

VEÍCULO ZEV (SEM EMISSÕES)

Emanuel Pinto Melo

Dissertação submetida para a obtenção do grau de  
Mestre em Engenharia Mecânica  
Área de Especialização de Energia

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica



Outubro de 2013



Relatório da Unidade Curricular Dissertação/Projecto/Estágio do 2º ano do Mestrado  
em Engenharia Mecânica – Área de Especialização em Energia.

Candidato: Emanuel Pinto Melo, N° 1050868, 1050868@isep.ipp.pt

Orientação Científica: Leonardo José da Silva Ribeiro, lsr@isep.ipp.pt

Mestrado em Engenharia Mecânica  
Área de Especialização em Energia  
Departamento de Engenharia Mecânica

Instituto Superior de Engenharia do Porto



Outubro de 2013



# Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Leonardo José da Silva Ribeiro pelo auxílio e orientação desde o início, assim como, por toda a paciência e disponibilidade que levaram à conclusão deste trabalho.

Ao meus amigos mais próximos, que me deram ideias, opiniões e me ajudaram a manter o entusiasmo.

Aos meus conhecidos, colegas e familiares que responderam a todas as minhas questões e ajudaram ao preenchimento dos inquéritos presentes nesta tese.

À minha mãe, por me dar força e amor para eu continuar a lutar pelos meus objectivos.



# Resumo

A crescente dependência energética do petróleo e o impacto ambiental daí resultante, tanto como as excessivas autonomias e desempenho dos veículos perante as nossas necessidades, leva a que Portugal, a Europa, o Mundo, necessitem de apostar em inovar e alterar costumes, de forma a que o nosso planeta se mantenha sustentável e de maneira a aumentar a qualidade de vida de todos nós.

As emissões proveniente dos veículos representam uma excessiva parcela na poluição atmosférica causada pela queima dos derivados do petróleo. Uma das soluções mais viáveis para a redução de emissões, passaria pela implementação de leis que fomentassem a compra dos veículos ZEV.

Este trabalho pretende provar a inviabilidade do uso contínuo de combustíveis fósseis, destaca as principais características dos veículos eléctricos e os benefícios destes quando comparados com os veículos convencionais, descreve as características dos veículos eléctricos comercializados em Portugal e apresenta a sugestão, com base no estudo elaborado, de um veículo ZEV que se adapte às necessidades do cidadão europeu.

**Palavras-chave** : Ambiente, Emissões, Petróleo, Sustentabilidade, ZEV.



# Abstract

The growing energy dependence on oil and the resulting environmental impact as well as the excessive autonomy and performance of vehicles compared to our needs, compel Portugal, Europe, the World to invest in innovation and changing habits, so that our planet remains sustainable and quality of life is emphasized.

Vehicle emissions represent an excessive share in air pollution caused by the combustion of petroleum derivatives. One of the most viable solutions for reducing these emissions would require the implementation of laws and regulations promoting the acquisition ZEV vehicles.

This work aims to demonstrate the unsustainability of continuous use of fossil fuels, highlights the main characteristics of electric vehicles and their benefits in comparison with conventional vehicles, describes the characteristics of electric vehicles commercialized in Portugal and suggests, based on an elaborate study, the use of a ZEV vehicle suited to the needs of European citizens.

**Keywords:** Emissions, Environment, Oil, Sustainability, ZEV.



# Resumé

La dépendance énergétique croissante par rapport au pétrole et l'impact sur l'environnement qui en résulte, ainsi que les autonomies excessives et performance des véhicules face à nos nécessités amplifient le besoin de la part de Portugal, de l'Europe et du Monde d'investir dans l'innovation et le changement d'habitudes, pour permettre la durabilité de notre planète et augmenter notre qualité de vie.

Les émissions des véhicules représentent une part excessive de la pollution atmosphérique causée par la combustion des dérivés de pétrole. Une des solutions viables pour réduire les émissions serait l'implémentation de lois promouvant l'acquisition de véhicules VZÉ.

Ce travail a pour but de prouver l'insoutenabilité de l'usage continu de combustibles fossiles, met en évidence les principales caractéristiques des véhicules électriques ainsi que leurs bénéfices en comparaison avec les véhicules conventionnels, décrit les caractéristiques des véhicules électriques commercialisés au Portugal et suggère l'utilisation d'un véhicule VZÉ qui s'adapte aux besoins du citoyen européen en se basant sur une étude élaborée.

**Mots-clés:** Emissions, Environnement, Pétrole, Soutenabilité, VZÉ.



# Conteúdo

Resumo . . . . .	i
Abstract . . . . .	iii
Resumé . . . . .	v
Nomenclatura . . . . .	xiii
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Questões Ambientais . . . . .	1
1.2 Poluição . . . . .	1
1.3 Dependência do petróleo . . . . .	1
1.4 ZEV e Políticas . . . . .	1
1.5 Vantagens e desvantagens da implementação do ZEV . . . . .	2
1.6 Motivação e objectivos do presente trabalho . . . . .	2
1.7 Conteúdo da tese . . . . .	3
<b>2 Insustentabilidade do Petróleo</b>	<b>5</b>
2.1 Consumo, reservas e emissões a nível mundial . . . . .	5
2.1.1 Exemplo de cálculo de Emissões de CO <sub>2</sub> . . . . .	18
2.2 Emissões de CO <sub>2</sub> e PIB . . . . .	20
2.3 Comércio Internacional de Emissões . . . . .	20
2.4 Perigos das emissões de gases de estufa para a saúde pública . . . . .	25
2.4.1 Efeitos nocivos causados pelos vários tipos de gases . . . . .	26
2.5 Alternativas de Transporte . . . . .	27
2.5.1 Comparação entre acidentes causados pelos vários tipos de transporte	27
2.5.2 Custos associados . . . . .	28
2.5.3 Rede Ferroviária . . . . .	29
2.5.4 Rede Rodoviária . . . . .	30
2.5.5 Alternativas vs. veículo próprio . . . . .	33
<b>3 Veículo ZEV</b>	<b>41</b>
3.1 Viabilidade de um veículo com zero emissões ZEV . . . . .	41
3.2 Organização das Cidades . . . . .	42
3.3 Potenciais utilizadores . . . . .	46
3.4 Incentivos e Instalações . . . . .	46
3.5 Realidade em Portugal . . . . .	47

---

3.5.1	Veículos à venda em Portugal . . . . .	47
3.6	Preconceitos e opiniões públicas . . . . .	50
3.6.1	Mentalidade acerca dos ZEV . . . . .	50
3.6.2	Preconceitos . . . . .	51
<b>4</b>	<b>Protótipo ZEV</b> . . . . .	<b>53</b>
4.1	Características do veículo atendendo às nossas necessidades . . . . .	53
4.1.1	Características principais do veículo . . . . .	53
4.1.2	Sistema de regeneração da energia de travagem . . . . .	53
4.1.3	Materiais de construção . . . . .	54
4.1.4	Sistema de encaixe das peças amovíveis . . . . .	57
4.1.5	Dimensões principais do veículo . . . . .	58
4.1.6	<i>Chassi</i> . . . . .	58
4.1.7	Motor Eléctrico . . . . .	59
4.1.8	Bateria . . . . .	61
<b>5</b>	<b>Conclusões e Trabalho Futuro</b> . . . . .	<b>71</b>
5.1	Conclusões . . . . .	71
	<b>Bibliografia</b> . . . . .	<b>73</b>
	<b>Webgrafia</b> . . . . .	<b>78</b>

# Lista de Tabelas

2.1	Repartição percentual do consumo por países e valor comparativo entre 2011 e 2012, (fonte: BP [2013]). . . . .	11
2.2	Consumos de petróleo entre 2009 e 2012 em milhares de barris por dia, (fonte: BP [2013]). . . . .	14
2.3	Emissões de CO <sub>2</sub> por país e <i>per capita</i> em 2012 em milhões de toneladas por ano, (fonte: BP [2013]). . . . .	18
2.4	Emissões de CO <sub>2</sub> anuais, por país, emitido apenas pela queima do petróleo entre 2008 e 2010, em milhões de toneladas, (fonte: EIA [2011]). . . . .	19
2.5	Valores em toneladas das emissões de CO <sub>2</sub> permitidas e atingidas em Portugal entre 2008 e 2012, (fonte: CMD [2013]) . . . . .	23
2.6	Limites máximos anuais europeus estabelecidos no CELE para o período compreendido entre 2013 e 2020, (fonte: SENDECO2 [2013].) . . . . .	25
2.7	Mortes por 100 milhões de passageiros-quilómetros na União Europeia no período 2001-2002, (fonte: Margie et al. [2004]). . . . .	29
2.8	Custos médios por passageiro em 17 países europeus em 2010 por categoria de custo e modo de transporte (€/1000pkm), (fonte: IST [2010]). . . . .	29
2.9	Gastos com a manutenção de ferrovia nas várias especialidades em milhões de € para o ano de 2010, (fonte: REFER [2010]). . . . .	30
2.10	Veículos que estão vinculados a um seguro no ano de 2011, (fonte: ISP [2011]).	31
2.11	Acidentes e vítimas segundo a natureza do acidente, (fonte: ISP [2011]). . .	32
2.12	Valores em milhares de euros dos sinistros em automóvel no ano de 2011, (fonte: ISP [2011]). . . . .	32
2.13	Valor pago, relativamente a despesas de saúde, segundo a natureza do acidente e com base numa amostra de 30 sinistros, (fonte: AXA [2012]). . . .	32
2.14	Subconcessões, total de km e respectivo investimento de construção. . . . .	34
2.15	Locais, distâncias e meios de transporte referentes a um fim-de-semana (Contabilizadas para cálculo 20 das 52 semanas do ano.). . . . .	35
2.16	Descrição dos tipos de transporte e custos associados, durante um ano, em viagens longas em lazer. . . . .	36
2.17	Somatório do total de quilómetros e de custos relativamente a viagens efetuadas em transportes públicos durante um ano. . . . .	36
2.18	Descrição dos custos associados a um veículo próprio, durante um ano, em viagens em lazer. . . . .	37

2.19	Descrição do tipo de transporte usado e respectivo tempo de deslocação relativamente à distância percorrida (viagens de longo curso) . . . . .	38
2.20	Descrição do tipo de transporte usado e respectivo tempo de deslocação relativamente à distância percorrida (viagens de pequeno curso). . . . .	39
3.1	Lista das características dos veículos totalmente eléctricos que estavam disponíveis para venda, em Portugal, em Março de 2013. . . . .	49
4.1	Materiais usados na construção do veículo e respectiva densidade . . . . .	57
4.2	Massa dos elementos do Veículo. . . . .	58
4.3	Coefficiente de arrasto de veículos eléctricos de pequenas dimensões, (fonte: MDI [2012]). . . . .	60
4.4	Especificações dos módulos usados na bateria. . . . .	63

# Lista de Figuras

2.1	Emissões de gases de estufa por sector a nível europeu (EU-27) no ano de 2009, (fonte: EEA [2012]). . . . .	6
2.2	Preço do petróleo por barril a preços constantes para 2011 e a preços diários, (fonte: BP [2012]). . . . .	7
2.3	Reservas Mundiais de Petróleo, (fonte: BP [2013]). . . . .	8
2.4	Consumo e produção de petróleo na Europa entre os anos 1980 e 2010, (fonte EIA [2011]). . . . .	9
2.5	Consumo e produção de petróleo mundial entre os anos 1980 e 2010, (fonte EIA [2011]). . . . .	10
2.6	Consumo e produção de petróleo nos EUA entre os anos 1980 e 2010, (fonte: EIA [2011]). . . . .	11
2.7	Consumo e produção de petróleo na China entre os anos 1980 e 2010, (fonte: EIA [2011]). . . . .	12
2.8	Consumo e produção de petróleo no Japão entre os anos 1980 e 2010, (fonte: EIA [2011]). . . . .	12
2.9	Consumo e produção de petróleo na Índia entre os anos 1980 e 2010, (fonte: EIA [2011]). . . . .	13
2.10	Comparação dos valores normalizados do consumo e produção de petróleo mundial com o europeu entre os anos 1980 e 2010. . . . .	13
2.11	Previsão linear do consumo de petróleo a nível mundial até 2030. . . . .	14
2.12	Emissões de CO <sub>2</sub> por continente, (fonte: BP [2013]). . . . .	15
2.13	Emissões de CO <sub>2</sub> provenientes do consumo de petróleo, (fonte: EIA [2011]).	17
2.14	Relação entre PIB, Consumo energético e Emissões de CO <sub>2</sub> a nível mundial, (fonte: BP-Outlook [2012]). . . . .	21
2.15	Relação do PIB com as emissões de CO <sub>2</sub> em Portugal, (fonte: PORDATA [2013]). . . . .	22
2.16	Preço por tonelada de CO <sub>2</sub> relativamente às Licenças de Emissão de Dióxido de Carbono (EUAs) e Créditos de Carbono (CERs), (fonte: SENDECO2 [2013]). . . . .	24
2.17	Preço dos vários combustíveis em Portugal entre 1995 e 2010, (fonte: PORDATA [2013]). . . . .	28
2.18	Custos de construção por km de estrada, (fonte: [Análise de notícias e obras públicas <i>on-line</i> ]). . . . .	33

---

3.1	Registo da concentração de monóxido de carbono no ar na estação de recolha Francisco Sá Carneiro - Campanhã (Antas), em 2011, (fonte: APA [2011]).	44
3.2	Registo da concentração de partículas presentes no ar na estação de recolha Francisco Sá Carneiro - Campanhã (Antas), em 2011, (fonte: APA [2011]).	45
4.1	Escala real do veículo parado num estacionamento convencional. . . . .	54
4.2	Escala real do veículo numa estrada convencional. . . . .	55
4.3	Partes amovíveis de fácil substituição, banco retráctil e tejadilho amovível.	56
4.4	Tipo de encaixe das peças amovíveis. . . . .	64
4.5	Cotas principais do veículo em milímetros. . . . .	65
4.6	Materiais de construção - Vista do perfil frontal. . . . .	66
4.7	Materiais de construção - Vista do perfil traseiro. . . . .	66
4.8	Representação da estrutura do <i>chassi</i> em alumínio fundido com e sem o motor acoplado. . . . .	67
4.9	Curvas características do motor: rendimento e potência, (fonte: EV-Permanent [2013]). . . . .	68
4.10	Curvas características do motor: velocidade e corrente, (fonte: EV-Permanent [2013]). . . . .	68
4.11	Localização do motor eléctrico. . . . .	69
4.12	Esquema dos módulos da bateria a instalar no veículo. . . . .	69
4.13	Localização das baterias em módulos por baixo dos assentos. . . . .	70

# Nomenclatura

## Caracteres Romanos

$C_D$  Coeficiente de arrasto  
 $K_r$  Coeficiente de rolamento

## Caracteres Gregos

$\rho$  Massa Volúmica

## Abreviaturas

<i>ACAP</i>	Associação Automóvel de Portugal
<i>AE</i>	Auto-Estrada
<i>AICEP</i>	Agência para o Investimento e Comércio Externo de Portugal
<i>AISI</i>	American Iron and Steel Institute
<i>APA</i>	Agência Portuguesa do Ambiente
<i>BP</i>	British Petroleum
<i>CARB</i>	California Air Resources Board
<i>CC</i>	Corrente contínua
<i>CELE</i>	Comércio Europeu de Licenças de Emissão
<i>CER</i>	Certified Emissions Reduction
<i>CFRP</i>	Polímero Reforçado com Fibras de Carbono
<i>CMD</i>	Carbon Market Data
<i>CP</i>	Caminhos de Ferro Portugueses
<i>DTEA</i>	Transportes, Energia e Ambiente
<i>EEA</i>	European Environment Agency
<i>EERE</i>	Energy Efficiency and Renewable Energy
<i>EIA</i>	Energy Information Administration
<i>EN</i>	Estrada Nacional
<i>EP</i>	Estradas de Portugal
<i>ERU</i>	Emissions Reduction Units
<i>EUA</i>	European Union Allowance
<i>ESS</i>	European Statistical System

---

<i>EV</i>	Electrical Vehicle
<i>FCT</i>	Faculdade de Ciências e Tecnologia
<i>GNR</i>	Guarda Nacional Republicana
<i>HEV</i>	Hybrid Electric Vehicle
<i>IC</i>	Itinerário Complementar
<i>ICCT</i>	The International Council on Clean Transportation
<i>IP</i>	Itinerário Principal
<i>IRC</i>	Imposto Sobre o Rendimento das Pessoas Colectivas
<i>ISP</i>	Instituto de Seguros de Portugal
<i>IST</i>	Instituto Superior Técnico
<i>ISV</i>	Imposto Sobre Veículos
<i>IUC</i>	Imposto Único de Circulação
<i>IVA</i>	Imposto Sobre o Valor Acrescentado
<i>JRC</i>	Joint Research Centre
<i>LD – GMT</i>	Low-density glass-mat thermoplastic
<i>MDI</i>	Motor Development International
<i>MOBI.E</i>	Rede Nacional de Mobilidade Eléctrica
<i>NHMRC</i>	National Health and Medical Research Council
<i>PBL</i>	Planbureau voor de Leefomgeving
<i>PHEV</i>	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
<i>PM<sub>5</sub></i>	Partículas de diâmetro inferior a 5 micrómetros
<i>PM<sub>10</sub></i>	Partículas de diâmetro inferior a 10 micrómetros
<i>PP</i>	Polipropileno
<i>PPM</i>	Partes por milhão
<i>PVB</i>	Polivinil butiral
<i>RARU</i>	Road Accident Research Unit
<i>REFER</i>	Rede Ferroviária Nacional
<i>SENDECO2</i>	Sistema Electrónico de negociação de direitos de emissão de dióxido de carbono
<i>TJ</i>	Terajoule
<i>UE</i>	União Europeia
<i>WBG</i>	The World Bank Group
<i>WEO</i>	The World Economic Outlook
<i>ZEV</i>	Zero-Emission Vehicle

# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Questões Ambientais

A preocupação com as questões ambientais têm um maior realce nos países industrializados. Ainda assim, países como a China, mostram-se atentos aos problemas causados pelas emissões de gases poluentes, mas a preocupação com o desenvolvimento económico é superior, reflectindo-se num atraso da implementação de legislações ambientais.

### 1.2 Poluição

Os níveis de poluição registados na Europa nos últimos anos têm vindo a diminuir, o que pode ser reflexo das políticas ambientalistas presentes ou também pela deslocalização da indústria para outros países onde a mão-de-obra é mais barata e as taxas relativamente às emissões de poluentes não se encontram em vigor. Embora a Europa tenha conseguido uma diminuição das emissões, países como a China, Índia ou Brasil apresentaram uma subida nos seus valores.

### 1.3 Dependência do petróleo

A nível mundial, quase todos os países dependem de combustíveis fósseis na produção de energia, nos processos de fabrico industrial e no transporte terrestre. Esta dependência torna os países praticamente instáveis, pois os preços do petróleo variam por vezes de uma forma imprevisível.

### 1.4 ZEV e Políticas

Os ZEV são meios de transporte que não emitem gases que produzem efeitos de estufa na atmosfera durante a sua locomoção, portanto, uma simples bicicleta pode ser considerada um ZEV. Contudo, este trabalho focar-se-á nos ZEV referentes ao sector automóvel, pois

este representa uma grande percentagem em termos de emissões de gases que prejudicam o meio ambiente. Embora várias medidas já tenham sido propostas e implementadas em vários países, os mais problemáticos são os mais populosos e os que se encontram em desenvolvimento constante, onde a poluição não é tida como preocupação principal. Cabe aos responsáveis pela gestão dos países implementar regras, como por exemplo a obrigatoriedade dos fabricantes desenvolverem uma percentagem de ZEV referente ao total de automóveis produzidos, como acontece na Califórnia devido ao programa ZEV Action Plan, (fonte: [Brown \[2013\]](#)). Esta implementação foi uma grande ajuda para o desenvolvimento dos ZEV, não só porque aumentou a competição do mercado mas também abriu portas ao aperfeiçoamento deste tipo de tecnologia.

## 1.5 Vantagens e desvantagens da implementação do ZEV

Uma das vantagens dos veículos eléctricos é a capacidade de produzir energia eléctrica por vias renováveis e de forma não poluente, como por exemplo o uso de tejadilhos fotovoltaicos ou até por um sistema de regeneração da energia de travagem.

Os ZEV, embora sejam veículos não poluentes relativamente à sua locomoção, não são completamente inócuos do ponto de vista das emissões. Existem várias formas de fornecimento energético para um veículo se deslocar, designadamente biocombustíveis, energia nuclear, painéis fotovoltaicos ou, mais comumente, as baterias. Todas estas formas de obter energia apresentam vantagens e desvantagens. Os painéis fotovoltaicos e os biocombustíveis requerem muita energia aquando da sua produção, a energia nuclear requer sistemas de segurança apertados e é dispendiosa e, no caso das baterias, existe um grande impacto ambiental na extracção dos materiais compostos, como por exemplo, a mineração do lítio.

Existem condições importantes que viabilizam uma implementação bem-sucedida dos ZEV na concorrência automóvel, como por exemplo o *design* atractivo, a autonomia ser generosa ou o preço final do veículo não diferir do preço de veículos convencionais de igual gama.

## 1.6 Motivação e objectivos do presente trabalho

O objectivo desta tese consiste em analisar e demonstrar as vantagens da implementação de veículos que estejam adaptados às nossas necessidades reais diárias, com o menor impacto possível para o ambiente. A motivação reflecte-se na vontade de contribuir para sustentabilidade do nosso planeta, assim como alertar a sociedade da realidade em declínio em que vivemos.

## 1.7 Conteúdo da tese

O presente trabalho encontra-se dividido em cinco capítulos.

- (1) No presente capítulo 1 pretende-se introduzir o que foi analisado e quais os objectivos principais.
- (2) Segue-se o capítulo 2 que retrata a realidade insustentável na qual estamos e para a qual caminhamos, estando presente uma análise à produção e consumo de petróleo a nível mundial e os níveis de emissões poluentes devido a transporte. Também refere a ameaça à saúde pública que é causada pela poluição e contém uma análise aos vários tipos de transporte e os respectivos custos associados relativamente à manutenção e construção de novas vias de transporte ferroviário e rodoviário.
- (3) No capítulo 3 existe uma análise relativa à implementação de veículos sem emissões em substituição aos veículos convencionais. É referido o tipo de incentivos necessários para que os ZEV entrem de forma competitiva no mercado. Existe uma referência à organização das cidades de forma a reduzir a poluição e demonstra a realidade em Portugal assim como o comodismo da população relativamente ao uso de veículos eléctricos.
- (4) O capítulo 4 refere-se às características do veículo atendendo às nossas necessidades onde estão presentes os cálculos, descrições e imagens do ZEV protótipo.
- (5) No capítulo 5 está a conclusão das pesquisas efectuadas assim como o que poderá ser feito caso exista possibilidade de dar continuidade a este trabalho.



# Capítulo 2

## Insustentabilidade do Petróleo

### 2.1 Consumo, reservas e emissões a nível mundial

O petróleo é uma mistura de hidrocarbonetos e é originado pela decomposição de matéria orgânica. Ao longo dos anos, essa decomposição acumulou-se em diversos locais por baixo da crosta terrestre. Apenas em meados do século XIX é que a exploração dos poços de petróleo teve uma grande expansão e desde aí, o petróleo foi responsável pelo despoletar da economia mundial. Como podemos verificar pela figura [2.1](#) da página [6](#),

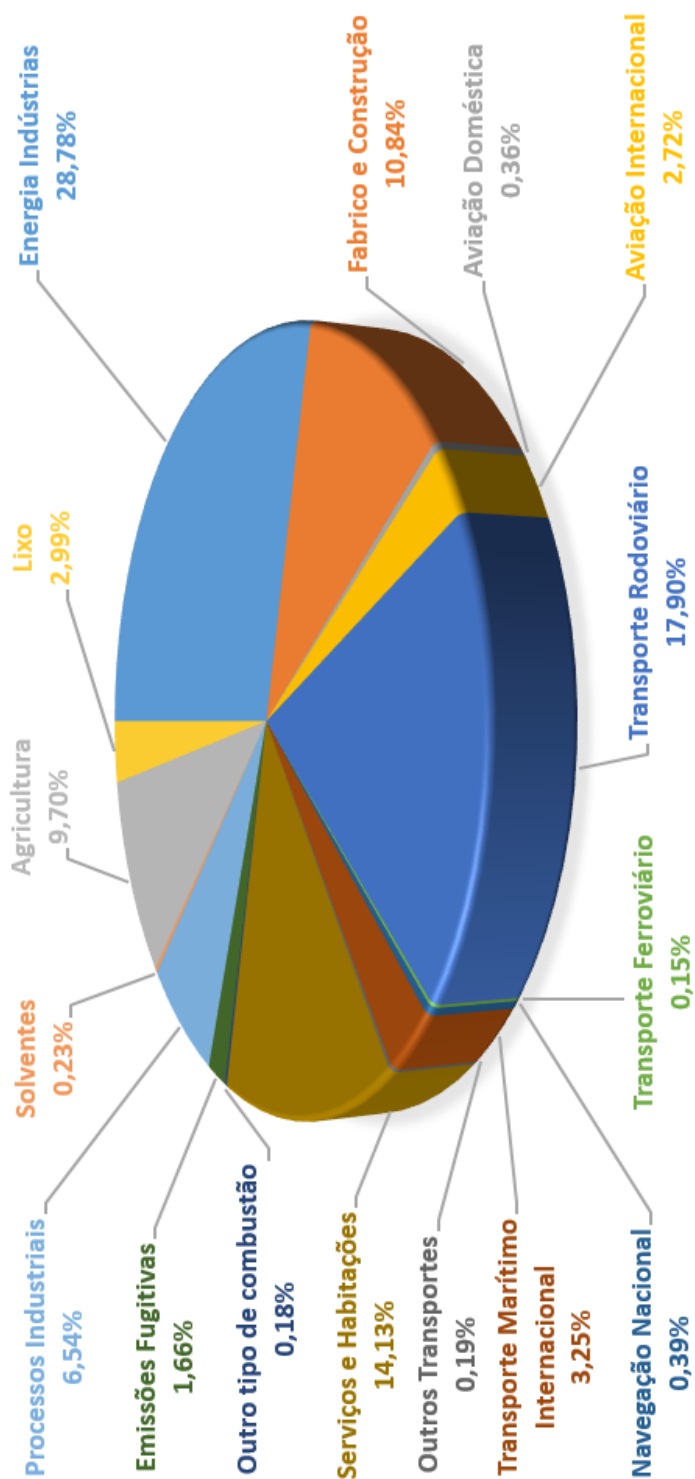


Figura 2.1: Emissões de gases de estufa por sector a nível europeu (EU-27) no ano de 2009, (fonte: EEA [2012])

a nível europeu, o petróleo ainda tem uma grande predominância na área dos transportes e mesmo existindo diversos países a explorar as energias renováveis, uma grande parte das emissões provém da produção de energia utilizada para a indústria.

A extracção de petróleo é cada vez mais complicada não só devido ao difícil acesso aos locais onde os depósitos se encontram, mas também está relacionada com a elevada viscosidade do petróleo. Considerando estas dificuldades, a sua extracção torna-se bastante dispendiosa, podendo assim surgir questões relativamente à sustentabilidade do uso contínuo na indústria mundial, pois a tendência é que o preço do petróleo continue a subir, como se pode verificar na figura 2.2. Entre os anos de 2002 e 2010 ocorreram acontecimentos históricos responsáveis pela oscilação abrupta dos valores de petróleo, como a invasão do Iraque ou a "Primavera Árabe". Em relação à quantidade de reservas existente a nível

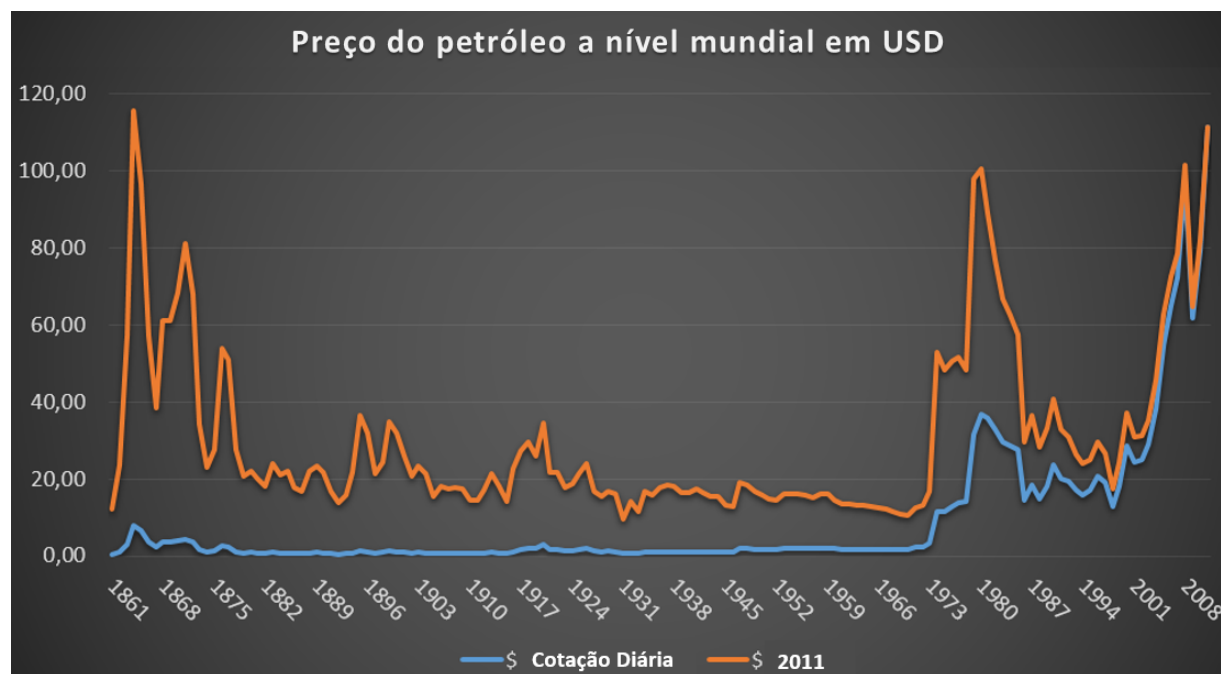


Figura 2.2: Preço do petróleo por barril a preços constantes para 2011 e a preços diários, (fonte: BP [2012]).

mundial, como é visível no gráfico da figura 2.3 apresentado na página 8, o número tem vindo a aumentar, existindo em 2010 uma reserva aproximada de 1600 mil milhões de barris. No relatório BP [2012], podemos saber quais os valores produzidos e consumidos de petróleo a nível mundial. Através dessa análise é possível saber se estamos a consumir numa escala maior do que aquela em que estamos a produzir. Na última década, a Europa praticamente não teve alterações nos valores de produção, mas os níveis de consumo baixaram, portanto o rácio entre a produção e o consumo tem vindo a aproximar-se do valor unitário. Essa aproximação pode ser reflexo das medidas de prevenção para que os países se tornem mais eficientes e lancem menos poluentes ou então devido à deslocação das empresas para outros países. O contrário se verifica em termos mundiais, pois tanto a

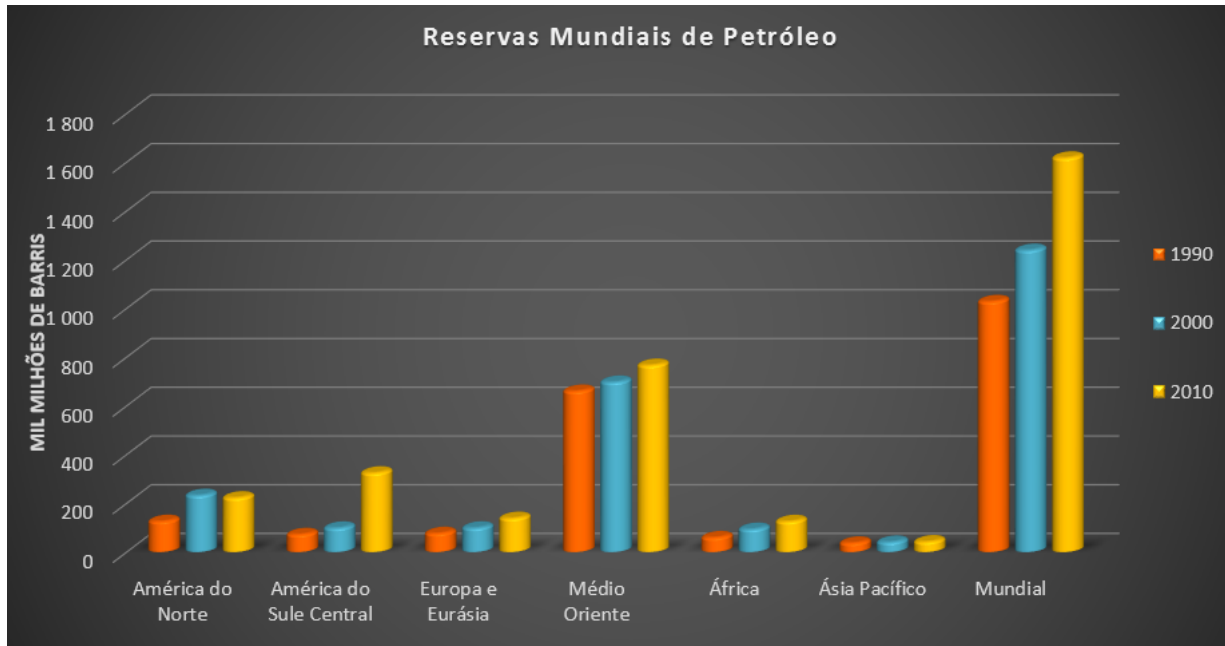


Figura 2.3: Reservas Mundiais de Petróleo, (fonte: BP [2013]).

produção como o consumo têm vindo a aumentar. Estas observações podem ser verificadas nos gráficos das figuras 2.4 e 2.5 que se encontram nas páginas 9 e 10 respectivamente.

As figuras<sup>1</sup> 2.6 e 2.7 (pág.11) e 2.8 e 2.9 (pág.13) demonstram a realidade da produção e do consumo de petróleo nas últimas três décadas nos Estados Unidos da América, China, Japão e Índia. Estas regiões representam em termos de percentagem da população mundial, valores de 4,46%, 19,4%, 1,8% e 17,1% respectivamente. Através de uma análise comparativa dos valores de 2010 e 2011, verifica-se que os EUA reduziram o consumo em 1,9% mas a China, Japão e Índia tiveram um aumento de 5,5%, 0,5% e 3,9%, respectivamente. Para que se possa analisar com pormenor estes valores, assim como a percentagem mundial de consumo de petróleo, temos a tabela 2.1 na página 11.

Através da normalização dos valores do consumo a nível europeu e mundial, pode ser comparada a evolução de ambos no gráfico da imagem 2.10 da página 13, e nota-se nitidamente que nos últimos 6 anos a tendência de consumo na Europa tem vindo a diminuir ao contrário do que se verifica a nível mundial. Isto pode ser reflexo de várias consequências, como por exemplo, a recessão Europeia ou a deslocação da actividade industrial para países em desenvolvimento como a China ou Índia. Na tabela 2.2 (pág.14) são apresentado em ordem decrescente os países com maior consumo de petróleo em milhares de barris para os anos entre 2009 e 2012. Verificamos que todos os países da UE pertencentes a essa lista tiveram uma grande quebra no consumo ao longo dos últimos quatro anos, em especial

<sup>1</sup>Devido a existirem diferentes valores para as diferentes fontes de origem, fez-se uma análise às diferenças respectivas aos valores de produção e consumo de petróleo retirados do relatório da BP e EIA. Concluiu-se que a diferença ronda os 0,2 %

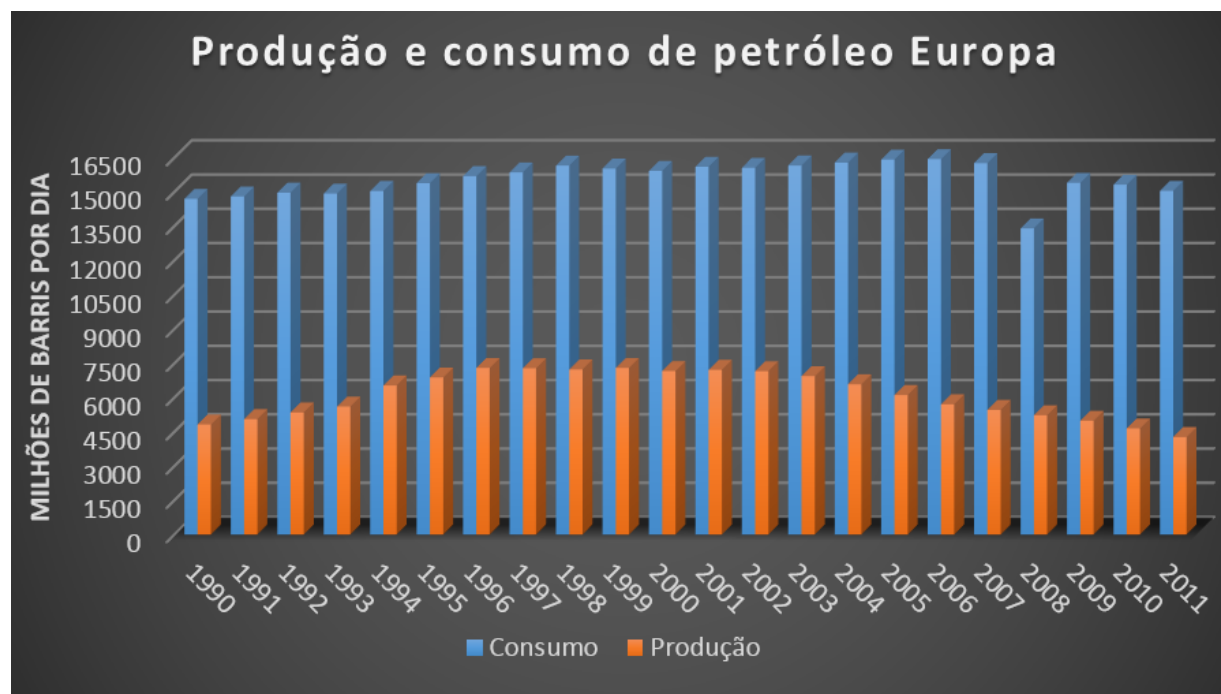


Figura 2.4: Consumo e produção de petróleo na Europa entre os anos 1980 e 2010, (fonte EIA [2011]).

Portugal. A China teve um aumento de quase 20% face a 2009.

Para ser mais fácil visualizar, pode-se recorrer a uma estimativa para saber por quantos mais anos as reservas mundiais existentes vão durar, na hipótese extrema de não existirem mais reservas para além das já descobertas. Através do gráfico 2.11 da página 14, com o auxílio de uma recta calculada com base nos dados anteriores, podemos estimar qual a previsão de consumo para 2030. Com base nesta estimativa, o valor do consumo para 2030 é de aproximadamente 110000 milhares de barris por dia e se contarmos com o consumo previsto para esse ano, com as reservas existentes neste momento na ordem dos  $1400 \times 10^9$  barris, ainda existe petróleo para pelo menos 35 anos.

Analisando os valores reais de produção e consumo a nível mundial no ano de 2011, temos uma quantidade de produção e consumo diários de  $8,3576 \times 10^7$  e  $8,8034 \times 10^7$  respectivamente, o que equivale a um valor bruto de consumo de 161994 l/s de petróleo. E se tivermos em conta o custo do petróleo, este teve uma média de 111,26 \$ por barril em 2011, que face a 2010, subiu 40%. Esta subida abrupta deveu-se essencialmente à perda do fornecimento de petróleo da Líbia. Mas ao reflectir na preocupação mundial das últimas duas décadas, o preço não é o principal factor que conduz à insustentabilidade do uso contínuo do petróleo, mas sim a poluição por ele emitida quando consumido. Esta preocupação, levou à criação de acordos, como o caso do acordo de Quioto, que estabelece metas preventivas e de controlo para alguns países em termos de emissões de CO<sub>2</sub>. Mas se observarmos o gráfico 2.12 (pág.15) que ilustra a realidade entre 2009 e 2012, as emissões

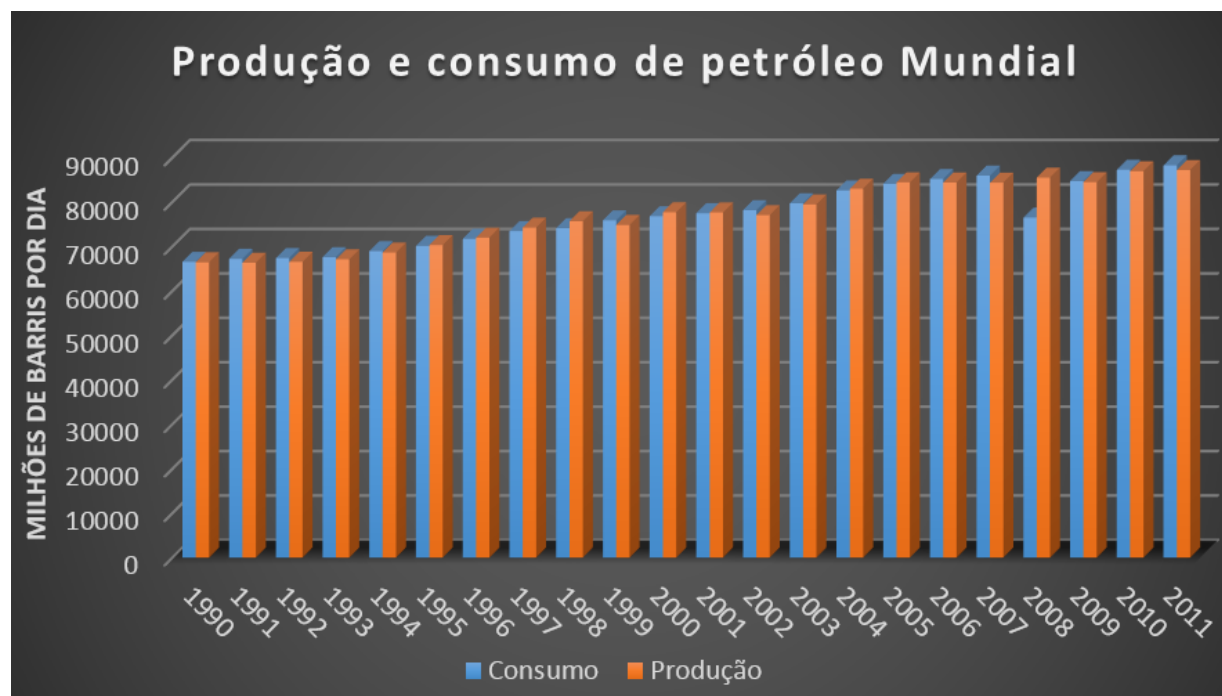


Figura 2.5: Consumo e produção de petróleo mundial entre os anos 1980 e 2010, (fonte [EIA \[2011\]](#)).

a nível mundial têm continuado a subir, com especial acentuação no continente asiático.

País	% 2011→2012	% Mundial
EUA	-2,3	19,8
UE	-4,6	14,8
China	+5,0	11,7
Japão	+6,3	5,3
Índia	+5,0	4,2
Rússia	+2,5	3,6
Arábia Saudita	+3,9	3,1
Brasil	+2,5	3,0
<b>Mundial</b>	<b>+0,9</b>	<b>-</b>

Tabela 2.1: Repartição percentual do consumo por países e valor comparativo entre 2011 e 2012, (fonte: BP [2013]).

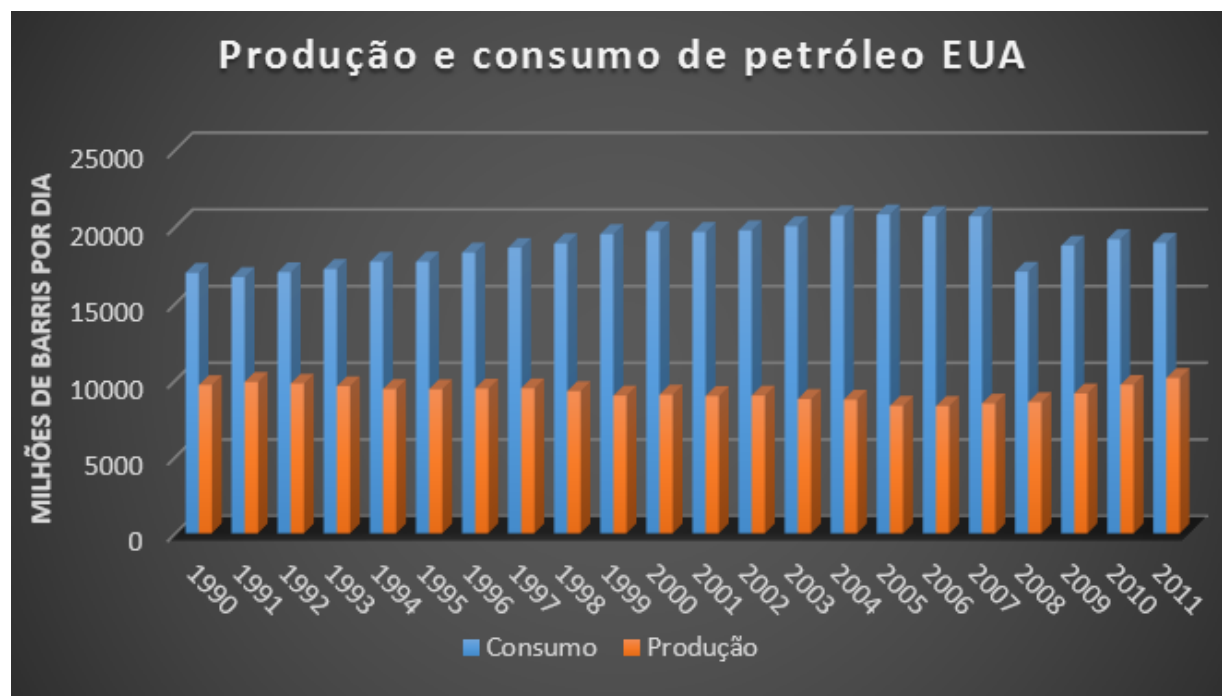


Figura 2.6: Consumo e produção de petróleo nos EUA entre os anos 1980 e 2010, (fonte: EIA [2011]).

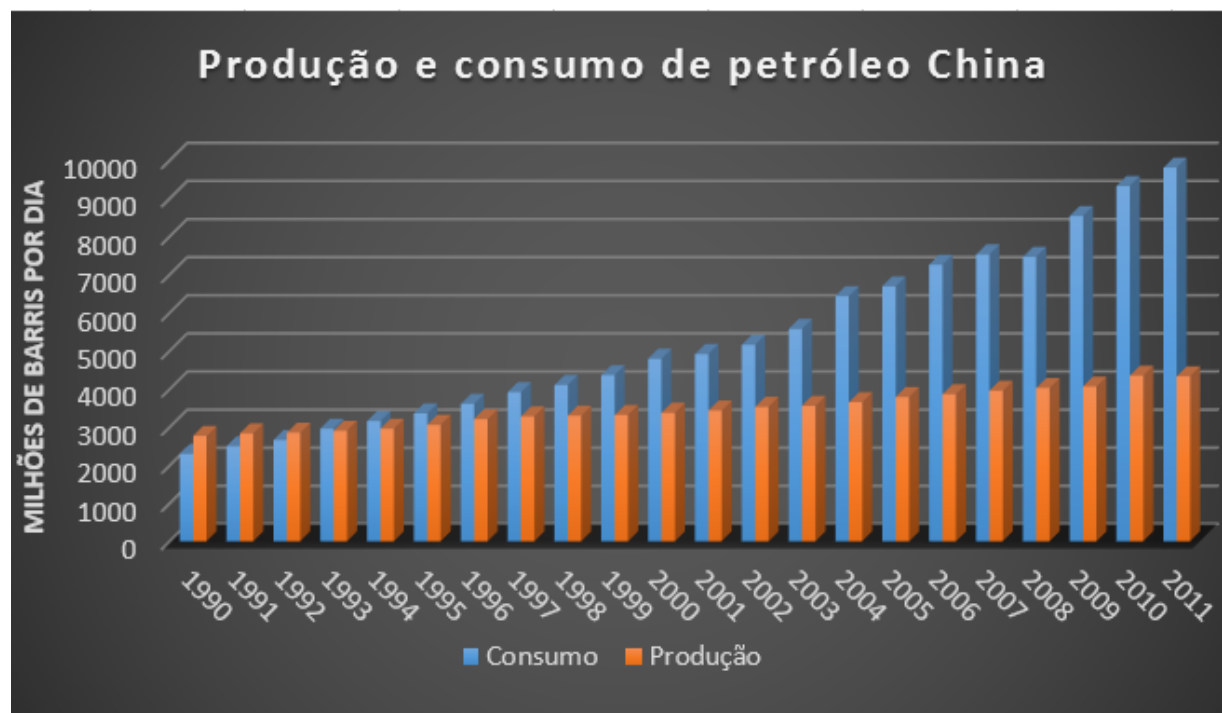


Figura 2.7: Consumo e produção de petróleo na China entre os anos 1980 e 2010, (fonte: EIA [2011]).

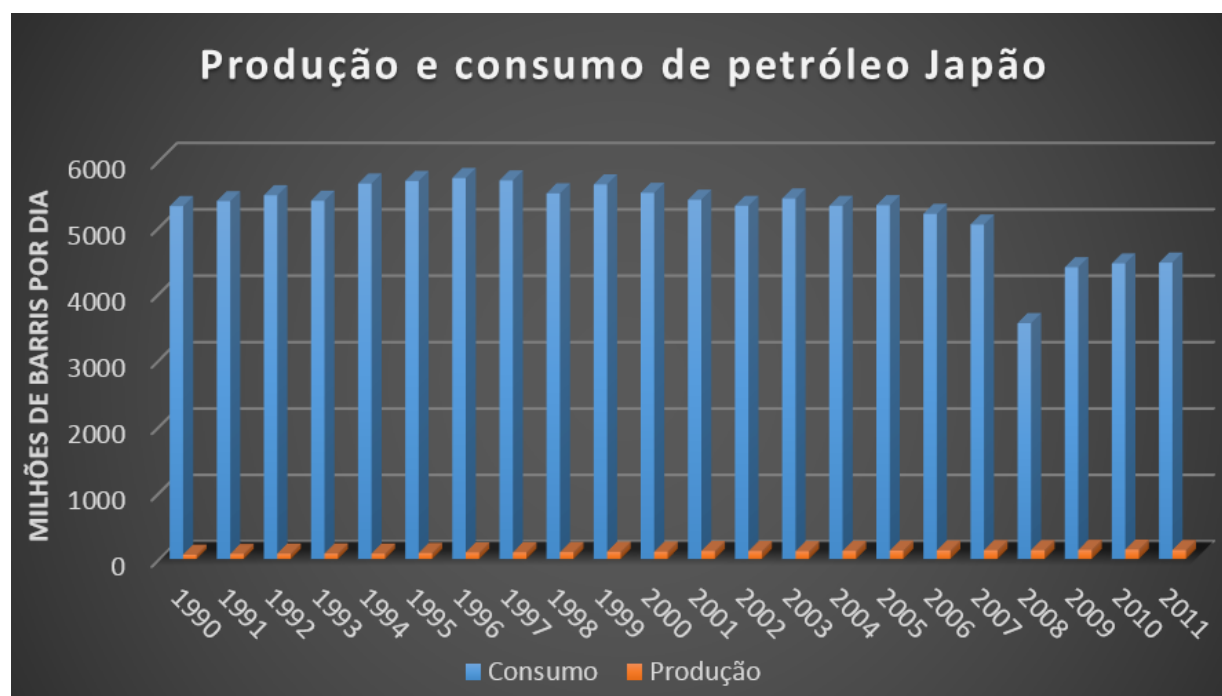


Figura 2.8: Consumo e produção de petróleo no Japão entre os anos 1980 e 2010, (fonte: EIA [2011]).

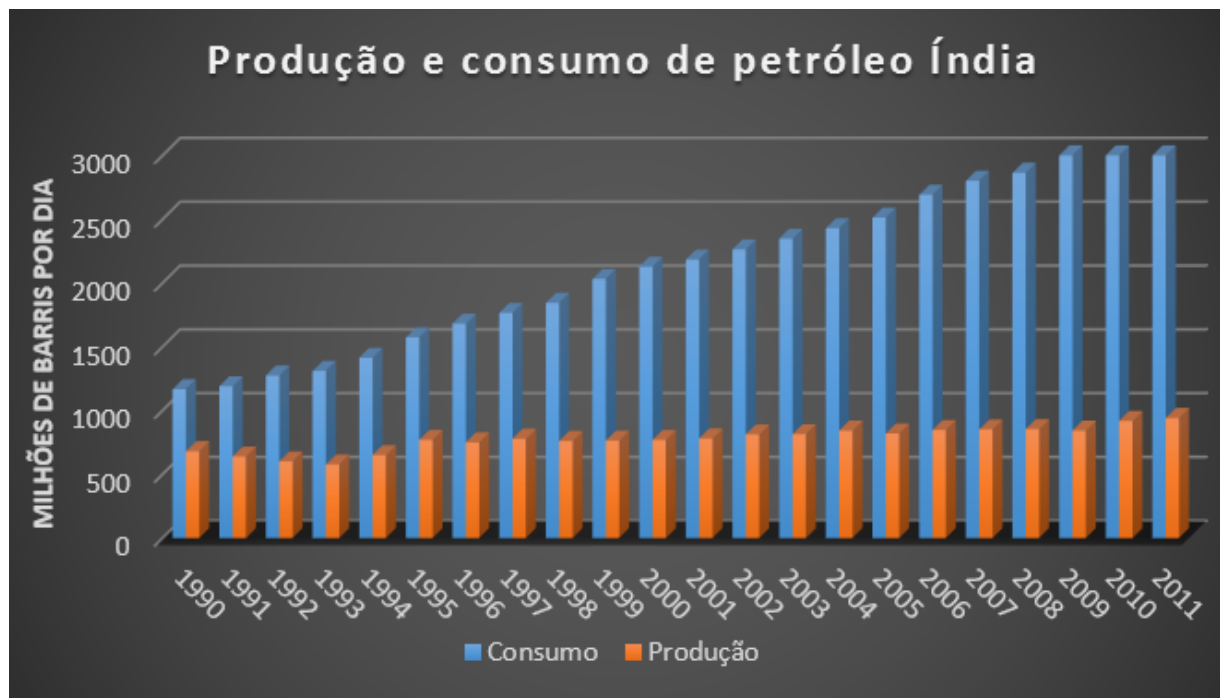


Figura 2.9: Consumo e produção de petróleo na Índia entre os anos 1980 e 2010, (fonte: EIA [2011]).

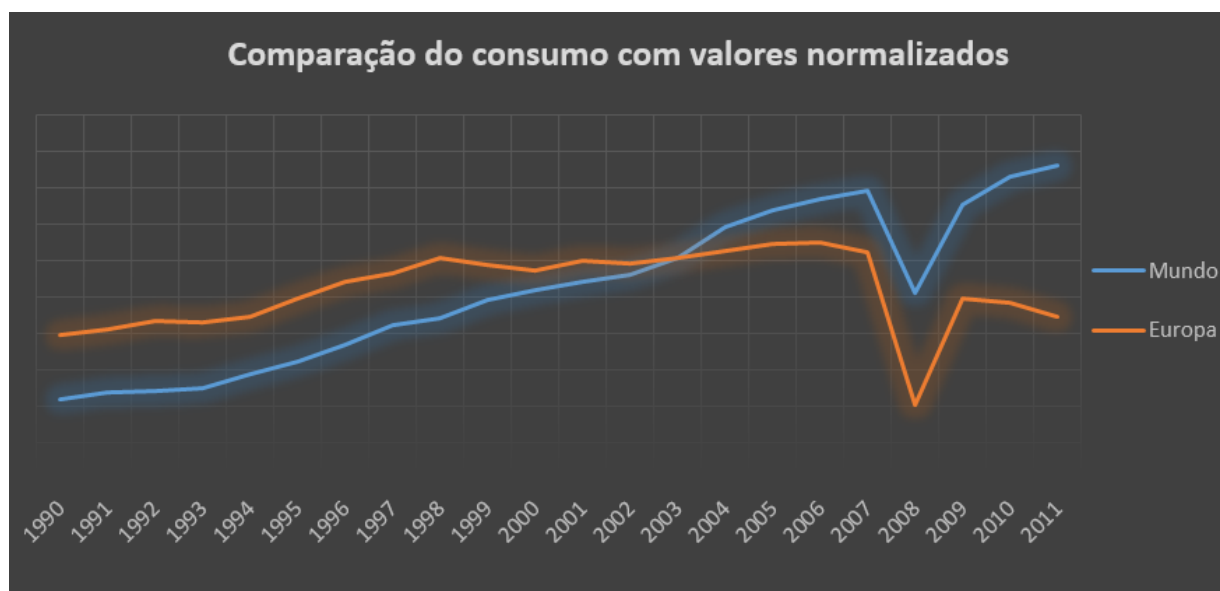


Figura 2.10: Comparação dos valores normalizados do consumo e produção de petróleo mundial com o europeu entre os anos 1980 e 2010.

Posição	País	2009	2010	2011	2012	2009→2012
1	EUA	18769	19134	18949	18555	-1,15%
2	China	8229	9272	9750	10221	19,49%
3	Japão	4429	4473	4465	4714	6,05%
4	Índia	3237	3319	3488	3652	11,36%
5	Rússia	2772	2892	3089	3174	12,67%
6	Arábia Saudita	2592	2790	2835	2935	11,69%
7	Brasil	2467	2676	2740	2805	12,05%
8	Coreia do Sul	2339	2370	2394	2458	4,84%
9	Canadá	2195	2316	2404	2412	9,00%
10	Alemanha	2409	2445	2369	2358	-2,16%
11	México	1995	2014	2043	2074	3,81%
12	Irão	1996	1936	1878	1971	-1,27%
13	França	1822	1763	1742	1687	-8,00%
14	Indonésia	1316	1426	1549	1565	15,91%
15	Reino Unido	1610	1588	1532	1468	-9,67%
50	Portugal	263	259	240	226	-16,37%

Tabela 2.2: Consumos de petróleo entre 2009 e 2012 em milhares de barris por dia, (fonte: BP [2013]).

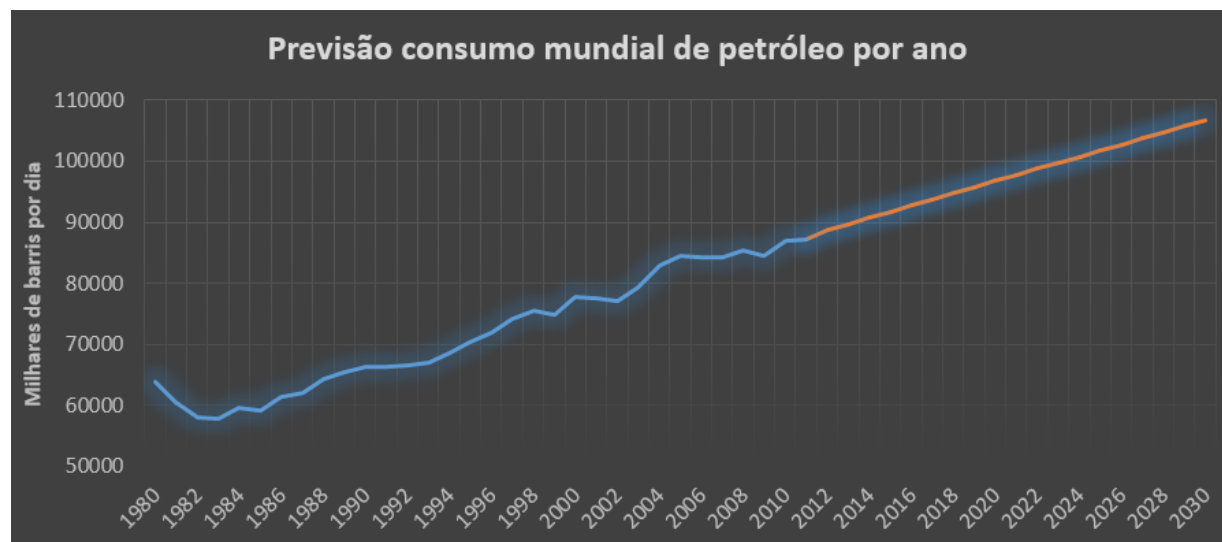


Figura 2.11: Previsão linear do consumo de petróleo a nível mundial até 2030.

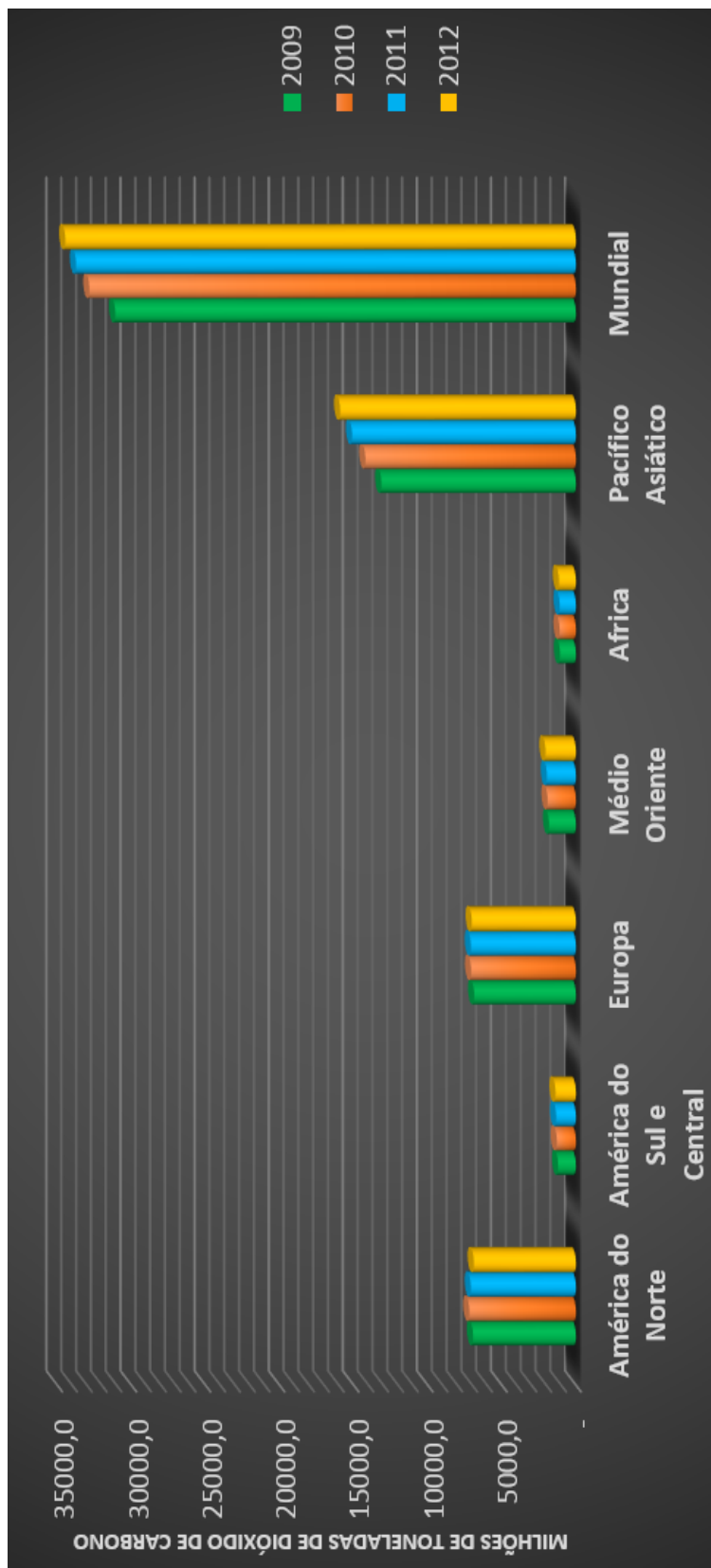


Figura 2.12: Emissões de CO<sub>2</sub> por continente, (fonte: BP [2013]).

Na tabela 2.3 (pág.18), constam quais os países a nível mundial que sobressaem nas emissões de CO<sub>2</sub> por pessoa e, na tabela 2.4 (pág.19), estão indicadas as emissões provenientes apenas da queima do petróleo. Entre 2008 e 2010 alguns países como os EUA, França ou Reino Unido, conseguiram baixar os seus níveis de emissões, o que pode significar que estão a tornar-se mais eficientes ou então devido à desindustrialização, embora outros como a China, Índia ou Brasil, vejam as suas emissões cada vez mais elevadas. A este ritmo, muito em breve, se não forem tomadas medidas de controlo para estes países em desenvolvimento, o valor de CO<sub>2</sub> a nível mundial atingirá recordes. No gráfico 2.13 da página 17 pode-se ver a evolução das emissões desde o ano 1980 até 2010 entre os países que são maiores consumidores de petróleo em comparação com os valores de Portugal. Ainda que os Estados Unidos tenham o maior nível de emissões de dióxido de carbono desde a década de 80, há uma especial preocupação com evolução económica da China e da Índia, pois estes países combinados detêm 36 % da população mundial e, como são países que têm reputação de produzir a baixo custo devido à mão de obra barata e do não pagamento de taxas devido às emissões ou ao uso de alguns materiais, transformam-se numa grande ameaça para o ambiente.

Não só são alarmantes os níveis de poluição do ar, mas também é de considerável preocupação a poluição dos solos causada pelas chuvas ácidas, reflectindo-se numa fraca produtividade de produtos agrícolas.

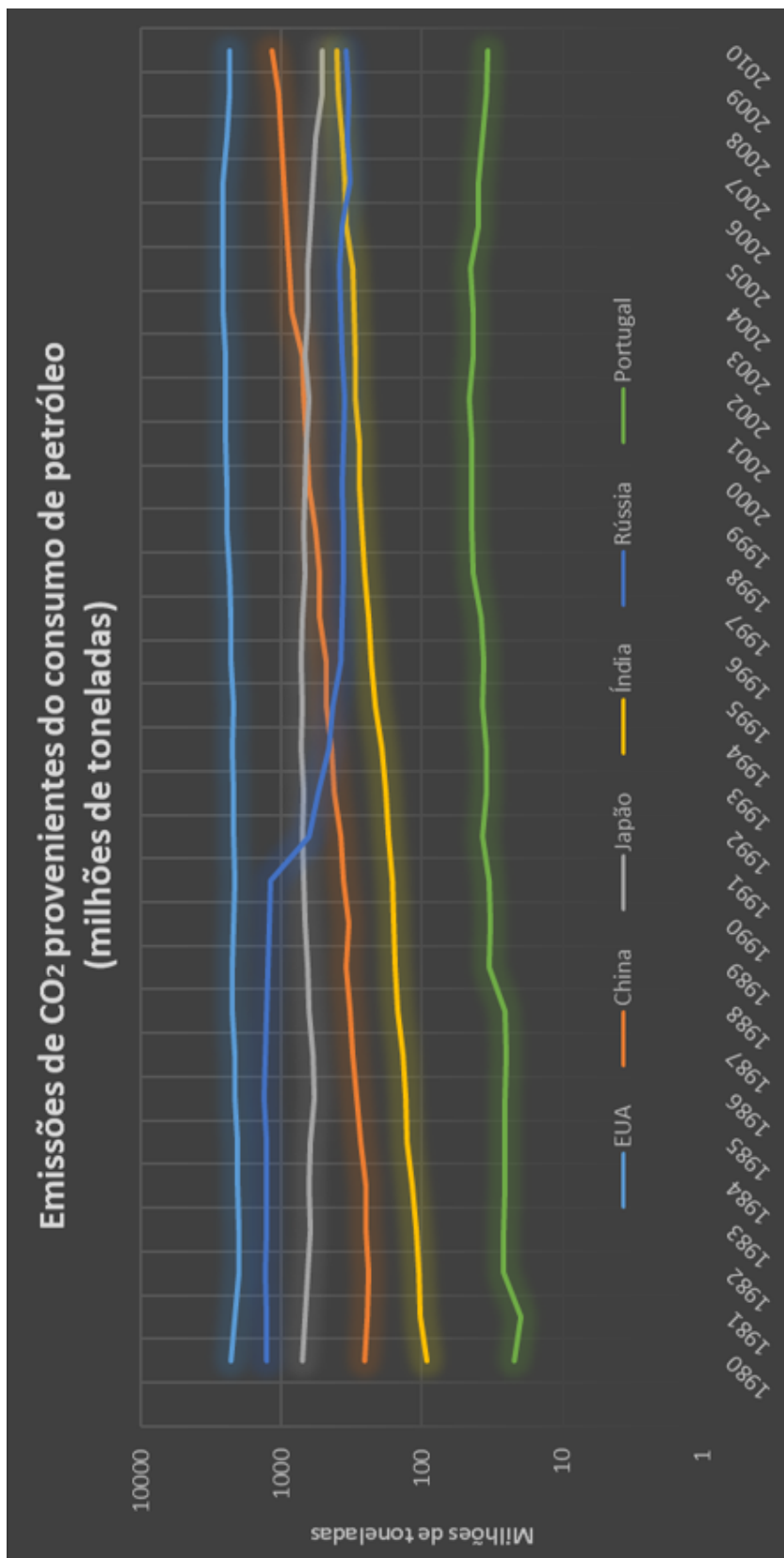


Figura 2.13: Emissões de CO<sub>2</sub> provenientes do consumo de petróleo, (fonte: EIA [2011]).

País	Emissões <sup>2</sup> de CO <sub>2</sub>	Emissões <i>per capita</i> <sup>3</sup>
China	9208,1	6,82
Estados Unidos	5786,1	18,43
Índia	1823,2	1,47
Rússia	1704,3	11,87
Japão	1409,0	11,05
Alemanha	815,0	9,95
Coreia do Sul	763,7	15,27
Canada	619,6	17,76
<b>Mundo</b>	<b>34466,1</b>	<b>4,89</b>

Tabela 2.3: Emissões de CO<sub>2</sub> por país e *per capita* em 2012 em milhões de toneladas por ano, (fonte: BP [2013]).

### 2.1.1 Exemplo de cálculo de Emissões de CO<sub>2</sub>

Para termos uma ideia de como é calculada a quantidade de toneladas de CO<sub>2</sub> que estamos a emitir por dia, vamos considerar só a gama de transportes, que equivale a perto de 24% do total de emissões para a Europa:

- (1) Massa volúmica da gasolina varia entre 720 e 750 kg/m<sup>3</sup> a 15 °C, (fonte: BP [2012]), ou seja: massa volúmica média do combustível: 0,7475 kg/l
- (2) A queima dá-se segundo uma proporção de aproximadamente 14,7 g de ar por 1 g de combustível.
- (3) Massa Molar:
  - C = 12,0107
  - O = 15,9994
  - CO<sub>2</sub> = 44,0095
- (4) Teor de C no combustível em % de massa: 67

---

<sup>2</sup>As emissões de carbono são baseadas apenas no consumo de petróleo, gás e carvão e foram calculadas através dos seguintes factores de conversão:

- (1) Petróleo - 73,300 kg de CO<sub>2</sub> por TJ (3,07 toneladas por tonelada equivalente de petróleo);
- (2) Gás natural - 56,100 kg de CO<sub>2</sub> por TJ (2,35 toneladas por tonelada equivalente de petróleo);
- (3) Carvão - 94,600 kg de CO<sub>2</sub> por TJ (3,96 toneladas por tonelada de óleo equivalente).

<sup>3</sup>Valores calculados com base na população de cada país em 2012, (fonte: WBG [2013])

	2008	2009	2010
EUA	2444	2320	2351
China	995	1060	1166
Japão	574	511	515
Índia	372	393	407
Rússia	340	334	346
Brasil	332	337	357
Arábia Saudita	268	284	306
Alemanha	322	305	310
Canada	283	272	282
Coreia do Sul	206	210	216
México	283	275	284
França	278	261	253
Irão	239	235	239
Reino Unido	238	229	226
Itália	227	213	207
Portugal	37	35	34
<b>Mundial</b>	<b>11077</b>	<b>10889</b>	<b>11175</b>

Tabela 2.4: Emissões de CO<sub>2</sub> anuais, por país, emitido apenas pela queima do petróleo entre 2008 e 2010, em milhões de toneladas, (fonte [EIA \[2011\]](#)).

- (5) Factor de conversão entre massa de CO<sub>2</sub> e C:  $44,0095/12,0107 = 3,664$
- (6) Média Europeia de km por pessoa em deslocações por dia: 32,7 km/dia
- (7) Média de consumo por km: 0,07 l/km, o que resulta em 2,289 l/dia/pessoa
- (8) **Emissões de CO<sub>2</sub> (kg de CO<sub>2</sub>/pessoa) = Consumo de combustível (l/km) × Distância percorrida (km) × Massa volúmica do combustível (kg/l) × Teor C no combustível × 3,664 = 0,07 × 32,7 × 0,7475 × 0,67 × 3,664 = 4,2 kg CO<sub>2</sub>/pessoa/dia**

Estima-se que no início de 2013 a população mundial atinja os 7,1 mil milhões de pessoas e, se toda a população tivesse os mesmos consumos que a média de um europeu, as emissões diárias de CO<sub>2</sub> seriam de  $2,982 \times 10^{10}$  kg CO<sub>2</sub>/dia, cerca de 30 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> por dia só para transporte pessoal. Em 2011, o valor aproximado de emissões de CO<sub>2</sub> por dia relativamente ao sector de transporte, era de 21 milhões<sup>4</sup> de toneladas.

<sup>4</sup>Dados usados no cálculo:

1. Emissões mundiais em 2011: 4,90 toneladas de CO<sub>2</sub>/capita, (fonte [EIA \[2011\]](#))
2. Percentagem de emissões mundial para o sector transporte: 22%, (fonte: [IEA \[2012\]](#))
3. População mundial: 7100000000 (estimativa 2013)

Com mais de 9200 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> em 2012, as emissões da China ultrapassam em larga escala outros países, sendo responsável por cerca de 26,7% das emissões globais. De facto, a China ultrapassou em 2007 os EUA, que até esse ano, eram o principal emissor de CO<sub>2</sub>. O valor das emissões da China triplicou entre 1990 e 2010, isto deveu-se essencialmente ao crescimento económico que levou à necessidade de maior consumo energético. Devido à crise económica global, o aumento do valor das emissões diminuiu para 3% em 2008, mas rapidamente cresceu para 5% em 2009 e 7% em 2010. O novo cenário político apresentado em IMF [2012], prevê que o crescimento das emissões possa ser reduzido para 1,4% entre 2010 e 2035. Mas mesmo com este declínio, as emissões podem ser 40% maiores que o valor actual, ou seja, passariam de  $3,351 \times 10^{10}$  para  $4,691 \times 10^{10}$  toneladas de CO<sub>2</sub>. As emissões totais mundiais de CO<sub>2</sub> aumentaram de 4,80 em 2010 para 4,90 toneladas de CO<sub>2</sub>/capita em 2011, (fonte EIA [2011]).

## 2.2 Emissões de CO<sub>2</sub> e PIB

Existe uma relação entre o PIB de cada país e a produção. Esta relação até há pouco tempo, era bem notável, pois quanto maior o PIB, maior era a produção e o consumo energético do país. Esta relação sofreu alterações ao longo dos anos, não só devido à crise causada pela instabilidade do petróleo, mas também, pela melhoria de eficiência energética dos países ao longo dos anos. Hoje em dia existe uma luta para reduzir os consumos energéticos sem que o desenvolvimento e a produção sejam afectados. Menos recursos energéticos para um produto com a mesma qualidade reflectem um processo eficiente, o que trará menores custos e mais rentabilidade para a empresa. É possível ver através de uma estimativa, no gráfico 2.14 (pág.21), a relação a nível mundial entre a emissão de dióxido de carbono e o PIB. Esta relação tende a ser cada vez menor, ou seja, o PIB cada vez está menos relacionado com o nível de emissões. Em relação a Portugal, é evidente o aumento da eficiência de produção das empresas nacionais, como se verifica no gráfico 2.15 (pág.21).

## 2.3 Comércio Internacional de Emissões

O comércio de CO<sub>2</sub> consiste na compra e venda de créditos, designados por ERU (Emission Reduction Unit) e CER (Certified Emission Reduction), entre países. Devido aos compromissos assumidos pelos vários países perante o Protocolo de Quioto, uma forma de cumprir esses compromissos de redução das emissões de forma sustentável, baseia-se na compra de licenças de emissão ao mínimo custo social possível. No final de cada ano, todas as empresas têm a obrigação de entregar uma quantidade de licenças equivalente às suas emissões, sendo que uma licença equivale à emissão de uma tonelada de CO<sub>2</sub>. As empresas cujas emissões sejam inferiores à quantidade limite estabelecida podem vender as licenças sobrantes.

---

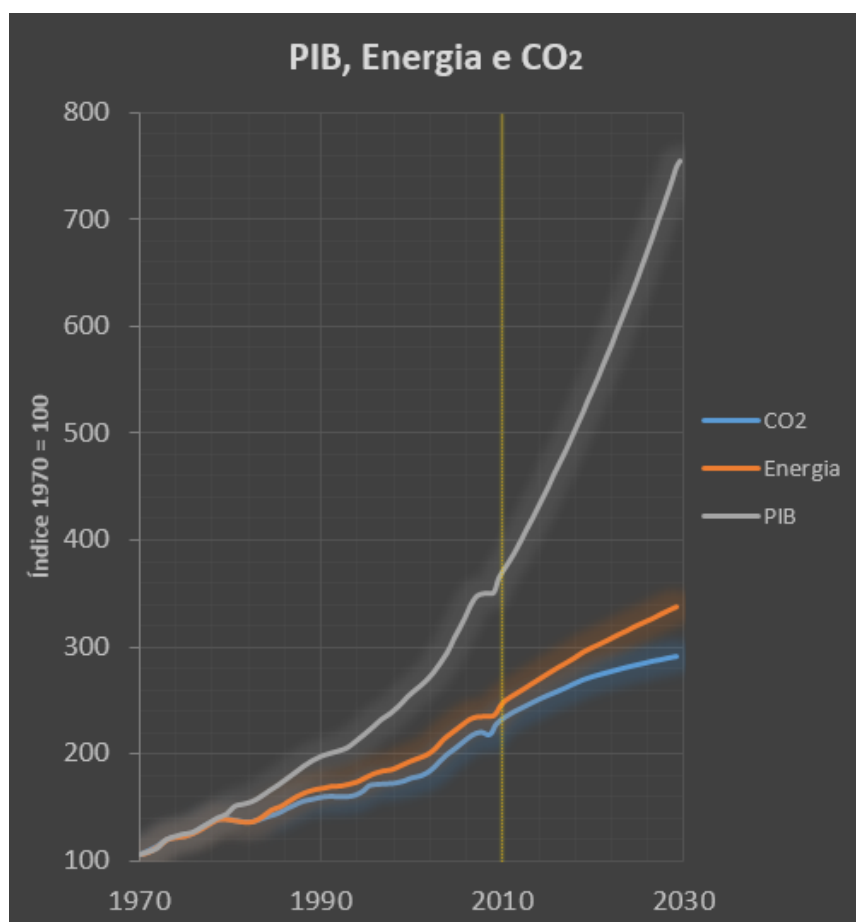


Figura 2.14: Relação entre PIB, Consumo energético e Emissões de CO<sub>2</sub> a nível mundial, (fonte: [BP-Outlook \[2012\]](#)).

O sistema de transacções funciona da seguinte forma: a cada empresa é atribuído um determinado número limite de emissões de CO<sub>2</sub>. Se a empresa verificar que excederá o valor que lhe foi proposto, deverá optar pela inovação tecnológica e gestão da produção de forma a tentar reduzir as emissões, ou então, ser-lhe-á dada a hipótese de comprar direitos de emissão a outras empresas que não atingiram o valor máximo, de forma a anular o número de emissões excedente. Tem como objectivo principal atribuir um custo real às emissões e proporcionar ao mesmo tempo incentivos para as reduzir mediante o investimento em investigação, inovação e melhoria de tecnologias mais limpas, dessa forma será possível atingir a modernização dos processos e a melhoria da gestão, (fonte: [SENDECO2 \[2013\]](#)).

O sistema de compra e venda de emissões denominado por Mercado Europeu de Direitos de Emissão, começou em Janeiro de 2005 e é regulado pela Directiva de Comércio Europeu de Emissões 2003/87/CE. É um mercado que é aplicado apenas às emissões do CO<sub>2</sub> e somente a determinados sectores industriais, como o caso das refinarias ou instalações que geram energia eléctrica superiores a 20 MW de potência, (fonte: [Repsol \[2013\]](#)).

O preço de mercado dos créditos é bastante volátil, podendo ser influenciado pelo

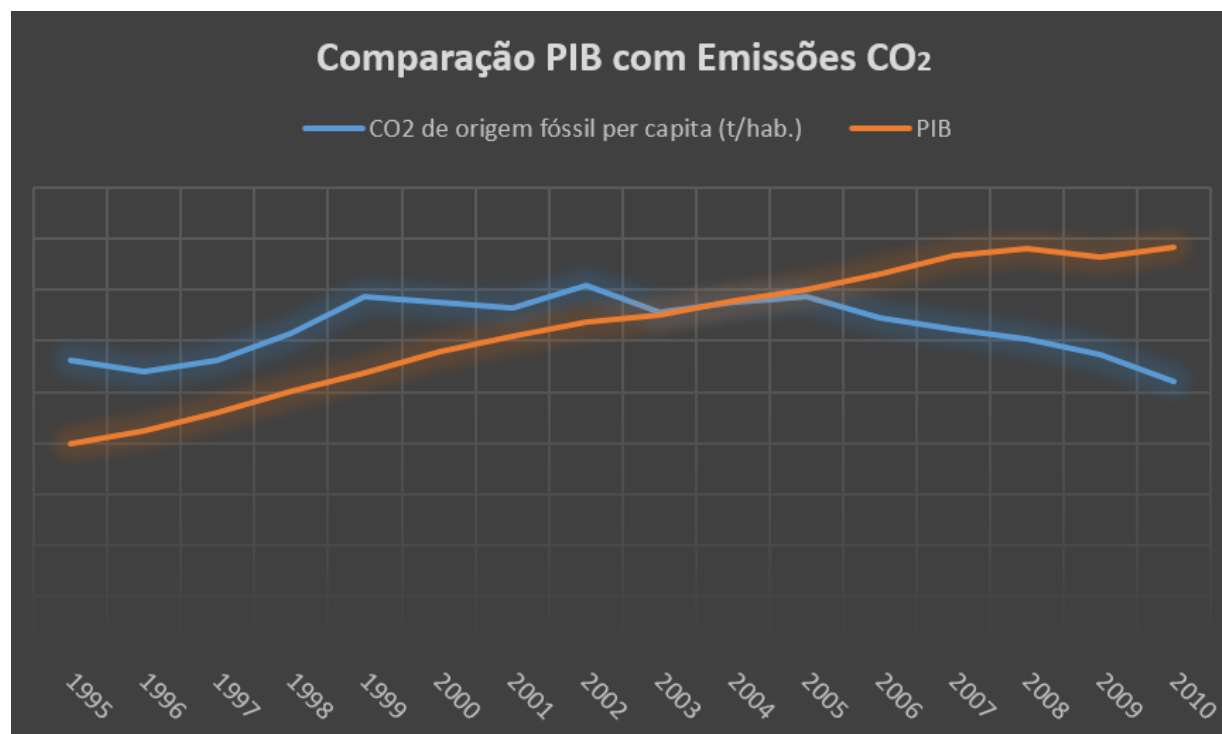


Figura 2.15: Relação do PIB com as emissões de CO<sub>2</sub> em Portugal, (fonte: [PORDATA \[2013\]](#)).

clima, situações político-económicas ou o volume de atribuições a nível europeu. Devido a uma atribuição excessiva de licenças e também reflexo da crise económica que a Europa atravessa hoje, os preços das licenças de carbono caíram dos quase 30 € em 2008 para os 3 € em 2013. O gráfico da imagem 2.16 da página 24 mostra essa variação de preços desde 2008 até ao final de Setembro de 2013. Estes valores reduzidos, fazem com que seja mais barato comprar licenças do que investir na redução de emissões. Como esta situação é exactamente o contrário do objectivo, de forma a evitar o colapso do mercado de carbono, o Parlamento Europeu aprovou emendas à Directiva de Comércio de Emissões que vão alterar substancialmente o sistema de comércio de emissões. A partir de 2013, em vez de existir um plano nacional de atribuição de emissões, passa a existir uma única atribuição a nível europeu. Os limites máximos anuais para a Europa, estabelecidos pelo CELE (Comércio Europeu de Licenças de Emissão), para os anos entre 2013 e 2020, podem ser verificados na tabela 2.6 da página 25, (fonte: [SENDECO2 \[2013\]](#)).

Devido ao decréscimo da actividade económica em Portugal, o número de créditos de carbono disponíveis para cada empresa ultrapassou em muito o número necessário, como tal, Portugal em 2012 ainda tinha permissão para emitir perto de 8 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>. Em 2008, França, Malta, Portugal, Roménia, Finlândia, República Checa, República Eslovaca, Lituânia, Suécia e Letónia foram os países que emitiram CO<sub>2</sub> abaixo do valor máximo estabelecido, os restantes países da União Europeia emitiram mais do que o limite.

Em 2009, apenas a Alemanha, Reino Unido, Dinamarca, Grécia e Chipre ultrapassaram os limites anuais. Em 2012, só a Alemanha conseguiu ultrapassar o limite. Estes resultados são reflexo da crise económica vivida na Europa nos últimos anos, (fonte: [CMD \[2013\]](#)).

Portugal	Emissões de CO <sub>2</sub>	Emissões Permitidas	Restante
2008	29911640	30410183	-498543
2009	28261960	30771809	-2509849
2010	24167190	32359066	-8191876
2011	25010518	32992081	-7981563
2012	26763688	35053016	-8289328

Tabela 2.5: Valores em toneladas das emissões de CO<sub>2</sub> permitidas e atingidas em Portugal entre 2008 e 2012, (fonte: [CMD \[2013\]](#))

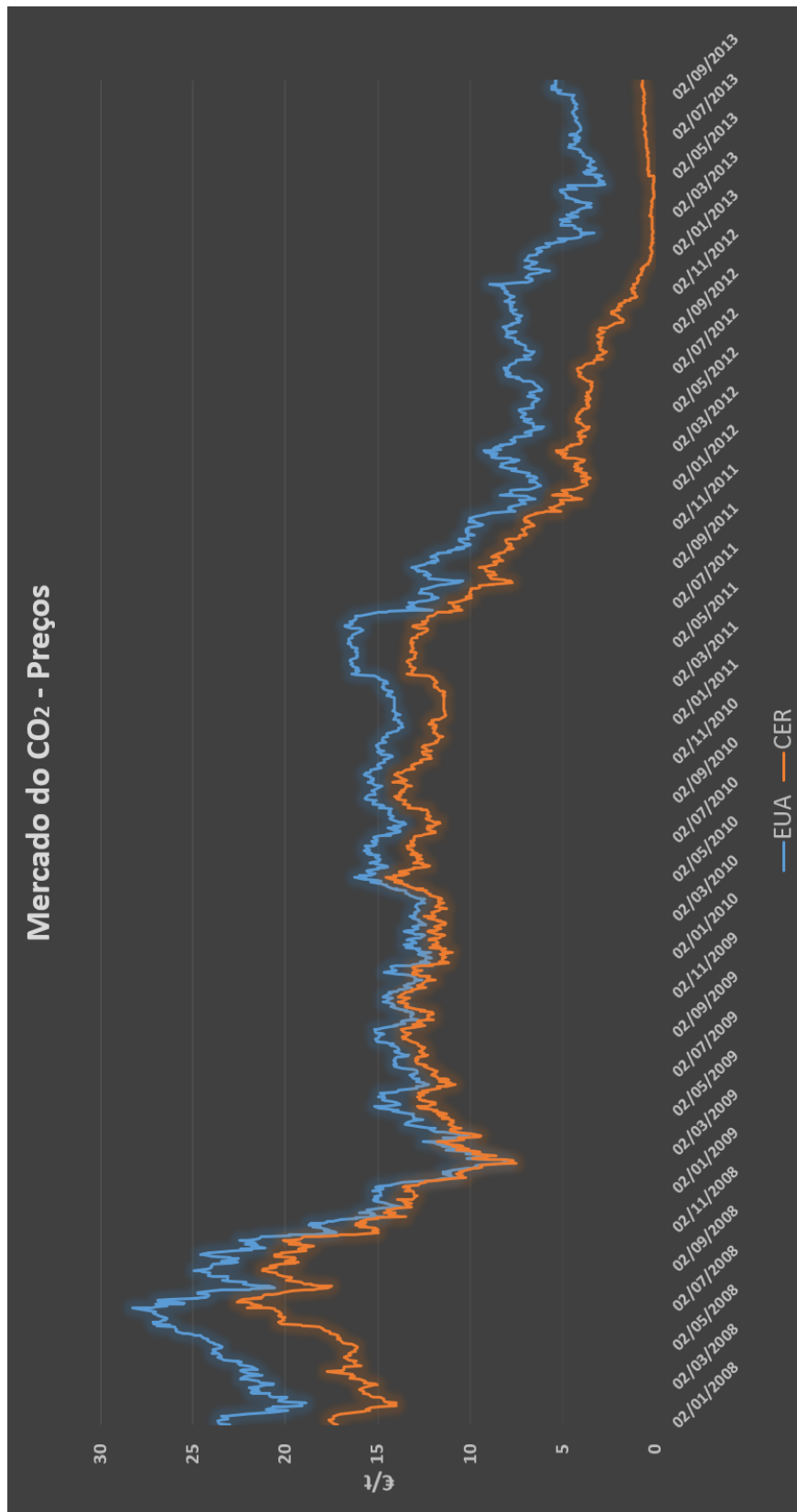


Figura 2.16: Preço por tonelada de CO<sub>2</sub> relativamente às Licenças de Emissão de Dióxido de Carbono (EUAs) e Créditos de Carbono (CERs), (fonte: [SENDECO2 \[2013\]](#)).

Ano	Milhões de T. de CO <sub>2</sub>
2013	1974
2014	1937
2015	1901
2016	1865
2017	1829
2018	1792
2019	1756
2020	1720

Tabela 2.6: Limites máximos anuais europeus estabelecidos no CELE para o período compreendido entre 2013 e 2020, (fonte: [SENDECO2 \[2013\]](#).)

## 2.4 Perigos das emissões de gases de estufa para a saúde pública

Com o crescimento populacional a evoluir exponencialmente e com o uso de sistemas produtivos pouco eficientes, promove-se a utilização de grandes consumos energéticos, a produção de desperdícios e uma emissão de poluentes elevada. Segundo o relatório [Field et al. \[2005\]](#), mesmo que não haja fontes de poluentes interiores, as concentrações de poluentes nas casas ficam muito próximas dos níveis do ar exterior, o que significa que nas grandes cidades onde o uso de transportes é muito elevado, as concentrações de poluentes no interior das habitações também vão ser maiores.

A poluição atmosférica degrada a qualidade de vida da população devido a poder provocar doenças de vários tipos, como respiratórias, cardiovasculares e neoplasias. Estes três tipos de problemas de saúde correspondem às principais causas de morte nos centros urbanos. A poluição também leva à fragilização do sistema imunológico, podendo tornar um indivíduo mais susceptível a infecções respiratórias agudas. Alguns dos exemplos de problemas de saúde causadas pelo excesso de poluição, são: irritações das mucosas pulmonares, tosse, irritações oculares, asma, bronquite, enfisemas pulmonares, doenças alérgicas ou em casos extremos, cancro das vias respiratórias. Os mais afectados pela qualidade do ar baixa, são as crianças, os idosos e as pessoas que já sofrem de problemas respiratórios. Estes problemas de saúde têm consequências negativas não só na população, mas também na economia do país, pois as despesas com a saúde pública aumentam. Os efeitos colaterais da poluição atmosférica podem levar ao aumento do consumo de medicamentos, de consultas médicas, do pedido de baixas devido a infecções respiratórias e também podem causar a impossibilidade de prática de actividade física pelas pessoas afectadas, o que pode causar outro tipo de problemas de saúde, (fonte: [Esteves et al. \[2004\]](#)).

### 2.4.1 Efeitos nocivos causados pelos vários tipos de gases

A combustão no motor de um veículo convencional quando incompleta, não liberta apenas  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{N}_2$ . A queima incompleta do combustível num motor de combustão interna produz um grande número de subprodutos. Os mais prejudiciais serão seguidamente descritos com mais detalhe.

#### Monóxido de carbono<sup>5</sup> ( $\text{CO}$ )

O monóxido de carbono, que está presente nos gases de exaustão dos motores de combustão interna (ciclo *otto*), é um gás inodoro e incolor. O efeito tóxico deste gás ocorre quando inalado e combinado com a hemoglobina do sangue, pois a afinidade da hemoglobina com o monóxido de carbono é muito maior do que para o oxigénio, daí a sua grande toxicidade. A gravidade das lesões está relacionada com a duração da hipoxia (diminuição do teor de oxigénio no sangue), principalmente nos tecidos cerebrais e miocárdicos. Os sintomas clínicos da proveniência deste gás podem levar à diminuição da atenção, dores de cabeça, dispneia, náuseas, taquicardia ou até convulsões. O  $\text{CO}$  é encontrado principalmente nas cidades devido à combustão de combustível por parte da indústria e dos veículos. A poluição proveniente dos veículos tem a agravante de ser libertada ao nível das nossas vias respiratórias, daí os níveis de monóxido de carbono serem maiores nas zonas onde existe circulação de veículos.

#### Hidrocarbonetos<sup>5</sup> ( $\text{HC}$ )

Os hidrocarbonetos são gases provenientes da queima incompleta e da evaporação de combustíveis e outros produtos voláteis. Provocam irritações quando entram em contacto com os olhos, nariz, pele e vias respiratórias, podendo agravar doenças já existentes ao nível do tracto respiratório. Alguns hidrocarbonetos são considerados cancerígenos.

#### Óxidos de Azoto<sup>5</sup> ( $\text{NO}_x$ )

Os óxidos de azoto resultam da oxidação do azoto presente no ar quando exposto a temperaturas elevadas. Um exemplo é o dióxido de azoto ( $\text{NO}_2$ ), que quando em concentrações superiores a 300 ppm, pode levar ao enfraquecimento progressivo, dispneia e tosse. No caso de exposição longa a concentrações elevadas, pode levar ao aparecimento de edemas pulmonares ou broncopneumonia. O impacto relativamente à exposição ao  $\text{NO}_2$  depende tanto da concentração como do tempo de exposição.

#### Oxidantes fotoquímicos<sup>5</sup> ( $\text{O}_3$ )

Os hidrocarbonetos e óxidos de azoto reagem na atmosfera, principalmente, quando activados pela luz solar, formando um conjunto de gases denominados por oxidantes fotoquímicos. Um deles é o ozono ( $\text{O}_3$ ), sendo este o mais importante, pois é responsável por absorver as

---

<sup>5</sup>A informação relativa a este poluente foi obtida em [Bento et al. \[2012\]](#)

radiações ultravioletas do sol que atingem a terra. A preocupação recai quando o  $O_3$  está presente nas camadas inferiores da atmosfera, pois pode exercer uma acção nociva não só sobre o homem, mas também sobre vegetais, animais e materiais. No ser humano provocam danos na estrutura pulmonar, reduzindo a sua capacidade e diminuindo a resistência às infecções. Também causa o agravamento das doenças respiratórias e causa irritações nos olhos e tosse.

### Dióxido de Carbono ( $CO_2$ )

O  $CO_2$ , isoladamente ou em combinação com outro poluente, pode provocar efeitos adversos à saúde, como dores de cabeça, mal-estar, tontura e até problemas de pele. Embora não seja tão prejudicial como o  $CO$ , no caso de exposição a grandes concentrações, é bastante perigoso. É um dos principais causadores do efeito de estufa, (fonte: [Carmo e Prado \[1999\]](#)).

## 2.5 Alternativas de Transporte

A maior parte do comum europeu não necessita de um automóvel para fazer o percurso casa - trabalho - casa. A distância média percorrida para deslocações diárias em Portugal é de 29,9 km/pessoa e, tendo em conta que os carros de hoje em dia têm capacidade de atingir velocidades superiores a 200 km/h, pode-se afirmar que existe uma situação de exagero em relação às necessidades.

Os veículos de hoje em dia apresentam um grande impacto ambiental devido não só às emissões provenientes da queima do combustível, mas também devido ao seu fabrico e manutenção. Além do veículo já ser caro, resultado dos impostos na altura da venda e ao preço base, o custo de um automóvel ao final de um ano engloba o seguro, selos, revisão, imposto único de circulação e combustível, sendo este último dependente da utilização. O combustível é o que tem mais impacto nas despesas do veículo e com a agravante dos preços terem disparado nos últimos anos, como se observa no gráfico 2.17 (pág.28).

Existem várias alternativas aos transportes privados para deslocações diárias, tais como ferroviários e autocarros. A dúvida reside em qual dos meios de transporte se deve aplicar fundos monetários e quais os que requerem maior investimento, se são as estruturas de transporte ferroviário ou rodoviário.

Segundo um estudo efectuado no relatório [CP \[2009\]](#), as mentalidades dos portugueses estão a mudar aos poucos e esse estudo revela que entre as pessoas que viajam de comboio, 83,6 % têm viatura própria. Contudo, a população que se desloca de comboio para o trabalho é uma minoria relativamente aquela que se desloca em viatura própria.

### 2.5.1 Comparação entre acidentes causados pelos vários tipos de transporte

Mais de 36 % dos acidentes registados pela GNR (Guarda Nacional Republicana) no ano de 2011, entre Janeiro e Março, deveu-se a excesso de velocidade e ocorreram maioritariamente

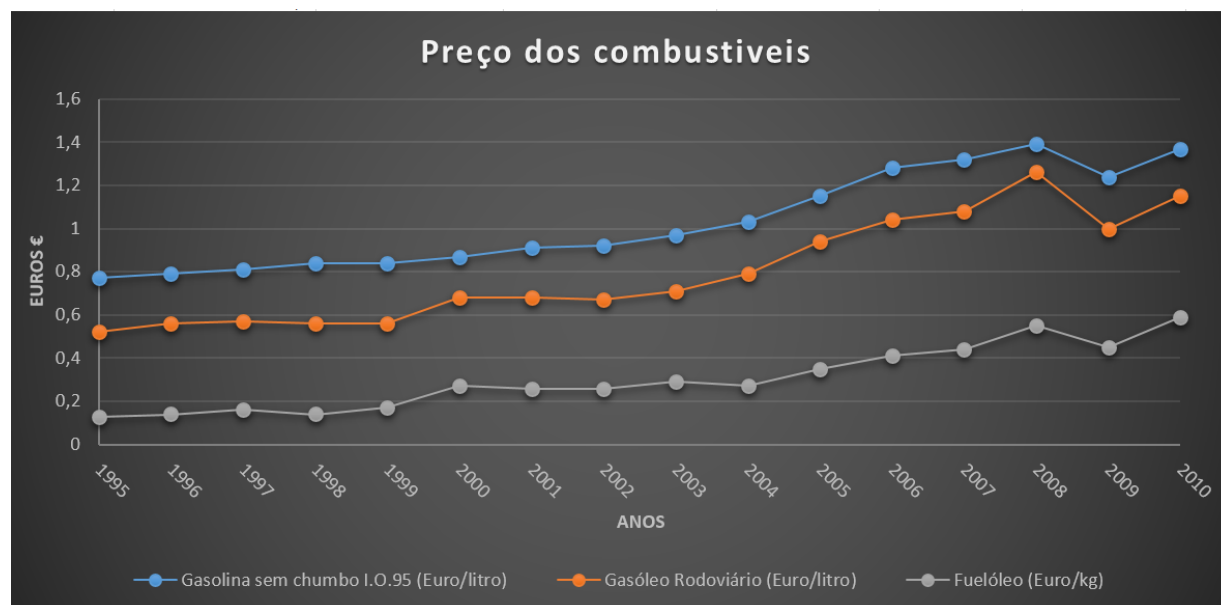


Figura 2.17: Preço dos vários combustíveis em Portugal entre 1995 e 2010, (fonte: [POR-DATA \[2013\]](#)).

entre Lisboa e Porto, (notícia obtida pela agência Lusa). Estes acidentes provocam não só danos materiais, mas também grandes despesas a nível de saúde com os lesados. Nos países da União Europeia, o risco de morte para os utilizadores de veículos motorizados de duas rodas é vinte vezes superior quando comparado com os ocupantes de um automóvel, (ver tabela 2.7 da página 29). Viajar de automóvel é sete a nove vezes mais seguro que se deslocar em bicicleta ou a pé, mas mesmo assim, os ocupantes de um automóvel estão dez vezes menos seguros que os ocupantes de um autocarro. Todos estes riscos são calculados com base na distância percorrida. Mesmo contabilizando os riscos de andar a pé ou bicicleta após uma viagem de comboio, metro ou autocarro, viajar de transportes públicos, ainda assim, é mais seguro do que viajar de automóvel, quando a segurança colectiva de todos os utilizadores é considerada, (fonte: [Margie et al. \[2004\]](#)).

## 2.5.2 Custos associados

Para que fossem perceptíveis os diferentes impactos entre o transporte público e privado, o IST (Instituto Superior Técnico) e DTEA (Transportes, Energia e Ambiente) efectuaram um estudo em 2010, (tabela 2.8 da página 29), sobre os custos médios por passageiro em 17 países europeus, por categoria de custo e modo de transporte (estudos efectuados com dados obtidos em 2000). Esse estudo veio comprovar que o cenário automóvel é sem dúvida mais prejudicial que o ferroviário, tanto a nível ambiental como monetário. Os valores presentes na tabela 2.8 são calculados com base num simulador e estão descritos em [Schreyer et al. \[2004\]](#). Os custos com o ruído são baseados nas despesas de saúde devido ao impacto do mesmo no sistema nervoso humano.

2001	Mortes por 100 milhões de passageiro-km
<b>Estradas(total)</b>	0,95
Veículo Duas rodas	13,8
A Pé	6,4
Bicicleta	5,4
Automóvel	0,7
Autocarro	0,07
<b>Ferry</b>	0,25
<b>Aviação</b>	0,035
<b>Carris</b>	0,035

Tabela 2.7: Mortes por 100 milhões de passageiros-quilómetros na União Europeia no período 2001-2002, (fonte: Margie et al. [2004]).

Categoria (% do total de custos)	Automóvel	Comboio
Acidentes (24%)	30,90 €	0,80 €
Ruído (7%)	5,20 €	3,90 €
Poluição Atmosférica (27%)	12,70 €	6,90 €
Alterações Climáticas (37%)	22,80 €	9,60 €
Recuperação da natureza (3%)	2,90 €	0,60 €
Efeitos Urbanos (7%)	1,60 €	1,30 €
Total EU 17	76,00 €	22,90 €

Tabela 2.8: Custos médios por passageiro em 17 países europeus em 2010 por categoria de custo e modo de transporte (€/1000pkm), (fonte: IST [2010]).

Numa viagem típica suburbana, como por exemplo Espinho - Porto (total de 22,4 km pela via A29), as emissões de CO<sub>2</sub> (kg/passageiro.viagem) são de 3,76 para o transporte individual e 0,11 para o comboio, apresentando custos ambientais (passageiro.viagem) de 1,55 € e 0,42 €, respectivamente, (fonte: CP [2013]).

### 2.5.3 Rede Ferroviária

A rede ferroviária portuguesa, na sua totalidade, apresenta uma extensão de 3619 km, (fonte: REFER [2010]), em que mais de metade é electrificada e tem instalados sistemas de controlo de velocidade. Nos últimos anos, a rede ferroviária nacional tem sido alvo de constante modernização, em que as tecnologias fazem com que a exploração ferroviária seja segura e fiável, melhorando assim a oferta, o conforto dos passageiros e a mobilidade entre os diversos modos de transporte.

### Custos de Construção e Manutenção

O relatório REFER [2010] discrimina os gastos de gestão da infra-estrutura em várias especialidades. Devido ao relatório de despesas das estradas de Portugal ter o valor de manutenção não só do piso mas também das instalações, de forma a que ambos sejam comparáveis, os gastos com a manutenção das ferrovias e estruturas também foram contabilizados num total, embora a tabela 2.9 descreva os valores para as várias especialidades. Segundo o mesmo relatório, em Dezembro de 2010, a extensão da rede ferroviária nacional

	2010
Via	35,2
Sinalização	17,3
Telecomunicações	13,1
Construção Civil	5,6
Catenária	5,5
<b>Total</b>	<b>82,2</b>

Tabela 2.9: Gastos com a manutenção de ferrovia nas várias especialidades em milhões de € para o ano de 2010, (fonte: REFER [2010]).

era de 3619 km, sendo que 2843 km, cerca de 79 %, estavam em funcionamento. Para o total de km em funcionamento, o preço por km de manutenção da linha ferroviária é de 12 mil euros por quilómetro e os gastos com a actividade e gestão da infra-estrutura são de 29 mil euros por quilómetro. Em termos de construção da linha convencional, o valor aproximado é de 3 milhões de euros por quilómetro, (fonte: Pereira [2012]).

#### 2.5.4 Rede Rodoviária

Portugal tem um dos mais avançados sistemas rodoviários da Europa, que inclui Auto-Estradas (AE), Itinerários Principais (IP), Itinerários Complementares (IC), Estradas Nacionais (EN) e estradas regionais. Em 2010, a rede nacional rodoviária chegou aos 13123 km em Portugal Continental, dividida por 2221 km de IP, 6482 km de IC e EN e 4420 km de estradas regionais. E com mais de um quinto do valor total da rede rodoviária, estão as Auto-Estradas com cerca de 2737 km, (fonte: AICEP [2012]).

O consumismo no mundo automóvel em Portugal e na Europa, tem vindo a crescer nos últimos tempos. A tabela 2.10 da página 31 mostra, por zona, o número de veículos por pessoa e o tipo de veículo que está vinculado a um seguro. Os veículos ligeiros são os que lideram em comparação com o total de veículos, com um valor de 73 %.

Segundo as estatísticas disponibilizadas pelo ESS [2013], os europeus deslocam-se maioritariamente de automóvel e a percentagem dessa distância relativamente à total diária, é de 70 %.

Foi efectuada uma sondagem de hábitos a doze pessoas próximas, correspondendo a doze famílias diferentes. Todos os inquiridos possuem transporte privado. Concluiu-se que

Zona	Ligeiro	Ciclomotor	Autocarro	Total veículos	População	Veículos p/ pessoa
Porto	764824	43631	2104	986997	1287276	0,77
Lisboa	1086107	20202	3201	1379857	2042326	0,68
Portugal	4848724	278811	12764	6630818	10561614	0,63

Tabela 2.10: Veículos que estão vinculados a um seguro no ano de 2011, (fonte: [ISP \[2011\]](#)).

na maioria das deslocações, como por exemplo, fazer compras ou deslocações em lazer, (por vezes distâncias menores que 500 metros), as pessoas optam por deslocar-se de automóvel. De todas as famílias, onze responderam positivamente quando foram questionadas se já tinham efectuado viagens de automóvel em distâncias menores que 500 metros. Das que responderam sim, três afirmaram que fazem-no com a frequência de pelo menos uma vez por semana.

As necessidades de transporte, a nível europeu, não requerem veículos que tenham velocidades máximas de 200 km/h. Para viagens urbanas a velocidade estimada para que se viaje de acordo com as necessidades, ronda os 50 km/h e para distâncias que variam entre os 60 e 100 km, pois para viagens de longa distância, tanto a nível ambiental como económico, é muito mais vantajoso viajar em transportes públicos. No ano de 1960 em Portugal, existiam 212000 veículos e o número de vítimas mortais desse ano foi de 700. Em 2011 o número de automóveis era quase 30 vezes maior do que em 1960, cerca de 6 milhões, mas o número de vítimas mortais manteve-se próximo, com cerca de 690, (fonte: [ISP \[2011\]](#)). O número de vítimas mortais manteve-se possivelmente devido ao aumento das regras de protecção e também aos próprios veículos terem níveis de segurança mais apertados e eficientes do que há 50 anos atrás. Ainda assim, o número de sinistros com feridos em 2011 é de aproximadamente 42851, como podemos verificar na tabela [2.11](#) (pág.32). O número de acidentes por atropelamento foi de 5850 em 2011. Caso as velocidades máximas dos veículos fossem adequadas às necessidades, certamente o número de atropelamentos seria menor e com menos gravidade. Para comprovar isso, uma análise efectuada pelo NIAR (Núcleo de Investigação de Acidentes Rodoviários) do IST, prova que em mais de 100 acidentes já investigados, o excesso de velocidade é o principal factor nos acidentes com vítimas mortais ou feridos graves, (fonte: [NIAR \[2007\]](#)). Segundo o relatório [Margie et al. \[2004\]](#), estima-se que o excesso de velocidade é responsável por cerca de um terço dos acidentes que envolvem vítimas mortais a nível mundial. Sempre que a velocidade duplica, as distâncias de travagem quadruplicam, a violência do impacto é quadruplicado e a probabilidade de sofrer acidentes graves ou fatais aumenta entre 8 e 16 vezes. Estudos efectuados por NHMRC (National Health and Medical Research Council) e RARU (Road Accident Research Unit), concluem que a probabilidade de sobrevivência de um peão, passa de 90 % se for atropelado a 30 km/h, para 0 % se for atropelado a 80 km/h e que por cada 5 km/h de aumento de velocidade, duplica o risco de acidente. Também se concluiu que

por cada 5 km/h acima do limite, em termos de risco de acidentes, corresponde a 0,5 g/l de taxa de alcoolémia. As despesas registadas no relatório [ISP \[2011\]](#), tanto a nível de danos materiais como corporais, podem ser verificadas na tabela [2.12](#) (pág.32).

<b>2011</b>	<b>Vítimas mortais</b>	<b>Feridos graves</b>	<b>Feridos leves</b>	<b>Total</b>
Atropelamento	198	444	5208	5850
Colisão	364	966	22129	23439
Despiste	349	855	12358	13562
<b>Total</b>	891	2265	39695	<b>42851</b>

Tabela 2.11: Acidentes e vítimas segundo a natureza do acidente, (fonte: [ISP \[2011\]](#)).

<b>Sinistros</b>	<b>Responsabilidade Civil e Outras coberturas</b>	
	<b>Danos Materiais</b>	<b>Danos Corporais</b>
	11756879	893037

Tabela 2.12: Valores em milhares de euros dos sinistros em automóvel no ano de 2011, (fonte: [ISP \[2011\]](#)).

Através de uma recolha informal de dados obtidos aleatoriamente a partir da companhia de seguros [AXA \[2012\]](#), foram analisados trinta sinistros rodoviários referentes ao ano de 2012. Desses trinta, apenas quinze apresentaram despesas hospitalares. Desta forma podemos ter uma ideia aproximada dos gastos com a saúde referentes a sinistros rodoviários. Além das despesas com hospitais, acrescem os tratamentos em clínicas e o transporte do

<b>Despesas de saúde em €</b>			
	<b>Atropelamento</b>	<b>Colisão</b>	<b>Despiste</b>
	213	108	147
	756	108	108
	1168	295	147
	108	210	108
	183	345	-
	-	609	-
<b>Média</b>	<b>486</b>	<b>253</b>	<b>128</b>
<b>Desvio Padrão</b>	460	107	22

Tabela 2.13: Valor pago, relativamente a despesas de saúde, segundo a natureza do acidente e com base numa amostra de 30 sinistros, (fonte: [AXA \[2012\]](#)).

doente. A análise encontra-se na tabela [2.13](#).

### Custos de Construção e Manutenção

Avaliando os investimentos propostos para a construção de ligações rodoviárias através de projectos disponibilizados em Mota-Engil [2013], é possível saber quais os custos e o número total de quilómetros da obra. As subconcessões estão apresentados na tabela 2.14, onde estão mostrados os investimentos respectivos e o preço por quilómetro de concessão. Para que seja possível efectuar uma consulta fácil dos valores dos diferentes investimentos relativamente à construção de EN e AE, o gráfico da imagem 2.18 mostra o custo máximo e mínimo por quilómetro e, o "x" assinalado, representa a média de todos os investimentos analisados. Os critérios que foram considerados para a selecção dos investimentos foram: obras públicas efectuadas entre 2008 e 2012 com investimentos de valor variável e obras que incluíssem túneis, rotundas, viadutos, etc. Os dados apresentados no gráfico 2.18 são uma junção dos valores presentes na tabela 2.14 com os valores obtidos através de obras públicas anunciadas em notícias *on-line*.

Relativamente aos gastos da conservação de estradas e melhoria da segurança rodoviária apresentados em EP [2012] no ano de 2011, despendeu-se cerca de 23,3 milhões de euros numa extensão total de 193,6 km, o que equivale a um custo de 120351 €/km.



Figura 2.18: Custos de construção por km de estrada, (fonte: [Análise de notícias e obras públicas *on-line*]).

#### 2.5.5 Alternativas vs. veículo próprio

De forma a ser possível avaliar o impacto financeiro de um veículo próprio em relação a usar transportes públicos ou alugar um automóvel, será apresentada uma tabela com os

Subconcessões	Ano	km AE	km EN	Investimento (M€)	M€/km
AE Transmontana	2008	130	0	525	4,04
Douro Interior	2008	18	243	623	2,39
Baixo Tejo	2009	22	10	255	7,97
Baixo Alentejo	2009	124	0	387	3,12
Litoral Oeste	2009	19	66	419	4,93
Algarve Litoral	2009	0	187	182	0,97
Pinhal Interior	2010	85	89	909	5,22
Total	-	398	595	3300	3,32

Tabela 2.14: Subconcessões, total de km e respectivo investimento de construção.

preços respectivos de cada opção, para um mesmo percurso.

Na tabela 2.15 é apresentado um plano de fim-de-semana de um jovem que vive em Espinho e em que o local de saída geralmente é o Porto. Foram contabilizadas apenas vinte das cinquenta e duas semanas do ano. Os meios de transporte e custos estão apresentados na mesma tabela. Também foi considerado que o mesmo jovem fazia três viagens longas, num ano, em Portugal e essas viagens encontram-se descritas em 2.16 (pág.36). (Apenas viagens em lazer dentro de Portugal são contabilizadas, viagens profissionais e para o estrangeiro são excluídas desta análise.) Na tabela 2.17 da página 36, é apresentado um resumo anual, com o somatório do número total de quilómetros viajados em lazer, assim como o custo respectivo de cada meio de transporte, ou seja, o somatório dos valores das tabelas 2.15 e 2.16. Através desta síntese anual, temos um custo diário de 2,5 €.

Sexta-feira	Local	Distância km	Meio de Transporte
20:50	Casa <sup>6</sup> - EC <sup>7</sup> B	20	Comboio
21:00	EC B - Cinema	3	Táxi
23:30	Cinema - Bar	5	Táxi
03:30	Bar - Casa	25	Táxi
Sábado	Local	Distância km	Meio de Transporte
16:00	Casa - Bar (EC C)	10	Comboio
20:00	Bar (EC C) - Casa	10	Comboio
23:00	Casa - Bar (EC D)	22	Comboio
04:00	Bar - Casa	22	Táxi
Domingo	Local	Distância km	Meio de Transporte
15:30	Casa - Bar (EC D)	22	Comboio
19:00	Bar (EC D) - Casa	22	Comboio
Meio de Transporte	$\sum$ N° Viagens	$\sum$ km	$\sum$ Preço €
Comboio	6	106	11
Táxi	4	55	50 <sup>8</sup>

Tabela 2.15: Locais, distâncias e meios de transporte referentes a um fim-de-semana (Contabilizadas para cálculo 20 das 52 semanas do ano.).

<sup>6</sup>Para efeitos de facilitação de cálculos, considera-se a casa perto da estação de Comboio A

<sup>7</sup>Abreviatura de Estação de Comboios. A - Espinho, B - Gaia, C - Aguda, D - Porto

<sup>8</sup>Considera-se que a viagem seja dividida por dois, logo, o custo por pessoa é de 25 €.

Local	Transporte	Distância Total (km)	Preço (€)
Espinho - Lisboa Lisboa - Espinho	Comboio	600	46
Espinho - Braga Braga - Espinho	Comboio	150	10
Espinho - Portimão Portimão - Espinho	Avião Aluguer Viatura	800 200	40 100

Tabela 2.16: Descrição dos tipos de transporte e custos associados, durante um ano, em viagens longas em lazer.

Transporte	km	Custo (€)	Custo (€/dia)
Avião	800	40	
Comboio	2950	276	
Táxi	1100	500	
Aluguer automóvel	200	100	
<b>Total</b>	<b>5050</b>	<b>916</b>	<b>2,5</b>

Tabela 2.17: Somatório do total de quilómetros e de custos relativamente a viagens efectuadas em transportes públicos durante um ano.

Em relação à avaliação do custo total de um veículo próprio, escolheu-se o modelo Mini - FIAT PANDA, este apresenta um preço base de venda ao público de 11000 €.

Na análise do custo diário foi considerado o mesmo número de quilómetros e as mesmas viagens que estão na tabela 2.17, ou seja, 5050 km. A tabela 2.18 (pág.37) mostra os valores anuais que foram considerados para o cálculo do custo médio diário. Despesas com a revisão e estacionamento foram pressupostos, todas as restantes despesas foram calculadas com base em dados reais.

Após análise final de ambos os casos, dividindo o valor total pelo número de dias num ano, temos um custo diário de **2,5 euros** caso se viaje em **transportes públicos** e **15,5 euros** caso se opte por viajar o mesmo número de quilómetros em **viatura própria**.

Uma das virtudes de viajar em viatura própria, é o comodismo do utilizador poder gerir a trajectória a percorrer, a velocidade e o horário de partida. Nos transportes públicos, estamos sujeitos a velocidades, trajectórias e horários limitados, além de que somos obrigados a esperar entre os transbordos, caso haja essa necessidade. Para ser possível avaliar as diferenças entre o tempo de deslocação por quilómetro relativamente ao transporte privado e público, usaram-se as mesmas distâncias e locais referidos nas tabelas 2.16 e 2.15. Nas tabelas 2.19 e 2.20 é possível verificar quais as distâncias totais percorridas e qual o tempo total dispendido. Nas viagens efectuadas por avião, foi considerado o tempo de *check-in*, assim como o tempo de transbordo nas viagens de comboio e o aluguer de viatura. As

Descrição	Custo (€)
Preço do veículo	11000
Desvalorização anual (fonte: Lusitania [2013])	3630
Prémio de seguro (fonte: Seguro Directo)	376,89
Revisão e Manutenção	600
Preço Imposto Único de Circulação 1250 cc	27,89
Despesas com estacionamento	450
Consumo médio do veículo	5,5 l/100 km
Preço Gasolina 95, Abril 2013 (fonte: BP)	1,599 €/l
Total km/ano (Tab 2.17)	5050 km
Custo com combustível para o total viajado	444 €
Portagens	200 €
<b>Custo total com todas as despesas</b>	<b>5730 €</b>
<b>Custo diário</b>	<b>15,5 €</b>

Tabela 2.18: Descrição dos custos associados a um veículo próprio, durante um ano, em viagens em lazer.

duas tabelas representam dois tipos de viagem: viagens de longo curso (tab: 2.19, pág. 38) e viagens de pequeno curso (tab: 2.20, pág. 39). Para as viagens longas, em que são usados como transporte o avião, o comboio rápido e o veículo de aluguer, o tempo por distância é de 1,14 min/km. Caso se opte por fazer essa viagem em veículo próprio, o tempo dispendido por distância é de 1,50 min/km. A mesma diferença se verifica nas viagens de pequeno curso, ou seja, caso se viaje em transportes públicos o tempo dispendido é de 1,14 min/km e na opção de viatura própria 1,50 min/km. Relativamente a viagens longas, é compreensível que o veículo próprio seja mais demorado quando comparado com um avião ou um comboio de alta velocidade, sendo o automóvel penalizado por condições de trânsito e pelas paragens necessárias para abastecer o depósito. Mas relativamente a viagens curtas, ainda assim, o veículo privado apresenta um tempo/distância maior que o transporte público. Isto deve-se às estações terem sido consideradas como ponto de chegada e partida e devido ao transporte usado (na sua maioria comboio) não ser afectado pelo trânsito nem necessitar de efectuar paragens em várias estações. Caso fosse necessário utilizar outro meio de transporte, como o autocarro, a relação tempo/distância relativamente às viagens em transportes públicos certamente iria ser maior do que quando comparada com a da viatura própria.

Local	Distância (km)	Transporte	t (h:min)	Transporte	t (h:min)
Espinho - Lisboa Lisboa - Espinho	600	Comboio	5:30	Veículo Próprio	7:20
Espinho - Braga Braga - Espinho	150	Comboio	3:16		2:12
Espinho - Portimão Portimão - Espinho	800 200	Avião Aluguer Viatura	4:20 1:50		11:42
<b>Total</b>	1750	-	14:56	-	21:14
<b>Tempo/Distância</b>	-	-	<b>0,512</b> (min/km)	-	<b>0,728</b> (min/km)

Tabela 2.19: Descrição do tipo de transporte usado e respectivo tempo de deslocação relativamente à distância percorrida (viagens de longo curso)

		20 FDS		20 FDS		20 FDS	
	Local	Distância (km)	Transporte	t (min)	Transporte	t (min)	20 FDS
<b>Sexta-feira</b>	Casa <sup>9</sup> - EC <sup>10</sup> B	400	Comboio	240	Viatura Própria	480	
	EC B - Cinema	60	Táxi	200		480	
	Cinema - Bar	100	Táxi	280		280	
	Bar - Casa	500	Táxi	780		780	
<b>Sábado</b>	<b>Local</b>	<b>Distância (km)</b>	<b>Transporte</b>	<b>t (min)</b>		<b>t (min)</b>	
	Casa - Bar (EC C)	200	Comboio	140		320	
	Bar (EC C) - Casa	200	Comboio	140		320	
	Casa - Bar (EC D)	440	Comboio	360		580	
	Bar - Casa	440	Táxi	360		580	
<b>Domingo</b>	<b>Local</b>	<b>Distância (km)</b>	<b>Transporte</b>	<b>t (min)</b>		<b>t (min)</b>	
	Casa- Bar	440	Comboio	580		740	
	Bar - Casa	440	Comboio	580		740	
<b>Total</b>	-	3220		3660	-	4820	
<b>Tempo/Distância</b>	-	-	<b>1,14(min/km)</b>	-	<b>1,50 (min/km)</b>	-	

Tabela 2.20: Descrição do tipo de transporte usado e respectivo tempo de deslocação relativamente à distância percorrida (viagens de pequeno curso).

<sup>9</sup>Para efeitos de facilitação de cálculos, considera-se a casa perto da estação de Comboio A

<sup>10</sup>Abreviatura de Estação de Comboios. A - Espinho, B - Gaia, C - Aguda, D - Porto



# Capítulo 3

## Veículo ZEV

### 3.1 Viabilidade de um veículo com zero emissões ZEV

Com o crescimento da população e a tendência das pessoas se deslocarem para as grandes cidades, aparecem alguns problemas preocupantes. Dois deles são o tráfego e a escassez de estacionamento. Um solução para evitar este tipo de situações consiste em usar veículos mais pequenos, dessa forma é possível estacionar o automóvel com mais facilidade sem impedir o trânsito e onde antes cabia apenas um veículo, será possível estacionar dois ou mais. Dados provenientes do ESS (European Statistical System) mostram que cerca de 50% do tempo gasto em deslocações pelos cidadãos da união europeia é em viagens de lazer e segundo [Layos e António \[2007\]](#), passam a maior parte do tempo de viagem no automóvel. Como já foi analisado anteriormente no subcapítulo [2.5.5](#), viagens longas de automóvel ficam bem mais dispendiosas do que quando são efectuados em transportes públicos.

Os automóveis são, em geral, veículos pesados e a sua massa varia consoante o tipo de veículo. Para compactos, como Fiat Punto e Renault Clio, as massas variam entre os 900 e os 1100 kg. Já os automóveis familiares pequenos podem atingir os 1400 kg, como no caso do Volkswagen Golf, ou até mesmo 1800 kg no caso do BMW série 5 ou o Jaguar XKR. Para o ano 2011, o peso médio de um veículo na Europa era de 1390 kgf, fonte: [ICCT \[2012\]](#). Não só a tara do veículo é elevada, mas também o depósito é exagerado podendo ultrapassar os 70 litros e no caso de um veículo com um consumo médio de 7 litros aos 100 km, pode ter uma autonomia de quase 1000 km. Como agravante, normalmente o automóvel é conduzido apenas por um passageiro, reflectindo-se num grande desperdício de energia. Quanto maior o peso dos veículos, mais energia é dispendida no transporte da carroçaria e também aumenta o atrito de rolamento em órgãos mecânicos rotativos, reflectindo-se num maior consumo energético. O coeficiente de arrasto, o tipo de piso ou até o declive do terreno em que o automóvel circula, influenciam na necessidade energética que a viatura necessita para se deslocar. Os motores de combustão interna rejeitam uma grande parte da energia pelo escape, no caso de um motor de ciclo *otto* o rendimento global está compreendido entre 27% e 30% e no caso de um motor de ciclo *diesel*, o rendimento

global encontra-se entre os 36% e 45%, (fonte: Souza [2010]). Estes rendimentos traduzem-se num maior desperdício de energia e dinheiro quando comparados com o rendimento de um motor eléctrico, que ronda os 90%, (fonte: Ribeiro [2012]). Assim sendo, para um veículo de 1390 kg (média europeia), que transporte uma pessoa de 70 kg, apenas 5% da energia do motor é dispendida no transporte da pessoa. No caso de ser um motor *otto*, o rendimento é de apenas 27%, logo podemos afirmar que em cada 100 € de combustível, apenas 1,3 €<sup>1</sup> são gastos no transporte do condutor. No caso de um ZEV de 210 kg, que transporte uma pessoa com 70 kg, tendo em conta que o motor eléctrico tem um rendimento aproximado de 90%, em cada 100 €, 22,5 €<sup>1</sup> são usados no transporte da pessoa.

## 3.2 Organização das Cidades

Nas cidades europeias os problemas causados pela desorganização e pela poluição devido à industrialização, levaram à adopção de políticas de planeamento urbano, como a construção de linhas de comboios entre zonas industriais e portos marítimos ou a implementação de um sistema de transporte público eficiente. Ainda assim nas grandes cidades em hora de ponta, os níveis de poluição causados pelos veículos, chegam, por vezes, a ultrapassar em muito o valor máximo permitido. Um dos métodos a implementar nas grandes zonas urbanas que ajuda na redução dos níveis de poluição tanto ambiental como sonora, passa pela construção de rotundas bem dimensionadas e estrategicamente localizadas. Estas, reduzem as fortes travagens e arranques repentinos que os semáforos causam, diminuindo significativamente os níveis de poluentes, (fonte: Silva e Seco [2008]). Uma prova da eficiência das rotundas na redução de emissões é a Rotunda do Marquês em Lisboa, onde após estudos elaborados ao final de quinze dias da sua inauguração os níveis de partículas inaláveis (PM<sub>10</sub>) baixaram de 53 g/m<sup>3</sup> para 36 g/m<sup>3</sup>, ou seja, uma redução de 32% e no caso do poluente dióxido de azoto (NO<sub>2</sub>), os valores passaram de 67 g/m<sup>3</sup> para 54 g/m<sup>3</sup>, (correspondendo a uma redução de 19%). Estudos posteriores efectuados pela Universidade de Lisboa concluíram que a poluição atmosférica naquela área manteve-se sempre abaixo dos limites máximos legalmente estabelecidos, enquanto que anteriormente existiam picos que ultrapassavam em oito vezes o limite. De referir que as concentrações de dióxido de azoto e partículas inaláveis foram reduzidas apenas efectuando alterações na circulação rodoviária, (fonte: FCT [2012]).

Através dos dados disponibilizados pela Agência Portuguesa do Ambiente, foi possível observar os valores das emissões de poluentes na estação Francisco Sá Carneiro - Campanhã (Antas), os níveis máximos registados de monóxido de carbono foram maioritariamente

<sup>1</sup>Valores obtidos através das seguintes fórmulas:

$$(1) P_{\text{Veículo}} + P_{\text{Passageiro}} = P_{\text{Total}};$$

$$(2) \frac{P_{\text{Passageiro}}}{P_{\text{Total}}} = \chi;$$

$$(3) \text{Gastos no transporte da pessoa por } 100 \text{ €} = \eta_{\text{motor}} \times \chi \times 100 \text{ €}$$

P representa o preço;  $\chi$  representa a relação entre preço por passageiro e preço total;  $\eta_{\text{motor}}$  representa o rendimento do motor.

entre as 18 e as 21 horas e durante os meses de Novembro e Dezembro, com um pico máximo de  $4813 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mesmo assim não ultrapassou o valor máximo de  $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ , como se pode verificar através do gráfico da figura 3.1 (pág.44). Na figura 3.2 (pág.45) podemos verificar o valor de partículas no ar emitidas maioritariamente pelos veículos a gasóleo.

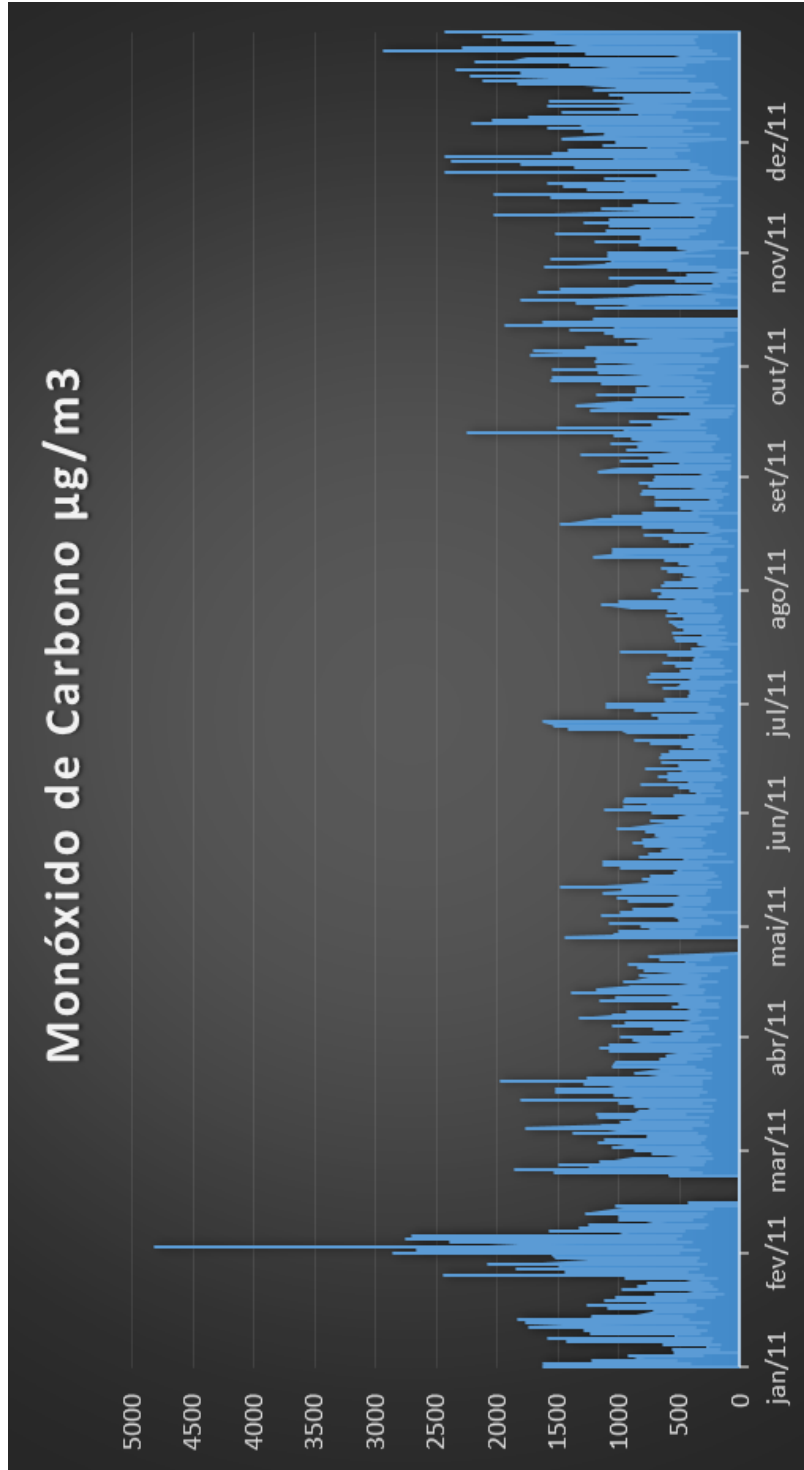


Figura 3.1: Registro da concentração de monóxido de carbono no ar na estação de recolha Francisco Sá Carneiro - Campanhã (Antas), em 2011, (fonte: [APA \[2011\]](#)).

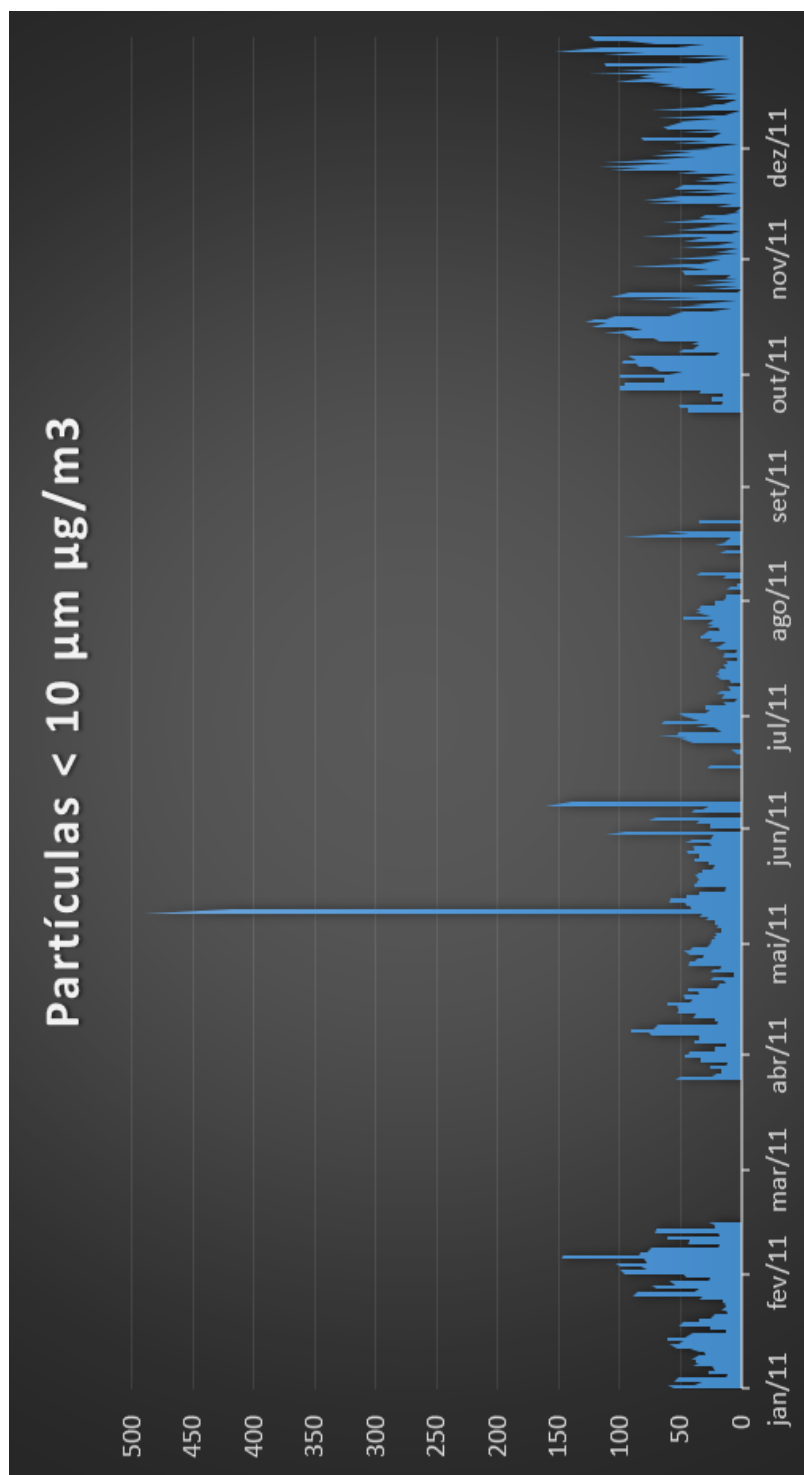


Figura 3.2: Registro da concentração de partículas presentes no ar na estação de recolha Francisco Sá Carneiro - Campanhã (Antas), em 2011, (fonte: [APA \[2011\]](#)).

### 3.3 Potenciais utilizadores

Um estudo realizado pela organização norueguesa Institute of Transport Economics disponível em [Hjorthol \[2013\]](#), veio demonstrar quais as principais pessoas que são possuidoras de um ZEV. As idades dos compradores de veículos eléctricos estão compreendidas entre os 30 e 50 anos, na sua maioria homens e de classe média alta e de elevado nível educacional. São também proprietários de outros veículos não eléctricos e vivem nas proximidades das grandes cidades. Os estudos apresentados no relatório [Hjorthol \[2013\]](#), mostram que os ZEV são utilizados em deslocações para o trabalho e como complemento ao automóvel convencional. Isso verifica-se principalmente na Noruega, onde existem incentivos favoráveis à utilização dos veículos eléctricos, como: redução do IVA (Imposto Sobre o Valor Acrescentado) e do imposto anual de veículos, o estacionamento é gratuito, a condução é permitida em vias de transporte público e também a permissão de circular gratuitamente nas portagens. Segundo estudos, estas vantagens levaram a que o uso do veículo próprio aumentasse após a compra de um ZEV, vindo a substituir as viagens anteriormente efectuadas em transportes públicos.

Devido à limitação da autonomia das baterias, o estudo apresentado em [Hjorthol \[2013\]](#) mostra que os condutores tiveram que remodelar os seus costumes em termos de distâncias percorridas e agora são forçados a serem mais organizados e a não conduzir de forma tão agressiva. Atrás dos motivos da compra destes veículos, estão em primeiro lugar as vantagens regulamentares especiais já referidas no parágrafo anterior, em seguida vêm as preocupações ambientais, depois o baixo custo em termos de manutenção e por fim pela simplicidade e conveniência de conduzir este tipo de veículos.

### 3.4 Incentivos e Instalações

Para que as pessoas optem pela compra de ZEVs em vez de veículos convencionais, o governo responsável por cada país deve criar incentivos adaptados à sociedade. Em Portugal já existem, por exemplo, lugares reservados apenas a veículos eléctricos e postos de carregamento eléctrico, que se encontram espalhados por todo o território nacional, pertencentes à rede MOBI.E (Rede Nacional de Mobilidade Eléctrica). Esta rede detém cerca de 1300 pontos de carregamento normal e 50 pontos de carregamento rápido. Estes 50 pontos estão localizados em zonas estratégicas entre os vários concelhos, de forma a permitir a deslocação entre eles e combater os problemas referentes à autonomia. Outros benefícios fiscais que se encontram em vigor em Portugal, são por exemplo a isenção de ISV (Imposto sobre Veículos) e do IUC (Imposto Único de Circulação), (Lei n.º 22-A de 2007), ou por exemplo, para empresas, existe a possibilidade de deduções em sede de IRC (Imposto sobre o Rendimento das Pessoas Colectivas).

Ainda assim, a mentalidade das pessoas, como já foi demonstrado, está ainda num patamar de adaptação. O estudo norueguês [Hjorthol \[2013\]](#), defende que para aumentar o incentivo da compra de ZEVs, as pessoas devem conhecer o tipo de tecnologia e terem a hipótese de experimentar o veículo. O preço elevado dos veículos eléctricos é um sério

problema, mas também as questões de segurança e o desconhecimento do tipo de tecnologia. De qualquer maneira, a facilidade do estacionamento, o ambiente de utilização amigável e a baixa emissão de ruídos, são bem vistos pela maior parte das pessoas.

## 3.5 Realidade em Portugal

Em Portugal, segundo a ACAP (Associação Automóvel de Portugal), existem em circulação perto de 300 automóveis eléctricos. A venda deste tipo de veículos teve uma queda de 68 % em 2012 relativamente a 2011. As marcas e respectivos modelos mais vendidos foram o Smart ForTwo, o Nissan Leaf e o Renault Fluence. Esta quebra nas vendas deve-se não só à crise financeira instalada no país, mas também devido aos cortes de incentivo de 5000 euros.

Segundo o questionário "on-line" apresentado em [Baptista et al. \[2012\]](#), em Portugal, 80% dos inquiridos afirmou conduzir menos de 50 km diariamente; 53% faz semanalmente ou mensalmente viagens entre 100 a 500 km e 38% viagens entre 500 a 1000 km; 90% têm conhecimento da existência de veículos eléctricos e veículos eléctricos híbridos, mas apenas 56% dos veículos eléctricos híbridos tipo *plug-in*. Não tendo em consideração o preço, 40% dos inquiridos estavam dispostos a comprar um veículo eléctrico híbrido e apenas 13% um veículo eléctrico. Após os inquiridos serem informados que carregar o veículo com energia eléctrica nos dias de hoje, fica duas a três vezes mais barato que quando se usa combustível fóssil, a consideração em comprar um EV (Electrical Vehicle) e um PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) aumentou para 57% e 67% respectivamente. Cerca de 70% gostaria de poder carregar os seus veículos em casa. Os condutores que percorrem menos de 100 km por dia mostram muito maior probabilidade em adquirirem este tipo de viatura em comparação com aqueles que fazem viagens mais longas.

### 3.5.1 Veículos à venda em Portugal

A lista de veículos presente na tabela<sup>2</sup> 3.1 (pág.49) não apresenta todos os veículos eléctricos disponíveis em Portugal, mas sim alguns dos modelos mais acessíveis em termos de preço de cada marca. Através desta lista será possível avaliar o que está presente no mercado e o que se deve mudar para que os veículos eléctricos sejam mais competitivos no mercado presente.

Analisando esta lista, o que se destaca mais é o preço excessivo dos veículos, sendo o mais barato o Renault Twizy, com um preço final, já com o aluguer da bateria, de 9510 €. O peso do automóvel é também um problema, sendo o mais leve o Futu de dois lugares e com uma massa de aproximadamente 400 kg. Relativamente à autonomia, o que se destaca é o Nissan Leaf, mas este também é o mais pesado de todos, com cerca de duas toneladas.

---

<sup>2</sup>Foram considerados os veículos de gama mais baixa respectivamente a cada marca, com excepção da marca Renault, devido a existirem veículos de gama diferente. Aos preços dos veículos que apresentem um asterisco soma-se o valor do aluguer da respectiva bateria.

Em suma, os veículos que se encontram listados são pesados, caros e apresentam autonomias e velocidades máximas excessivas para as necessidades reais do quotidiano do europeu comum.

Marca	Modelo	Preço (€)	Massa (kg)	Ocu.	Aut. (km)	V.Max (km/h)	Motor		Bateria		
							Pot. (kW)	Binário (N.m)	Tipo	Volt. (V)	Capac. (kW.h)
Citroen	C-Zero	31033	1110	4	130	130	47	180	Iões de Li	-	16
Futi	-	15990	400	2	80	-	14	-	Iões de Li	-	-
GEM	e2	-	508	2	56	40	3,7-8,8	-	electrolyte	72	-
Mitsubishi	i MiEV	-	1080	4	160	130	47	180	Iões de Li	330	16
Nissan	LEAF	-	1945	5	199	144	80	254	Iões de Li	360	24
Peugeot	iOn	30757	1120	4	150	130	35-49	180	Iões de Li	-	16
Renault	Twizy	6990*	445	2	100	45	4	-	Iões de Li	-	7
Renault	ZOE life	21750*	-	5	210	135	65	220	Iões de Li	-	22
REVA	REVAi	14268	665	4	100	80	13	52	Li	-	-
Smart	fortwo e	24500*	995	2	145	125	35-55	130	Iões de Li	-	17,6
Tazzari	ZERO	23124	542	2	140	100	-	150	Iões de Li	-	-

Tabela 3.1: Lista das características dos veículos totalmente eléctricos que estavam disponíveis para venda, em Portugal, em Março de 2013.

## 3.6 Preconceitos e opiniões públicas

### 3.6.1 Mentalidade acerca dos ZEV

Um inquérito "on-line" elaborado em 2011 pela empresa Accenture em 13 países (Alemanha, Austrália, Canada, China, Coreia do Sul, Espanha, Estados Unidos da América, França, Holanda, Itália, Japão, Reino Unido e Suécia), analisou a opiniões e preferências dos consumidores relativamente aos veículos eléctricos. Os resultados mostram que 30 % admite perceber deste tipo de veículos para poderem comprar um, sendo que na China essa percentagem era de 44 % (valor mais alto) e no Japão 20 % (valor mais baixo). Cerca de 58 % é a favor da substituição gradual dos veículos convencionais pelos veículos eléctricos, sendo o valor mais alto na China com 86 % o mais baixo na Holanda com 41 %. E 60 % dos inquiridos pondera na aquisição de um automóvel eléctrico na compra do seu próximo veículo, com a maior percentagem pertencente à China, 95 % e a mais baixa de 41 % pertencente à Holanda. Os resultados podem parecer surpreendentes, pois esperava-se que os países mais industrializados tivessem uma perspectiva diferente face às preocupações ambientais, mas como os níveis de poluição na China chegam a ser 35 vezes acima dos 25 microgramas de partículas (PM<sub>2,5</sub>) por metros cúbico considerados seguros para a saúde humana, a população tende a procurar alternativas que tornem a sua qualidade de vida melhor.

Os factores mais importantes na aquisição de um veículo são:

1. 63 % - Pontos de carregamento em casa.
2. 53 % - Autonomia equivalente a um automóvel convencional.
3. 51 % - Custo total do veículo juntamente com o custo do carregamento da bateria.
4. 50 % - Opção de carregamento rápido.

Os três principais incentivos<sup>3</sup> são:

1. 86% - Ausência de impostos sobre o veículo.
2. 65% - Estacionamento gratuito.
3. 44% - Desconto nas portagens.

Dos inquiridos, 71 % é a favor dos híbridos e os restantes preferem um veículo totalmente eléctrico. A razão desta percentagem ser tão elevada deve-se à baixa autonomia do veículo totalmente eléctrico, a dificuldade em encontrar postos de abastecimento para automóveis eléctricos e devido ao longo período necessário para carregar a bateria. As preferências na escolha de um ZEV foram os baixos custos relativamente à gasolina e a diminuição das emissões provenientes da queima do combustível.

---

<sup>3</sup>Estes benefícios apenas funcionarão num período inicial como forma de incentivarem a compra dos ZEV.

### 3.6.2 Preconceitos

Na maior parte das culturas, quando algo implica alterar os hábitos e costumes das pessoas, normalmente, devido ao conforto a que estão habituadas, essas alterações não são bem recebidas. A maior parte dos inquiridos quando confrontados com a possibilidade de substituição do seu automóvel convencional por um ZEV adaptado às necessidades diárias, mais de metade respondeu que não o substituiria. Após serem questionadas sobre o total de quilómetros diários efectuados e com quantas pessoas normalmente viajavam no automóvel, admitiram que a razão pela qual não eram capazes de utilizar um ZEV é relacionada com o preconceito em relação ao uso desses veículos.

Existem preconceitos que tendem a afastar as pessoas de comprarem veículos eléctricos, alguns reflectem total desconhecimento sobre a tecnologia. Através de questões colocadas pelos utilizadores no inquérito disponível em [Renault \[2013\]](#), foi escolhida uma amostra de perguntas relativamente à segurança e utilização do veículo. Foi efectuado um questionário com as perguntas escolhidas a uma amostra de 23 pessoas e concluiu-se que:

Cerca de 70 % afirma que utilizar os faróis durante a noite descarrega a bateria. Foi indicado que a iluminação não é grande consumidora de energia e que a recuperação de energia nas travagens é suficiente para alimentar os faróis e ainda carregar a bateria do automóvel.

Quando confrontados com uma autonomia máxima de 100 km, 96 % referem ser reduzida e dessa forma ser impraticável. Após fornecimento da informação que a média de deslocações de um europeu é de 40 km diários, (fonte: [Layos e António \[2007\]](#)), 65 % afirmou que geralmente não viaja mais de 40 km por dia e, quando o fazem, é aos fins-de-semana em lazer.

Devido ao tempo necessário para o carregamento total da bateria ser cerca de 8 horas (variando de bateria para bateria), 100 % disse ser excessivo o tempo de carregamento. Quando foram confrontados com a possibilidade de carregar a bateria durante a noite e que em 30 minutos é possível carregar 80 % da bateria em carregadores rápidos, cerca de 70 % dos inquiridos mostraram-se mais receptivos e compreensivos relativamente ao tempo de carregamento.

Todos os inquiridos afirmaram que a velocidade máxima permitida é reduzida e, mesmo sabendo que o motor eléctrico desenvolve o binário máximo imediatamente, mostraram-se insatisfeitos com velocidades inferiores a 100 km/h.

Todos são da opinião que a bateria descarrega quando o veículo está parado. Foi indicado que devido ao sistema de recuperação de energia nas travagens o veículo torna-se mais económico em meios citadinos.

Quando confrontadas com as perguntas relativamente à distância que fazem por dia e ao excesso de capacidade de um depósito de combustível, mais de 78 % dos inquiridos admitiu não querer adoptar um veículo eléctrico que se adapte às nossas necessidades devido a preconceito.



# Capítulo 4

## Protótipo ZEV

### 4.1 Características do veículo atendendo às nossas necessidades

#### 4.1.1 Características principais do veículo

Recorrendo às estatísticas que reflectem as nossas necessidades, tanto em termos de distância percorrida como à carga que levamos no veículo, concluímos que para a maior parte da população, não há necessidade de existirem veículos com autonomia superior a 100 km e com capacidade para mais do que duas pessoas. Como tal o veículo proposto será de quatro rodas, dois lugares (um dianteiro e outro traseiro, sendo que este último, quando não utilizado, poderá servir como arrumação ou como local de transporte das baterias extra) e duas portas. Dispositivos como os monitores de informação, iluminação traseira, dianteira e interior e outros dispositivos, são alimentados através da bateria.

As restantes características serão descritas posteriormente em mais detalhe. Pode-se visualizar na figura 4.1 (pág.54) o veículo protótipo estacionado num lugar para automóveis convencionais em tamanho real e na imagem 4.2 (pág.55) pode-se ver o veículo numa estrada.

#### 4.1.2 Sistema de regeneração da energia de travagem

O sistema de regeneração da energia de travagem instalado, permitirá travar convertendo a energia cinética do veículo em energia eléctrica, utilizando-a para carregar a bateria, o que compensará as perdas de energia que ocorrem no arranque. A travagem regenerativa funciona de uma forma simples, o acelerador funciona como um regulador de velocidade, ou seja, caso o veículo vá a subir, o controlador fornece mais corrente de forma a atingir a velocidade desejada pelo utilizador. No caso do veículo circular numa estrada plana, o controlador fornece corrente ou o sistema de travagem regenerativa é accionado de forma a manter a velocidade e se o veículo estiver a descer, apenas a travagem regenerativa é accionada. Quanto maior a intensidade da travagem, maior será a corrente transmitida



Figura 4.1: Escala real do veículo parado num estacionamento convencional.

pelo gerador, daí a necessidade das baterias permitirem carga rápida, pois caso contrário, a eficiência de aproveitamento da bateria será reduzida.

A regeneração de energia através da travagem só se aplica nas rodas onde está acoplado o motor, ou seja, nas rodas traseiras. De forma a assegurar segurança na travagem quando o piso está molhado ou numa situação de travagem imediata ou quando as baterias já estiverem totalmente carregadas, devem existir travões de disco convencionais em todas as rodas.

É necessário a instalação de um sistema de protecção electrónico devido à possibilidade do sistema de regeneração continuar a funcionar quando as baterias já estão carregadas com a potência máxima. Caso isso seja verificado, a energia é dissipada ou então acumulada em condensadores ou baterias de armazenamento secundárias que, posteriormente, poderão carregar a bateria principal.

### 4.1.3 Materiais de construção

Como já foi referido anteriormente, um ZEV refere-se a emissões zero mas apenas na utilização, o processo de fabrico do veículo, (do poço à roda), implica obrigatoriamente a emissão de poluentes. Para que a produção do veículo seja o mais verde possível, há que



Figura 4.2: Escala real do veículo numa estrada convencional.

ponderar sobre quais os materiais a utilizar, mas sem penalizar a qualidade e segurança. O alumínio é um material bastante abundante e é totalmente reciclável sem ser necessário recorrer a grandes gastos<sup>1</sup> energéticos. Além disso, é um material bastante leve e com propriedades mecânicas excelentes, sendo possível melhorar a qualidade e características recorrendo ao uso de outras ligas. Por estes motivos, tendo em conta que se trata de um tipo de veículo urbano, este género de material é ideal, pois preenche os requisitos necessários para que o veículo seja seguro, sem prejudicar a sua dinâmica. Não só o *chassi* pode ser construído à base de alumínio, mas também peças no interior do automóvel, como os puxadores ou até os pedais. A tabela 4.1 (pág.57) apresenta a lista de materiais respectivamente a cada componente usado na construção do veículo.

## Vidros

O vidro escolhido é um vidro laminado, composto por duas placas de vidro unidas por uma camada de PVB (Polivinil butiral). Este tipo de vidros são caracterizados pelo não

---

<sup>1</sup>O gasto energético da reciclagem do alumínio é 95 % menor do que a produção primária. Para a produção de uma tonelada de alumínio primário é necessário 15 MWh, logo, para a reciclagem de uma tonelada de alumínio, apenas é necessário cerca de 14 kWh, (fonte: [Krull e Amorim \[2004\]](#) e [Layargues \[2002\]](#)).

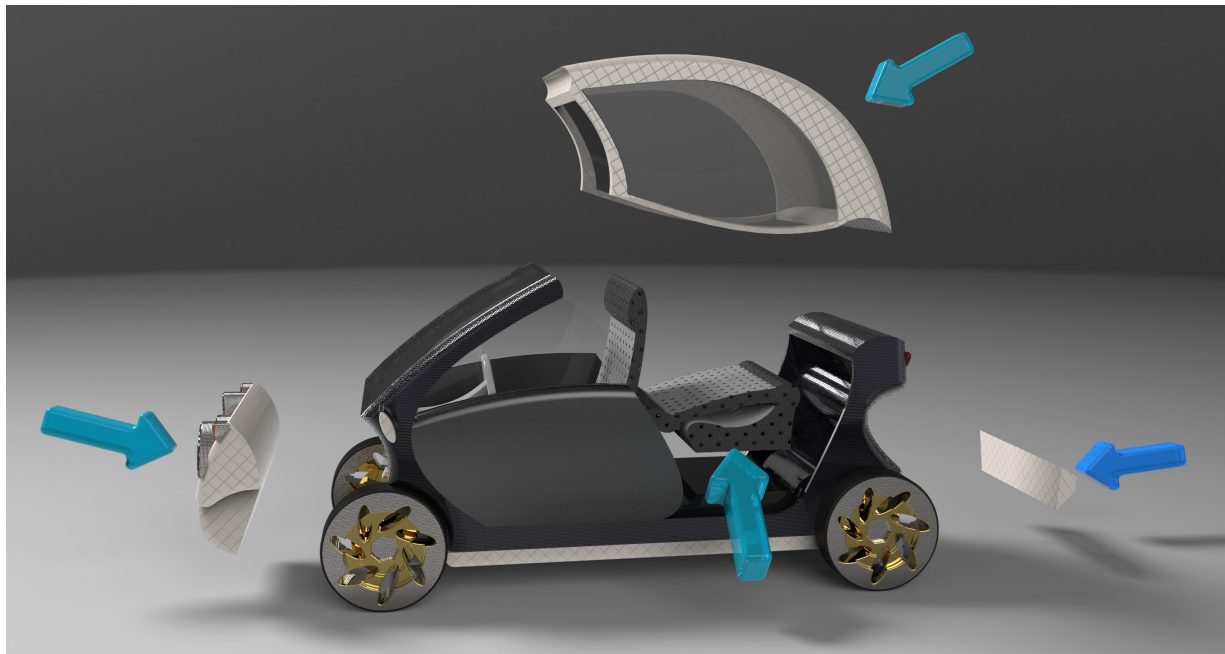


Figura 4.3: Partes amovíveis de fácil substituição, banco retráctil e tejadilho amovível.

estilhaçamento do vidro caso haja um acidente, pois o PVB tem a capacidade de prender os estilhaços.

### Chassi

O Alumínio 7075 - T6 é um material forte com uma resistência comparável a muitos aços e oferece boa resistência à fadiga. Embora apresente uma maquinabilidade e resistência à corrosão média, é um excelente material para aplicar em *chassis* de forma a torná-los mais leves, sem que a segurança seja posta em causa, (fonte: Fioravanti [2008]).

### Bancos

O material da estrutura principal dos bancos será à base de Poliamida 66 - 60 % Fibra vidro, é considerado um plástico muito versátil. Além de ser fácil de processar, é também pouco poluente, tanto na produção como na reutilização. Apresenta uma boa tenacidade, baixa densidade e muito boa resistência à humidade. O enchimento do banco será à base de espuma de polietileno de célula fechada e o respectivo revestimento deverá ser de um material com o menor impacto ambiental possível, (fonte: Azevedo [2008]).

### Estrutura

Os compósitos de fibra de carbono, quando usados assincronamente com outros materiais resistentes, como por exemplo, o aço carbono AISI 1095 20C, dão a possibilidade da estrutura manter uma resistência elevada sem que peso da mesma seja demasiado. Há que ter

em atenção que este veículo foi projectado para velocidades máximas de 60 km/h e, embora a segurança seja um importante factor, não é necessário ter as mesmas características de segurança que um veículo convencional, (fonte: Magalhães [2006a]).

### Envolvente exterior, interior e outros componentes

O LD - GMT (Low-density glass-mat thermoplastic) e o PP (Polipropileno), foram os materiais seleccionados na constituição tanto da envolvente exterior como interior. O reforço do LD - GMT é constituído por fibras longas de vidro e tem uma grande aplicabilidade na indústria automóvel por ser um material excelente devido à sua boa relação preço-desempenho, oferece flexibilidade, uma massa volúmica variável de 600 a 2000 kg/m<sup>3</sup>, alta rigidez, excelentes características de absorção de energia e apresenta um processo de produção ambientalmente amigável, (fonte: Hipwell [2005]). Devido ao PP ser um plástico com boa absorção sonora e bom isolante de térmico, é excelente para ser usado no interior dos veículos, (fonte: Magalhães [2006b]).

Componente	Material	Massa Volúmica (kg/m <sup>3</sup> )
Pneu	Borracha	1100
Vidros	PVB Vidro Laminado	2420
Chassi	Alumínio 7075 - T6	2810
Jantes	Alumínio 6061 - Alloy	2700
Amortecedores	Aço Carbono AISI 1095 20C	7800
Bancos	Poliamida 66 - 60% Fibra vidro	1700
Estrutura	Aço Carbono A572-50	7860
	UHM - (CFRP)	1800
Envolvente exterior	LD - GMT	600 - 2000
Portas e peças amovíveis	LD - GMT	600 - 2000
Envolvente interior	LD - GMT e PP	946
Preenchimento das portas e bancos	Espuma de polietileno extrudado de célula fechada	50

Tabela 4.1: Materiais usados na construção do veículo e respectiva densidade

#### 4.1.4 Sistema de encaixe das peças amovíveis

Na figura 4.3 (pág.56), podemos observar as partes amovíveis do veículo, como a capota e as partes dianteira e retaguarda, sendo as duas últimas as zonas mais prováveis de existir embate. Em vez do proprietário ser obrigado a enviar o automóvel para reparação no caso de danificação, há possibilidade de substituir os painéis frontais e traseiros, (visto serem de encaixe), caso os danos não afectem o resto da estrutura. Na figura 4.4 (pág.64)

está representado a forma como as peças amovíveis serão encaixadas. Este encaixe será efectuado pela acção da rotação de um gancho, (visível em pormenor na parte inferior da figura). Para evitar vandalismo da viatura, a rotação do gancho só pode ser accionada usando a chave do veículo.

#### 4.1.5 Dimensões principais do veículo

Seguidamente, é apresentado um esquema das cotas principais do veículo, visível na imagem 4.5 da página 65.

#### Estimativa do peso do veículo

Na tabela 4.2 (pág.58) estão presentes os elementos do veículo, assim como uma estimativa dos seus pesos. O peso do conjunto de baterias e do motor foram obtidos através dos dados técnicos dos respectivos fabricantes, todos os restantes foram estimativas e comparações com os valores do modelo elaborado em *SolidWorks* e com os veículos existentes de semelhante gama. No total, o veículo tem um peso de aproximadamente 210 kgf, sendo a bateria o componente mais pesado, cerca de 30 % do peso total.

Elementos do Veículo	Massa (kg)
Baterias	66
Bancos	16
Rodas	16
Capota	8
Motor	28
Transmissão	15
Unidade de controlo do motor	5
Amortecedores	4
Estrutura	20
<i>Chassi</i>	15
Componentes	5
Portas e Janelas	14
<b>Total</b>	<b>212</b>

Tabela 4.2: Massa dos elementos do Veículo.

Uma distância entre eixos considerável e um centro de gravidade o mais próximo possível do solo são necessários para aumentar a estabilidade do veículo.

#### 4.1.6 *Chassi*

O *chassi* do veículo será maioritariamente constituído por alumínio fundido, de forma a tornar o veículo o mais leve possível, como já foi referido anteriormente no subcapítulo *Materiais de construção*. Através da construção de um *chassi* leve, a energia despendida que

é necessária para deslocar o ZEV vai ser reduzida, tornando-o num veículo mais eficiente. A estrutura do *chassi* pode ser vista na figura 4.8 que se encontra na página 67.

#### 4.1.7 Motor Eléctrico

O motor será eléctrico de indução, trifásico e estará acoplado na traseira do veículo detrás do banco, como se pode verificar na figura 4.11 da página 69, também estará em linha com o centro de gravidade relativamente ao eixo longitudinal de forma a equilibrar o veículo.

#### Cálculo da necessidade energética do veículo

A resistência ao movimento do veículo está subdividida em três partes: (As seguintes fórmulas foram retiradas do manual: Ribeiro [2012].)

1. Atrito de rolamento em órgãos mecânicos rotativos:

$R_{rolamento}$  é a resistência ao rolamento, expressa em Newton.

$V$  é a velocidade do veículo, expressa em m/s.

$P$  é o peso do veículo, expresso em Newton.

$K_r$  é um coeficiente de rolamento, adimensional, dependente do tipo de piso.

$$R_{rolamento} = \left( K_r + \frac{6,48V^2}{1000000} \right) P = \left( 0,0125 + \frac{6,48 \times (16,6(7))^2}{1000000} \right) \times 2060 = \mathbf{30 \text{ N}}$$

O atrito de rolamento em órgãos mecânicos rotativos está relacionado com a superfície em contacto com os pneus, com o peso do veículo e com a sua velocidade máxima. O coeficiente de rolamento vai variar com o tipo de piso, pois a aderência do pneu é dependente do pavimento. Para pisos de terra batida o coeficiente é mais elevado do que numa estrada asfaltada. Foi considerado que o veículo circulava maioritariamente em piso bem asfaltado.

- Velocidade máxima do veículo: 60 km/h ou **16,66(7)** m/s
- Peso do veículo:  $\approx 210 \text{ kgf}$  ou **2060 N**
- Coeficiente de rolamento numa estrada plana bem asfaltada: **0,0125** (Adimensional)

2. Arrasto do ar:

$R_{arrasto}$  é a resistência ao movimento de um veículo devida ao arrasto do ar, expressa em Newton.

$C_D$  é o coeficiente de arrasto, adimensional e dependente da forma do veículo.

$\rho$  é a massa volúmica do ar, expressa em  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

$V$  é a velocidade do veículo, expressa em  $\text{m}/\text{s}$ .

$A_p$  é a área projectada da frente do veículo, expressa em  $\text{m}^2$ .

$$R_{arrasto} = C_D \frac{1}{2} \rho V^2 A_p = 0,35 \times \frac{1}{2} \times 1,2 \times (16,6(7))^2 \times 1,32 = \mathbf{77 \text{ N}}$$

Segundo White [1999], os veículos modernos têm um coeficiente médio de 0,35. Mas para que o valor seja mais próximo do real, fez-se uma comparação com veículos de dimensões semelhantes ao projectado. Com excepção do Twizy, os restantes têm valores abaixo do coeficiente médio de 0,35, como se pode verificar na tabela 4.3. Mas devido a existir a possibilidade do veículo projectado ficar descapotável, foi escolhido um coeficiente de arrasto de 0,35.

Veículo	$C_D$
Smart ForTwo	0,29
Twizy	0,64
Gem e2	0,3
Reva	0,34

Tabela 4.3: Coeficiente de arrasto de veículos eléctricos de pequenas dimensões, (fonte: MDI [2012]).

- Massa volúmica do ar:  $\approx \mathbf{1,2 \text{ kg}/\text{m}^3}$  a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$
- Coeficiente de arrasto: tendo em conta a forma do veículo, o  $C_D \approx \mathbf{0,35}$  (Adimensional)
- Área projectada da frente do veículo:  $\approx \mathbf{1,32 \text{ m}^2}$

### 3. Declive do pavimento:

$R_{declive}$  é a resistência causada pelo declive do terreno ao movimento de um veículo.

$P$  é o peso do veículo em N.

$\alpha$  é o ângulo de inclinação do piso.

$$R_{declive} = P \sin \alpha = 2060 \times \sin(4,57^\circ) = \mathbf{164 \text{ N}}$$

De forma ao veículo ter capacidade para subir um trainel inclinado, é necessário existir uma força paralela à inclinação e de amplitude dependente do ângulo de inclinação.

- Segundo [InIR \[2010\]](#) a inclinação máxima desejável para trainéis com uma extensão máxima de 3000 metros é de 8 %, o que significa que o ângulo máximo de inclinação para este caso será de **4,57°**.

A força  $R$  que um veículo tem de vencer ao deslocar-se é o somatório das forças  $R_{rolamento} + R_{arrasto} + R_{declive}$ , ou seja, um total de **271 N**.

A potência de que um veículo necessita para se deslocar à velocidade de 60 km/h é calculada pela expressão:

A  $W_{útil}$  pode ser considerada igual à  $W_{propulsor}$  devido a não existirem perdas na transmissão.

$$W_{propulsor} = RV = 271 \times \frac{60000}{3600} = \mathbf{4,517 \text{ kW}}$$

Após efectuar os cálculos respectivos, optou-se por um motor CC e com bom desempenho para um veículo com velocidades compreendidas entre os 40 e 60 km/h. O motor (com a referência DC/T4-48 de marca branca e disponível em [EV-Permanent \[2013\]](#)), apresenta as seguintes características:

1. Peso: 28 kgf
2. Velocidade angular: 2800 rpm
3. Tensão: 48 V
4. Corrente: 104 A
5. Potência: 4 kW (pico de 12 kW)
6. Binário: 14,7 N.m

As respectivas curvas características do motor estão representadas nas figuras [4.9](#) (pág.68) e [4.10](#) (pág.68).

### 4.1.8 Bateria

Relativamente à bateria que alimenta o motor, optou-se pela bateria de polímeros de lítio. As baterias de chumbo embora sejam baratas, são pesadas e têm uma razão energia/peso baixa. As baterias de níquel cádmio podem trazer alguns problemas para o veículo devido à sua resistência interna diminuir com o aumento da temperatura. Embora as baterias de iões de lítio tenham um preço bastante elevado, apresentam uma melhor relação energia/peso e têm boa durabilidade, (aproximadamente mil ciclos de vida). A localização das baterias será por baixo dos bancos de forma a que estejam próximas do chão para que o centro de

gravidade seja o mais baixo possível e para que o seu peso se encontre bem distribuído pelos eixos. A bateria será dividida por dois módulos, ou seja, um no banco da frente, outro no banco de trás, como se pode observar na imagem 4.13 (pág.70) e estarão ligadas entre si por cabos eléctricos de fácil encaixe.

### Cálculo da capacidade da bateria

Analisando o esquema da figura 4.12 (pág.69), verificamos que a bateria é constituída por dois módulos em série que estão ligados em paralelo a outros dois módulos em série. No total, a bateria tem capacidade de 4,096 kWh.

1. Para uma velocidade máxima de 60 km/h limitada electronicamente, a potência de que um veículo necessita para se deslocar é de 4,517 kW.

$$2. \frac{\text{Capacidade da bateria}}{\text{Energia necess. para mover o veículo uma hora}} = \frac{4096Wh}{4517Wh} = 0,901.$$

3. O veículo teria autonomia para viajar ( $60 \text{ min} \times 0,901$ ) 54 minutos a 60 km/h em condições extremas.

Como a autonomia depende do terreno, resistência do ar, resistência de rolamento, eficiência do motor, transmissão, controlador e bateria e peso dos passageiros/carga a estimativa obtida pode variar. Caso o veículo circule apenas uma carga/pessoa de 100 kg, com um declive de pavimento baixo, a autonomia pode ultrapassar os 54 km. No caso do declive ser sempre acentuado e a carga a transportar ser superior a 200 kg, a autonomia do veículo poderá não chegar aos 54 km.

Para uma velocidade máxima de 60 km/h, de forma que o veículo tenha uma autonomia de aproximadamente 100 km em condições óptimas, a capacidade total da bateria será de cerca de 4 kW.h, dividida em quatro módulos, cada um de valor igual a 1 kW.h.

### Especificação dos módulos da bateria

O módulo P40-24 da marca Valence, é um módulo de alto desempenho, é constituída por lítio, ferro, magnésio e fosfato. Foi desenhado para grandes potências e é leve. A tabela 4.4 da página 63 descreve as especificações dos módulos que são usados para a construção da bateria que vai ser instalada no veículo.

### Forma de carregamento das baterias

Embora a forma mais usual de carregar a bateria do veículo seja através de um cabo que liga a uma tomada eléctrica convencional, (carregamento normal), existem outros modos de carregamento possíveis para este tipo de veículos. Neste método, a duração do carregamento total da bateria tem um valor aproximado de 8 horas, sendo possível carregar em casa ou num dos 1300 postos de carregamento disponíveis em Portugal.

Especificações	Valores
Tensão Nominal (V)	25,6
Capacidade Nominal (Ah)	40
Tensão de Carga (V)	29,2
Corrente de Carga (A)	40
Tensão de Descarga (V)	18,4
Corrente de Descarga (A)	240
Potência Específica (W/kg)	800
Peso (kgf)	16,5
Dimensões (mm) C×L×A	256×165×260

Tabela 4.4: Especificações dos módulos usados na bateria.

O método de carregamento rápido também é possível, pois permite carregar a bateria em cerca de 80 % em apenas meia hora. Estes pontos de carregamento são disponibilizados em Portugal pela rede MOBI.E e são colocados estrategicamente nas vias de circulação entre concelhos, de forma a possibilitar a deslocação entre eles caso a bateria não tenha capacidade suficiente.

Os dois módulos das baterias são colocadas por baixo dos bancos e o sistema de encaixe entre elas é simples. No caso de existirem locais próprios que permitam o aluguer de baterias ou no caso de o utilizador ter um conjunto extra de baterias (que pode ser colocado na zona do banco traseiro amovível), poderá facilmente trocar as baterias em pouco tempo, permitindo quase de imediato ter novamente a autonomia máxima, embora tenha a penalização de só poder viajar uma pessoa no veículo e sem carga, tendo em conta que as baterias ocupam um grande volume.

Outro método, mais complexo, é o método de carregamento por indução magnética. Este sistema não necessita de cablagem para carregar a bateria. De uma forma simplista, consiste numa bobina transmissora que estará localizada, por exemplo, num estacionamento e numa bobina receptora, que estará instalada por baixo do veículo. Faz-se passar uma corrente alternada na bobina transmissora que gera um campo magnético e induz uma tensão na bobina receptora, carregando assim a bateria. Este método seria útil, no sentido em que bastava estacionar o veículo num lugar adaptado com este sistema e o automóvel entraria em modo automático de carregamento, caso a bateria não estivesse totalmente carregada. Este sistema tem como vantagens principais a possibilidade de carregamento sem fios, ser electricamente seguro, apresentar resistência à água ou até poder carregar mais que um veículo ao mesmo tempo. Mas também tem como desvantagens o maior consumo eléctrico, uma baixa eficiência, a geração de calor é maior relativamente ao método tradicional, apresenta um custo de fabrico elevado e pode emitir radiações magnéticas perigosas para o ser humano, (fonte: [Chawla e Tosunoglu \[2012\]](#)).

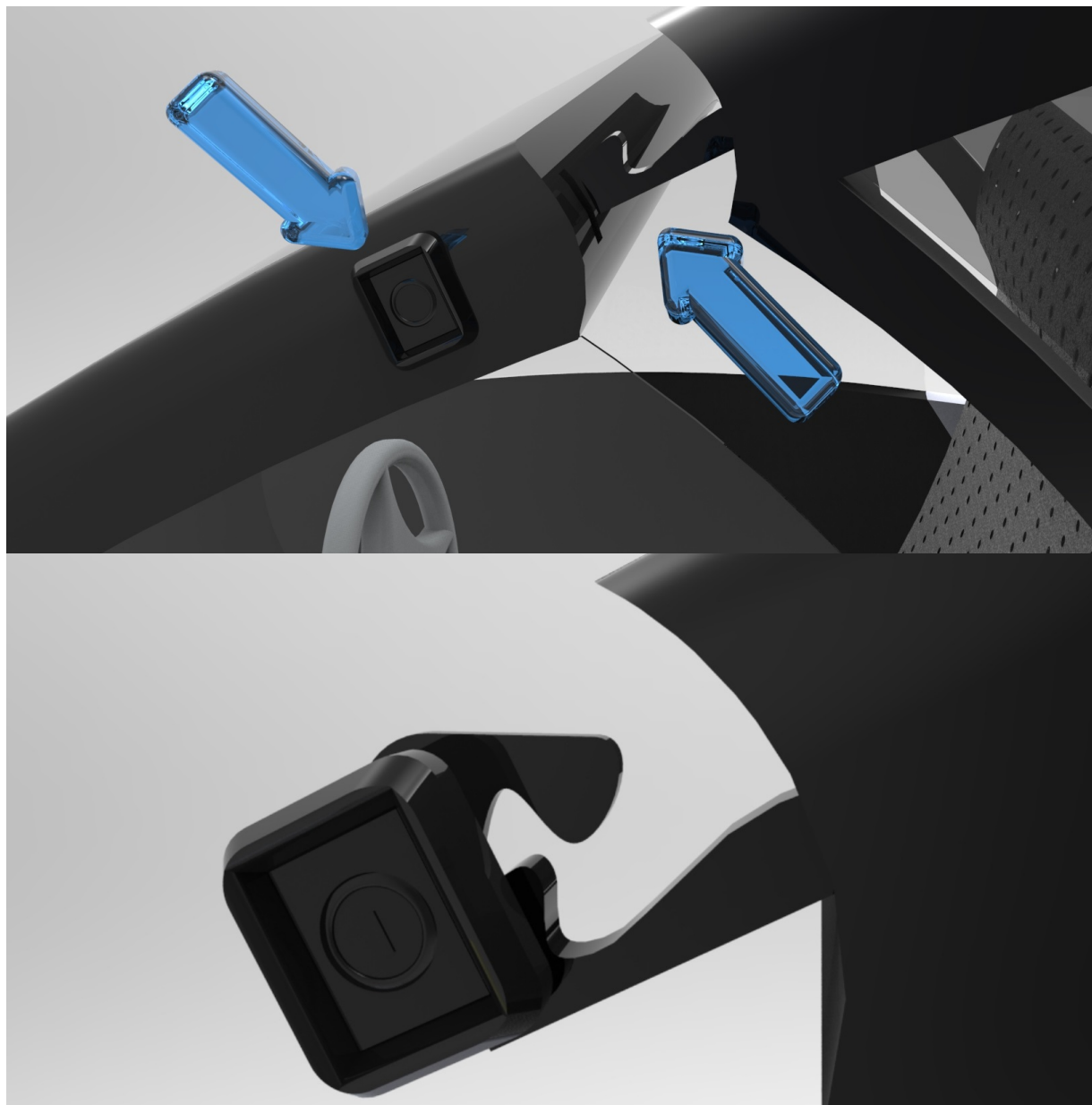


Figura 4.4: Tipo de encaixe das peças amovíveis.

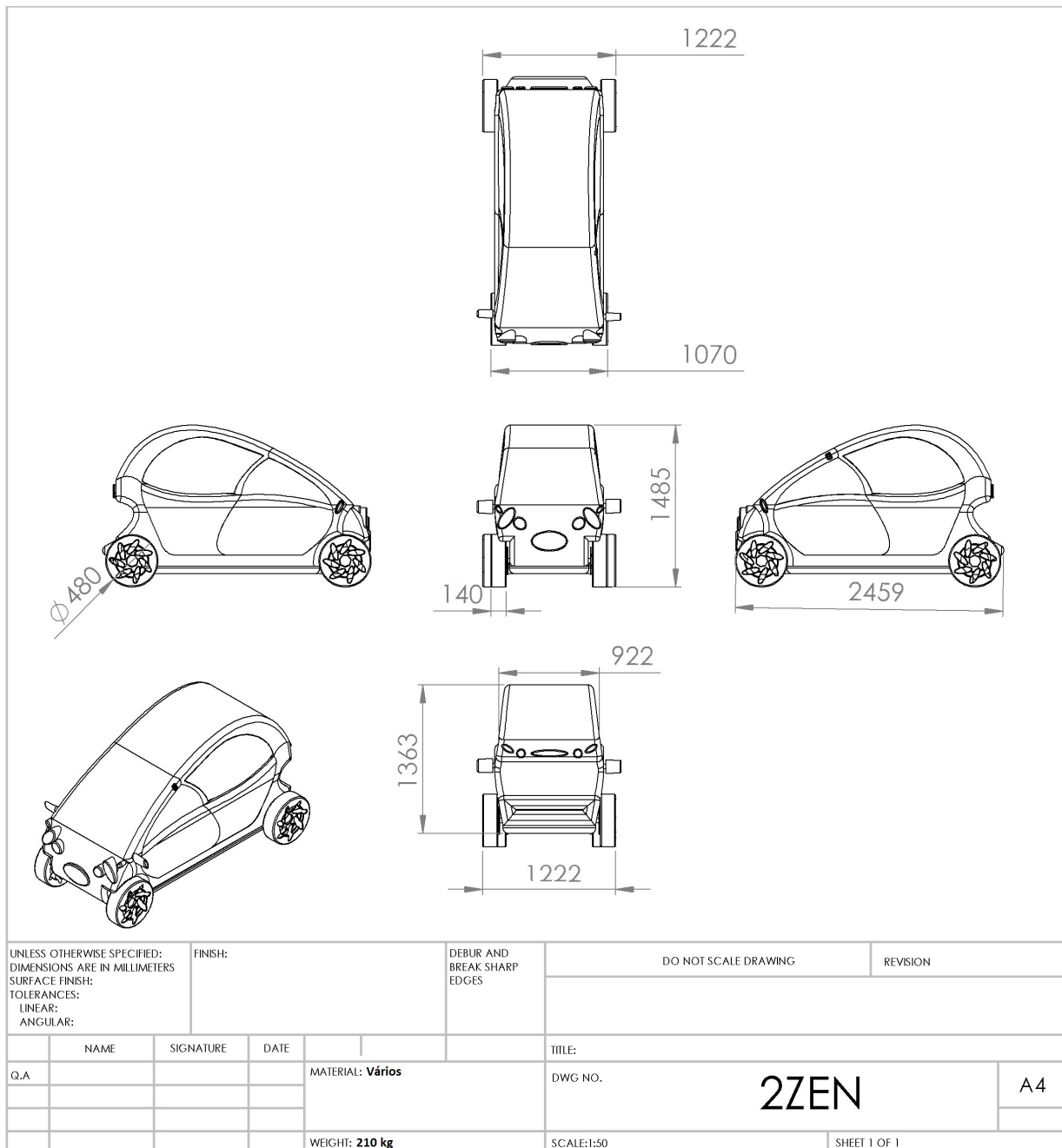


Figura 4.5: Cotas principais do veículo em milímetros.



Figura 4.6: Materiais de construção - Vista do perfil frontal.



Figura 4.7: Materiais de construção - Vista do perfil traseiro.

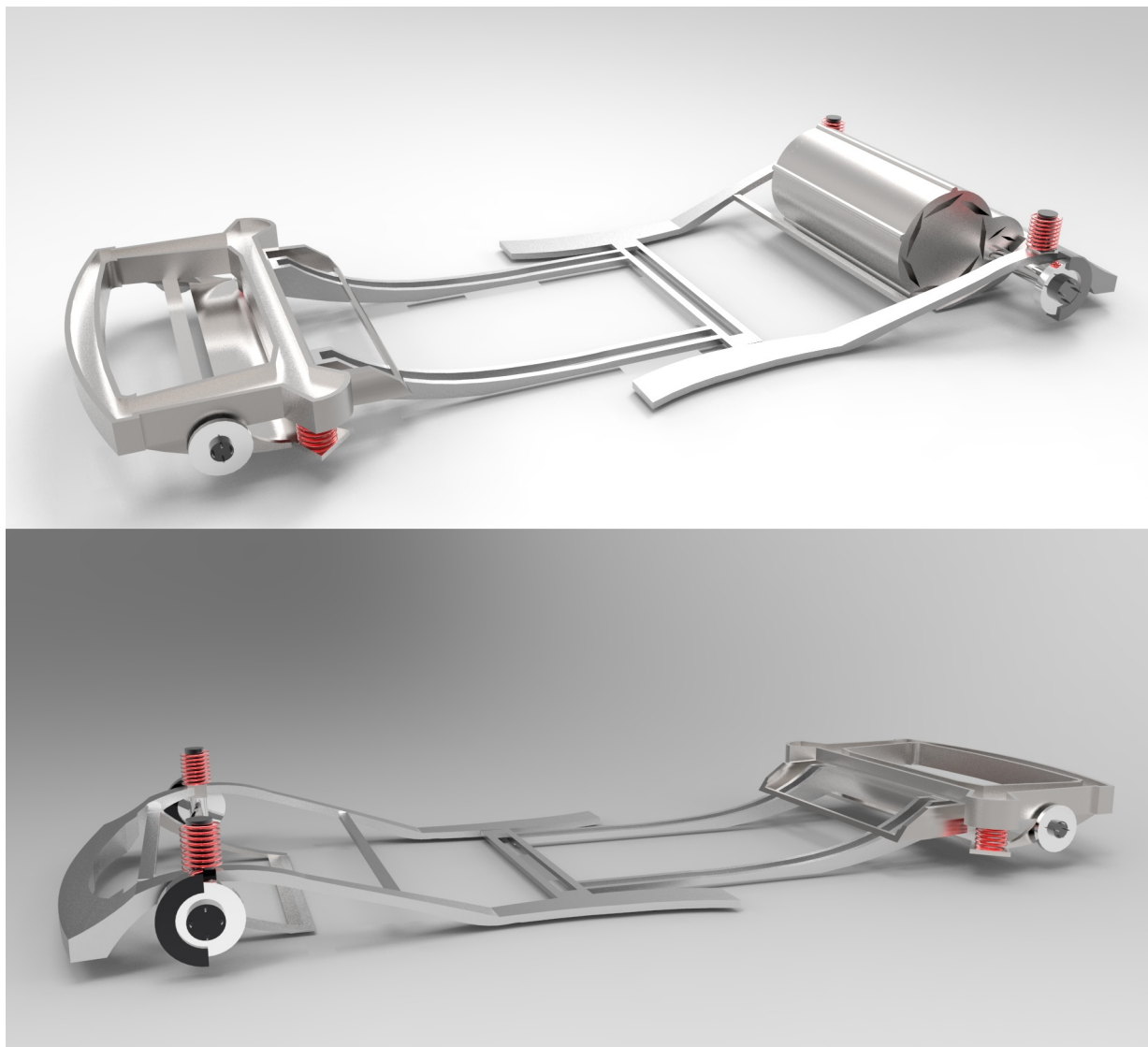


Figura 4.8: Representação da estrutura do *chassi* em alumínio fundido com e sem o motor acoplado.

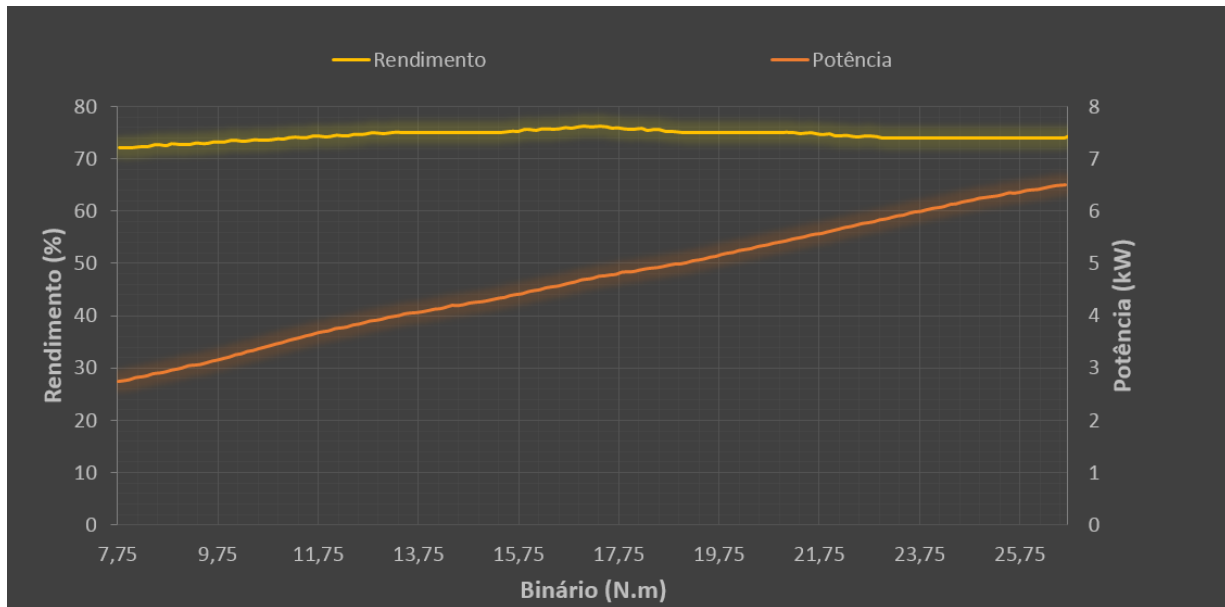


Figura 4.9: Curvas características do motor: rendimento e potência, (fonte: [EV-Permanent \[2013\]](#)).

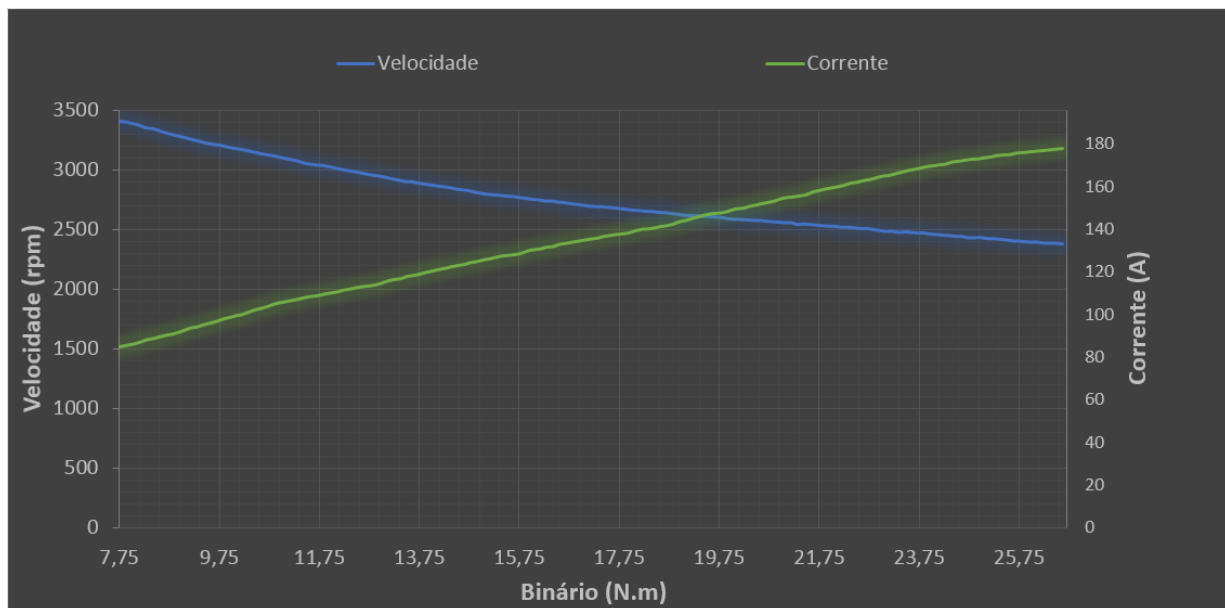


Figura 4.10: Curvas características do motor: velocidade e corrente, (fonte: [EV-Permanent \[2013\]](#)).



Figura 4.11: Localização do motor eléctrico.

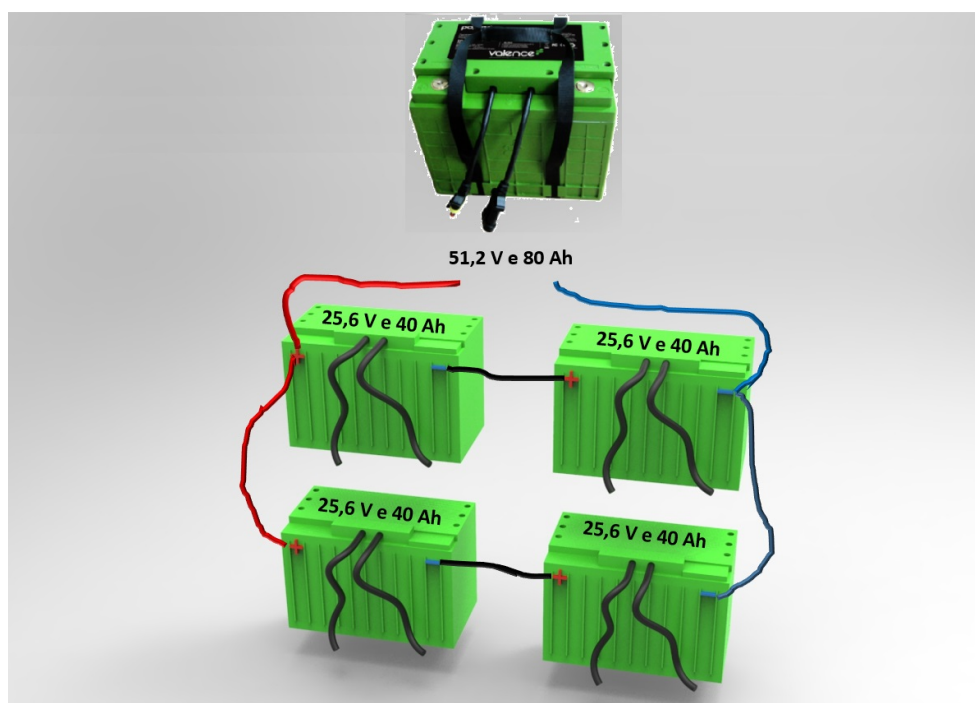


Figura 4.12: Esquema dos módulos da bateria a instalar no veículo.



Figura 4.13: Localização das baterias em módulos por baixo dos assentos.

# Capítulo 5

## Conclusões e Trabalho Futuro

### 5.1 Conclusões

Nos últimos anos as preocupações com o ambiente têm vindo a ganhar mais relevância. As empresas começam a investir em recursos naturais e os cidadãos mostram cada vez mais estarem conscientes relativamente às ameaças inerentes ao ambiente. Ainda assim, o mundo está dependente do petróleo, não só a nível industrial, mas também na categoria dos transportes. Este trabalho visa mostrar que existe necessidade em alterar o rumo que estamos a seguir. O que significa que, em vez de adquirirmos automóveis de alta cilindrada que são alimentados por combustíveis fósseis, temos que enveredar pelos veículos que se adaptem às nossas necessidades e que estes sejam movidos por vias o menos poluentes possíveis, ou seja, utilizando Zero-Emission Vehicles.

Este estudo revelou que:

- O consumo de petróleo tem vindo a aumentar a nível mundial, agravado devido ao desenvolvimento industrial de países como China, Índia e Brasil.
- Embora as reservas de petróleo se tenham mantido constantes nos últimos anos, os preços do petróleo têm vindo a aumentar e tendem a agravar devido ao cada vez mais difícil acesso aos poços e conseqüente encarecimento de extracção.
- Os veículos convencionais além de serem uma fonte poluente grave, também são perigosos devido às grandes velocidades que atingem e são pouco eficientes devido a serem movimentados por um motor de combustão, cujo rendimento é inferior a 27 %.
- Não só as despesas de saúde causadas pela poluição e pelos acidentes rodoviários, mas também os custos devido aos estragos causados em acidentes podem ser reduzidos caso os veículos convencionais sejam substituídos pelos ZEV com velocidades adaptadas para à nossa realidade diária.
- As mentalidades do comum cidadão estão demasiado focadas em veículos convencionais e devido a preconceito ou ignorância, não procuram veículos eléctricos. Sendo

assim, o governo juntamente com as empresas automóveis necessitam de optar por tomar medidas que incentivem a produção e compra dos ZEV.

A continuidade deste estudo basear-se-ia em averiguar com mais detalhe e tendo em atenção os custos, a estrutura e os níveis poluentes, quais seriam os materiais mais adequados na produção do veículo, para que este fosse aplicável no mercado. De certa forma, seria ideal aprofundar o impacto ambiental que a produção deste veículo teria de desde a sua produção até chegar ao consumidor, (*well-to-wheel*). Seria de igual interesse analisar quais as emissões que são libertadas quando se carrega a bateria do veículo com energia proveniente de vias não renováveis e comparar esses valores com as emissões dos veículos convencionais, assim como analisar o impacto ambiental da produção das baterias. Por fim, a construção deste protótipo seria o passo seguinte deste estudo.

# Bibliografia

- AICEP, Agência para o Investimento e Comércio Externo de Portugal, Portugal - Country Profile Relatório técnico, Portugal Global, Trade & Investment Agency, 2012.
- AXA, *Base de dados de sinistros*, AXA Portugal, 2012.
- Azevedo, M., A articulação de um banco de automóvel: Estudo da utilização de novos materiais Tese de mestrado, FEUP, 2008.
- Baptista, P., Rolim, C. e Silva, C., Plug-In Vehicle Acceptance and Probable Utilization Behaviour Tese de mestrado, Department of Mechanical Engineering; IDMEC/IST-Instituto Superior Técnico, 2012.
- Bento, M., Barreto, P., Godoy, L. e Schmidt, A., Efeitos da poluição do ar causada por veículos automotores na saúde humana e no meio ambiente, *Revista de Engenharia e Tecnologia*, 2012.
- BP, Statistical Review of World Energy 2012 Relatório técnico, BP Global, 2012.
- BP, Statistical Review of World Energy 2013 Relatório técnico, BP Global, 2013.
- BP-Outlook, BP Energy Outlook 2030 Relatório técnico, BP, 2012.
- Brown, E., ZEV action plan - A roadmap toward 1,5 million zero-emission vehicles on California roadways by 2025 Relatório técnico, Office of Governor Edmund G. Brown Jr, 2013.
- Carmo, A. e Prado, R., Qualidade do ar interno Relatório técnico, Escola Politécnica da USP, 1999.
- Chawla, N. e Tosunoglu, S., State of the art in inductive charging for electronic appliances and its future in transportation, *Florida Conference on Recent Advances in Robotics*, 2012.
- CP, Comboios de Portugal, Relatório de sustentabilidade 2007/2008 Relatório técnico, Comboios de Portugal, 2009.
- EP, Estradas de Portugal, Relatório e contas 2011 - I - Relatório de gestão e demonstrações financeiras Relatório técnico, Estradas de Portugal, S.A., 2012.

- Esteves, G., Barbosa, S., Silva, E. e Araújo, P., Estimativa dos efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde humana: algumas possibilidades metodológicas e teóricas para a cidade de São Paulo Relatório técnico, 2004.
- FCT, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Breve análise aos níveis de qualidade do ar na Avenida da Liberdade após introdução na nova rotunda do Marquês de Pombal Relatório técnico, Universidade Nova de Lisboa, 2012.
- Field, A., Ballesta, P., Caracena, A., Nikolova, I., Connolly, R., Cao, N. e Saeger, E., Population exposure to air pollutants in europe - methodological strategy and basic results Relatório técnico, European Commission, Joint Research Centre and Institute for Environment and Sustainability and Emissions and Health Unit, 2005.
- Fioravanti, A., Soldagem por FSW de ligas de alumínio Alclad AA2024-T3 e AA7075-T6 Tese de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.
- Hipwell, J., Low cost, light weight single material solution for soft touch vehicle interior substrates Relatório técnico, Azdel Incorporated, 2005.
- Hjorthol, R., Attitudes, ownership and use of electric vehicles – a review of literature Relatório técnico, Institute of Transport Economics, 2013.
- ICCT, The International Council on Clean Transportation, European vehicle market statistics Relatório técnico, ICCT Europe, 2012.
- IEA, International Energy Agency, *CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion, OECD and IEA*, 2012.
- IMF, International Monetary Fund, World Economic outlook - Coping with High Debt and Sluggish Growth Relatório técnico, International Monetary Fund, 2012.
- InIR, Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias IP, Norma de traçado, 2010.
- ISP, Instituto de Seguros de Portugal, Estatísticas de seguros Relatório técnico, Autoridade de Supervisão da Atividade Seguradora e de Fundos de Pensões,, 2011.
- IST, CP e DTEA, Simulador de impacto ambiental, económico e energético de viagens em modo ferroviário e rodoviário, 2010.
- Krull, L e Amorim, T., Estudo da viabilidade técnica e econômica do reprocessamento de cabos de alumínio CA/CAA através do desencordoamento dos tentos formadores Relatório técnico, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, 2004.
- Layargues, P., O Cinismo da Reciclagem: o significado ideológico da reciclagem da lata de alumínio e suas implicações para a educação ambiental Relatório técnico, Educação ambiental: repensando o espaço da cidadania., 2002.

- Layos, F. e António, L., Passenger mobility in Europe, *Statistics in focus*, 2007.
- Lusitania, Tabelas de desvalorização automática (em %), *Lusitania - Companhia de Seguros, SA*, 2013.
- Magalhães, A., *Materiais Compósitos*, ISEP, 2006a.
- Magalhães, A., *Materiais Não-Metálicos*, ISEP, 2006b.
- Margie, P., Richard, S., David, S., Dinesh, M., Adnan, A., Eva, J. e Colin, M., World report on road traffic injury prevention, Relatório técnico, World Health Organization, 2004.
- MDI, Motor Development International, Comparative analysis summary, *Motor Development International*, 2012.
- Pereira, M., O transporte ferroviário de passageiros e de mercadorias, *Laboratório Associado de Energia, Transportes e Aeronáutica*, 2012.
- REFER, Rede Ferroviária Nacional Relatório de gestão Relatório técnico, REFER EPE - Direcção de Coordenação de Economia e Finanças, 2010.
- Ribeiro, L., *Sistemas de Propulsão Automóvel*, ISEP, Junho 2012.
- Schreyer, C., Schneider, C., Maibach, M., Rothengatter, W., Doll, C. e Schmedding, D., External costs of transport - Update Study Relatório técnico, INFRAS, 2004.
- Silva, A. e Seco, A., *Manual do planeamento de acessibilidades e transportes*, Comissão de Coordenação e desenvolvimento regional do norte, 2008.
- Souza, G., Impactos da adição de biodiesel no motor ciclo diesel Tese de Graduação, Faculdade de Tecnologia de Araçatuba, 2010.
- White, F., *Fluid Mechanics - Fourth Edition*, McGraw-Hill, 1999.



# Webgrafia

APA, Agência Portuguesa do Ambiente, Base de dados on-line sobre a qualidade do ar, 2011 - Disponível em: <http://www.qualar.org/> e acedido em 18 de Abril de 2013.

CMD, Carbon Market Data, EU Emissions Trading Scheme (ETS) Database, *Carbon Market Data*, 2013 - Disponível em: <http://www.carbonmarketdata.com/> e acedido em 22 de Setembro de 2013.

CP, Comboios de Portugal, Simulador ECO Viagem CP, *CP*, 2013 - Disponível em: <http://www.cp.pt/> e acedido em 5 de Janeiro de 2013.

EEA, European Environment Agency, Total greenhouse gas emissions by sector (%) in EU-27 - 2009, 2012 - Disponível em: <http://www.eea.europa.eu/> e acedido em 27 de Setembro de 2013.

EIA, Energy Information Administration, U.S. - EIA Independent Statistics & Analysis, 2011 - Disponível em: <http://www.eia.gov/> e acedido em 5 de Agosto de 2013.

ESS, European Statistical System, Statistical Office of the European Union, *European Commission*, 2013 - Disponível em: <http://ec.europa.eu/eurostat> e acedido em 3 de Janeiro de 2013.

EV-Permanent, DC/T4-48 - series DC motor, *EV Permanent*, 2013 - Disponível em: [http://webaruhaz.permanent.hu/katalog/auto/dct4\\_48.pdf](http://webaruhaz.permanent.hu/katalog/auto/dct4_48.pdf) e acedido em 28 de Outubro de 2013.

Mota-Engil, Análise de projectos concluídos e projectos em execução, *Mota-Engil, SGPS*, 2013 - Disponível em: <http://www.mota-engil.pt/> e acedido em 11 de Fevereiro de 2013.

NIAR, Núcleo de Investigação de Acidentes Rodoviários, Efeito da velocidade, *ID-MEC/IST*, 2007 - Disponível em: [http://www.dem.ist.utl.pt/acidentes/segur\\_velocidade.shtml/](http://www.dem.ist.utl.pt/acidentes/segur_velocidade.shtml/) e acedido em 13 de Maio de 2013.

PORDATA, Fundação Francisco Manuel dos Santos, 2013 - Disponível em: <http://www.pordata.pt/> e acedido em 5 de Junho de 2013.

Renault, O mural das ideias preconcebidas: para acabar com as dúvidas, *Renault*, 2013 - Disponível em: <http://www.renault-ze.com/pt-pt/o-veiculo-electrico-no-quotidiano/o-mural-das-ideias-preconcebidas-61416.html> e acedido em 2 de Junho de 2013.

Repsol, Mercados de carbono, *Repsol*, 2013 - Disponível em: [http://www.repsol.com/pt\\_pt/](http://www.repsol.com/pt_pt/) e acedido em 16 de Setembro de 2013.

SENDECO2, Sistema electrónico de negociação de direitos de emissão de dióxido de carbono  $CO_2$ , 2013 - Disponível em: <http://www.sendeco2.com/pt/comercio-co2.asp> e acedido em 8 de Julho de 2013.

WBG, The World Bank Group, Population: total refers to the total population, 2013 - Disponível em: <http://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL> e acedido em 16 de Maio de 2013.