



Análise do mercado de veículos elétricos e propostas para o melhorar

JOSÉ CARLOS FERREIRA SANTOS

novembro de 2019

ANÁLISE DO MERCADO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS: CASO PORTUGUÊS

José Carlos Ferreira Santos
1140844

2019

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

ANÁLISE DO MERCADO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS: CASO PORTUGUÊS

José Carlos Ferreira Santos
1140844

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação da Doutora Carla Pinto e coorientação do Doutor Jorge Mendonça.

2019

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica

POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

JÚRI

Presidente

Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Doutora Carla Manuela Alves Pinto
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Coorientador

Doutor Jorge Manuel Pires Mendonça
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Arguente

Doutor António Mendes Lopes
Professor Auxiliar com Agregação, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

AGRADECIMENTOS

Um agradecimento especial à minha família, em particular às minhas irmãs, pelo apoio, motivação e, acima de tudo, por estarem sempre presentes.

À minha orientadora, doutora Carla Pinto, pela orientação e por toda a ajuda na elaboração da dissertação.

Ao meu coorientador, doutor Jorge Mendonça, por todo o apoio prestado.

Por fim, a todos aqueles que me acompanharam nesta etapa da minha vida.

Obrigado!

PALAVRAS CHAVE

Veículos elétricos; Mercado automóvel; Melhoria tecnológica; Inovações; Autonomia da bateria

RESUMO

O primeiro veículo elétrico (VE) foi construído há quase 200 anos, em 1834. Todavia, só em 2010 a sua utilização passou a ser significativa, devido às crescentes preocupações ambientais. Os governos de vários países propuseram medidas para reduzir a emissão dos gases de efeito de estufa (nomeadamente, o CO₂). Entre estas medidas, estão os apoios governamentais para a utilização de VE. No entanto, estes veículos continuam afastados das primeiras escolhas dos consumidores, devido às desvantagens que lhes estão associadas. Entre estas contam-se o tempo de carregamento das baterias, os diversos tipos de baterias, entre outros.

Neste trabalho analisou-se o mercado automóvel atual em Portugal, na Europa e no Mundo, focando essencialmente os VE. O estudo do mercado automóvel permitiu concluir que a compra/venda de VE está a aumentar exponencialmente a nível global. Fez-se uma análise comparativa destes veículos com os veículos a combustível fóssil (VMCI), híbridos (HEV) e de célula de combustível (FCV) em termos de: preço, autonomia, emissões de gases de estufa, etc. Este estudo comparativo mostra que os VE juntamente com os FCV emitem zero gases de estufa, no entanto, a aquisição de um VE é muito mais económica que a de um FCV. A grande desvantagem dos VE é a baixa autonomia da bateria.

No final apresenta-se uma análise SWOT - *Strengths* (Forças) - *Weaknesses* (Fraquezas) - *Opportunities* (Oportunidades) - *Threats* (Ameaças) para a viabilidade da implementação de novas infraestruturas para o reabastecimento de veículos elétricos, nomeadamente, um sistema de troca de baterias elétricas, no mercado português. Esta análise permitiu concluir que, apesar do elevado investimento inicial, a implementação de um sistema de troca de baterias é economicamente viável. Todavia, só é possível com a cooperação dos fabricantes de VE, para assegurar a compatibilidade de baterias entre modelos, e com o apoio financeiro do governo. O ambiente agradece.

KEYWORDS

Electric vehicles; Automobile market; Technological improvement; Innovations; Battery capacity

ABSTRACT

The first electric vehicle (EV) was built almost 200 years ago, in 1834. However, the use of EVs only became significant from 2010, due essentially to the increasing environmental concerns. Governments of several countries have proposed measures to reduce greenhouse gas emissions (particularly CO₂). These include the governmental support for the use of EVs. However, these vehicles remain far from the first choice of consumers, because of their associated disadvantages. These include the long charging times of batteries, the several types of existing batteries, among others.

This work analyses the current automotive market in Portugal, Europe and the world, focusing mainly on EVs. The automotive market study shows that the purchases/sales of EVs is increasing exponentially all around the world. Then, these vehicles were compared with fossil fuel, hybrid (HEV) and fuel cell (FCV) vehicles in terms of: price, autonomy, greenhouse gas emissions, etc.. This comparative study shows that EVs together with FCVs have zero emission of greenhouse gases, however the purchase of an EV is much cheaper than a FCV. The major disadvantage of EVs is the low battery capacity.

At the end is presented a SWOT analysis - Strengths - Weaknesses - Opportunities - Threats for the feasibility of implementing new infrastructures for the refill of electric vehicles, namely battery-swapping network in the Portuguese market. This analysis shows that despite the high initial investment, the implementation of a battery-swapping system is feasible. However, this is only possible with the cooperation of the EVs manufacturers (to insure the compatibility of batteries between models) and with the financial support of the government. The environment thanks.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

A1	Autoestrada Portuguesa nº 1
BMW	<i>Bayerische Motoren Werke</i> – Fábrica de Motores da Baviera
EUA	Estados Unidos da América
EVI	<i>Electrical vehicle initiative</i> – Iniciativa de veículos elétricos
FCA	<i>Fiat Chrysler Automobiles</i> – Grupo Fiat
FCV	<i>Fuel Cell Vehicle</i> – Veículo de Célula de Combustível
GM	<i>General Motors</i>
GPL	Gás de Petróleo Liquefeito
GPS	<i>Global Positioning System</i> – Sistema de Posicionamento Global
HEV	<i>Hybrid Electric Vehicle</i> – Veículo Híbrido Elétrico
IEA	<i>International Energy Agency</i> – Agência Internacional de Energia
IVA	Imposto sobre o Valor Acrescentado
LFP	Lítio e Fosfato de Ferro
NCA	Bateria de Níquel, Cobalto e Alumínio
NiMH	Níquel-metal hidreto
NMC	Níquel, Manganês e Cobalto
PCR	Postos de Carregamento Rápido
PbA	Chumbo-ácido
SWOT	<i>Strengths, Weaknesses, Opportunities e Threats</i> – Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças
VE	Veículo Elétrico
VMCI	Veículo com Motor de Combustão Interna
VW	<i>Volkswagen</i> (marca de automóveis)

Lista de Unidades

cm ³	Centímetros cúbicos
cv	Cavalos a Vapor
g/km	Gramas por quilómetros
kg	Quilogramas
km	Quilómetros
km/h	Quilómetros por hora
kWh	Quilowatt hora
GWh	Gigawatt hora
l	Litros
m/s	Metros por segundo
s	Segundos

Lista de Símbolos

€	Euros
%	Percentagem
CO ₂	Dióxido de carbono

GLOSSÁRIO DE TERMOS

Autonomia	Distância que um veículo automóvel pode percorrer sem necessidade de se reabastecer.
Bateria	Dispositivo que converte energia química armazenada em eletricidade.
Bateria de iões de lítio	Tipo de bateria recarregável atualmente muito utilizada na indústria automóvel.
Carga ou Recarga	Função de carregar ou recarregar a bateria de um veículo elétrico.
Condução autónoma	Conceito que define um veículo automóvel cuja tecnologia permite dotá-lo de algum tipo de autonomia em relação ao condutor, em maior ou menor grau de complexidade, desde a capacidade de ativar automaticamente uma determinada funcionalidade até poder circular sem qualquer intervenção humana.
Emissões	Os motores a gasolina/gasóleo são uma importante fonte de poluição atmosférica, libertando parcelas de óxidos de azoto, monóxido de carbono, hidretos queimados ou parcialmente queimados (provenientes da combustão incompleta) e outras partículas como chumbo, orgânicas e óxidos de enxofre. Nos últimos anos as preocupações ambientais dos construtores têm levado a uma redução significativa deste tipo de emissões.
Híbrido	Designa um veículo automóvel que utiliza dois tipos distintos de propulsão, geralmente um motor de combustão interna associado a um motor elétrico.
<i>Leasing</i>	É um meio de financiamento concedido a empresas ou a particulares, mediante a celebração de um contrato de locação financeira.
MOVI-E	Entidade que faz a gestão dos postos de carregamento públicos em Portugal.
<i>Powerbank</i>	Dispositivo com uma bateria que permite a extensão de carga da bateria ao qual é interligado.
Zero emissões	Um veículo zero emissões é um veículo que não emite qualquer tipo de gases poluentes.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – PAÍSES ADERENTES AO EVI [5].	4
FIGURA 2 - ESTRUTURA DO RELATÓRIO.	5
FIGURA 3 – ESQUEMA DO MOTOR A VAPOR (ADAPTADO DE [9]).	9
FIGURA 4 - ESQUEMA DO MOTOR ELÉTRICO (ADAPTADO DE [11]).	10
FIGURA 5 - ESQUEMA DO MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA [12].	11
FIGURA 6 – FORD MODEL T [15].	12
FIGURA 7 – VEÍCULO MOVIDO A GÁS NÃO COMPRIMIDO [16].	13
FIGURA 8 – ESQUEMA DO MOTOR DE CÉLULA DE COMBUSTÍVEL.	14
FIGURA 9 – ESQUEMA DO MOTOR HÍBRIDO SÉRIE.	15
FIGURA 10 – ESQUEMA DO MOTOR HÍBRIDO PARALELO.	15
FIGURA 11 – ESQUEMA DO MOTOR HÍBRIDO MISTO.	16
FIGURA 12 – VEÍCULOS RODOVIÁRIOS MOTORIZADOS POR MIL HABITANTES (—) [26] E PERCENTAGEM DE VMCI NOS ÚLTIMOS ANOS (—) [27].	19
FIGURA 13 – TOP 5 DE VE MAIS VENDIDOS EM PORTUGAL NO 1º TRIMESTRE DE 2019 [28].	20
FIGURA 14 – TOP 5 DE VE MAIS VENDIDOS NA EUROPA ENTRE JANEIRO E MAIO DE 2019 [29].	21
FIGURA 15 – PERCENTAGEM DE VE E HEV EM RELAÇÃO AOS RESTANTES NA EUROPA EM 2018 [30].	21
FIGURA 16 - TOP VENDAS VE (NÚMERO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS VENDIDOS ATÉ FINAIS DE DEZEMBRO). POSICIONAMENTO DOS VE NO MERCADO AUTOMÓVEL (EM PERCENTAGEM) [37], [38].	23
FIGURA 17 - INCENTIVOS FINANCEIROS EXISTENTES A NÍVEL MUNDIAL NA IMPLEMENTAÇÃO DOS VES [59].	33
FIGURA 18 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS DIFERENTES NÍVEIS DE CARREGAMENTO.	35
FIGURA 19 - RENAULT ZOE ADAPTADO PELA POWERSWAP [69].	39
FIGURA 21 – MÉDIA DE TRÁFEGO MENSAL NOS TROÇOS QUE CONTÊM ESTAÇÕES DE SERVIÇO NA AUTOESTRADA A1 [80].	41
FIGURA 20 – MAPA DE PORTUGAL [90].	41
FIGURA 22 – EVOLUÇÃO DO PARQUE DE VEÍCULOS ELÉTRICOS EM PORTUGAL [65].	43
FIGURA 23 - ANÁLISE SWOT SOBRE A IMPLEMENTAÇÃO DE UMA REDE DE TROCA DE BATERIAS.	47

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - INCENTIVOS EXISTENTES NA NORUEGA, PAÍSES BAIXOS, ISLÂNDIA, PORTUGAL E POLÓNIA [34]–[38].	22
TABELA 2 – COMPARAÇÃO DE 4 TIPOS DE VEÍCULOS (ADAPTADO DE [41]).	25
TABELA 3 – MODELOS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS MAIS VENDIDOS NA EUROPA [50]–[53].	27
TABELA 4 – OBJETIVOS DOS VÁRIOS PAÍSES PARA A IMPLEMENTAÇÃO DOS VE [59].	32
TABELA 5 – CARACTERÍSTICAS DOS DIVERSOS TIPOS DE BATERIAS [62].	34
TABELA 6 – VEÍCULOS ELÉTRICOS MAIS VENDIDOS EM PORTUGAL [70]–[72].	40

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	3
1.1	Contextualização	3
1.2	Metodologia	4
1.3	Estrutura do relatório.....	5
2	HISTÓRIA DO AUTOMÓVEL.....	9
2.1	Origem e evolução da indústria automóvel	9
2.2	Desenvolvimento de diferentes tecnologias de motorização automóvel	12
3	O AUTOMÓVEL NA ATUALIDADE	19
3.1	O Mercado automóvel	19
3.1.1	Portugal	19
3.1.2	Europa	21
3.1.3	Mundial	23
3.2	Estudo comparativo entre veículos elétricos e concorrentes.....	24
3.3	Principais marcas de VE	26
4	IMPLEMENTAÇÃO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS.....	31
4.1	Fatores impulsionadores.....	31
4.1.1	Redução das emissões de gases de estufa	31
4.1.2	Subsídios e apoios dos governos.....	32
4.2	Limitações e desafios técnicos	33
4.2.1	Baixa autonomia da bateria	33
4.2.2	Tempo de carregamento da bateria.....	35
4.3	Impactos e perspetivas na implementação dos VE.....	37
4.4	Estudo da implementação de estruturas de carregamento e troca de baterias em Portugal	38
4.4.1	Análise do setor e concorrentes.....	38
4.4.2	Análise do mercado alvo	39
4.4.3	Análise geográfica	41
4.4.4	Análise de custos e benefícios.....	43

5	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	51
5.1	CONCLUSÕES.....	51
5.2	PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS.....	52
6	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	55
7	ANEXOS	65
7.1	ANEXO 1 – Rede postos de troca de bateria da NIO na China.....	65

INTRODUÇÃO

- 1.1 Contextualização
- 1.2 Metodologia
- 1.3 Estrutura do relatório

1 INTRODUÇÃO

Esta tese, intitulada de “Análise do mercado de veículos elétricos”, apresenta como principal objetivo o estudo do mercado de veículos elétricos em Portugal. Propõem-se ainda medidas para aumentar a procura e utilização destes veículos.

Este capítulo inicia-se com uma contextualização sucinta sobre os veículos elétricos e a sua entrada no mercado automóvel. Em seguida, é descrita a metodologia utilizada para efetuar este trabalho. E por fim é detalhada a estrutura deste relatório.

1.1 Contextualização

Contrariamente ao que a grande maioria da sociedade pensa, o primeiro veículo elétrico (VE) foi construído em 1834 no século XIX. Este aparece mesmo antes do uso em grande escala dos veículos com motores de combustão interna (VMCI). E surge em alternativa aos motores a vapor bastante ruidosos e sujos, usados nesta época [1].

No início do século XX os VE ainda reuniam vantagens que os tornavam melhores do que os VMCI, tais como a facilidade de operação e o baixo ruído. No entanto, devido a vários fatores, como a produção em massa de VMCI por parte de Henry Ford, em 1910, com a invenção do motor de arranque de automóvel, por Charles Kettering, em 1912 e a descoberta e produção em grande escala de petróleo no Texas, por volta de 1920, os VMCI tornaram-se mais competitivos que os VE [2].

Os VE estiveram fora de uso quase 70 anos. Apenas se voltou a falar deles aquando da subida dos preços do petróleo, com o objetivo de baixar o consumo deste. A esta subida juntaram-se também argumentos de natureza ambiental a favor da utilização dos VE [3].

É em 1996 que surge o primeiro VE produzido em massa pela *General Motors* (GM), o modelo EV1. Logo de seguida, surgem outras marcas com mais propostas no mercado de automóveis elétricos como a Ford, Honda, Toyota e Nissan. Todos estes veículos foram apenas comercializados através de *leasing*. Acresce ainda que apesar do verdadeiro sucesso que a GM estava a obter com o aluguer dos seus veículos aos seus utilizadores, em 1999 interrompeu toda a sua produção do EV1. Estes mesmos veículos foram recolhidos pela marca e destruídos quase na totalidade, restando apenas alguns exemplares, com a motorização desativada para exposição em museus. Esta interrupção súbita da produção do EV1 gerou, na época, várias acusações contra a marca GM, referindo interesses políticos, governamentais e interesses da indústria petrolífera em manter os VE fora de circulação [4].

Desde então e até 2010, os VE têm estado disponíveis no mercado, contudo, apresentavam preços de aquisição e manutenção pouco competitivos face aos VMCI. Recentemente e devido, essencialmente, a preocupações ambientais os preços de

aquisição dos veículos elétricos tornaram-se mais competitivos, graças à adoção de diferentes medidas governamentais. Na realidade, as alterações climáticas drásticas sentidas nas últimas décadas, devido à emissão de gases de efeito de estufa e ao aquecimento global, tem causado grandes preocupações sociais. Os governos estão a começar a delinear estratégias que visam a diminuição de emissões de gases de efeito de estufa.

Atualmente, são já 16 países (Figura 1) que estão envolvidos numa Iniciativa de Veículos Elétricos (EVI). Esta iniciativa é um fórum político multigovernamental dedicado a acelerar a introdução e a adesão aos VE em todo o mundo. E tem como coordenador a Agência Internacional de Energia (IEA) [5].

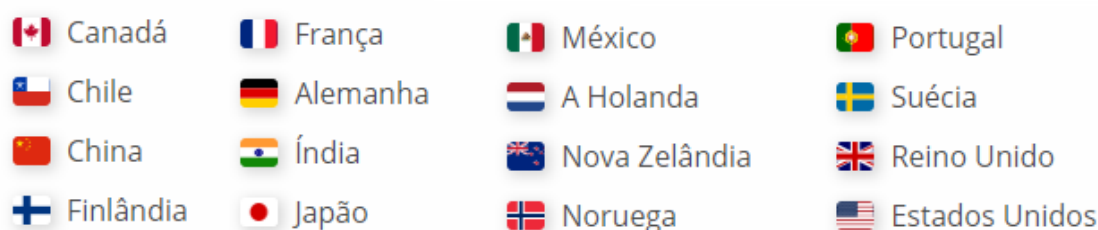


Figura 1 – Países aderentes ao EVI [5].

Neste contexto, ao longo desta dissertação pretende-se compreender de que forma os VE são encarados no mercado automóvel atual. Expõem-se as vantagens e desvantagens que a tecnologia elétrica atualmente disponível apresenta, comparativamente às tecnologias de alimentação automóvel concorrentes (gasolina, gásóleo, gás e hidrogénio). Por fim, descrevem-se formas de tornar a tecnologia elétrica mais atrativa, nomeadamente, em termos de preço, autonomia, tempo de carga, criação de postos de carregamento e/ou troca de bateria, entre outros.

1.2 Metodologia

A metodologia utilizada descreve-se a seguir.

Inicialmente, foi feita uma revisão bibliográfica sobre a indústria automóvel no geral e o seu mercado. De seguida foram abordados os tópicos abaixo:

- Recolha de dados sobre a implementação dos VE no mercado automóvel em Portugal, Europa e Mundial;
- Análise dos dados recolhidos, com o objetivo de determinar a forma como os VE se posicionam no mercado atual;
- Estudo comparativo entre os VE e os outros tipos de veículos atualmente disponíveis, a partir dos dados recolhidos;
- Determinação dos fatores que influenciam a implementação da tecnologia elétrica, assim como impactos causados por esta implementação;
- Análise do mercado assim como a viabilidade na implementação de estruturas de carregamento e troca de baterias.

1.3 Estrutura do relatório

A presente dissertação é constituída por 5 capítulos, aos quais são acrescidos a bibliografia e os anexos (Figura 2), e encontram-se divididos do seguinte modo:

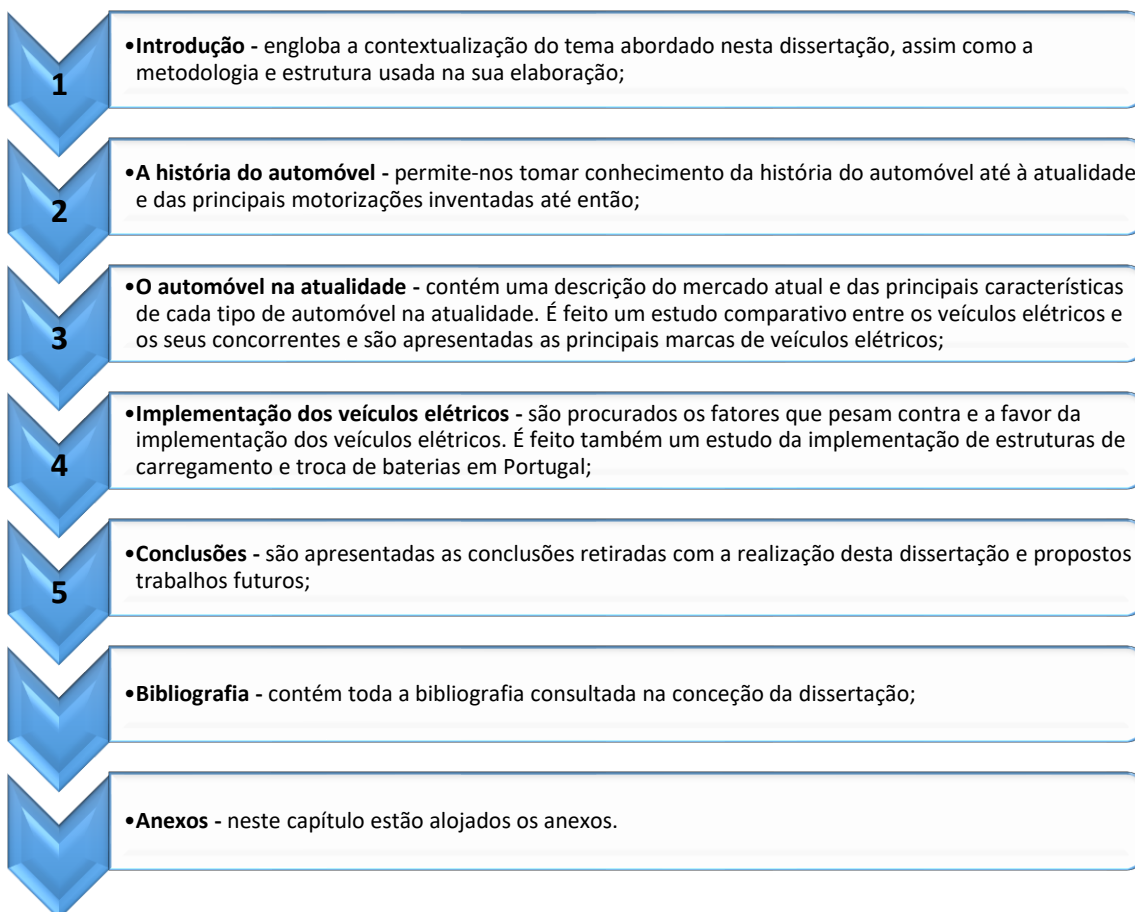


Figura 2 - Estrutura do relatório.

HISTÓRIA DO AUTOMÓVEL

- 2.1 Origem e evolução da indústria automóvel
- 2.2 Desenvolvimento de diferentes tecnologias de motorização automóvel

2 HISTÓRIA DO AUTOMÓVEL

Neste capítulo faz-se um resumo da história do automóvel. Começa-se pela origem e evolução da indústria automóvel e de seguida é abordado o desenvolvimento de diferentes tecnologias de motorização automóvel.

2.1 Origem e evolução da indústria automóvel

Os primeiros veículos automóveis surgem motivados pela falta de eficiência dos cavalos. Estes deixam de conseguir dar resposta à movimentação de cargas em curtas distâncias, provenientes de transportes de longa distância (marítimos e férreos). O desenvolvimento das bicicletas, na década de 1810, vem também introduzir o conceito de mobilidade individual acessível, tornando a população cada vez mais adepta deste tipo de mobilidade [6]. Nesta época, já existiam motores estacionários, isto é, motores que através de uma fonte de energia (no caso o vapor) efetuam movimentos circulares. Estes motores são usados habitualmente para impulsionar as mais diversas máquinas nas indústrias. Foram os percussores dos motores usados na indústria automóvel [7].

O primeiro veículo denominado como veículo automóvel surge em 1769. Era movido a vapor e foi contruído por Nicolas Joseph Cugnot, um Engenheiro Mecânico Francês. Este veículo foi um trator militar dotado de três rodas, duas traseiras e uma dianteira onde estariam implementados o sistema de tração e a direção do veículo [8].

A Figura 3 ilustra o funcionamento dos motores a vapor. Estes motores são, na realidade, alimentados pela queima de carvão. O processo inicia-se com o aquecimento de água até se formar vapor. Este vapor é encaminhado através de condutas para a câmara de admissão/escape, aí através da válvula de admissão/escape é escolhido o sentido no qual o vapor vai empurrar o pistão dentro do cilindro. Assim é formado o movimento circular do volante de inércia, que posteriormente é ligado às rodas para lhes conferir a devida tração.

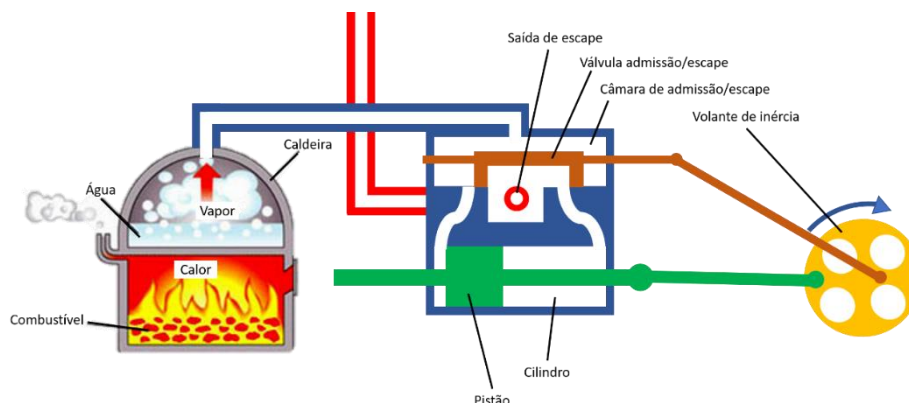


Figura 3 – Esquema do motor a vapor (adaptado de [9]).

O veículo de Cugnot equipado com o motor a vapor foi projetado para transportar os grandes e pesados canhões de guerra. Tinha a capacidade de carga de 4 toneladas, circulava a uma velocidade de 4 km/h (1,11 m/s) e a cada 15 minutos tinha de parar para reabastecer a sua caldeira com água. No ano seguinte, em 1770, Cugnot construiu mais um modelo de triciclo, capaz de transportar quatro pessoas [1].

Em 1771, na qualidade de condutor, Cugnot esteve envolvido no primeiro acidente automóvel referenciado na história. Ao volante de um dos seus veículos Cugnot não conseguiu evitar a colisão do veículo, que seguia a 2 km/h (0,56 m/s), contra uma parede.

Em 1834, em alternativa aos motores a vapor, surgem os motores elétricos inventados por Robert Anderson. A Figura 4 representa o esquema do motor elétrico de um automóvel. Este é composto por baterias que acumulam a energia elétrica, quando são carregadas através de carregadores elétricos. Posteriormente, através de um controlador/inversor esta energia é encaminhada para o motor elétrico, que a transforma em movimento circular e desta forma traciona as rodas do veículo e o faz mover. França e Grã-Bretanha são as primeiras nações a apoiar a implementação de veículos elétricos [10].

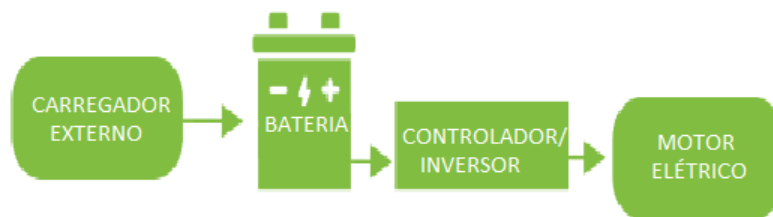


Figura 4 - Esquema do motor elétrico (adaptado de [11]).

Em 1886 Karl Friedrich Benz regista a patente do primeiro automóvel com motor de combustão interna a gasolina, ilustrado na Figura 5. Este motor é constituído por uma vela de ignição, uma câmara de combustão e um pistão ligado a um virabrequim por uma biela. A câmara de combustão recebe uma mistura de ar com combustível, este entra em combustão através de uma faísca gerada pela vela de ignição. A combustão obriga à expansão da câmara e conseqüentemente leva à descida do pistão. No final da expansão, a válvula de escape abre permitindo a libertação dos gases e a subida do pistão. Este ciclo (descida e subida do pistão dentro do cilindro) forma um movimento circular no virabrequim que é usado na tração dos veículos [12].



Figura 5 - Esquema do motor de combustão interna [12].

O motor de Benz constituído por apenas um cilindro de 954 cm³ e com apenas 0,75 cv é capaz de atingir os 16 km/h (4,44 m/s). Benz em 1888 ganha notoriedade quando a sua esposa acompanhada dos dois filhos decide partir para aquela que foi a primeira viagem automóvel de longa distância, esta viagem de 180 km (180000 m) veio mostrar ao mundo a mobilidade e praticidade do veículo e impulsionou ainda outros fabricantes a desenvolverem motores semelhantes, tais como Panhard & Levassor, Peugeot e Henry Ford [13].

Após a popularidade ganha por Benz em 1888, este passa a deter a maior fábrica de automóveis do mundo o que lhe permitiu fazer vários avanços tecnológicos bem como registar novas e importantes patentes no ramo automóvel.

Paralelamente, em 1897, os veículos elétricos são inseridos numa frota de táxis em Nova Iorque [10]. Dois anos mais tarde, um veículo elétrico construído na Bélgica é o primeiro a ultrapassar a barreira dos 100 km/h (27,78 m/s). O veículo era denominado de "La Jamais Contente" e esta barreira passou a servir, desde então, de termo comparativo entre vários tipos de veículos. Ainda nos dias de hoje se compara o tempo que cada veículo leva a chegar dos 0 aos 100 km/h (27,78 m/s) [14]. No entanto, já nesta época os veículos elétricos tinham como principal limitação o seu peso e a falta de autonomia, o que levava a paragens frequentes para recarregar as baterias.

Mais tarde em 1913, Henry Ford fez parte de um importante marco na história da indústria automóvel, ao ultrapassar todos os seus rivais, através da implementação da primeira linha de produção em série de automóveis.

Com a implementação do fabrico em série dos automóveis Henry Ford consegue uma redução muito significativa quer no tempo quer no custo de produção. Com isto consegue tornar os seus veículos amplamente disponíveis e acessíveis. Henry Ford produz 15 milhões de Model T (o primeiro modelo comercial da marca apresentado na Figura 6) no ano de 1927, aniquilando toda a concorrência.



Figura 6 – Ford Model T [15].

É então no início do século XX que se dá a grande revolução na indústria automóvel. Começa a haver cada vez mais fabricantes de automóveis, novos tipos de motorizações (movidos a gás natural, gasóleo, etc.) e cada vez mais e melhores tecnologias envolvidas. O automóvel passa, assim, a ser um veículo cada vez mais funcional, confortável e seguro. Em termos de conforto, para além dos constantes melhoramentos na suspensão, os automóveis passam a ter alguns “luxos” tais como rádio, aquecimento, limpa-para-brisas entre outros.

2.2 Desenvolvimento de diferentes tecnologias de motorização automóvel

Inicialmente, os fabricantes de automóveis responderam às necessidades dos clientes, sobretudo com modelos de motorização a gasolina. No entanto, durante a primeira e segunda guerras mundiais (1914 a 1918 e 1939 a 1945, respetivamente), a falta de gasolina levou à procura de alternativas. Foi então que foram desenvolvidos os primeiros carros movidos a gás. Este gás era na sua maioria recuperado do processo de transformação de carvão em coque, nas indústrias metalúrgicas.

Como mostra a Figura 7, estes veículos eram equipados no seu teto com um enorme saco que servia para armazenar o gás (não comprimido). Este gás servia de combustível para o motor de combustão interna. Assim, a única diferença entre os veículos com o motor a gasolina era o tamanho e localização do depósito de combustível. Consequentemente, a conversão de veículos movidos a gasolina em veículos movidos a gás pode ser efetuada de forma bastante simples [16]. Com o passar dos anos, foi possível armazenar gás sob a forma comprimida, permitindo assim armazenar grandes quantidades de gás num espaço reduzido.



Figura 7 – Veículo movido a gás não comprimido [16].

A partir dos anos 30, do séc. XX, os motores alimentados a gasóleo, já usados anteriormente em maquinaria pesada (navios, submarinos, locomotivas e camiões), começam a ser usados também em alguns automóveis [17]. O ciclo de funcionamento deste motor de combustão interna é caracterizado por duas rotações do virabrequim. Inicialmente, durante a 1ª descida do pistão o gasóleo e ar são injetados na câmara de combustão. De seguida, durante a 1ª subida do pistão esta mistura é comprimida e explode (devido ao aumento de pressão e temperatura). Esta explosão permite a 2ª descida e subida do pistão e cria a energia suficiente para um novo ciclo [18].

No entanto, o motor a gasóleo nos veículos automóveis ligeiros permaneceu pouco comum, devido ao difícil funcionamento a frio e em baixas cilindradas, como era o caso destes automóveis. Nos anos 90, do séc. XX, com a implementação da injeção direta este problema foi contornado. Além disso, a implementação de turbos também conferiu ao motor a gasóleo uma maior potência, o que levou ao aumento do mercado para este tipo de motor, no final do século XX [17].

Motivado pela escassez de gasolina, em 1941, Boris Shelishch converteu o motor de combustão interna a gasolina, de 200 camiões de mercadorias, para gás hidrogénio. Esta tecnologia de alimentação já existia desde 1807, contudo foi necessário mais de um século para desenvolvê-la e encontrar formas mais eficientes de alimentar os veículos a hidrogénio. No início do século XIX, os motores alimentados por hidrogénio tinham um funcionamento muito idêntico aos de gasolina, a energia nas rodas era obtida através da queima deste gás. No entanto, em 1839, Sir William Robert Grove demonstrou que é possível obter eletricidade diretamente a partir do hidrogénio, através da tecnologia de célula de combustível. Assim, no início do século XX, aparecem os primeiros veículos alimentados a hidrogénio e equipados de célula de combustível. Esta nova tecnologia permite um maior rendimento, uma vez que existem menos perdas de energia.

Este motor é bastante simples, conforme mostra a Figura 8. É constituído por um tanque onde é armazenado o hidrogénio. Este entra na célula de combustível e é transformado em eletricidade quando misturado com oxigénio (proveniente do ar ambiente). Após este processo, a célula de combustível liberta água e vapor de água

para a atmosfera e transmite energia ao motor elétrico, que, por sua vez, vai impulsionar as rodas [19].

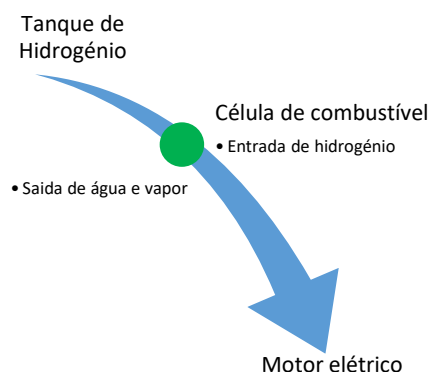


Figura 8 – Esquema do motor de célula de combustível.

No ponto de vista mecânico e ambiental este tipo de motorização parece perfeito, contudo a sua utilização permaneceu pouco significativa. Isto deve-se ao facto de o hidrogénio ser um gás de armazenamento extremamente perigoso. Além disso, o custo da célula de combustível, por ser uma tecnologia de fabrico bastante caro, torna o preço de aquisição deste veículo extremamente alto relativamente aos seus concorrentes diretos. Assim, todas estas razões tornam a aquisição e alimentação do veículo a hidrogénio cara e inacessível, apesar de ser um veículo ecológico e sustentável.

Na década de 1990, motivados pelo aquecimento global, os governos dão incentivos às diversas marcas de veículos automóveis, para que estas desenvolvam veículos alternativos aos de combustão interna. Estes veículos alternativos devem ser “amigos” do ambiente e emitir quantidades mínimas de gases de efeito de estufa.

Em 1996 a GM lança o modelo EV1, um veículo elétrico, construído a partir do zero, que veio ultrapassar todas as metas alcançadas por este tipo de veículo até à data. Este veículo capaz de atingir os 130 km/h (36,11 m/s) consegue assim equiparar-se a um veículo de combustão interna. O EV1 era comercializado através de *leasing* pela marca GM e obteve bastante sucesso perante os utilizadores. No entanto em 2001, a GM interrompeu a sua comercialização e fez a recolha de todas as unidades em circulação [20], [21]. Assim, mais uma vez a comercialização dos veículos elétricos paralisou.

Contudo, em 1997 a Toyota lançou um veículo híbrido, o modelo “Prius”. A tecnologia dos veículos híbridos foi explorada por Ferdinand Porsche em 1900 no “Porsche Semper Vivus”, um dos seus modelos de veículos [22]. Este tipo de veículo consiste numa junção de tecnologias de alimentação. Existem três tipos de veículos híbridos: em série, paralelo e misto.

O híbrido série, Figura 9, caracteriza-se por ter um motor de combustão interna que traciona um gerador elétrico. Posteriormente este gerador irá dar energia às baterias e ao motor elétrico. O motor elétrico através da energia elétrica aciona a transmissão que traciona o veículo. Quando o veículo se encontra em descida ou em travagem, é devolvida energia, proveniente deste movimento, às baterias, causando assim o fenómeno denominado como travagem regenerativa [23].

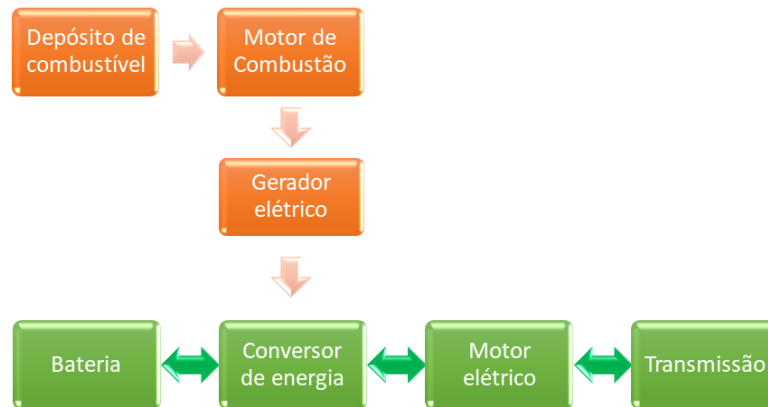


Figura 9 – Esquema do motor híbrido série.

O veículo híbrido paralelo, Figura 10, não tem os dois motores, de combustão e elétrico, interligados. O motor combustão está diretamente ligado à transmissão, assim como o motor elétrico. Poderão ser atuados em simultâneo ficando a potência fornecida ao veículo dividida pelos dois ou em separado. Neste tipo de veículo, a bateria apenas recebe carga quando o veículo se encontra em descida ou em travagem.

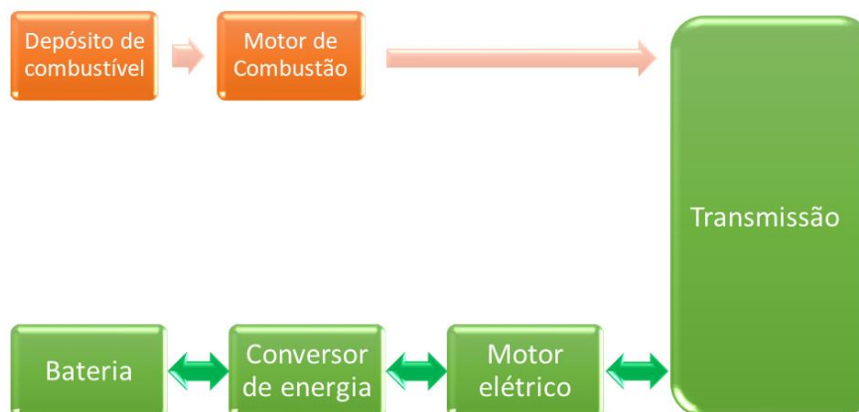


Figura 10 – Esquema do motor híbrido paralelo.

O veículo híbrido misto, Figura 11, é a junção do híbrido série com o híbrido paralelo. Esta junção resulta num veículo capaz de trabalhar de diferentes formas:

- Circular acionado pelo motor de combustão;
- Circular acionado pelo motor de combustão e ainda carregar as baterias através da energia gerada por este;
- Circular acionado pelo motor elétrico e este ser alimentado pelas baterias;
- Circular acionado pelo motor elétrico e este alimentado pelo motor de combustão;
- Circular acionado pelo motor elétrico e carregar as baterias através de energia fornecida pelo motor de combustão;
- Carregar as baterias em regime estacionário através de energia fornecida pelo motor de combustão [24].

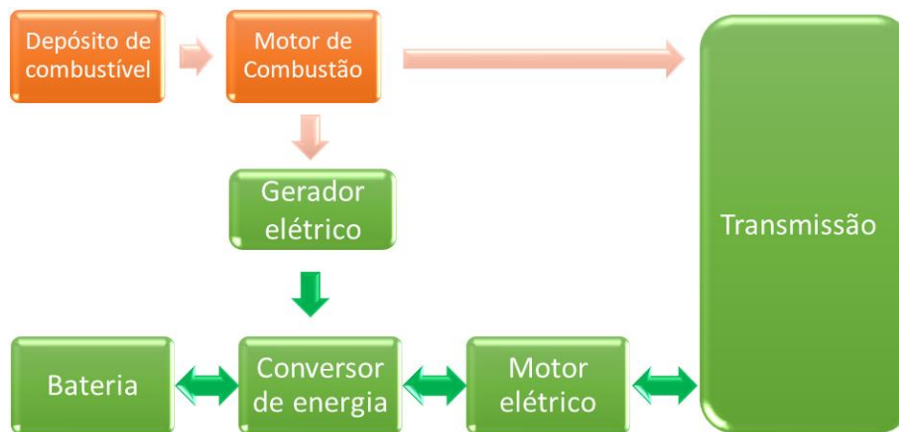


Figura 11 – Esquema do motor híbrido misto.

Juntamente com estes três tipos de motorização poderá estar associada ainda a tecnologia de *plugin*, que permite que as baterias sejam carregadas a partir de carregadores externos na rede elétrica comum.

O lançamento do Toyota Prius, com todo o sucesso obtido, abriu uma vertente adequada deste tipo de veículo. É um veículo que devido à complexidade de fabrico é caro. Todavia apresenta fatores de peso bastante positivos, tais como a autonomia, que num veículo elétrico é drasticamente afetada. No caso do híbrido esta autonomia consegue até ser maior do que a de um veículo com motor exclusivamente de combustão interna [23].

Os híbridos, ao ganhar espaço no mercado, foram mantendo a sensação de condução de motores elétricos, a ausência de caixa de velocidades e os motores silenciosos. Tudo isto são razões que levam os utilizadores a optar pelos motores elétricos.

Na atualidade as emissões de gases poluentes evitadas pelos veículos híbridos deixam de ser suficientes. Pretende-se alcançar zero emissões, e para isso várias marcas começam novamente a disponibilizar veículos elétricos nos seus catálogos.

O AUTOMÓVEL NA ATUALIDADE

- 3.1 O Mercado automóvel
- 3.2 Estudo comparativo entre veículos elétricos e concorrentes
- 3.3 Principais marcas de VE

3 O AUTOMÓVEL NA ATUALIDADE

Neste capítulo é abordado o mercado de veículos elétricos em Portugal, Europa e Mundial. Em seguida é feito um estudo comparativo entre os VE e concorrentes. São ainda apresentadas as principais marcas de VE presentes no mercado automóvel.

3.1 O Mercado automóvel

3.1.1 Portugal

Atualmente, um pouco por todo o mundo, as populações menos centralizadas procuram um meio de transporte individual para as suas deslocações diárias. Portugal não é exceção à regra e nas últimas décadas, principalmente fora dos grandes centros, são cada vez mais as pessoas adquirem o seu próprio veículo automóvel, facilitando assim a sua mobilidade diária sem dependência dos horários restritivos dos transportes coletivos [25].

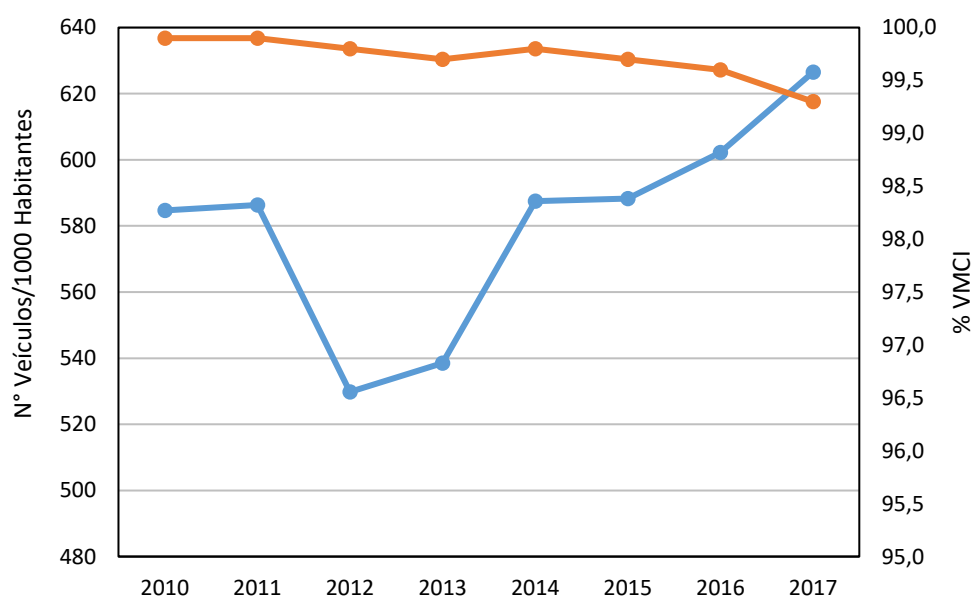


Figura 12 – Veículos rodoviários motorizados por mil habitantes (—) [26] e percentagem de VMCI nos últimos anos (—) [27].

Como se pode verificar na Figura 12, a procura de veículos próprios tem aumentado bastante desde 2012. Em 2017, cerca de 63% da população portuguesa tinha o seu próprio meio de transporte, sendo que neste mesmo ano 99,4% dos veículos automóveis em circulação eram alimentados por combustíveis fósseis (VMCI), tais como Gasóleo, Gasolina e GPL [27].

A aquisição de veículos automóveis individuais proporciona, sem dúvida, inúmeras vantagens para a população. No entanto, o aumento do número de veículos automóveis em circulação causa preocupações ambientais.

Atualmente, o elevado consumo de combustíveis fósseis é uma preocupação da sociedade em geral. Nos últimos anos, os VMCI têm sido melhorados, afim de reduzir o consumo destes mesmos combustíveis e aumentar o rendimento energético. No entanto, estes veículos são uma das grandes causas do consumo exagerado de combustíveis fósseis, devido ao grande número de VMCI em circulação. Assim, mais do que nunca, a sociedade demonstra um grande interesse pelos veículos alimentados exclusivamente a energia elétrica.

Como já foi referido no capítulo anterior, a tecnologia elétrica não é recente e o primeiro VE surgiu há cerca de 185 anos. No entanto, devido às preocupações ambientais, vários estudos recentes permitiram efetuar diversas melhorias e evoluções para tornar um VE atrativo como o VMCI.

No final do século XX, eram poucas as marcas de automóveis que apresentavam os VE no seu catálogo, além disso, essas marcas apresentavam apenas um modelo de VE. Presentemente, a realidade é bastante diferente e praticamente todas as marcas de automóveis apresentam soluções com motorizações elétricas e algumas têm até vários modelos disponíveis. Assim, é possível encontrar cada vez mais variedade e versatilidade de VE.

Por exemplo, em Portugal as cinco marcas que mais venderam VE no primeiro trimestre de 2019, foram a Nissan, Renault, Smart, Hyundai e BMW (Figura 13). Além disso apenas neste trimestre de 2019 foram vendidos 2174 VE em Portugal, sendo a Nissan a marca preferida dos portugueses.

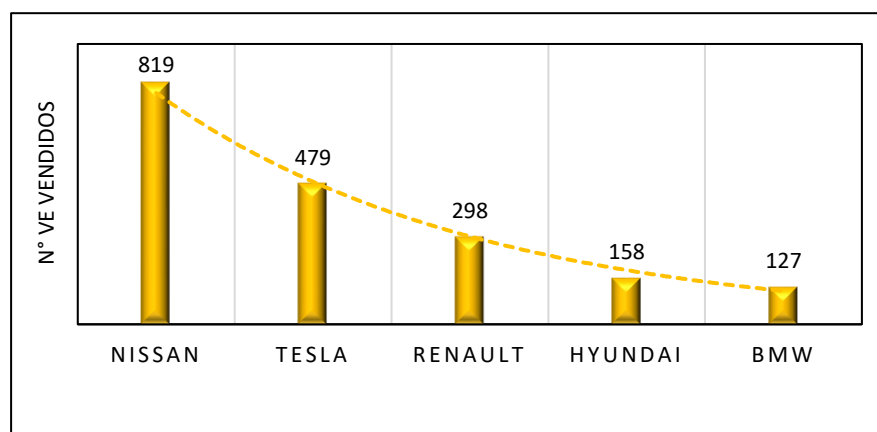


Figura 13 – Top 5 de VE mais vendidos em Portugal no 1º trimestre de 2019 [28].

3.1.2 Europa

A comercialização de VE na europa também tem vindo a aumentar, só nos primeiros 5 meses de 2019 foram vendidos mais de 81 000 VE. Como ilustra a Figura 14, a marca mais comercializada foi a Tesla com 25966 unidades vendidas, em seguida a Renault, Nissan, BMW e VW.

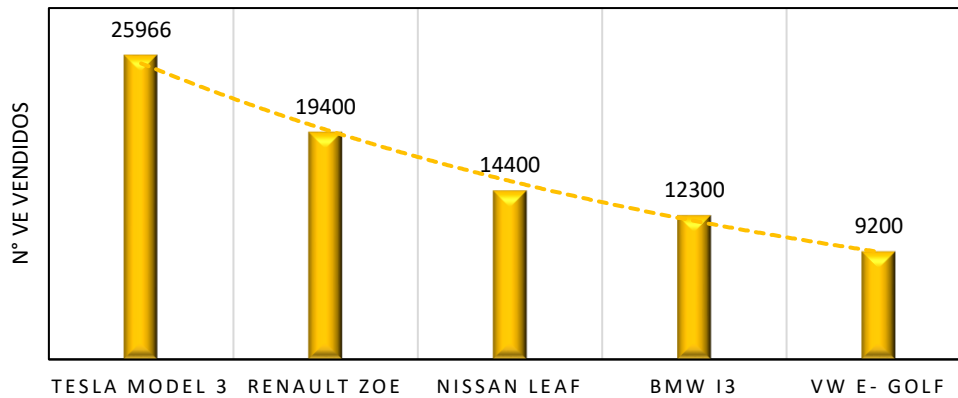


Figura 14 – Top 5 de VE mais vendidos na Europa entre janeiro e maio de 2019 [29].

O número de VE vendidos no início de 2019 é sem dúvida encorajante, mas representa apenas uma gota num oceano de veículos automóveis. Para melhor posicionar os VE no mercado automóvel, a Figura 15 representa a percentagem de veículos elétricos e híbridos registados nos diferentes países da europa em 2018.

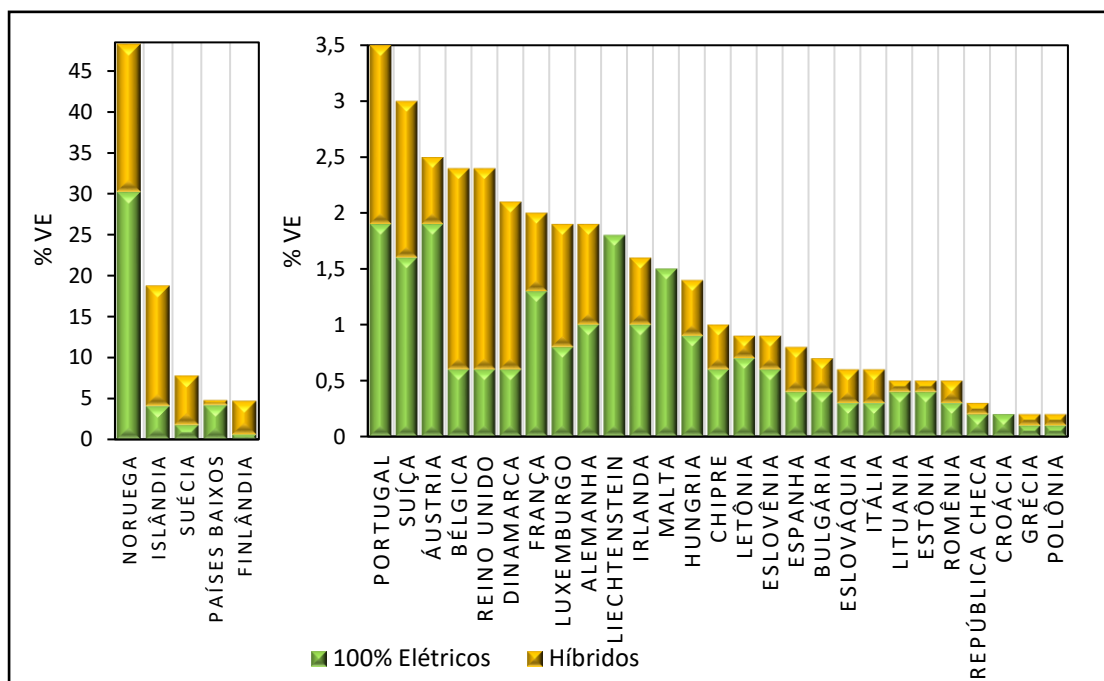


Figura 15 – Percentagem de VE e HEV em relação aos restantes na europa em 2018 [30].

A Noruega é o país com a maior percentagem de veículos elétricos e híbridos (HEV) registados em 2018, sendo esta de 48,3%, destes 30,2% são veículos exclusivamente elétricos e 18,1% são veículos híbridos. Este país europeu destaca-se em relação aos restantes devido à implementação de políticas de incentivo à compra de veículos com baixas emissões de gases de efeito de estufa desde do início da década de 1990. Em 1993 os veículos com baixas emissões deixam de pagar pelo estacionamento, em seguida deixam de pagar portagens. Mais tarde, em 2001, foram implantados benefícios fiscais tais como a isenção de impostos na compra de veículos elétricos. Em 2005, o governo Norueguês eliminou o imposto de circulação para os VE. Todas estas medidas incentivaram os Noruegueses a comprar VE e colocaram a Noruega como o país europeu com mais carros híbridos e elétricos [31].

Portugal em 2009 através da empresa MOVI-E começa por implementar uma rede de postos de carregamento. Em seguida, à semelhança da Noruega e outros países europeus, Portugal implementa algumas políticas de incentivo à compra de veículos elétricos. A adoção destas políticas coloca Portugal no 4º país europeu com mais veículos exclusivamente elétricos registados (1,9%) em 2018.

Um dos incentivos adotados por Portugal foi denominado por “Incentivo pela Introdução no Consumo de Veículos de Baixas Emissões” e é atribuído anualmente. Em 2019 foi atribuída uma verba de 3.000.000 € (três milhões de euros), sendo esta verba 350.000 € superior à atribuída no ano anterior. Contudo, 91% desta verba (2.738.326 €) foi distribuída antes do início de setembro de 2019, isto indica um provável esgotamento da verba antes do final do ano e demonstra uma subida clara da procura de VE [32], [33].

Os 4 países europeus com mais VE matriculados em 2018, tal como mostra a Figura 15, são a Noruega, Países Baixos, Islândia e Portugal com as seguintes percentagens 30,2%, 4,2%, 4,1% e 1,9%, respetivamente. Por outro lado, o país com pior resultado foi para a Polónia com 0,1% de VE.

Tabela 1 - Incentivos existentes na Noruega, Países baixos, Islândia, Portugal e Polónia [34]–[38].

Incentivo	Noruega	Países Baixos	Islândia	Portugal	Polónia
Apoio monetário na aquisição de veículo com baixas emissões	✓	✓	✓	✓	✗
Isenção do imposto sobre veículos	✓	✓	✓	✓	✗
Isenção no imposto de circulação	✓	✓	✓	✓	✗
Apoios na expansão de postos de carregamento	✓	✓	✓	✓	✗
Postos de carregamento gratuito	✓	✓	✓	✓	✗
Vantagens especiais em estacionamentos	✓	✓	✓	✓	✗
Presença de VE no mercado	✓	✓	✓	✓	✓
Outras condições especiais	✓	✗	✗	✗	✗

De forma a perceber se estas disparidades estão relacionadas com a existência de diferentes incentivos em função do país, a Tabela 1 resume os vários incentivos existentes ou ausentes em cada um destes países.

Com base na informação da Tabela 1, conclui-se que o facto de existirem apenas 0,1% de VE registados na Polónia em 2018 é justificado pela ausência de políticas governamentais favoráveis à compra de veículos com esta tecnologia. Na realidade, até 2018 a Polónia aplicou os fundos europeus em incentivos dedicados à implementação/criação de empresas que fabricam VE [39]. Com esta estratégia económica, a Polónia detém atualmente algumas das maiores empresas fabricantes de carros elétricos, como é o exemplo da “Solaris”, empresa que representa 10% da fabricação de VE na Europa. No entanto, a utilização destes veículos pelos Polacos é muito reduzida (0,1 %).

Por outro lado, na Noruega para além de todos os incentivos enunciados na Tabela 1, os proprietários de VE têm também condições especiais na atribuição de subsídio de transporte, sendo este majorado quando o trabalhador percorre o trajeto casa-trabalho em veículo elétrico [34].

A Europa preocupa-se cada vez mais com a diminuição da emissão de gases com efeito de estufa, várias cidades europeias proíbem a circulação de veículos com elevadas emissões. Assim, as populações vêm-se obrigadas a procurar outras alternativas para as suas deslocações diárias. Além disso, vários países europeus estabelecem-se novas metas que ambicionam um crescimento exponencial do mercado de VE.

3.1.3 Mundial

Atualmente, constata-se também a nível mundial um aumento da comercialização e utilização de VE.

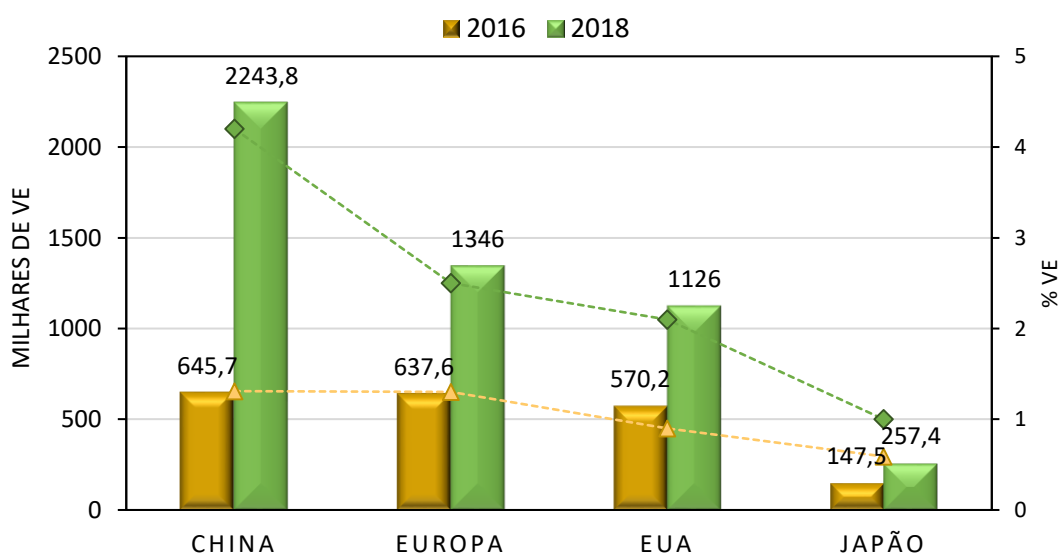


Figura 16 - Top vendas VE (Número de veículos elétricos vendidos até finais de dezembro). Posicionamento dos VE no mercado automóvel (em percentagem) [37], [38].

A Figura 16 mostra o número de vendas de veículos elétricos obtidos na Europa e em países de outras regiões do globo. Além disso, esta figura apresenta a percentagem de VE em relação aos restantes veículos do mercado automóvel.

Pela análise da figura, pode-se concluir que em 2016 a venda de VE na China e na Europa foi bastante semelhante. Além disso, a proporção de VE em circulação foi muito semelhante, com 1,31 % na China e 1,30 % na Europa. No entanto, em 2018 a China vendeu mais VE que a Europa, e conseguiu assim um notável crescimento na proporção de VE no mercado (4,2 % contra apenas 2,5 % na Europa).

Nas últimas décadas a China é alvo de grandes problemas ambientais, na realidade, devido à sua elevada densidade demográfica, a China tem muitos problemas de saúde pública causados essencialmente pela poluição atmosférica. Neste contexto, o governo chinês adotou estratégias de proteção ambiental, e aliando-as ao seu enorme conhecimento tecnológico, desenvolveu a tecnologia elétrica e tornando-se pioneira no uso dos veículos elétricos [40].

A diferença na percentagem de VE entre a China e a Europa, em 2018, demonstra que a grande parte dos países europeus não considera a preocupação ambiental uma prioridade. Embora, haja na Europa países exemplares como a Noruega, com vendas e utilização de VE recorde a nível mundial.

Por outro lado, quando se compara os dois grandes países asiáticos, China e Japão, constata-se que este último apresenta uma proporção de VE bastante inferior à China, com apenas 1 % de VE em relação aos restantes veículos registados em 2018. Esta situação deve-se essencialmente às políticas que foram adotadas pela China em favor do uso dos VE.

O número de vendas de VE nos EUA é ligeiramente inferior ao número de VE vendidos na Europa, quer em 2016 quer em 2018. No entanto, o aumento do mercado nestes dois anos foi mais significativo nos EUA, onde houve um aumento de 50% relativamente a apenas 47% na Europa.

3.2 Estudo comparativo entre veículos elétricos e concorrentes

Com o intuito de esclarecer de uma forma comparativa a posição dos VE em relação aos seus principais concorrentes foram escolhidos 4 tipos de veículos do mesmo segmento e categoria. A categoria escolhida “Segmento de veículo familiar pequeno” é um segmento de veículo mais acessível. São assim escolhidos um veículo de cada tipo de alimentação, veículo elétrico (VE), veículo híbrido elétrico (HEV), veículo com motor de combustão interna (VMCI) e veículo a célula de combustível (FCV). Os VE, HEV e FCV são três tipos de veículos bastante presentes nos mercados que prometem as maiores reduções na emissão de gases poluentes, sendo isentos destas emissões os VE e os FCV. Na Tabela 2 estes três veículos são comparados entre si e com o VMCI, que é atualmente o tipo de veículo que domina o mercado automóvel e que se pretende descartar num futuro próximo.

Tabela 2 – Comparação de 4 tipos de veículos (adaptado de [41]).

Segmento de veículo familiar pequeno					
	Tipo	VE	HEV	VMCI	FCV
	Modelo estudado	Ford Focus Electric	Audi A3 e-tron	VW Golf GTI	Toyota Mirai
Custos de propriedade durante 3 anos	Preço aquisição	34900 €	36900 €	33800 €	78540 €
	Manutenção e serviços	1174 €	2974 €	2038 €	0 €
	Custo combustível	970,2 €	1787,85 €	4003,2 €	468,54 €
	Desvalorização	11400 €	7900 €	10800 €	32740 €
	Custo total	13544,2 €	12661,85 €	16841,2 €	33208,54 €
Análises qualitativas	Qualidade e materiais	2	3	3	3
	Prazer de conduzir	1	2	3	2
	Experiência diária	1	3	2	3
	Nota	1,33	2,67	2,26	2,67
Outras características	Consumo por cada 100 km	12,1 kWh	1,7 l + 11,4 kWh	6,4 l	0,76 kg
	Emissões CO ₂	0 g/km	38 g/km	149 g/km	0 g/km
	Autonomia bateria	162 km	50 km	0 km	0 km
	Autonomia combustível	0 km	784 km	781 km	657 km
	Aceleração 0 – 100 km/h	11,4 s	7,6 s	6,4 s	9 s
	Potência	145 cv	204 cv	230 cv	153 cv
	Velocidade máxima	135 km/h	222 km/h	248 km/h	178 km/h

A Tabela 2, constitui uma adaptação de [41] onde se acrescentou dados de um veículo célula de combustível (FCV) com base noutras fontes. O preço de aquisição do FCV foi obtido considerando as mesmas condições dos restantes (mercado alemão em 2017), e considerando o preço de aquisição 66 000 € mais IVA a 19% [42], obtendo assim o valor de 78 540 €. A manutenção e serviços deste FCV nos primeiros 3 anos de utilização é oferecida pela marca [43]. O preço do combustível sendo 1,37 €/kg [44] multiplicado pelo consumo de 0,0076 kg/km obtemos um custo de 0,010412 €/km que multiplicando 45 000 km considerados em todos os veículos obtemos 468,54 €. Para a obtenção do valor de desvalorização destes veículos ao longo de três anos foi consultado num mercado online de veículos da Alemanha [45], o preço destes veículos com registo em 2016, resultando um preço médio de aquisição de 45 800 €. Subtraindo este valor ao preço inicial de 78 540 € resulta uma desvalorização de 32 740 €. Como este veículo, à exceção da forma como é alimentado, é em tudo semelhante a um veículo híbrido

mesmo na forma de conduzir, foram considerados os mesmos índices qualitativos. Os dados relativos ao consumo, emissões CO₂, autonomia da bateria, autonomia de combustível, aceleração dos 0 aos 100 km/h, potência e velocidade máxima são dados que foram acrescentados, para todos os tipos de veículos, a partir de outras referências, de forma a tornar esta tabela mais informativa [46]–[49].

Considerando o custo total de propriedade (que inclui todos os gastos tidos com veículo durante 3 anos) o veículo com pior classificação é o FCV, encontrando-se assim em quarto lugar. O elevado custo de propriedade (33 208,54€) deve-se essencialmente ao seu elevado preço de aquisição. Em terceiro classificado aparece o VMCI com custo total de propriedade de 16 841,2 €, este valor importante tem como principal causa o custo do combustível, que é bastante superior ao dos veículos concorrentes. Em segundo lugar, em termos de custo total de propriedade, encontra-se o VE com 13 544,2 €, contudo o que o afasta de ser o melhor é essencialmente a sua desvalorização acentuada. Estes veículos estão equipados com uma bateria bastante cara, que se degrada ao longo dos anos (quilómetros) de utilização, sendo assim considerada um fator importante de desvalorização destes veículos.

Assim, em primeiro lugar temos o HEV com um custo total de propriedade de 12 661,85 €. Este tipo de veículo é também o melhor classificado em relação às suas características como autonomia, potência e velocidade máxima. Além disso, o HEV cumpre as atuais exigências em termos de emissões de CO₂, com apenas 38 g CO₂/km.

Contudo, os limites de emissões de CO₂ permitidos são cada vez mais reduzidos, com um máximo de 98g CO₂/km para 2021. A previsão é que estes limites sejam ainda mais reduzidos durante a próxima década. Como podemos ver na Tabela 2, apenas dois tipos de tecnologia de alimentação permitem emissões nulas de CO₂, estes são os VE e os FCV. As vantagens no VE são os baixos custos, já o FCV são as suas performances bastante elevadas. Atualmente o VE acaba por ser o único veículo isento de emissões e acessível em termos monetários. Tem na sua vanguarda o FCV, que se num futuro próximo conseguir reduzir os seus custos de aquisição, torna-se num concorrente implacável.

3.3 Principais marcas de VE

Na Europa, à semelhança de Portugal as marcas de veículos elétricos mais vendidas são a Tesla, Nissan, Renault e BMW. Na Tabela 3 são apresentadas as características e o preço de aquisição dos veículos mais vendidos na Europa.

Tabela 3 – Modelos de veículos elétricos mais vendidos na Europa [50]–[53].

Marca	Modelo	Garantia de bateria	Autonomia	Preço (PVP)
Tesla	Model 3	8 anos, 120 000 km	560 km	59 600 €
Nissan	Leaf E+	8 anos, 160 000 km	385 km	43 000 €
Renault	ZOE Life	8 anos, 160 000 km	300 km	33 210 €
BMW	i3	8 anos, 100 000 km	255 km	42 100 €

A marca Tesla, fundada em 2003, é conhecida a nível mundial por se dedicar exclusivamente à comercialização de veículos com motorização elétrica. Esta iniciou a produção do seu primeiro veículo, o Roadster, em 2008. A partir daí, a marca desenvolveu de raiz o Model S que rapidamente se tornou dentro da sua classe o melhor automóvel em todas as categorias. Em 2016 a marca apresentou o Model 3, um VE de grande volume e de baixo custo que começou a ser produzido a partir de 2017 e desde então o sucesso tem sido notável em todo o mundo [54].

Atualmente a Tesla tem disponível em todos os seus veículos uma opção de condução autónoma capaz de ativar a função de piloto automático em algumas ocasiões. Esta opção vem já equipada com todo o hardware necessário para substituir por completo a função do condutor mesmo em condução citadina, num futuro próximo a marca compromete-se a disponibilizar atualizações de software que permitirão o utilizador usufruir de uma viagem sem preocupações de condução [55].

A Nissan apareceu com uma presença mais forte no mercado de veículos elétricos a partir de 2010, quando lançou o modelo Leaf nos Estados Unidos, no Japão e na Europa. Este modelo desde então tem vindo a conquistar o mercado de VE de forma geral em toda a Europa [56].

A Renault, marca francesa, lançou em 2012 o seu modelo ZOE, um VE com custos mais acessíveis e com características, em termos de segmento, semelhantes ao Nissan Leaf. Este VE consegue também conquistar utilizadores de veículos elétricos na Europa. Ambas as marcas partilham o mesmo fabricante de baterias, a LG. Este veículo distingue-se do Nissan Leaf pela sua moderação em termos de custo-benefício.

Desde de que foi mostrado interesse a nível mundial pela redução de emissões de CO₂, a BMW acompanhou estas iniciativas ambientais com o lançamento do BMW i3, um veículo totalmente livre de emissões, em 2013. Este veículo foi concebido completamente de novo pela marca e destinado ao uso em cidade. O BMW i3 foi um cidadão bastante bem recebido pelos adeptos da marca alemã.

IMPLEMENTAÇÃO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS

- 4.1 Fatores impulsionadores
- 4.2 Limitações e desafios técnicos
- 4.3 Impactos e perspetivas na implementação dos VE
- 4.4 Estudo da implementação de estruturas de carregamento e troca de baterias em Portugal

4 IMPLEMENTAÇÃO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS

Neste capítulo são abordados os fatores impulsionadores, limitações e desafios técnicos na implementação dos VE. São abordados os impactos e perspectivas na implementação dos VE, e por fim, é feito um estudo da implementação de estruturas de carregamento e troca de baterias em Portugal.

4.1 Fatores impulsionadores

Como foi descrito no capítulo anterior, quando comparamos os VE com os HEV estes últimos apresentam mais vantagens que os VE. O seu custo é menor e a qualidade e performance são superiores. Tudo isto leva a que os consumidores ainda não estejam completamente convencidos em optar por um veículo completamente elétrico.

Os fatores impulsionadores para a implementação e utilização dos VE são sobretudo razões ambientais e os incentivos governamentais.

4.1.1 Redução das emissões de gases de estufa

Os automóveis são responsáveis por cerca de 12% das emissões totais de dióxido de carbono (CO₂) da União Europeia (UE), o principal gás de efeito estufa. A UE tem estipulado limites máximos de emissões de CO₂ cada vez mais reduzidos, o que obriga as diversas marcas da indústria automóvel a desenvolver veículos mais eficazes, caso contrário, ficam sujeitas a multas pesadas. A meta de 130 g CO₂/km foi gradualmente introduzida entre 2012 e 2015, no entanto o novo decreto europeu definiu a nova meta de emissões para 2021 como 95 g CO₂/km. Este é um valor que coloca a maioria dos VMCI fora do mercado principalmente os veículos movidos a gasóleo, obrigando assim as marcas automóveis a procurar fontes de energia limpa como é o caso dos veículos elétricos. No entanto, a lei não é muito restrita pois permite que os fabricantes se agrupem. Por exemplo, o grupo Fiat Chrysler (FCA), com veículos que não cumprem limites de emissões de CO₂, estabeleceu uma aliança com o grupo Tesla que se dedica exclusivamente aos VE. Esta aliança permite a redução das emissões médias dos veículos do grupo FCA, pois os veículos Tesla apresentam zero emissões [57], [58].

Com vista a reduzir as emissões de gases de estufa, vários países traçaram diferentes objetivos para a implementação de VE de acordo com vários planos ou normas internacionais descritas na Tabela 4.

Tabela 4 – Objetivos dos vários países para a implementação dos VE [59].

Países	Objetivos	Data limite	Plano ou normas internacionais
Estados Unidos (EUA)	1 milhão de VE	2015	EV Everywhere Grand Challenge Blueprint, 2012
Reino Unido	1,7 milhões de VE	2020	Committee on Climate Change, 2010
Alemanha	1 milhão de VE	2020	National Development Plan for Electric Mobility, 2009
França	2 milhões de VE	2020	French government (IA-HEV, 2014)
Japão	Quota de mercado ser 50% de VE	2020	Next-Generation Vehicle Strategy 2010
China	0,5 milhões de VE 5 milhões de VE	2015 2020	Energy saving and energy automobile industry planning (2012–2020)
Noruega	0,05 milhões de VE	2018	The Norwegian government

Com o auxílio destes e outros planos e normas internacionais, motivados pela redução de emissões de CO₂, o mercado de VE recebe um impulso significativo. Contudo, observam-se que alguns dos objetivos estabelecidos, e já próximos da sua data limite, estão ainda longe de estar cumpridos. É o exemplo da China, que estabeleceu um plano de 5 milhões de VE para 2020 e em outubro de 2018 conta apenas com 1,28 milhões de VE no seu mercado [60]. No entanto, estes números perspetivam assim um crescimento exponencial para este mercado.

4.1.2 Subsídios e apoios dos governos

Como já foi exposto no capítulo anterior, um pouco por todo o mundo, à semelhança da Europa, estão a ser implementados vários incentivos com o objetivo de expandir o mercado dos VE.

Os governos, como mostrado na Figura 17, têm duas vertentes de apoios, o apoio aos consumidores na compra dos VE e o apoio aos fabricantes na produção e venda dos VE. Nesta figura estão enunciados os vários apoios disponibilizados por diferentes governos, os Estados Unidos, a Europa e a China.

Na compra dos VE todos estes governos têm implementados os subsídios diretos que pretendem captar o consumidor aquando da compra de um VE.

Paralelamente a estes subsídios diretos, existem incentivos fiscais, economia de custo de combustível e outros incentivos que pretendem proporcionar ao consumidor, nesta fase de mudança e implementação dos VE, uma redução nos custos de utilização destes veículos face aos VMCI.

Os governos apoiam ainda os fabricantes na pesquisa, desenvolvimento, produção e venda destes veículos. Implementando para isso subsídios diretos, incentivos fiscais e outros incentivos tais como a substituição das suas frotas por VE [59].

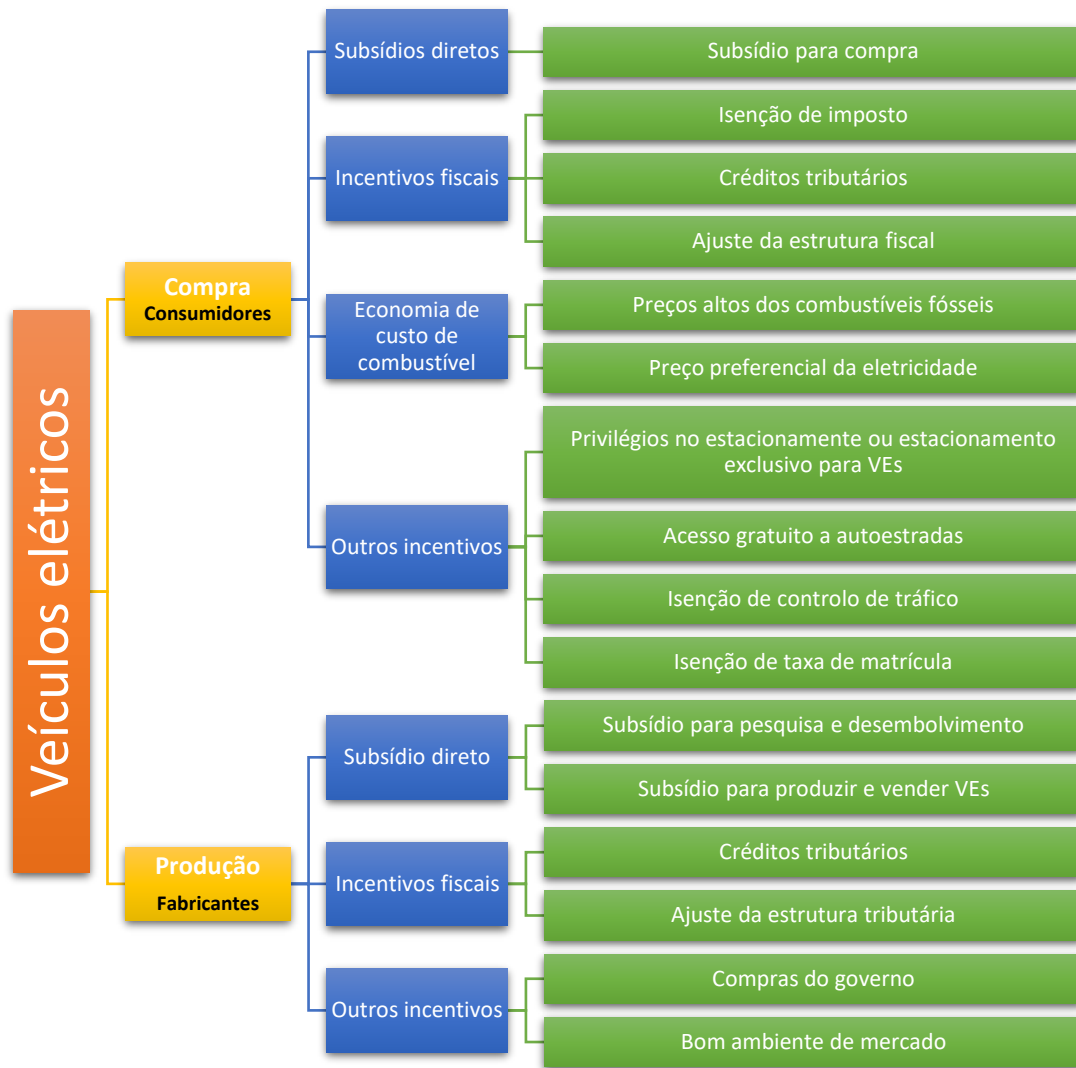


Figura 17 - Incentivos financeiros existentes a nível mundial na implementação dos VEs [59].

Desta forma a Figura 17 mostra-nos as diferentes táticas que promovem o desenvolvimento dos VE e que são adotadas por cada país de acordo com a sua estrutura e perspetivas de implementação.

4.2 Limitações e desafios técnicos

4.2.1 Baixa autonomia da bateria

Atualmente, os veículos elétricos mais vendidos ainda têm baixa autonomia, cerca de 300 km. Já é possível encontrar VE com autonomia próxima dos 600 km, contudo os preços de aquisição disparam. Por exemplo, o Tesla Model 3 com uma autonomia de 409 km é vendido por 48900 € e com uma autonomia de 560 km é vendido por 59600 €, o que representa uma diferença de 10700 € por uma autonomia superior em apenas 151 km [50], [61].

Um dos motivos pelos quais os veículos estão limitados em termos de autonomia é o facto da capacidade de uma bateria estar diretamente relacionada com o seu peso.

Ou seja, atualmente não é possível termos uma bateria com elevada capacidade e baixo peso. As melhores baterias neste ponto de vista são as baterias compostas de íon-lítio, que conseguem acumular entre 90 e 130 Wh por cada quilograma [62].

Presentemente, existem quatro tipos de baterias usadas nos VE: chumbo-ácido (PbA), níquel-metal hidreto (NiMH), sódio e íon-lítio. A Tabela 5 resume as diferentes características destes 4 tipos de bateria.

Tabela 5 – Características dos diversos tipos de baterias [62].

		Energia (Wh/kg)	Vida útil (ciclos)	Custos	Segurança	Desvantagens
PbA		30 – 50	200 – 300	X	Estável	Baixa energia
NiMH		60 – 80	300 – 500	3X	Estável	Baixo desempenho
Sódio		100 – 110	> 1000	3X	Estável	Opera a 270°C
Íon-lítio	NCA	100 – 130	> 800	5X	Necessitam de proteção	Custo e segurança
	NMC	100 – 130	> 1000			
	LFP	90 – 110	> 2000			

As baterias PbA são bastante usadas no acionamento elétrico dos VMCI, contudo são pouco usadas nos VE pois apresentam baixa capacidade energética e um ciclo de vida curto (máximo 300 ciclos).

As baterias de sódio apesar de apresentarem boas performances (energia e vida útil), têm poucas empresas dedicadas ao seu desenvolvimento. Além disso, o facto de ter de operar a 270°C, para manter o sal no estado líquido, obriga a um pré-aquecimento da bateria e a um gasto de energia acrescido para a manter a esta temperatura.

As baterias de NiMH são baterias com relativamente baixa capacidade energética e a sua vida útil também não é muito elevada. No entanto, estas baterias são melhor opção que as baterias PbA, mas apresentam um baixo desempenho quando comparadas com as baterias de sódio.

As baterias íon-lítio aquecem nos processos de carga e descarga o que obriga à utilização de equipamento e dispositivos de segurança. Isto faz com que haja também algumas perdas sob a forma de calor. As nomenclaturas NCA, NMC e LFP são usadas para identificar a constituição química de algumas das baterias de íon-lítio:

NCA – lítio, níquel, cobalto e alumínio;

NMC – lítio, níquel, manganês e cobalto;

LFP – fosfato de ferro-lítio.

Desta forma, as diferentes constituições das baterias íon-lítio diferenciam as suas prestações ao nível de energia acumulada e vida útil.

Atualmente ainda não existe um tipo de bateria ideal e existem muitas matérias a explorar no fabrico das mesmas. Neste contexto, os fabricantes de automóveis têm criado parcerias com diversos fabricantes de baterias, de forma a que juntos, trabalhem no desenvolvimento rápido e próspero das baterias [62].

4.2.2 Tempo de carregamento da bateria

À medida que o mercado dos VE vai aumentando, novas questões surgem relativamente à utilização destes veículos. Para além das questões de autonomia das baterias, uma grande dificuldade apontada pelos potenciais utilizadores é o tempo de espera para o carregamento das mesmas. Neste contexto, vários estudos sobre as diferentes técnicas e modos de carregamento foram efetuados nos últimos anos. Atualmente, existem três níveis de carregamento distintos: nível 1 – cómodo; nível 2 – rápido; nível 3 – super-rápido [63].

O carregamento cómodo é um carregamento lento que pode durar até 12 horas. Este carregamento é normalmente usado nas habitações através da sua rede de abastecimento elétrico normal, sem necessidades de aumento de potência, sendo que o veículo é carregado durante a noite e em períodos que o utilizador sabe que não vai precisar de se deslocar. Desta forma os utilizadores, inadvertidamente, acabam por necessitar da energia elétrica nos períodos noturnos em que o seu preço é mais reduzido.

O carregamento rápido consiste num carregamento com elevada transferência de energia entre a bateria e a rede de abastecimento. Esta elevada transferência é conseguida através de supercarregadores disponíveis em postos de abastecimento públicos e também nas habitações pessoais, contudo requer uma grande potência contratada que por norma não está incluída nas redes de alimentação domésticas.

O carregamento super-rápido consiste numa transferência de energia ainda maior entre a bateria e a rede de abastecimento, e é capaz de elevar o nível da bateria até aos 80% em apenas 30 min. Este tipo de carregamento, disponível apenas nos postos de abastecimento públicos, requer da rede de abastecimento elétrica uma potência de tal forma elevada, que chega a causar picos energia aos quais a rede é incapaz de dar resposta [63].

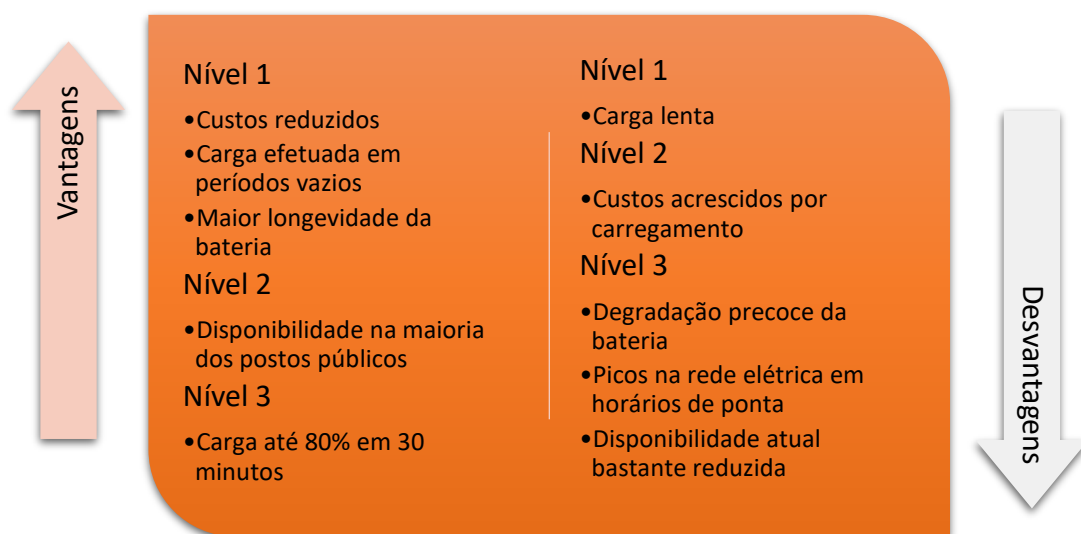


Figura 18 - Vantagens e desvantagens dos diferentes níveis de carregamento.

Estes três níveis de carregamentos apresentam vantagens e desvantagens como mostra a Figura 18. O nível de carga super-rápido da bateria proporciona ao utilizador um veículo capaz de percorrer maiores distâncias em menos tempo. Contudo as cargas super-rápidas, devido às elevadas transferências de energia, causam o aquecimento das baterias. Este sobre aquecimento causa uma degradação prematura da bateria. Para além do aquecimento, as baterias, à medida que se aproximam da sua carga máxima, vão limitando a quantidade de energia que lhes é transferida. Assim, apenas é possível efetuar uma carga rápida até aos 80% de capacidade [63].

Os sistemas de carregamento de VE são também classificados de acordo com o modo de transferência de energia, como: sistemas de carregamento condutor, sistemas de carregamento indutivo e redes de troca de baterias. Os sistemas condutores necessitam de uma ligação física, ou seja, a energia é transferida usando um contato por cabo entre a rede de energia e o veículo. Por outro lado, o sistema de carregamento indutivo, também conhecido como sistema de carregamento sem fio, não precisa de ligação física entre a rede de energia e o VE. Neste sistema a energia é transferida a partir dum campo eletromagnético criado por bobinas instaladas nas estações de carregamento e nos VE. O terceiro tipo principal de sistema de carregamento é baseado na técnica de troca de bateria, com este sistema os proprietários de VE podem trocar baterias descarregadas por baterias totalmente carregadas [63].

O sistema de carregamento condutivo, é atualmente, o mais utilizado no carregamento dos veículos elétricos, e tem como principal vantagem baixas perdas na transferência e baixo custo no equipamento [63].

O carregamento por indução eletromagnética foi uma tecnologia que apareceu inicialmente no carregamento dos *smartphones*. Recentemente foi explorada a possibilidade de aplicar a mesma no carregamento das baterias dos automóveis. Consiste num carregamento isento de contacto físico, é criado um campo magnético na fonte de energia que posteriormente é captado por uma bobine aplicada no automóvel. Esta bobine ao captar o campo magnético transfere a energia elétrica à bateria fazendo assim o seu carregamento. Esta tecnologia permite o carregamento sem o contacto físico e com alguma distância entre o sistema de carregamento e o automóvel. Assim, este sistema, permite que o veículo carregue, por exemplo enquanto está parado num semáforo, para isso basta que este equipamento esteja instalado no solo da estrada onde o veículo está parado[63].

As estações de troca de baterias, consistem em locais que permitem ao utilizador trocar a sua bateria descarregada por uma bateria carregada. Este sistema permite que o utilizador passe de um estado de autonomia próximo de 0 para 100% em poucos minutos [63].

Estas três tecnologias estão já a ser adotadas em alguns países, sempre na tentativa de melhorar a sustentabilidade ambiental dos seus veículos.

Por exemplo, na China a marca NIO troca a bateria do seu modelo ES8 em apenas três minutos, através de uma estação automática de troca de baterias desenvolvida pela marca [64].

A tecnologia de troca de baterias de facto já existe, mas está associada a cada marca, não havendo um mínimo de padronização das baterias entre as diversas marcas para tornar esta tecnologia mais acessível globalmente.

Padronização das baterias é um fator a explorar mesmo para o tratamento dos resíduos quando esta se encontra em fim de vida.

4.3 Impactos e perspetivas na implementação dos VE

O aumento da venda de veículos elétricos, reduz a dependência dos combustíveis fósseis por parte da sociedade atual. Mas ao mesmo tempo, aumenta significativamente a dependência de energia elétrica.

Atualmente, apesar de parte da energia portuguesa ser produzida a partir de energias renováveis, Portugal ainda depende de fontes de energia poluentes para a produção de energia elétrica nos maiores picos de consumo. Com a implementação dos VE no mercado automóvel, a tendência aponta para um aumento dos picos de consumo, obrigando a um sobredimensionamento da rede.

De outro ponto de vista, a implementação de sistemas inovadores na gestão de carga dos VE, que permitam a distribuição pelos períodos de menor consumo, vem ajudar no equilíbrio de toda a rede de abastecimento elétrica [65].

As baterias usadas na alimentação dos VE, terão um aumento substancial de procura no mercado, atualmente são procuradas no mercado uma quantidade de baterias que totaliza a capacidade de 25 GWh, e prevê-se em 2025 o aumento desta procura, sete vezes superior à atual (175 GWh).

Por outro lado, o aumento do número de baterias levanta preocupações relativas à possível escassez das matérias constituintes da bateria. Assim, num futuro próximo será necessário procurar novos locais de mineração das matérias constituintes das baterias. Além disso, o elevado número de baterias levanta também preocupações ambientais, nomeadamente a forma como estas baterias serão tratadas quando atingem o final do seu ciclo de vida útil. As matérias constituintes das baterias são extremamente prejudiciais para a natureza e por isso carecem já de planos para a sua recuperação ou o seu tratamento por parte dos governos [38], [66].

As baterias representam atualmente metade do custo de um VE, contudo prevê-se a descida do custo das baterias, de tal forma, que em 2020, sem fazer conta aos incentivos dos governos, os VE terão assegurada a sua competitividade relativamente aos VMCI. As perspetivas para o mercado de VE são bastante positivas. Em Portugal desde 2011 houve um aumento médio anual de 45% e prevê-se um aumento de 33% em 2020. [65].

Este aumento de VE no parque automóvel português requer a constante implementação de novos sistemas de abastecimento, bem com novas políticas auxiliares.

4.4 Estudo da implementação de estruturas de carregamento e troca de baterias em Portugal

O mercado de veículos elétricos português ainda tem algumas falhas ao nível de infraestruturas. É verdade que não há um aumento significativo deste mercado, mas ao mesmo tempo também não existem infraestruturas capazes de suportar este aumento.

Assim, neste subcapítulo será apresentado um estudo do custo e exequibilidade de implementação de infraestruturas para carregamento de baterias dos VE, assim como uma rede de troca de baterias (troca de bateria vazia por outra cheia em poucos minutos). No caso da existência de uma rede de troca de baterias eficaz, a questão da autonomia das baterias teria pouca importância, uma vez que tal como os utilizadores de VMCI reabastecem o seu depósito em poucos minutos, um utilizador de VE poderia trocar a sua bateria em poucos minutos e seguir viagem.

4.4.1 Análise do setor e concorrentes

Como já foi dito anteriormente, este tipo de redes de troca de baterias já é usado em alguns países. Na China, por exemplo, a marca de automóveis NIO desenvolveu duas redes com postos para troca de bateria, uma entre Pequim e Xangai (1200 km), e outra entre Pequim e Shenzhen (2200 km) apresentadas no Anexo 1. Com o desenvolvimento destas redes, os utilizadores de VE da marca NIO podem deslocar-se entre Pequim e Xangai (1200 km) em apenas 12 horas. Atualmente a NIO é a única marca automóvel no mundo que tem de facto esta rede implementada e em funcionamento [67].

Em 2013, a empresa Tesla tentou também implementar este sistema de troca de baterias, contudo numa modalidade diferente da NIO. No sistema implementado pela NIO, as baterias são propriedade da NIO e o utilizador apenas paga um aluguer livrando-se de outros custos associados à bateria. Já no caso do sistema implementado pela Tesla, o utilizador é proprietário de uma bateria e pode trocá-la por outra que é propriedade da empresa Tesla. Em seguida a empresa compromete-se a carregar a bateria do utilizador e posteriormente a disponibilizá-la para troca apenas ao utilizador original. Este método não é o mais apreciado pelos utilizadores, pois estes desconfiam do serviço e têm receio que a sua bateria seja trocada por uma em pior estado, com mais uso e mais quilómetros percorridos. A Tesla manteve apenas algumas estações com este serviço disponível através de marcação para testar a sua viabilidade, contudo a partir de julho de 2016 deixou de ser possível o agendamento de trocas de baterias. A Tesla abandonou o projeto por tempo indeterminado justificando que iriam priorizar o investimento em carregadores rápidos [68].

Na Suécia existe também uma empresa, a Powerswap, que tem tentado implementar este sistema numa modalidade um pouco diferente das que foram faladas anteriormente. A Powerswap pretende adaptar os veículos aderentes a esta tecnologia criando dois suportes na parte inferior do veículo para colocar duas baterias. Estas baterias externas seriam trocadas facilmente através do seu deslizamento pela lateral do veículo. E à semelhança de uma *powerbank* forneceriam energia à bateria interna do

veículo. Para isso esta empresa já desenvolveu um veículo protótipo, o Renault ZOE, Figura 19 e procura assim parceiros e investidores para o seu negócio [69].



Figura 19 - Renault ZOE adaptado pela Powerswap [69].

Esta ideia da Powerswap é bastante interessante, pois uma grande dificuldade na implementação do serviço de troca de baterias internas é o facto de cada modelo de veículo ter uma bateria diferente, assim a utilização de baterias externas que alimentem as internas é muito vantajosa.

Atualmente, não há tipos de baterias padronizadas, que fabricantes de automóveis sejam obrigados a usar. Para cada modelo de veículo, cada fabricante desenvolve a sua bateria com o formato, dimensões e características que pretende. Uma norma que padronize as baterias, que por exemplo apenas permitisse pequenas alterações no comprimento consoante a sua capacidade, facilitaria bastante a implementação deste tipo de redes. Pois se existissem poucos modelos de baterias, seria possível criar pontos de troca de bateria, com todos os modelos disponíveis em grandes quantidades.

4.4.2 Análise do mercado alvo

Numa fase inicial de estudo de aceitação deste serviço pelos utilizadores, poder-se-ia implementar pontos de troca de bateria onde se começaria por disponibilizar o serviço apenas para os veículos mais presentes no mercado.

Na Tabela 6 são apresentados os veículos mais vendidos em Portugal entre janeiro de 2017 e março de 2019. A partir de uma primeira análise podemos concluir que os VE mais utilizados em Portugal são o Nissan Leaf e o Renault Zoe.

Tabela 6 – Veículos elétricos mais vendidos em Portugal [70]–[72].

Marca	Modelo	Compatibilidade da bateria em diferentes versões	Vendas			
			2017	2018	1º Trimestre 2019	Total
Nissan	LEAF	Não	318	1593	1032	2943
Renault	ZOE	Sim	751	1305	547	2603
BMW	i3	Sim	281	363	291	935
Tesla	Model 3	Sim	--	--	853	853
	Model S	Sim	--	--	170	170
	Model X	Sim	--	--	120	120

Nesta tabela é ainda analisada a compatibilidade entre as baterias dos diferentes veículos. Até ao momento, as marcas Renault, BMW e Tesla possibilitam a atualização das baterias em todos os modelos. Isto significa que todos os modelos de VE mais antigos são compatíveis com a bateria dos modelos mais recentes. No caso da Tesla, esta compatibilidade também se verifica entre os três modelos comercializados [73]–[75]. A Nissan, marca de VE mais vendida em Portugal, é a única que não permite a atualização das baterias em nenhum dos seus modelos. Tem atualmente 4 versões de baterias no mercado com 24 kwh, 30 kwh, 40 kwh e 62 kwh [76].

Com base nesta informação de compatibilidade de baterias, obtemos 7 tipos de baterias diferentes para os VE mais vendidos em Portugal:

- Nissan Leaf 24 kwh, veículos vendidos até março de 2016 (que não são considerados na tabela);
- Nissan Leaf 30 kwh, 318 unidades de veículos vendidos entre março de 2016 e início 2018 [77];
- Nissan Leaf 40 kwh, veículos lançados a partir de janeiro de 2018 [78];
- Nissan Leaf 60 kwh, veículos lançados a partir de maio de 2018, estes dois últimos tipos de baterias, juntos, perfazem um total de 2625 veículos vendidos em Portugal [79];
- Renault ZOE 41 kwh, que consegue abranger os 2603 VE vendidos em Portugal entre 2017 e o 1º trimestre de 2019;
- BMW i3 42,2 kwh, que se estende aos 935 VE vendidos e Portugal;
- Tesla 100 kwh, que equipa um total de 1143 veículos vendidos pela marca durante o 1º trimestre de 2019.

Considerando apenas os veículos lançados a partir de 2018, a marca Nissan contém no mercado dois tipos de baterias que estão a ser vendidas simultaneamente tornando difícil saber qual a mais vendida.

Por esta razão, e tendo em conta as vendas do 1º trimestre de 2019, os potenciais clientes do serviço de troca de baterias em Portugal seriam os utilizadores dos veículos Tesla e os utilizadores do Renault ZOE. A Tesla começou a comercializar os seus veículos em Portugal a partir de janeiro de 2019, contudo em apenas três meses ultrapassou o número de vendas da Nissan e da Renault no mesmo período.

Assim, numa fase inicial, os pontos de troca de bateria implementados em Portugal disponibilizariam automaticamente baterias para veículos da marca Tesla e para o Renault ZOE. Eventualmente, estes pontos também poderiam disponibilizar baterias para outros VE mas apenas por reserva antecipada.

4.4.3 Análise geográfica

Em Portugal existem dois distritos com uma grande densidade populacional, Porto e Lisboa. Para a implementação do sistema de troca de baterias é importante que este esteja instalado perto do mercado já existente. Contudo, é também importante que numa visão futura este sistema consiga cobrir os maiores aglomerados populacionais. No caso destas duas cidades as duas condições são satisfeitas visto que representam os dois maiores aglomerados populacionais e também são as duas regiões onde o parque dos VE é mais importante. Para além da implementação deste sistema nas cidades, é também importante a sua implementação ao longo da rede rodoviária que faz a ligação entre estas duas cidades. A principal ligação rodoviária entre estas duas cidades é a autoestrada A1, mostrada na Figura 21, tem uma extensão total de 300 km e teve no primeiro semestre de 2019 uma utilização média diária de 59 446 veículos [80].

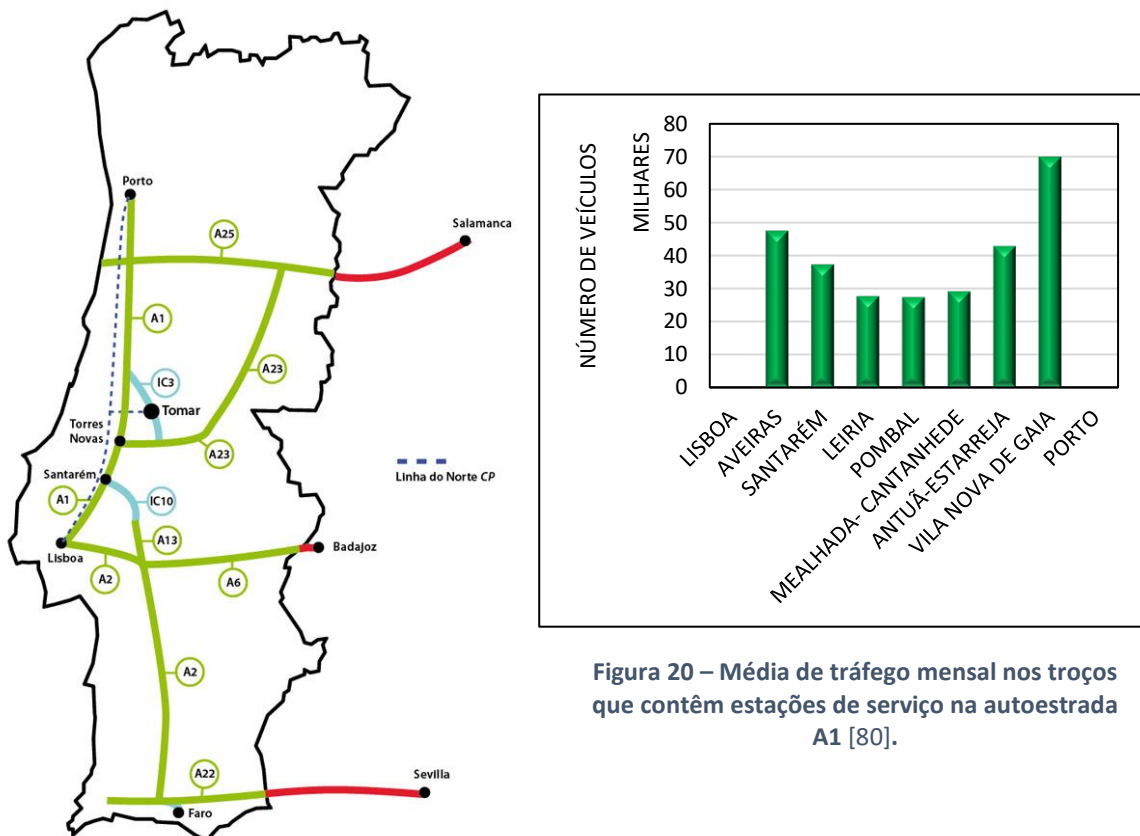


Figura 21 – Mapa de Portugal [90].

Ao longo desta autoestrada existem sete estações de serviço distribuídas entre 40 a 50 km uma das outras. De entre estas estações apenas Vila Nova de Gaia, e Mealhada no sentido Porto – Lisboa, não estão equipadas com postos de carregamento

para VE, todas as restantes têm instalados postos de carregamento rápido (PCR). A estação de serviço de Vila Nova Gaia não justifica a inserção de um PCR uma vez que este troço de autoestrada é isento de portagens. Mas ainda, encontra-se bastante perto da cidade do Porto onde facilmente é possível encontrar PCR [81].

Desta forma, a ligação entre estas duas grandes cidades portuguesas já é possível ser feita com qualquer veículo elétrico, contudo em alguns casos obriga o condutor a fazer paragens numa destas estações a aguardar o carregamento parcial do veículo.

A Figura 20, mostra-nos o número médio de veículos que circulam mensalmente nos troços com áreas de serviço na autoestrada A1. Salienta-se que os troços mais próximos das cidades Porto e Lisboa são os mais movimentados, devido, principalmente aos grandes aglomerados populacionais adjacentes a estas duas cidades.

Atualmente, como a presença dos VE nas estradas portuguesas ainda é relativamente baixa, também a procura de postos de carregamento nestes itinerários de longo curso é relativamente baixa. Nos postos de carregamento ao longo da autoestrada A1 acima mencionados, apenas é possível, no máximo, carregar dois veículos em simultâneo. Atualmente é suficiente, mas transmite insegurança aos utilizadores que ponderam adquirir um VE. Leva-os a pensar que o país não estará preparado para uma grande adesão aos VE [82].

Um fator de segurança que motiva os utilizadores a adquirir um VE, é a larga e rápida expansão das redes de carregamento. Um cidadão que pondera adquirir um VE, verifica se nos seus movimentos diários encontra locais onde facilmente poderia recarregar um VE, e mediante a disponibilidade destes locais ele torna-se ou não num potencial comprador.

Um VE quando recorre a um destes postos de carregamento, automaticamente irá ocupar o mesmo por um período de 30 minutos. Assim, para se poder comparar a capacidade destes postos com a dos postos de combustível fóssil atuais em que o abastecimento demora cerca de 5 minutos, os veículos abastecidos em simultâneo teriam de ser 6 vezes mais [65].

A implementação do sistema de troca de baterias em simultâneo nos postos de carregamento ajudaria a atenuar a capacidade necessária no abastecimento de VE. Tornaria, assim, o sistema mais competitivo face aos postos de abastecimento de combustíveis convencionais. Estas estações ao terem várias baterias disponíveis para troca, acabariam por se tornar grandes armazéns de energia. Ficaria assim ao seu dispor a gestão da carga de todas estas baterias. Uma interligação entre estas estações e a rede de abastecimento permitiria uma gestão da carga das baterias em momentos vazios evitando assim picos na rede de abastecimento elétrica [83].

Para a implementação do sistema de troca de baterias numa fase inicial, motivado pela existência de diversos tipos de baterias, seria importante a implementação do mesmo em grandes aglomerados populacionais e com uma enorme capacidade de resposta.

A implantação deste sistema, apenas nas duas grandes cidades Porto e Lisboa, permite que toda a população do litoral (em redor destas duas cidades) se desloque até às mesmas e consiga voltar a casa apenas com uma pausa de 5 minutos para trocar a

bateria. Por exemplo, um cidadão que habita em Coimbra, sai da sua habitação com a autonomia do seu VE a 100%, desloca-se até à cidade de Lisboa (cerca de 200 km) e trata dos seus assuntos sem se preocupar em encontrar um estacionamento livre onde possa carregar o seu VE, de seguida apenas se desloca ao posto de troca de bateria e em apenas 5 minutos obtém a autonomia necessária para voltar a sua casa [81].

A localização dos postos de troca de bateria é menos restrita que a dos postos de carregamento, pois neste tipo de sistema o tempo de espera é reduzido, permitindo a um utilizador que se desloque a um local de troca, seguir viagem logo que possível. Por outro lado, quando o utilizador de VE se desloca ao posto de carregamento, este posto deve estar localizado em pontos de frequência indispensável por parte do utilizador (por exemplo parques de zonas comerciais ou industriais) para que este possa tratar dos seus assuntos enquanto a bateria carrega, caso contrário o utilizador fica imobilizado.

A evolução do parque de VE em Portugal de acordo com a Figura 22 tem crescido em média 45%, e prevê-se um crescimento para 2020 de 33%.

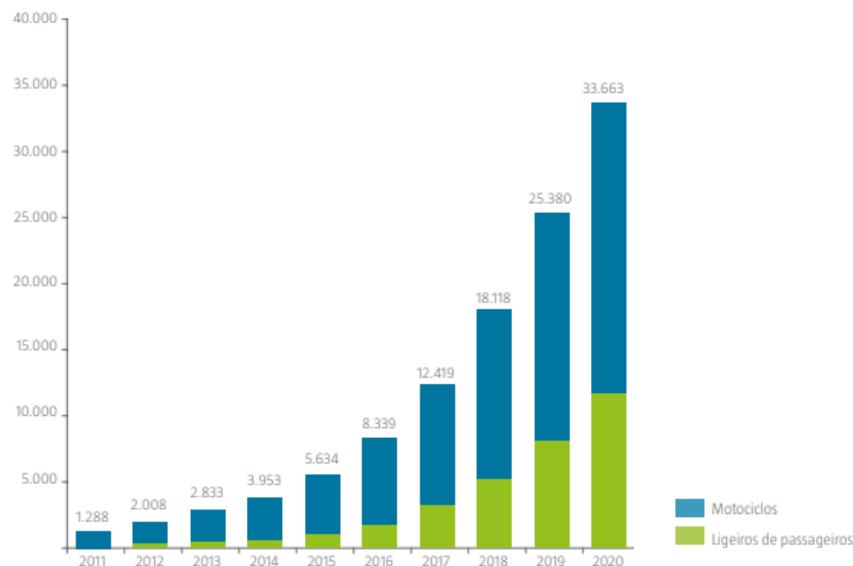


Figura 22 – Evolução do parque de veículos elétricos em Portugal [65].

Este cenário exige a rápida adoção de medidas na expansão de infraestruturas.

4.4.4 Análise de custos e benefícios

A implementação de um sistema de troca de baterias numa das grandes cidades portuguesas exige um investimento inicial na conceção das infraestruturas e na compra de baterias. A conceção da infraestrutura para o serviço inclui o desenvolvimento de um mecanismo capaz de proceder à troca da bateria de forma rápida e automática. Para dar início a uma implementação real é necessário a constituição de uma equipa que inclua elementos de várias áreas, como por exemplo, no desenvolvimento de novos sistemas tecnológicos e informáticos, para efetuar o estudo de viabilidade não só financeira, mas também a nível de legislação.

A participação das empresas fabricantes de VE é indispensável na obtenção de dados e necessidades acerca das baterias a utilizar [83]. A necessidade das baterias, por exemplo, no caso de se querer servir os clientes dos veículos Tesla, considerando a distância diária média percorrida por um português 50 km [84], e considerando a autonomia do veículo de 560 km [85], isto leva a que o utilizador necessite em média de uma troca de bateria a cada 10 dias. Como existem no mercado 1143 veículos Tesla e, considerando que se pretende atender à procura de 20% destes veículos, são obtidos 230 veículos a cada 10 dias. Atendendo à necessidade de armazenamento das baterias de pelos menos 12 h (tempo de carga), resulta numa necessidade de 12 baterias para corresponder à procura de 20% dos veículos Tesla.

Num curto espaço de tempo e sem a colaboração de vários serviços, como o financiamento e incentivo iniciais por parte do governo e o apoio dos fabricantes, não é possível a implementação deste sistema pois o investimento inicial é muito elevado.

Há ainda um elevado risco do sistema não ser viável por causa das marcas de automóveis envolvidas. Para que o sistema de troca de baterias tenha um sucesso contínuo e garantido, as baterias sucessoras devem sempre permitir atualizar a antiga, e isto só pode ser assegurado pelas marcas de VE.

Este sistema ao longo do tempo exige a substituição das baterias com elevado desgaste por baterias novas. No momento de substituição, caso as baterias de versão mais recente sejam compatíveis com as versões anteriores, torna-se possível manter todo o stock de baterias devidamente atualizado e com baixos custos acrescidos. Caso contrário, existirão cada vez mais versões de baterias e tornar-se-á necessário estudar constantemente quais as versões de baterias a disponibilizar no serviço.

Com o referido anteriormente, o consenso entre empresas do setor para a normalização do tipo de baterias a utilizar nos VE, é um fator chave para o sucesso do sistema de troca de baterias.

No entanto, Portugal só estará preparado para receber este tipo de serviço quando o número de VE aumentar consideravelmente. Isto explica-se porque, ao contrário da China, único país onde existe este serviço em funcionamento por parte de um fabricante local de VE, Portugal não possui fabricantes de VE nacionais. Portanto há ainda um longo caminho a percorrer nesse sentido. Considerando implementado o sistema e em funcionamento, em seguida são apresentados cálculos que pretendem demonstrar a sua viabilidade.

Como referido anteriormente, sabe-se que, com o decorrer dos quilómetros e com o uso das baterias, estas vão sofrendo degradação na sua capacidade. Assim os custos para manter o sistema de troca de baterias em funcionamento são em: eletricidade, manutenção de mecanismos, aquisição e abate de baterias, software e recursos humanos. A receita deste sistema é o valor pago pelo utilizador em cada troca de bateria. Este tem de ser ajustado de forma a tornar o sistema competitivo, algo que atualmente se torna impossível devido à existência de carregadores rápidos de uso gratuito, contudo este benefício existe apenas atualmente como forma de incentivo ao uso de VE.

Usando como exemplo o Tesla Model S em que o seu consumo ronda os 19,2 kwh/100km [85], considerando a autonomia de 560 km [85] por troca e o preço de 0,1381 €/kwh para utilizadores indústrias [86], obtém-se um custo de 15 € apenas para efetuar a carga de uma bateria. O mesmo carregamento feito pelo utilizador do VE na sua habitação, considerando o preço de kwh para utilizadores domésticos de 0,2246 € [86], tem um custo de 25 €, ou seja uma diferença de 40%.

De forma a percebermos a durabilidade das baterias já existem estudos que com base no histórico de alguns VE permitem afirmar que degradação da capacidade nos primeiros 50 000 km decresce 5%. Contudo, posteriormente esta degradação desacelera chegando na maioria dos casos aos 200 000 km com 90% de capacidade [87]. Considerando a substituição das baterias com degradação superior a 10% por baterias novas, então esta substituição seria efetuada após aproximadamente 350 trocas. Diluindo o custo de uma bateria nova (9240 € [88]) pelas 350 trocas, resulta em 26,4 € por cada troca. Contudo num futuro próximo estima-se que o preço de aquisição das baterias decresça 30%, o que resulta num custo de 18,5 € por cada troca de bateria [89].

Considerando um acréscimo de 40% para cobrir todos os restantes gastos como manutenção de equipamentos, recursos humanos, entre outros, o custo final para efetuar uma troca de bateria seria 46,9 €. Este valor inclui todas as despesas relativas à manutenção da baterias e abastecimento dos VE e consegue ser competitivo relativamente aos VMCI [89].

Contudo a metodologia de cobrança ao utilizador não poderia ser feita na totalidade apenas quando este procede à troca da bateria. Como o serviço garante a substituição da bateria quando a sua degradação assim o justificar, o utilizador que procedesse à troca de bateria apenas esporadicamente e que efetuasse a grande maioria dos carregamentos através de outros métodos, levaria a empresa detentora do sistema de troca de baterias à falência. Por isso a melhor forma de contornar este obstáculo seria imputar os custos de substituição de bateria ao utilizador através de uma renda mensal em função dos quilómetros percorridos. Assim o custo de aquisição de uma bateria nova, 6468 € (considerando o decréscimo de preço de aquisição previsto de 30%) diluído em 200 000 km resulta numa renda mensal de 0,0324 €/km arredondado por excesso. E o custo para cada troca de bateria nas estações seria 46,9 € menos os 18,5€ (que passa a ser cobrado através de renda mensal) o que resulta em 28,4 €. Embora este valor seja superior em 3,4 € ao custo de um carregamento doméstico, garante ao utilizador a troca, praticamente instantânea, da sua bateria quase vazia por uma carregada.

Em seguida, será feita uma análise SWOT para analisar o ambiente interno e externo da empresa e a sua posição face a empresas concorrentes. SWOT é um acrónimo para *Strengths* (forças), *Weaknesses* (fraquezas), *Opportunities* (Oportunidades) e *Threats* (ameaças) sendo que, forças e oportunidades são pontos positivos, e fraquezas e ameaças são pontos negativos. Para a análise do ambiente interno utilizam-se as forças e fraquezas e para o ambiente externo consideram-se as oportunidades e ameaças.

Analisando o ambiente interno, as forças encontradas no sistema de troca de baterias são: a rapidez com que a bateria é trocada que torna o VE muito próximo em termos competitivos dos seus concorrentes; é um serviço completamente novo que permite ser aprofundado e melhorado; todos os custos associados à manutenção e aquisição da bateria deixam de ser responsabilidade do utilizador do VE; o custo de troca de bateria é competitivo relativamente aos VMCI. As fraquezas encontradas no sistema são: o facto de existir apenas um projeto em funcionamento com sucesso em todo o mundo; depende do apoio das marcas, na conceção de baterias compatíveis com as anteriores, e do apoio governamental na regulamentação das baterias a serem usadas pelas marcas; depende ainda da aceitação da modalidade de troca de baterias por parte dos utilizadores.

No que diz respeito ao ambiente externo, as oportunidades encontradas são: as preocupações ambientais quer ao nível da sociedade em geral, quer ao nível dos governos, tem um impacto bastante positivo na implementação dos VE, e estes por sua vez, tem impacto no uso do sistema de troca de baterias; em Portugal não existe nenhum concorrente com o sistema de troca de baterias; a utilização de VE está em constante evolução; ao armazenar as várias baterias, este sistema de troca de baterias permite fazer a gestão do horário no qual é feita a carga das baterias, pelo que permite assim a gestão energética evitando sobrecargas da rede de abastecimento; beneficia por parte do estado de apoios e incentivos específicos para iniciativas de sustentabilidade. As ameaças em ambiente externo são: o desenvolvimento de novas tecnologias no fabrico de baterias e de super carregadores, atualmente com o constante desenvolvimento na área da mobilidade elétrica, as baterias estão cada vez mais eficientes e admitem cargas cada vez mais rápidas, ao passo que os carregadores acompanham proporcionando potências de carregamento cada vez mais altas, podendo assim tornar o sistema de troca de baterias insustentável; a presença dos VE no mercado automóvel corre o risco de rapidamente ser substituída por outras formas de alimentação de veículos (por exemplo FCV) no caso de existirem progressos que tornem qualquer outro sistema de alimentação não poluente mais competitivo que os VE; a localização dos sistemas de troca de baterias poderá não ser o mais adequado o que poderá levar a pouca aderência por parte dos utilizadores; devido aos custos de implementação, numa fase inicial existirão poucos pontos de distribuição o que leva a uma menor abrangência do sistema.

Na Figura 23, encontra-se resumida a análise SWOT acima descrita.

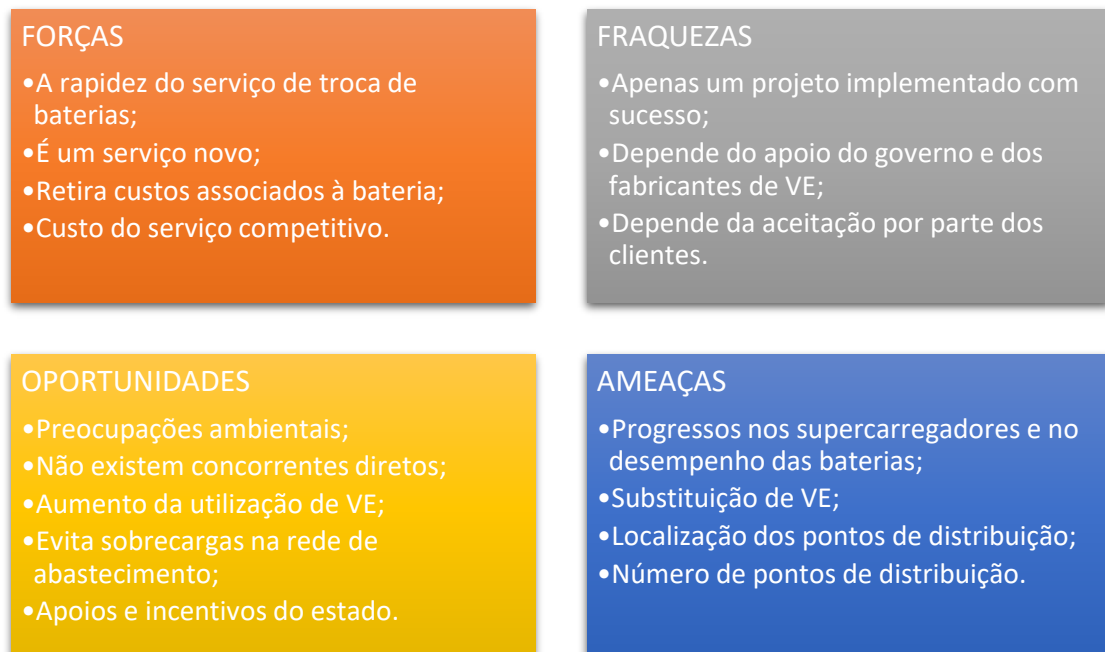


Figura 23 - Análise SWOT sobre a implementação de uma rede de troca de baterias.

Através do estudo acima efetuado, conclui-se que após a implementação do sistema, este seria sustentável. O sistema de troca de baterias cria valor para o consumidor e permite a entidade que o explora obter lucros. Contudo a fase de implementação exige um investimento elevado, pois para ter um sistema eficaz seria necessário comprar para cada ponto de troca, pelo menos: - 15 baterias (considerando apenas este serviço para os VE da marca Tesla), - 2 dois carregadores duplos, - 2 máquinas automáticas para efetuar a troca de baterias.

CONCLUSÕES

- 5.1 CONCLUSÕES
- 5.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

5 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES

Nesta dissertação analisou-se o mercado automóvel mundial, com especial enfoque no mercado de veículos elétricos.

No capítulo 2 descreve-se o estado da arte sobre o mercado automóvel e o seu desenvolvimento global. O primeiro VE surgiu em 1834, todavia só começou a ser popular nas últimas décadas, com as crescentes preocupações ambientais.

No capítulo 3, analisa-se o mercado automóvel atual, distinguindo a utilização dos VE em Portugal, na Europa e no mundo. Esta análise permitiu concluir que a venda e utilização dos VE está a aumentar de forma "exponencial" a nível mundial. Este aumento varia consoante a legislação e os incentivos de cada país ou região, assim como com o número de fabricantes de VE. Efetua-se um estudo comparativo, referindo vantagens e desvantagens, dos VE e dos seus concorrentes, nomeadamente HEV, VMCI e FCV. Este estudo permitiu concluir que os VE são a segunda escolha mais económica, considerando o custo propriedade durante três anos. Adicionalmente, os VE e os FCV são os únicos que emitem 0 g CO₂/km. A grande desvantagem dos VE é, sem qualquer margem para dúvidas, a sua baixa autonomia.

No capítulo 4, analisaram-se os fatores impulsionadores dos VE, identificaram-se as suas limitações, desafios técnicos, impacto e perspetivas futuras. Os fatores impulsionadores são os incentivos governamentais e uma maior consciencialização dos problemas ambientais. Como referido acima, a limitação maior é a baixa autonomia das baterias, que se alia ao elevado tempo de carga. Hoje em dia há passos importantes que se começam a dar para contornar estas limitações. Assim, neste capítulo faz-se ainda uma análise SWOT sobre a implementação de estruturas de carregamento e de troca de baterias em Portugal. Analisa-se o setor e os concorrentes, o mercado alvo, faz-se a análise geográfica e da relação custo/benefício. Conclui-se que a implementação de um sistema de troca de baterias é viável, apesar do elevado investimento inicial. Acresce ainda o facto de que apenas com a cooperação dos fabricantes de VE, no que se refere à conservação da compatibilidade das baterias, se conseguirá implementar o sistema. Este sistema de trocas terá de ter apoio governamental e a cooperação dos VE no fornecimento de informação sobre modelos de baterias em circulação, zonas geográficas, entre outros.

Em conclusão, o sistema de troca de baterias é exequível, com apoio governamental e cooperação dos fabricantes de VE.

5.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

Num cenário de sustentabilidade do planeta, o recurso à mobilidade elétrica no setor dos transportes assume-se como foco principal. Existem já projetos em desenvolvimento como o uso de baterias para a alimentação de sistemas de refrigeração em veículos pesados, o que permite que estes estejam imobilizados mantendo o sistema de refrigeração ativo, sem depender do uso de combustíveis fósseis. Este é um contributo que visa atingir os mesmos objetivos ambientais.

O uso de baterias, para substituir os geradores em caso de falhas temporárias de corrente elétrica, é uma hipótese que pode ser analisada com o objetivo de rentabilizar as baterias e reduzir os consumos e as emissões de um gerador comum.

Atualmente, nesta fase de transição, em termos de mercado automóvel, existem VMCI e VE com tecnologias muito avançadas, nomeadamente a incorporação de sistemas de navegação GPS. Esta tecnologia poderia ser utilizada para armazenar dados tão diversos como: número de viagens efetuadas, número de quilómetros percorridos, duração das viagens, gastos de combustível, duração das paragens, locais de paragem, etc. Esta informação poderia ser analisada para se decidir sobre a localização de novos postos de abastecimento elétrico.

Relativamente a flutuações na rede de abastecimento elétrico, poderiam ser desenvolvidos sistemas de controlo que permitissem o carregamento de baterias, em função da solicitação da eletricidade fornecida.

Além disso poderá ser criada uma aplicação ou sítio web que permite aceder à localização de disponibilidade de todos os postos de carregamento (ou ponto de troca de bateria).

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES
DE INFORMAÇÃO**

6 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- [1] E. Eckermann, *World History of the Automobile*. Society of Automotive Engineers, 2001.
- [2] C. C. Chan, "The Rise & Fall of Electric Vehicles in 1828–1930: Lessons Learned [Scanning Our Past]," *Proc. IEEE*, vol. 101, no. 1, pp. 206–212, 2013.
- [3] A. S. O. Y. Yu, L. L. C. Silva, C. L. Chu, P. T. S. Nascimento, and A. S. Camargo, "Electric vehicles: Struggles in creating a market," in *2011 Proceedings of PICMET '11: Technology Management in the Energy Smart World (PICMET)*, 2011, pp. 1–13.
- [4] M. Taylor, "Owners charged up over electric cars, but manufacturers have pulled the plug," *San Fr. Chron.*, 2005.
- [5] "IEA Electric Vehicles Initiative Accelerating the introduction and adoption of electric vehicles worldwide," *International Energy Agency Paris, France*. [Online]. Available: <https://www.iea.org/topics/transport/evi/>. [Accessed: 03-Apr-2019].
- [6] J. R. Hancock, "Há 200 anos foi criada a primeira bicicleta: estes foram os primeiros modelos," *EL PAÍS*, 19-Apr-2017. [Online]. Available: https://brasil.elpais.com/brasil/2017/04/19/deportes/1492597692_626497.html. [Accessed: 19-Aug-2019].
- [7] P. Fridenson, "Le rôle de l'industrie automobile dans le développement de la France, de l'Allemagne et de la Grande-Bretagne au XXe siècle," *Matériaux pour l'histoire notre temps*, n°47, 1997. *Hist. d'hier Ind. en Eur. Occident. 1880 à la fin des années 1960.*, 1997.
- [8] "Nicolas-Joseph Cugnot," *Encyclopaedia Britannica, inc*, 09-Aug-2019. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/biography/Nicolas-Joseph-Cugnot>. [Accessed: 29-Aug-2019].
- [9] "Necesidad de energía." [Online]. Available: <http://museovirtual.csic.es/salas/vida/vida2.htm>. [Accessed: 13-Oct-2019].
- [10] R. Saldo, "Primeiro táxi elétrico da história," *TESLA BRASIL*, 25-Nov-2013. [Online]. Available: <http://teslabrasil.com/etiam-congue-massa-eget-diam-volutpat-nec-fermentum/>. [Accessed: 19-Aug-2019].
- [11] "ZEEV." [Online]. Available: <https://www.zeev.pt/como-posso-carregar-o-meu-carro/>. [Accessed: 22-Aug-2019].
- [12] T. Zahl, "How Does An Internal Combustion Engine Work?," *CARID*, 09-May-2018. [Online]. Available: <https://www.carid.com/articles/how-does-internal-combustion-engine-work.html>. [Accessed: 27-Aug-2019].

- [13] “DAIMLER - Company History.” [Online]. Available: <https://www.daimler.com/company/tradition/company-history/1885-1886.html>. [Accessed: 20-Aug-2019].
- [14] D. Hernandez, “Este foi o primeiro carro a chegar aos 100 km/h – e que criou o famoso teste ‘0 a 100,’” *FlatOut*, 17-Oct-2014. [Online]. Available: <https://www.flatout.com.br/este-foi-o-primeiro-carro-a-chegar-aos-100-kmh-e-que-criou-o-famoso-teste-0-a-100/>. [Accessed: 19-Aug-2019].
- [15] “PreWarCar.” [Online]. Available: <https://www.prewarcar.com/pics/r2w-1200x800-caradverts/282041/282041-1547162299-1768615.jpeg>. [Accessed: 29-Aug-2019].
- [16] K. Decker, “Gas Bag Vehicles,” *LOW-TECH MAGAZINE*, 13-Nov-2011. [Online]. Available: <https://www.lowtechmagazine.com/2011/11/gas-bag-vehicles.html>. [Accessed: 27-Aug-2019].
- [17] J. Petzinger, “Europe’s intoxicating love affair with diesel is dying out,” *QUARTZ*, 22-Jan-2018. [Online]. Available: <https://qz.com/1183779/europes-intoxicating-love-affair-with-diesel-is-dying-out/>. [Accessed: 27-Aug-2019].
- [18] A. Wahab, “Diesel Engine,” *SCIENCE4FUN*, 26-May-2019. [Online]. Available: <http://science4fun.info/invention-of-diesel-engine/>. [Accessed: 27-Aug-2019].
- [19] “Hydrogen Fuel Cell Vehicle Technology: Past, Present & Future,” *Budget Direct*, 01-May-2017. [Online]. Available: <https://www.budgetdirect.com.au/blog/hydrogen-fuel-cell-vehicle-technology.html>. [Accessed: 29-Aug-2019].
- [20] A. Brown, “Here’s the story behind GM’s revolutionary electric car from the 90s that disappeared,” *BUSINESS INSIDER*, 16-Mar-2016. [Online]. Available: <https://www.businessinsider.com/gm-ev1-history-2016-3>. [Accessed: 29-Aug-2019].
- [21] R. Matulka, “The History of the Electric Car,” *ENERGY.GOV*, 15-Sep-2014. [Online]. Available: <https://www.energy.gov/articles/history-electric-car>. [Accessed: 29-Aug-2019].
- [22] G. Costa, “Porsche Semper Vivus. O primeiro híbrido da história do automóvel,” *Razão Automóvel*, Aug-2018. [Online]. Available: <https://www.razaoautomovel.com/2018/08/porsche-semper-vivus-primeiro-hibrido-historia-automovel>. [Accessed: 30-Aug-2019].
- [23] B. Angelo, “Entenda quais são os três tipos de carros híbridos,” *AUTOPAPO*, 07-Jul-2018. [Online]. Available: <https://autopapo.com.br/noticia/entenda-os-tres-tipos-de-carros-hibridos/>. [Accessed: 30-Aug-2019].
- [24] N. M. A. Sampaio, “Estudo da viabilidade técnica e económica da conversão para veículo elétrico,” Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2012.
- [25] “Transportes de passageiros,” *Portal do Estado do Ambiente Portugal*. [Online]. Available: <https://rea.apambiente.pt/content/transporte-de-passageiros>. [Accessed: 26-Sep-2019].

- [26] “Veículos rodoviários motorizados por mil habitantes,” *PORDATA*. [Online]. Available: <https://www.pordata.pt/Portugal/Veículos+rodoviários+motorizados+por+mil+habitantes-3234>. [Accessed: 21-Mar-2019].
- [27] “Veículos rodoviários motorizados em circulação: total e por tipo de combustível,” *PORDATA*. [Online]. Available: <https://www.pordata.pt/Portugal/Veículos+rodoviários+motorizados+em+circulação+total+e+por+tipo+de+combustível-3101-262496>. [Accessed: 21-Mar-2019].
- [28] P. Isidro, “Tesla Model 3,” *UVE*, 28-Apr-2019. [Online]. Available: <https://www.uve.pt/page/tesla-model-3/>. [Accessed: 16-Oct-2019].
- [29] “Tesla Model 3 top selling pure electric car in Western Europe,” *MATTHIAS SCHMIDT Automotive Analyst*, 18-Jun-2019. [Online]. Available: <https://www.schmidtmatthias.de/post/tesla-model-3-top-selling-pure-electric-car-in-western-europe>. [Accessed: 09-Sep-2019].
- [30] “Market share of newly registered passenger electric vehicles in selected European countries in 2018,” *Statista*. [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/625795/eu-electric-vehicle-market-share-by-country/>. [Accessed: 30-Aug-2019].
- [31] A. C. Mendes, “Noruega é o país europeu com mais carros eléctricos. Porquê?,” *Jornal de negócios*, 12-Apr-2017. [Online]. Available: <https://www.jornaldenegocios.pt/negocios-iniciativas/cidades-inteligentes/detalhe/noruega-e-o-pais-europeu-com-mais-carros-electricos-porque>. [Accessed: 14-Oct-2019].
- [32] T. Azvedo, “Incentivo para compra de Veículos Elétricos em 2019,” *UVE*, 21-Feb-2019. [Online]. Available: <https://www.uve.pt/page/incentivo-ve-2019/>. [Accessed: 14-Sep-2019].
- [33] “Incentivo pela Introdução no Consumo de Veículos de Baixas Emissões (2019),” *República Portuguesa - Ambiente e transição energética*. [Online]. Available: <https://www.fundoambiental.pt/avisos-2019/descarbonizacao/incentivo-pela-introducao-no-consumo-de-veiculos-de-baixas-emissoes-2019.aspx>. [Accessed: 10-Sep-2019].
- [34] “Insentiver for kjøretøy,” *TESLA*. [Online]. Available: https://www.tesla.com/no_NO/support/incentives. [Accessed: 10-Sep-2019].
- [35] “Incentivos para veículos,” *TESLA*. [Online]. Available: https://www.tesla.com/pt_PT/support/incentives. [Accessed: 10-Sep-2019].
- [36] “Fiscale voordelen voor voertuigen,” *TESLA*. [Online]. Available: https://www.tesla.com/nl_NL/support/incentives. [Accessed: 10-Sep-2019].
- [37] “Global EV Outlook 2017,” *International Energy Agency Paris, France*, Jun-2017. [Online]. Available: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEVOutloo>

- k2017.pdf. [Accessed: 14-Sep-2019].
- [38] “Global EV Outlook 2019,” *International Energy Agency Paris, France*, 27-May-2019. [Online]. Available: www.iea.org/publications/reports/globalevoutlook2019/. [Accessed: 14-Oct-2019].
- [39] “Os incentivos à mobilidade elétrica na Polónia,” *EURONEWS*, 17-Apr-2018. [Online]. Available: <https://pt.euronews.com/2018/04/17/os-incentivos-a-mobilidade-eletrica-na-polonia>. [Accessed: 14-Sep-2019].
- [40] L. Ferreira, “Questões ambientais e prioridades políticas na China,” *DICYT*, 10-May-2012. [Online]. Available: <http://dicyt.hoplite.es/noticia/questoes-ambientais-e-prioridades-politicas-na-china>. [Accessed: 14-Sep-2019].
- [41] M. Palinski, “A Comparison of Electric Vehicles and Conventional Automobiles : Costs and Quality Perspective,” *YAKESHÖGSKOLAN NOVIA*, 2017.
- [42] “Toyota Ushers In The Future With Launch Of ‘Mirai’ Fuel Cell Sedan,” *Toyota*, 2014. [Online]. Available: <https://m.arquivo.pt/wayback/20141205173620/http://newsroom.toyota.eu/pr essrelease/4124//toyota-ushers-future-launch-mirai-fuel-cell-sedan>. [Accessed: 20-Sep-2019].
- [43] “Toyota Mirai bate recorde de autonomia em carros comercializados com zero emissões,” *Toyota*, 2015. [Online]. Available: https://www.toyota.pt/download/cms/ptpt/Toyota_Mirai_bate_recorde_de_au tonomia_tcm-3032-452520.pdf. [Accessed: 21-Sep-2019].
- [44] “Wasserstoff-PKW,” 2007. [Online]. Available: <https://wasserstoffwelt.richey-web.de/pkw.htm>. [Accessed: 21-Sep-2019].
- [45] “mobile.de Deutschlands größter Fahrzeugmarkt.” [Online]. Available: <https://www.mobile.de>. [Accessed: 21-Sep-2019].
- [46] “Ford Focus Electric.” [Online]. Available: <https://ev-database.org/car/1010/Ford-Focus-Electric>. [Accessed: 21-Sep-2019].
- [47] “Audi A3 Sportback E-Tron.” [Online]. Available: <https://ev-database.org/car/1080/Audi-A3-Sportback-E-Tron>. [Accessed: 21-Sep-2019].
- [48] “Volkswagen Golf VII GTI.” [Online]. Available: <https://www.auto-data.net/en/volkswagen-golf-vii-gti-2.0-tsi-230hp-dsg-bmt-18412>. [Accessed: 21-Sep-2019].
- [49] “Toyota Mirai.” [Online]. Available: <https://www.toyota.de/automobile/mirai>. [Accessed: 21-Sep-2019].
- [50] “Tesla Model 3.” [Online]. Available: https://www.tesla.com/pt_PT/model3. [Accessed: 08-Apr-2019].
- [51] “Nissan Leaf E+.” [Online]. Available: <https://www.nissan.pt/veiculos/novos-veiculos/leaf.html>. [Accessed: 08-Apr-2019].

- [52] “Renault ZOE Life.” [Online]. Available: <https://www.renault.pt/gama/veiculos-eletricos/zoe/novo-zoe/>. [Accessed: 08-Apr-2019].
- [53] “BMW i3.” [Online]. Available: <https://www.bmw.pt/pt/all-models/bmw-i/i3/2017/visao-geral.html>. [Accessed: 08-Apr-2019].
- [54] “Tesla.” [Online]. Available: https://www.tesla.com/pt_PT/about. [Accessed: 29-Apr-2019].
- [55] “Tesla Piloto automático.” [Online]. Available: https://www.tesla.com/pt_PT/autopilot. [Accessed: 29-Apr-2019].
- [56] “História do Nissan Leaf.” [Online]. Available: <https://www.nissan-global.com/EN/ZEROEMISSION/HISTORY/>. [Accessed: 29-Apr-2019].
- [57] “Reducing CO2 emissions from passenger cars,” *European Commission*. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars_en. [Accessed: 26-Sep-2019].
- [58] “FCA garante que não vai pagar multas devido ao CO2,” *Observador*, 09-Aug-2019. [Online]. Available: <https://observador.pt/2019/08/09/fca-garante-que-nao-vai-pagar-multas-devido-ao-co2/>. [Accessed: 26-Sep-2019].
- [59] X. Zhang, J. Xie, R. Rao, and Y. Liang, “Policy Incentives for the Adoption of Electric Vehicles across Countries,” *Sustainability*, vol. 6, no. 11, pp. 8056–8078, 2014.
- [60] L. Ciferri, “Why China is by far the world’s largest market for full-electric cars,” *Automotive News Europe*, 05-Oct-2018. [Online]. Available: <https://europe.autonews.com/article/20181005/BLOG15/180929837/why-china-is-by-far-the-world-s-largest-market-for-full-electric-cars>. [Accessed: 28-Sep-2019].
- [61] “10 carros elétricos com mais autonomia no mercado atual,” *pplware*, 20-Mar-2018. [Online]. Available: <https://pplware.sapo.pt/high-tech/10-carros-eletricos-autonomia/>. [Accessed: 29-Sep-2019].
- [62] B. H. R. de Castro and T. T. Ferreira, “Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades,” *Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social*. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2010.
- [63] S. Habib, M. M. Khan, F. Abbas, L. Sang, M. U. Shahid, and H. Tang, “A Comprehensive Study of Implemented International Standards, Technical Challenges, Impacts and Prospects for Electric Vehicles,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 13866–13890, 2018.
- [64] “Aberta a primeira estação de troca de baterias,” *Turbo*, 29-May-2018. [Online]. Available: <https://www.turbo.pt/aberta-primeira-estacao-troca-baterias/>. [Accessed: 14-Sep-2019].
- [65] C. Byrne and P. Pedro, “Vencer o desafio da mobilidade elétrica em Portugal,” *Plataforma para o Crescimento Sustentável*, 2016. [Online]. Available: https://crescimentosustentavel.org/media/Vencer_desafio_mobilidade_eletrica.pdf. [Accessed: 07-Oct-2019].

- [66] E. Bannon, "Electric surge: Carmakers' electric car plans across Europe 2019-2025," *Transport & Environment*, 18-Jul-2019. [Online]. Available: https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2019_07_TE_electric_cars_report_final.pdf. [Accessed: 13-Oct-2019].
- [67] C. Randall, "Nio completes first battery swapping route," *Electrify.com - industry service for electric mobility*, 20-Jan-2019. [Online]. Available: <https://www.electrify.com/2019/01/20/nio-completes-first-battery-swapping-route/>. [Accessed: 30-Sep-2019].
- [68] C. Fortuna, "Tesla shuts down battery swap program in favor of Superchargers, for now," *TESLARATI*, 06-Nov-2016. [Online]. Available: <https://www.teslarati.com/tesla-shuts-down-battery-swap-program-for-superchargers/>. [Accessed: 30-Sep-2019].
- [69] "PowerSwap." [Online]. Available: <http://powerswap.se/>. [Accessed: 30-Sep-2019].
- [70] G. André, "Renault Zoe campeão de vendas em 2017," *UVE*, 05-Feb-2018. [Online]. Available: <https://www.uve.pt/page/renault-zoe-campeao-vendas-2017/>. [Accessed: 01-Oct-2019].
- [71] P. Isidro, "Recorde de vendas de VE em 2018 em Portugal," *UVE*, 28-Jan-2019. [Online]. Available: <https://www.uve.pt/page/recorde-de-vendas-de-ve-em-2018emportugal/>. [Accessed: 01-Oct-2019].
- [72] "EV SALES," 2019. [Online]. Available: <https://ev-sales.blogspot.com/search/label/Portugal>. [Accessed: 01-Oct-2019].
- [73] "Renault ZOE duplica autonomia com nova bateria (c/ galeria de imagens)," *Fleet Magazine*, 20-Dec-2016. [Online]. Available: <https://fleetmagazine.pt/2016/12/20/renault-zoe-40/>. [Accessed: 01-Oct-2019].
- [74] T. Moloughney, "Does A BMW i3 Battery Upgrade On An Older Model Make Sense?," *INSIDEEVS*, 13-May-2016. [Online]. Available: <https://insideevs.com/news/330742/does-a-bmw-i3-battery-upgrade-on-an-older-model-make-sense/>. [Accessed: 01-Oct-2019].
- [75] S. Hanley, "Is The Tesla 100 kWh Battery Backwards Compatible?," *enrg.io*, 30-Jan-2017. [Online]. Available: <https://enrg.io/tesla-100-kwh-battery-backwards-compatible/>. [Accessed: 01-Oct-2019].
- [76] A. Lavrador, "O que a Nissan ainda não disse sobre o Leaf com maior bateria," *Observador*, 09-Jan-2019. [Online]. Available: <https://observador.pt/2019/01/09/o-que-a-nissan-ainda-nao-disse-sobre-o-leaf-com-maior-bateria/>. [Accessed: 01-Oct-2019].
- [77] "NISSAN LEAF 30 KWH JÁ DISPONÍVEL EM PORTUGAL," *Revista veículos elétricos*, 15-Mar-2016. [Online]. Available: <http://revistaveiculoseltricos.pt/2016/03/15/nissan-leaf-30-kwh-ja-disponivel-em-portugal/>. [Accessed: 01-Oct-2019].
- [78] N. Antunes, "O novo Nissan Leaf já tem preço para Portugal. Todos os detalhes,"

- Razão Automóvel*, Oct-2017. [Online]. Available: <https://www.razaoautomovel.com/2017/10/novo-nissan-leaf-preco-2018>. [Accessed: 01-Oct-2019].
- [79] A. Lavrador, “Novo Leaf 60 kWh chega em Janeiro e com novidades,” *Observador*, 06-Dec-2018. [Online]. Available: <https://observador.pt/2018/12/06/novo-leaf-60-kwh-chega-em-janeiro-e-com-novidades/>. [Accessed: 01-Oct-2019].
- [80] “RELATÓRIO DE TRÁFEGO NA REDE NACIONAL DE AUTOESTRADAS 2º Trimestre de 2019,” *Instituto da Mobilidade e dos Transportes*, 2019. [Online]. Available: <http://www.imt-ip.pt/sites/IMTT/Portugues/InfraestruturasRodoviaras/RedeRodoviaria/Relatorios/Relatório de Tráfego - 2º Trimestre de 2019.pdf>. [Accessed: 07-Oct-2019].
- [81] “Mapas do Google.” [Online]. Available: <https://www.google.pt/maps>. [Accessed: 07-Oct-2019].
- [82] “MOBI.E.” [Online]. Available: <https://www.mobie.pt/map>. [Accessed: 07-Oct-2019].
- [83] P. Diwan, “Is Battery Swapping a Viable Option for Public Transportation EVs?,” *Medium*, 19-Jun-2018. [Online]. Available: <https://medium.com/@pdiwan/is-battery-swapping-a-viable-option-for-public-transportation-evs-adb4ced74ff2>. [Accessed: 07-Oct-2019].
- [84] “Comportamento dos Condutores Portugueses,” *Continental*, 04-Oct-2016. [Online]. Available: <https://www.continental-pneus.pt/ligeiros/imprensa/noticias/2016-10-04-continental-apresenta-estudo-conductor-portugues>. [Accessed: 14-Oct-2019].
- [85] “Tesla Model S 100D.” [Online]. Available: <https://ev-database.org/car/1088/Tesla-Model-S-100D>. [Accessed: 10-Oct-2019].
- [86] “Preços da electricidade para utilizadores domésticos e industriais (Euro/ECU),” *PORDATA*. [Online]. Available: [https://www.pordata.pt/Europa/Preços+da+electricidade+para+utilizadores+do+mésticos+e+industriais+\(Euro+ECU\)-1477](https://www.pordata.pt/Europa/Preços+da+electricidade+para+utilizadores+do+mésticos+e+industriais+(Euro+ECU)-1477). [Accessed: 10-Oct-2019].
- [87] P. Marmé, “Quanto tempo duram as baterias dos carros elétricos? Estudo dá resposta,” *WATTSON*, 29-May-2018. [Online]. Available: <https://www.wattson.pt/2018/05/29/4101/>. [Accessed: 10-Oct-2019].
- [88] “QUANTO CUSTA A BATERIA DO TESLA MODEL S?,” *Veiculoseletricospt*, 08-Dec-2012. [Online]. Available: <http://www.veiculoseletricospt.com/quanto-custa-a-bateria-do-tesla-model-s/>. [Accessed: 10-Oct-2019].
- [89] B. Sun, X. Sun, D. H. K. Tsang, and W. Whitt, “Optimal battery purchasing and charging strategy at electric vehicle battery swap stations,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 279, no. 2, pp. 524–539, 2019.
- [90] “Estátuas vivas de Tomar.” [Online]. Available: <http://estatuasvivas.ipt.pt/em-tomar.asp>. [Accessed: 07-Oct-2019].

ANEXOS

7.1 ANEXO 1 – Rede postos de troca de bateria da NIO na China

7 ANEXOS

7.1 ANEXO 1 – Rede postos de troca de bateria da NIO na China

