive literature research on this energy efficiency competition, its vehicles, and the Lean philosophy, resulted in the development of strategies that led to improvement. By using the tools of Lean, like SMED and five senses, it was possible to achieve significant improvements in mass reduction, as well as the time in preparation and maintenance of the UBIAN vehicles.

# **Keywords**

*Lean;SEM;Vehicle;UBICAR;SMED;Waste;Reduction;Optimization;Efficiency.*



# Índice

Dedicatória.....	iii
Agradecimentos .....	v
Resumo .....	vii
Abstract.....	ix
Lista de Figuras.....	xv
Lista de Tabelas .....	xix
Lista de Acrónimos .....	xxiii
Capítulo 1 .....	1
1.1    Contextualização .....	1
1.2    Objetivos .....	3
1.3    Metodologias.....	3
1.4    Estrutura da dissertação .....	5
Capítulo 2.....	7
2.1    Competição e regulamentos.....	7
2.2    Enquadramento do projeto UBICAR.....	9
2.3    Equipa atual .....	12
2.4    Requisitos das competições .....	14
Capítulo 3.....	19
3.1    Origem e Conceito.....	19
3.2    Princípios .....	20
3.3    Desperdícios.....	21
3.4    Aplicação .....	22
3.5    Ferramentas .....	23
3.5.1.    Metodologia dos cinco sentidos.....	25
3.5.2. <i>Kaizen</i> .....	26
3.5.3. <i>Single minute exchange of die</i> .....	27

3.5.4.	Mapa de fluxo de valor .....	28
3.5.5.	<i>Poka-yoke</i> .....	29
3.5.6.	<i>Kanban</i> .....	29
3.5.7.	<i>Just in time</i> .....	29
3.5.8.	<i>Takt time</i> .....	29
Capítulo 4	.....	31
4.1	Veículo .....	31
4.2	Inventário do veículo .....	32
4.3	Redução da massa .....	36
4.4	Cubos de roda e jantes .....	40
4.5	Processos de fabrico .....	46
Capítulo 5	.....	49
5.1.	Ideologia .....	49
5.2.	Chassi .....	50
5.3.	Direção .....	54
5.4.	Inventário do veículo .....	60
Capítulo 6	.....	67
6.1.	Conclusões .....	67
6.2.	Propostas futuras .....	68
Referências	.....	69
Anexos	.....	75
Anexo 1.	Pontos de avaliação na inspeção técnica (ECOMARATHON,2019e)....	75





# Lista de Figuras

Figura 1 — Pista prevista para a SEM 2020 (adaptado de Eco-marathon, 2020b). .....	9
Figura 2 — Veículo <i>Maubere</i> e conquista do prémio de fraternidade (VEMS, 1999; UBICAR, n. d.).....	9
Figura 3 — Veículos e presenças em prova, entre 2003 e 2011 (UBICAR, n. d.). .....	10
Figura 4 — Presença na competição <i>Madrid Eco-city</i> (UBICAR, n. d.).....	11
Figura 5 — Veículo apelidado de mamute (UBICAR, n. d.).....	11
Figura 6 — Presença na SEM com melhores resultados (UBICAR, n. d.).....	11
Figura 7 — Último veículo desenvolvido pela equipa (UBICAR, n. d.). .....	12
Figura 8 — Linha cronológica dos resultados dos últimos 10 anos.....	12
Figura 9 — Equipa do projeto UBICAR 2020.....	13
Figura 10 — Esquema da estrutura da equipa para o ano de 2020.....	14
Figura 11 — Princípios da filosofia <i>Lean</i> (adaptado de Alagundagi, 2015). .....	21
Figura 12 — Exemplificação do <i>Muda, Mura</i> e <i>Muri</i> (adaptado de Silveira, 2020). ....	22
Figura 13 — Versão da casa do Lean presente na literatura (adaptado de Bicheno & Holweg, 2016).....	23
Figura 14 — Algumas das ferramentas <i>Lean</i> .....	24
Figura 15 — Impacte das ferramentas <i>Lean</i> de acordo com um estudo realizado (adaptado de Leksic, Stefanic & Veza, 2020). .....	25
Figura 16 — Termos associados à metodologia 5S. ....	25
Figura 17 — Guia para a aplicação da metodologia 5S (adaptado de Sharma <i>et al.</i> , 2018). .....	26
Figura 18 — Nomenclatura do <i>Kaizen</i> , em japonês (Tonic <i>et al.</i> , 2014). .....	26
Figura 19 — Ciclo PDCA (adaptado de Pereira, 2010; Pinto, 2016). .....	27
Figura 20 — Momentos captados das equipas <i>Redbull Racing</i> e <i>Mercedes</i> (Noble, 2019;Red Bull, 2019). .....	28
Figura 21 - Momento captado em pista, na SEM 2019 (adaptado de UBICAR, n. d.). ...	31
Figura 22 - Tipos de parafusos: (a) sextavado exterior, (b) sextavado interior cabeça cilíndrica, (c) sextavado interior cabeça chata, (d) sextavado interior cabeça oval, (e) madeira estrela cabeça chata. ....	32
Figura 23 - Desenho representativo do fundo a retirar, em milímetros. ....	36
Figura 24 - Provetes para teste de massa: (a) alumínio, (b) fibra de vidro. ....	37
Figura 25 - Comparação da massa dos materiais para o fundo do veículo. ....	37
Figura 26 - Imagens relativas ao corte do fundo do veículo.....	38
Figura 27 - Pinças de travão: (a) Pinças anteriores, (b) Pinças aplicadas.....	39

Figura 28 - Parte do cubo da roda que está acoplado à jante. ....	40
Figura 29 - Parte do cubo da roda onde será apertado o disco de travão. ....	41
Figura 30 - Cubo da roda com o disco de travão montado e respetivos parafusos e rolamentos. ....	41
Figura 31 - Vista expandida da montagem do cubo de roda e do disco de travão, com rolamentos e parafusos. ....	42
Figura 32 - Contorno da jante (adaptado de International Organization for Standardization, 2013). ....	42
Figura 33 - Corcunda no interior da jante para ajudar a retenção do pneu (adaptado de International Organization for Standardization, 2013). ....	43
Figura 34 - Desenho 2D dos contornos do aro: (a) aro completo; (b) aro obtido a partir do molde. ....	44
Figura 35 - Dimensões dos furos para a montagem da válvula de enchimento dos pneus (adaptado de International Organization for Standardization, 2013). ....	44
Figura 36 - Imagem 3D dos aros: (a) metade do aro; (b) aro completo. ....	45
Figura 37 - Pormenor da acoplação dos aros: (a) parafusos; (b) porcas. ....	45
Figura 38 - Jante completa com o cubo de roda exterior. ....	46
Figura 39 - Modelo para a criação dos moldes: (a) jante original; (b) jante cortada a metade e junção pelas abas. ....	47
Figura 40 - Moldes para obtenção da jante em fibra de carbono. ....	47
Figura 41 - Veículos que participaram nas provas: (a) veículo que não cumpria o regulamento; (b) veículo da equipa UBICAR em 2009 (adaptado de UBICAR, n. d.)...	49
Figura 42 - Esboços da nova carroçaria do veículo. ....	50
Figura 43 - Parte inferior do chassi do veículo. ....	51
Figura 44 - Partes superiores do chassi do veículo: (a) frontal; (b) traseira. ....	52
Figura 45 - Montagem dos cubos de roda e outros componentes no novo veículo. ....	52
Figura 46 - Compartimento do motor. ....	53
Figura 47 - Vista em pormenor do compartimento do piloto, do lado esquerdo o suporte da bateria e do lado direito o suporte do motor. ....	53
Figura 48 - Representação do diagrama vetorial do sistema triângulo (adaptado de Oliveira, 2015). ....	54
Figura 49 - Representação do diagrama vetorial do sistema alavanca simples (adaptado de Oliveira, 2015). ....	54
Figura 50 - Variação do ângulo de rotação do volante do veículo em função do raio de curvatura para o primeiro caso. ....	56
Figura 51 - Variação do ângulo de rotação do volante do veículo em função do raio de curvatura para o segundo caso. ....	57

Figura 52 - Variação do ângulo de rotação do volante do veículo em função do raio de curvatura para o terceiro caso. ....	57
Figura 53 - Variação do ângulo de rotação do volante do veículo em função do raio de curvatura para o quarto caso. ....	58
Figura 54 - Montagem da direção do veículo. ....	59
Figura 55 - Montagem em pormenor da direção do veículo. ....	60
Figura 56 - Veículo desenvolvido para a competição de baixo consumo energético. ....	60



# Lista de Tabelas

Tabela 1- Especificações gerais dos veículos, requeridas pelo regulamento da prova (Eco-marathon, 2019a). .....	15
Tabela 2a - Especificações dos veículos <i>urban concept</i> , requeridas pelo regulamento da prova (Eco-marathon, 2019a).....	16
Tabela 2b - Especificações dos veículos <i>urban concept</i> , requeridas pelo regulamento da prova (Eco-marathon, 2019a).....	16
Tabela 3 - Nomenclatura adotada para mencionar as partes do veículo e sistemas auxiliares.....	32
Tabela 4a – Inventário dos elementos de fixação do veículo atual. ....	33
Tabela 4b – Inventário dos elementos de fixação do veículo atual. ....	33
Tabela 4c – Inventário dos elementos de fixação do veículo atual. ....	33
Tabela 5 – Inventário relativo aos sistemas que auxiliam rotações e movimentações, presentes no veículo.....	35
Tabela 6a - Medições de alguns componentes. ....	38
Tabela 6b - Medições de alguns componentes. ....	38
Tabela 7 - Dimensões para jantes cónicas de 5º (adaptado de International Organization for Standardization, 2013).....	43
Tabela 8 - Diâmetro específico da jante e perímetro da corcunda plana (adaptado de International Organization for Standardization, 2013). ....	43
Tabela 9 - Dimensões para a realização da jante para o veículo energeticamente eficiente. ....	44
Tabela 10 - Dados relativos ao veículo.....	54
Tabela 11 - Valores atribuídos aos vetores para o primeiro caso.....	56
Tabela 12 - Valores atribuídos aos vetores para o segundo caso. ....	56
Tabela 13 - Valores atribuídos aos vetores para o terceiro caso. ....	57
Tabela 14 - Valores atribuídos aos vetores para o quarto caso.....	58
Tabela 15 - Resultados do erro médio e o respetivo ângulo de curvatura, consoante o raio de curvatura. ....	59
Tabela 16 - Nomenclatura adotada para mencionar os sistemas onde estão inseridos os componentes.....	61
Tabela 17a - Inventário dos elementos de fixação do veículo.....	62
Tabela 17b - Inventário dos elementos de fixação do veículo.....	62
Tabela 17c - Inventário dos elementos de fixação do veículo. ....	62

Tabela 18a - Inventário relativo aos componentes que auxiliam rotações e movimentações no veículo. ....	64
Tabela 18b - Inventário relativo aos componentes que auxiliam rotações e movimentações no veículo. ....	64





# Lista de Acrónimos

## Acrónimos e siglas

3M	<i>Muda, Mura and Muri</i>
5S	<i>Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu and Shitsuke</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
CNC	Controlo Numérico Computorizado
DWC	<i>Drivers' World Championship</i>
ICE	<i>Internal Combustion Engine</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
JIT	<i>Just-in-Time</i>
MIT	<i>Massachussetts Institute of Technology</i>
PDCA	<i>Plano, Do, Check and Act</i>
SEM	<i>Shell Eco-marathon</i>
SMED	<i>Single Minute Exchange of Die</i>
TPS	<i>Toyota Production System</i>
UBI	Universidade da Beira Interior
VEMS	Veículo Eco Marathon Shell

## Abreviaturas e símbolos

Art.	Artigo
EE	Entre eixos
Máx.	Máximo
Mín.	Mínimo
Qtd.	Quantidade
VD	Via dianteira



# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Contextualização

Em meados do século XIX nasceu o impulsionador da autonomização, *Sakichi Toyoda*. Desde a sua adolescência que se preocupou em melhorar o tear utilizado pela mãe, e passados trinta anos, conseguiu um mecanismo que o parava sempre que ocorresse uma falha, o que deu origem ao distanciamento do homem da máquina ao qual denominou por *jidoka*, que significa autonomização, um dos pilares do *Toyota Production System* (TPS) (Pereira, 2010).

A *Toyota Motor Company* surgiu por volta de 1900, sendo oficializada em 1937 a sua fundação, pelo filho de *Sakichi*, *Kiichiro Toyoda*, com auxílio das economias realizadas pela venda das patentes dos teares autonomizados. A criação da lei de manufatura automotiva japonesa, por volta de 1930, e o início da Segunda Guerra Mundial em 1939, levou a empresa a grandes dificuldades. Esta viu a sua produção interrompida e grandes níveis de inventário, tanto de matéria-prima, como de produtos acabados. Os funcionários responsáveis pela produção e pelas vendas entram em disputa, levando à criação de dois departamentos, a *Toyota Motor Manufacturing* e a *Toyota Motor Sales*. A dois anos do fim da segunda guerra mundial, *Taiichi Ohno* entra na indústria automóvel realizando mudanças na produção, conseguindo que esta fosse realizada em pequenos lotes, ao invés de grandes quantidades. No pós-guerra, em que o Japão enfrentava uma fase de crescimento económico, este com alguns gerentes da *Toyota*, visitaram fábricas nos Estados Unidos da América, em especial a *Ford*, e ficaram surpresos como a indústria não tinha sofrido alterações desde a visita que tinham realizado há aproximadamente vinte anos antes. *Ohno* através dessas visitas desenvolve o que hoje se conhece como sistema *Kanban*, através da reposição dos supermercados americanos, realizada por cartões. E em 1965, o TPS é documentado por *Ohno* e *Shingo* que fazia parte da sua equipa, tendo como pilares a autonomização verificada inicialmente nos teares, e o *Just-in-time* (JIT) adotada por *Kiichiro*, pois afirmava que as matérias-primas deveriam estar ao lado das linhas de produção para proporcionar ao operador o material quando este necessitasse (Fritze, 2016; Holweg, 2007; Ohno, 1988). A crise do petróleo em 1973, afetou todo o mundo e o Japão não foi exceção, em que se verificou a estagnação das indústrias com o colapso das economias mundiais. Nesse

momento, a *Toyota Motor Company* é um grande motivo de atenção, devido aos resultados positivos que obtiveram em resposta a esta crise (Ohno, 1988). Para a descrição destes resultados, a capacidade de redução de tempos e custos, e em reposta ao programa internacional de veículos motorizados, surge o termo *Lean* desenvolvido no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), pelos professores *James Womack* e *Daniel Jones* (Alagundagi, 2015; Tonic *et al.*, 2014).

Em paralelo com o descrito, surge uma competição denominada por *Shell Mileage Marathon* que se estreou em 1939, onde os funcionários da empresa *Shell* comparavam os seus veículos pessoais com o objetivo de saber qual deles conseguiria fazer uma maior distância percorrida, com a mesma quantidade de combustível (Grunditz & Jansson, 2009). A competição *Shell Eco-marathon* (SEM) apenas se iniciou em 1985, e a partir deste, a prova tem-se realizado todos os anos, contando agora com 30 anos de existência. Esta prova tem um envolvimento internacional, e promove o desenvolvimento e construção de um veículo o mais eficiente possível, de modo a competir com universidades e escolas de todo o mundo (Carlsen & Oma, 2017; Sternal *et al.*, 2012). A SEM é composta pelo campeonato mundial, sendo que a partir de 2007, deriva das competições regionais como, a SEM *Europe* e a SEM *Americas* e, três anos mais tarde, surge a SEM *Asia*. Para estas é permitido apenas duas classes de veículos, a *prototype* e a *urban concept*, que se dividem em várias categorias, consoante a fonte de energia utilizada (Eco-marathon, 2019a; Grunditz & Jansson, 2009).

Para o *Lean* a geração de valor e diminuição de desperdícios é de extrema importância, o que para a prova significa a diminuição do consumo de energia. Os desenvolvimentos no campo da eficiência promovem a realização de automóveis mais complexos e pensados cuidadosamente. No desenvolvimento destes veículos deve-se ter em conta a diminuição de erros possíveis, e se estes surgirem que seja o mais cedo possível para acarretar poucos custos ao projeto. Por vezes, as equipas têm contratempos que aparecem por os projetos não terem sido realizados com atenção aos pormenores e que se revelam perto da conclusão de todo o processo, o que provoca mudanças drásticas no projeto inicial. Daí ser necessário relacionar a filosofia *Lean* e o aumento da eficiência energética através da redução de desperdícios, para se conseguir atingir possíveis inovações e a redução do aparecimento de entraves. As boas práticas tornam-se imprescindíveis para projetos de pequena escala, porque o tempo como o custo são de elevada importância (Welo, Tonning & Rølvåg, 2013).

A Universidade da Beira Interior (UBI) tem um projeto denominado por UBICAR, composto por uma equipa de alunos e docentes que se destina à participação na SEM. O trabalho realizado pretende auxiliar a equipa na resposta ao objetivo da prova, a projeção e desenvolvimento de um veículo mais eficiente possível, através da aplicação da filosofia Lean na estruturação e desenvolvimento tanto do veículo atual, bem como do veículo que será desenvolvido.

## **1.2 Objetivos**

A empresa *Shell* é responsável pela SEM. Esta competição tem como objetivo o enriquecimento de conhecimentos no desenvolvimento de veículos eficientes e inovações por parte de estudantes e docentes, que pertencem a universidades e escolas secundárias. Consequentemente, a filosofia *Lean* passa por um pensamento generalizado, auxiliado por técnicas e ferramentas utilizadas para a redução de desperdícios e orientadas para a melhoria contínua, relacionada com as máquinas, pessoas e processos intervenientes no fluxo de qualquer organização. De acordo com o descrito anteriormente, este trabalho visa explorar o conhecimento científico de várias áreas, de modo que se perceba o desafio da participação na competição, e assim desenvolver um veículo e os sistemas mecânicos, auxiliado pela filosofia e as ferramentas *Lean* que devem ser aplicadas.

Posto isto, é necessária uma investigação da literatura sobre a SEM, a filosofia *Lean*, veículos já desenvolvidos para a competição e a equipa representante da UBI. Como foco principal, este trabalho pretende a aplicação de alguns pontos da filosofia *Lean* para o auxílio na otimização do veículo atual e ao desenvolvimento de um novo automóvel, destinado a competições de eficiência energética.

## **1.3 Metodologias**

A ciência e a pesquisa são os grandes pilares do conhecimento, em que a ciência é responsável pela gestão e a pesquisa inicia-se num raciocínio ao qual se associa um método responsável por dar credibilidade ao conhecimento (Pereira *et al.*, 2018).

A pesquisa científica alterna entre as teorias e as observações, e foca-se em dois níveis, o teórico e o empírico. O nível teórico centra-se no desenvolvimento de conceitos teóricos obtidos a partir de fenómenos e relações que se observam entre eles. O empírico passa por observações da realidade, devido aos efeitos da aplicação dos conceitos teóricos, conseguindo-se a melhoria de teorias. Contudo, o conhecimento para ser considerado

ciência precisa de cumprir normas e técnicas que são consideradas o método científico (Bhattacharjee, 2012).

O método científico é um aglomerado de etapas intelectuais e técnicas, que promove a validação do conhecimento. A escolha do método a utilizar tem em conta vários fatores como, a natureza do objeto de estudo, o material disponível, a profundidade e a inspiração do investigador (Gil, 2008). Esta escolha passa pelos métodos dedutivo, indutivo, científico e de observação, que aconselham como conseguir observações, interpretações e análises de resultados, de forma a se conseguir a generalização destes. Estes métodos têm quatro características que devem ser cumpridas, como ser lógico, válido, possível de replicação e ser revisto por outros investigadores (Bhattacharjee, 2012; Botelho & Cruz, 2013).

Os métodos relacionados com as bases da investigação da ciência têm como objetivo clarificar os procedimentos lógicos, e são denominados por dedutivos ou indutivos. Os métodos dedutivos partem do conhecimento científico existente para aplicação numa situação particular, direcionados à obtenção de testes para validação de premissas. Por outro lado, o método indutivo passa pela recolha de dados e relações particulares, para a difusão destes por elementos, enunciando leis e teorias (Borges, Furtado & Oliveira, 2015; Botelho & Cruz, 2013).

Em relação aos métodos que oferecem as técnicas para a investigação, pode-se afirmar que auxiliam na recolha, no tratamento e na aprovação dos dados. Numa investigação é usual a utilização de várias técnicas, pois utilizando apenas uma, é muito difícil estabelecer procedimentos para a totalidade da investigação (Gil, 2008). Posto isto, de acordo com Botelho e Cruz, existem treze técnicas ou tipos de pesquisa possíveis, o estudo de caso, o bibliográfico, o exploratório, o descritivo, o explicativo, o documental, o experimental, o participante, a pesquisa-ação, o etnográfica e o método *Delphi* (Botelho & Cruz, 2013). Por sua vez, Borges apenas retrata, quatro desses métodos: o experimental, o bibliográfico, o documental e o estudo de caso. O experimental refere-se à aplicação de variáveis e análise das relações observadas. O bibliográfico passa pela revisão da literatura científica para aquisição de conhecimento, e sustentar a investigação. Idêntico a este, tem-se o documental que faz uma revisão de fontes variadas como, jornais, revistas e outros documentos válidos. E por fim, o estudo de caso que procura a recolha de dados de um elemento definido, através de técnicas específicas (Borges, Furtado & Oliveira, 2015).

Na realização deste trabalho foi necessário recorrer a fontes de informação online fidedignas tais como, *web of science*, *google scholar*, *world wide science*, *sciencedirect*, *library genesis*, *ieee xplore*, e *wiley online library*. E ainda, informação da equipa e livros teóricos, conseguindo-se assim informação válida para a produção de conhecimento científico. Para a produção deste, houve a necessidade de programas auxiliares como *Microsoft Word* e *Excel* para o processamento de texto e de dados, o *Mendeley Desktop* para gerir as referências, que se guiam pela norma e estilo de referências da *Havard Style*, o *Solidworks* e o *Rhinoceros* para a realização de desenhos e o *Photoshop* para a edição de imagem.

Para este trabalho será utilizado o método dedutivo que consiste numa abordagem generalizada a partir de princípios indiscutíveis em variadas aplicações, para a obtenção de dados e as respetivas conclusões. No decorrer da investigação desenvolvida aplicaram-se várias técnicas encontradas na literatura, como a bibliográfica na revisão de documentos autenticados, a documental relacionada com a consulta de documentos da equipa, a experimental relacionada com construção de vários sistemas do veículo e o estudo de caso na recolha de dados do projeto anterior e elaboração de documentação.

#### **1.4 Estrutura da dissertação**

A presente dissertação incorpora seis capítulos, a introdução, a SEM, a filosofia *Lean*, a otimização do veículo UBIAN, o desenvolvimento de um novo veículo e as considerações finais. O primeiro capítulo, a introdução, inicia-se com a contextualização ao tema que aborda o surgimento do TPS, que é a base da filosofia *Lean*, e da competição SEM. Os objetivos pretendem esclarecer os motivos que levam a esta investigação, e as razões pela qual será realizada esta dissertação. A metodologia revela os métodos e as técnicas que se utilizam para realizar esta pesquisa científica, juntamente com uma breve explicação. E por último, a estrutura no qual se concretiza a planificação da dissertação.

O segundo capítulo denomina-se por *Shell Eco-marathon*, este inicia-se pela explicação das competições e os regulamentos utilizados para reger a competição. No ponto seguinte, tem-se o enquadramento do projeto da UBI, denominado por UBICAR. Seguido da apresentação e planificação da equipa do ano atual. Finalizando, tem-se os requisitos de aceitação para a competição, bem como, os requisitos de projeto.

Seguidamente, tem-se o terceiro capítulo que aborda a filosofia *Lean*. Este retrata o conceito da palavra numa primeira instância, suportado pelo ponto seguinte, a evolução

e inovação do conceito. Por sua vez, os dois pontos que finalizam este capítulo tratam dos desperdícios e das ferramentas, os quais são pontos fulcrais para a filosofia.

No quarto capítulo vai ser referido a otimização do veículo atual UBIAN, que participou na SEM 2019. Neste será apresentado o inventário de todos os elementos de fixação, parafusos e porcas, bem como, rolamentos e chumaceiras utilizados. A redução de massa do veículo atual será outro dos pontos focados. E por fim, o projeto de uma jante e o cubo de roda, com os processos de fabrico necessários.

O quinto capítulo é referente ao desenvolvimento de um novo veículo para a competição, e divide-se na explicação da realização de um novo veículo, o desenvolvimento das estruturas principais, os elementos mecânicos constituintes e o inventário necessário.

Por fim, têm-se as considerações finais que englobam as conclusões da aplicação das ferramentas *Lean* e as propostas de trabalhos futuros que ficarão em aberto na realização desta dissertação.

# Capítulo 2

## Shell Eco-marathon

### 2.1 Competição e regulamentos

A SEM está orientada para o trabalho colaborativo e teorias de eficiência energética, promovendo o debate de ideias inovadoras entre os intervenientes, sendo uma das principais competições destinadas à aprendizagem de estudantes de diversas áreas científicas, desde a ciência, a tecnologia, a engenharia e a matemática (Global, 2020a; Von Solms & Nel, 2017). Esta tem um carácter educacional, em que todas as equipas participantes têm que estar associadas a instituições de ensino, e cumprir uma série de requisitos para conseguir ser aceites nas competições (Eco-marathon, 2019a). Estas concretizam-se há 35 anos, promovendo o desafio do desenvolvimento, construção e teste em pista de automóveis projetados, destinados à eficiência energética, pois o elevado consumo energético por parte dos automóveis, fez com que a companhia *Shell Global* elaborasse a prova para academias educacionais de todo o mundo. Contudo, não só promove a elaboração do projeto de veículos eficientes, mas também a angariação de fundos para que seja possível a construção do veículo, e ainda o auxílio nas despesas relativas à participação na prova (Alnunu *et al.*, 2012; Iliev, Gunev & Dobrev, 2016).

A SEM realiza-se em eventos anuais pelos três continentes, Europa, América e Ásia. Nestes, as equipas participantes têm como objetivo principal percorrer com os seus veículos o maior número de quilómetros por cada litro de combustível consumido (Grunditz & Jansson, 2009; Martínez, 2012). Os eventos SEM englobam a nível global o *Mileage Challenge* e o *Drivers' World Championship* destinado aos *urban concept*, e eventos de desafio regionais para validação de novas equipas e para testes das equipas que já têm história na competição (Global, 2020a; Global, 2020b).

Os veículos participantes podem fazer parte de duas classes distintas, os *prototypes* que pertencem à prova desde o seu início, e os *urban concept*, que apenas surgiram em 2003. Os *prototypes* são direcionados à maximização da eficiência, através da redução ao máximo do coeficiente de arrasto e da sua massa, e contêm no mínimo três rodas. Por sua vez, os veículos *urban concept* tendem a ser semelhantes com os automóveis do mercado, com vista a baixos consumos energéticos e são compostos por quatro rodas (Carlsen & Oma, 2017; Global, 2020a; Sternal *et al.*, 2012). As classes dos veículos dividem-se de acordo com o tipo de energia utilizado. As várias categorias existentes são

os motores de combustão interna (ICE), os elétricos a bateria e os a célula de hidrogénio, sendo que os ICE são subdivididos em diversos tipos de combustível fornecidos na prova. Aos veículos ICE são disponibilizados combustíveis da empresa *Shell Global*. A nível de gasolina está disponível a *Shell FuelSave Unleaded 95* na Europa e na Ásia, e na América a *Shell Nitrogen Enriched*. A nível de gasóleo é utilizado na Europa o *Shell FuelSave Diesel* e nos Estados Unidos e na Ásia, o *Shell Diesel*. É ainda possível utilizar o *Ethanol E100* desnaturado (Eco-marathon, 2019a; Global, 2020a).

A organização da competição fornece vários documentos relacionados com a regras estabelecidas para as equipas que participam. As regras oficiais das competições são dadas pelo capítulo 1 que consiste nos aspetos de organização geral das provas, segurança em prova e equipamentos a utilizar, requisitos dos projetos realizados, tipos de energia, equipamentos auxiliares e recompensas (Eco-marathon, 2019a). O capítulo 2 está relacionado com a localização da prova, sendo providenciado diferentes documentos de acordo com a localização dos participantes. Este contempla informação relativa ao local onde se realiza a prova, o endereço, aspetos relacionados com saúde, segurança e o meio ambiente, as garagens no *paddock*, a competição em pormenor e os testes, e um calendário provisório do evento (Eco-marathon, 2019c).

O SEM *World Championship Series* é representado no capítulo 3, esta prova é apenas para a classe dos *urban concept*. Este também é denominado por *Drivers' World Championship* (DWC), é composto por três campeonatos regionais que servem de qualificação para o campeonato do mundo, no qual participam no máximo 18 equipas, os 6 primeiros de cada região (Eco-marathon, 2020a).

Perto da realização do evento, é fornecido um *Participant Handbook*, no qual os participantes são informados de todos os aspetos logísticos como, chegar ao *Mercedes-Benz World*, os procedimentos de *check-in* e de *check-out*, e as condições, tanto do local do evento como do campismo (Eco-marathon, 2019d).

Para o ano de 2020, estava prevista a realização do evento no mesmo local do ano anterior. Em que a pista seria a mesma, mas o trajeto seria realizado no sentido oposto. Cada volta tem um total de 1420 metro, e a distância total da competição são 11 voltas, ou seja, 15620 metro, efetuadas num tempo máximo de 39 minutos, como pode ser observado na figura 1 (Eco-marathon, 2020b). Mas devido ao *SARS-COV-2*, a competição em Londres foi cancelada, em vista à segurança e saúde dos participantes, tendo apenas a prova carácter virtual (Global, 2020c).



Figura 1 — Pista prevista para a SEM 2020 (adaptado de Eco-marathon, 2020b).

## 2.2 Enquadramento do projeto UBICAR

O projeto UBICAR surgiu há vinte anos, no ano 2000, para participação nas competições SEM, entre outras competições paralelas, com o intuito de explorar as diversas unidades curriculares dos cursos de Engenharia Eletromecânica e Ciências Aeroespaciais. Este tem como intuito o desenvolvimento de conhecimentos, espírito crítico, trabalho de equipa, e ainda, de casos de estudo realizados pelos alunos.

O primeiro projeto iniciou-se em 1999, denominando-se por Veículo Eco *Marathon Shell* (VEMS) e destinava-se à participação na classe *prototypes*, com o veículo denominado por *Maubere*. Este veículo continha um chassi modular em tubos de aço, ao qual podia ser acoplados dois tipos de motor, o Honda com 22 centímetro cúbico (cm<sup>3</sup>) ou o Mobylette de 49 centímetro cúbicos (VEMS, 1999). No ano de estreia da equipa, em 2000, participa nas provas de Nogaro e Bruxelas e consegue condecoração com o prémio *Fraternité Professionnelle*, através da ajuda que prestou a outras equipas, em Nogaro.



Figura 2 — Veículo *Maubere* e conquista do prémio de fraternidade (VEMS, 1999; UBICAR, n. d.).

Em 2003, foi inserida a categoria de *urban concept* na competição, mas a equipa do projeto UBICAR manteve-se na mesma categoria, com um veículo diferente com a carroçaria azul em kevlar. O primeiro veículo *urban concept* da UBICAR tinha semelhanças ao veículo *Suzuki Swift*, surgiu em 2008, no último ano da prova em Nogaro (Alves, 2008).

Nos três anos seguintes a prova localizou-se em *Lausitz*, o primeiro ano foi marcado pelo surgimento o veículo UBIAN inspirado na natureza, mais propriamente nos felinos, com pormenores como a abertura superior das portas, o uso de materiais reciclados e um vidro frontal de grandes dimensões. A equipa apresentou veículos diferentes nos anos seguintes, sendo que em 2010 a equipa conseguiu 148 quilómetros por litro com um veículo que tinha a particularidade da carroçaria ter sido pintada por cerca de 80 crianças de uma escola primária com o tema “A fauna e a flora da Serra da Estrela”, e no último ano, um veículo que a carroçaria serviu de molde para o veículo seguinte com a marca de 160 quilómetros por litro (TVI, 2011; UBICAR, 2010; UBICAR, 2011).



Figura 3 — Veículos e presenças em prova, entre 2003 e 2011 (UBICAR, n. d.).

A equipa da UBI participou em 2012, numa competição externa à SEM, denominada por *Madrid Eco-city*, na qual conseguiu o primeiro lugar com 88 quilómetros por litro e na SEM que se realizou em Roterdão conseguindo uma marca de 105 quilómetros por litro

(Alves, 2012). No ano seguinte, com um novo veículo ao qual apelidaram de mamute, conseguem atingir cerca de 100 quilómetros por litro e o prémio *National Geographic People's Choice* pela particularidade de a carroçaria do automóvel ser em fibra de côco (Augusto, 2013).



Figura 4 — Presença na competição *Madrid Eco-city* (UBICAR, n. d.).



Figura 5 — Veículo apelidado de mamute (UBICAR, n. d.).

A prova da SEM continuou em Roterdão durante mais 3 anos, nos quais a equipa da UBI teve as suas melhores marcas, em 2014 conseguiu 187,9 quilómetros por litro, no ano seguinte conseguiu o recorde da equipa atingindo o terceiro lugar da classe *urban concept*, com a marca de 233,5 quilómetros por litro e, em 2016, atingiu 147,6 quilómetros por litro, sendo que neste último também participou numa prova regional da SEM que se realizou em *Le Mans* (Eco-marathon, 2014; Eco-marathon, 2015; Eco-marathon, 2016).

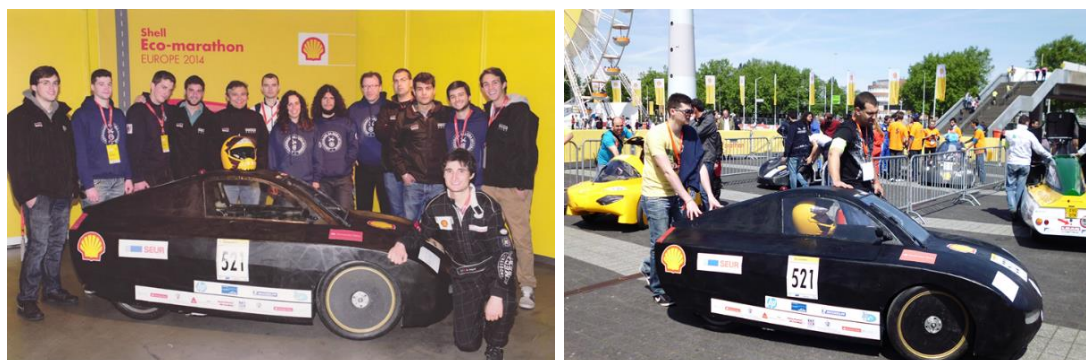


Figura 6 — Presença na SEM com melhores resultados (UBICAR, n. d.).

A partir de 2017, a localização da prova alterou-se para Londres onde se mantém até ao momento. No primeiro ano, a equipa não participou dedicando-se ao projeto e construção do atual veículo. Em 2018, a equipa volta a participar na prova, mas não consegue aprovação nas inspeções, ou seja, não conseguiu que o novo projeto fosse à pista. Por sua vez, no ano seguinte o UBIAN19 consegue a aprovação nas inspeções e percorre pela primeira vez o circuito de *Brooklands*, em *Weybridge*, atingindo 70 quilómetros por litro (Eco-marathon, 2019d).

No presente ano, como participante, o comunicado recebido da SEM transmitiu que a prova deste ano iria englobar uma série de sessões de aprendizagem online e competições relativas aos prémios fora de pista (Global, 2020c).



Figura 7 – Último veículo desenvolvido pela equipa (UBICAR, n. d.).

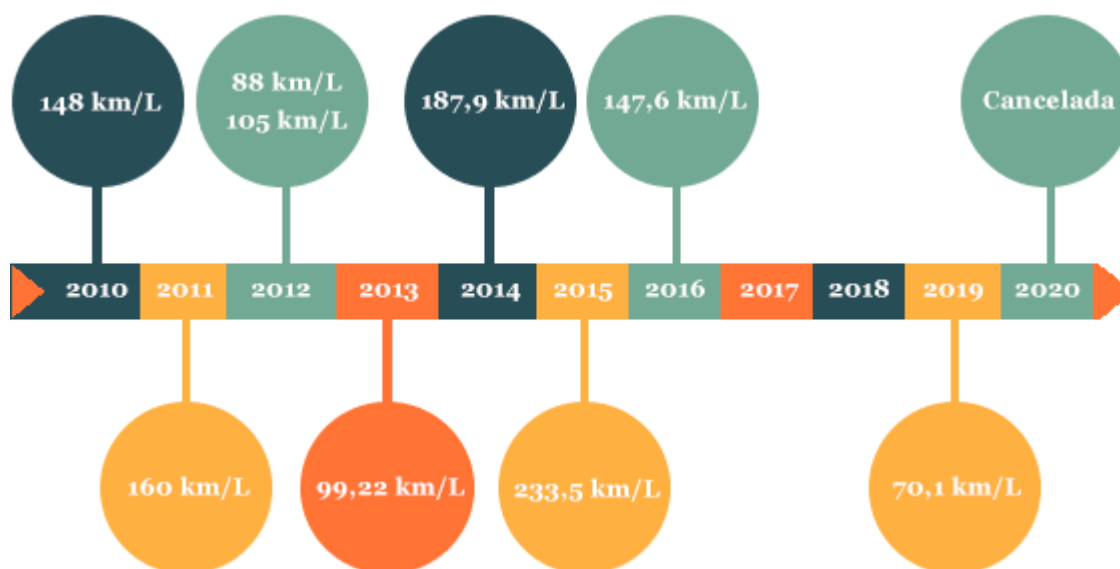


Figura 8 – Linha cronológica dos resultados dos últimos 10 anos.

### 2.3 Equipa atual

A equipa do projeto UBICAR, para o ano de 2020, é auxiliada pelos seus conselheiros e divide-se em quatro secções distintas, de acordo com as áreas necessárias da equipa. Os

conselheiros da equipa são seis, incluindo professores e alunos de doutoramento. As secções que constituem a equipa são a eletrónica, a eletromecânica, a organizacional e a mecânica, tal como pode ser observado na figura seguinte, e cada uma tem o seu responsável.

Atualmente a equipa é composta por vinte elementos de duas áreas científicas distintas, engenharia e artes letras. Por sua vez, os membros englobam variados cursos como, engenharia e gestão industrial, engenharia eletromecânica, engenharia eletrotécnica e de computadores, engenharia mecânica e ciências da comunicação.

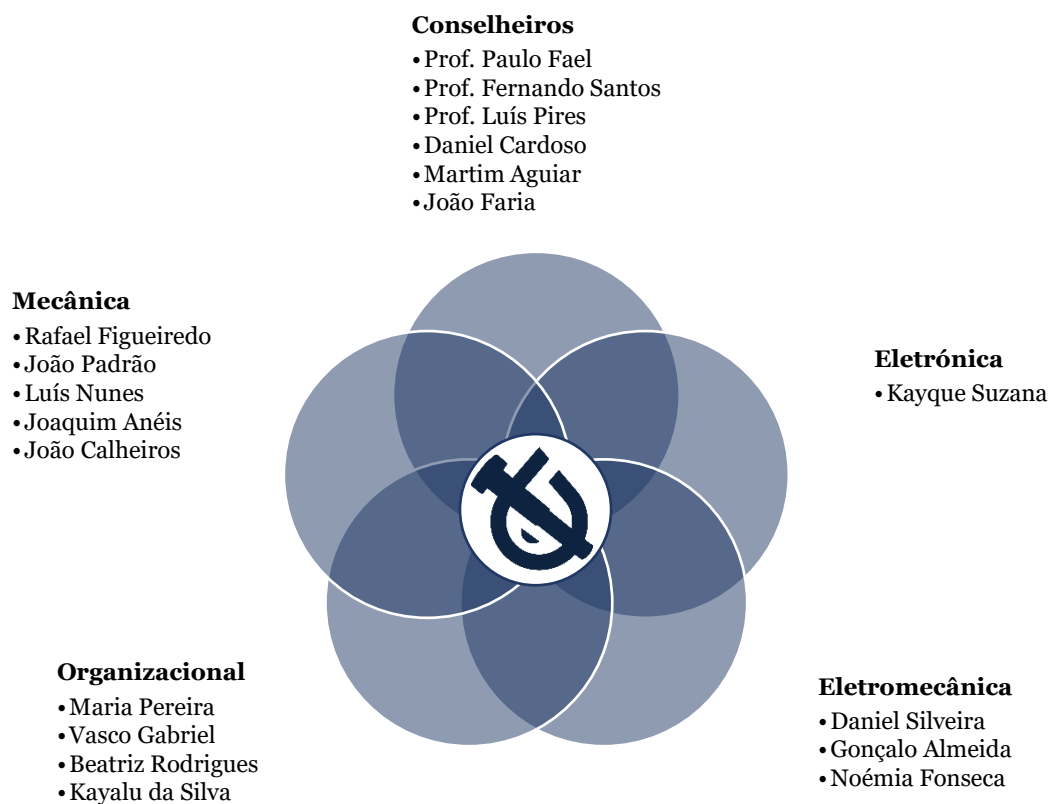


Figura 9 — Equipa do projeto UBICAR 2020.

Contudo, dentro das secções referidas existe subsecções, tal como pode ser observado na figura seguinte. A secção de eletrónica apenas tem uma subsecção, a eletrónica geral. A propulsão, os teste e análise de dados, a injeção e a pista são subsecções da eletromecânica. A organizacional é constituída pela comunicação e imagem, os patrocínios e a logística. E por fim, a mecânica divide-se na produção e no desenho.

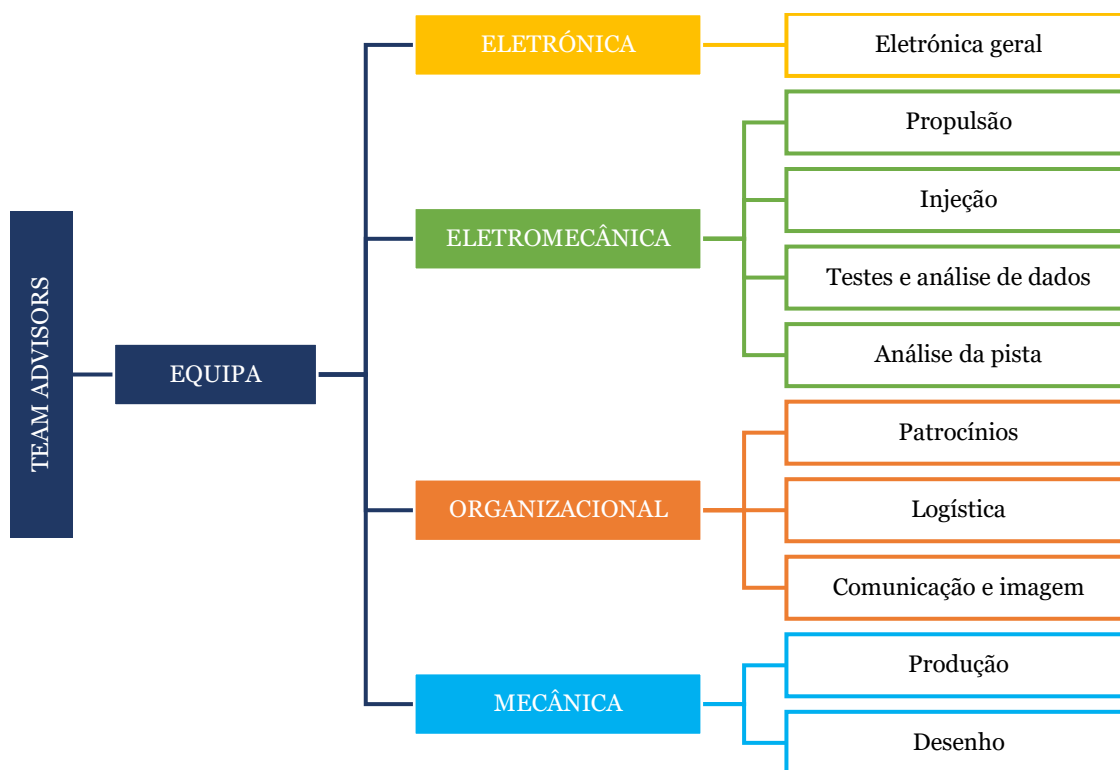


Figura 10 — Esquema da estrutura da equipa para o ano de 2020.

## 2.4 Requisitos das competições

Para uma equipa ser aceite em prova tem de efetuar uma proposta de entrada e são avaliadas relativamente ao seu histórico. A proposta de entrada é executada em várias fases, sendo necessária a entrega de documentação técnica. Parte desta, é relativa aos detalhes do projeto na qual é imprescindível informações do veículo como, o custo aproximado, inovações de interesse e uma visão geral deste. Esta procura descrever as características de design, componentes ativos e passivos, e ainda o peso e os materiais utilizados para a carroçaria e o chassi.

Para tal, é fundamental ter conhecimento e aplicar as especificações requeridas pela SEM, para que se consiga aprovação e validação do veículo nas fases de inscrição da equipa, bem como nas inspeções realizadas nas provas, onde o veículo tem de cumprir os pontos que podem ser consultados no anexo 1, sendo que a organização pode inspecionar os veículos sempre que pretender. As especificações podem-se dividir em duas partes, tal como pode ser observado nas tabelas seguintes. Uma das partes é mais geral onde são mencionados todos os aspetos que são obrigatórios e proibidos nos automóveis e ainda outros relevantes. Enquanto que a outra parte é relacionada com as dimensões do veículo e apetrechos que são necessários os veículos conter, neste caso os da categoria *urban concept* (Eco-marathon, 2019a).

Tabela 1- Especificações gerais dos veículos, requeridas pelo regulamento da prova (Eco-marathon, 2019a).

Art. 25	Número de rodas em contacto com o chão	Máx.: 4
	Componentes aerodinâmicos que se ajustam ou mudam de forma	Proibido
	Cantos tapados com material deformável ou com raio de curvatura	Mín.: 50mm
	Ser totalmente tapado	Obrigatório
	Permitir a aplicação do equipamento de telemetria	Obrigatório
	Uso de materiais com amianto	Proibido
Art.26	<i>Roll bar</i> estender-se à volta do capacete	Mín.: 50mm
	<i>Roll bar</i> aguentar uma carga estática vertical, horizontal e perpendicular	Mín.: 700N
	Sítio específico para ser rebocado	Obrigatório
Art.27	Divisória rígida entre os compartimentos do piloto e da propulsão	Obrigatório
	Divisória proteger o piloto de possíveis chamas	Obrigatório
	Divisória prevenir o acesso ao compartimento da propulsão pelo piloto	Obrigatório
	Passagens na divisória tapadas e os cabos protegidos	Obrigatório
Art.28	Visibilidade do piloto em frente e 90° para cada lado	Obrigatório
	Espelhos laterais	Mín.: 2500mm <sup>2</sup>
	Vidros laterais escurecidos	Opcional
Art.29	Cinto de segurança, composto por 5 pontos	Obrigatório
	Aplicação dos cintos acima dos ombros	0° – 10°
	Pontos de aplicação dos cintos aguentar uma força em qualquer direção	Mín.: 200N
	Cintos específicos para desporto automóvel	Obrigatório
Art.30	Buzina elétrica (não necessita estar conectada ao joulemeter)	Obrigatório
	Som da buzina medido 4m à frente do veículo	85dBA
Art.34	Embraiagem nos ICE	Obrigatório
	Velocidade inicial do motor mais baixa que o acoplamento	Obrigatório
	Veículo parado enquanto o motor está a trabalhar	Obrigatório
	Proteção de corrente/correia de transmissão	Obrigatório
Art.35	Gases expelidos para fora do veículo	Obrigatório
	Tubo de escape exceder as dimensões do veículo	Proibido
	Escape apresentar fugas ou sinais de fadiga	Proibido
	Componentes do escape apropriados para as altas temperaturas	Obrigatório
Art.37	Sistema para inabilitar o veículo	Obrigatório
	Botão de emergência vermelho e reativado por rotação	Obrigatório
	Botão “ <i>Dead man switch</i> ”	Obrigatório
Art.38	Após inspeção, qualquer alteração	Reaprovação
	Após qualquer incidente significativo	Reinspeção

Tabela 2a - Especificações dos veículos *urban concept*, requeridas pelo regulamento da prova (Eco-marathon, 2019a).

Art.45	Altura do veículo	1000mm — 1300mm
	Largura do veículo, excluindo os espelhos	1200mm — 1300mm
	Comprimento do veículo	2200mm — 3500mm
	Largura do eixo frontal	Mín.: 1000mm
	Largura do eixo traseiro	Mín.: 800mm
	Distância entre eixos	Mín.: 1200mm
	Altura do compartimento do piloto	Mín.: 880mm
	Largura do compartimento do piloto, até aos ombros	Mín.: 700mm
	Distância do veículo ao solo	Mín.: 100mm
	Peso do veículo, excluindo o piloto	Máx.: 225kg
	Dimensões alcançadas por extensões, apêndices ou cortes	Proibido
Art.46	Submeter desenhos técnicos, fotografias ou animações do veículo para aprovação.	Obrigatório
	Carroçaria tem de tapar todas as partes mecânicas	Obrigatório
	Rodas tem de ser tapadas pela carroçaria, visto de cima	Obrigatório
	Utilização de partes comerciais para a carroçaria	Proibido
	Número de portas	2
	Dimensões das portas	Mín.: 500x800mm
	Veículo com um teto fixo	Obrigatório
	Limpa para-brisas	Obrigatório
	Mala retangular, acessível do exterior (L x H x W)	500x400x200mm
	Pontos afiados, com raio	Mín.: 50mm
	Sistema de reboque, com abertura	Mín.: 30mm
Art.47	Direção através de volante, com raio	Mín.: 250mm
	Angulo de viragem (círculo 90º de 6m)	Máx.: 6m
Art.48	Diâmetro das jantes	15” — 17”
	Rodas inacessíveis ao piloto e não tocar na carroçaria	Obrigatório
Art.49	Pneus de perfil liso/plano	Obrigatório
	Profundida do rasto dos pneus	Mín.: 1,6mm
	Largura dos pneus	Mín.: 80mm

Tabela 2a - Especificações dos veículos *urban concept*, requeridas pelo regulamento da prova (Eco-marathon, 2019a).

Art.50	Luzes de cruzamento frontais	2
	Luzes de mudança de direção frontais	2
	Luzes de mudança de direção traseiras	2
	Luzes vermelhas de travão traseiras	2
	Luzes vermelhas de presença traseiras	2
	Distância de cada farol à linha central	Mín.: 300mm
	Luz vermelha de operação do veículo	1
	Luzes de perigo, incluídas nas de mudança de direção	4
Art.51	Sistemas de travões de disco	Obrigatório
	Área da superfície de contacto	Mín.: 2500mm <sup>2</sup>
	Espessura dos discos (com documentos de autenticação)	3mm
	Sistema de travagem com 2 circuitos (frente-trás ou cruzados)	Obrigatório
	Número de cilindros da bomba	1 – 2
	Inclinação para teste da travagem (imobilização do veículo)	20°
	Força providenciada pelo travão de mão	Mín.: 50N



# Capítulo 3

## Filosofia *Lean*

### 3.1 Origem e Conceito

O TPS deu origem à filosofia *Lean* que está presente em quase tudo nos dias de hoje e lida com todos os tipos de desperdícios que possam ser encontrados (Sharma *et al.*, 2018). Este teve origem na indústria automóvel, em especial, na área da manufatura. O seu êxito fez com que fosse aplicada nas mais diversas áreas, deixando de ser posto em prática apenas na produção. O *Lean* é conhecido como uma técnica centenária, e não como uma nova abordagem, estando presente nas mais variadas indústrias, de formas que nunca tinham sido consideradas anteriormente (Alagundagi, 2015). Inicialmente esta apenas consistia na aplicação individual de ferramentas com objetivos distintos, tendo como objetivo principal a redução de desperdícios (Bicheno & Holweg, 2016).

O conceito *Lean*, a par dos seus princípios e ferramenta, permite a sua utilização de diversas formas e com diferentes objetivos. Consegue-se assim, explorar o sistema e as suas características, de modo a que se obtenham resultados diferentes em comparação com o estado presente (Håkansson *et al.*, 2017). Procura aplicar na prática as ferramentas, com vista na redução de desperdícios e de desgastes, para que se consiga otimizar a eficiência de todos os recursos utilizados, em especial, neste caso o combustível (Sharma *et al.*, 2018). Pode ser utilizado, igualmente, no combate ao excesso de movimentações, de tarefas e de inventário, alcançando a otimização de aspetos que contribuem indiretamente para a melhoria do produto, neste caso, o atual veículo e o que se encontra em desenvolvimento (Pereira, 2010).

A filosofia *Lean* não aborda apenas produtos e serviços para se conseguir a perfeição, passa também por abordar a informação e os planeamentos para a realização dos processos. Esta ideologia pode ser definida, sucintamente, como fazer muito com pouco, ou seja, centra-se na maximização do valor pretendido, procurando a diminuição de todo o tipo de desperdícios e, assim, reduzir a alocação de recursos. Em apoio às ferramentas *Lean*, Womack e Jones, desenvolveram uma série de princípios que devem ser adotados para o sucesso da aplicação das ferramentas e implementação da filosofia, direcionando comportamentos para atingir melhorias significativas (Bicheno & Holweg, 2016).

O *Lean* deve ser considerado uma jornada difícil, na qual será necessária uma grande consistência para a compreensão dos fluxos, focando-se nos aspetos individuais, com o intuito de os melhorar (Bicheno and Holweg, 2016). Para a geração e aumento do valor de qualquer organização, sistema ou empreendimento, este conceito disponibiliza ideias práticas poderosas para utilizar na diminuição de perdas existentes (Womack and Jones, 2008).

### **3.2 Princípios**

A evolução do conceito *Lean*, não alterou o conjunto de princípios criados por *Womack* e *Jones*, apenas sofreram alterações na forma como são aplicados. Estes formam uma cadeia que se inicia por definir o valor tendo em conta os objetivos, a análise dos processos que originam valor, a formação dos fluxos de processos e da geração de valor, conseguindo-se assim realizar as tarefas de acordo com as necessidades, tendo em vista a perfeição, procurando sempre melhorar (Alagundagi, 2015).

Para que esta filosofia atue como remédio para os desperdícios é necessário ter sempre presente os princípios, que podem ser observados na figura seguinte. A definição de valor costuma ser adulterada pelos investigadores que colocam complexidades ao produto no projeto, e estas não revelam importância para o consumidor. A análise de processo procura elaborar um resumo e avaliar todas as tarefas necessárias para a realização do produto, dividindo-as em três categorias, as que acrescentam valor, as que não acrescentam valor, mas são necessárias e as que podem ser eliminadas. Por sua vez, deve ser criado fluxos de valor e processos com os devidos ajustes, isto é, eliminando os procedimentos que não acrescentam valor e podem ser excluídos. A realização das tarefas deve ser acompanhada pelos pedidos do consumidor, ou seja, apenas se deve produzir quando o consumidor faz a requisição dos produtos, conseguindo-se assim uma redução notória de inventário. O último princípio incentiva a procura da perfeição, verificando gradualmente e constantemente, onde se pode reduzir desperdícios (Womack & Jones, 2008). É de salientar que, neste processo a equipa acaba por se incluir, ao mesmo tempo, como os investigadores e os clientes do veículo a desenvolver e do veículo a otimizar (Welo, Tonning & Rølvåg, 2013).

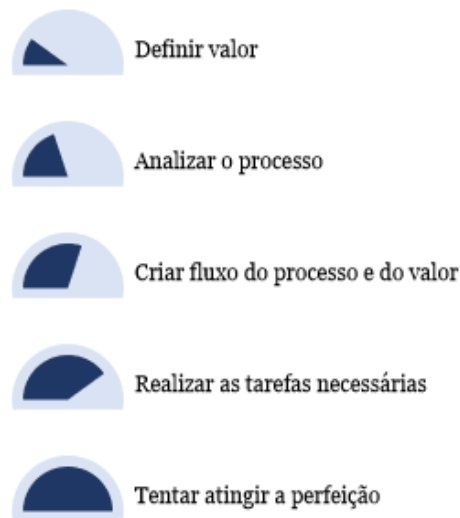


Figura 11 — Princípios da filosofia *Lean* (adaptado de Alagundagi, 2015).

### 3.3 Desperdícios

Os desperdícios que podem ser encontrados em todo o tipo de processos, e conseqüentemente, nas tarefas, tem uma grande relevância para a aplicação do *Lean*, pois a sua redução levará a uma boa aplicação da filosofia e, por sua vez, um auxílio enorme na otimização dos objetivos a cumprir. O sistema que deu origem a esta filosofia denominava os desperdícios por *muda* que engloba vários tipos de dissipações e, ainda utilizava mais duas nomenclaturas, o *mura* e o *muri* (Santos, 2017).

Os vários tipos de desperdícios, *muda*, que podem ser encontrados são o excesso de produção, os tempos de espera, as deslocções desnecessárias de materiais, a demasia de processamento de produtos, os elevados níveis de stock, os defeitos que surgem nas fases de produção ou até mesmo encontradas nos produtos finais, a circulação desnecessária de recursos humanos e, por fim, a não exploração das capacidades individuais de cada indivíduo, envolvido nos processos e tarefas. O *mura* está relacionado com as variâncias existentes em processos iguais, ou seja, a existência de irregularidades na distribuição do mesmo trabalho pelas várias células, operadores e instrumentos. O *muri* é adjacente ao excesso de carga, isto é, ligado ao exagero de tarefas declaradas a operários e máquinas, fazendo com que estes necessitem de uma velocidade de trabalho mais elevada. Estas três nomenclaturas estão interligadas, é comum ser enunciadas por 3M's e a situação ideal seria a sua inexistência, o exemplo destas situações pode ser verificado na seguinte figura (Santos, 2017).

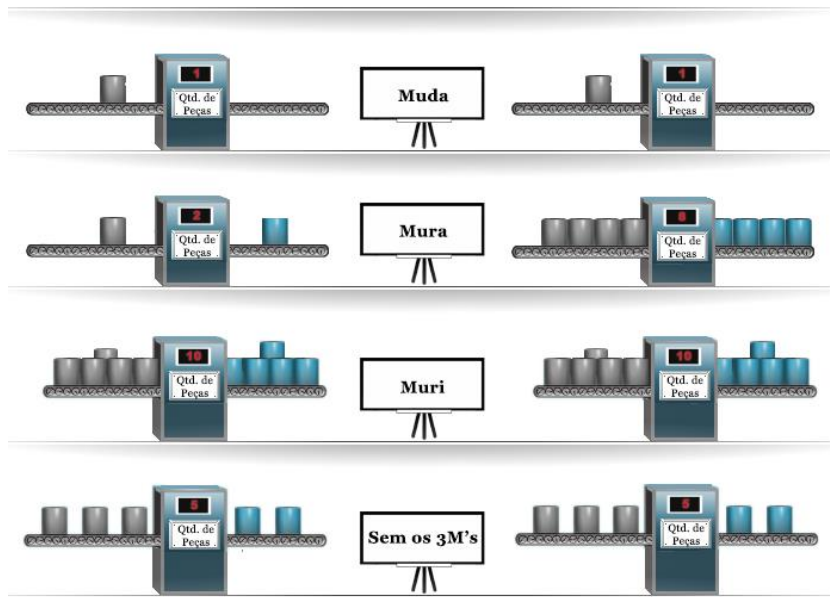


Figura 12 — Exemplificação do *Muda*, *Mura* e *Muri* (adaptado de Silveira, 2020).

### 3.4 Aplicação

Através da aplicação da filosofia *Lean* é possível atingir melhorias significativas. É necessário perceber quais são os objetivos principais da aplicação e os benefícios que se podem retirar, sendo que, o verdadeiro entrave será a escolha das ferramentas a utilizar, pois cada uma tem a sua própria aproximação e vantagens consoante a área que são empregues (Alagundagi, 2015). O fluxo de valor é um componente da filosofia que é criado a partir de todas as etapas necessárias para a obtenção dos resultados pretendidos, procurando assim, a avaliação e a classificação das etapas de acordo com o valor que acrescentam (Weigel, 2000).

A aplicação poderá ser nas variadas áreas e processos existentes, acabando por interferir apenas na maneira de pensar e abordar os problemas que surgem. O *Lean* não se deve limitar apenas a cursos, livros e outros métodos de estudo, deve conter também a parte prática onde se denota a demonstração da aplicação da filosofia. Uma das formas de a compreender é colocá-la como uma abordagem para eliminar o que é inapropriado, partindo da criação, planeamento e implementação (Bicheno & Holweg, 2016). Através do conhecimento existente, é possível verificar que a inserção da filosofia, tem como benefício uma redução a todos os níveis de desperdícios provenientes de todas as ações realizadas, bem como, a forma de implementação e as vantagens das ferramentas aplicadas nas mais diversas atividades (Alagundagi, 2015).

A implementação bem-sucedida desta filosofia na indústria automóvel do Reino Unido, apenas pode ser encontrada em 10% das empresas desta área. E de acordo com estudos

realizados, a indústria automóvel dos Estados Unidos da América e da Índia também revelam valores baixos relativos à eficácia da implementação da filosofia (Leksic, Stefanic & Veza, 2020). Um dos problemas encontrados é que a filosofia Lean não tem nenhum procedimento pré-estabelecido, pois todas as aplicações são diferentes; isto está refletido nas várias interpretações existentes e no número indeterminado de versões da casa do Lean que surgiram de renovações e ajustes. A figura seguinte descreve uma das alternativas presentes na literatura. De acordo com o George Box, todas as diferentes versões estão erradas, mas algumas são úteis na medida que auxiliam no desenvolvimento do que se pretende, ou seja, reduzir os desperdícios (Bicheno & Holweg, 2016).



Figura 13 — Versão da casa do Lean presente na literatura (adaptado de Bicheno & Holweg, 2016).

### 3.5 Ferramentas

A aplicação das ferramentas *Lean* estão dependentes do processo, operação e os requisitos da implementação. No mundo de hoje, uma mescla de ferramentas pode ser encontrada em qualquer organização, algumas estão presentes na figura seguinte, tendo como fim o aumento da produtividade e a redução de desperdícios (Alagundagi, 2015). O impacto destas nas características dos processos é notável, passam por transformações no modo e condições de como são realizadas as tarefas. Promovem o melhoramento dos fluxos existentes e a qualidade do produto, por exemplo, através da extinção de ações

escusadas, conseguindo-se um aumento da rentabilidade dos processos (Håkansson *et al.*, 2017).

A perspetiva é que existem mais de cem ferramentas e a sua aplicação deve ser estruturada, tendo em conta todos os aspetos intervenientes, ou seja, não devem ser o espelho do que vem descrito na literatura, mas serem ajustadas ao que se pretende e à estrutura que se pretende aplicar. As ferramentas devem ser tomadas como linhas guia para a melhoria continua e não como um objetivo final (Leksic, Stefanic & Veza, 2020).

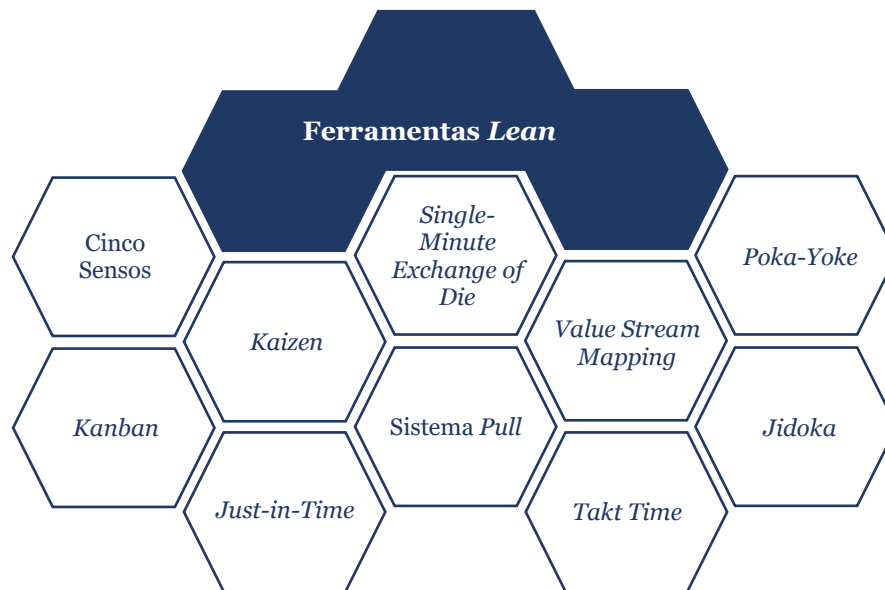


Figura 14 — Algumas das ferramentas *Lean*.

Por sua vez, existe quem defenda que as ferramentas não devem de qualquer forma ser quantificadas, pois qualquer processo ou abordagem que represente benefício através da redução de desperdícios pode ser considerado uma, significando assim a impossibilidade de enumerar todas, e quantas podem existir (Alagundagi, 2015).

É de salientar que, devem ser aplicadas várias ferramentas *Lean* para que se consiga uma distribuição uniforme dos recursos na quantidade necessária, de modo a que se consiga a redução de desperdícios desde o início do projeto (Welo, Tonning & Rølvåg, 2013). Através de estudos realizados, é notável que algumas das ferramentas tem um grande impacto positivo, sendo de destacar o trabalho normalizado, o *Kaizen*, o *jidoka* e a metodologia dos cinco sentidos (Leksic, Stefanic & Veza, 2020).

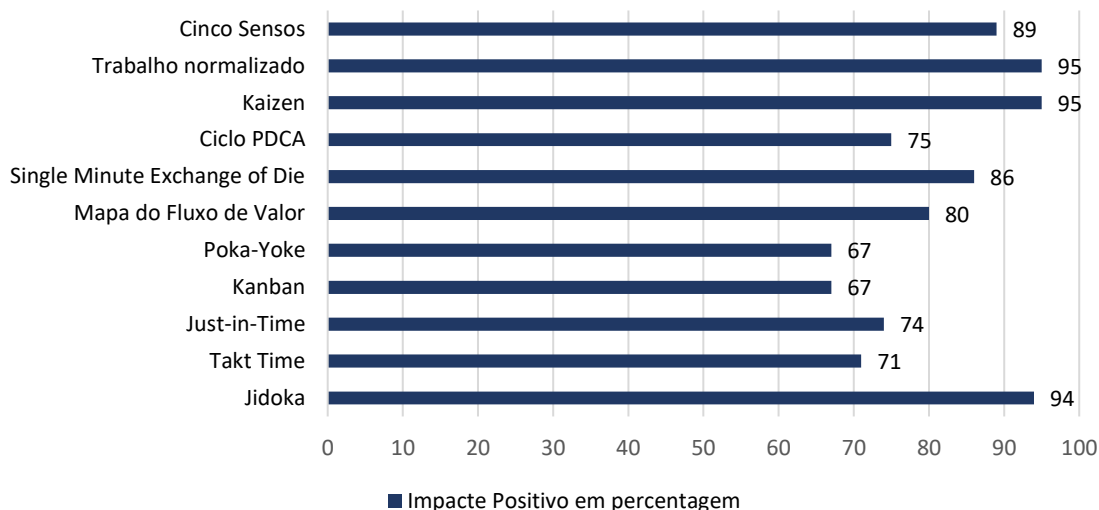


Figura 15 — Impacte das ferramentas *Lean* de acordo com um estudo realizado (adaptado de Leksic, Stefanic & Veza, 2020).

### 3.5.1. Metodologia dos cinco sentidos

A metodologia dos cinco sentidos (5S) propõe a exclusão de tudo o que não é necessário para a envolvente do local de trabalho, mantendo este organizado e com facilidade para localizar todos os objetos necessários à utilização. Esta deriva de cinco termos japoneses, o *seiri*, o *seiton*, o *seiso*, o *seiketsu* e o *shitsuke* (Pereira, 2010). Estes termos podem ser traduzidos, respetivamente, por organização, ordenação, limpeza, normalização e sustentabilidade (Alagundagi, 2015).

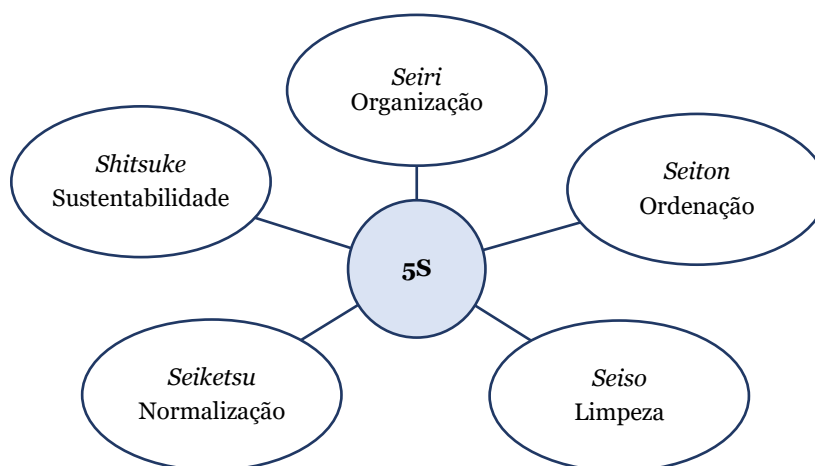


Figura 16 — Termos associados à metodologia 5S.

Esta estabelece uma metodologia para a organização de processos bastante abrangente, como se pode verificar na figura seguinte, e deriva da transmissão apropriada das informações, dos padrões gerados nos locais e nas formas de trabalho, conseguindo-se assim, a exclusão de irregularidades e prevenção de falhas que possam ocorrer (Sharma

*et al.*, 2018). É possível identificar e eliminar diversos tipos de desperdícios relacionados com a desorganização do ambiente de trabalho, paragens e falhas. Devem ser delineados locais para as ferramentas e produtos, de modo a que exista organização e reduza o tempo perdido na procura de elementos necessários ao desenvolvimento do produto. A ordenação, através de procedimentos, faz com que exista uma visão geral de tudo o que é necessário. Periodicamente, a limpeza deve estar em todos os processos e locais, para que o ambiente de trabalho seja mais saudável e apelativo. A normalização auxilia o processo produtivo, na medida que estabiliza e facilita procedimentos e tarefas. E por fim, a sustentabilidade que promove a realização dos pontos anteriores, o cumprimento e execução dos processos benéficos para o projeto (Alagundagi, 2015).

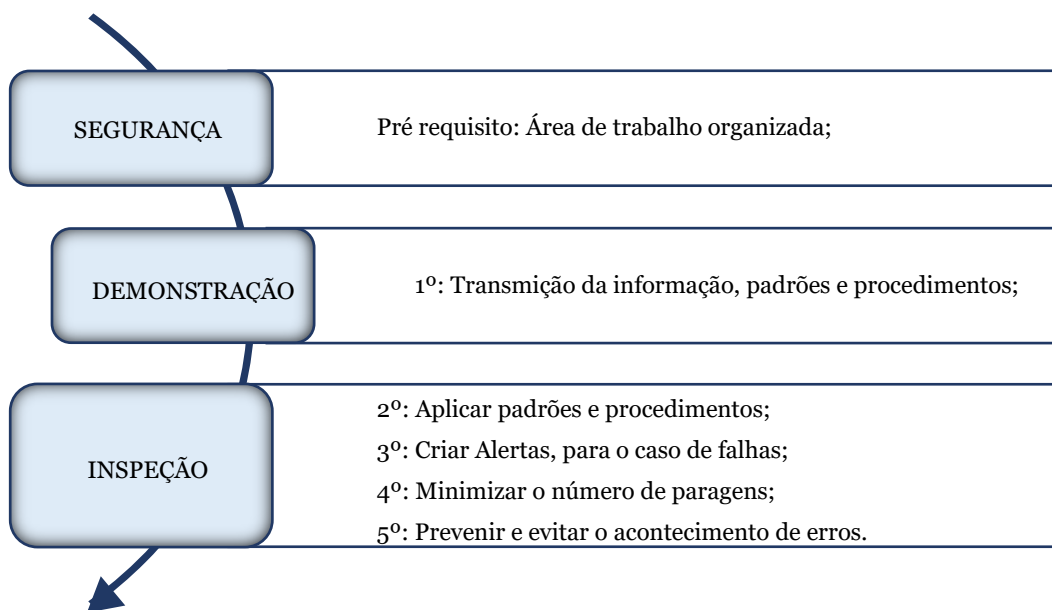


Figura 17 — Guia para a aplicação da metodologia 5S (adaptado de Sharma *et al.*, 2018).

### 3.5.2. Kaizen

O *kaizen* é composto pelos termos japoneses *kai* e *zen* que significam mudar e melhorar, isto é, representa a melhoria contínua através do pensamento crítico e analítico utilizado para encontrar soluções. Para a otimização contínua dos projetos, pode ser utilizado de forma a escolher e adotar modos diferentes e melhorados para a conceção e desenvolvimento do veículo, adequados às necessidades (Alagundagi, 2015).

改善

Figura 18 — Nomenclatura do *Kaizen*, em japonês (Tonic *et al.*, 2014).

Na literatura considera-se esta ferramenta como uma boa mudança, direcionada para a aplicação de bons hábitos. Pretende-se uma observação e avaliação das áreas a atuar, para se conseguir verificar pontos de melhoria e correções possíveis. Para este efeito, a aplicação do *Kaizen* deve ser acompanhado, por exemplo, pelo ciclo *plan, do, check and act* (PDCA). Este ciclo inicia-se na observação de fatores que podem ser sujeitos a otimização, posto isto, dá-se o início à primeira etapa, o planeamento que passa por entender o problema observado e estudar várias hipóteses. Seguidamente, a realização onde coloca em prática as conclusões da etapa anterior. Esta gera resultados que são inspecionados e comparados com os anteriores, etapa esta que passa pela validação, dando acesso à última etapa. A ação é uma etapa que leva à aprendizagem dos resultados obtidos, e conseqüentemente, à uniformidade na realização de trabalho. Através da realização deste ciclo infinitas vezes, percorre-se a direção que se aproxima cada vez mais da perfeição, tal como é exemplificado na figura seguinte (Pereira, 2010).

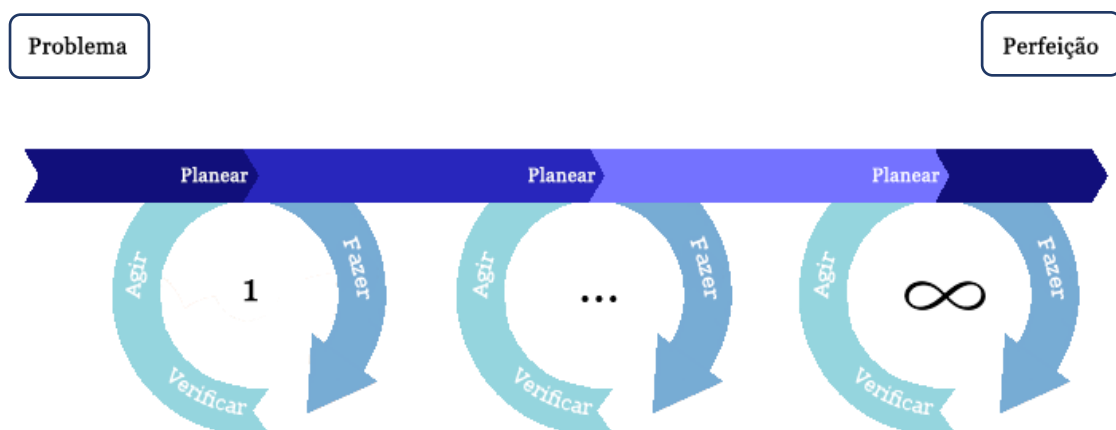


Figura 19 — Ciclo PDCA (adaptado de Pereira, 2010; Pinto, 2016).

### 3.5.3. *Single minute exchange of die*

O *single minute exchange of die* (SMED) é uma ferramenta que procura agilizar os processos para que exista uma diminuição de tempos de todas as tarefas e, por sua vez, de todas as etapas. O objetivo principal é realizar as tarefas num intervalo de tempo inferior a dez, sendo que a unidade de tempo é escolhida de acordo com o processo (Pereira, 2010). Este instrumento pretende a redução de tempos quando é necessário montar ou desmontar componentes, consegue-se assim uma maior produtividade que deriva da diminuição de tempo dedicado à realização das tarefas (Alagundagi, 2015).

A aplicação desta ferramenta pode ser identificada com facilidade nas boxes das equipas do desporto automóvel, é extremamente vantajoso a redução de tempo nestas paragens. Todas as tarefas são realizadas através de procedimentos pré-estabelecidos, de modo a

que se consiga realizar o maior número de tarefas em simultâneo. Como exemplos desta prática, mais reconhecida na fórmula 1, tem-se o exemplo da equipa da *Redbull Racing* que realizou a paragem nas boxes mais rápida deste desporto, no Grande Prémio do Brasil em 2019, com o tempo de 1,82 segundos. Outro grande exemplo é, a equipa da *Mercedes* que conseguiu duas paragens nas boxes seguidas, apenas com a diferença de 3,4 segundos entre elas (Noble, 2019;Red Bull, 2019). Nestes casos a base de tempo utilizada é o segundo, embora que nas empresas poderá ser utilizado o minuto ou até mesmo hora.

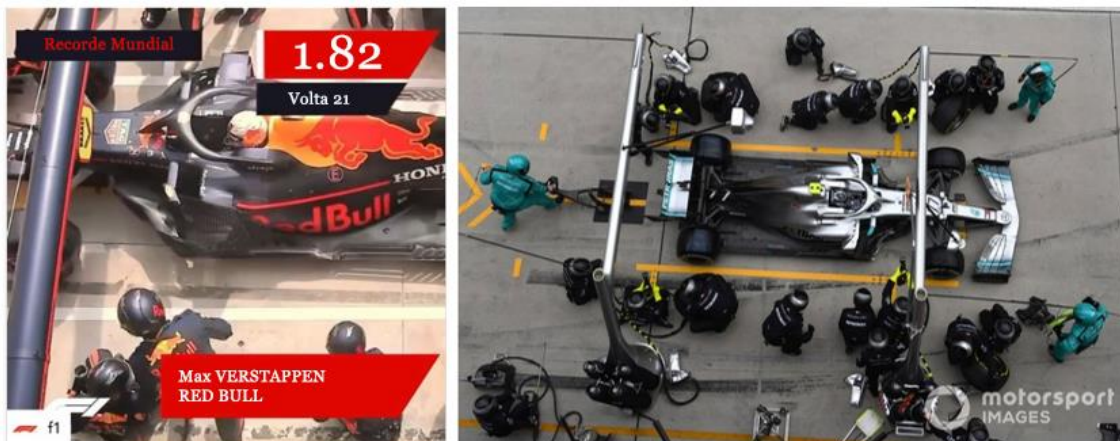


Figura 20 — Momentos captados das equipas *Redbull Racing* e *Mercedes* (Noble, 2019;Red Bull, 2019).

### 3.5.4. Mapa de fluxo de valor

O mapa de fluxo de valor (VSM), do inglês *value stream mapping*, passa pela realização da planta de todos os processos relativos à atualidade, e através destes, criar um mapa otimizado a aplicar no futuro, com o intuito de melhorar resultados. A diferença entre estes dois mapas, dita o foco do plano de implementação, isto é, o que deve ser focado, para a partir da atualidade, se conseguir atingir as metas estabelecidas inicialmente (Bicheno & Holweg, 2016).

Esta ferramenta pode ser dividida em duas etapas, em que a primeira passa pela observação do fluxo de valor que pode ser visualizado no momento e, a segunda que assenta na planificação de um futuro fluxo de valor, tendo em consideração a origem de desperdícios encontrados dentro dos processos (Haefner *et al.*, 2014). Pretende-se assim, obter uma visão global dos processos, que auxilie na compreensão de todos os fluxos existentes (Chen & Meng, 2010).

### **3.5.5. Poka-yoke**

Após a segunda guerra mundial, surge o termo *poka-yoke* que significa à prova de erros. Esta metodologia procura que os erros não aconteçam ou sejam minimizados ainda na fase do projeto dos processos, e mesmo que estes surjam, revelem um alerta para os recursos humanos. A palavra japonesa *poka* significa erros involuntários e *yoke* deriva da palavra *yokeru*, que simboliza a anulação. Normalmente, a aplicação desta ferramenta faz-se acompanhar pelo posicionamento das máquinas, o reconhecimento e alerta de possíveis erros, interruptores nos limites e listas de averiguação (Treurnicht, Blanckenberg & van Niekerk, 2011).

### **3.5.6. Kanban**

O *kanban* permite uma fiscalização sobre os recursos movimentados entre processos, utiliza registos e documentos para controlar todos os fluxos existentes (Pereira, 2010). Esta ferramenta utiliza informação de todas as etapas do processo, representa de forma visual o estado atual e quais as necessidades, para isto existem informações indispensáveis, como por exemplo, a referência, a utilização, a quantia, entre outros itens importantes. Pretende-se assim, assegurar a gestão do inventário e dos produtos acabados e reduzir o manuseamento de materiais não necessários nas etapas dos processos (Alagundagi, 2015; Tonic *et al.*, 2014).

### **3.5.7. Just in time**

A aplicação da ferramenta *just-in-time* (JIT) estimula o aumento da produtividade e globalidade, através do planeamento, para que no local estipulado seja possível ter o inventário certo para realizar o processo, na quantidade adequada à demanda (Sharma *et al.*, 2018).

O sistema pull é adotado com grande frequência pela área da produção, está ligado ao JIT e procura que as operações não se realizem com inventário intermédio, para isto é necessário a utilização de recursos mínimos para se conseguir manter o fluxo contínuo. A aplicação deste sistema tem início no objetivo final, estabelecendo as etapas necessárias do fim para o início, para se conseguir um trabalho uniforme com todo o material necessário à realização do veículo (Pereira, 2010).

### **3.5.8. Takt time**

O conceito *takt time* refere-se ao tempo disponível para produzir um produto, de acordo com a necessidade do mercado, e tem como base de tempo segundos, minutos, horas, dias ou até mesmo semanas (Brioso, Murguia & Urbina, 2017). A palavra *takt* deriva do

alemão e é utilizada para representar a divisão em partes iguais de uma música, foi adotada para a indústria japonesa, por volta de 1930, quando os seus intervenientes eram instruídos por engenheiros alemães (Alvarez & Antunes Jr., 2001).

O ritmo de produção é ditado pelo *takt time*, sendo que o sistema em causa pode não o conseguir cumprir. Este significa o tempo que é utilizado para a produção de um produto, atendendo ao tempo que é disponível para que se consiga responder à demanda, pode-se dizer que o *takt time* controla o fluxo de materiais dos processos, e pode ser formulado pela razão entre o tempo que a produção tem para produzir um produto e a quantidade total necessária desse mesmo produto (Alvarez & Antunes Jr., 2001).

# Capítulo 4

## Otimização do veículo atual

### 4.1 Veículo

O veículo atual do projeto UBICAR, o UBIAN19 iniciou a sua história na competição SEM no ano de 2018, sendo que não conseguiu aprovação para ir à pista devido à não aprovação nas inspeções realizadas. Em relação a este veículo, não existia informação registada relativamente a elementos de fixação, bem como de outros elementos necessários, o que era refletido em desperdícios na hora de adquirir material ou de substituição. No ano seguinte, este foi alvo de melhoramentos a nível estético e mecânico, incorporou uma nova pedaleira em alumínio, um novo sistema de travagem e uma pintura azul metalizada.

Na SEM 2019, mais propriamente nas inspeções, o veículo não respeitava a largura mínima imposta pelo regulamento em oito centímetros, problema que se conseguiu solucionar de maneira improvisada através de umas abas, e como resultado obteve-se a validação nas inspeções, técnica e de segurança, o que garantiu a primeira presença em pista deste veículo. Contudo, o veículo apresentava alguns aspetos possíveis de melhoria, sendo que o que revelou mais atenção foi a massa excessiva do veículo. Este apresentou um valor de 174 kg, o que se revelou ser um dos grandes desperdícios em questões de energia, sabendo que existem veículos na ordem dos 100 kg na mesma categoria.



Figura 21 - Momento captado em pista, na SEM 2019 (adaptado de UBICAR, n. d.).

## 4.2 Inventário do veículo

A inexistência de informação relativa aos componentes consumíveis do veículo foi um dos pontos que exigiu atenção, procedendo-se à recolha de informação relativa aos parafusos, porcas, rolamentos e chumaceiras que o veículo atual utiliza. A informação recolhida procura facilitar e diminuir tempo de preparação, para quando é necessário comprar ou substituir componentes. Foi necessária a criação de referências internas relativas às partes do veículo, apresentadas na tabela seguinte, para uma estruturação mais facilitada de todos os elementos que o veículo utiliza.

Tabela 3 - Nomenclatura adotada para mencionar as partes do veículo e sistemas auxiliares.

Parte do veículo e sistemas auxiliares	Referência
Carroçaria	C
Compartimento do motor	CM
Habitáculo	H
Direção	D
Travagem	T
Rolamento	R
Chumaceira	CH
Rótulas	RT

A informação relativa a todos os elementos de fixação e de auxílio, a rotações e movimentações, foi retirada através de medições executadas assistidas por um paquímetro, instrumento de medição, procedendo-se à desmontagem de todos os componentes necessários. Na tabela que se segue, podem ser consultados os componentes que necessitam do processo de fixação para a sua união, bem como, a quantidade necessária, o tipo de rosca, o tamanho da haste e da parte roscada.

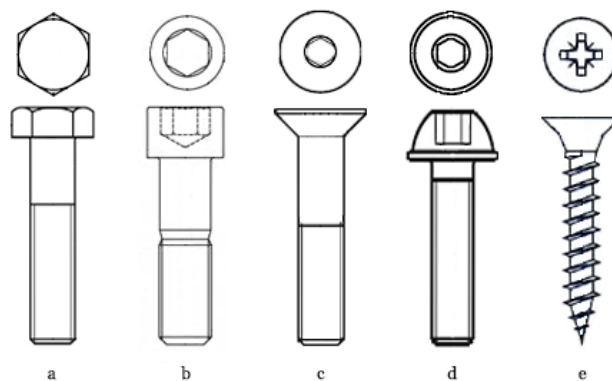


Figura 22 - Tipos de parafusos: (a) sextavado exterior, (b) sextavado interior cabeça cilíndrica, (c) sextavado interior cabeça chata, (d) sextavado interior cabeça oval, (e) madeira estrela cabeça chata.

Tabela 4a – Inventário dos elementos de fixação do veículo atual.

Descrição	Referência interna	Parafuso				Porca	
		Qtd.	Tipo de rosca	Rosca [mm]	Haste [mm]	Qtd.	Tipo
Tira da porta	C01	8	M6	20			
Dobradiças da porta	C02		M10			8	Normal
Espelhos	C03	4	Madeira	25			
Escova limpa vidros	C04		M6			1	Normal
Rodas	C05		M20			4	KM 4
Roda de tração (roda livre)	C06	5	M8	35			
Porta traseira	C07	6	M4	10	Cônico		
Suporte da garrafa de pressurização	CM01	2	M5	20		2	Normal
Pinhão	CM02	1	M8	25	15		
Suporte do motor	CM03	4	M8	25	35	4	Freada
Caixa da bobine de chamada	CM05		M6			2	Freada
Suporte da roda de tração	CM06	4	M10	60		1 3	Freada Normal
Suporte do travão (esquerdo)	CM08	3	M8			3	Freada Normal
Caixa de fusíveis e relés	H01	2	M6	20		2	Normal
Cintos (fundo)	H02	2	M8	50	50	4	Normal
Cintos (cima)	H03	4	M8	30			
Suporte do Tablier	H04	2	M8	45	20	2	Freada
	H05	4	M6	30			

Tabela 4a – Inventário dos elementos de fixação do veículo atual.

Descrição	Referência interna	Parafuso				Porca	
		Qtd.	Tipo de rosca	Rosca [mm]	Haste [mm]	Qtd.	Tipo
Banco	H06	2	M6	25		2	Freada
Suporte do pedal do acelerador	H07	2	M8	30	30	2	Freada
	H08	1	M6	15	70	1	Normal
	H09	1	M6	30	20	1	Normal
	H10	1	M6	10	20	1	Normal
Volante	H11	12	M4	10		12	Normal
Motor limpa vidros	H12	2	M6	15		2	Normal
Ponteira principal	D01	1	M6	10	20	1	Freada
Chumaceiras do eixo do volante	D02	2	M8	20		2	Normal
Ponteira direita	D03	1	M6	10	20	1	Freada
Ponteira esquerda	D04	1	M6	10	30	1	Freada
União das ponteiras	D05	2	M6	20	25	2	Freada
Suportes da Roda	D06	4	M8	35	25		
Triângulos	D07	4	M8	10	20	4	Freada
Suporte travão de mão	T01		M8			3	Freada
Suporte do pedal do travão	T02	3	M8	30	30	3	Freada
	T03	1	M6	15	30	1	Freada
	T04	1	M8	15	30	1	Freada
	T05	1	M10	20	100	1	Freada

Tabela 4a – Inventário dos elementos de fixação do veículo atual.

Descrição	Referência interna	Parafuso			Porca		
		Qtd.	Tipo de rosca	Rosca [mm]	Haste [mm]	Qtd.	Tipo
Discos de travão	To6	5	M8	15	3		
Suporte do distribuidor	To7	1	M6	20	60	1	Normal
Pinças de travão pretas	To8	8	M10	15	20		
Pinças de travão douradas	To9	8	M6	15		8	Freada

Tabela 5 – Inventário relativo aos sistemas que auxiliam rotações e movimentações, presentes no veículo.

Descrição	Referência interna	Qtd.	Marca	Referência externa	Fixação		
					Tipo de rosca	Comprimento [mm]	Tipo
Veio de transmissão	CH01	2	SKF	PFT62			
	CH02	2	SKF	SA 206			
Eixo do volante	CH03	2	SKF	Italy P40			
	CH04		SKF	SB 201			
Triângulos	RT01	2	SKF	SAKAC 8M M11C	M8 Direita	25	Macho
Ponteira Principal da direção	RT02	1	S B	PHS 6L	M6 Direita	40	Macho
	RT03	1	S B	POS-6	M6 Direita	40	Macho
Ponteiras esquerda e direita da direção	RT04	2	SKF	SAL6IK	M6 Esquerda	40	Macho
	RT05	2	SKF	SAL6C	M6 Direita	40	Fêmea
Rodas	Ro1	8		6804Z			
Roda livre	Ro2	1		CSK 30 PP			

### 4.3 Redução da massa

A massa do veículo é um dos grandes entraves aos bons resultados, tal como referido anteriormente, é um dos maiores desperdícios que pode ser encontrado no veículo. De acordo com a segunda lei de Newton, na qual a força é igual ao produto da massa pela aceleração, pode-se concluir que quanto maior for a massa do veículo, maior será a força necessária para o impulsionar, ou seja, um maior consumo de combustível por parte do motor. Também é fundamental mencionar que todos os atritos de rolamento são proporcionais ao peso do veículo, sendo estes adimensionais, equacionados pela força de atrito dividida pelo peso do veículo. Contudo, a massa pode ser considerada um acumulador de energia cinética, o que leva a uma maior dissipação de energia quando é necessário travar.

O atual veículo incorpora um chassi e carroçaria monobloco, este entre as duas longarinas, na zona do piloto, tem como fundo duas superfícies, uma em fibra de vidro e uma em alumínio. As dimensões do fundo do veículo que se encontra em duplicado estão apresentadas na figura seguinte, apresentando uma área de  $0,6 \text{ m}^2$ , dada pelo software *Solidworks*.

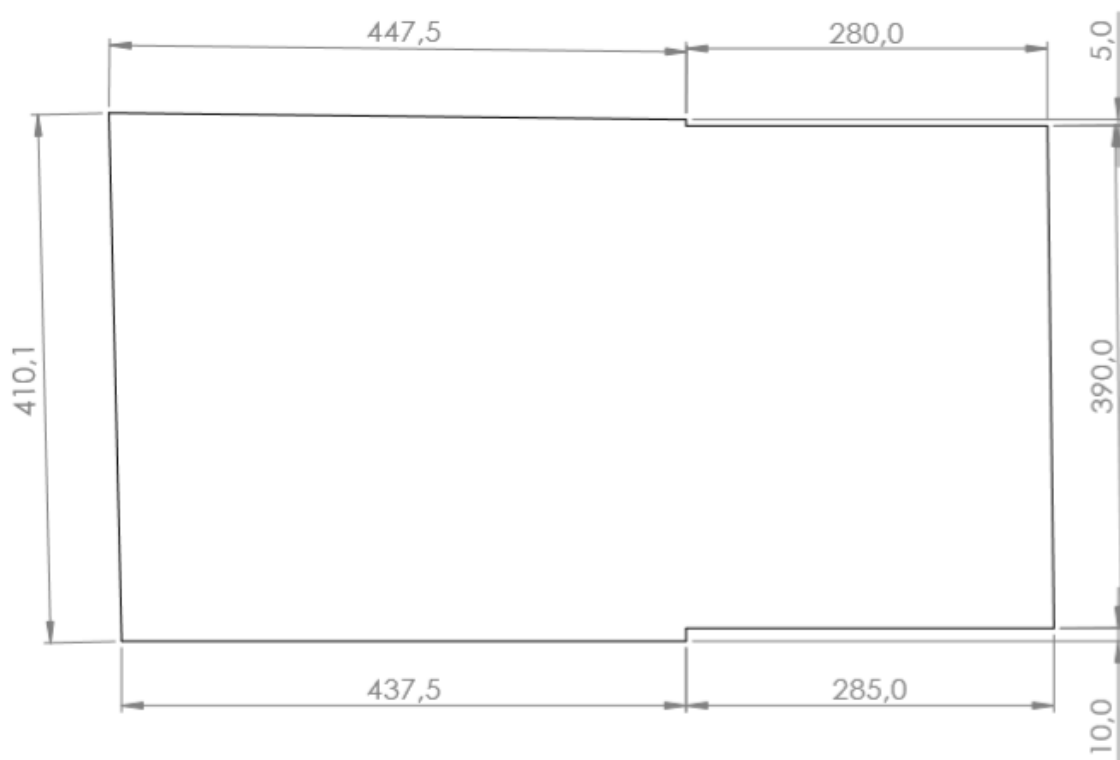


Figura 23 - Desenho representativo do fundo a retirar, em milímetros.

Posto isto, foram retirados dois provetes de cada material apresentados na figura 24, para conseguir assim estudar qual o fundo que se deve manter tendo em conta a massa do veículo. A amostra de fibra de vidro tem o formato circular, com uma área de  $0,3 \text{ dm}^2$  e uma massa de aproximadamente 17 grama. Enquanto que, a amostra de alumínio tem uma área de  $1 \text{ dm}^2$  de formato quadrado, com uma massa de 42 grama.

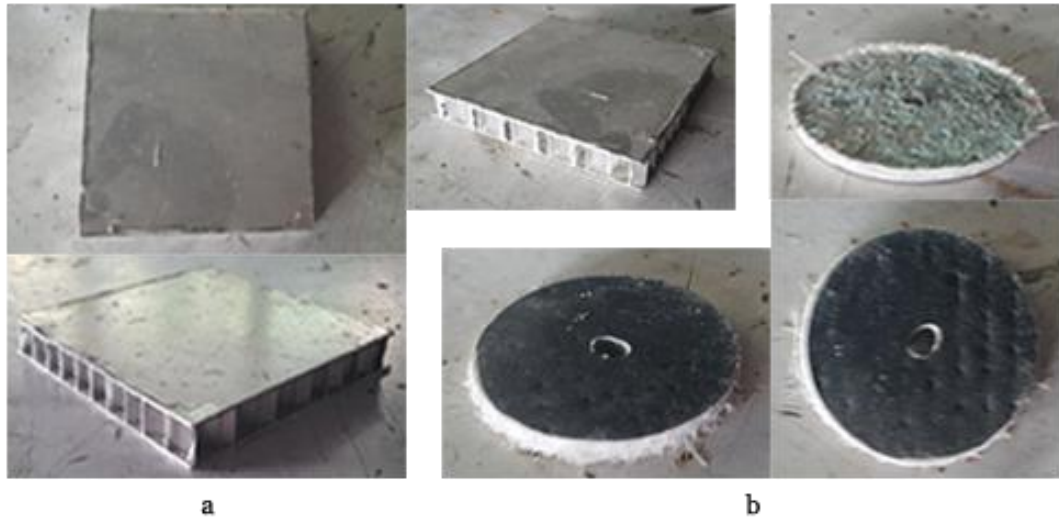


Figura 24 - Provetes para teste de massa: (a) alumínio, (b) fibra de vidro.

Realizando um gráfico para comparar a área com a massa de cada material, obteve-se um resultado para a área a retirar de 3,4 kg para a fibra de vidro e 2,6 kg para o alumínio. Posto isto, optou-se por se manter o alumínio já que consegue ser aproximadamente 25% mais leve do que a fibra de vidro, para a mesma área.

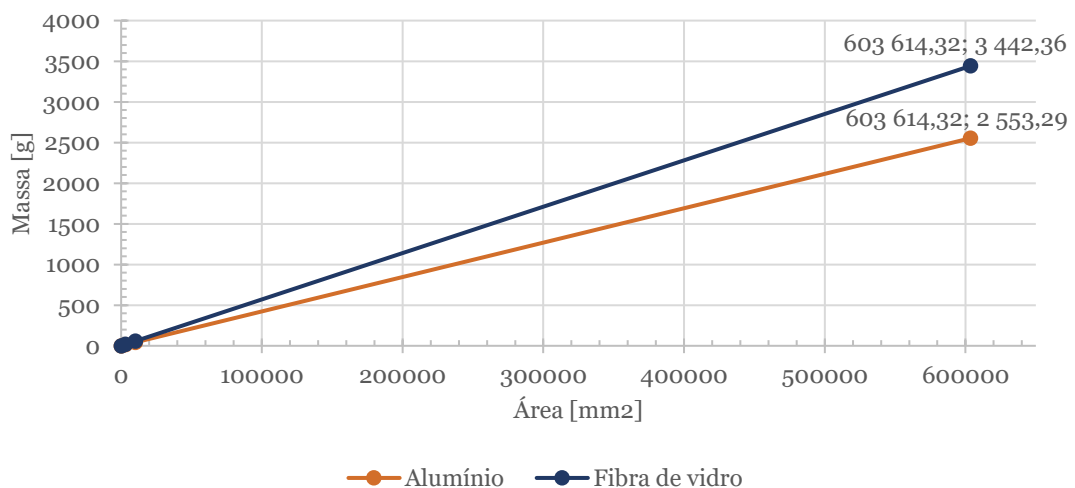


Figura 25 - Comparação da massa dos materiais para o fundo do veículo.

A massa da carroçaria, com alguns componentes, obtida antes da intervenção para o corte do fundo foi de 93,9 kg, sendo que depois do corte este valor, obtido nas mesmas condições, reduziu para 90,2 kg. Experimentalmente conseguiu-se retirar ao veículo 3,7 kg, representando este valor uma redução de 2,13% da massa total do veículo apresentado na SEM 19, onde revelou 174 kg.

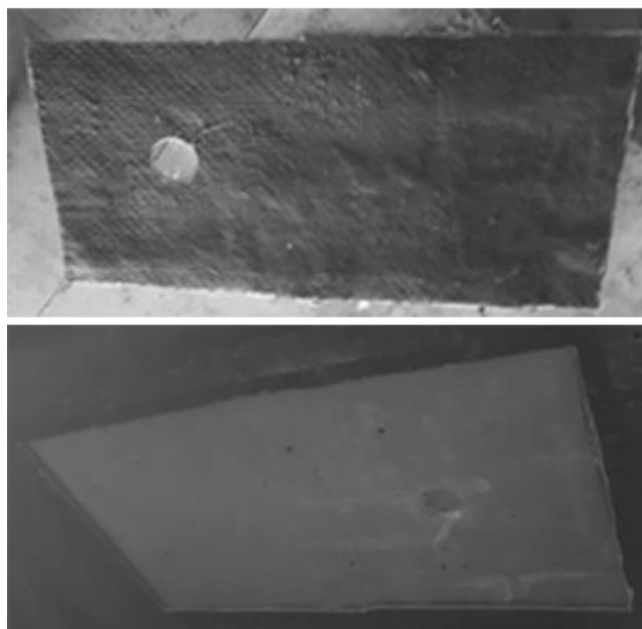


Figura 26 - Imagens relativas ao corte do fundo do veículo.

Foram realizadas pesagens de alguns dos componentes que fazem parte do veículo, que podem ser consultadas na tabela 6.

Tabela 6a - Medições de alguns componentes.

Descrição	Qtd.	Massa [g]				Média [g]	Total [g]
Chapa do apoio do motor	1	1417				1417	1417
Espelhos	2	149	153		151	302	
Grelha da frente	1	988				988	988
Mala traseira	1	1660				1660	1660
Pinças douradas	4	348	351	354	350	350,75	1403
Pinças pretas	4	1215	1223	1218	1219	1218,75	4875
Discos de travão	4	383	373	384	384	381	1524

Tabela 6a - Medições de alguns componentes.

Descrição	Qtd	Massa [kg]				Média [kg]	Total [kg]
		5		4,8			
Portas	2	5		4,8		4,9	9,8
Roda completa	4	6	5,9	5,9	6	5,95	23,8
Roda (jante e pneu)	4	5,6	5,5	5,5	5,6	5,55	22,2
Chassi com: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Direção;</li> <li>• Eixo de transmissão completo;</li> <li>• Suportes da roda;</li> <li>• Triângulos;</li> <li>• Pedaleiras;</li> <li>• Parte elétrica (exceto a bateria e centralina);</li> <li>• Sistema de travagem (exceto os discos).</li> </ul>	1	90,2				90,2	90,2

Outro ponto de foco na redução de desperdícios foram as pinças dos travões. As pinças pretas que equipam o veículo apresentam em média 1218,75 grama por cada uma, optando-se assim por umas mais leves que apresentam em média 350,75 grama. As pinças douradas apresentam menos 70% da massa das pinças pretas, conseguindo-se assim através da substituição, uma redução de 868 grama, ou seja, aproximadamente 2% da massa total do veículo.



Figura 27 - Pinças de travão: (a) Pinças anteriores, (b) Pinças aplicadas.

Em suma, através da intervenção no fundo do veículo e nas pinças de travão, conseguiu-se uma redução total na massa do veículo de 7170 grama, que se traduz na eliminação de 4% do desperdício gerado pela massa do veículo, passando este a pesar 166800 grama.

#### 4.4 Cubos de roda e jantes

Um dos pontos que poderá sofrer melhoria no veículo atual é o processo da desmontagem das rodas do veículo. As rodas são compostas pelo pneu, jante, rolamentos e o disco de travão que é montado na jante através de cinco parafusos, ou seja, sempre que se tem que remover uma roda, em primeiro lugar é necessário retirar a pinça dos travões e a porca central que aperta a jante, sendo que os rolamentos saem junto com a jante, o que provoca um desgaste desnecessário e prematuro, estando presente sempre que se desmonta as rodas, e poderá exigir ainda uma nova afinação dos travões. Posto isto, o objetivo é a alteração desta ligação através do desenvolvimento de um cubo de roda que permita que o disco de travão e um dos rolamentos se mantenham na mesma posição, possibilitando apenas a remoção da jante do veículo e um dos rolamentos utilizados.

O projeto da ligação da roda ao veículo por um cubo separado, tem como intuito a redução do tempo na montagem e na desmontagem da roda, bem como a redução do desgaste nos rolamentos. Esta alteração consiste na divisão em duas peças, tal como pode ser observado na figura seguinte, uma que fará parte da jante e outra que irá conter o disco de travão. A parte exterior do cubo é também a parte central da jante, esta será colada ao prato que faz a ligação ao aro. Na sua cavidade agrega o rolamento e a porca central que apertará no eixo da roda. Os parafusos que apertam o disco de travão na outra metade do cubo, além da função de fixar o disco de travão, também fixam a parte do cubo que está acoplado à jante, de forma a que o cubo seja uma peça única e que rodem as duas em simultâneo.



Figura 28 - Parte do cubo da roda que está acoplado à jante.



Figura 29 - Parte do cubo da roda onde será apertado o disco de travão.

O acoplamento do disco de travão ao cubo é realizado por cinco parafusos sextavados interiores de cabeça chata M8 de 14 milímetro de comprimento. O comprimento do parafuso terá uma parte rosçada de 8 milímetro e a ponta que sobra, de 6 milímetro, não terá rosca, ficando com a função de pino de encaixe após estar apertado o disco de travão. A montagem do disco de travão no cubo interior, e conseqüentemente a junção ao cubo exterior pode ser visualizada na figura 31. É de salientar que os rolamentos das rodas necessitam de um batente na circunferência interna, de modo a que quando são apertados não se desalinhem. Para isso dentro do cubo de roda é inserido um tubo externo ao eixo da roda, com um diâmetro interno de 21 milímetro e externo de 24 milímetro, que limita o aperto das rodas, e por sua vez que se danifiquem os rolamentos quando a roda é apertada, pois o seu comprimento é 16 milímetro, a distância entre os rolamentos.

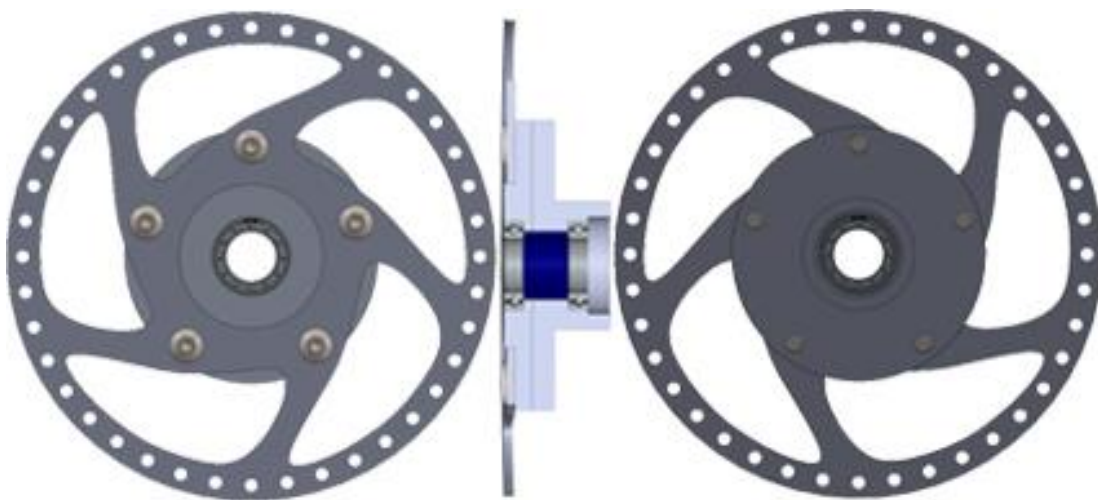


Figura 30 - Cubo da roda com o disco de travão montado e respetivos parafusos e rolamentos.

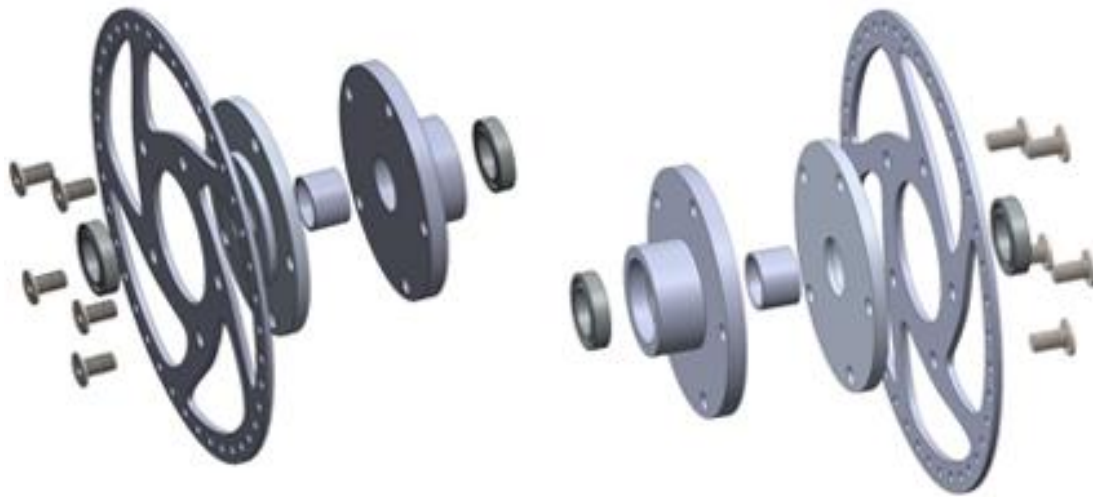


Figura 31 - Vista expandida da montagem do cubo de roda e do disco de travão, com rolamentos e parafusos.

A realização de umas novas jantes resulta da tentativa de redução de massa, bem como, da dificuldade em se conseguir adquirir os pneus energeticamente eficientes, desenvolvidos pela *Michelin* para os veículos *urban concept*. Para isto, foi necessário recorrer à norma ISO 4000-2:2013 – *Passenger car tyres and rims (Part 2: rims)* para obtenção da designação, contornos e dimensões da jante. O diâmetro da jante a realizar foi de 15 polegada, para o qual é aconselhado uma aba da jante do tipo J. Para auxiliar na escolha das diversas dimensões da jante, bem como da corcunda, designadas na figura 32, recorreu-se aos valores apresentados na norma, que podem ser consultados na tabela 6.

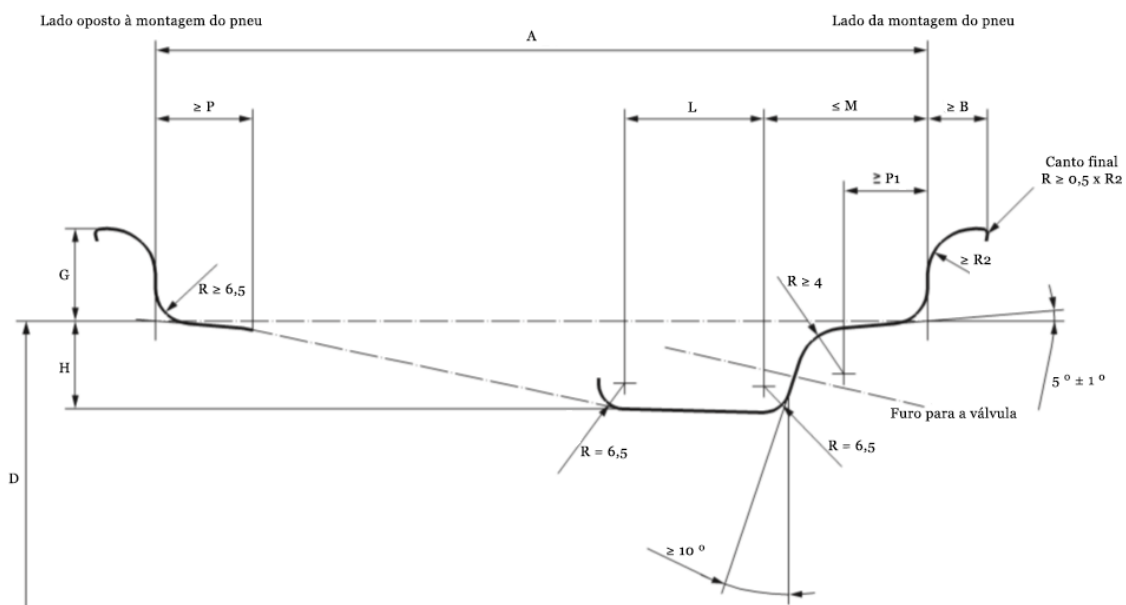


Figura 32 - Contorno da jante (adaptado de International Organization for Standardization, 2013).

Tabela 7 - Dimensões para jantes cónicas de 5° (adaptado de International Organization for Standardization, 2013).

Diâmetro [pol.]	Largura e tipo de aba	B [min.]	G [± 1]	P [min.]	P1 [min.]	H	L	M [máx.]	R2 [min.]
10 12 13	3,00 B	10,0	14,5	13,0	15,0	15,0	16,0	28,0	7,5
	3,50 B	10,0	14,5	15,0	17,0	15,0	19,0	34,0	7,5
	4,00 B	10,0	14,5	15,0	17,0	15,0	19,0	45,0	7,5
	4,50 B ou maior	10,0	14,5	19,5	19,5	15,0	22,0	45,0	7,5
14 até 21	3 J	11,0	17,5	13,0	13,0	17,3	16,0	28,0	9,5
	3 1/2 J	11,0	17,5	15,0	17,0	17,3	19,0	34,0	9,5
	4 J	11,0	17,5	15,0	17,0	17,3	19,0	45,0	9,5
	4 1/2 J ou maior	11,0	17,5	19,5	19,5	17,3	22,0	45,0	9,5
22 ou maior	4 1/2 J ou maior	11,0	17,5	19,5	19,5	22,0	22,0	45,0	9,5

A dimensão de A, largura total da jante, é obtida a partir do código de largura da jante multiplicado por 25,4, sendo que o valor obtido tem de ser arredondado em incrementos de 0,5.

$$A = \text{Código da largura da jante} \times 25,4 \quad (1)$$

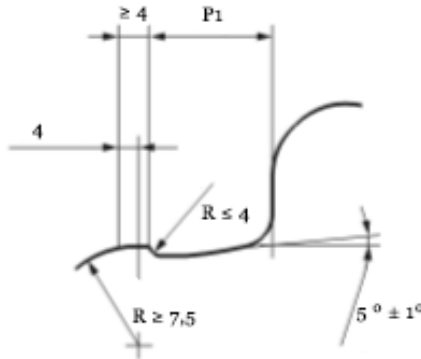


Figura 33 - Corcunda no interior da jante para ajudar a retenção do pneu (adaptado de International Organization for Standardization, 2013).

Tabela 8 - Diâmetro específico da jante e perímetro da corcunda plana (adaptado de International Organization for Standardization, 2013).

Código do diâmetro da jante	Diâmetro específico da jante [D ± 0,4]	Circunferência Corcunda plana ${}^0_{-3,5}$
14	354,8	1 114,6
15	380,2	1 194,4
16	405,6	1 274,2
17	436,6	1 371,6
18	462,0	1 451,4
19	487,4	1 531,2



A partir das indicações retiradas da norma ISO 4000-2:2013 – *Passenger car tyres and rims (Part 2: rims)* foi possível realizar o desenho dos aros e do prato da jante, recorrendo ao software *Solidworks*. O aro da jante para facilitar a manufatura foi projetado em duas partes, e será montado com recurso a seis parafusos M6 de 16 milímetro de comprimento, apertados por porcas freadas. Nas figuras 36, 37 e 38, pode ser consultado uma parte do aro, bem como, as duas partes juntas perfazendo a jante. Na vista explodida pode-se visualizar a montagem dos aros e o prato que faz ligação ao cubo de roda exterior apresentado anteriormente, é de salientar que as porcas ficam do lado onde é fixado o prato, para no caso de ser preciso desapertar os parafusos ser mais prático.

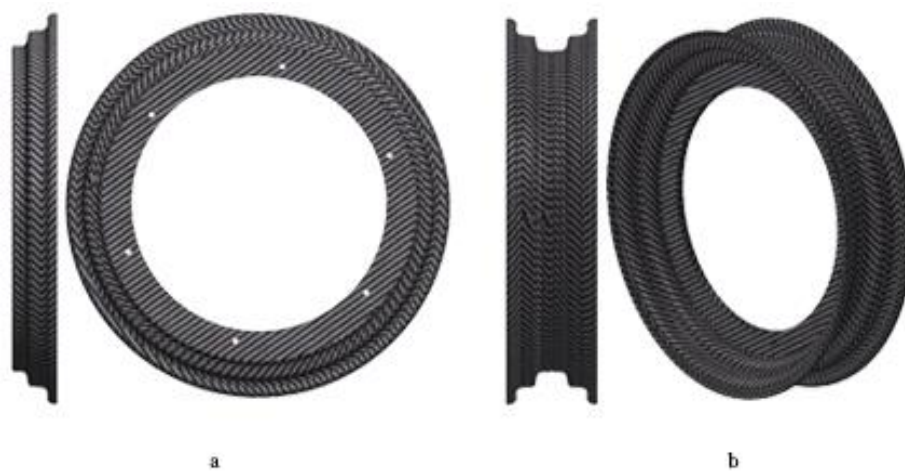


Figura 36 - Imagem 3D dos aros: (a) metade do aro; (b) aro completo.

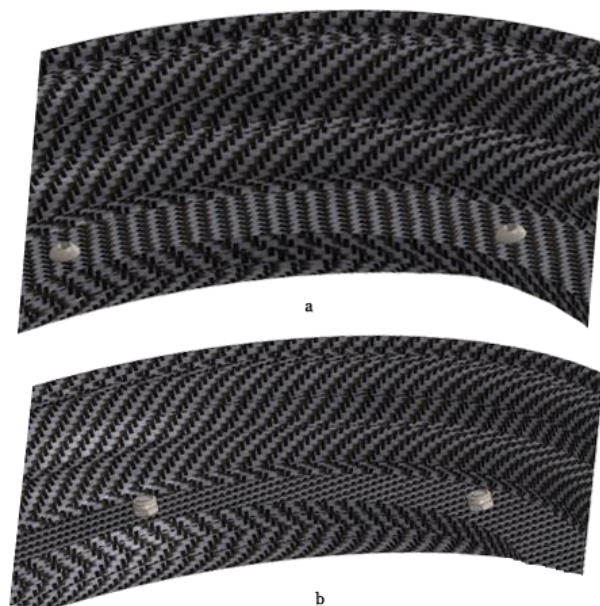


Figura 37 - Pormenor da acoplação dos aros: (a) parafusos; (b) porcas.



Figura 38 - Jante completa com o cubo de roda exterior

#### 4.5 Processos de fabrico

A manufatura dos cubos de roda anteriormente apresentados é realizado a partir de dois blocos de alumínio, maquinados por uma máquina de controlo numérico computadorizado (CNC). Esta máquina através das coordenadas provenientes do desenho em CAD/CAM, procede ao desbaste do bloco até a obtenção da peça final. Conseguindo-se assim uma melhor precisão e a diminuição do erro humano, caso este fosse realizada manualmente.

Para a realização das jantes do veículo, recorreu-se a uma jante modelo para obtenção dos moldes. A jante modelo, em aço, foi proveniente de um *Citroen Dyane*, já que tem as dimensões que foram calculadas anteriormente, como as 15 polegada de diâmetro e largura de 4 polegada, com abas do tipo J. A jante original foi cortada longitudinalmente para facilitar a obtenção do molde e colada pela aba, tal como se pode verificar na figura seguinte.



Figura 39 - Modelo para a criação dos moldes: (a) jante original; (b) jante cortada a metade e junção pelas abas.

A realização do molde iniciou-se pela aplicação de camadas de fibra de vidro em contacto com a superfície do modelo, sendo utilizado resina epóxi SR1500, com catalisador SD2503. A mistura destes dois compostos, para o processo de fabricação do compósito, é realizada numa proporção de 100 grama de resina, para 33 grama de catalisador. Após as camadas estarem coladas à jante, procedeu-se ao enchimento exterior do molde para conferir rigidez, sendo necessário o encastramento de peças metálicas para aumentar resistência. Como último passo, realizaram-se os cortes dos discos de fibra de vidro para acoplar ao molde na parte interior. Entre todas as etapas realizadas foi necessário retificar as camadas colocadas para obter um molde mais homogêneo, conseguindo-se assim reduzir os espaços vazios no enchimento e melhorar a união das peças metálicas. Deste processo resultaram os moldes que podem ser visualizados na figura 40.



Figura 40 - Moldes para obtenção da jante em fibra de carbono.



# Capítulo 5

## Desenvolvimento de um novo veículo

### 5.1. Ideologia

O desenvolvimento do novo veículo está direcionado para um processo de otimização contínua. Este procura a realização de uma estrutura monobloco, mas com um processo de fabrico diferente ao UBIAN19, o monobloco é realizado depois de ter os sistemas mecânicos montados no chassis, para assim minimizar os entraves na sua montagem, não sendo necessário adaptar sistemas quando forem montados na estrutura.

O novo veículo é inspirado em dois veículos que já participaram na prova SEM em anos anteriores, que podem ser visualizados na figura seguinte. O veículo cinzento era constituído por uma estrutura em canoa, da qual saíam umas abas para suportar as rodas e as esconder nas várias vistas, tal como o descrito no regulamento. Este não cumpria alguns artigos do regulamento atual, pois na vista frontal e traseira era possível visualizar algumas das componentes mecânicas. O veículo vermelho foi desenvolvido no seio da equipa do projeto UBICAR, que participou no ano 2009, tinha uma estrutura frontal semelhante ao cinzento, em que continha uma abertura entre a estrutura principal e as rodas, mas que estavam tapadas para que nas várias vistas ocultasse os elementos mecânicos, cumprindo assim o regulamento na integra, sendo que a parte traseira era totalmente tapada pelo chassis e carroçaria.



Figura 41 - Veículos que participaram nas provas: (a) veículo que não cumpria o regulamento; (b) veículo da equipa UBICAR em 2009 (adaptado de UBICAR, n. d.).

Através destes veículos foram criados alguns esboços relativos ao veículo a desenvolver, que podem ser consultados na figura 42, e a partir dos quais foi possível desenvolver todas as estruturas do novo veículo, tendo sempre em consideração o cumprimento do regulamento, bem como, aspetos do veículo atual do projeto, sejam eles positivos ou negativos.

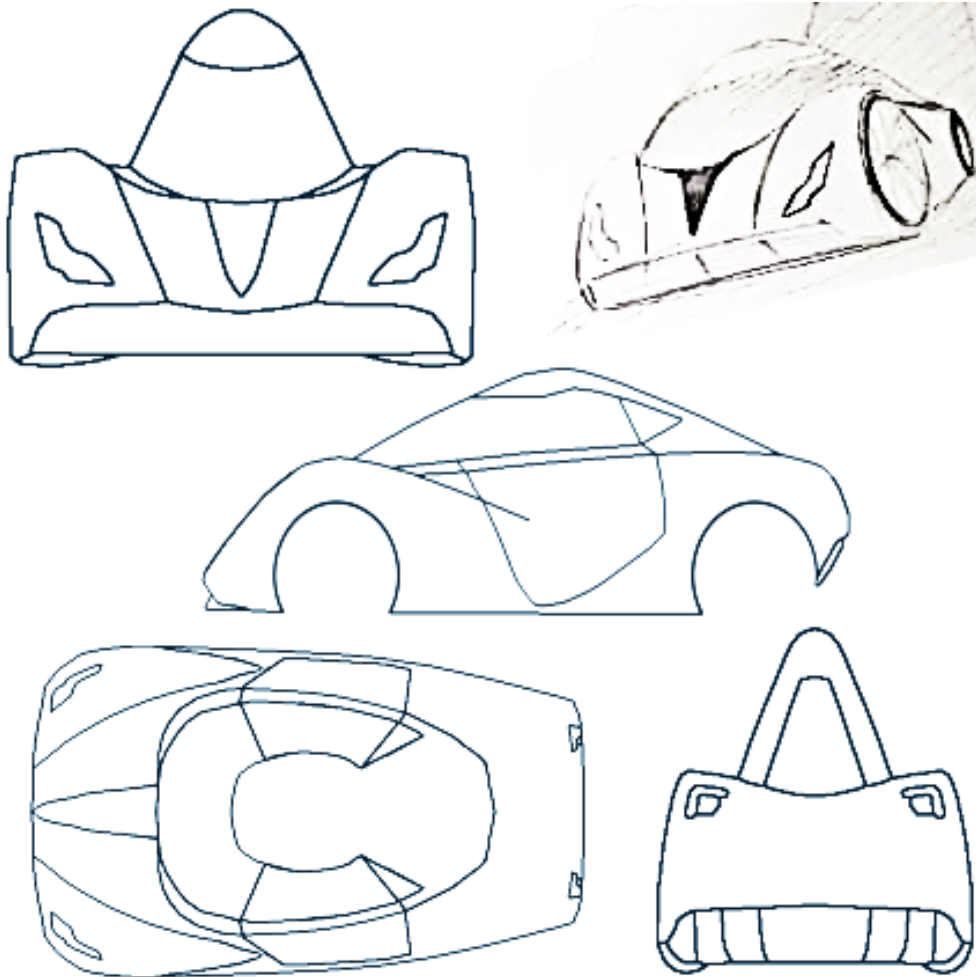


Figura 42 - Esboços da nova carroçaria do veículo.

## 5.2. Chassi

O conceito pré-estabelecido para o formato do veículo é que deveria conter uma canoa central que compreenderia o compartimento do piloto e do motor, estando as rodas localizadas fora da canoa, mas adequadamente protegidas e com os componentes mecânicos todos escondidos, tal como é requerido pelo regulamento. O desenvolvimento do novo veículo iniciou-se pelo chassi e o acoplamento de todas as partes mecânicas, para que a carroçaria pudesse ser desenhada contando com tudo o que é necessário o veículo estar munido. A escolha desta ordem advém do veículo anterior, no qual foi realizada em

primeiro lugar a carroçaria, originando assim alguns entaves na hora da montagem de alguns elementos mecânicos. O chassi do veículo é constituído por três peças principais: o fundo do veículo que fará parte da carroçaria, a parte superior frontal e a parte superior traseira. O fundo do veículo tem uma área de  $1,4 \text{ m}^2$ , com um comprimento máximo de  $2,4 \text{ m}$ , proporcionando uma distância entre eixos de  $1,6 \text{ m}$ , o que permite cumprir o artigo 45 do regulamento da prova, e com uma largura de  $1,1 \text{ m}$  entre os centros dos suportes das rodas da frente e de  $0,7 \text{ m}$  entre os centros dos das rodas traseiras. Este contém na parte traseira quatro estruturas verticais, em que duas servem de apoio para o alinhamento das rodas traseiras e as restantes de guia para o eixo traseiro, e na parte frontal uma estrutura para a fixação das pedaleiras do acelerador e do travão.

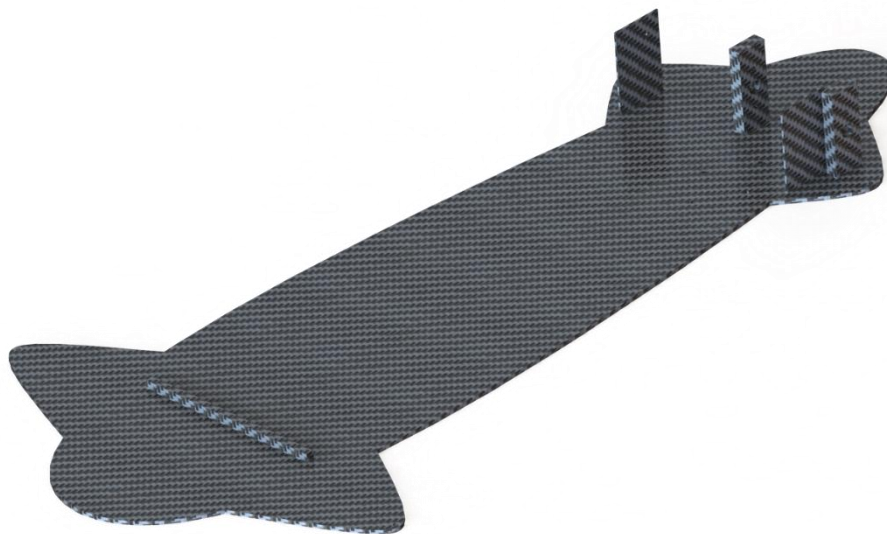


Figura 43 - Parte inferior do chassi do veículo.

A parte superior frontal e traseira seguem as linhas do fundo do veículo, mantendo a largura entre os centros dos suportes das rodas e apresenta uma área total de  $0,2 \text{ m}^2$  e  $0,1 \text{ m}^2$ , respetivamente. À parte frontal serão aparafusados os elementos pertencentes à direção, responsáveis pela união das ponteiras da direção, que se encontram no mesmo eixo horizontal dos suportes das rodas, a uma distância intermédia de cada um e pela sustentação do eixo do volante. A parte traseira tem como objetivo fornecer rigidez aos apoios do eixo de tração, aos suportes das rodas e às estruturas para o alinhamento das rodas.

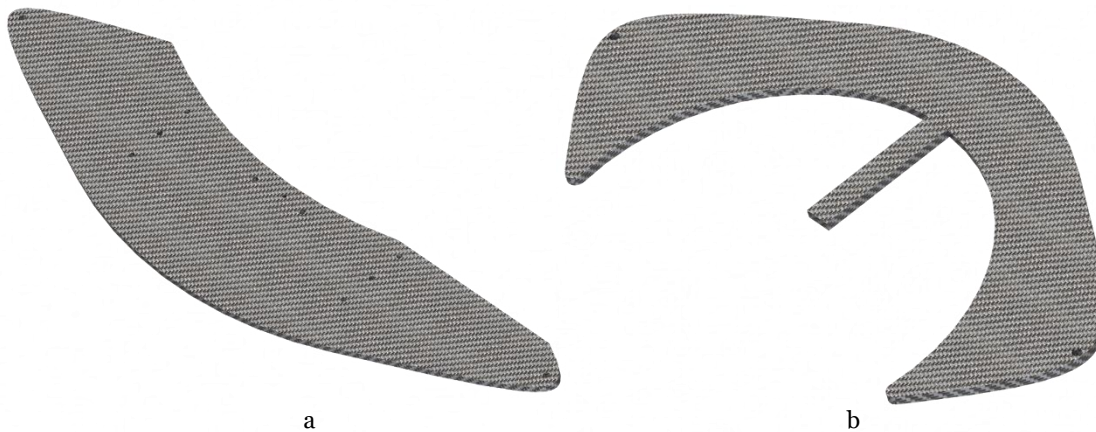


Figura 44 - Partes superiores do chassi do veículo: (a) frontal; (b) traseira.

Os cubos de roda e as jantes desenvolvidas no capítulo anterior, foram projetadas para fazerem parte do novo veículo. As rodas frontais e a traseira do lado direito obedecem à montagem demonstrada nas figuras 30 e 31, e pode ser revista no veículo na figura 45.

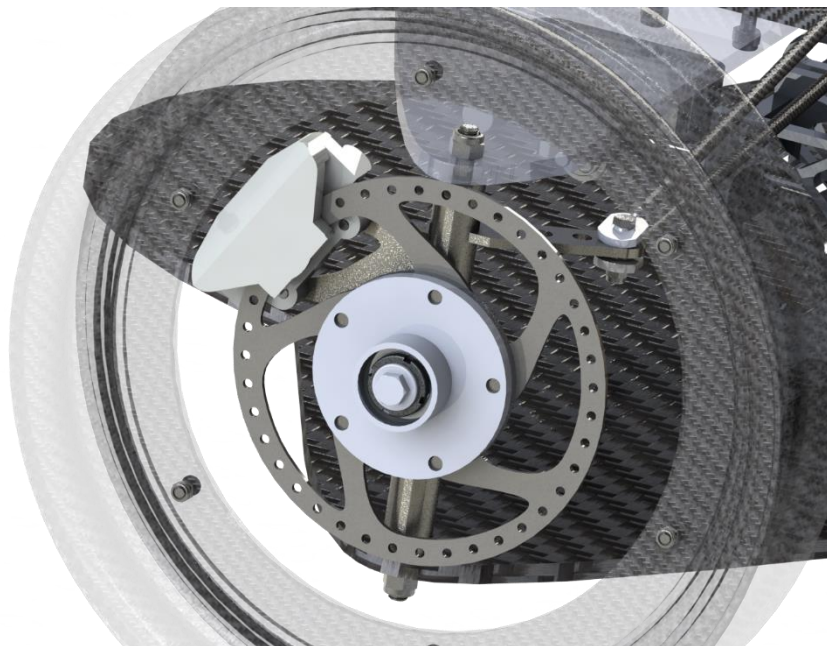


Figura 45 - Montagem dos cubos de roda e outros componentes no novo veículo.

O compartimento do motor tem de ser necessariamente separado do habitáculo, isto será realizado por uma placa vertical que estará entre o fundo do veículo e a carroçaria. Neste compartimento estará alocado o motor e o suporte da bateria, bem como componentes da parte elétrica. Para acoplar o motor foi desenvolvido um suporte que será apertado ao fundo do veículo, de modo a que este fique bem fixo e seja possível retirar o motor apenas desapertando quatro parafusos M10 de 35 milímetro de comprimento. Para o suporte do motor o material utilizado será alumínio e fixo ao fundo do carro por quatro parafusos

M10 de 40 milímetro de comprimento. O suporte da bateria utilizará o mesmo material, e é constituído por duas partes, a inferior que está fixa ao fundo do veículo por quatro parafusos M6 de 25 milímetro de comprimento, tendo estes a particularidade de ser cabeça chata para não interferir quando a montagem da bateria e a parte superior que será fixa à inferior através de quatro parafusos M6 de 12 milímetro de comprimento, fazendo com que a bateria não saia do lugar.

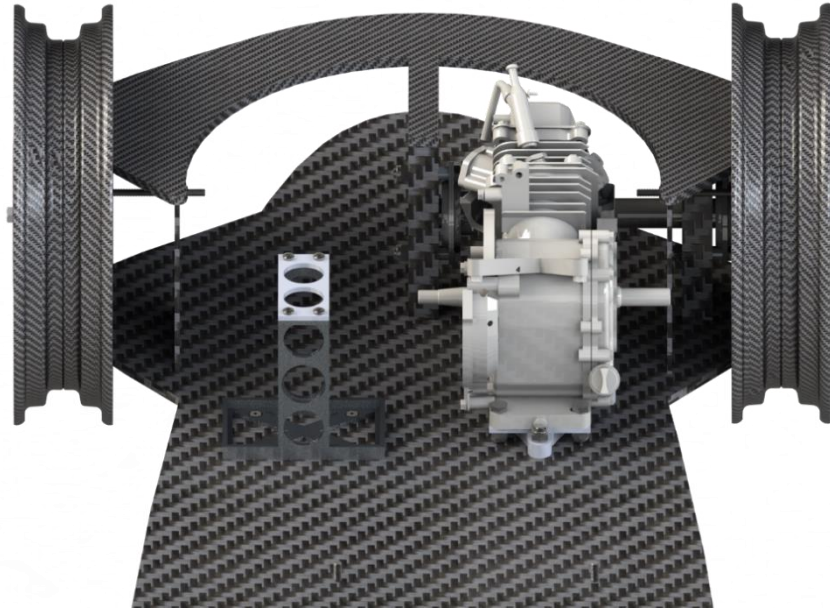


Figura 46 - Compartimento do motor.

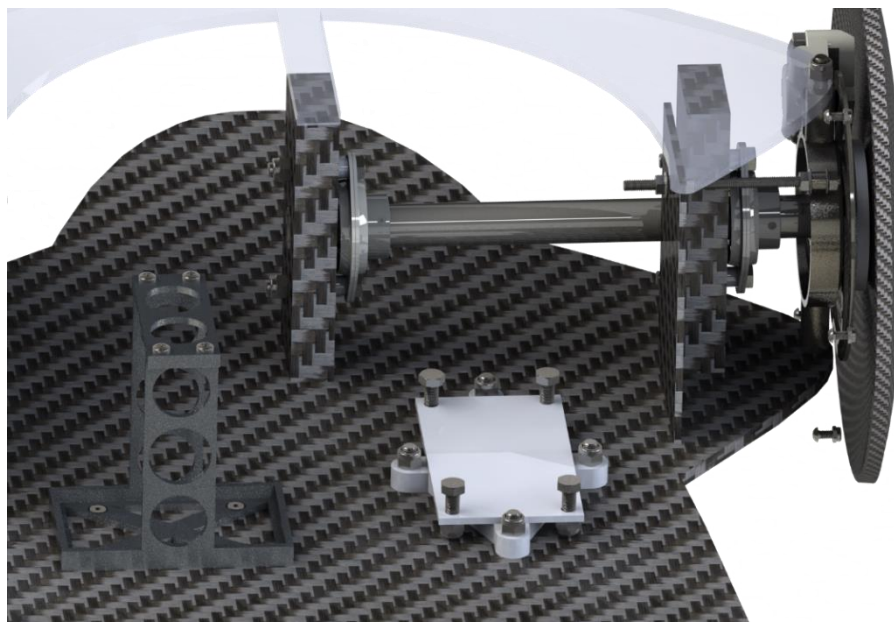


Figura 47 - Vista em pormenor do compartimento do piloto, do lado esquerdo o suporte da bateria e do lado direito o suporte do motor.

### 5.3. Direção

De acordo com o verificado na literatura, os mecanismos de direção que melhor se aproximam do sistema *Ackerman*, o sistema ideal, são o triângulo e a alavanca simples. O mecanismo da alavanca simples é um caso particular do triângulo, tal como pode ser observado nas figuras seguintes, a diferença é que é considerado o ângulo beta nulo, o que além de simplificar a obtenção dos resultados, também facilita a manufatura do sistema (Oliveira, 2015).

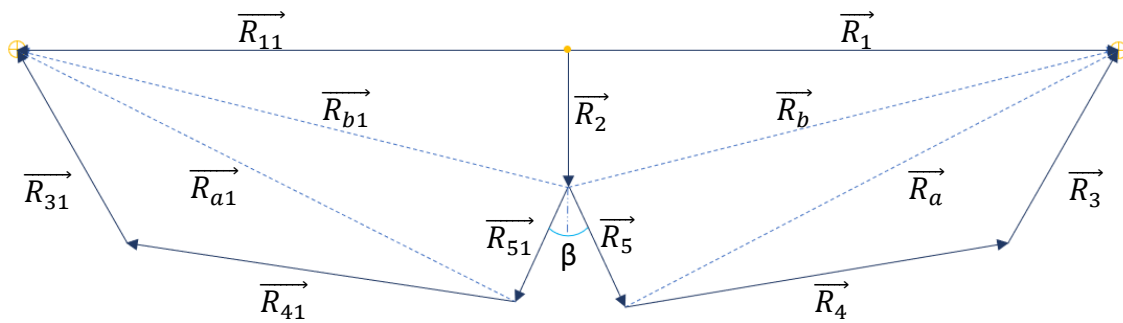


Figura 48 - Representação do diagrama vetorial do sistema triângulo (adaptado de Oliveira, 2015).

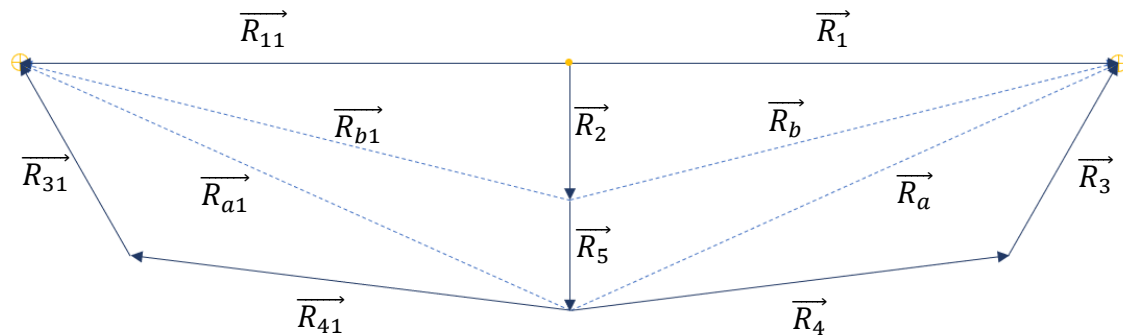


Figura 49 - Representação do diagrama vetorial do sistema alavanca simples (adaptado de Oliveira, 2015).

No caso do veículo em desenvolvimento os dados necessários são a distância entre eixos (EE), a via dianteira (VD) e o ângulo de  $R_5$  ( $\beta$ ) que neste caso será nulo, e estão apresentados na tabela.

Tabela 10 - Dados relativos ao veículo.

EE	1600 mm
VD	1100 mm
$\beta$	0°

Através das equações para este mecanismo, apresentadas a seguir, realizou-se uma folha de cálculo no *Excel*, para assim se conseguir reduzir o erro proveniente da direção, através de tentativa erro, atribuindo valores aos vetores até atingir uma solução otimizada (Oliveira,2015).

$$R_b = \sqrt{R_1^2 + R_2^2} \quad (2)$$

$$\theta_b = \tan^{-1} \left( \frac{R_2}{-R_1} \right) \quad (3)$$

$$R_a = \sqrt{R_b^2 + R_5^2 - 2 \times R_b \times R_5 \times \cos(\theta_5 - \theta_b)} \quad (4)$$

$$\theta_a = \theta_b + \tan^{-1} \left( \frac{-R_5 \times \sin(\theta_5 - \theta_b)}{R_b - R_5 \times \cos(\theta_5 - \theta_b)} \right) \quad (5)$$

$$\theta_3 = \theta_a - \cos^{-1} \left( \frac{R_4^2 - R_a^2 - R_3^2}{2 \times R_a \times R_3} \right) \quad (6)$$

$$\Delta\theta_3 = \theta_3 - \theta_{3.inic} \quad (7)$$

$$\theta_{b1} = \pi - \theta_b \quad (8)$$

$$\theta_{51} = \theta_5 \quad (9)$$

$$R_{a1} = \sqrt{R_b^2 + R_5^2 - 2 \times R_b \times R_5 \times \cos(\theta_{51} - \theta_{b1})} \quad (10)$$

$$\theta_{a1} = \theta_{b1} + \tan^{-1} \left( \frac{-R_5 \times \sin(\theta_{51} - \theta_{b1})}{R_b - R_5 \times \cos(\theta_{51} - \theta_{b1})} \right) \quad (11)$$

$$\theta_{31} = \theta_{a1} - \cos^{-1} \left( \frac{R_4^2 - R_{a1}^2 - R_3^2}{2 \times R_{a1} \times R_3} \right) \quad (12)$$

$$\Delta\theta_{31} = \theta_{31} - \theta_{31.inic} \quad (13)$$

$$\text{Erro} = -EE \times \left( \frac{1}{\tan(\Delta\theta_{31})} - \frac{1}{\tan(\Delta\theta_3)} \right) - VD \quad (14)$$

$$R_c = \sqrt{\left( \frac{EE}{\tan(\Delta\theta_{31})} \right)^2 + EE^2} \quad (15)$$

$$e/R_c = \frac{\text{Erro}}{R_c} \quad (16)$$

A partir da folha de cálculo foi feito um processo iterativo que levou à obtenção de vários resultados que podem ser observados pelas tabelas e gráficos seguintes, onde o objetivo

é maximizar o ângulo de rotação do volante e aproximar o erro relativo a zero, sendo que é exigido pelo regulamento um raio de curvatura de 6000 milímetro.

Para o primeiro caso, foram atribuídos os valores que constam na tabela seguinte.

Tabela 11 - Valores atribuídos aos vetores para o primeiro caso.

$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$
550 mm	0 mm	70 mm	514 mm	34 mm

Com a atribuição destes valores foi possível obter o gráfico seguinte.

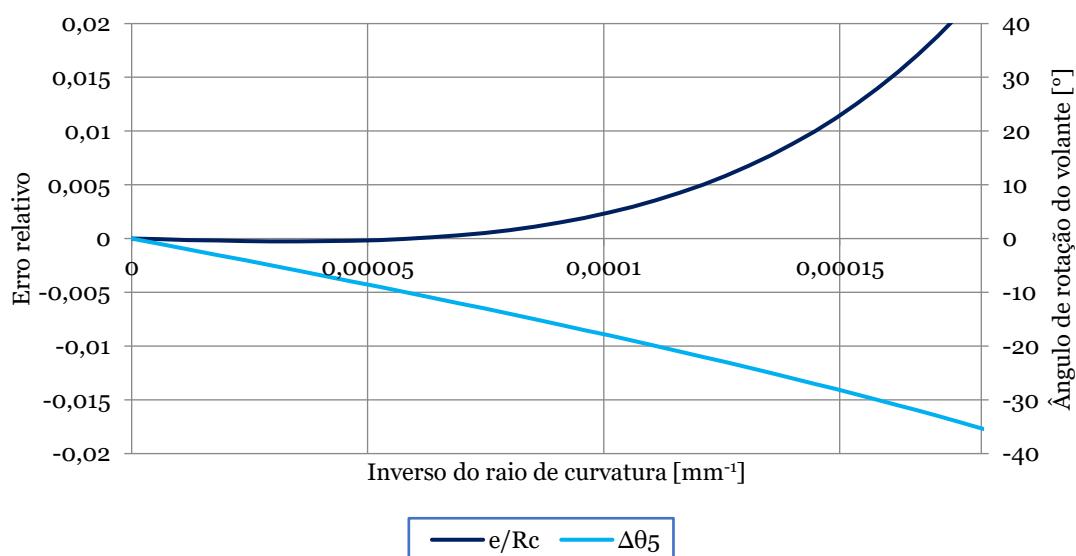


Figura 50 - Variação do ângulo de rotação do volante do veículo em função do raio de curvatura para o primeiro caso.

Com suporte na figura 50, e os valores estipulados na tabela 10, têm-se que o raio de curvatura requerido no regulamento é atingido aos 33 graus, por sua vez a média do erro relativo do intervalo é de 0,004541. Contudo, a pista da prova não tem curvas com o raio de curvatura pedido no regulamento, por isso considerando um raio de curvatura no máximo de 10000 milímetro, obtêm-se uma média do erro relativo de 0,000546 com um ângulo no volante de 18 graus.

Relativamente ao segundo caso foram atribuídos os valores apresentados na tabela.

Tabela 12 - Valores atribuídos aos vetores para o segundo caso.

$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$
550 mm	44 mm	51,39 mm	525 mm	33 mm

Com a atribuição dos valores foi possível obter o gráfico seguinte.

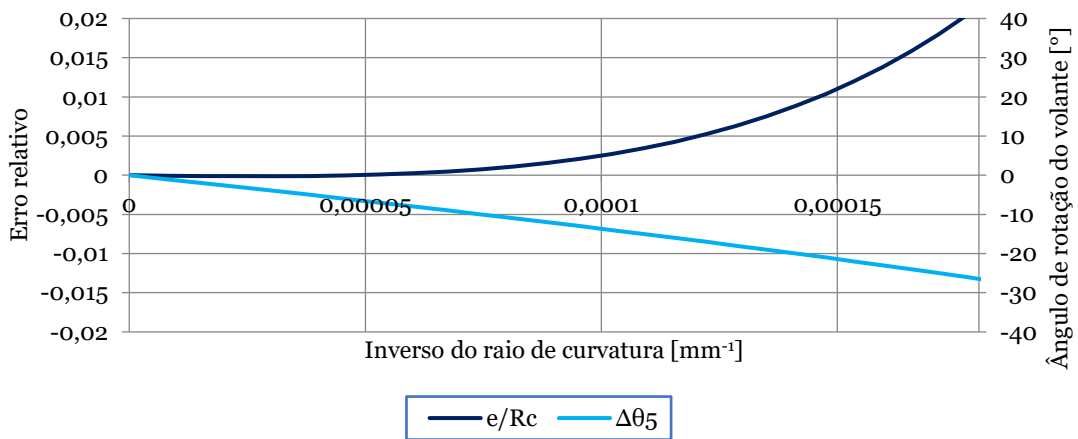


Figura 51 - Variação do ângulo de rotação do volante do veículo em função do raio de curvatura para o segundo caso.

Com base na figura 51, e os valores estipulados na tabela 11, tem-se que o raio de curvatura requerido no regulamento é atingido aos 25 graus, por sua vez a média do erro relativo do intervalo é de 0,004429. Contudo, como o referido no caso anterior, considerando um raio de curvatura no máximo de 10000 milímetro, obtêm-se uma média do erro relativo de 0,000634 com um ângulo no volante de 14 graus.

Ao terceiro caso realizado, atribuíram-se os valores abaixo apresentados.

Tabela 13 - Valores atribuídos aos vetores para o terceiro caso.

$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$
550 mm	0 mm	75 mm	513 mm	32 mm

Com a atribuição dos valores foi possível obter o gráfico seguinte.

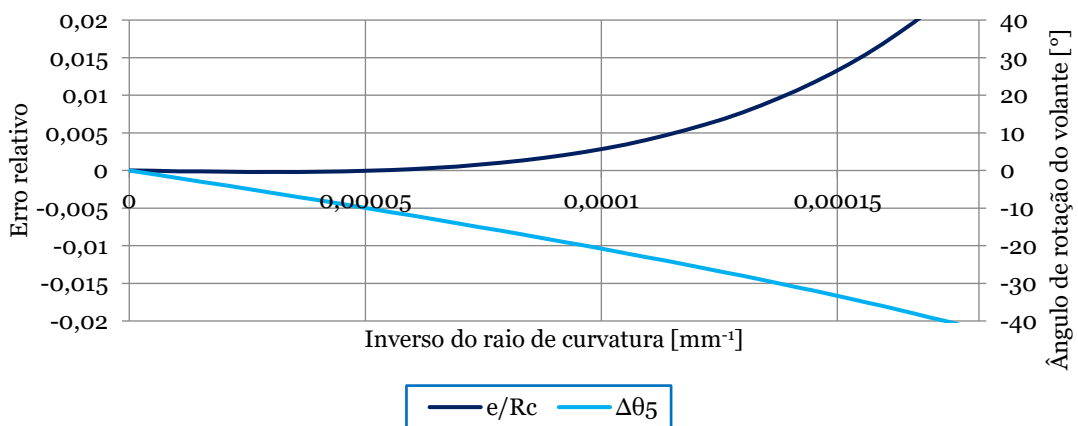


Figura 52 - Variação do ângulo de rotação do volante do veículo em função do raio de curvatura para o terceiro caso.

De acordo com a figura 52, e os valores estipulados na tabela 12, tem-se que o raio de curvatura requerido no regulamento é atingido aos 39 graus, por sua vez a média do erro relativo do intervalo é de 0,005302. Contudo, como referido anteriormente, considerando um raio de curvatura no máximo de 10000 milímetro, obtém-se uma média do erro relativo de 0,000666 com um ângulo no volante de 21 graus.

Para o último caso adotaram-se os seguintes valores

Tabela 14 - Valores atribuídos aos vetores para o quarto caso.

$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$
550 mm	0 mm	85 mm	510 mm	35 mm

Com a atribuição dos valores foi possível obter o gráfico seguinte.

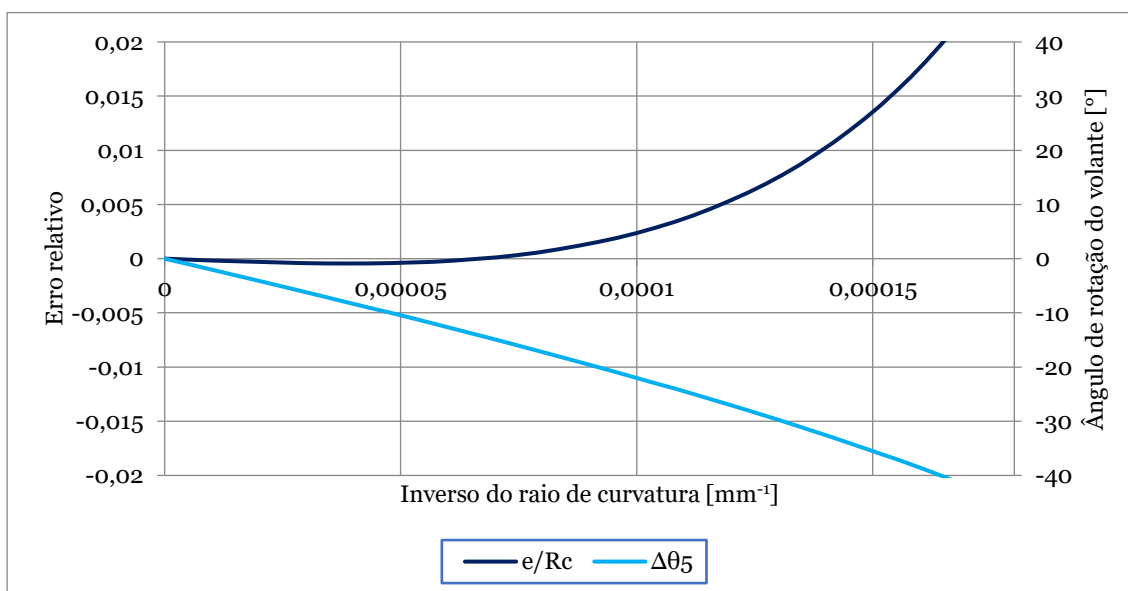


Figura 53 - Variação do ângulo de rotação do volante do veículo em função do raio de curvatura para o quarto caso.

De acordo com a figura 53, e os valores estipulados na tabela 13, tem-se que o raio de curvatura requerido no regulamento é atingido aos 41 graus, por sua vez a média do erro relativo do intervalo é de 0,005079. Contudo, como o referido anteriormente, considerando um raio de curvatura no máximo de 10000 milímetro, obtém-se uma média do erro relativo de 0,000567 com um ângulo no volante de 22 graus.

Para uma melhor avaliação dos valores que devem ser selecionados, apresenta-se a seguir uma tabela na qual estão presentes os resultados obtidos dos gráficos dos diferentes casos apresentados.

Tabela 15 - Resultados do erro médio e o respetivo ângulo de curvatura, consoante o raio de curvatura.

	Raio de curvatura $\geq 6000$ mm		Raio de curvatura $\geq 10000$ mm	
	Erro médio	Ângulo de rotação	Erro médio	Ângulo de rotação
Caso 1	0,004541	33 °	0,000546	18 °
Caso 2	0,004429	25 °	0,000634	14 °
Caso 3	0,005302	39 °	0,000666	21 °
Caso 4	0,005079	41 °	0,000567	22 °

Tal como pode ser observado na tabela anterior, o caso 1 é o que apresenta um valor médio do erro inferior, no entanto em questões do ângulo de rotação do volante, este também tem um valor baixo o que é prejudicial para a condução do piloto. Tendo em conta os dois raios de curvatura considerados, o caso 4 apresenta bons resultados, pois tem um ângulo de rotação considerável e o erro tem valores semelhantes ao caso 1. Adotando o caso 4, é possível verificar nas figuras 54 e 55, os desenhos de todos os elementos ligados à direção do veículo de acordo com os valores calculados. O volante advém do veículo anterior, sendo este montado ao eixo da direção por três parafusos M4. Este eixo tem um pino perpendicular onde é acoplada a haste do volante que faz com que seja possível a rotação das rodas através da rotação do volante, este para se fixar ao veículo tem duas chumaceiras que estão apertadas a duas estruturas desenvolvidas para o efeito, fixas na parte superior frontal do chassi. Por sua vez, as rodas estão ligadas por duas ponteiras a uma barra central que está fixa à parte superior frontal do chassi, cumprindo assim o diagrama apresentado na figura 49.



Figura 54 - Montagem da direção do veículo.

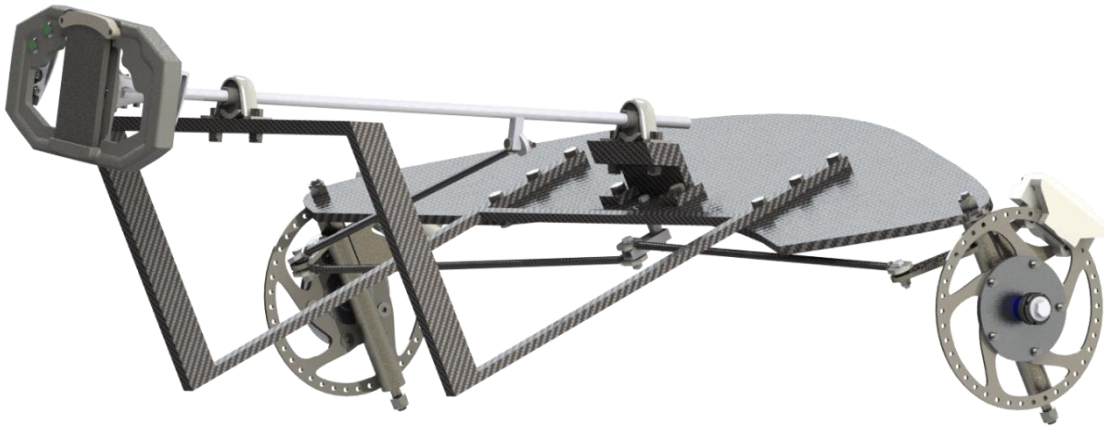


Figura 55 - Montagem em pormenor da direção do veículo.

## 5.4. Inventário do veículo

Para montar as componentes do veículo desenhado, como se pode ver na figura 56, é necessária uma grande variedade de parafusos, rolamentos, entre outros componentes de ligação mecânica.



Figura 56 - Veículo desenvolvido para a competição de baixo consumo energético.

Assim apresenta-se uma tabela da nomenclatura utilizada para as referências internas, de modo a facilitar ainda mais a localização destes componentes. Nas tabelas 16 e 17, podem ser consultados todos os acessórios de fixação e rotação, utilizados na montagem de todos os componentes presentes no desenvolvimento do veículo, para que deste modo

o trabalho seja realizado de maneira mais fácil e rápida, diminuindo o tempo perdido na procura dos componentes de fixação.

Tabela 16 - Nomenclatura adotada para mencionar os sistemas onde estão inseridos os componentes.

Parte do veículo e sistemas auxiliares	Referência
Mecânica	M
Propulsão	P
Habitáculo	H
Direção	D
Travagem	T
Rolamento	R
Chumaceira	CH
Rótulas	RT
Roda livre	RL

Tabela 17a - Inventário dos elementos de fixação do veículo.

Descrição	Referência interna	Parafuso				Porca	
		Qtd.	Tipo de rosca	Rosca [mm]	Haste [mm]	Qtd.	Tipo
Jante	Mo1	24	M6	16		6	Freada
Suportes das rodas	Mo2		M8			8	Freada
Eixos das rodas	Mo3		M20			4	KM 4
Segurança dos eixos das rodas	Mo4	4	M10	19			
Alinhamento das rodas	Mo5	2	M8	150		8	Normal
Suporte da Bateria	Po1	4	M6	12			
	Po2	4	M6	25		4	Freada
Suporte do motor	Po3	4	M10	40		4	Freada
	Po4	4	M10	35		4	Freada
Pedaleira do acelerador	Po5	2	M8	30	10	2	Freada
	Po6	1	M6	15	70	1	Normal
	Po7	1	M6	30	20	1	Normal
	Po8	1	M6	10	20	1	Normal
Chumaceiras do eixo de transmissão	Po9	4	M10	34	26	4	Freada
Banco	Ho1	4	M8	30			

Tabela 17a - Inventário dos elementos de fixação do veículo.

Descrição	Referência interna	Parafuso				Porca	
		Qtd.	Tipo de rosca	Rosca [mm]	Haste [mm]	Qtd.	Tipo
Ponteiras da direção	D01	1	M6	30		1	Freada
	D02		M6			4	Normal
	D03	1	M6	10	20	1	Freada
	D04	1	M6	10	50	1	Freada
	D05	1	M6	10	10	1	Freada
Haste do volante	D06	1	M6	30		1	Freada
	D07		M6			2	Normal
Volante	D08	6	M5	20		6	Normal
	D09	1	M4	25		1	Normal
	D10	1	M4	30		1	Normal
	D11	1	M4	40		1	Normal
	D12	2	M5	10		6	
	D13	4	M3	10			
	D14	2	M4	20			
Chumaceiras do volante	D15	2	M8	25		2	Freada
	D16	2	M8	35		2	Freada
Suportes das chumaceiras	D17	8	M8	30		8	Freada

Tabela 17a - Inventário dos elementos de fixação do veículo.

Descrição	Referência interna	Parafuso				Porca	
		Qtd.	Tipo de rosca	Rosca [mm]	Haste [mm]	Qtd.	Tipo
Pinças de travão	To1	8	M6	20			
Discos de travão	To2	15	M8	8	6		
	To3	5	M8	10	6		
Pedaleira do travão	To4	3	M8	30	10	3	Freada
	To5	1	M6	15	30	1	Freada
	To6	1	M8	15	30	1	Freada
	To7	1	M10	20	100	1	Freada

Tabela 18a - Inventário relativo aos componentes que auxiliam rotações e movimentações no veículo.

Descrição	Referência interna	Qtd.	Marca	Referência externa	Fixação		
					Tipo de rosca	Comprimento [mm]	Tipo
Veio de transmissão	CH01	2	SKF	PFT62			
	CH02	2	SKF	SA 206	M5	6	
Eixo do volante	CH03	2	SKF	Italy P40			
	CH04	2	SKF	SB 201	M4	3	
Haste do volante	RT01	1	SKF	SAL 6 C	M6 direita	40	Macho
	RT02	1	SKF	SAL 6 C	M6 esquerda	40	Macho
Ponteiras da direção	RT03	2	SKF	SAL 6 C	M6 direita	40	Macho
	RT04	2	SKF	SAL 6 C	M6 esquerda	40	Macho

Tabela 18a - Inventário relativo aos componentes que auxiliam rotações e movimentações no veículo.

Descrição	Referência interna	Qtd.	Marca	Referência externa	Fixação		
					Tipo de rosca	Comprimento [mm]	Tipo
Rodas	Ro1	8	SKF	6804Z			
Roda livre	RL01	1	SKF	CSK 30 PP		17	Escatel



# Capítulo 6

## Considerações finais

### 6.1. Conclusões

O inventário do veículo atual proporcionou uma redução do tempo de preparação e uma facilidade de manutenção e no acesso aos componentes de fixação e rotação, bem como, a redução e organização do stock dos mesmos. Isto conseguiu-se através da aplicação de ferramentas Lean, como os cinco sentidos e o *SMED*.

Relativamente à massa do veículo, um dos elementos mais importantes no consumo de energia, conseguiu-se uma redução de 7170 grama, ou seja, uma redução de aproximadamente 4% do valor da massa total do veículo. Esta diminuição foi conseguida através da intervenção no fundo do veículo, com uma redução de 3700 grama e a alteração das pinças de travão, por umas com menos 70% da massa, conseguindo-se uma redução de aproximadamente 2% relativamente à massa total do veículo.

No que diz respeito às rodas do veículo, o desenvolvimento dos novos cubos de roda reduz significativamente o seu tempo de montagem e desmontagem, através da aplicação do *SMED* e na sua montagem o *poka-yoke na eliminação de erros na montagem*, conseguindo ainda um menor desgaste dos rolamentos e a não desafinação dos travões quando realizadas as operações mencionadas anteriormente, sendo que a sua manufatura realizada por CAD/CAM reduz em grande escala os erros provenientes da sua produção. De salientar que, o projeto da jante em fibra de carbono resulta numa redução da massa, em relação às atuais, e a possibilidade de incorporar pneus que podem ser encontrados com facilidade no mercado, que são compatíveis no veículo atual, como no veículo em desenvolvimento.

O desenvolvimento do novo veículo ter sido iniciado pela parte mecânica, traduz a minimização dos entraves na construção do mesmo, assim se consegue uma boa aplicação do Lean, através das ferramentas como os cinco sentidos e proporcionando o *kaizen*, visto que o desenvolvimento da carroçaria terá em atenção todas as componentes mecânicas, eliminando um dos problemas encontrados em anos anteriores. Em relação à direção deste novo veículo, adotou-se a geometria de alavanca simples que, além da facilidade na sua manufatura, a sua aproximação ao sistema ideal, de *Ackerman*, permite uma poupança de combustível e uma redução no desgaste dos pneus. O inventário do novo veículo, tal como o inventário do atual, faz com que exista uma redução de tempo

na procura dos componentes, através da aplicação do *SMED*, e ainda o auxílio na aquisição apenas dos elementos necessários, conseguindo-se assim uma redução de stock.

## **6.2. Propostas futuras**

A dissertação responde aos objetivos estipulados inicialmente, embora se tenha deixado em aberto a realização de vários trabalhos futuros. Estes podem passar pela manufatura da jante e dos cubos de roda, para otimização do veículo atual e que podem ser incluídas no novo veículo.

Para o veículo desenvolvido fica em aberto o desenvolvimento da carroçaria, bem como, de todos os seus componentes adjacentes, em especial atenção, a parede de separação do compartimento do motor e do habitáculo, tendo sempre em conta a minimização da massa. E ainda, os projetos de dimensionamento dos travões, da otimização da direção, da estruturação da parte elétrica e da linha de combustível e sua pressurização.

## Referências

Alagundagi, A. (2015) *STUDY OF LEAN TOOLS AND PRACTICES IN NEW ZEALAND'S PROCESS INDUSTRIES*. AUCKLAND UNIVERSITY OF TECHNOLOGY.

Alnunu, N., Said, S., Al-Sharman, S., Al-Ibrahimi, A., AbdulAziz, A., Al Hellabi, M., Touati, F., Ghani, S., Mahdi, E. & Benammar, M. (2012) 'Design of Qatar University's First Solar Car for Shell Eco-marathon Competition', in *First International Conference on Renewable Energies and Vehicular Technology*. Qatar: IEEE, pp. 49–54. doi: [10.1109/RENET.2012.6195247](https://doi.org/10.1109/RENET.2012.6195247).

Alvarez, R. & Antunes Jr., J. (2001) 'Takt-time: conceitos e contextualização dentro do Sistema Toyota de Produção', *Gestão & Produção*, 8(1), pp. 1–18. doi: [10.1590/S0104-530X2001000100002](https://doi.org/10.1590/S0104-530X2001000100002).

Alves, E. (2008) *UBI volta a estar na Eco Marathon, Urbi et Orbi, nº435*. Available at: <http://www.urbi.ubi.pt/arquivo/2008/435-2008-05-27/4351/> (Accessed: 22 April 2020).

Alves, E. (2012) *UBI vence prova internacional de automóveis, Urbi et Orbi*. Available at: [http://www.urbi.ubi.pt/pag/10272?fbclid=IwAR1kLBYQdKfF7w-E8FLEJdDvmBElrQ-d\\_J655a2gykJZk53nBj1HfAQPgv4](http://www.urbi.ubi.pt/pag/10272?fbclid=IwAR1kLBYQdKfF7w-E8FLEJdDvmBElrQ-d_J655a2gykJZk53nBj1HfAQPgv4) (Accessed: 22 April 2020).

Augusto, R. (2013) *Shell Eco-Marathon Europe 2013, Autoblog*. Available at: <http://www.autoblog.pt/shell-eco-marathon-europe-2013/> (Accessed: 22 April 2020).

Bhattacharjee, A. (2012) *Social Science Research: Principles, Methods, and Practices*. Second, *Textbooks Collection*. 3. Second. Tampa, Florida, USA: Creative Commons. doi: [10.1186/1478-4505-9-2](https://doi.org/10.1186/1478-4505-9-2).

Bicheno, J. & Holweg, M. (2016) *THE LEAN TOOLBOX: a handbook for lean transformation*. Fifth. BUCKINGHAM, ENGLAND: PRODUCTION AND INVENTORY CONTROL, SYSTEMS AND INDUSTRIAL ENGINEERING BOOKS.

Borges, C., Furtado, G. & Oliveira, J. (2015) 'Metodologias de investigação comuns nas ciências sociais: Possíveis contributos para o conhecimento de sujeitos em planeamento arquitetónico e urbanístico', *A OBRA NASCE*, November, pp. 9–26.

Botelho, J. & Cruz, V. (2013) *Metodologia científica*. Edited by C. de Ideias. São Paulo, Brasil: Pearson Education do Brasil.

Brioso, X., Murguia, D. & Urbina, A. (2017) 'Teaching Takt-Time, Flowline, and Point-to-point Precedence Relations: A Peruvian Case Study', *Procedia Engineering*, 196(June), pp. 666–673. doi: [10.1016/j.proeng.2017.08.056](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.056).

Carlsen, B. & Oma, O. (2017) *Development, Building and Competing with a New Car in Shell Eco-marathon*. Norwegian University of Science and Technology.

Chen, L. & Meng, B. (2010) 'The Application of Value Stream Mapping Based Lean Production System', *International Journal of Business and Management*, 5(6), pp. 203–209. doi: [10.5539/ijbm.v5n6p203](https://doi.org/10.5539/ijbm.v5n6p203).

Eco-marathon, S. (2014) *Shell Eco-marathon Europe 2014 - Final results: UrbanConcept Petrol (Gasoline), Shell Global*. Available at: [https://www.shell.com/make-the-future/shell-ecomarathon/europe/results-and-awards/jcr\\_content/par/expandablelist\\_2034943364/expandablesection\\_160131236\\_1.stream/1519771932223/b5b2a1b40c65b5d451f445b84c91309167018672/sem-europe-2014-results-urbanconcept-ga](https://www.shell.com/make-the-future/shell-ecomarathon/europe/results-and-awards/jcr_content/par/expandablelist_2034943364/expandablesection_160131236_1.stream/1519771932223/b5b2a1b40c65b5d451f445b84c91309167018672/sem-europe-2014-results-urbanconcept-ga) (Accessed: 22 April 2020).

Eco-marathon, S. (2015) *Shell Eco-marathon Europe 2015 - Final results: UrbanConcept Gasoline, Shell Global*. Available at: [https://www.shell.com/make-the-future/shell-ecomarathon/europe/results-and-awards/jcr\\_content/par/expandablelist\\_415369379/expandablesection\\_1291934492.stream/1519771932341/102619e2c9e4609bcd83e775f753f6191176ab49/sem-europe-2015-results-urbanconcept-gas](https://www.shell.com/make-the-future/shell-ecomarathon/europe/results-and-awards/jcr_content/par/expandablelist_415369379/expandablesection_1291934492.stream/1519771932341/102619e2c9e4609bcd83e775f753f6191176ab49/sem-europe-2015-results-urbanconcept-gas) (Accessed: 22 April 2020).

Eco-marathon, S. (2016) *Shell Eco-marathon Europe 2016 - Final results: UrbanConcept Gasoline, Shell Global*. Available at: [https://www.shell.com/make-the-future/shell-ecomarathon/europe/results-and-awards/jcr\\_content/par/expandablelist\\_1652295193/expandablesection\\_800139025.stream/1468290435330/96bfb325572e5d97ab990cae7a253851a1c6c8d2/sem-europe-2016-urbanconcept-results-gas](https://www.shell.com/make-the-future/shell-ecomarathon/europe/results-and-awards/jcr_content/par/expandablelist_1652295193/expandablesection_800139025.stream/1468290435330/96bfb325572e5d97ab990cae7a253851a1c6c8d2/sem-europe-2016-urbanconcept-results-gas) (Accessed: 22 April 2020).

Eco-marathon, S. (2019a) 'Shell Eco-marathon 2020 Official Rules - Chapter I'. Shell Eco-marathon Global.

Eco-marathon, S. (2019b) *Shell Eco-marathon Europe 2019 - Final results: UrbanConcept Internal Combustion Engine, Shell Global*. Available at: [https://www.shell.com/make-the-future/shell-ecomarathon/europe/results-and-awards/jcr\\_content/par/expandablelist\\_781025105/expandablesection.stream/1563371146786/25187c333a0477b1c705d735df2a98dff161f5e6/europe-2019-urban-concept-internal-combustion-engine](https://www.shell.com/make-the-future/shell-ecomarathon/europe/results-and-awards/jcr_content/par/expandablelist_781025105/expandablesection.stream/1563371146786/25187c333a0477b1c705d735df2a98dff161f5e6/europe-2019-urban-concept-internal-combustion-engine) (Accessed: 22 April 2020).

Eco-marathon, S. (2019c) 'Shell Eco-marathon Europe 2019 Official Rules - Chapter II'. Shell Eco-marathon Global. Available at: <http://www.shell.com/global/environment-society/ecomarathon.html>.

Eco-marathon, S. (2019d) 'Shell Eco-marathon Europe 2019 Participant Handbook'. Shell Eco-marathon Global. Available at: <https://anderson.leadershipacademy.nhs.uk/course/view.php?id=39>.

Eco-marathon, S. (2020a) 'Shell Eco-marathon 2020 - Track Map 2020'. Shell Eco-marathon Global.

Eco-marathon, S. (2020b) 'World Championship Series 2020 Official Rules - Chapter III'. Shell Eco-marathon Global.

Fritze, C. (2016) 'The Toyota Production System: The key elements and the role of kaizen within the system'.

Gil, A. (2008) *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social*. Sexta. Edited by Atlas. São Paulo.

Global, S. (2020a) *Challenger events*. Available at: <https://www.shell.com/make-the-future/shell-ecomarathon/challenger-events.html> (Accessed: 20 April 2020).

Global, S. (2020b) *Important updates on the Shell Eco-marathon 2020 Programme*. Available at: <https://www.shell.com/make-the-future/shell-ecomarathon/for-participants/2020-programme-update.html#vanity-aHRocHM6Ly93d3cuc2h1bGwuY29tL1NFtTiwMjBVcGRhdGUuaHRtbA> (Accessed: 20 April 2020).

Global, S. (2020c) *Shell Eco-marathon*. Available at: <https://www.shell.com/make-the-future/shell-ecomarathon.html> (Accessed: 19 April 2020).

Grunditz, E. & Jansson, E. (2009) *Modelling and Simulation of a Hybrid Electric*

*Vehicle for Shell Eco-marathon and an Electric Go-kart*. CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY.

Haefner, B., Kraemer, A., Stauss, T. & Lanza, G. (2014) 'Quality value stream mapping', *Procedia CIRP*. Elsevier B.V., 17, pp. 254–259. doi: [10.1016/j.procir.2014.01.093](https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.01.093).

Håkansson, M., Dellve, L., Waldenström, M. & Holden, R. (2017) 'Sustained lean transformation of working conditions: A Swedish longitudinal case study', *Human Factors and Ergonomics In Manufacturing*, 27, pp. 268–279. doi: [10.1002/hfm.20710](https://doi.org/10.1002/hfm.20710).

Holweg, M. (2007) 'The genealogy of lean production', *Journal of Operations Management*, 25, pp. 420–437. doi: [10.1016/j.jom.2006.04.001](https://doi.org/10.1016/j.jom.2006.04.001).

Iliev, S., Gunev, D. & Dobrev, V. (2016) 'Improving engineering education through the design and manufacture of electric car for Shell Eco-marathon competition'. Bulgaria: European Science publishing Ltd.

International Organization for Standardization (2013) 'ISO 4000-2:2015 Passenger car tyres and rims - Rims'.

Leksic, I., Stefanic, N. & Veza, I. (2020) 'The impact of using different lean manufacturing tools on waste reduction', *Advances in Production Engineering & Management*, 15(1), pp. 81–92. doi: [10.14743/apem2020.1.351](https://doi.org/10.14743/apem2020.1.351).

Martínez, D. (2012) *Design of a Permanent-Magnet Synchronous Machine with Non-Overlapping Concentrated Windings for the Shell Eco Marathon Urban Prototype*. Royal Institute of Technology.

Noble, J. (2019) *Mercedes: China double-stack was Wolff's idea, Formula 1, Breaking News*. Available at: <https://www.motorsport.com/f1/news/double-pitstop-china-mercedes-wolff/4372481/> (Accessed: 9 June 2020).

Ohno, T. (1988) *TOYOTA PRODUCTION SYSTEM - Beyond Large-Scale Production*. Portland, Oregon: Productivity Press.

Oliveira, A. (2015) *Estudo e implementação do mecanismo de direção mais eficiente no protótipo UBICAR*. Universidade da Beira Interior.

Pereira, A., Shitsuka, D., Parreira, F. & Shitsuka, R. (2018) *Metodologia da Pesquisa*

*Científica*. 1ª Edição. Santa Maria: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA.

Pereira, C. A. dos S. (2010) *Lean Manufacturing - Aplicação do conceito a células de trabalho*. Universidade da Beira Interior.

Pinto, J. (2016) *Ciclos de melhoria, CLT Services*. Available at: <https://www.cltservices.net/artigos-e-noticias/ciclos-de-melhoria> (Accessed: 19 June 2020).

Red Bull, E. (2019) *Red Bull Racing faz o pit stop mais rápido da Fórmula 1*. Available at: <https://www.redbull.com/br-pt/motor-recorde-pit-stop-formula-one-red-bull-racing> (Accessed: 9 June 2020).

Santos, B. (2017) *Interação entre Filosofia Lean e Indústria 4.0 - Estudo Exploratório*. Universidade da Beira Interior.

Sharma, S., Mudgal, P., Jha, A., Kumar, A. & Singh, G. (2018) 'Study of Lean Manufacturing for Manufacturing of Auto Components'.

Silveira, C. (2020) *Muda, Mura e Muri: O modelo 3M do sistema Toyota de Produção*. Available at: <https://www.citisystems.com.br/muda-mura-muri/> (Accessed: 27 May 2020).

Von Solms, S. & Nel, H. (2017) 'Reflective Learning in Engineering Education: A Case Study of Shell Eco- Marathon', *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, pp. 274–278. doi: [10.1109/IEEM.2017.8289895](https://doi.org/10.1109/IEEM.2017.8289895).

Sternal, K., Cholewa, A., Skarka, W. & Targosz, M. (2012) 'Electric Vehicle for the Students' Shell Eco-Marathon Competition . Design of the Car and Telemetry'. Polónia.

Tonic, N., Arsovski, S., Djapan, M. & Macuzic, I. (2014) 'Manufacture effectiveness improving using Lean and 5S Method', in *8th International Quality Conference*. Serbia: University of Kragujevac.

Treurnicht, N., Blanckenberg, M. & van Niekerk, H. (2011) 'USING POKA-YOKE METHODS TO IMPROVE EMPLOYMENT POTENTIAL OF INTELLECTUALLY DISABLED WORKERS', *South African Journal of Industrial Engineering*, 22(1)(May 2011), pp. 213–224.

TVI (2011) *Reportagem TVI - Shell Eco Marathon, Ubicar Team*. Available at: <https://www.facebook.com/watch/?t=89&v=2160518692768> (Accessed: 22 April 2020).

UBICAR, P. (2010) *Alunos da Pré e 1º ciclo da Escola do Refúgio estão a pintar o UBIAN10*. Available at: [http://www.neubi.pt/ubicar/page/4/?fbclid=IwAR1F\\_vV4UnzY\\_kxRLK1AGhOqFV8171ogNt6Id4dXVJBo8MtQyjO4LBFCdig](http://www.neubi.pt/ubicar/page/4/?fbclid=IwAR1F_vV4UnzY_kxRLK1AGhOqFV8171ogNt6Id4dXVJBo8MtQyjO4LBFCdig) (Accessed: 22 April 2020).

UBICAR, P. (2011) *Introduction*. Available at: [http://www.neubi.pt/ubicar/page/2/?fbclid=IwAR1F\\_vV4UnzY\\_kxRLK1AGhOqFV8171ogNt6Id4dXVJBo8MtQyjO4LBFCdig](http://www.neubi.pt/ubicar/page/2/?fbclid=IwAR1F_vV4UnzY_kxRLK1AGhOqFV8171ogNt6Id4dXVJBo8MtQyjO4LBFCdig) (Accessed: 22 April 2020).

UBICAR, P. (no date) *Reportório Fotográfico*.

VEMS, P. (1999) *Programa de Trabalho / Dossier de Apresentação*. Covilhã.

Weigel, A. (2000) *A book review: Lean Thinking by Womack and Jones, Review Literature And Arts Of The Americas*. Institute of Tecnology Massachusetts.

Welo, T., Tonning, O. & Rølvåg, T. (2013) 'Lean Systems Engineering (LSE): Hands-on Experiences in Applying LSE to a Student Eco-car Build Project', in Paredis, C. J. J., Bishop, C., and Bodner, D. (eds) *Conference on Systems Engineering Research*. Atlanta: Georgia Institute of Technology, pp. 19–22.

Womack, J. & Jones, D. (2008) 'Lean Thinking - Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation', *Notes on Continuous Process Improvement*.

# Anexos

## Anexo 1. Pontos de avaliação na inspeção técnica (ECOMARATHON,2019e).

### SHELL ECO-MARATHON 2019 TECHNICAL INSPECTION CHECKLIST

<b>UrbanConcept</b>	Race Number	Paddock No
---------------------	-------------	------------



Article		1/2	1/2	1/2
		YES	NO	OK
<b>Station 0</b>	<b>Inspection Queue Entry</b>			
58 c	Bound/Printed documentation			
	Telemetry equipment installed			
	<b>IF Lithium battery</b>			
24 h	Charging protection (fire blanket, Lipo bag)			
57 d iii	Charger			
<b>Station 1</b>	<b>Driver's Control</b>			
20 a	<b>Driver weight (&gt; 70 kg)</b>			
	<b>IF Ballast required</b>			
20 c	Ballast based on lightest driver			
20 b	Ballast of suitable type, sealed			
21 a	Appropriate motorsports helmet (s)			
21 a	Helmet label readable			
21 a	Helmet has no cracks/indentations			
21 b	Visor is clear and has no cracks			
22 a, c	Racing suit (s) / Gloves			
22 a	Single piece fire retardant racing suit			
22 b, d	Shoes & Cotton/FRC socks			
<b>Station 2</b>	<b>Vehicle weight</b>			
39 g	Vehicle weight < 225 kg			
4 a-g	SHELL logo front / both sides			
4 a-g	Race number front / both sides			
4 a-g	Partner sticker both sides			
4 a-g	Other stickers < 400 cm²			
<b>Station 3</b>	<b>Vehicle dimensions</b>			
45 a	Height 1000 - 1300 mm			
45 b	Width 1200 - 1300 mm			
45 c	Length 2200 - 3500 mm			
45 d	Track width > 1000 mm (front)			
45 d	Track width > 800 mm (rear)			
45 e	Wheelbase > 1200 mm			
45 g	Ground clearance > 100 mm			
45 f	Drivers compartment > 880 mm			
45 f	Width at drivers shoulder > 700 mm			
46 d	Two Doors - Min 500 x 800 mm			
<b>Station 4</b>	<b>Seat Belts &amp; Roll bar</b>			
29 a-b	Safety Belts ≥ 5 mounting points			
29 c-d	Safety Belts - chassis foing			
29 b	Crotch strap under body			
29 b	Top strap at 10° angle			
29 b	Length adjustor high enough for adjustment			
29 b	Safety belt has a tight fit (no slack)			
29 d	Safety belt strength verified			

Article		1/2	1/2	1/2
		YES	NO	OK
<b>Station 4</b>	<b>Seat Belts &amp; Roll bar</b>			
26 a	Quality of body driver collision protection			
26 d	Rollbar resist 70 kg all directions			
26 b	Roll bar 50 mm > driver's head			
26 c	Roll bar width > shoulders			
<b>Station 5</b>	<b>Visibility</b>			
28 a	Front visibility 180°			
28 b	Rear visibility + Mirrors > 25 cm²			
52	Windscreen & wiper			
31 a	Electrical automotive horn			
31 a-d	Horn sound level > 85 dBa @ 4 m			
31 d	Horn uses accessory/ propulsion battery			
<b>Station 6</b>	<b>Exit</b>			
30 a-d	Driver exit < 10 seconds			
<b>Station 7</b>	<b>Brakes</b>			
43 d	Ergonomy (both hands on steering mech.)			
43 e, 51 d	Effectiveness Ramp Test			
51 a	4 disc hydraulic brake			
51 b	X design or front / rear			
51 a	Brake pedal 50 x 50 mm			
51 e	Parking brake (50 N)			
51 a	Disc thickness > 3 mm			
51 c	One dual master cylinder or 2 master cyls			
51 a	Comm brake sys (manuf's docs). Not bicycle			
<b>Station 8</b>	<b>Mechanical Vehicle Design</b>			
25 k	Fully closed body			
26 a	Quality of body driver protection			
25 a ii	Front Crumple Zone ≥ 100 mm			
25 j	Solid floor & frame			
25 c, 46 i	No external appendages or sharp edges			
25 b	Body panels do not change shape in wind			
46 b	Wheel covers integral with body			
30 c	Internal ext l opening mech effective/intuitive			
30 c	Method of opening marked with red arrow			
46 d	<b>2 side doors (500 x 800 mm)</b>			
46 e	Door solidly attached			
27 a-d	Bulkhead rigid & fire resistant			
25 g, 27 b	Bulkhead isolates energy/driver compartment			
34 g	Chain/belt guard			
25 a i, 25 a iii	Running wheels (Pr:3/4, UC:4)			
42 b, 47 d	No contact between tire and chassis or body			
48 a	Rims 15 to 17 inch			
49	Tire width 80 - 110 mm			
49	Min tread 1.6 mm			
47 b	Steering wheel diameter > 250 mm			

Article		1/2	1/2	1/2
		YES	NO	OK
<b>Station 8</b>	<b>Mechanical Vehicle Design</b>			
46 h	Luggage compartment (and luggage)			
46 j	<b>Towing hook or ring, &gt; 30 mm</b>			
50 b	2 front turn indicators			
50 a	2 front headlights			
50 c	2 rear turn indicators			
50 d	2 red rear brake light			
50 e	2 red rear lights			
50 f	Headlights ≥ 300 mm from center-line			
50 h	Hazard Lights			
	<b>IF ICE</b>			
35 a,b	Exhaust system evacuates outside			
35 c,d	Exh. solid/no fatigue/leak, OK for high temp			
59	4 stroke engine			
34	Clutch effective			
34 e	Interlock for manual clutch			
62 c	Nothing in the fuel line (no filters, etc)			
62 e	Fuel injection only			
60 a	No electrical fuel pump			
60 d	If liquid cooling system, pure water			
60 c	No auxiliary energy sources			
60 a	Pneumatic energy for fuel injection only			
62 f	Air intake free of obstruction/ foreign objects			
62 f	No blow-by gas recycling			
<b>Station 9</b>	<b>Electrical Vehicle Design</b>			
	<b>Electrical System</b>			
58 c	Correct vehicle electrical schematic			
57 k	<b>Good wiring, neat, labelled, traceable, protected</b>			
57 k	Electrical wiring connections visible/no splices			
57 e	Elec system has proper fuse protection			
57 j	Electrical enclosures - transparent			
	<b>Battery</b>			
57 b	Only one Battery			
57 a	Max 48 V nominal (60 V Peak)			
57 c	Batt mount firm, behind b/head, not under seat			
57 e	Main fuse < 300 mm from +ve terminal			
57 d	<b>IF Lithium battery</b>			
57 d iii	Charger built for battery			
24 h	Charging protection (fire blanket, Lipo bag)			
57 d vi	Solid metal containment tray OR Lipo bag			
57 d iv	Capacity < 1000 Wh			

## SHELL ECO-MARATHON 2019 TECHNICAL INSPECTION CHECKLIST

Article	1/2		
	YES	NO	OK
<b>Station 9</b>	<b>Electrical Vehicle Design</b>		
57 h	<b>Accessory Battery (Non-BE only)</b>		
57 h i, iii	Acceptable electrically powered devices		
56	<b>Joulemeter</b>		
56 a	Installation in engine compartment		
56 c ii	Read/reset from outside		
56 d i,ii,iv	Correct circuit location (after battery)		
63	<b>If Hybrid / H2 with energy store</b>		
57 j	Supercapacitor (SC) for energy storage		
57 e	Fuse on +ve of SC, <300 mm, size OK		
57 a	Super Cap voltage > system V		
63 c	External connectors		
57 f	Electrical Isolation from body/frame		
	<b>If Hydrogen</b>		
65 l ii	Fuse on +ve of FC, <300 mm, size < surf area		
65 i i	Accessory circuit isolated from propulsion		
<b>Station 10</b>	<b>Energy Verification ICE</b>		
61 a	1 Shell fuel tank 30/100/250/350 cc		
60 b i	Safety valve location (between reg and tank)		
60 b i	Safety valve tested at 5 bars <b>Max</b>		
61 g	Translucent hoses		
61 c	Fuel tank vertical position		
61 c	Fuel tank easy to refill (with burette)		
SEM internal *	Fuel volume calculation		
64 a	Electric Starter Only for ICE		
64 c	Starter Red light is visible		
64 c	Starter Red light works properly		
64 a-b	Starter cannot propel vehicle		
34	Engine idle without vehicle moving		
37	<b>Emergency Shutdown</b>		
37 a-c	Efficiency of emergency shutdown		
37f	Internal/External Estop Switch		
37 g	Latching push button (no push/pull levers)		
37 h	Dead man's switch		
37 f (iii)	Blue triangle sticker		

UrbanConcept		Race Number	Paddock No
<b>Station 11</b>	<b>Energy Verification H2</b>		
58 c, 65 a	Doc'n (schematic, H2 flow, fuel cell)		
65 a	Correct system design		
65 f, i, ii, iii	Pipe H2 suitable, S.Steel (1.5b), PTFE (<1.5b)		
65 f, iv	Connectors H2 OK (comp type, no teflon)		
65 c	2 ventilation holes 5 cm <sup>2</sup>		
65 d	Hydrogen sensor at highest point		
65 e	Normally closed solenoid valve		
65 b v, vi	Hydrogen cylinder firmly installed		
65 f, v	<b>Pressure relief valve that vents outside vehicle</b>		
65 a	Flowmeter installed and functioning		
83	Telemetry H2 flowmeter installed		
65 g	Purge pipe vents outside or not used		
37	<b>Emergency Shutdown</b>		
37 f	Internal/External Estop Switch		
37 g	Latching push button (no push/pull levers)		
37 a-c	Efficiency of Estop (3 methods, valve/MC)		
37 h	Dead man's switch		
37 f (iii)	Blue triangle sticker		

		1/2		
		YES	NO	OK
<b>Station 12</b>	<b>Energy Verification BEV</b>			
58 c	Doc' n (schematic, Batt/BMS, m.controller)			
57 d	<b>Li-Ion Battery System</b>			
57 b	Only two terminals			
57 f	Batt + and - isolated from frame and body			
57 d ii	Self-built batt - cell level current protection			
57 d i	In-vehicle Battery Management System			
67 a	<b>Motor/Controller System</b>			
67 a	Purpose built motor controller			
37	<b>Emergency Shutdown</b>			
37 f	Internal/External Estop Switch			
37 g	Latching push button (no push/pull levers)			
37 d	Physical Estop			
37 a-c	Efficiency of emergency shutdown			
37 h	Dead man's switch			
37 f (iii)	Blue triangle sticker			
56	<b>Joulemeter</b>			
56 d i-ii	Position in circuit (Pr:B4 MC, UC:B4 elec sys)			
<b>ALL UC VEHICLES</b>				
<b>Station 13</b>	<b>Telemetry</b>			
81 a	Battery mounted correctly and isolated			
82	OBC field of view 90° on all sides			
	<b>For ICE</b>			
84	Flowmeter mounted in the vertical position			
84	Securely mounted inside vehicle			
84	Mounted below fuel injector and fuel tank			
84	Fuel lines are safely routed			
84	Fuel line from tank routed to LFM fuel inlet			
84	Fuel filter installed on LFM inlet			
84	No loops are present in fuel lines			
SEM internal *	Air removal* completed and validated			
SEM internal *	No bubbles present in fuel line			
SEM internal *	No leaks in fuel line			
SEM internal *	<b>Sys Functional Check</b>			
SEM internal *	LEDs after 1 min = Green Off Blue Yellow			
SEM internal *	LEDs remain ON when engine runs > 1m			
SEM internal *	Verify status ALL green on check.php			
SEM internal *	Verify energy set point shutdown (DWC)			

