

**Estudo comparativo entre automóveis híbridos,
gasolina e gasóleo do ponto de vista do utilizador**

Hugo Miguel Teixeira Carvalho

Dissertação do MIEM

Orientador: Prof. António Luís Marinho de Tomé Ribeiro



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Junho 2014

Resumo

Numa era de total dependência de energia e dos transportes, a necessidade de alternativas aos combustíveis fósseis é cada vez maior a cada ano que passa. As alterações climáticas progressivamente agravadas, fazem com que haja uma preocupação constante em reduzir os consumos de energia e de emissões de gases poluentes para a atmosfera, principalmente gases com efeito de estufa, como é o caso do CO₂. Naturalmente, o setor dos transportes é um dos mais afetados, já que se apresenta totalmente dependente de combustíveis como a gasolina, o gasóleo e até o gás natural.

Com o protocolo do Quioto e também medidas internas de cada país de forma a limitar tanto o consumo energético como as emissões de gases poluentes, têm resultado em esforços cujo objetivo é tornar os transportes um meio mais sustentável. Tem-se como exemplo os imensos avanços tecnológicos que os motores de combustão interna sofreram, sendo hoje muito mais eficientes. Juntamente com esses avanços, vão surgindo alternativas para os transportes como as energias renováveis ou a eletricidade, particularmente nos veículos denominados híbridos, os quais aliam um motor de combustão interna a um ou vários motores elétricos, podendo assim tornar esses veículos ainda mais eficientes. Um automóvel híbrido que possa ser movido apenas a energia elétrica, numa determinada distância, é especialmente atrativo em ambientes urbanos.

O mundo dos automóveis híbridos nasceu aquando do lançamento da primeira geração do Toyota Prius em 1997. Dezassete anos depois já quase todas as marcas têm os seus modelos híbridos disponíveis no mercado. No entanto, continua a ser um tipo de veículo que deixa os consumidores confusos e indecisos no momento da compra. Baseado nesse aspeto, o tema desta dissertação incide, não apenas sobre automóveis híbridos, mas também na comparação dos mesmos com outros tipos de tecnologias como os motores a gasolina e gasóleo. Para tal foram selecionados os veículos e realizados diversos percursos de forma a medir os respetivos consumos de combustível. Com base nos resultados obtidos, foram também simulados determinados cenários de utilização de cada viatura, por de um condutor comum no seu dia-a-dia, e também calculados os custos para o utilizador durante a vida do automóvel.

Os resultados obtidos mostraram que o veículo híbrido é particularmente eficiente em ambiente urbano devido aos 24,5 km percorridos somente em modo elétrico. Em todos os outros testes, exceto em autoestrada a 120 km/h, foram conseguidos custos mais baixos do que os apresentados pelo veículo a gasóleo, provando assim que a tecnologia híbrida consegue melhorias nos consumos de combustível. A única desvantagem desta tecnologia é o seu preço, que se reflete no montante a pagar pela viatura, excessivo em relação ao automóvel a gasóleo. Esse excedente só será amortizado após percorrer entre 200 000 a mais de 1 milhão de quilómetros, dependendo do aproveitamento ou não da capacidade de condução elétrica. O veículo a gasóleo, por sua vez, também apresentou valores de consumo de combustível bastante competitivos para o mercado atual.

Comparative study between Hybrid Electric Vehicles, Diesel and Gasoline from the point of view of the user

Abstract

In an era of total dependence on energy and transport, the need for alternatives to fossil fuels is getting higher as years pass by. The increasingly aggravated climate changes create a constant concern in reducing energy consumption and the emission of pollutant gases into our atmosphere, especially greenhouse gases like CO₂. Naturally, the transport sector is one of the most affected since it's totally dependent on fuels like gasoline, diesel and even natural gas.

The Kyoto protocol along with some internal country measures, all aim to limit not only energy consumption but also emission of pollutant gases and efforts have been made to make the transport sector a more sustainable one. One example is the enormous improvements on internal combustion engines, being much more efficient nowadays. Along with those improvements, alternatives in transportation start to being used like renewable energies and electricity, particularly in hybrid electric vehicles, that add the internal combustion engine to one or multiple electric engines, making possible an even more efficient vehicle. A hybrid electric vehicle that can be driven only in electric power is especially attractive in urban areas.

The electric hybrid vehicle world was born when of the first generation of the Toyota Prius was launched, back in 1997. Seventeen years later almost every car company has its own hybrid vehicle(s), but still a technology that confuses its possible buyers. Based on that, the theme of this Dissertation is, not only about hybrid electric vehicles, but mainly the comparison between hybrid electric vehicles with different technologies, like gasoline and diesel engines. Thus, specific vehicles were selected and tested in different road courses to see how they perform in fuel economy. Based on those results, different scenarios were simulated for each vehicle with a regular driver on a daily basis, and the lifetime costs of the vehicle were also calculated.

Results showed that the hybrid electric vehicle is particularly efficient on urban driving, due to the 24,5 km achieved solely on electric driving. Also all other tests, except highway at 120 km/h, the costs with fuel were lower than the diesel vehicle, proving that the hybrid technology can have fuel economy improvements. The only disadvantage is the price of the hybrid electric technology that still doesn't offset the excess amount that has to be paid when buying the car, relatively to the diesel one. That excess amount may have a necessary travelling distance until amortization from 200 000 to more than 1 million kilometers, depending on how you avail the ability to run only in electricity. The diesel vehicle also showed very competitive fuel economy figures regarding nowadays market.

Agradecimentos

O meu maior agradecimento vai para quem permitiu a realização, não só desta dissertação de Mestrado, mas de todo o curso de Engenharia Mecânica na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Aos meus Pais, o meu especial obrigado pela disponibilidade e apoio constante ao longo destes anos.

O meu agradecimento ao meu orientador, Professor António Luís Marinho de Tomé Ribeiro, ao permitir que o tema deste trabalho incidisse naquilo que eu mais gosto, o Mundo Automóvel, pela disponibilidade e pelos contatos feitos para o teste das viaturas.

Sem a realização dos testes às viaturas, este trabalho não teria qualquer sentido. Por isso o meu agradecimento ao Sr. Luís Mandim da Caetano Auto (Porto) e também ao Sr. Marco Teixeira da Caetano Technik (Porto) pela disponibilização das viaturas Toyota Prius Plug-in e Opel Astra 1.6 CDTI, respetivamente. Obrigado pela disponibilidade, resposta às minhas diversas perguntas e também por disponibilizarem as viaturas com o depósito atestado, como eu tinha pedido.

O meu agradecimento vai também para alguns membros da comunidade Mazda Clube de Portugal que me ajudaram nalgumas questões que foram surgindo ao longo do trabalho, onde não faltaram ideias incansáveis para a sua resolução.

O meu obrigado também à própria Faculdade de Engenharia que me permitiu ocupar espaço dentro das oficinas de mecânica para fazer a medição do consumo de energia elétrica do Toyota Prius.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Objetivos	1
1.2	Estrutura da Tese.....	1
1.3	Preocupações com o Ambiente	2
1.3.1	Alterações climáticas	2
1.3.2	Protocolo de Quioto	2
1.3.3	Consumo de energia e o estado do ambiente	4
1.3.4	Transportes.....	7
1.3.5	Energias Renováveis	10
1.3.6	Legislação sobre as emissões nos veículos de passageiros	12
1.4	Porquê um automóvel híbrido	13
2	Automóveis Híbridos	17
2.1	Definição	17
2.2	Configurações híbridas	17
2.2.1	Híbrido em série (“Series Hybrid”)	17
2.2.2	Híbrido em paralelo (“Paralell Hybrid”).....	18
2.2.3	Híbrido Misto (“Power-Split Hybrid”)	19
2.3	Grau de hibridização	20
2.3.1	“Micro-Hybrid”	20
2.3.2	“Mild Hybrid”	21
2.3.3	“Full-Hybrid”	21
2.3.4	“Plug-In ”	21
2.3.5	Resumo dos graus de hibridização.....	22
2.4	Revisão bibliográfica	22
3	Atualidade	25
3.1	O mercado Português atual de automóveis híbridos	25
3.2	Comparativos	30
3.2.1	Os tipos de motores existentes.....	30
3.2.2	Segmento de automóveis compactos	31
3.2.3	Segmento de pequenos e médios familiares	32
3.2.4	Segmento de automóveis de luxo	33
3.3	Conclusão e o porquê deste estudo.....	34
4	Os automóveis usados nos testes	35
4.1	Toyota Prius Plug-In 2013.....	35
4.1.1	Especificações Técnicas.....	36
4.1.2	Toyota HSD - Hybrid Sinergy Drive	38
4.1.3	Funcionamento e tipos de condução	41
4.2	Opel Astra 1.6 CDTI 2014.....	44
4.2.1	Especificações Técnicas.....	45
4.3	Comparação de caraterísticas dos veículos.....	47

5	Resultados	49
5.1	Planeamento	49
5.1.1	Condições	49
5.1.2	Percurso cidade	50
5.1.3	Percurso autoestrada	51
5.1.4	Perfis de velocidade	51
5.1.5	Medição de consumos na bomba Vs. Computador de bordo	53
5.2	Toyota Prius	55
5.2.1	Percurso A: Misto com cidade e autoestrada	55
5.2.2	Percurso B: Autoestrada a 90 km/h	56
5.2.3	Percurso C: Autoestrada a 120 km/h	57
5.2.4	Percurso D: Cidade	57
5.2.5	Percurso B1: Autoestrada a 90 km/h	59
5.2.6	Percurso C1: Autoestrada a 120 km/h	60
5.2.7	Análise de resultados para o Toyota Prius	61
5.2.8	Custos com o Toyota Prius	62
5.3	Opel Astra	64
5.3.1	Percurso A: Misto com cidade e autoestrada	64
5.3.2	Percurso B: Autoestrada a 90 km/h	65
5.3.3	Percurso C: Autoestrada a 120 km/h	65
5.3.4	Percurso D: Cidade	66
5.3.5	Análise de resultados para o Opel Astra	67
5.3.6	Custos com o Opel Astra	68
5.4	Comparação de Resultados	68
6	Simulação dos custos de vida	79
6.1	Condições	79
6.2	Toyota Prius	80
6.3	Opel Astra	82
6.4	Comparação dos custos de vida	83
7	Conclusões	85
8	Referências	89

Índice de figuras

Figura 1 - Evolução das emissões de gases com efeito de estufa em Portugal sem LULUCF (atividades de uso do solo, alteração do uso do solo e florestas) [3]	3
Figura 2 - Distribuição das emissões em Portugal por gás [3]	4
Figura 3 - Evolução do consumo energético desde 1987 até 2012 (milhões de tep) [4].....	5
Figura 4 - Evolução do balanço energético em Portugal de 2005 a 2012 (Mtep) [5]	6
Figura 5 - Consumo por tipo de energia (Mtep) [5]	7
Figura 6 - Consumo de energia por setor em 2011 [5]	8
Figura 7 - Emissões de gases com efeito de estufa por habitante (toneladas CO ₂ /habitante) [5]	9
Figura 8 - Emissões de gases com efeito de estufa nos transportes em Portugal e na EU-27 [5]	9
Figura 9 - Distribuição do consumo de energias renováveis em Portugal (Mtep) [5]	10
Figura 10 - Potência instalada em centrais de produção de energia elétrica através de fontes de energias renováveis [5]	11
Figura 11 - Consumo de biocombustíveis ou outros renováveis nos transportes rodoviários [5]	12
Figura 12 - Esquema de híbrido em série [8]	18
Figura 13 - Esquema de híbrido em paralelo [8].....	19
Figura 14 - Esquema de um híbrido misto [8]	20
Figura 15 - Resumo esquemático dos graus de hibridização	22
Figura 16 - Mercado para o segmento de automóveis compactos.....	32
Figura 17 - Mercado para o segmento de pequenos e médios familiares.....	33
Figura 18 - Mercado para o segmento de automóveis de luxo.....	34
Figura 19 - Toyota Prius Plug-In 2013	36
Figura 20 - Logo HSD [30]	38
Figura 21 - Motor eléctrico [8]	39
Figura 22 - Baterias de íões de lítio [8]	39
Figura 23 - Unidade de controlo [8].....	40
Figura 24 - Unidade de carregamento de baterias [8]	40
Figura 25 - Esquema simples do funcionamento do Prius Plug-in [8]	41
Figura 26 - Esquema do funcionamento dos modos EV e HV [8]	42
Figura 27 - Ecrã de monitorização com o veículo parado	42
Figura 28 - Ecrã de monitorização com o veículo em movimento no modo eléctrico	43
Figura 29 - Ecrã de monitorização com o veículo em desaceleração	43
Figura 30 - Ecrã de monitorização com o veículo em aceleração com motor eléctrico e combustão em funcionamento simultâneo	44

Figura 31 - Opel Astra 1.6 CDTI 2014	45
Figura 32 - Mapa do percurso de cidade	50
Figura 33 - Mapa do percurso de autoestrada.....	51
Figura 34 - Perfil de velocidade em autoestrada a 90 km/h	52
Figura 35 - Perfil de velocidade em auto-estrada a 120 km/h	52
Figura 36 - Perfil de velocidade em cidade	52
Figura 37 - Sensores presentes num motor de combustão interna moderno [38]	54
Figura 38 - Medidor de consumo elétrico usado.....	58
Figura 39 - Custos com eletricidade de uma utilização citadina do cenário 1.....	71
Figura 40 - Consumo de combustível versus distância percorrida para o cenário 2.....	72
Figura 41 - Custo com gasolina e eletricidade para o cenário 2 sem recarregamento	72
Figura 42 - Custo com gasolina e eletricidade para o cenário 2 com 4 recarregamentos	73
Figura 43 - Custo com gasolina e eletricidade para o cenário 3.....	74
Figura 44 - Tempo e distância necessária até à amortização do valor de 12 900 Euros.....	77
Figura 45 - Tempo e distância necessária até à amortização do valor de 6 000 Euros.....	77

Índice de tabelas

Tabela 1 – Modelos Híbridos Audi	25
Tabela 2 - Modelos Híbridos BMW	26
Tabela 3 - Modelos Híbridos Chevrolet.....	26
Tabela 4 - Modelos Híbridos Citroen.....	27
Tabela 5 - Modelos Híbridos Honda.....	27
Tabela 6 - Modelos Híbridos Lexus.....	27
Tabela 7 - Modelos Híbridos Mercedes	28
Tabela 8 - Modelos Híbridos Mitsubishi	28
Tabela 9 - Modelos Híbridos Opel.....	28
Tabela 10 - Modelos Híbridos Peugeot.....	29
Tabela 11 - Modelos Híbridos Porsche	29
Tabela 12 - Modelos Híbridos Toyota	29
Tabela 13 - Modelos Híbridos Volkswagen.....	30
Tabela 14 - Caraterísticas do motor de combustão interna do Toyota Prius	36
Tabela 15 – Caraterísticas do motor elétrico e baterias	37
Tabela 16 – Consumos e emissões do Toyota Prius.....	37
Tabela 17 - Performance do Toyota Prius	38
Tabela 18 - Dimensões e peso do Toyota Prius	38
Tabela 19 - Caraterísticas do motor de combustão interna do Opel Astra.....	45
Tabela 20 - Consumos e emissões do Opel Astra.....	46
Tabela 21 - Performance do Opel Astra	46
Tabela 22 - Dimensões e peso do Opel Astra	46
Tabela 23 – Comparação das características dos veículos	47
Tabela 24 - Valores do percurso A com o Toyota Prius	56
Tabela 25 - Valores do percurso B com o Toyota Prius	57
Tabela 26 - Valores do percurso C com o Toyota Prius	57
Tabela 27 - Valores do percurso D com o Toyota Prius	58
Tabela 28 - Valores do consumo elétrico.....	59
Tabela 29 - Valores do percurso B1 com o Toyota Prius	60
Tabela 30 - Valores do percurso C1 com o Toyota Prius	61
Tabela 31 - Consumos lidos pelo CB e consumos medidos na bomba com o Toyota Prius	61
Tabela 32 - Cálculo dos custos com o Toyota Prius.....	62

Tabela 33 - Valores do percurso A com o Opel Astra.....	64
Tabela 34 - Valores do percurso B com o Opel Astra.....	65
Tabela 35 - Valores do percurso C com o Opel Astra	65
Tabela 36 - Valores do percurso D com o Opel Astra	66
Tabela 37 - Consumos lidos pelo CB e consumos na bomba com o Opel Astra	67
Tabela 38 - Cálculo dos custos com o Opel Astra	68
Tabela 39 - Custos com combustível de cada percurso e veículo	69
Tabela 40 - Custo com combustível do Opel Astra para os 3 cenários.....	74
Tabela 41 - Comparação de custos entre o Toyota Prius e Opel Astra para os 3 cenários.....	75
Tabela 42 - Preços base dos veículos testados (preços consultados a Maio de 2014) [27, 30].....	76
Tabela 43 - Informações para o cálculo do Imposto único de circulação do Toyota Prius [40]	81
Tabela 44 - Cálculo do custo de vida para os diversos percursos com o Toyota Prius	81
Tabela 45 - Informações para o cálculo do Imposto único de circulação do Opel Astra [40].....	82
Tabela 46 - Cálculo do custo de vida para os diversos percursos com o Opel Astra	82
Tabela 47 - Comparação dos custos de vida.....	83

1 Introdução

1.1 Objetivos

O objetivo principal desta dissertação de Mestrado é avaliar e comparar tecnologias de propulsão automóvel existentes no mercado português, sempre do ponto de vista do utilizador, tendo como base de comparação os automóveis híbridos. Depois de selecionados os veículos, serão feitos diversos testes em diferentes situações de condução verificados no dia-a-dia de um utilizador comum, através dos quais serão medidos consumos de combustível, de forma a poder fazer o cálculo dos custos que o automóvel acarreta para o utilizador. Com os dados dos testes será depois possível comparar as tecnologias, tendo em conta também o seu custo como fator importante na compra do automóvel. No capítulo final será também feita uma abordagem teórica ao tempo de vida de um automóvel e calculados os custos de vida após 15 anos de utilização de cada veículo.

1.2 Estrutura da Tese

No capítulo 1, além dos objetivos acima descritos, será feita uma análise ao estado do ambiente, às alterações climáticas e a todas as preocupações que daí advêm, relatando as medidas que têm sido tomadas, tanto a nível mundial como, especificamente, em Portugal. São feitas referências ao Protocolo de Quioto e ao que o mesmo implica para os países envolvidos, à energia mundial consumida ao longo dos anos, especialmente nos transportes, e também ao uso de energias de fontes renováveis para tentar combater o excessivo uso de recursos fósseis. É também feita uma introdução à tecnologia híbrida, explicando vantagens e desvantagens desse tipo de automóveis.

No capítulo 2, é realizada uma descrição dos tipos de automóveis híbridos que existem, a nível de configurações híbridas e grau de hibridização. É também feita, na revisão bibliográfica, uma recolha de artigos científicos e Dissertações de Mestrado cujo tema foram os automóveis híbridos, indicando as principais conclusões tiradas.

No capítulo 3, é criado um panorama geral do mercado Português de automóveis híbridos, listando todos os veículos disponíveis e o seu modo de funcionamento. Através dessa lista foi possível delinear os comparativos possíveis para os diversos segmentos automóveis, dando exemplos concretos de diversos veículos com motores a gasolina e a gasóleo.

No capítulo 4, são apresentados, ao pormenor, os veículos que foram testados para esta Tese de Mestrado e comparadas as suas características mais importantes.

No capítulo 5, são apresentados e comparados os resultados obtidos para cada veículo nos diversos percursos efetuados. São também comparados os custos para cada veículo.

No capítulo 6, é feita uma abordagem teórica ao tempo de vida do automóvel e calculados os custos de vida com cada veículo ao fim de 15 anos de utilização.

No capítulo 7 e final, serão escritas todas as conclusões retiradas dos testes efetuados aos veículos.

1.3 Preocupações com o Ambiente

1.3.1 Alterações climáticas

Atualmente, uma das maiores ameaças de que a humanidade padece são as alterações climáticas que têm vindo a ser observadas, as quais se apresentam cada vez mais frequentes e poderosas. O aquecimento global que se tem vindo a verificar nas últimas décadas, provocado pelo aumento da concentração na atmosfera de gases com efeito de estufa, está diretamente na origem das diversas catástrofes naturais que alguns países têm sofrido. No entanto, a palavra natural deveria ser posta entre aspas já que o homem tem um papel muito influente nas transformações da Natureza.

Cidades com ar completamente saturado de poluição que mal se vê o sol (o chamado *fog*), glaciares lentamente a derreterem, levando os mares a entrarem por terra dentro e praias a verem os seus areais serem encurtados ou até mesmo completamente extinguidos; ondas de calor no Verão que provocam incêndios e situações de seca extrema, ou então o efeito oposto num Inverno de frio excessivo e precipitação atípica que fazem com que as localidades afetadas fiquem praticamente submersas; terremotos que deixam tudo em escombros ou maremotos que levam a *tsunamis* e devoram tudo o que está na costa. Todos estes exemplos resultam numa preocupação muito séria a nível mundial e exigem que sejam tomadas medidas para atenuar os seus efeitos devastadores.

Os últimos dois maiores exemplos serão o terramoto em 2010, no Haiti, onde morreram mais de 200 000 pessoas e o *tsunami* em 2004, no Sri Lanka, o qual vitimou também mais de 200 000 pessoas. Recentemente, em Portugal também tem havido situações completamente atípicas: tempestades que provocam cheias e deslizamentos de terras, ondas do mar que têm força para entrar por terra dentro destruindo por completo os estabelecimentos ou até habitações a beira-mar, ameaçando também o normal funcionamento da época balnear. [1]

1.3.2 Protocolo de Quioto

Assinado em 1997, o Protocolo de Quioto foi o primeiro e único tratado jurídico internacional que define metas de redução de emissões de gases com efeito de estufa nos países desenvolvidos. Declara também que todos os países têm responsabilidades comuns mas diferenciadas, daí que o Protocolo faz uma divisão mundial em:

- Países desenvolvidos [2]
- Países em vias de desenvolvimento, aos quais não são aplicadas metas quantificadas de redução de emissões de gases com efeito de estufa [2]

A União Europeia estabeleceu como objetivo comunitário uma redução de pelo menos 20% das emissões de gases com efeito de estufa na Comunidade, em relação a 1990, até 2020. O sector da energia, incluindo transportes, mantém-se como o principal sector responsável pelas emissões de gases com efeito de estufa, representando, em 2010, 70,3% das emissões nacionais, e apresentando um crescimento face a 1990 de cerca de 21,2% [3].

Desde 2001, Portugal conta com uma Estratégia para as Alterações Climáticas, documento que enquadra o desenvolvimento das políticas sobre esta matéria e a atividade da Comissão para as Alterações Climáticas, criada em 1998. O seguinte gráfico mostra de que forma evolui a totalidade de emissões registadas em Portugal, incluindo os transportes [3].

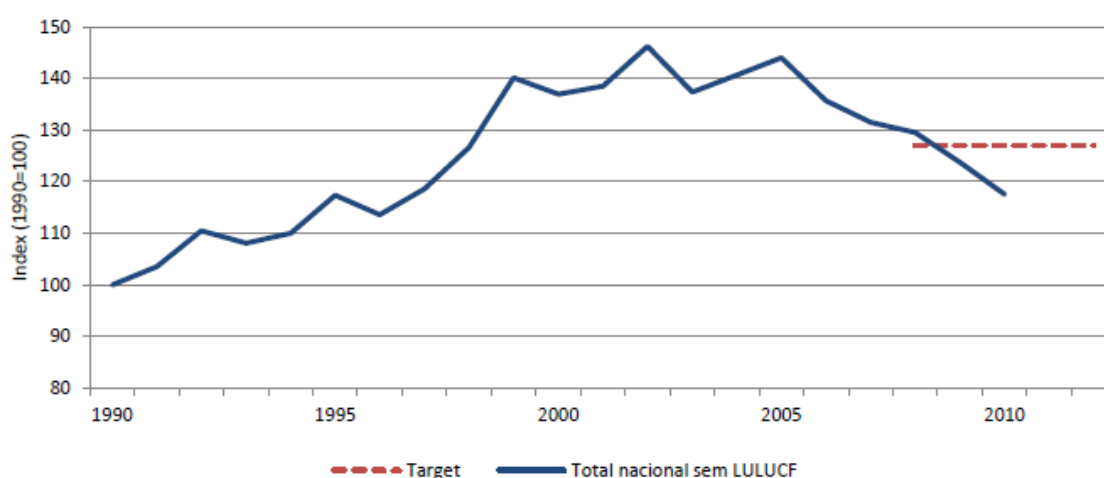


Figura 1 - Evolução das emissões de gases com efeito de estufa em Portugal sem LULUCF (atividades de uso do solo, alteração do uso do solo e florestas) [3]

Como se verifica no gráfico, houve um grande aumento de emissão de gases com efeito de estufa na década de 90, o que pode ser explicado pela evolução da economia Portuguesa, a qual se caracterizou por um forte crescimento associado ao aumento da procura de energia e da mobilidade. Registou-se um abrandamento depois disso, especialmente a partir de 2005, até que em 2010 as emissões nacionais encontravam-se cerca de 18,4% abaixo das emissões verificadas em 2005. O aumento do uso do gás natural e energias renováveis (especialmente para a produção de eletricidade) são em grande parte responsáveis por esse abrandamento. Também o início de uso em maior escala de biocombustíveis nos transportes, a maior eficiência energética noutros sectores além dos transportes e a recente crise económica também tiveram influência nessa redução de emissões [3].

O seguinte gráfico mostra a distribuição das emissões de gases com efeito de estufa em Portugal em 2010.

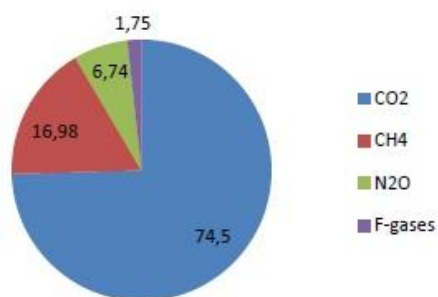


Figura 2 - Distribuição das emissões em Portugal por gás [3]

Pela análise ao gráfico, verifica-se que o CO₂ é o gás com efeito de estufa mais abundante na atmosfera Portuguesa, representando quase 75% do total das emissões de gases poluentes. Essa situação está relacionada com o sector de energia e da predominância do uso de combustíveis fósseis. Um dos sectores que maior evolução e crescimento teve, desde 1990 até 2010, foram os transportes, que são fortemente dominados pelo tráfego rodoviário. Consequentemente, são uma das maiores fontes de CO₂ para a atmosfera [3].

Portugal tem feito esforços para o crescimento da penetração de fontes energéticas menos poluentes como o gás natural, a instalação de centrais de ciclo combinado e unidades de cogeração mais eficientes. Também o crescimento do uso de energias renováveis, principalmente eólica e hídrica, e a implementação de medidas de eficiência energética permitem concluir que, com alta probabilidade, Portugal cumprirá a sua meta prevista no Protocolo de Quioto, avaliando os dados mais recentes de estimativa da trajetória nacional de cumprimento do mesmo. Tal deve-se essencialmente a uma tendência recente (desde 2005) mas consistente de descarbonização da economia, que precede a atual crise económica [3].

1.3.3 Consumo de energia e o estado do ambiente

À medida que as diferentes fontes de energia foram sendo descobertas e construídos os devidos equipamentos para as aproveitar, aliado à expansão, especialmente, dos setores da indústria e dos transportes, o consumo de energia mundial tem tido um só rumo, como demonstra o seguinte gráfico:

World consumption
Million tonnes oil equivalent

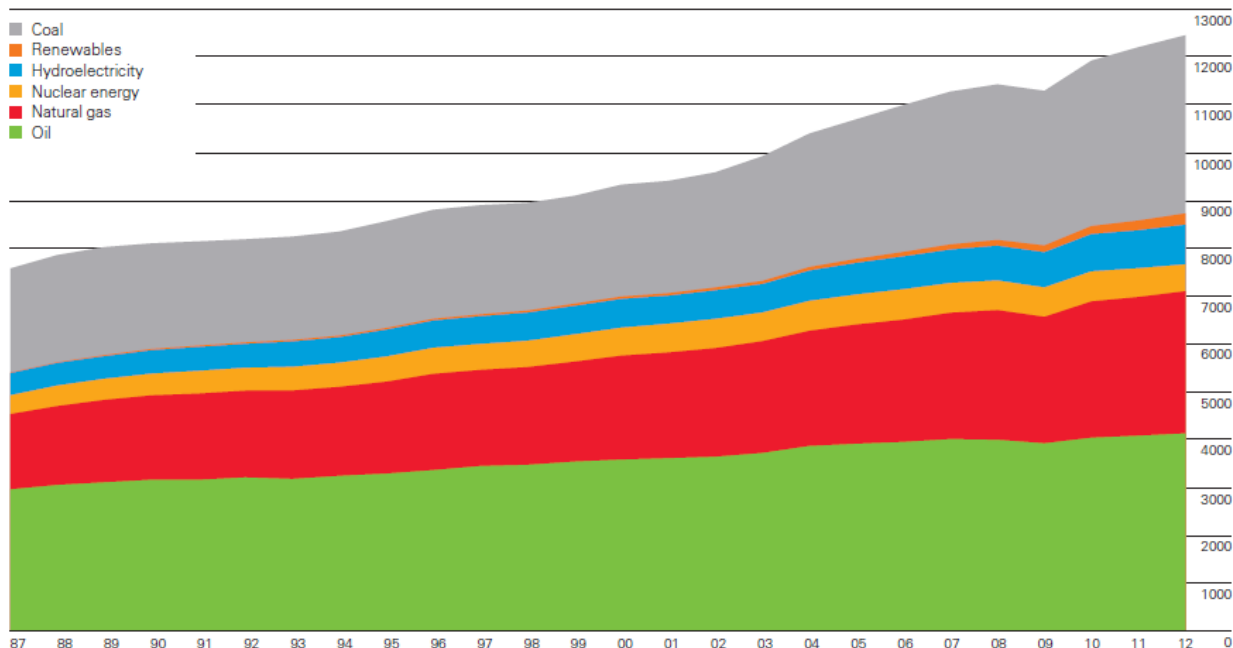


Figura 3 - Evolução do consumo energético desde 1987 até 2012 (milhões de tep) [4]

Como se pode analisar no gráfico, todo o tipo de energias, sem exceção, tem sofrido um aumento de consumo desde os anos 80 até aos dias de hoje. As energias mais usadas serão o petróleo e o carvão, tendo o gás natural também uma grande percentagem. A energia hídrica, nuclear e as renováveis são as menos usadas.

Mesmo em tempos de crescimento económico lento, em 2012 o consumo de energia mundial aumentou, mas a uma taxa de crescimento mais pequena do que em 2011. Apesar do abrandamento, tanto no consumo como na produção de energia, foram atingidos níveis recorde em todos os combustíveis, exceto os nucleares e os biocombustíveis. À semelhança de registos de anos anteriores, o crescimento em 2012 registou-se, principalmente, em economias crescentes como a China e a Índia, que juntos representam 90% do crescimento do consumo de energia mundial [4].

Em 2012, o preço do barril de Brent foi de 111,67 \$ (dólares americanos), um aumento de 0,40 \$ em relação ao ano anterior. O consumo mundial de petróleo aumentou em 890 000 barris por dia, o que equivale a 0,9% abaixo da média dos anos anteriores, e teve o nível mais baixo de crescimento de todos os combustíveis nesse ano. A China teve grande influência, já que dos 890 000 barris, é responsável pelo consumo de 470 000. O Japão registou um número também muito significativo com um aumento de 290 000 barris por dia, sendo o seu maior crescimento desde 1994 [4].

O consumo mundial de gás natural cresceu, em 2012, 2,2%, o qual fica abaixo dos 2,7% registados como média do crescimento nos anos anteriores, e é o combustível que regista 23,9% do consumo de energia primária mundial. Os locais em que o consumo ficou acima da média foram África, América do Sul, América Central e América do Norte. Os Estados Unidos da América registaram o maior aumento, seguido pela China e Japão [4].

O consumo mundial de carvão cresceu 2,5% em 2012, um valor abaixo dos 4,4% de média registada nos últimos 10 anos, mas continua a ser, mesmo assim, o combustível que

registra a maior taxa de crescimento. A China, mais uma vez, representa uma das maiores percentagens do consumo de carvão mundial, com mais de 50% [4].

O consumo mundial de energia nuclear caiu em 6,9%, a maior queda registada pelo segundo ano consecutivo. Só no Japão, o declínio no consumo de energia nuclear foi de 89%, e só isso representou 82% da queda mundial. Este tipo de energia representa 4,5 % do consumo de energia mundial, o valor mais baixo registado desde 1984 [4].

A energia hídrica cresceu, mundialmente, 4,3%, um valor acima da média, sendo a China a responsável por todo este aumento. Este tipo de energia representa 6,7% de todo o consumo mundial, o valor mais alto desde que existem registos [4].

No caso de Portugal, país que praticamente não possui recursos energéticos fósseis, e sendo estes os que asseguram as necessidades energéticas de qualquer nação, faz com que o nosso país seja muito dependente das importações de energia, atingindo em 2012 um valor de 79,8% para a dependência energética [5].

De seguida apresenta-se o gráfico que demonstra o balanço energético em Portugal.

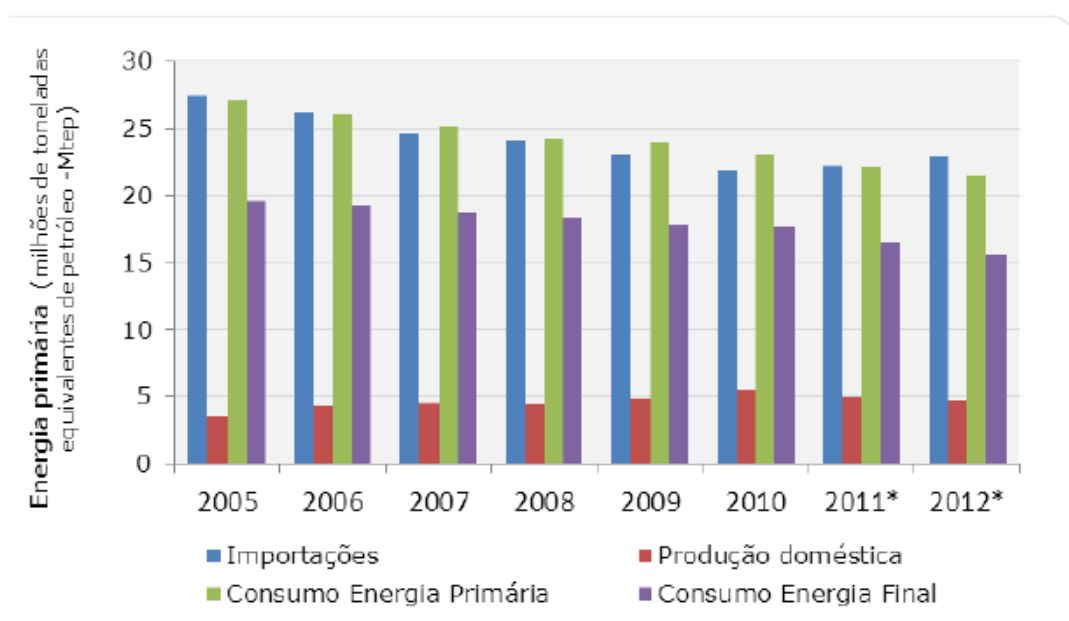


Figura 4 - Evolução do balanço energético em Portugal de 2005 a 2012 (Mtep) [5]

Pela análise do gráfico, é notório o peso que as importações de energia têm para Portugal, mas têm vindo a descer entre 2005 e 2010, tendo subido ligeiramente em 2011 e 2012. Esta subida compensa o comportamento inverso da produção de energia doméstica que aumentou até 2010 e reduziu em 2011 e 2012. A recessão económica, aliada a medidas de eficiência energética fazem com que os valores de consumo de energia primária e energia final tenham vindo sempre a descer até aos registos de 2012. A tendência é para continuar a diminuir, permitindo a Portugal poder cumprir as metas estipuladas. Em 2012, estima-se uma redução de 2,8% no consumo de energia primária e de 5,7% no consumo de energia final, face a 2011 (com o consumo de eletricidade a apresentar uma queda de 2,8%, o consumo de

petróleo e derivados uma diminuição de 11,4% e o consumo de gás natural um aumento de 3,8%) [5].

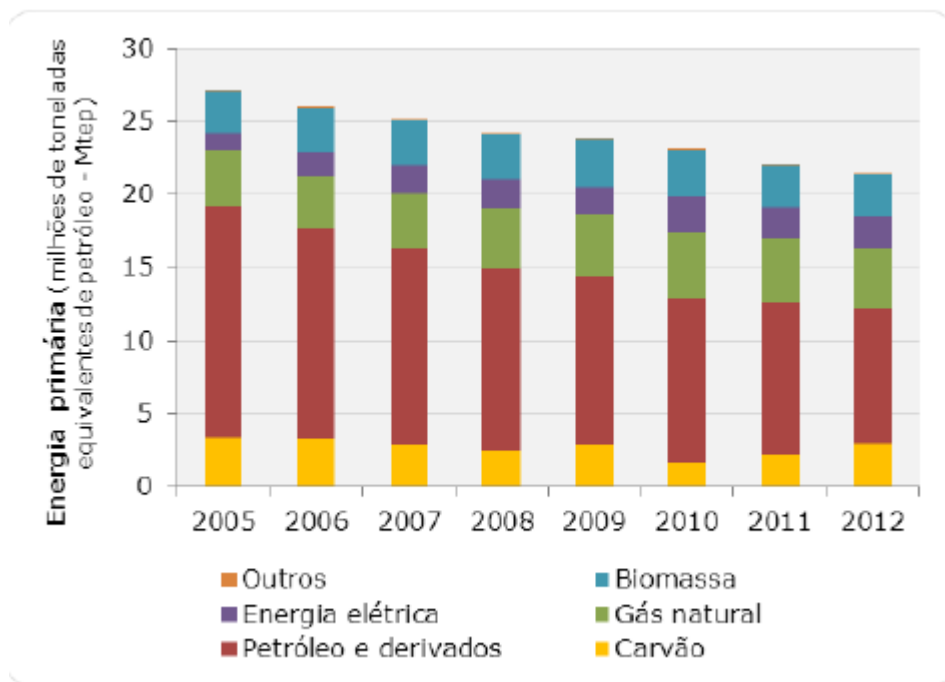


Figura 5 - Consumo por tipo de energia (Mtep) [5]

O gráfico anterior mostra o tipo de energia e a quantidade em que os mesmos são utilizados em Portugal, sendo o petróleo e derivados os que têm maior percentagem, embora o seu peso relativo tenha vindo a reduzir entre 2005 e 2012. Em 2012, depois do petróleo e derivados (43,4%), a segunda fonte mais usada foi o gás natural (18,8%), seguido pelo carvão (13,6%), biomassa (13,4%) e finalmente a energia elétrica (10,2%) [5].

1.3.4 Transportes

A partir dos números apresentados no capítulo anterior quanto ao consumo energético, pode agora ser feita uma divisão pelo tipo de setor em que é aproveitada a respetiva energia. Assim, os transportes são o que ocupam a maior percentagem (35,8%) o que revela uma grande dependência do país sobre os mesmos, seguido logo atrás pela indústria (33,7%). As percentagens mais pequenas pertencem aos serviços e uso doméstico, sendo este último referente à agricultura e pescas.

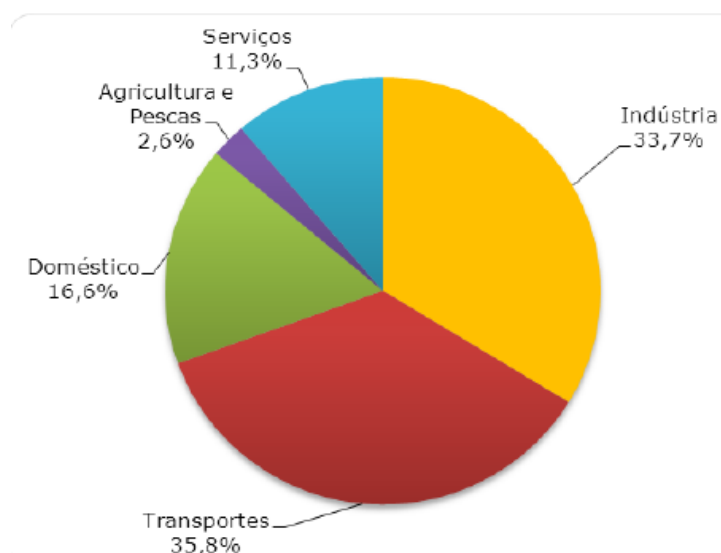


Figura 6 - Consumo de energia por setor em 2011 [5]

Em 2010 a percentagem de distribuição de passageiros nas rodovias era de 76,4%, quando nas ferrovias era de apenas 17,1%, o que revela a forte dependência dos transportes nas estradas portuguesas. A rede nacional de estradas aumentou 509 quilómetros entre 2007 e 2011 e o consumo de combustíveis desceu 6,6%, sendo a gasolina que representa a maior percentagem de redução (9%), seguido do GPL (8,9%) e gasóleo (5,8%), em contraste com o aumento do consumo de gás e biodiesel (ambos 3,3%) [5].

O transporte marítimo continuou uma fase de expansão de atividade, mas menos acentuada em relação aos anos anteriores. O movimento total de mercadorias aumentou em 2,3% e registou-se uma diminuição no número de embarcações que deram entrada nos portos em 3,3% [5].

O número de linhas regulares por operadores de transporte aéreo baixou para 330, mas a taxa de ocupação mantém a tendência de subida (64,6% em 2009, 67,6% em 2010 e 70,2% em 2011) [5].

Em 2011, pela segunda vez consecutiva, a utilização de biocombustíveis nos transportes em Portugal foi de 5,3%, o que superou a média europeia de 4,7% [5].

O seguinte gráfico mostra como foi a evolução das emissões de gases com efeito de estufa por habitante, tanto na Europa como em Portugal.

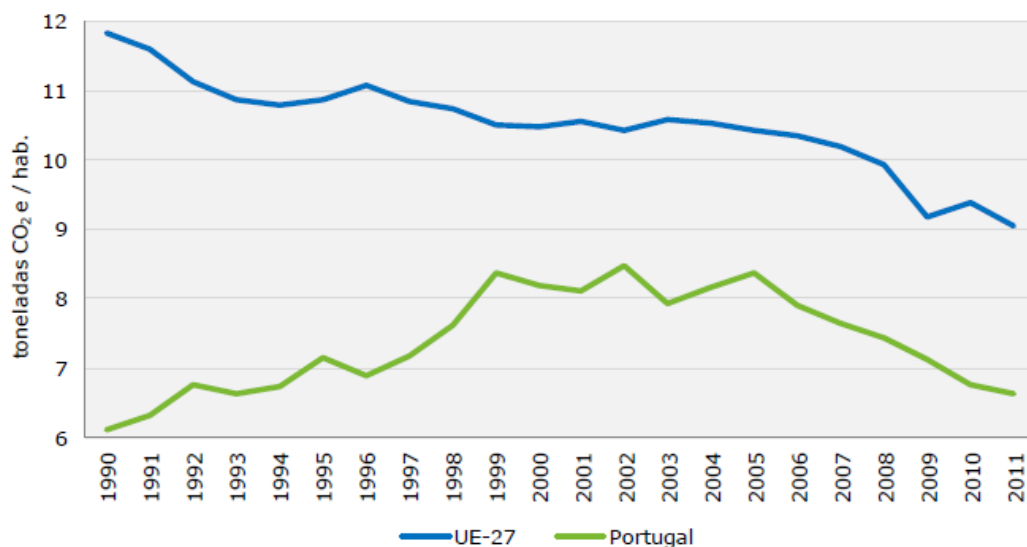


Figura 7 - Emissões de gases com efeito de estufa por habitante (toneladas CO₂/habitante) [5]

Desde 2005 que a tendência destes valores, tanto na União Europeia como em Portugal, é para baixar. Os transportes têm a percentagem mais alta do consumo de energia em Portugal, são permanentemente dependentes dos combustíveis fósseis vindos do petróleo e por isso têm um papel fulcral no impacto no ambiente. Já por isso, um dos principais objetivos dos construtores automóveis é o aumento da eficiência dos seus motores para continuar a reduzir o impacto que os transportes têm no ambiente.

Esse mesmo impacto pode ser visto no seguinte gráfico com dados desde 1990 até 2010.

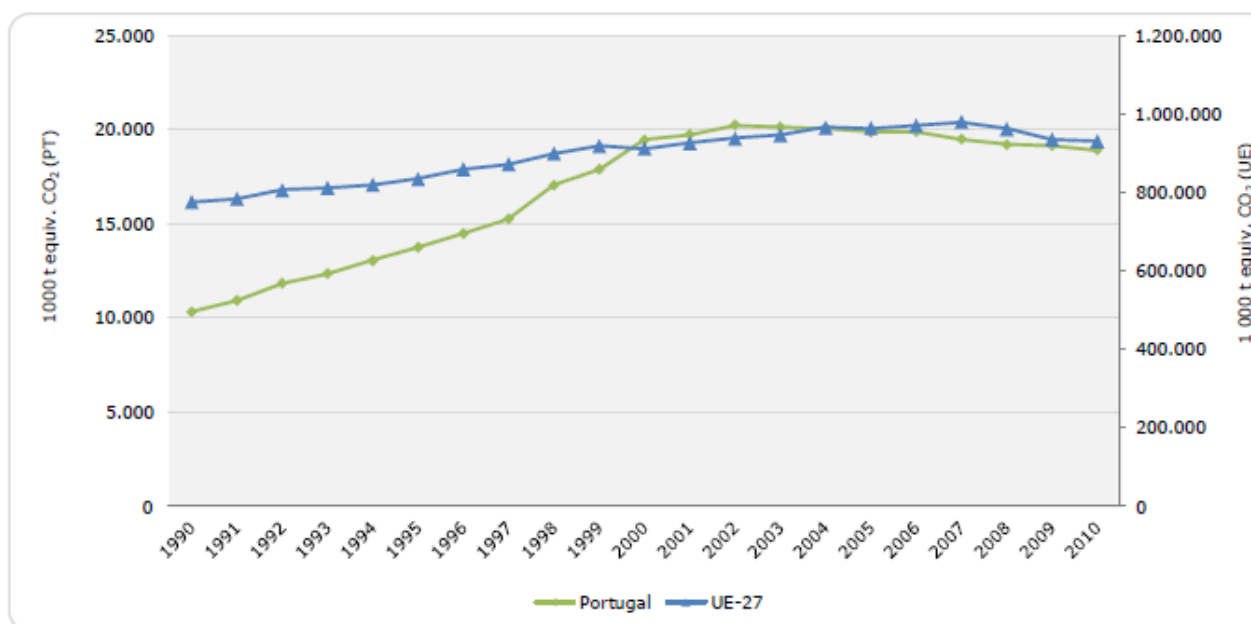


Figura 8 - Emissões de gases com efeito de estufa nos transportes em Portugal e na EU-27 [5]

No intervalo entre 1990 e 2006 verificou-se que a tendência das emissões foi sempre ascendente, muito devido ao crescimento económico que se verificou em Portugal nesses 16 anos, e também ao aumento significativo do número de veículos a circular nas estradas portuguesas. Entre 2006 e 2010 verificou-se uma inversão da tendência, devido às medidas impostas e pelos esforços dos construtores automóveis na redução das emissões de gases poluentes dos seus motores. Em 2010, o valor de emissões de gases com efeito de estufa é 18% superior ao ano base (1990), mas ainda continua abaixo 9 pontos percentuais do limite definido pelo Protocolo de Quioto [5].

1.3.5 Energias Renováveis

Em tempos de uma necessidade cada vez mais alarmante de alternativas aos combustíveis fósseis, e também por causa da crise económica, o uso de fontes de energia renováveis é cada vez mais importante.

A nível mundial, as fontes de energia renováveis tiveram resultados diversos. A produção de biocombustíveis teve a primeira queda desde o ano 2000, devido principalmente aos Estados Unidos da América. Por outro lado, fontes de energias renováveis usadas para a produção de eletricidade tiveram um aumento de 15,2% em relação ao ano anterior. Já a energia eólica teve um aumento de 18,1%, sendo mais uma vez a China a representar grande parte da produção desse tipo de energia (34,6%). A energia solar foi a que teve maior aumento (58%) mas representa uma percentagem de uso bastante menor do que as restantes energias renováveis. Somando tudo isto, as fontes de energia renováveis correspondem a 2,4% do consumo mundial de energia, o que ainda é um valor muito baixo [4].

Em Portugal, o consumo de energias renováveis também se tem intensificado como se pode observar no seguinte gráfico.

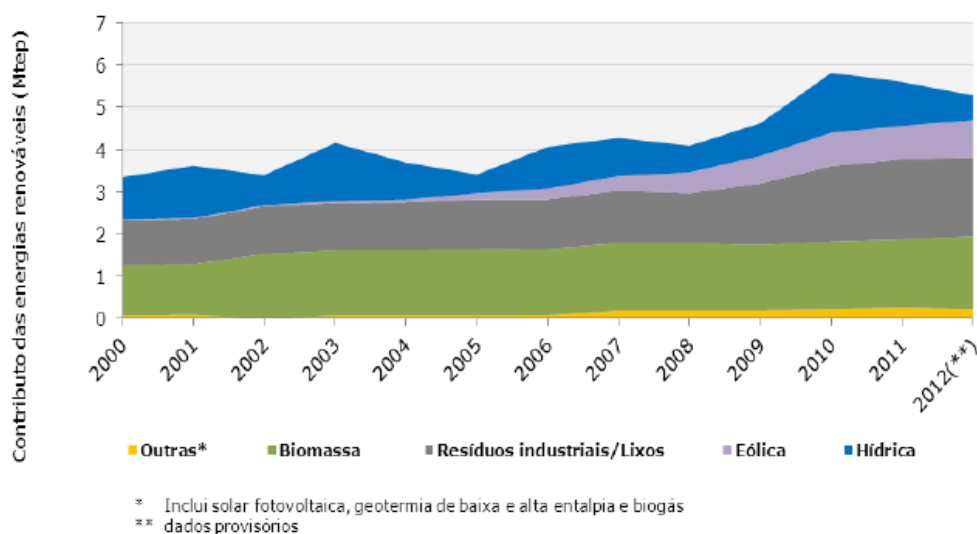


Figura 9 - Distribuição do consumo de energias renováveis em Portugal (Mtep) [5]

As fontes de energia renováveis, como se pode observar, têm tido uma utilização crescente, registando apenas uma queda entre 2010 e 2012 na energia hídrica. Em 2011, o peso das fontes de energia renováveis no total da energia primária foi de 21,9%, diminuindo, ligeiramente, face aos 23,4% de 2010 [5].

A incorporação de fontes de energia renováveis no consumo bruto de energia elétrica foi de 48,8%, o que faz de Portugal o terceiro país da União Europeia (UE-15) com maior incorporação de energias renováveis na produção de energia elétrica, depois da Áustria (56,3%) e da Suécia (57,2%) [5].

Como tal, a potência instalada nas centrais de produção de energia elétrica a partir de fontes de energias renováveis também tem registado um aumento como indica o seguinte gráfico.

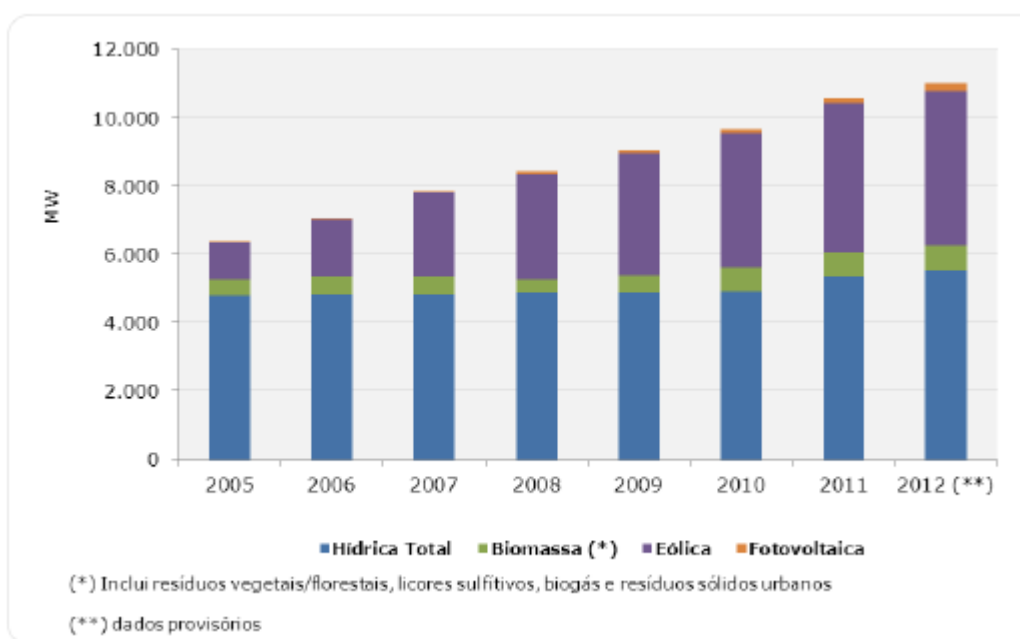


Figura 10 - Potência instalada em centrais de produção de energia elétrica através de fontes de energias renováveis [5]

É possível observar no gráfico anterior a tendência crescente da produção de energia a partir de fontes de energias renováveis. No final de 2011, a capacidade instalada para a produção de energia elétrica atingiu os 10 622 MW em Portugal, o que traduz um aumento de 9,6% relativamente a 2010, ano em que já tinha havido um aumento de 6,6% face a 2009 [5].

Por último, o uso de biocombustíveis ou outros combustíveis renováveis nos transportes só começou em Portugal a partir de 2005, a qual tem apresentado uma tendência crescente desde então.

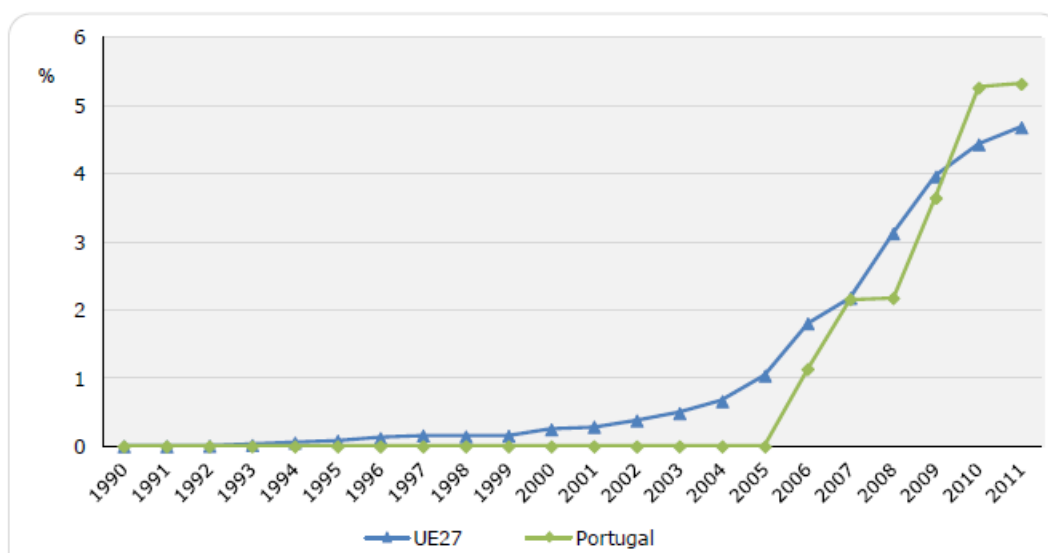


Figura 11 - Consumo de biocombustíveis ou outros renováveis nos transportes rodoviários [5]

Aliado a este aumento, verificado no gráfico anterior, a União Europeia definiu, através da Diretiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa à promoção de utilização de energia proveniente de fontes renováveis (Diretiva FER), o objetivo de alcançar, até 2020, uma quota de 10% de energia proveniente de fontes renováveis no sector dos transportes.

1.3.6 Legislação sobre as emissões nos veículos de passageiros

A legislação existente que regula a emissão de gases poluentes é da responsabilidade da União Europeia, através de respetivas diretivas e tem como objetivo reforçar os limites de emissões de gases poluentes aplicados aos veículos de passageiros, nomeadamente, no que diz respeito às emissões de partículas e de óxidos de azoto. O Regulamento (CE) n.º 715/2007 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 20 de Junho de 2007, é relativo à homologação dos veículos a motor, no que respeita às emissões dos veículos ligeiros de passageiros e comerciais (Euro 5 e Euro 6) e ao acesso à informação relativa à reparação e manutenção de veículos [6].

Os veículos abrangidos pertencem às categorias M1, M2, N1 e N2, cuja massa de referência não exceda 2610 kg. Estão, portanto, incluídos os veículos de passageiros, furgonetas, veículos comerciais destinados ao transporte de passageiros, de mercadorias ou a determinados usos especiais (ambulância, por exemplo), quer estejam equipados com motores de ignição comandada (motores alimentados a gasolina, gás natural ou a gás de petróleo liquefeito – GPL) ou de motores de ignição por compressão (motores a gasóleo) [6].

As normas atuais são a “Euro 5” e “Euro 6” e a partir da data de entrada em vigor das mesmas, os Estados Membros devem recusar a homologação, matrícula, venda e entrada em circulação dos veículos que não respeitem os respetivos limites de emissões. A norma Euro 5 é aplicável desde 1 de Setembro de 2009, no que diz respeito à homologação, e é aplicável a partir de 1 de Janeiro de 2011 no que diz respeito à matrícula e venda de novos tipos de

veículos. A norma Euro 6 será aplicável a partir de 1 de Setembro de 2014 no que diz respeito à homologação e a partir de 1 de Janeiro de 2015 no que diz respeito à matrícula e venda de novos tipos de veículos [6].

Valores dos limites Euro 5:

Emissões provenientes de veículos a gasóleo [6]:

- Monóxido de carbono: 500 mg/km
- Partículas: 5 mg/km
- Óxidos de azoto (NO_x): 180 mg/km
- Emissões combinadas de hidrocarbonetos e de óxidos de azoto: 230 mg/km

Emissões provenientes de veículos a gasolina ou que funcionem com gás natural ou GPL [6]:

- Monóxido de carbono: 1000 mg/km;
- Hidrocarbonetos não-metânicos: 68 mg/km;
- Hidrocarbonetos totais: 100 mg/km;
- Óxidos de azoto (NO_x): 60 mg/km
- Partículas (unicamente para veículos a gasolina de injeção direta a funcionar com mistura pobre): 5 mg/km (introdução de um limite que não existia segundo a norma Euro 4).

Para a norma “Euro 6”, as alterações refletem-se nos veículos equipados com motor a gasóleo, sendo obrigatória uma redução importante das emissões de óxidos de azoto a partir da entrada em vigor da mesma. As emissões provenientes de automóveis e de outros veículos destinados ao transporte estarão sujeitas a um limite máximo de 80 mg/km, ou seja, uma redução suplementar de mais de 50 % em relação à norma Euro 5. As emissões combinadas de hidrocarbonetos e de óxidos de azoto provenientes de veículos a gasóleo serão igualmente reduzidas, até serem sujeitas, por exemplo, a um limite máximo de 170 mg/km no que diz respeito aos automóveis e a outros veículos destinados ao transporte [6].

Também as emissões de dióxido de carbono (CO₂), um dos gases de efeito de estufa mais influentes na poluição da atmosfera, são limitadas. Os valores da média das emissões de carros novos em 2006 estava nos 160 g/km, desceu para 132 g/km em 2012, o que é bastante bom, já que para 2015, o objetivo são 130 g/km. Num espaço temporal mais longo, 95% dos veículos de passageiros, em 2020, estarão limitados a 95 g/km de CO₂, passando a 100% dos veículos em 2021, para o mesmo limite [7].

1.4 Porquê um automóvel híbrido

Os transportes, sejam estes públicos ou privados, são um dos aspetos mais importantes no progresso da economia de um país. As pessoas necessitam de se deslocar para os respetivos empregos, as exportações/importações necessitam de chegar ao destino, ou mesmo

para o lazer, os transportes são imprescindíveis. E como tal desde há muitos anos que somos totalmente dependentes de veículos motorizados.

No entanto, essa dependência e o consequente consumo de recursos fósseis chegaram a tal ponto que outras questões começaram a ser levantadas, tais como as reservas de petróleo restantes no mundo que não vão durar para sempre, fazendo da gasolina/gasóleo, bens cada vez mais escassos. Outro aspeto que merece igual, ou até maior preocupação, é o impacto que os combustíveis têm no ambiente. Os motores de gerações anteriores tinham, geralmente, uma cilindrada média superior aos motores atuais, e debitavam números de potência e binário muito inferiores, o que demonstra a baixa eficiência dos motores mais antigos. Nessa altura não havia grandes preocupações com o impacto no ambiente e essa baixa eficiência dos motores refletia-se também na quantidade de gases poluentes que emitiam. Com o passar dos anos e com a implementação de regulamentos para as emissões de gases poluentes, toda essa mentalidade mudou e o objetivo passou a ser construir motores o mais eficientes possível, para reduzir o consumo de combustíveis e o consequente impacto no ambiente.

A recente crise económica instalada só veio piorar a situação, uma vez que os preços de combustíveis sobem em flecha, o que só contribui para reduzir o poder de compra/investimento de pessoas/empresas, aumentando ainda mais a necessidade de motores a consumir cada vez menos combustível, enquanto a necessidade de mobilidade se mantém, independentemente dos custos que daí advêm.

As vantagens de um veículo híbrido passam principalmente pela possibilidade de reduzir o consumo de combustível, quando comparado a um veículo convencional com características semelhantes, devido à aliança do motor de combustão interna com a energia elétrica. Consequentemente, se houver um menor consumo de combustível, as emissões de gases poluentes também serão menores, o que faz dos veículos híbridos mais “amigos do ambiente”. Estes podem ser especialmente eficientes se for possível circular em modo exclusivamente elétrico, por exemplo, em ambiente urbano onde os motores de combustão interna são mais gastadores. Procurando essa finalidade, existem diversos modelos “Plug-in” no mercado, em que é possível carregar as baterias, num determinado tempo, recorrendo a uma tomada convencional, tendo assim energia disponível para percorrer uma determinada distância em modo elétrico sem gastar nenhum combustível. Essa distância dependerá apenas da capacidade do conjunto motor elétrico e baterias.

No caso de um veículo híbrido que não tenha as características “Plug-in”, dependendo do modelo, pode continuar a ser possível a deslocação elétrica, mas por uma distância geralmente mais curta, até 3 km, o que, mesmo assim, tem um papel importante na redução dos consumos de combustível e emissões de gases poluentes. Quando em funcionamento simultâneo dos dois motores, o elétrico serve como um acréscimo de potência que é adicionado ao esforço do motor de combustão. O motor elétrico tem a vantagem de conseguir ter todo o binário disponível logo a baixas rotações, o que faz com que haja menos esforço do motor de combustão, por exemplo, no arranque, que é quando os motores de combustão são menos eficientes. Quando for necessária uma aceleração mais forte, por exemplo numa recuperação de velocidade ou ultrapassagem, os dois motores trabalham em conjunto para obter a melhor performance possível.

Toda a moeda tem dois lados e as vantagens acima descritas trazem também desvantagens, desde já o preço. A tecnologia híbrida terá sempre um custo superior na compra do veículo, principalmente pelo maior número de componentes que necessita, desde motor

elétrico, baterias, unidades de controlo, entre outros. A junção de duas fontes de energia a propulsionar as mesmas rodas tratoras do veículo, reflete-se também no custo para um veículo híbrido, já que é necessária uma transmissão mais complexa. Outra desvantagem relacionada com o maior número de elementos, será o peso superior, tendo implicações na performance do veículo em termos de aceleração e travagem. Por outro lado, além do custo para o utilizador, existe também a questão do custo de produção de um híbrido, factos que, normalmente, os construtores automóveis não divulgam. Os automóveis híbridos são, de fato, capazes de conseguir reduzir os gastos com combustível e diminuir o impacto no ambiente, mas por detrás desses números está o fabrico dos componentes necessários, especialmente as baterias, que também tem impacto extra no ambiente, quando atingirem o seu fim de vida.

Havendo um apelo constante a uma “mentalidade verde”, e apesar de terem múltiplas vantagens, os automóveis híbridos não são, de longe, a solução completa devido às desvantagens apresentadas, mas podem ser parte dela. Em ambientes urbanos podem, de facto, ser uma boa aposta se for possível o andamento exclusivamente em modo elétrico, numa determinada distância, já que durante esse tempo não está a ser consumido combustível nem emitido qualquer gás poluente. Por outro lado, têm também a “concorrência” de outras tecnologias que têm vindo a sofrer imensas melhorias como é o caso dos motores a gasóleo ou gasolina que usam turbocompressores que cada vez têm melhores valores de potência e binário, aliados a cilindradas, consumos de combustível e emissões de gases poluentes cada vez menores.

2 Automóveis Híbridos

2.1 Definição

Com origem no Latim, “*hybrida*”, a palavra “híbrido” pode ser referente a um animal proveniente de duas espécies diferentes. Quando aplicado ao contexto automóvel, híbrido significa que o veículo tem, pelo menos, duas fontes de energia distintas, independentemente da sua natureza, e não só a junção do motor elétrico ao motor de combustão interna a gasolina, que é o mais comum.

Como exemplos:

- Gasolina + Elétrico
- Gasóleo + Elétrico
- Gasolina + força humana (pedais)
- Gasolina + Hidrogénio
- Outros

2.2 Configurações híbridas

A sigla mais comum na literatura estrangeira para um veículo híbrido é HEV (Hybrid Electric Vehicle), e significa que o veículo usa um motor de combustão interna em simultâneo com um ou mais motores elétricos. A partir de “HEV” surgiu a sigla “PHEV”, em que o “P” significa “Plug-in” e é referente a veículos híbridos com possibilidade de carregamento de baterias numa tomada de eletricidade convencional. Com o desenvolver da tecnologia, foram surgindo diferentes soluções na forma como se acoplam os dois motores, dando origem a diferentes configurações híbridas.

2.2.1 Híbrido em série (“Series Hybrid”)

Como o nome indica, o sistema funciona em série, sendo o motor de combustão interna que faz trabalhar um gerador. Este é responsável pela dupla função de dar energia ao motor elétrico e pelo carregamento das baterias. Apenas o motor elétrico está ligado às rodas, e a função do motor de combustão interna é apenas fazer trabalhar o gerador. Em caso de

necessidade de uma grande quantidade de energia, o motor elétrico pode ser alimentado pelas baterias e pelo gerador em simultâneo [8, 9].

Um automóvel convencional, apenas com motor de combustão interna é, obrigado a trabalhar num regime de rotações muito variado, o que contribui para um rendimento baixo. Uma vantagem deste sistema híbrido em série é que não existe uma ligação entre o motor de combustão e as rodas, ou seja, o motor de combustão pode estar a funcionar no seu melhor regime a tempo inteiro, mesmo que o veículo varie a sua velocidade, desde que consiga fornecer energia suficiente ao gerador. Esse facto pode contribuir num aumento de eficiência até 50% quando comparado a um automóvel convencional. Além disto, os motores elétricos podem trabalhar em gamas de rotação muito amplas, pelo que em certos casos pode nem sequer ser necessário usar caixa de velocidades, bastando uma relação simples entre o veio do motor e o eixo das rodas motrizes. Não havendo perdas mecânicas na transmissão é mais um facto que contribui para uma melhor eficiência do veículo [8, 9].

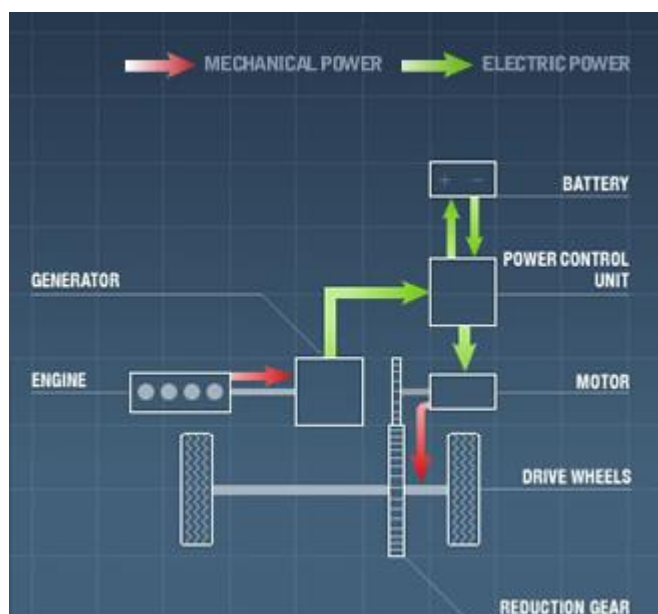


Figura 12 - Esquema de híbrido em série [8]

2.2.2 Híbrido em paralelo (“Paralell Hybrid”)

Ao contrário da configuração anterior, no híbrido em paralelo, tanto o motor de combustão interna como o motor elétrico estão ligados às rodas através de uma transmissão mecânica. O motor de combustão interna é a principal fonte de energia estando em permanente funcionamento. O motor elétrico é usado como um suplemento de potência quando for necessário, e ajuda também no arranque de forma a ser o mais eficiente possível.

Para armazenamento de energia, à semelhança do sistema anterior, o híbrido em paralelo usa um conjunto de baterias e são carregadas de forma semelhante. No entanto, o motor elétrico não pode gerar movimento para as rodas enquanto estiver a gerar energia elétrica para armazenamento nas baterias. Os acessórios como a direção assistida e o ar condicionado são alimentados pelo motor elétrico, em vez de estarem ligados diretamente ao

motor de combustão interna, o que permite ganhos em termos de eficiência. Este sistema permite também que possa ser reduzido o tamanho do motor de combustão interna, uma vez que temos duas fontes de potência ligadas às rodas, reduzindo assim o consumo de combustível [8, 9].

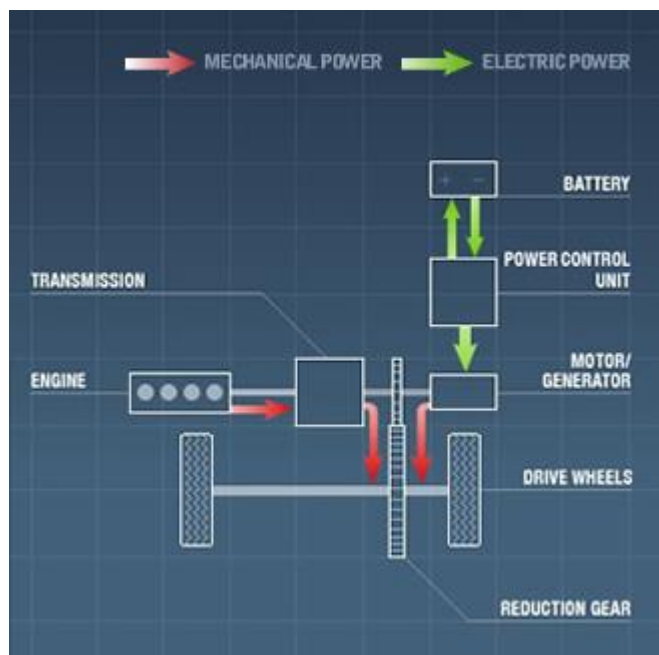


Figura 13 - Esquema de híbrido em paralelo [8]

2.2.3 Híbrido Misto (“Power-Split Hybrid”)

Este sistema é, como o nome indica, um misto dos dois explicados anteriormente, sendo assim possível ter funcionamento híbrido com o motor de combustão interna e o motor elétrico a trabalhar em simultâneo, ou simplesmente funcionamento elétrico com o motor de combustão parado. Tanto em funcionamento híbrido como apenas elétrico, continua a ser possível a geração de energia para armazenamento nas baterias, através de tecnologias como a travagem regenerativa ou gerada através da energia proveniente do motor de combustão. A distância possível de ser percorrida recorrendo apenas à energia elétrica depende somente da capacidade de armazenamento de energia nas baterias [8, 9].

A chave para este tipo de funcionamento está no dispositivo de separação de potência que transfere parte da potência proveniente do motor de combustão para as rodas e a restante para o gerador para que este possa alimentar o motor elétrico ou carregar as baterias. A vantagem deste sistema é poder aproveitar a melhor eficiência dos motores elétricos quando se está em velocidades baixas (a arrancar, quando é necessário mais binário) e juntar a potência do motor de combustão quando se estiver a circular a velocidades mais altas como por exemplo em cruzeiro numa autoestrada ou em caso de acelerações fortes numa ultrapassagem. Todo o controlo deste sistema é feito recorrendo à eletrónica do veículo, fazendo a melhor gestão possível das duas fontes de energia, minimizando os consumos tanto de combustível como eletricidade [8, 9].

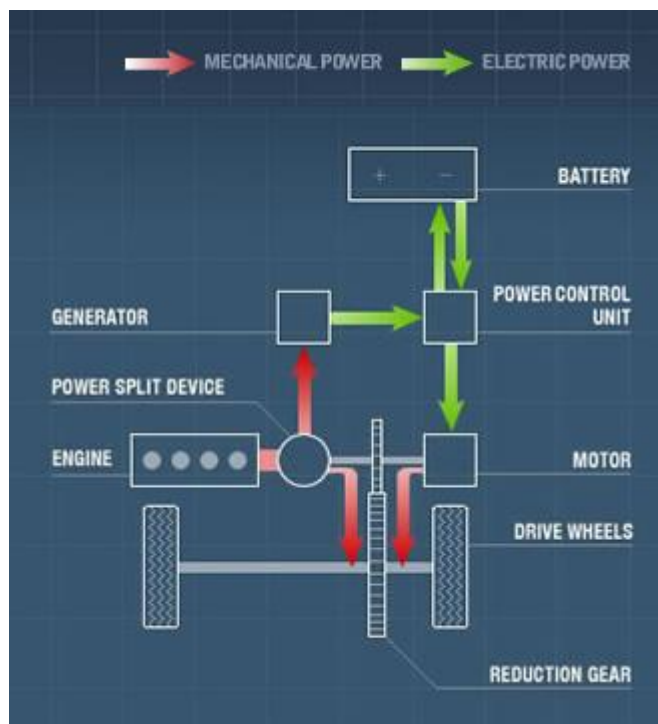


Figura 14 - Esquema de um híbrido misto [8]

2.3 Grau de hibridização

Além das configurações híbridas existem também, na literatura, outras formas de definir o que cada tipo de híbrido é capaz de fazer, dependendo de como estão acoplados as fontes de energia do veículo, daí o nome de “grau de hibridização”.

2.3.1 “Micro-Hybrid”

Apesar de se designar micro híbrido, na verdade não se trata de um híbrido convencional porque não existe um motor elétrico integrado. A energia da bateria não é usada para o movimento das rodas, mas sim para alimentar o conhecido sistema “Start-Stop” que desliga o motor de combustão interna quando não é necessário, por exemplo, em caso de paragem num semáforo. Quando o condutor inicia novamente a marcha, o motor é posto a trabalhar de imediato pelo alternador alimentado pela bateria que, por sua vez, recebe uma pequena carga de reforço da energia gerada durante as travagens [10, 11].

Este sistema permite poupanças de combustível em ambientes urbanos, durante os quais se façam múltiplas paragens, e também redução de emissões de gases poluentes visto que nessas paragens o motor não está em funcionamento. Podem ser necessárias baterias de maior capacidade para aguentar um maior número de ciclos de arranques do motor, o que pode aumentar os custos em caso de necessidade de troca das mesmas [10, 11].

2.3.2 “Mild Hybrid”

A categoria “Mild Hybrid” engloba os veículos híbridos em série e em paralelo explicados anteriormente (ver 2.2) e utilizam o mesmo sistema “Start-Stop” dos “Micro Hybrid”. A diferença reside no facto de ser usado um motor elétrico para trabalhar em simultâneo com o motor de combustão interna. Por norma, não têm a capacidade de circular em modo apenas elétrico. Esse motor elétrico vai fazer com que haja um surto de potência e binário quando for necessário, por exemplo no arranque ou numa ultrapassagem, fazendo com que o motor de combustão possa trabalhar num regime mais eficiente, como já foi explicado anteriormente [10, 11].

2.3.3 “Full-Hybrid”

O termo “Full Hybrid” é usado quando estamos perante um veículo que permite circular tanto em modo híbrido como em modo elétrico de forma a fazer a melhor gestão de combustível possível. Dependendo da carga existente nas baterias, o veículo pode fazer uma certa distância sem gastar combustível, o que é muito atrativo em ambientes urbanos. A velocidades mais altas, o motor elétrico ajuda o motor de combustão, como acontece nos “Mild Hybrid”. A distância que o veículo pode percorrer e a que velocidade o faz depende apenas da capacidade do conjunto motor elétrico/baterias. A desvantagem de um conjunto elétrico com mais capacidade será o maior peso que trará ao veículo, piorando as performances e o consumo de combustível, havendo necessidade de chegar a um compromisso entre os dois [10, 11].

2.3.4 “Plug-In ”

O híbrido Plug-In será um Full-Hybrid mas com a particularidade das baterias poderem ser carregadas através da ligação a uma tomada de eletricidade convencional, fazendo assim do motor de combustão interna um extensor de autonomia para quando acabar a energia nas baterias. Como, por norma, conseguem percorrer maiores distâncias em modo elétrico, tem implicações ao nível da capacidade das baterias a qual deve ser superior a um híbrido “convencional”, aumentando assim, também, o custo de produção do veículo.

Os níveis de consumos de combustível e emissões de gases poluentes podem ser consideravelmente reduzidos em comparação a um híbrido “convencional”, ficando a autonomia em modo elétrico dependente apenas da capacidade das baterias e do motor elétrico. Do ponto de vista do utilizador, as vantagens deste tipo de veículo andam à volta do custo por quilómetro (€/km) de eletricidade, o qual é muito inferior ao custo por quilómetro em gasolina/gasóleo, o que reduz as idas à bomba de gasolina se for possível o carregamento das baterias com recurso a uma tomada elétrica. A desvantagem será sempre o tempo de carregamento que mais uma vez depende apenas da capacidade das baterias e da voltagem disponível na rede [10, 12].

2.3.5 Resumo dos graus de hibridização

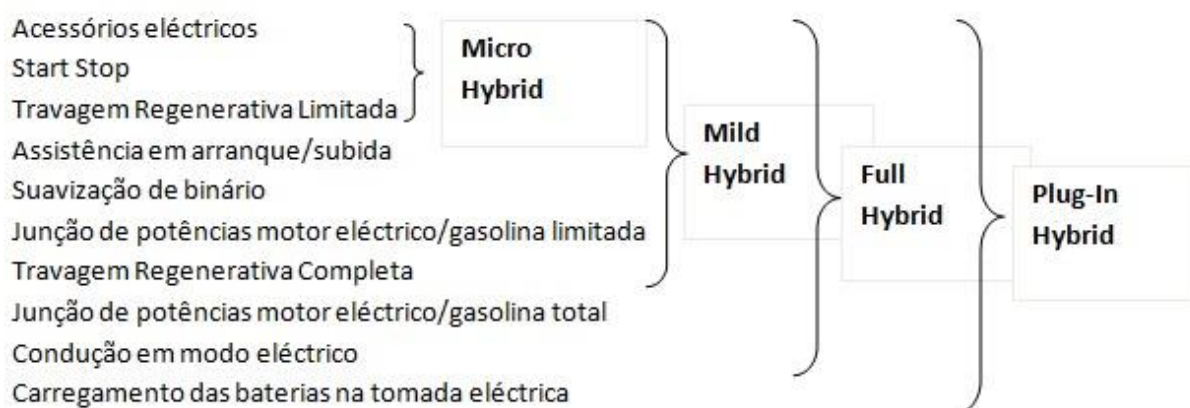


Figura 15 - Resumo esquemático dos graus de hibridização

2.4 Revisão bibliográfica

A tecnologia híbrida já é produzida em massa há quase duas décadas e como tal, os estudos que abordam este tema são vários. Os primeiros a serem publicados incidem especialmente no veículo pioneiro, o Toyota Prius, e se realmente compensa a sua utilização ou não. Mas o tema desta dissertação é diferente e não anda à volta de apenas um veículo mas sim de diferentes tecnologias, sejam híbridos ou veículos com apenas motores gasóleo ou gasolina.

Lester B. Lave e Heather L. MacLean [13], em 2002, compararam a segunda geração do Toyota Prius ao seu rival direto dentro da própria Toyota, o Corolla, tanto em termos de consumo de combustível como de emissões de gases poluentes. O estudo consistia em comparar o tempo de vida de cada veículo assumindo 250 000 km percorridos, distribuídos uniformemente por 14 anos, com 45% do percurso feito em autoestrada e os restantes 55% em percurso urbano. Foram também assumidos custos iguais de manutenção, embora isso seja improvável devido à maior complexidade do Prius e também à garantia das baterias, que na altura só abrangia 100 000 milhas (161 000 km). A primeira conclusão retirada é que, de fato, o Prius consegue valores de consumo de combustível mais reduzidos que o Corolla, mas não compensavam o preço extra que era necessário pagar no ato de compra. O Prius consegue ser mais competente em ambiente urbano do que o seu competidor, mas requiere baterias maiores, o que vai ter consequências ambientais no fim de vida da bateria, não compensando os ganhos de emissões de CO₂ durante a vida do veículo.

Coelho M. e Bastos L. [14], no âmbito de uma dissertação de Mestrado para a Universidade de Aveiro, em 2008, realizaram testes experimentais em estrada e analisaram o desempenho energético de um veículo híbrido, o Toyota Prius. Foram feitos testes de pára-arranca, diversos perfis de velocidade e passagem em rotundas. Do trabalho concluiu-se que o veículo tem consumos de combustível inferiores a outros veículos da mesma categoria, especialmente em meio urbano, com velocidades até 50 km/h.

Luzia M. [9], no âmbito de outra dissertação de Mestrado, realizada também na Universidade de Aveiro, em 2009, monitorizou energeticamente um Lexus RX400h, e consistiu no mesmo tipo de testes da anterior, o que envolveu pára-arranca, diversos perfis de velocidade, simulação de via verde e portagem normal, e também comparações teóricas com outros veículos. Verificou-se que o consumo de combustível aumentava bastante consoante o tipo de condução. O mesmo se passava com o consumo energético nos motores elétricos que reduzia bastante a carga da bateria numa aceleração brusca quando comparado com condução mais suave. Nos testes de pára-arranca, o motor de combustão não trabalha no momento do arranque, só a partir de uma certa velocidade, o que contribui para uma boa eficiência em ambientes urbanos, sendo esse o principal trunfo deste tipo de veículos híbridos.

Heffner R. [15] teve uma análise diferente dos anteriores, o objetivo não foi andar a medir consumos de combustível de veículos híbridos mas sim procurar a opinião pessoal de quem tinha comprado e usado durante alguns anos o Toyota Prius. As principais conclusões retiradas são que, quem compra um híbrido fá-lo pela ideia de sensibilização em ajudar o ambiente e a maturidade que isso revela na pessoa que prefere o híbrido a outro veículo. Quem adere a este tipo de veículos fá-lo também pela ideia de poupança de combustível mas nenhuma das famílias entrevistadas faz ideia concreta do que poupou ao longo do tempo, nem se ajudou o ambiente em termos de emissões, o que faz o autor caracterizar os utilizadores de automóveis híbridos como confusos acerca das vantagens deste tipo de veículos.

Existem outros estudos que envolvem comparações entre híbridos “normais” e os Plug-in e até com células de combustível, mas verificou-se a inexistência de comparativos entre os 3 principais meios de propulsão automóvel, híbridos, gasolina e gasóleo.

3 Atualidade

3.1 O mercado Português atual de automóveis híbridos

No mercado atual de automóveis, cada marca desenvolve os seus produtos de forma a aceder a todas as necessidades, sejam elas o prestígio da marca, o tipo de automóvel que o cliente procura, as regulações quanto às emissões, entre outras. Assim sendo, a variedade de tecnologias, cilindradas, potências, equipamentos e preços é imensa, podendo levar o cliente a ter de se familiarizar com cada um destes fatores para tomar a sua decisão não só quanto ao modelo mas como à própria marca, isto porque haverá sempre produtos com características idênticas, para cada segmento automóvel, em diferentes construtores automóveis.

Os automóveis híbridos podem ser vistos apenas como um tipo de produto mas também aqui existem diversas diferenças entre os diversos modelos, o seu modo de funcionamento e o propósito para que são construídos. Um único ou vários motores elétricos podem fazer parte de um veículo híbrido, combinados com motor de combustão interna a gasolina ou gasóleo. Dependendo da configuração em que são montados, podem ter inúmeras diferenças no funcionamento e no comportamento que trazem ao veículo.

A seguir apresenta-se a lista por ordem alfabética dos veículos híbridos disponíveis no mercado Português na presente data e algumas das suas características [11, 16-31].

Tabela 1 – Modelos Híbridos Audi

Modelo	Tipo	Funcionamento elétrico	Distância elétrica <10km	Distância elétrica >10km	Potência combinada (cv)
A6	Gasolina	Sim	✓		245
	+ Elétrico				
A8	Gasolina	Sim	✓		245
	+ Elétrico				
Q5	Gasolina	Sim	✓		245
	+ Elétrico				

Tabela 2 - Modelos Híbridos BMW

Modelo	Tipo	Funcionamento elétrico	Distância elétrica <10km	Distância elétrica >10km	Potência combinada (cv)
Série 3	Gasolina + Elétrico	Sim	✓		340
Série 5	Gasolina + Elétrico	Sim	✓		340
Série 7	Gasolina + Elétrico	Sim	✓		349
I8	Gasolina + Elétrico	Sim*		✓	362

*Baterias podem ser carregadas numa tomada convencional

Tabela 3 - Modelos Híbridos Chevrolet

Modelo	Tipo	Funcionamento elétrico	Distância elétrica <10km	Distância elétrica >10km	Potência combinada (cv)
Volt	Gasolina + Elétrico	Sim*		✓	150

*Funcionamento permanente elétrico, baterias podem ser carregadas numa tomada convencional ou através do motor de combustão

Tabela 4 - Modelos Híbridos Citroen

Modelo	Tipo	Funcionamento elétrico	Distância elétrica <10km	Distância elétrica >10km	Potência combinada (cv)
DS5	Gasóleo + Elétrico	Sim	✓		200

Tabela 5 - Modelos Híbridos Honda

Modelo	Tipo	Funcionamento elétrico	Distância elétrica <10km	Distância elétrica >10km	Potência combinada (cv)
Jazz	Gasolina + Elétrico	Não	-	-	98
CR-Z	Gasolina + Elétrico	Não	-	-	137

Tabela 6 - Modelos Híbridos Lexus

Modelo	Tipo	Funcionamento elétrico	Distância elétrica <10km	Distância elétrica >10km	Potência combinada (cv)
CT200h	Gasolina + Elétrico	Sim	✓		136
IS300h /GS300h	Gasolina + Elétrico	Sim	✓		223
GS450h /RX450h	Gasolina + Elétrico	Sim	✓		345
LS600h	Gasolina + Elétrico	Sim	✓		445

Tabela 7 - Modelos Híbridos Mercedes

Modelo	Tipo	Funcionamento elétrico	Distância elétrica <10km	Distância elétrica >10km	Potência combinada (cv)
Classe E	Gasóleo	Sim	✓		228
	+				
	Elétrico				
Classe S	Gasóleo	Sim	✓		228
	+				
	Elétrico				

Tabela 8 - Modelos Híbridos Mitsubishi

Modelo	Tipo	Funcionamento elétrico	Distância elétrica <10km	Distância elétrica >10km	Potência combinada (cv)
Outlander	Gasolina	Sim*		✓	203
	+				
	Elétrico				

*Funcionamento permanente elétrico ou híbrido, baterias podem ser carregadas numa tomada convencional ou através do motor de combustão

Tabela 9 - Modelos Híbridos Opel

Modelo	Tipo	Funcionamento elétrico	Distância elétrica <10km	Distância elétrica >10km	Potência combinada (cv)
Ampera	Gasolina	Sim*		✓	150
	+				
	Elétrico				

*Funcionamento permanente elétrico, baterias podem ser carregadas numa tomada convencional ou através do motor de combustão

Tabela 10 - Modelos Híbridos Peugeot

Modelo	Tipo	Funcionamento elétrico	Distância elétrica <10km	Distância elétrica >10km	Potência combinada (cv)
508	Gasóleo + Elétrico	Sim	✓		200

Tabela 11 - Modelos Híbridos Porsche

Modelo	Tipo	Funcionamento elétrico	Distância elétrica <10km	Distância elétrica >10km	Potência combinada (cv)
Panamera	Gasolina + Elétrico	Sim		✓	416
Cayenne	Gasolina + Elétrico	Sim	✓		380

Tabela 12 - Modelos Híbridos Toyota

Modelo	Tipo	Funcionamento elétrico	Distância elétrica <10km	Distância elétrica >10km	Potência combinada (cv)
Auris	Gasolina + Elétrico	Sim	✓		136
Prius	Gasolina + Elétrico	Sim	✓		136
Prius Plug-In	Gasolina + Elétrico	Sim		✓	136
Yaris	Gasolina + Elétrico	Sim	✓		100

Tabela 13 - Modelos Híbridos Volkswagen

Modelo	Tipo	Funcionamento elétrico	Distância elétrica <10km	Distância elétrica >10km	Potência combinada (cv)
Touareg	Gasóleo + Elétrico	Sim	✓		380

3.2 Comparativos

Depois de analisado o panorama geral do mercado de automóveis híbridos em Portugal, e conhecendo também todas as outras opções no momento de compra de um veículo, podem ser delineados diversos comparativos, tendo em conta as dimensões do veículo, a cilindrada, a potência debitada, variando o sistema de propulsão, seja gasolina, gasóleo ou híbrido.

Estando disponíveis híbridos para o segmento de compactos, pequeno/médio familiar e até para os veículos de luxo, existem 3 comparativos possíveis, um para cada segmento.

Os veículos apresentados não foram escolhidos de acordo com as marcas mais influentes no mercado, servem apenas de exemplo, podendo haver outros com as mesmas características que não estão listados, uma vez que existe uma grande variedade de opções no mercado.

3.2.1 Os tipos de motores existentes

O objetivo desta Disertação não é efetuar comparações entre veículos híbridos mas sim entre veículos híbridos e outros “convencionais”, que sejam propulsionados apenas pelo motor de combustão interna. Como tal, são abordadas todas as outras soluções existentes no mercado automóvel:

- Veículos híbridos (motor gasolina + motor elétrico) cuja função do motor elétrico é apenas ajudar no arranque e em ultrapassagens quando o binário necessário é maior e contribuem para uma melhor eficiência geral e menor consumo de combustível. Exemplos: Honda Jazz/CR-Z.
- Veículos híbridos (motor gasolina/gasóleo + motor elétrico) cuja função do motor elétrico é semelhante à anterior mas também podem circular em modo totalmente elétrico durante um certo período de tempo, geralmente curto, dependendo da capacidade das baterias e do tipo de condução aplicada no momento. Exemplos: Toda a gama Lexus exceto LFA, Toyota Prius/Auris/Yaris, BMW serie 3/5, Audi A6/8 entre outros.

- Veículos “Range Extender” (motor gasolina + motor elétrico), um conceito um pouco diferente de um veículo híbrido, isto porque o veículo funciona sempre em modo elétrico (apenas o motor elétrico faz a ligação às rodas) até a carga das baterias ser reduzida. Tendo as baterias a carga reduzida, o motor de combustão entra em funcionamento para fazer trabalhar um gerador, o qual cria a eletricidade necessária para alimentar o motor elétrico, aumentando assim a distância que o veículo consegue percorrer: daí o nome “Range Extender” (extensor de autonomia). Esse motor elétrico é geralmente mais potente do que num híbrido normal e também as baterias têm uma capacidade maior, o que faz com que consigam percorrer entre 40 a 80 km em modo exclusivamente elétrico, o que satisfaz as deslocações diárias da maioria dos automobilistas. As baterias são carregadas por uma tomada de eletricidade convencional, à semelhança de um híbrido Plug-In. Exemplos: Opel Ampera e Chevrolet Volt.
- Veículos com motor a gasóleo: Possivelmente a tecnologia que mais evolução teve até hoje, conseguindo atualmente igualar ou até superar motores a gasolina nas curvas de potência e binário, melhorando também os consumos de combustível. São também os campeões de vendas em Portugal, na presente data.
- Veículos com motor a gasolina atmosféricos: é atualmente o motor mais simples que existe e mais barato na compra, isto porque ainda não sofrem das complicações com filtros de partículas devido aos regulamentos das emissões. Em Portugal, a gasolina continua a ser mais cara que o gasóleo e pode ser um fator determinante na compra de um automóvel. É uma tecnologia que tem evoluído em termos de consumos e prestações mas não muito, se comparado com a evolução dos motores a gasóleo e dos motores a gasolina com turbocompressores, referidos de seguida.
- Veículos com motor a gasolina com turbocompressores: Outra tecnologia que tem apresentado uma boa evolução, tal que tem sido possível reduzir a cilindrada dos motores, mas extraíndo dos mesmos potências equivalentes a motores de maior capacidade sem turbocompressores. Ao diminuir o tamanho do motor, juntamente com a injeção direta de gasolina, é possível reduzir os consumos, e consequentemente, as emissões de gases poluentes, mantendo ou até aumentando o nível de prestações. Exemplos: Ford Focus 1,0 EcoBoost, VW Golf 1,4 TSI, entre outros.
- Veículos totalmente elétricos: é uma tecnologia que já existe mas necessita ainda de evoluir para poder fazer frente aos anteriores. Apresentam um problema crucial: a distância reduzida que conseguem percorrer antes de ser necessário um carregamento das baterias, o qual pode demorar várias horas, limitando assim em demasia o tipo de viagens que o utilizador pode realizar. A vantagem estará apenas no facto que não consomem qualquer combustível e não há emissões de gases poluentes. Exemplos: Nissan Leaf, Renault Twizy, Peugeot Ion.

3.2.2 Segmento de automóveis compactos

Para este segmento, compara-se dois tipos de híbridos, que permitam ou não modo somente elétrico, com veículos a gasolina e gasóleo de pequena capacidade (até 1600 cm³ de cilindrada).

Híbrido c/ modo eléctrico	Híbrido s/ modo eléctrico	Gasolina <1600 cm ³	Diesel <1600 cm ³
• Toyota Yaris	• Honda Jazz • Honda CR-Z	• Honda Jazz 1.4 i-VTEC • Hyundai Veloster 1.6 GDi • Toyota Yaris 1.33 • BMW 114i • Ford Fiesta 1.0 • Mazda 2 1.3 • ...	• BMW 114d • Citroen C3 1.4 HDi • Ford Fiesta 1.5 TDCi • Mercedes A160 CDI • Opel Corsa 1.3 CDTi • Renault Clio 1.5 DCi • VW Polo 1.2 TDi • Toyota Yaris 1.4D • ...

Figura 16 - Mercado para o segmento de automóveis compactos

Como se pode verificar neste segmento, as opções híbridas são um pouco limitadas, mas tanto gasolina como o gasóleo têm diversas opções para serem comparadas. No caso de serem comparados o mesmo veículo mas com propulsões diferentes, apenas o Honda CR-Z tem disponível um único motor, enquanto o Toyota Yaris e o Honda Jazz têm outras versões disponíveis e podem ser comparadas com a sua própria versão híbrida.

3.2.3 Segmento de pequenos e médios familiares

Para este segmento, todos os veículos são “Full-Hybrid”, ou seja, todos permitem o andamento em modo elétrico (ver 2.3). Para comparação, além da gasolina e gasóleo, entra também uma nova vertente que são os veículos intitulados de “Range Extender” (ver 3.2).

No comparativo anterior, excetuando o Ford, os veículos a gasolina listados têm todos motores atmosféricos, ou seja, não recorrem ao uso de turbocompressores. Com o desenvolver da tecnologia, o objetivo tem sido usar a injeção direta de gasolina e também o uso de turbocompressores para que se consigam melhorias nos consumos de combustível e também valores de potência. Já por isso o leque de opções de veículos a gasolina com turbocompressores é grande e entra para este comparativo.

Range Extender	Híbrido	Diesel >1600 cm ³	Gasolina Turbinados
• Opel Ampera • Chevrolet Volt	• Lexus CT 200h • Toyota Auris • Toyota Prius • Citroen DS5 Hybrid • BMW Série 3 • Peugeot 508 Hybrid • ...	• Audi A3/A4 2.0 TDi • BMW 318d/320d • Citroen C4 2.0 HDi • Ford Focus 2.0 TDCi • Mazda 6 2.2 D • Mercedes C/CLA 200/220 • Opel astra 1.7/2.0 CDTi • Peugeot 308/508 2.0 HDi • Seat Leon 2.0 Tdi • VW Golf 2.0 Tdi • ...	• Alfa Romeo Giulietta 1.4 • Audi A3 1.4 / Audi A4 1.8 • Ford Focus 1.0/1.6 • Opel Astra 1.4 • Peugeot 308 1.6 THP • Renault Megane 1.2 TCe • Seat Leon 1.4 TSI • VW Golf 1.4 TSI • ...

Figura 17 - Mercado para o segmento de pequenos e médios familiares

Como seria de esperar, para este tipo de automóveis, a quantidade de opções para comparação é imensa exceto nos “Range Extender”, neste momento só existem dois em Portugal. É notória a abundância de veículos Diesel, que representam a maioria das vendas de automóveis em Portugal. [1]

3.2.4 Segmento de automóveis de luxo

No seguimento do comparativo anterior, também estes são automóveis *Full-Hybrid*, permitindo o funcionamento elétrico, e são geralmente equipados com motores muito potentes, servindo a tecnologia híbrida para reduzir os consumos e conseguir prestações equivalentes a automóveis com motores de cilindrada superior.

Híbrido	Diesel	Gasolina
• Audi A6 • Audi A8 • BMW Série 5 • BMW Série 7 • Mercedes Classe E • Mercedes Classes S • Lexus GS450h • Lexus LS600h • Porsche Panamera	• Audi A6 3.0 TDI • Audi A8 3.0 TDI • BMW 530D • BMW 730D • Mercedes E350 BlueTec • Mercedes S350 BlueTec • Porsche Panamera Diesel • VW Phaeton 3.0 TDI • Volvo S80 D5	• Audi A6 2.8 FSI/3.0 TFSI • Audi A8 3.0 TFSI • BMW 528i • Mercedes E350 • Porsche Panamera S • VW Phaeton 3.6 • Volvo S80 T6

Figura 18 - Mercado para o segmento de automóveis de luxo

Como seria de esperar, o leque de opções não é tão vasto para o segmento de luxo, mas mesmo assim existem diversos automóveis possíveis de serem comparados.

3.3 Conclusão e o porquê deste estudo

Analisando o tipo de estudos que já foi feito envolvendo veículos híbridos, estes focam-se, essencialmente, num veículo específico e no que ele é capaz de fazer. Outros fazem comparações entre veículos híbridos de diferentes marcas, ou até análise de outras tecnologias que ainda não estão disponíveis no mercado automóvel.

Tendo em conta todos esses estudos, a ideia é abordar, nesta dissertação, a vida real de um comprador de um automóvel, tendo por objetivo comparar tecnologias e o custo que traz cada uma ao utilizador, avaliando se é possível, de facto, poupar com um veículo híbrido ou se ainda é uma tecnologia que necessita de desenvolvimento, para ser rentável. Em tempos de crise económica, o utilizador comum não vai estar preocupado com a já provada capacidade que um veículo híbrido tem para reduzir as emissões de gases poluentes, mas sim com as possíveis poupanças nos gastos com combustível a cada mês que passa. E é a partir dessa necessidade de reduzir os gastos que faz sentido comparar tecnologias, o seu preço e o que cada uma é capaz de fazer em termos de consumo de combustível.

Após a análise do mercado Português, verificou-se que os comparativos possíveis são vários e optou-se por ter como base o automóvel pioneiro nas tecnologias híbridas, o Toyota Prius. A partir desse ponto, o objetivo foi selecionar outros automóveis capazes de competir com o Toyota e compará-los entre si.

4 Os automóveis usados nos testes

4.1 Toyota Prius Plug-In 2013

O Toyota Prius foi o primeiro automóvel híbrido (motor de combustão interna juntamente com motor elétrico) a ser produzido em massa para comercialização, e foi introduzido no Japão em 1997 [13]. Depois deste lançamento, já muitas outras marcas seguiram o exemplo e criaram os seus próprios modelos híbridos, todos com o mesmo objetivo: tornar o veículo mais eficiente reduzindo consumos de combustível e emissões de gases poluentes.

Em 2012, foi iniciada a comercialização do Toyota Prius Plug-In, tendo assim a Toyota dado o passo em frente para um híbrido com melhor razão de custo-eficiência. Com a possibilidade das baterias serem carregadas quando ligadas a uma tomada convencional, é possível circular até 25 km apenas em modo elétrico e velocidades até 90 km/h [32].

Comparado ao Prius convencional, o Plug-In traz baterias de maior capacidade que permitem aumentar a distância percorrida em modo elétrico de 2 para 25 km, podendo ser recarregadas em 90 minutos. Para percursos citadinos o modo elétrico é o ideal, é silencioso e não está a gastar combustível nem a emitir gases poluentes para a atmosfera. Quando a carga das baterias não for suficiente, o veículo passa a funcionar em modo híbrido, contribuindo assim para um consumo de combustível reduzido. Pode também ser selecionado o modo híbrido quando o condutor assim o entender, e deixar a energia nas baterias, para quando for necessário, por exemplo em áreas urbanas [33].

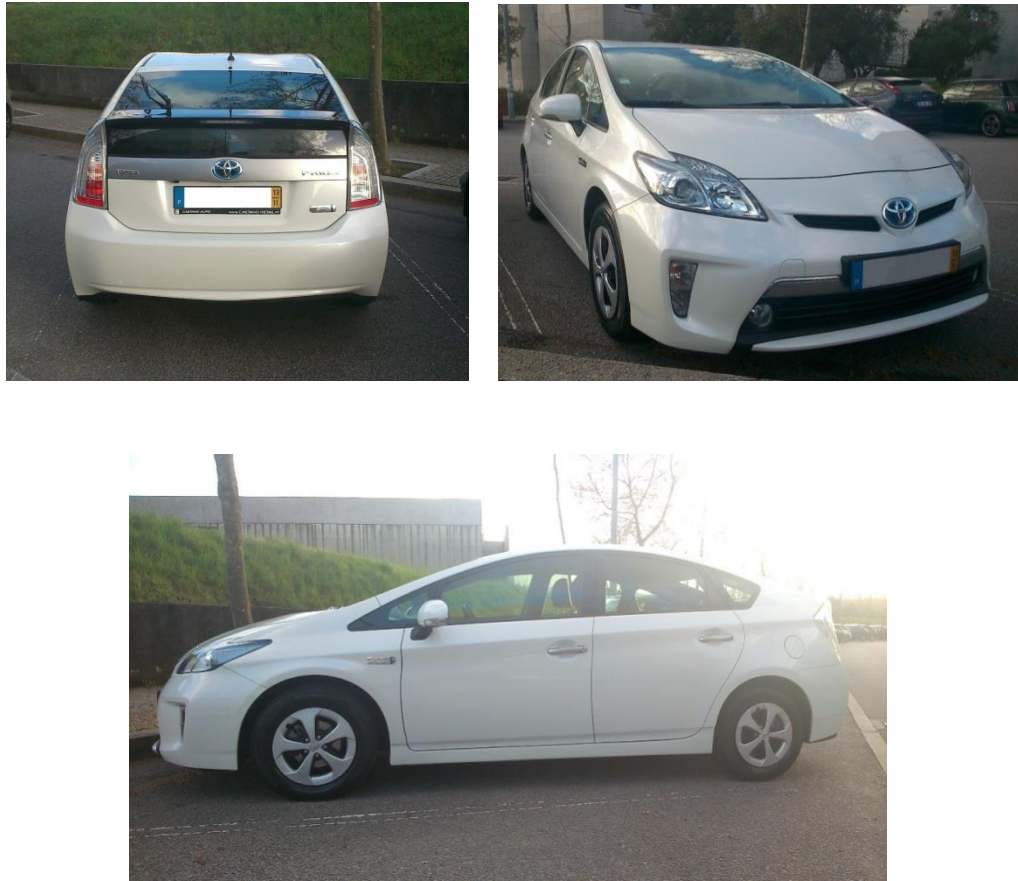


Figura 19 - Toyota Prius Plug-In 2013

4.1.1 Especificações Técnicas

Aqui são apresentadas todas as características relevantes do Toyota Prius Plug-In usado para este teste [32, 33].

Tabela 14 - Características do motor de combustão interna do Toyota Prius

Ciclo Motor	Atkinson
Nº cilindros	4 em linha
Mecanismo válvulas	16 válvulas, DOHC, VVT-i
Sistema de Injeção	EFI, Injeção Eletrónica de Combustível
Cilindrada (cm³)	1798
Potência máxima (cv(kW)/rpm)	99 (73) / 5200
Binário máximo (Nm/rpm)	142 / 4000

Tabela 15 – Características do motor elétrico e baterias

Tipo de baterias	Iões de Lítio
Energia armazenada (kWh)	4,4
Tensão nominal (V)	207
Nº de módulos	56
Autonomia (km)	25
Tempo de carregamento (min)	90
Tipo de motor	Motor síncrono de magneto permanente
Tensão máxima (V)	650
Potência máxima (cv(kW))	81 (60)
Binário máximo (Nm)	207

Tabela 16 – Consumos e emissões do Toyota Prius

Consumo de combustível	Combinado (L/100km)	2,1
	Urbano (L/100km)	*
	Extraurbano (L/100km)	*
Dióxido de carbono, CO₂	Combinado (g/km)	49
	Urbano (g/km)	*
	Extraurbano (g/km)	*
Emissões outros gases**	Norma	V
	Monóxido de carbono, CO (g/km)	0,118
	Hidrocarbonetos, HC (g/km)	0,025
	Óxido de azoto, NOx (g/km)	0,001

* Só existem valores homologados para o ciclo combinado

** Diretiva UE EC 715/2007 tal como modificado pela Diretiva EC 692/2008F

Tabela 17 - Performance do Toyota Prius

Velocidade máxima (km/h)	180
Aceleração 0 – 100 km/h (s)	10,4
Coefficiente aerodinâmico	0,25

Tabela 18 - Dimensões e peso do Toyota Prius

Comprimento (mm)	4480
Largura (mm)	1745
Altura (mm)	1490
Capacidade mala (L)	446
Pneu/jante	195/65/R15
Tara (Kg)	1525

4.1.2 Toyota HSD - Hybrid Sinergy Drive

“Hybrid Synergy Drive” é a designação que a Toyota adotou para o sistema que implementou nos seus veículos híbridos. É uma evolução do sistema anterior “THS” (“Toyota Hybrid System”), que tem como objetivo ter o mínimo impacto no ambiente, não prescindindo para isso do prazer de condução [30].

**Figura 20 - Logo HSD [30]**

Os veículos que têm esta tecnologia (não só o Prius) são o que se chama de “Full Hybrid”, ou traduzido à letra, híbrido completo, ou seja, o veículo pode funcionar em modo híbrido (com o motor a gasolina e o elétrico a funcionar em simultâneo) ou apenas

propulsionado pelo motor elétrico, combinando assim as características de um híbrido em série e paralelo (ver 2.2).

Os seus componentes principais são apresentados de seguida [8, 34, 35].

- Motor de combustão a gasolina ciclo Atkinson, o qual fornece energia ao gerador para carregamento de baterias e também é responsável pela transmissão do movimento às rodas.
- Motor elétrico AC síncrono de magneto permanente trifásico de alta voltagem, o qual é montado no eixo frontal e é usado para transferir o movimento às rodas, juntamente com o motor a gasolina.



Figura 21 - Motor eléctrico [8]

- Gerador trifásico AC de alta voltagem montado no eixo frontal, o qual é usado para carregar as baterias do sistema híbrido.
- Baterias de íões de lítio, 56 módulos, 4,4 kWh e 207 V.



Figura 22 - Baterias de íões de lítio [8]

- Unidade de controlo: consiste num inversor/conversor impulsiona que inverte a corrente DC de alta voltagem das baterias do sistema híbrido para corrente AC trifásica que alimenta o motor elétrico. Faz também o contrário, ou seja, aproveita a energia vinda do gerador da travagem regenerativa e converte em corrente DC para carregamento das baterias.

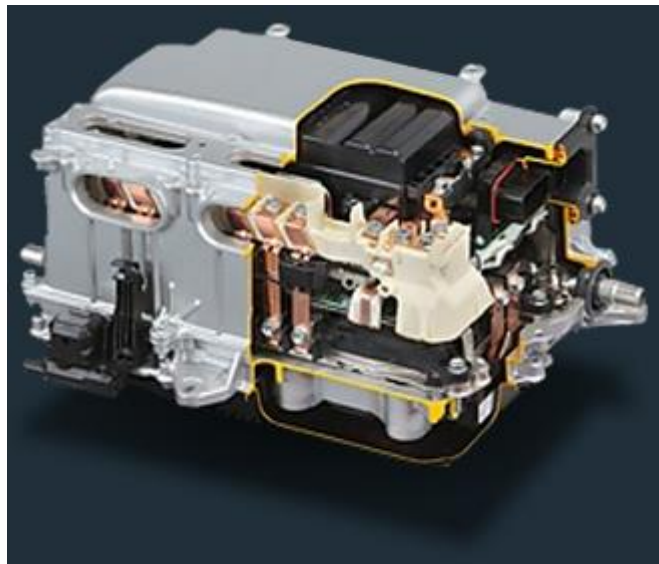


Figura 23 - Unidade de controlo [8]

- Caixa de velocidades CVT: transmissão de variação contínua controlada eletronicamente.
- Dispositivo de separação de potências: é um sistema de engrenagens planetárias que liga o motor de combustão, o gerador e o motor elétrico entre si. Permite que o veículo possa circular em modo híbrido ou só recorrendo ao motor elétrico.
- Unidade de carregamento das baterias: permite que as baterias sejam recarregadas com a ligação a uma tomada convencional.



Figura 24 - Unidade de carregamento de baterias [8]

4.1.3 Funcionamento e tipos de condução

O sistema híbrido do Toyota Prius faz uma gestão automática do motor de combustão e do motor elétrico, apenas respondendo à pressão efetuada no acelerador, isto é, o sistema opta entre o andamento elétrico e híbrido consoante a velocidade, pressão do acelerador e carga elétrica nas baterias, tendo como objetivo a melhor eficiência de combustível possível. Pode também ser selecionado o modo EV ou HV manualmente no painel de instrumentos, consoante o condutor queira um andamento só elétrico ou híbrido, respetivamente, se houver carga suficiente nas baterias. Com o veículo parado, por exemplo, num semáforo, o motor de combustão está sempre desligado, em qualquer dos modos.

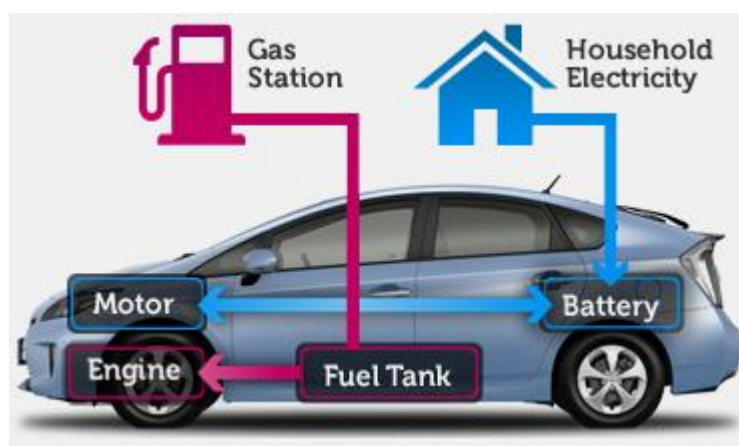


Figura 25 - Esquema simples do funcionamento do Prius Plug-in [8]

Se for possível o carregamento das baterias com ligação à tomada, uma vez as mesmas carregadas a 100%, o veículo pode fazer até 25 km em modo apenas elétrico. Quando não houver carga suficiente nas baterias, o veículo passa a funcionar em modo híbrido, com o motor elétrico e de combustão a trabalhar em simultâneo. Mesmo em modo híbrido, o veículo pode também funcionar em modo elétrico ao arrancar, dependendo da energia que antes conseguiu recuperar. Em desaceleração ou travagem é recuperada energia para as baterias, como é explicado na seguinte figura.

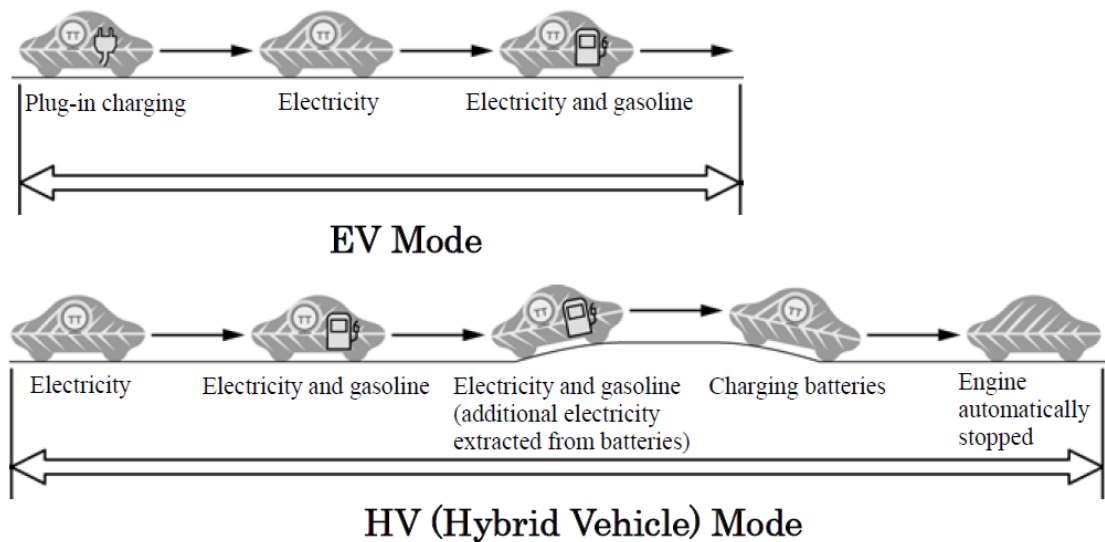


Figura 26 - Esquema do funcionamento dos modos EV e HV [8]

No ecrã de monitorização existente na consola do veículo é possível observar o comportamento do sistema híbrido durante as várias fases de condução tanto em modo EV como HV. Com o veículo parado:



Figura 27 - Ecrã de monitorização com o veículo parado

Com o veículo em andamento em modo elétrico, é possível observar as setas no sentido da direita para a esquerda a indicar que está a sair energia das baterias para o motor elétrico que por sua vez a transmitem às rodas:



Figura 28 - Ecrã de monitorização com o veículo em movimento no modo elétrico

Com o veículo em desaceleração ou travagem, é possível observar as setas no sentido da esquerda para a direita a indicar que está a ser recuperada energia para as baterias:



Figura 29 - Ecrã de monitorização com o veículo em desaceleração

Quando não houver carga suficiente nas baterias ou o acelerador for pressionado de tal maneira que o motor de combustão entre em funcionamento em conjunto com o motor elétrico, o que se pode observar no ecrã é mostrado na imagem seguinte. As baterias estão a dar energia ao motor elétrico que por sua vez a transmite às rodas (a verde) e o motor de combustão também está a propulsionar o veículo (a vermelho):



Figura 30 - Ecrã de monitorização com o veículo em aceleração com motor elétrico e combustão em funcionamento simultâneo

4.2 Opel Astra 1.6 CDTI 2014

Com mais de um milhão de automóveis Opel mundialmente vendidos em 2013, o Astra encontra-se como um dos modelos mais vendidos dentro da marca juntamente com o modelo Corsa. Sendo o sucessor do Opel Kadett, o Opel Astra surgiu em 1991, estando agora na 4ª geração (denominada Opel Astra J), introduzida em 2009 até ao presente [18, 36].

O motor em questão, 1.6 CDTI veio o substituir o antes usado 1.7 CDTI, melhorando consumos, prestações e emissões de gases poluentes, ao mesmo tempo reduzindo a cilindrada, o que permite à Opel com este motor, cumprir já a norma “Euro 6”, que só entrará em vigor a partir de dia 1 de Setembro deste ano [18, 36].



Figura 31 - Opel Astra 1.6 CDTI 2014

4.2.1 Especificações Técnicas

Aqui são apresentadas todas as características relevantes do Opel Astra usado para este teste [16, 27, 37].

Tabela 19 - Características do motor de combustão interna do Opel Astra

Ciclo Motor	Diesel
Nº cilindros	4
Sistema de Injeção	“Common-rail”
Cilindrada (cm ³)	1598
Potência máxima (cv(kW)/rpm)	136 (100)/3500
Binário máximo (Nm/rpm)	320/2000
Caixa de velocidades	Manual de 6 velocidades

Tabela 20 - Consumos e emissões do Opel Astra

Urbano (L/100km)	4,6
Extraurbano (L/100km)	3,6
Combinado (L/100km)	3,9
Emissões de CO₂	104
Norma europeia	Euro 6

Tabela 21 - Performance do Opel Astra

Velocidade máxima (km/h)	200
Aceleração 0 – 100 km/h (s)	10,3

Tabela 22 - Dimensões e peso do Opel Astra

Comprimento (mm)	4698
Largura (mm)	1814
Altura (mm)	1535
Capacidade mala (L)	460
Pneu/jante	225/55/R17
Tara (Kg)	1393

4.3 Comparação de características dos veículos

A seguinte tabela compila as características mais importantes de cada veículo de forma a poderem ser comparadas entre si.

Tabela 23 – Comparação das características dos veículos

	Toyota Prius Plug-in	Opel Astra
Preço base (€)	38 000	25 100
Motor	Gasolina + Elétrico	Gasóleo
Cilindrada (cm³)	1798	1598
Potência máxima (cv/rpm)	136/5200	136/3500
Binário Máximo (Nm/rpm)	n.d.*	320
Aceleração 0-100 km/h (s)	10,4	10,3
Velocidade Máxima (km/h)	180	200
Comprimento (m)	4480	4698
Largura (m)	1745	1814
Altura (m)	1490	1535
Peso - Tara (kg)	1525	1393
Rácio Peso/Potência (kg/cv)	11,21	10,24

*não existem valores publicados do binário combinado entre motor elétrico e combustão. Binário máximo motor combustão – 142 Nm; Binário máximo motor elétrico – 207 Nm.

O objetivo principal desta dissertação é comparar tecnologias diferentes em automóveis com características físicas e mecânicas semelhantes. Por feliz coincidência, os motores dos dois automóveis testados debitam exatamente a mesma potência (combinada do motor de combustão e do motor elétrico, no caso do Toyota Prius), mesmo com cilindradas um pouco diferentes, 1,6 L para o Opel e 1,8 L para o Toyota. Embora não existam valores declarados para o binário combinado do Toyota, os 320 Nm do Opel são suficientes para acelerar dos 0 aos 100 km/h num tempo muito próximo do Toyota (valores anunciados, não foi aqui testado). Mas, em termos de velocidade máxima (mais uma vez anunciada, não foi aqui

testado), o Opel consegue melhor, mesmo tendo a mesma potência, muito possivelmente por ser mais leve que o Toyota. Em termos de tamanho, o Opel é ligeiramente mais largo, mais comprido e até mais alto, o que tem influências diretas no peso do veículo e no coeficiente aerodinâmico. Mesmo assim, o Opel consegue pesar menos 132 Kg que o Toyota, culpabilizando os componentes extra da tecnologia híbrida, motor elétrico e as baterias, principalmente, tendo assim o Opel uma melhor relação peso/potência. Por último existe uma diferença de 12 900 Euros no preço base de cada veículo, com vantagem para o Opel.

5 Resultados

5.1 Planeamento

Neste capítulo são apresentados todos os pormenores considerados relevantes para o planeamento dos testes a realizar com as viaturas referidas. Para ter um nível de comparação coerente entre as duas viaturas foram estipuladas algumas condições (descritas em baixo), e também delineados os percursos para os testes de cidade e autoestrada.

5.1.1 Condições

Com o objetivo de fazer uma comparação coerente de resultados foram tidos em conta os seguintes aspetos:

- Foram usados os mesmos percursos para cidade e autoestrada, exceto o percurso de entrega e familiarização com a viatura.
- Os percursos foram feitos às mesmas horas do dia para minimizar a variância de trânsito.
- Para cidade foi escolhida uma hora em que se verifica a intensificação de trânsito e paragens em semáforos.
- Para autoestrada foi escolhida uma hora que minimizasse o trânsito para ser possível manter uma velocidade constante.
- Foi usada gasolina “normal” de 95 octanas.
- Foi usado gasóleo “normal”.
- A pressão dos pneus foi verificada no início dos testes de cada viatura de acordo com o valor proposto pela marca.
- Foram calculados os valores de consumo de combustível na bomba através dos litros abastecidos e depois comparados aos valores de consumo calculados pelo computador de bordo da viatura.
- No início de cada teste foi feito o “reset” ao computador de bordo da viatura para, posteriormente, poder comparar os valores de consumo de combustível e também para saber a distância percorrida com exatidão.
- Os valores de distâncias percorridas medidas pelo computador de bordo na viatura foram verificados com recurso a uso de GPS.
- Nos testes de autoestrada, seja em plano, subida ou descida, foi mantida a velocidade estipulada com o máximo de rigor possível, não recorrendo a “cruise control” para não haver aumentos de consumo de combustível.

- Nos percursos de autoestrada, até atingir a velocidade de cruzeiro proposta, foram feitas acelerações suaves de modo a não piorar os consumos de combustível. Em nenhum outro teste foram feitas quaisquer acelerações ou travagens bruscas.

5.1.2 Percurso cidade

Foi escolhido um percurso estratégico na cidade do Porto partindo e acabando na bomba de combustível mais próxima da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto com vista a passar por diferentes situações:

- Pára-arranca em semáforos a subir e descer.
- Trânsito intenso do centro de uma cidade.
- Pequena porção do trajeto em autoestrada sem ultrapassar os 80 km/h para simulação de uma via rápida.

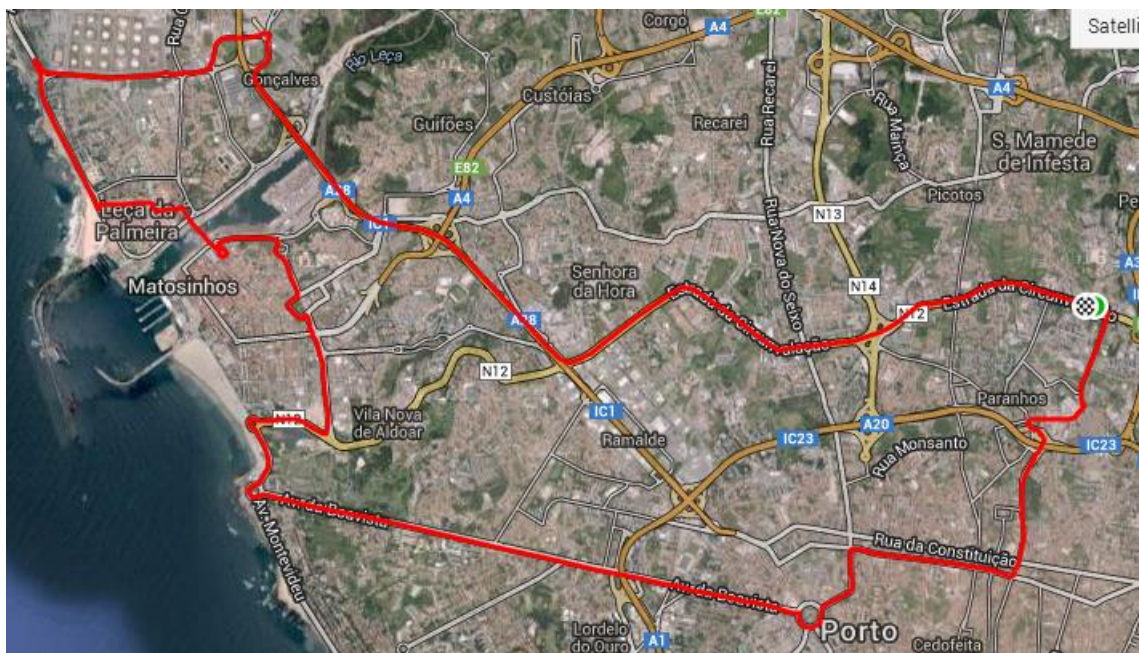


Figura 32 - Mapa do percurso de cidade

5.1.3 Percurso autoestrada

Foi escolhido um percurso suficientemente longo para os consumos convergirem para um determinado valor, com vista a passar por situações de subida, descida e plano, sempre com velocidade constante. O trajeto escolhido foi Maia – Santo Tirso – Maia com recurso às autoestradas A41 e A3.

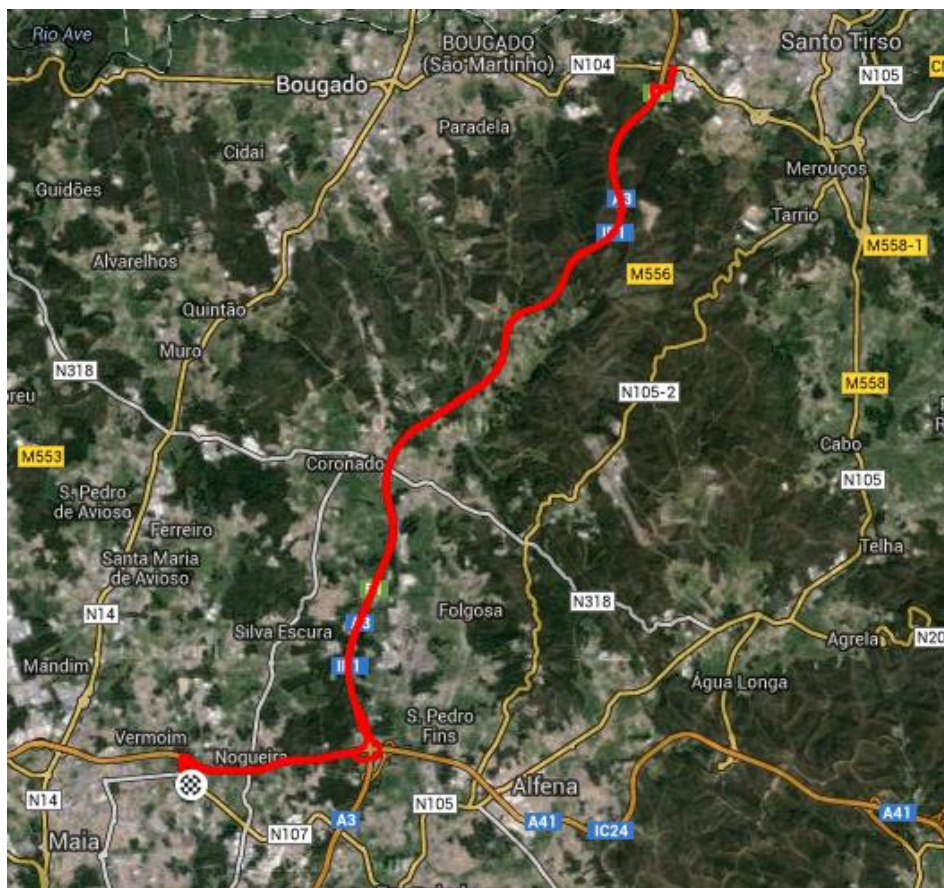


Figura 33 - Mapa do percurso de autoestrada

5.1.4 Perfis de velocidade

Os seguintes gráficos foram criados por uma aplicação de telemóvel que, aliado a GPS monitoriza o percurso da viatura no mapa e também a velocidade em cada instante. Os gráficos foram retirados dos testes com o primeiro veículo, sendo semelhante para o seguinte.

Sendo um teste na vida real e não usando “Cruise Control”, pode haver vários fatores que contribuam para as pequenas variações na velocidade que se fazem notar quando se circulava tanto a 90 como a 120 km/h. São exemplo a necessidade de travar ou acelerar para ultrapassar devido a outro veículo, subida repentina em que o veículo perde velocidade momentaneamente ou descida em que o veículo ganha velocidade, sendo estas corrigidas de imediato com recurso a mais ou menos acelerador.

Os seguintes gráficos mostram os perfis de velocidades em auto-estrada a 90 km/h e 120 km/h. Quando a velocidade se anula deve-se ao facto de o percurso usado ter portagens e não ter sido usado o dispositivo da Via Verde.



Figura 34 - Perfil de velocidade em autoestrada a 90 km/h

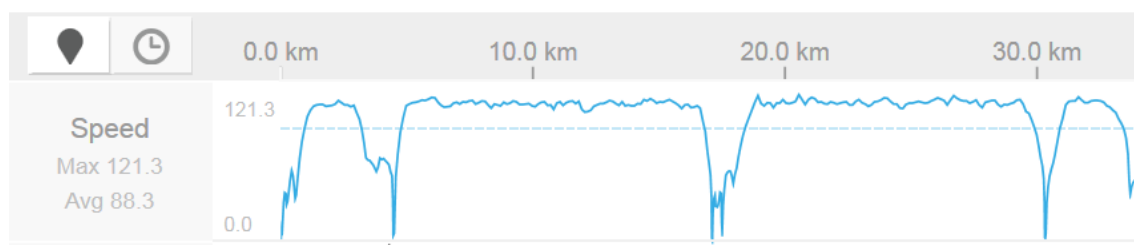


Figura 35 - Perfil de velocidade em auto-estrada a 120 km/h

O seguinte gráfico mostra o perfil de velocidades para o percurso de cidade. Na parte de cima do gráfico, é notória a utilização de uma porção de autoestrada para a simulação de via rápida nos 80 km/h, entre os 7 e os 12 km. Em todo o resto do percurso verificaram-se inúmeras paragens que se devem maioritariamente a semáforos, simulando assim na perfeição o dia-a-dia de muitos condutores em ambiente urbano com trânsito intenso.

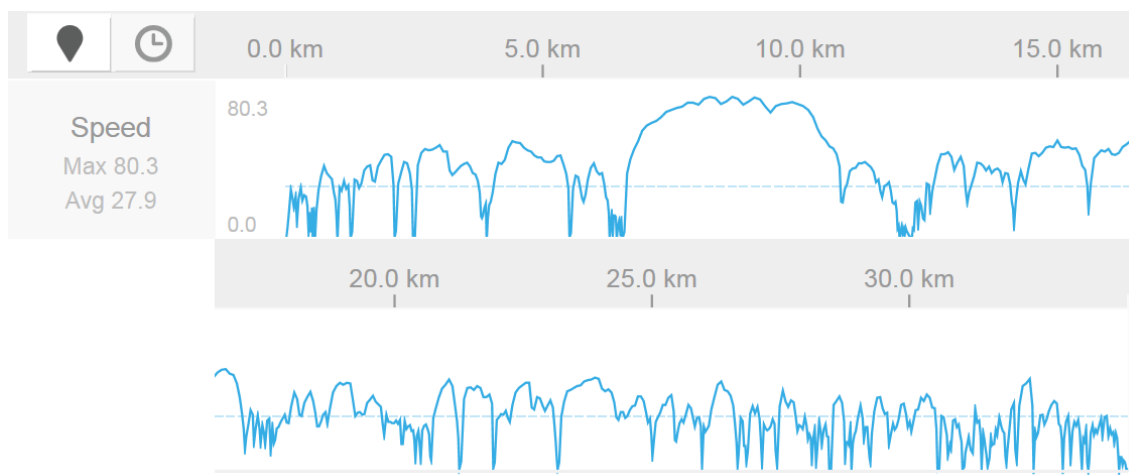


Figura 36 - Perfil de velocidade em cidade

5.1.5 Medição de consumos na bomba Vs. Computador de bordo

Em automóveis já mais antigos, com muito pouca eletrónica ou até nenhuma, a única forma de determinar o consumo de combustível era pela divisão numérica da quantidade de combustível abastecido pela distância percorrida. Nos dias que correm, esse já não é um processo necessário, visto que os automóveis são equipados com diversos sensores que leem os parâmetros necessários do motor para o cálculo preciso do consumo de combustível. Na bomba de combustível, há diversos fatores, em virtude dos quais pode resultar uma medição de consumo de combustível deficiente. O sistema que permite que a bomba pare automaticamente o caudal de combustível, é baseado no efeito de Venturi, através de um pequeno orifício existente na ponta metálica da mangueira. Na própria mangueira, pode ser selecionada a velocidade de saída do caudal através do respetivo gatilho, e dependendo da velocidade e dos gases que são libertados no momento do abastecimento, esse sistema pode ser ativado em instantes muito diversos, o que faz com que possa haver diferentes volumes de combustível no depósito em cada abastecimento, criando um erro na leitura. Esse erro pode ser ainda mais acentuado se a quantidade de combustível abastecido for pequena, como é o caso dos testes realizados neste trabalho. Também as condições atmosféricas, de maior ou menor temperatura ambiente, podem influenciar o volume abastecido, já que a densidade do combustível varia com a temperatura.

Hoje em dia, todos os veículos fabricados têm injeção eletrónica de combustível. Ou seja, em cada situação, e a cada posição de acelerador por parte do condutor, a unidade de controlo do motor, também conhecida como centralina ou ECU, determina de imediato (na ordem dos milissegundos) a quantidade de combustível que os injetores têm que enviar para os cilindros para que o motor tenha a performance desejada no momento. O valor do combustível necessário é calculado com base na informação recolhida de vários sensores, como por exemplo o sensor de velocidade do motor, de oxigénio, da posição do acelerador, massa de ar, temperaturas, entre outros. A precisão desses sensores é que vai ditar o rigor do valor indicado no computador de bordo da viatura. Se o veículo não tiver sofrido qualquer alteração a nível de motor, jantes e pneus, o erro desse valor será muito reduzido. Os sensores são esquematizados na seguinte figura.

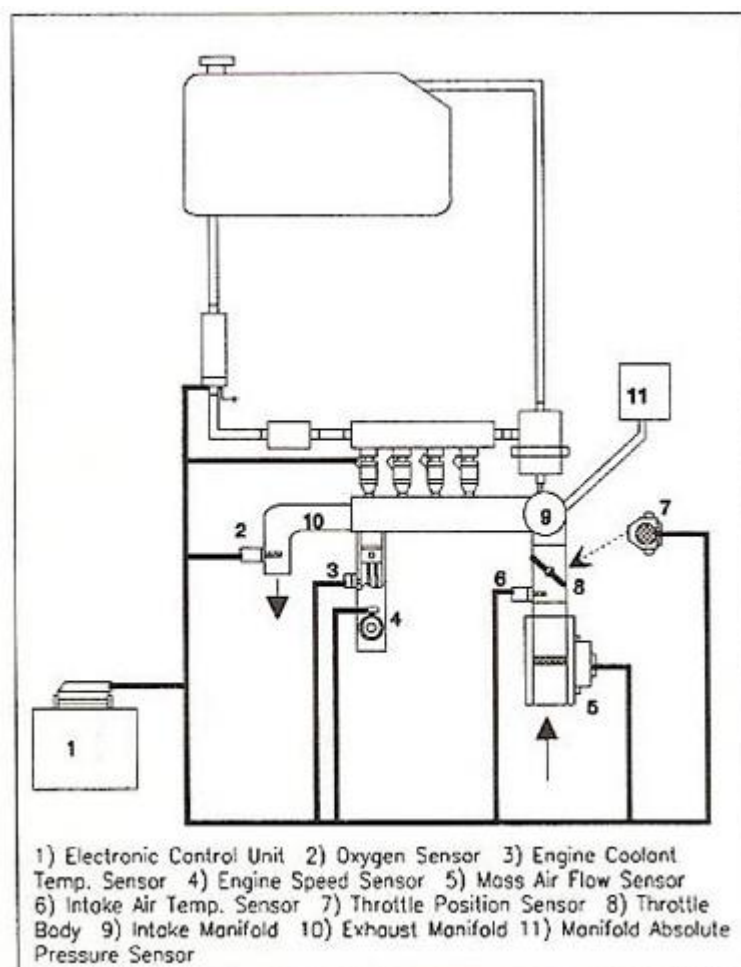


Figura 37 - Sensores presentes num motor de combustão interna moderno [38]

Os parâmetros do motor nunca são constantes: a velocidade nas rodas, velocidade do motor (rpm), mudança engrenada, temperatura de ar na admissão, posição do acelerador, entre outros. Esses parâmetros estão sempre a variar com o tempo e de forma imprevisível para a unidade de controlo de motor, ou seja, o veículo nunca sabe o que o condutor vai pedir no momento seguinte, mas consoante os “inputs” que recebe, a ECU reage na ordem dos milissegundos para corresponder ao requisitado pelo condutor. O motor de combustão interna é como uma bomba que está a puxar ar do ambiente para o seu interior e a potência que debita é dependente dessa quantidade de ar. É necessário saber, com precisão, a quantidade de ar que entrou para o motor, para que possa ser injetada a correta proporção de combustível, de forma que assim a mistura se aproxime o mais possível do valor estequiométrico, ou seja, uma razão ar-combustível de 14,7:1, no caso de motores a gasolina. O valor para veículos a gasóleo será diferente.

O trabalho realizado pela unidade de controlo do motor tem como base uma série de tabelas que têm todas as combinações possíveis de valores provenientes dos sensores, e para cada uma delas existe um caudal de combustível que é necessário injetar no motor. É através dessas tabelas que é feito o cálculo do consumo de combustível, seja este médio ou instantâneo. É também possível alterar estes valores com o objetivo de modificar a

performance do motor, seja para debitar mais potência, para consumir menos combustível, para emitir menos gases poluentes ou uma combinação dos 3, daí as já conhecidas reprogramações de centralina. O combustível é injetado para o motor através do acionamento das válvulas internas dos injetores que abrem e fecham a um ritmo extremamente rápido, medido também em milissegundos. O tempo em que o injetor está aberto é também controlado através da unidade de controlo de motor, conseguindo assim, controlar, além do tempo de abertura, a riqueza ou pobreza da mistura dentro dos cilindros, consoante o que for necessário em cada situação de condução. Posto isto, a ECU pode, infinitamente, controlar e calcular o caudal de combustível que é necessário no motor em qualquer situação.

Baseado no que foi dito antes, os testes realizados neste trabalho envolveram os dois tipos de medidas, pelo computador de bordo e pelos litros abastecidos na bomba de combustível, e servem de comparação entre si.

5.2 Toyota Prius

5.2.1 Percurso A: Misto com cidade e autoestrada

Percurso de entrega e familiarização com a viatura. Envolveu trajeto de cidade com pára-arranca e autoestrada, esta última sem trânsito.

Observações:

- No momento de entrega da viatura, as baterias estavam praticamente sem carga, apontando o computador de bordo para 1,2 quilómetros em modo elétrico (EV). Após término da capacidade das baterias, o modo EV passa a não poder ser selecionado, ficando o veículo a funcionar no modo híbrido (HV). E assim ficou em todo o trajeto, porque o recarregamento das baterias recorrendo a desacelerações, travagens e pelo motor de combustão não foi suficiente para acionar o modo EV novamente. O mesmo modo HV se aplica para os seguintes percursos B e C.
- Mesmo com pouca carga nas baterias, o veículo permitiu arrancar de todos os semáforos ou outras paragens em modo elétrico, entrando em funcionamento o motor de combustão por volta dos 30/40 km/h, o que também ajuda a baixar os consumos.
- No caso de um arranque mais brusco, o motor de funcionamento entra imediatamente em funcionamento.
- Além dos modos HV e EV, existe o modo ECO que pode e foi usado para todos os testes em simultâneo, uma vez que mexe com a eletrónica na resposta ao acelerador, tornando o veículo mais eficiente na gestão de combustível.

Tabela 24 - Valores do percurso A com o Toyota Prius

Distância CB (km)	48,50
Distância real GPS (km)	-
Consumo CB (L/100 km)	4,3
Litros abastecidos (L)	2,08
Consumo na bomba (L/100 km)	4,29
Velocidade média GPS (Km/h)	-

Como o percurso efetuado teve muitas paragens, não foi possível determinar a soma da distância de cada um nem a velocidade média de todo o percurso, mas andarão muito perto dos valores lidos no CB.

5.2.2 Percurso B: Autoestrada a 90 km/h

Autoestrada a 90 km/h com as baterias praticamente sem carga, à semelhança do capítulo anterior. O percurso Maia-Santo Tirso-Maia foi realizado duas vezes para que o consumo de combustível pudesse estabilizar num valor, fazendo assim uma melhor leitura.

O percurso tem os seguintes passos:

- Início imediatamente a seguir à bomba junto à autoestrada
- Aceleração até à velocidade prevista e manter a mesma até Santo Tirso
- Paragem na portagem e saída da autoestrada
- Passagem em rotunda para inversão do sentido de marcha à saída da autoestrada
- Nova paragem na portagem e entrada na autoestrada em sentido contrário
- Nova aceleração até à mesma velocidade
- Paragem em portagem e saída da autoestrada
- Repetição dos passos anteriores

Tabela 25 - Valores do percurso B com o Toyota Prius

Distância CB (km)	68,9
Distância real GPS (km)	68,6
Consumo CB (L/100 km)	3,9
Litros abastecidos (L)	2,65
Consumo na bomba (L/100 km)	3,86
Velocidade média GPS (Km/h)	67,7

5.2.3 Percurso C: Autoestrada a 120 km/h

Autoestrada a 120 km/h com as baterias praticamente sem carga à semelhança do capítulo anterior. O percurso Maia-Santo Tirso-Maia foi realizado duas vezes para que o consumo de combustível pudesse estabilizar num valor, fazendo assim uma melhor leitura.

O percurso tem os mesmos passos que o percurso anterior.

Tabela 26 - Valores do percurso C com o Toyota Prius

Distância CB (km)	68,8
Distância real GPS (km)	68,6
Consumo CB (L/100 km)	5,3
Litros abastecidos (L)	3,60
Consumo na bomba (L/100 km)	5,24
Velocidade média GPS (Km/h)	88,3

5.2.4 Percurso D: Cidade

Percurso feito em cidade com o objetivo de testar a duração das baterias quando a viatura se desloca no modo elétrico (EV).

Como já foi referido no Planeamento (ver 5.1.2), foi escolhido um percurso estratégico na cidade do Porto partindo e acabando na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto com vista a passar por diferentes situações:

- Pára-arranca em semáforos a subir e descer.
- Trânsito geral do centro de uma cidade.
- Pequena porção do trajeto em autoestrada sem ultrapassar os 80 km/h para simulação de uma via rápida.

Para além disso, é necessário também quantificar a energia elétrica que as baterias consomem da rede quando são ligadas à tomada e juntar esse consumo elétrico ao consumo de combustível. Para tal foi usado o medidor de consumo apresentado na seguinte figura.



Figura 38 - Medidor de consumo elétrico usado

Tabela 27 - Valores do percurso D com o Toyota Prius

Distância CB (km)	33,4
Distância real GPS (km)	33,3
Distância em modo elétrico (km)	24,5
Distância em modo híbrido (km)	8,8
Consumo CB (L/100 km)	1,7
Litros abastecidos (L)	-
Consumo na bomba (L/100 km)	-
Velocidade média GPS (Km/h)	27,6

Tabela 28 - Valores do consumo elétrico

Tempo de carregamento anunciado pela marca (min)	90
Tempo de carregamento (min)	95
Energia consumida no carregamento (kWh)	3,1
Potência máxima (W)	2303,7

Através do aparelho de medida, só é possível saber a potência máxima durante o carregamento. Para se ter a ideia da potência média é necessário dividir o valor obtido da energia pelo tempo de carregamento:

$$P_{média} = \frac{3.1 * 10^3 * 60}{95}$$

⇔

$$P_{média} = 1957,89 \text{ W}$$

Como a leitura da energia em kWh é feita com recurso a uma só casa decimal, resulta daqui um erro. A energia total consumida não será exatamente 3,1 mas sim um valor entre 3,1 e 3,2 kWh, o que pode ter influência no cálculo dos custos.

Para este teste, o objetivo não foi medir o consumo de combustível mas sim a energia elétrica que é consumida quando se carregam as baterias, e por isso não foi determinado o consumo de combustível na bomba, mas o indicado no CB estará perto da realidade.

5.2.5 Percurso B1: Autoestrada a 90 km/h

O percurso B1 é feito nas mesmas condições explicadas no percurso B, a diferença reside no facto de terem sido carregadas as baterias antes do início do teste para verificar as diferenças na condução e no consumo de combustível.

Quando as baterias são carregadas, ao pôr a viatura em marcha, é selecionado, por defeito, o modo elétrico (EV) mas optei por escolher o modo híbrido (HV). Isto porque considere que a principal função das baterias e o seu melhor uso está nos percursos de cidade que é quando os motores de combustão são mais gastadores. Logo, é nestas circunstâncias que as baterias devem ser usadas pelo maior período de tempo possível.

Em caso de uso do modo EV para autoestrada os consumos de combustível seriam inferiores, isto porque o Prius Plug-In consegue ir até aos 90 km/h só recorrendo ao poder elétrico, mas as baterias ficariam mais depressa sem a carga que poderia ser usada posteriormente num percurso de cidade. Ao não ter disponível essa carga no percurso de cidade, obrigaria o motor de combustão a trabalhar, o que não compensaria as melhorias de consumo em autoestrada, aliás até pioraria o consumo total, resultando portanto, num custo superior.

Verificou-se também que, no modo híbrido, a autonomia de distância em modo elétrico, calculada pelo computador de bordo, tinha baixado em 0,5 km no fim do teste, o que demonstra que o sistema faz a gestão da energia elétrica que gasta em aceleração, por exemplo, numa subida, mas é recuperado nas desacelerações e nas travagens. Ou seja, se tivesse feito um percurso de cidade imediatamente a seguir, teria aproximadamente a mesma autonomia. Note-se que num percurso mais longo, a autonomia em modo elétrico pode descer mais de 0,5 km, dependendo da recuperação de energia que a viatura conseguir fazer, o que está diretamente dependente com trajeto e o tipo de condução.

Tabela 29 - Valores do percurso B1 com o Toyota Prius

Distância CB (km)	68,8
Distância real GPS (km)	68,6
Consumo CB (L/100 km)	4,0
Litros abastecidos (L)	2,83
Consumo na bomba (L/100 km)	4,12
Velocidade média GPS (Km/h)	67,2

5.2.6 Percurso C1: Autoestrada a 120 km/h

O percurso C1 é feito nas mesmas condições explicadas no percurso C quanto à velocidade e também do percurso B1 quanto ao carregamento das baterias. Por questões de logística, este percurso não pode partir da Maia mas sim da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. No entanto, as condições mantêm-se, a bomba de abastecimento é junto à entrada da autoestrada, a distância percorrida é maior e por isso o percurso foi apenas efetuado uma vez, mas permitindo igualmente que o consumo de combustível convergisse para um valor. As paragens em portagens são as mesmas. À semelhança do percurso anterior, verificou-se também que, no modo híbrido, a autonomia de distância em modo elétrico calculado pelo computador de bordo tinha baixado em 0,8 km no fim do teste.

Tabela 30 - Valores do percurso C1 com o Toyota Prius

Distância CB (km)	48,2
Distância real (km)	47,7
Consumo CB (L/100 km)	4,9
Litros abastecidos (L)	2,71
Consumo Real (L/100 km)	5,68
Velocidade média GPS (Km/h)	81,6

5.2.7 Análise de resultados para o Toyota Prius

Tabela 31 - Consumos lidos pelo CB e consumos medidos na bomba com o Toyota Prius

Percurso	Consumo CB (L/100 km)	Consumo na bomba (L/100 km)
A	4,3	4,29
B	3,9	3,86
C	5,3	5,24
D	1,7	-
B1	4,0	4,12
C1	4,9	5,68

Fazendo o resumo de todos os testes feitos com o Toyota Prius Plug-In, nota-se que há algumas discrepâncias nos valores de consumos do CB e na bomba, especialmente no percurso C1, embora sendo sempre próximos entre si. Esse erro pode ser explicado devido às quantidades de combustível abastecido serem muito pequenas em cada teste, como já foi antes explicado (ver 5.1.5).

No percurso A, a diferença entre os dois valores é insignificante e para percurso misto, em que a parte de cidade tem um peso muito relevante na distância percorrida, o valor de 4,3 L/100 km é bastante competitivo.

Nos percursos B e C, novamente as discrepâncias entre os valores são insignificantes e apresentam igualmente valores de consumos de combustível muito competitivos, especialmente a 120 km/h (percurso C), resultando em 5,3 L/100 km.

No percurso D, o aquecimento do sistema do veículo entrou em funcionamento por duas vezes, aos 6 e aos 12 km do início do percurso, o que pode ter resultado num pequeno gasto de combustível. Após os 24,5 km, o motor a gasolina entrou em funcionamento, ficando a viatura em modo HV até chegar ao destino. À semelhança do percurso A, depois de terminar o modo totalmente elétrico, o veículo permite arrancar, por exemplo de semáforos, em modo elétrico, entrando em funcionamento o motor de combustão por volta dos 30/40 km/h, dependendo do acelerador aplicado. A energia das baterias, que permite o arranque é proveniente do carregamento por parte do motor de combustão quando entra em funcionamento, das desacelerações e da travagem regenerativa, contribuindo para um consumo de combustível bem mais reduzido do que se o motor de combustão funcionasse a tempo inteiro, como num automóvel convencional.

No percurso B1, mesmo com as baterias carregadas, o consumo de combustível para este teste foi ligeiramente superior ao percurso B. Isto pode ser explicado devido às condições climáticas, que foram adversas nesse dia, com muita chuva e vento. Em situações de muita água na estrada, vento e chuva forte a embater na carroçaria, é criada uma força de arrasto no veículo que pode fazer subir o consumo de combustível. Com condições de meteorologia mais favoráveis o valor ter-se-ia igualado ao obtido no percurso B.

No percurso C1, resultou num consumo de combustível medido na bomba um pouco superior ao percurso C (5,24 L/100km) com 5,68 L/100 km calculados. Mas o valor indicado pelo computador de bordo é inferior ao percurso C, o que mais uma vez aponta para um erro significativo ao abastecer desta forma na bomba.

5.2.8 Custos com o Toyota Prius

Nos percursos de autoestrada, como foi selecionado o modo híbrido, o sistema da Toyota faz a gestão energética das baterias de modo a deixar disponível essa energia para percursos de cidade feitos posteriormente, quando selecionado o modo elétrico. Por isso, não foi medido o consumo de energia elétrica no fim de cada percurso, mas faz sentido calcular uma estimativa desse consumo elétrico através da redução de autonomia verificada no CB da viatura.

Para o percurso a 90 km/h a redução foi de 0,5 km. Através dos 3,1 kWh consumidos para percorrer 24,5 km, estima-se que houve um gasto elétrico de 0,06 kWh.

Para o percurso a 120 km/h a redução foi de 0,8 km. Fazendo o mesmo raciocínio, o gasto elétrico estimado é de 0,10 kWh.

Na data da escrita deste capítulo (Maio de 2014) os preços aplicados são:

- Combustível gasolina 95 octanas (local onde foi abastecido): 1,549 €/L.
- Eletricidade (considerando um horário simples EDP e potência contratada entre 3,45 e 6,9 kVA): 0,1497 €/kWh [39].

Tabela 32 - Cálculo dos custos com o Toyota Prius

Teste	Modo	Estado Baterias	Consumo		Somatório custos (€)	Custo (€/100km)
			Combustível (L/100km)	Eletricidade (kWh)		
A: Misto	HV	Descarregadas	4,29	- ^{b)}	3,22	6,65
B: A.E. 90 km/h	HV	Descarregadas	3,86	- ^{b)}	4,10	5,98
C: A.E. 120 km/h	HV	Descarregadas	5,24	- ^{b)}	5,57	8,12
D: Cidade	EV	Carregadas	1,70 ^{c)}	3,10	1,34	- ^{c)}
B1: A.E. 90 km/h	HV	Carregadas	4,12	0,06	4,39	- ^{a)}
C1: A.E. 120 km/h	HV	Carregadas	5,68	0,10	6,05	- ^{a)}

Legenda: HV – Modo híbrido, EV – Modo elétrico

a) Custo indeterminado por não ter informação do gasto de energia elétrica para 100 km. Se este custo fosse calculado com base nos 68,6 km percorridos, o erro seria pequeno, a diferença seria apenas na casa da centésima de euro.

b) Custo indeterminado, uma vez que com as baterias descarregadas não há informação no computador de bordo sobre a distância que o veículo pode percorrer em modo elétrico e não foi possível estimar um gasto de energia elétrica. Esse gasto será insignificante porque a energia despendida nas acelerações, é recuperada pela viatura em travagens e desacelerações. No entanto, apesar do gasto ser insignificante, o mesmo tem um papel muito importante no consumo de combustível. O facto de poder arrancar de semáforos ou qualquer outra paragem em modo elétrico, só entrando em funcionamento o motor de combustão quando atinge os 30/40 km/h (dependendo do acelerador aplicado), faz com que o consumo de combustível seja bem mais reduzido do que se o motor de combustão estivesse em permanente funcionamento, como num automóvel convencional. Este aspeto é influente apenas nos percursos misto e de cidade, isto porque em autoestrada os únicos momentos em que o carro está em modo elétrico são à saída e entrada da bomba de combustível.

c) O consumo indicado no CB (1,7 L/100km) é calculado com base nos 33,4 km percorridos e não só nos 8,8 km em modo HV, mas na realidade só houve consumo de combustível a partir dos 24,5 km percorridos, daí o valor 1,7 ser tão baixo. Atente-se que 8,8 km não será

suficiente para o consumo de combustível convergir para um valor, seria necessário ter continuado o percurso de cidade. Por exemplo, se continuar a percorrer distâncias em modo HV, sem carregar as baterias para poder circular em modo elétrico, o consumo de combustível tenderá para o valor do percurso A à volta dos 4 L/100km, dependendo do tipo de condução e do percurso. Sendo assim, o carregamento das baterias entre cada percurso torna-se um fator determinante para os custos com este veículo. O custo, por cada 100 km, para o percurso de cidade é também indeterminado, uma vez que o valor de 1,7 L/100km tenderá a aumentar se for percorrida uma distância superior à realizada, se não forem carregadas as baterias, novamente.

Foram criados alguns cenários em que é possível prever custos consoante a utilização da capacidade “Plug-In”, os quais são apresentados no capítulo 5.4 Comparação de resultados.

5.3 Opel Astra

5.3.1 Percurso A: Misto com cidade e autoestrada

Percurso de entrega e familiarização com a viatura. Envolveu trajeto de cidade com pára-arranca e autoestrada, esta última sem trânsito.

Observações:

- Este percurso teve o percalço de ter apanhado trânsito condicionado por obras em que o veículo esteve parado com o motor a trabalhar durante pelo menos 8 minutos, o que influenciou muito o consumo, o mesmo podia ser mais reduzido (na ordem dos 5,2 litros por cada 100 km, lidos no computador de bordo, que era a média que estava a fazer antes do troço condicionado).

Tabela 33 - Valores do percurso A com o Opel Astra

Distância CB (km)	13,9
Distância real GPS (km)	14,0
Consumo CB (L/100 km)	6,0
Litros abastecidos (L)	-
Consumo na bomba (L/100 km)	-
Velocidade média GPS (Km/h)	30,2

Dado que na entrega da viatura o depósito não estava completamente atestado, não foi possível medir o consumo de combustível na bomba mas andará muito perto do valor lido pelo computador de bordo.

5.3.2 Percurso B: Autoestrada a 90 km/h

Autoestrada, a 90 km/h, à semelhança do que foi feito com o Toyota Prius. O percurso Maia-Santo Tirso-Maia foi realizado duas vezes para que o consumo de combustível pudesse estabilizar num valor, fazendo assim uma melhor leitura.

O percurso tem os mesmos passos (ver 5.2.2).

Tabela 34 - Valores do percurso B com o Opel Astra

Distância CB (km)	67,2
Distância real GPS (km)	67,8
Consumo CB (L/100 km)	4,4
Litros abastecidos (L)	3,12
Consumo na bomba (L/100 km)	4,60
Velocidade média GPS (Km/h)	72,0

5.3.3 Percurso C: Autoestrada a 120 km/h

Autoestrada, a 120 km/h, à semelhança do que foi feito com o Toyota Prius. O percurso Maia-Santo Tirso-Maia foi realizado duas vezes para que o consumo de combustível pudesse estabilizar num valor, fazendo assim uma melhor leitura.

O percurso tem os mesmos passos (ver 5.2.2).

Tabela 35 - Valores do percurso C com o Opel Astra

Distância CB (km)	67,2
Distância real GPS (km)	67,8
Consumo CB (L/100 km)	5,3
Litros abastecidos (L)	3,64
Consumo na bomba (L/100 km)	5,37
Velocidade média GPS (Km/h)	89,5

5.3.4 Percurso D: Cidade

Como já foi referido no Planeamento (ver 5.1), foi escolhido um percurso estratégico na cidade do Porto partindo e acabando na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, com vista a passar por diferentes situações:

- Pára-arranca em semáforos a subir e descer.
- Trânsito geral do centro de uma cidade.
- Pequena porção do trajeto em autoestrada para simulação de uma via rápida.

Neste trajeto, o consumo foi agravado por dois motivos:

- Não foi usado o sistema Start-Stop que desliga o motor em cada paragem.
- O veículo, equipado com filtro de partículas para cumprir as normas de emissões de gases poluentes, entrou em regeneração a meio do percurso, o que aumenta o consumo de combustível.

Como o tal, o valor registado pode ser melhorado consoante as condições de condução e do uso do Start-Stop.

Tabela 36 - Valores do percurso D com o Opel Astra

Distância CB (km)	29,7
Distância real (km)	30,2
Consumo CB (L/100 km)	6,9
Litros abastecidos (L)	-
Consumo na bomba (L/100 km)	-
Velocidade média GPS (Km/h)	28,9

Devido a uma situação que adulterou os litros abastecidos na bomba e à impossibilidade de repetição do teste, o valor ficou muito longe da realidade e como tal não foi calculado o consumo de combustível na bomba, mas andar, mais uma vez, muito perto do consumo lido pelo computador de bordo.

5.3.5 Análise de resultados para o Opel Astra

Tabela 37 - Consumos lidos pelo CB e consumos na bomba com o Opel Astra

Percurso	Consumo CB (L/100 km)	Consumo na bomba (L/100 km)
A: Misto	6,0	-
B: A.E. 90 km/h	4,4	4.60
C: A.E. 120 km/h	5,3	5.37
D: Cidade	6,9	-

No percurso A, como já foi referido, registou-se um atraso na condução, o qual foi provocado por uma situação incontroável em estrada, que teve como consequência o aumento do consumo de combustível. Mesmo assim, para um percurso misto, uma média de 6,0 L/100 km ainda é um valor respeitável nos dias de hoje, para um motor que não parou de funcionar o tempo todo.

No percurso B, os consumos registados no computador de bordo e o calculado na bomba, não diferem muito e são valores de fazer frente ao veículo híbrido, ficando perto da

marca obtida com o Toyota Prius, o que revela a competência destes motores e a evolução que tiveram ao longo do tempo.

No percurso C, repete-se o que foi dito para o percurso anterior. Foi conseguido um valor no computador de bordo igual ao conseguido na viatura híbrida, 5,3 L/100 km, revelando novamente a competência destes motores.

Finalizando com o percurso D, em cidade, o consumo foi agravado pelas razões já referidas em 5.3.4. Mesmo assim, para um veículo em que o motor esteve em constante funcionamento e, considerando ainda as múltiplas situações de pára-arranca a que foi submetido, o valor de 6,9 L/100 km é bastante aceitável.

5.3.6 Custos com o Opel Astra

Na data da escrita deste capítulo (Maio de 2014) os preços aplicados são:

Combustível Diesel (local onde foi abastecido): 1,344 €/L

Tabela 38 - Cálculo dos custos com o Opel Astra

Teste	Consumo (L/100km)	Custo (€)	Custo (€/100km)
A: Misto	6,0	1,13	8,06
B: A.E. 90 km/h	4,6	4,19	6,18
C: A.E. 120 km/h	5,4	4,92	7,26
D: Cidade	6,9	2,80	9,27

Como seria de esperar, o custo mais alto com este automóvel por cada 100 km é, de fato, na cidade. Segue-se o percurso misto e depois os de autoestrada.

5.4 Comparação de Resultados

De seguida, são apresentados os resultados de cada percurso, para cada veículo descrito nos capítulos anteriores, os quais são agora devidamente comparados.

Tabela 39 - Custos com combustível de cada percurso e veículo

Custos com combustível (€/100km exceto D)		
Percurso	Toyota Prius	Opel Astra
A - Misto	6,65	8,06
B – A.E. 90 km/h	5,98	6,18
C – A.E. 120 km/h	8,12	7,26
D - Cidade	1,34*	2,80*

*Custo para o percurso efetuado e não para 100 km. Isto porque existem várias possibilidades de custos, consoante a frequência que as baterias do Toyota forem carregadas, o que será descrito mais a frente.

A – Para o percurso misto, o Toyota tem um menor custo, o que é justificado com a capacidade de arrancar em modo elétrico, mesmo com as baterias descarregadas, e também a boa eficiência nos traçados mais rápidos sem trânsito. Relembro que no caso do Opel, o motor esteve sempre em funcionamento e teve o percalço do traçado que obrigou a uma paragem prolongada, ou seja, o custo podia ser menor ao ponto de o aproximar do custo do Toyota.

B – Para o percurso de autoestrada a 90 km/h, a diferença ficou-se nos 20 cêntimos, com vantagem ainda para o Toyota. A essa velocidade, o Opel tem um consumo superior (4,6 para os 3,9 L/100 km do Toyota) mas o facto de o gasóleo ser mais barato aproxima muito os custos.

C – Para o percurso de autoestrada, a 120 km/h, os consumos dos dois veículos aproximam-se (5,3 L/100 km para o Toyota e 5,4 L/100 km para o Opel). A 120 km/h, a força de arrasto provocada pelo ar em conjunto com o atrito de rolamento, é significativamente superior quando comparado com a velocidade de 90 km/h, o que faz com que seja necessária uma carga superior no acelerador e consequentemente um maior consumo de combustível. O Opel, mesmo usando tecnologia “convencional” contra uma tecnologia híbrida, conseguiu praticamente igualar os valores de consumo a essa velocidade, o que revela a grande evolução que têm tido os motores a gasóleo. Uma vez que o preço do gasóleo é mais barato que a gasolina, o custo do Opel para este tipo de percurso sai mais reduzido que o do Toyota.

D – No percurso de cidade, encontra-se a verdadeira vantagem do Toyota quando comparado não só ao Opel, mas a qualquer outro automóvel convencional. Os 24,5 km efetuados em modo elétrico permitem que o custo do percurso seja menos de metade do obtido com o Opel. Com os atuais preços da eletricidade ainda compensa muito este tipo de energia, do ponto de

vista do utilizador. Nas cidades onde existem grandes afluências de trânsito, se todos pudessem circular em modo elétrico, haveria muito menos combustível consumido e as emissões de gases poluentes seriam praticamente nulas. É esse o objetivo deste Toyota. Por outro lado também seria necessário produzir mais energia elétrica, o que também tem implicações a nível de custos e emissões de gases poluentes, mas neste momento impossíveis de quantificar.

O facto de se poder carregar as baterias do Toyota, alarga as possibilidades de utilização do veículo, as quais podem ser estudadas. Foram criados diversos cenários em que se aproveitam os valores dos testes efetuados para simular uma utilização diária do Toyota para ver qual será o melhor, do ponto de vista dos custos para o utilizador, e se de facto vale a pena o preço superior no ato de compra.

- 1) Utilização citadina inferior ou igual a 24 km com novo carregamento de baterias sempre que a carga disponível terminar. Este cenário simula a utilização do veículo permanentemente em modo elétrico. Por exemplo, uma pessoa que vive e trabalha na cidade e pode carregar as baterias em casa e no local de trabalho, se necessário, de forma a poder regressar a casa novamente em modo elétrico.

Apesar de ser uma utilização exclusivamente elétrica, o custo pode não se refletir apenas em eletricidade, isto porque o Toyota tem um sistema de aquecimento em que pode ser necessário o arranque do motor de combustão nas seguintes situações: a) em arranques a frio até o sistema atingir a temperatura ótima de funcionamento; b) situação em que depois de já ter aquecido, o sistema baixe a temperatura para um certo nível em que volta a necessitar de aquecer. Ambas as situações dependem da temperatura ambiente, mas o aquecimento é geralmente rápido e eficiente. Esse custo de gasolina, por reduzido que seja, é indeterminado no âmbito desta dissertação.

Admitindo que o custo de eletricidade se mantém constante e que as baterias do veículo terão a mesma eficiência ao longo do tempo, ou seja, serão sempre capazes de fazer, em média, 24 km em modo elétrico, a simulação de custos com energia elétrica para este cenário será linear e pode ser visualizado no gráfico seguinte:

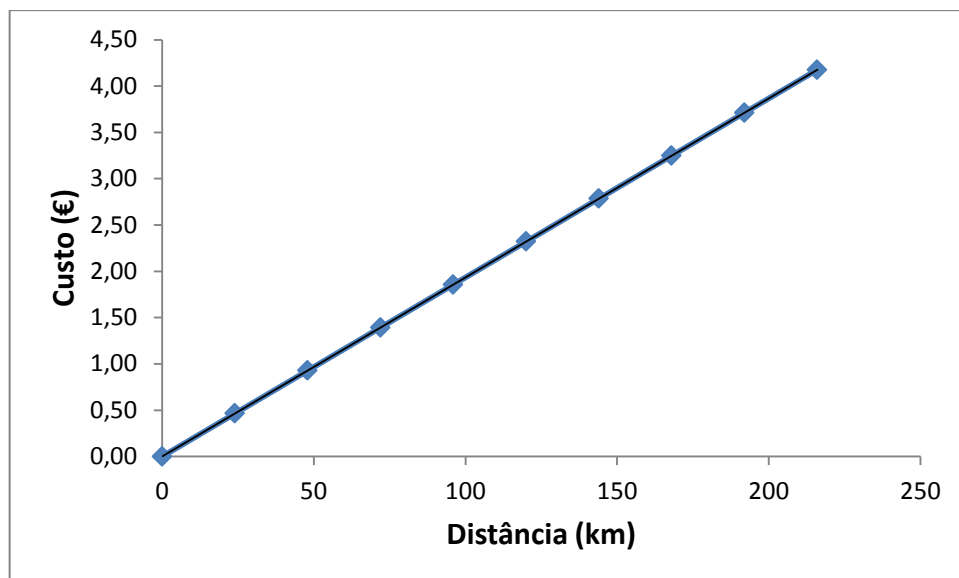


Figura 39 - Custos com eletricidade de uma utilização citadina do cenário 1

- 2) O segundo cenário foi pensado para uma utilização citadina em modo elétrico até acabar a carga nas baterias, somado ao consumo de combustível do percurso misto. Assim sendo, simula-se aqui um percurso que envolve uma distância necessária em cidade superior à permitida pelas baterias, o que obriga o Toyota a entrar em modo híbrido para o resto do percurso.

O consumo do percurso misto foi de 4,3 L/100 km após, sensivelmente, 50 km percorridos. Se a esse percurso forem adicionados os 24 km em modo elétrico, o consumo total dos 74 km desce para os 2,9 L/100 km. Lembra-se também que o consumo para 33,3 km (dos quais 24,5 em modo elétrico) foi de 1,7 L/100 km.

Se não houver novo carregamento de baterias, e o veículo continuar a circular em modo híbrido por tempo indeterminado, o consumo de combustível subirá dos 2,9 e tenderá, no infinito, para o valor do percurso misto, à medida que a distância em modo elétrico se torna cada vez menos significativa. Todos esses aspetos são demonstrados no seguinte gráfico:

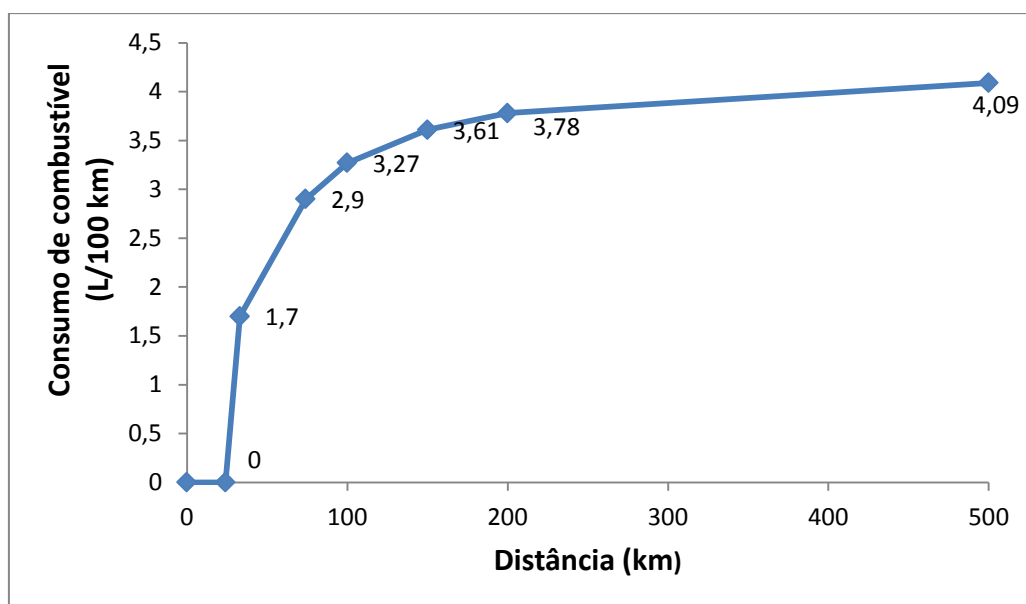


Figura 40 - Consumo de combustível versus distância percorrida para o cenário 2

Os custos para este cenário podem ser visualizados no seguinte gráfico:

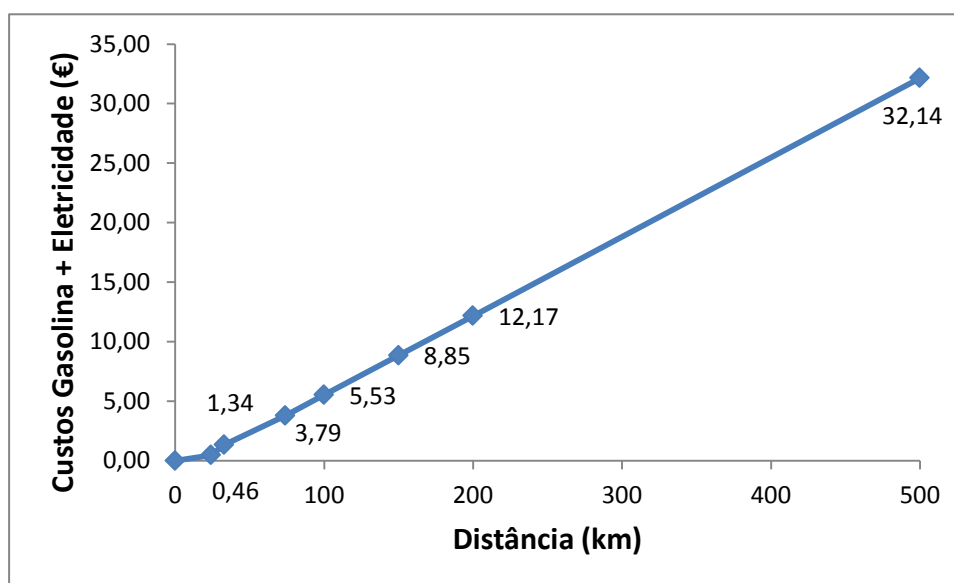


Figura 41 - Custo com gasolina e eletricidade para o cenário 2 sem recarregamento

Para o mesmo cenário, pode ainda ser considerada outra hipótese que envolve o carregamento das baterias ao fim de cada 75 km percorridos, o que simula um utilizador que faça 75 km diários e carrega as baterias no fim do dia ou um utilizador que faça menos distância diária mas que não tenha possibilidades de carregar o automóvel diariamente. No fim de cada carregamento, o utilizador dispõe novamente de 24 km em modo elétrico. Foram simulados 4 carregamentos o que soma 300 km e faz com que a curva dos custos passe a ter a forma do seguinte gráfico:

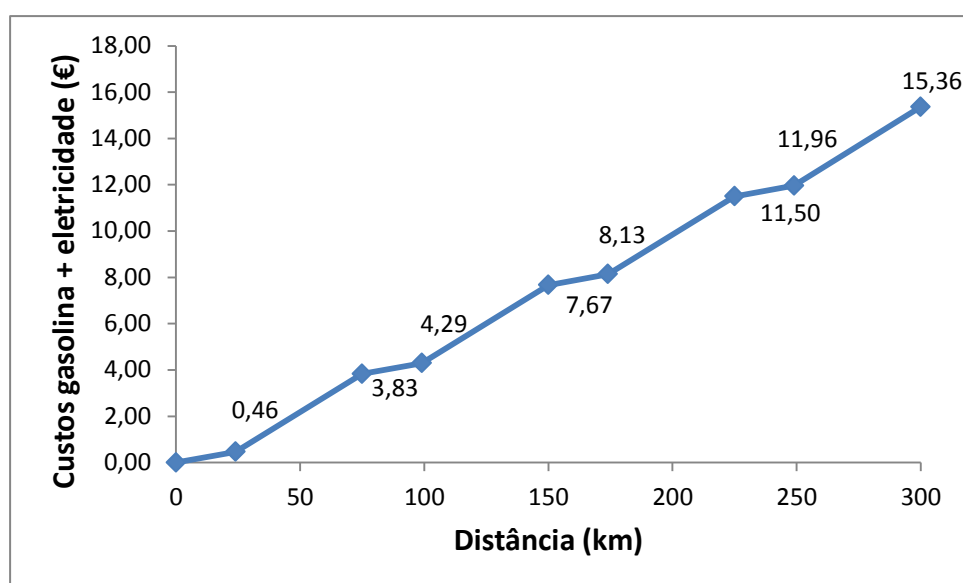


Figura 42 - Custo com gasolina e eletricidade para o cenário 2 com 4 recarregamentos

Para este caso, pressupondo os quatro carregamentos de baterias, nota-se bem a atenuação registada no custo, ficando uma curva “em degrau” quando na anterior era praticamente linear exceto os primeiros 24 km feitos em modo elétrico. O custo final, para percorrer 300 km fica-se pelos 15,36 Euros, quando no exemplo anterior rondava os 19 Euros, uma poupança de 19,2%, o que demonstra a importância do carregamento das baterias no percurso.

- 3) Para este terceiro cenário, o objetivo será simular um utilizador que faz diariamente e maioritariamente percursos de autoestrada, mas também cidade, com as baterias na carga máxima para andamento elétrico permanente, com recarregamento ao fim do dia. Assumindo os mesmos 24 km em modo elétrico e 50 km para autoestrada, com os consumos obtidos de 3,86 e 5,24 L/100 km para velocidades de 90 e 120 km/h, respetivamente, o gráfico dos custos será o seguinte:

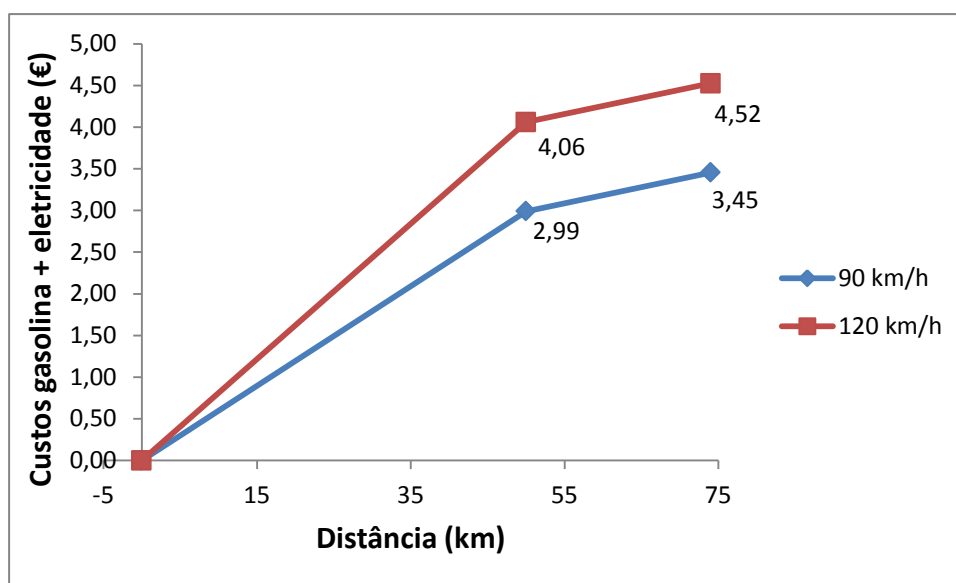


Figura 43 - Custo com gasolina e eletricidade para o cenário 3

Para este cenário, os custos diários para 90 e 120 km/h, ficam-se nos 3,45 e 4,52 Euros, respetivamente.

Depois da simulação destes 3 cenários, é agora possível, usando os consumos obtidos com o Opel Astra, calcular os custos para essas situações, e fazer uma comparação entre os dois automóveis, para concluir as diferenças de custos, juntando essa informação aos resultados obtidos nos percursos A, B, C e D, anteriormente tratados. Os cálculos foram feitos com base nos consumos de cada percurso e na distância percorrida em cidade/autoestrada.

Tabela 40 - Custo com combustível do Opel Astra para os 3 cenários

Descrição			Custo (€)
Cenário	1)	200 km em cidade	18,55
	2)	300 km misto (maior influência troço de cidade)	24,19
	3)	24 km cidade + 50 autoestrada	5,32/5,86*

*valores para velocidades em autoestrada 90/120 km/h, respetivamente

Com os dados obtidos, é agora possível comparar com os já calculados anteriormente para o Toyota Prius, assumindo também os mesmos valores de distância que estão na tabela anterior.

Tabela 41 - Comparação de custos entre o Toyota Prius e Opel Astra para os 3 cenários

Cenário	Custo combustível (€)	Custo combustível + Eletricidade (€)
	Opel Astra	Toyota Prius
1)	18,55	3,87
2)	24,19	18,85/15,36**
3)	5,32/5,86*	3,45/4,52*

*valores para velocidades em autoestrada 90/120 km/h, respetivamente

**valores para percurso efetuado sem/com recarregamento de baterias, respetivamente

Depois de concluídos os cálculos da tabela anterior, é bem notória a diferença que faz o uso da condução em modo elétrico, no caso do Toyota. No início deste capítulo, os cálculos feitos aproximavam os dois veículos, chegando mesmo o Opel a ser menos dispendioso em percursos somente de autoestrada a 120 km/h, o que já não acontece nos 3 cenários agora propostos.

A vantagem do Toyota incide diretamente em percursos da vida real onde haja, maioritariamente, condução em cidade, com velocidades médias baixas e muitas paragens. Em todo esse percurso, enquanto houver carga nas baterias, o veículo não vai consumir combustível nem emitir gases poluentes, e com o preço atual da eletricidade, do ponto de vista do utilizador, é muito menos dispendioso pagar por energia elétrica do que por qualquer combustível. No caso de percursos somente de autoestrada, os custos equilibram-se, o que faz com a escolha entre um ou outro dependa, particularmente, dos percursos diários que o utilizador pretenda fazer.

Outro aspeto importante é o preço de compra. No caso de um utilizador que faça maioritariamente percursos de autoestrada, não compensa o preço muito superior do Toyota em relação ao Opel. No caso de um utilizador que faça maioritariamente percurso de cidade e tenha possibilidade de carregar as baterias, pode ser calculado ao fim de quanto tempo é que se amortiza o excesso que se pagou no momento de compra.

Tabela 42 - Preços base dos veículos testados (preços consultados a Maio de 2014) [27, 30]

Preço base (€)	
Toyota Prius Plug-In 2013	38 000
Opel Astra 1.6 CDTI 2014	25 100*

*valor para veículo testado, Opel Astra Sedan. O modelo mais barato com o mesmo motor é o Opel Astra 5 portas para 23 000 Euros de preço base.

Como tal, no momento de compra existe uma diferença de 12 900 euros, o que no caso de gasolina daria para 8328 litros e no caso do gasóleo daria para 9598 litros.

Considerando o consumo do percurso misto para os dois veículos, e simulando várias distâncias entre cada carregamento das baterias, pode ser calculada a distância necessária a percorrer para amortização do valor em excesso, que é demonstrado no gráfico seguinte.

Condições:

- O objetivo dos cálculos efetuados é verificar a distância necessária a percorrer para a amortização do valor em excesso no momento de compra, tendo em conta apenas o preço base e os consumos de combustíveis. Como tal, o imposto único de circulação, sendo este um custo anual, só será contabilizado no capítulo seguinte, referente ao cálculo dos custos de vida de cada automóvel.
- Para este gráfico não são contabilizados custos com manutenção nem a sua frequência, que varia de veículo para veículo, impossíveis de quantificar.
- No caso da primeira coluna do gráfico mostrado em baixo, a que corresponde a um andamento somente elétrico e carregamento das baterias após descarga completa, não é contabilizado o consumo de combustível que o sistema de aquecimento usa, que é indeterminado, como já foi referido atrás.
- Assumiu-se que o custo de eletricidade e combustíveis se mantiveram constantes ao longo do tempo.
- Assumiu-se, para o cálculo temporal, uma distância de 25 000 km/ano.
- No caso de comparação com um veículo mais caro que o Opel, os tempos/distâncias de amortização podem reduzir consideravelmente.

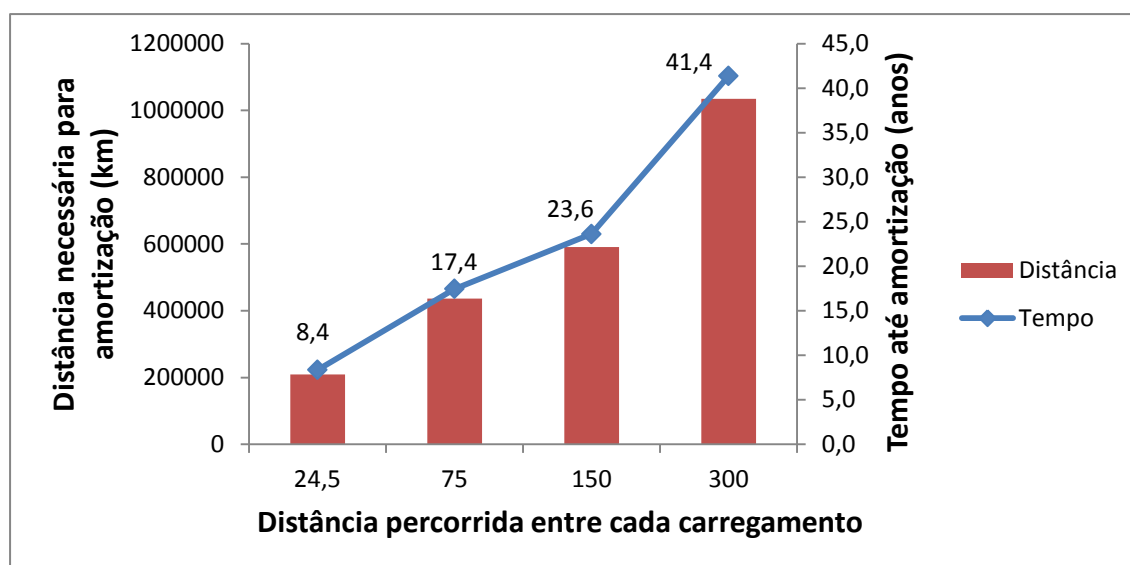


Figura 44 - Tempo e distância necessária até à amortização do valor de 12 900 Euros

Como é possível observar no gráfico, mesmo para uma utilização somente elétrica e carregamento após os 24,5 km, seriam precisos um pouco mais de 200 000 km para chegar à amortização do valor em excesso. No pior caso, em que se percorre 300 km, dos quais apenas 24,5 são feitos em modo elétrico e só depois disso novo carregamento, seria preciso mais de 1 milhão de km percorridos para amortizar o mesmo valor.

É importante referir que os tempos ou distâncias a percorrer para amortizar o valor em excesso é muito dependente do preço base do veículo em questão. Como tal, no caso hipotético de outro veículo com os mesmos consumos mas com um preço de 32 000 Euros, ou seja, uma diferença de 6 000 Euros para o Toyota, o gráfico de amortização seria o seguinte.

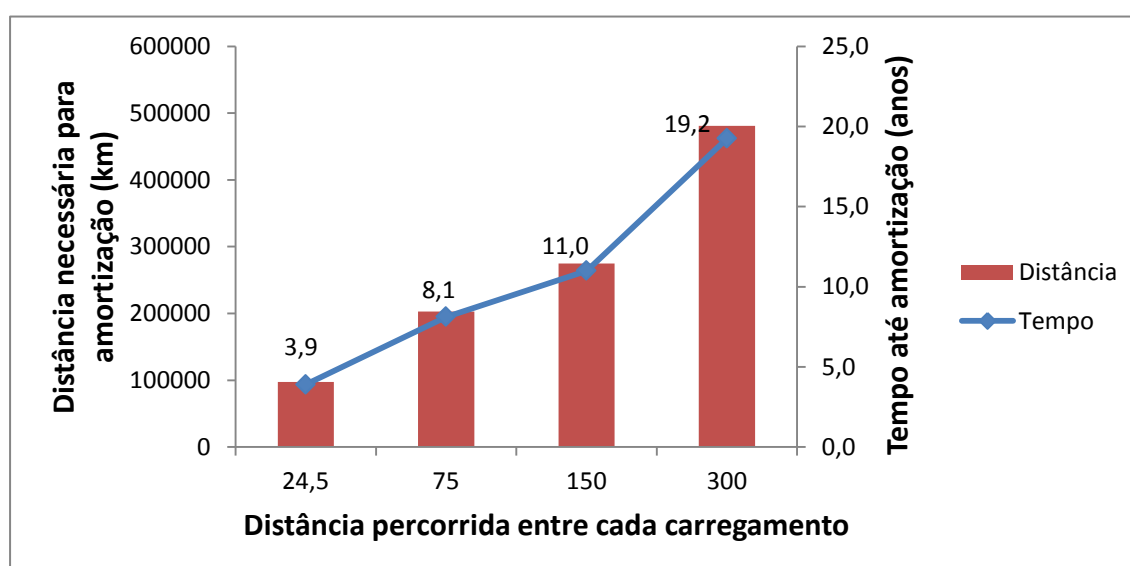


Figura 45 - Tempo e distância necessária até à amortização do valor de 6 000 Euros

Como se pode verificar no gráfico anterior, com uma diferença de 6 mil euros, os valores de tempo e distância necessários até à amortização já ficam bastante mais reduzidos, com quase 4 anos para a utilização somente elétrica, o que pode ser considerado aceitável já que a vida útil de um automóvel será sempre superior a 4 anos. Mas no caso extremo dos 300 km são precisos quase 20 anos e praticamente 500 000 km percorridos para se conseguir o retorno do investimento.

6 Simulação dos custos de vida

6.1 Condições

O objetivo deste capítulo é fazer uma simulação teórica para cálculo aproximado do custo total na vida de cada veículo. Para tal é necessário juntar os resultados dos testes realizados às despesas com impostos e o preço de compra.

Foram definidas as seguintes condições:

- Para esta simulação são previstos 300 000 km percorridos uniformemente durante 15 anos, sem quaisquer avarias.
- Foram assumidos custos de manutenção semelhantes. Como não é possível serem determinados com rigor, não foram considerados, apesar de serem quantias bastante significativas na vida de um veículo.
- Não foram considerados quaisquer custos adicionais com portagens, multas ou tarifas de estacionamento, as quais poderiam aumentar o custo de vida do veículo.
- Sem forma de prever as suas variações, não foram considerados aumentos ou atenuações no imposto único de circulação, nem no preço dos combustíveis.
- Foi assumido o mesmo tipo de condutor para cada veículo, de forma a terem condições semelhantes no preço do seguro, sendo também um parâmetro que não foi considerado devido à impossibilidade de prever o seu valor.
- Foi assumida que a capacidade das baterias do Toyota tem sempre a mesma duração e que os consumos de combustível são constantes para ambos os veículos durante todo o período.

Assumindo que a utilização normal de um veículo durante toda a sua vida acaba por ser, na realidade, um percurso misto entre cidade e autoestrada, foram selecionados 3 tipos de percurso, de acordo com o que foi testado antes, envolvendo trajetos mistos e variando apenas a influência de cada trajeto e as velocidades em autoestrada:

- 1) Percurso misto com maior influência do trajeto em cidade. No caso do Toyota, são considerados carregamentos ao fim de cada 75 km, dos quais 24,5 são feitos em modo elétrico, nos restantes, o consumo tenderá para o valor testado no percurso misto (ver 5.2.1). Como concluído na comparação de resultados (ver 5.4), o consumo para este tipo de percurso, envolvendo os 75 km, é de 2,9 L/100 km enquanto que o consumo para o Opel se fica nos 6,0 L/100 km.
- 2) Percurso misto com maior influência do trajeto em autoestrada, sendo este feito a 90 km/h. No caso do Toyota, são considerados carregamentos ao fim de cada 75 km, dos

quais 24,5 são feitos em modo elétrico, nos restantes, o consumo tenderá para o valor testado no percurso de autoestrada a 90 km/h (ver 5.2.2). O consumo do Opel está dividido nos mesmos 24,5 km em cidade, os restantes em autoestrada à mesma velocidade, o que resulta num consumo combinado de 5,37 L/100 km.

- 3) Percurso misto com maior influência do trajeto em autoestrada, sendo este feito a 120 km/h. No caso do Toyota são considerados carregamentos ao fim de cada 75 km, dos quais 24,5 são feitos em modo elétrico, nos restantes, o consumo tenderá para o valor testado no percurso de autoestrada a 120 km/h (ver 5.2.3). O consumo do Opel está dividido nos mesmos 24,5 km em cidade, os restantes, em autoestrada à mesma velocidade, o que resulta num consumo combinado de 5,90 L/100 km.

Equação que permite o cálculo do custo de vida do Toyota Prius:

$$\begin{aligned} \text{Custo Toyota} = \text{Preço Base} + & \left(\frac{\text{Consumo}}{100} * 300\,000 * \text{Preço Gasolina} \right) \\ & + \text{Gasto Carregamento Baterias} + (IUC * 15) \end{aligned}$$

Equação que permite o cálculo do custo de vida do Opel Astra:

$$\text{Custo Opel} = \text{Preço Base} + \left(\frac{\text{Consumo}}{100} * 300\,000 * \text{Preço Gasóleo} \right) + (IUC * 15)$$

6.2 Toyota Prius

Para o cálculo do custo de vida do Toyota Prius, é necessário, o cálculo do imposto único de circulação, através da cilindrada, do ano de matrícula, do combustível e das emissões de CO₂.

Tabela 43 - Informações para o cálculo do Imposto único de circulação do Toyota Prius [40]

Ano de matrícula	2013
Tipo de Propulsão	Gasolina + Elétrico
Cilindrada (cm³)	1798
Emissões CO₂ (g/km)	49/89*
IUC em 2014 (€)	196,25

*Valores com uso da eletricidade das baterias/modo híbrido

De seguida são apresentadas as informações necessárias ao cálculo do custo de vida com o Toyota Prius.

Tabela 44 - Cálculo do custo de vida para os diversos percursos com o Toyota Prius

Toyota Prius	
Preço Base (€)	38 000
IUC (€/ano)	196,25
Duração (Anos)	15
Distância percorrida (km)	300 000
Preço Gasolina (€/L)	1,549
Custo eletricidade (€/kWh)	0,1497
Custo carregamento baterias (€)	0,4641
Número de carregamentos	4000
Custo percurso 1) (€)	56 276
Custo percurso 2) (€)	54 742
Custo percurso 3) (€)	59 018

6.3 Opel Astra

Com as mesmas informações do subcapítulo anterior, foi calculado o imposto único de circulação para o Opel Astra.

Tabela 45 - Informações para o cálculo do Imposto único de circulação do Opel Astra [40]

Ano de matrícula	2014
Tipo de propulsão	Gasóleo
Cilindrada (cm³)	1598
Emissões CO₂ (g/km)	104
IUC em 2014 (€)	141,74

De seguida são apresentadas as informações necessárias ao cálculo do custo de vida com o Opel Astra.

Tabela 46 - Cálculo do custo de vida para os diversos percursos com o Opel Astra

Opel Astra	
Preço Base (€)	25 100
IUC (€/ano)	141,74
Duração (Anos)	15
Distância percorrida (km)	300 000
Preço Gasóleo (€/L)	1,344
Custo percurso 1) (€)	51 418
Custo percurso 2) (€)	48 877
Custo percurso 3) (€)	51 014

6.4 Comparação dos custos de vida

Juntando os resultados do custo de vida de cada veículo é possível agora compará-los entre si.

Tabela 47 - Comparação dos custos de vida

Custos	Percurso 1	Percurso 2	Percurso 3
Toyota Prius (€)	56 276	54 742	59 018
Opel Astra (€)	51 418	48 877	51 014
Diferença (€)	4 858	5 864	8 003

O Toyota, mesmo conseguindo consumos de combustível inferiores em todos os percursos previstos, apresenta um custo de vida sempre superior ao do Opel Astra, devido ao preço base ser 12 900 € superior. Essa diferença é maior no percurso 3, onde a velocidade em autoestrada é de 120 km/h, que é onde o Opel foi mais eficiente do que o Toyota, tendo mesmo obtido um custo por cada 100 km inferior ao do Toyota (ver 5.4 Comparação de resultados).

Como já foi referido antes, houve alguns fatores que pioraram os consumos do Opel, ou seja, em condições mais favoráveis esta diferença de valores pode ainda ser maior.

Por fim, a estes dados, faltam duas parcelas importantes: seguro e manutenção, uma vez que ambos aumentam significativamente os custos, mas são impossíveis de determinar. Embora tenha sido assumido que os custos de manutenção são semelhantes para os dois veículos, é algo improvável de acontecer na realidade, sendo previstos custos superiores para o Toyota devido à maior complexidade do sistema híbrido.

7 Conclusões

Conforme já referido, o objetivo desta dissertação de Mestrado é, sempre do ponto de vista do utilizador, comparar tecnologias de propulsão automóvel, tendo como base os automóveis híbridos, avaliando os custos que cada uma dessas tecnologias pode trazer. Infelizmente, não foi possível completar o comparativo com um veículo com motor a gasolina, tendo sido testados um veículo híbrido Plug-In, o Toyota Prius, e um veículo a gasóleo, o Opel Astra. Foram selecionados trajetos específicos na cidade do Porto, de forma a avaliar os consumos de combustível em situações normais de condução do dia-a-dia de um utilizador comum. Foram também simulados cenários de mistura de percursos e, no caso do Toyota Prius, a frequência de carregamento das baterias, aproveitamento da condução elétrica, e calculados os respetivos custos para os dois veículos. Sendo os automóveis com motor a gasóleo os campeões de vendas em Portugal, o objetivo passa também por analisar até que ponto a tecnologia híbrida pode ser uma alternativa viável àquele, nos dias de hoje. Os percursos testados não só foram iguais para os dois veículos (exceto o percurso de entrega da viatura), como foram feitos às mesmas horas do dia para minimizar as variações de trânsito. O trabalho efetuado retrata situações da vida real. Como tal, ocorreram situações que pioraram os consumos de combustível, com maior influência no Opel Astra. Em condições de estrada mais favoráveis, os resultados revelariam valores de consumos de combustível inferiores.

Após ter selecionado, como base de comparação, o Toyota Prius Plug-In, foi necessário escolher outro veículo, que preenchesse alguns requisitos, como a mesma ordem de cilindrada, potência, peso, comprimento, largura e ano de matrícula. Como explicado em 4.3 (Comparação de características dos veículos), o Opel Astra encaixa nos requisitos do comparativo.

Depois dos testes, puderam ser calculados os custos. Para o percurso misto com as baterias descarregadas, o Toyota Prius obteve 6,65 €/100km, enquanto o Opel teve um custo de 8,06 €/100km. Mesmo sem carga elétrica nas baterias, o que não permite a condução permanente elétrica, o Toyota Prius conseguiu um consumo médio de 4,3 L/100km, o que representa um valor muito atrativo nos dias correntes. Esse valor baixo deve-se à gestão que o sistema híbrido faz da carga nas baterias, através da recuperação de energia na travagem e nas desacelerações, de modo a ser possível arrancar em modo elétrico, por breves momentos, até se atingir velocidades na ordem dos 30-40 km/h, dependendo da pressão aplicada no acelerador. Além disso, em todas as situações em que o veículo é obrigado a parar, o motor de combustão está desligado. No mesmo tipo de percurso, o Opel teve um consumo médio de 6,0 L/100km, o qual, como foi antes explicado, é um valor inflacionado devido à situação que obrigou o veículo a estar parado alguns minutos com o motor a trabalhar. O consumo, em condições normais andaria na casa dos 5,2 L/100 km, o que também seria um valor muito competitivo.

Para os percursos de autoestrada a 90 e 120 km/h, os custos obtidos foram de 5,98 e 8,12 €/100km para o Toyota, respetivamente, e 6,18 e 7,26 €/100km para o Opel, respetivamente. Apesar de o Opel, nestes percursos, ter sempre consumos de combustível médios ligeiramente superiores, os custos por cada 100 km são semelhantes, chegando mesmo o Opel a ter um custo inferior para velocidades a 120 km/h, devido principalmente ao preço inferior do gasóleo, mas também à evolução que os motores a gasóleo têm registado na sua eficiência.

No percurso de cidade, relativamente ao Toyota, o objetivo foi analisar a máxima distância que era possível percorrer, em modo elétrico, em ambiente urbano, o que resultou em 24,5 km. A partir do término da capacidade das baterias e até ao fim do percurso, o Toyota esteve em modo híbrido, o que resultou num custo de 1,34 €, englobando os gastos com eletricidade e gasolina. Para o mesmo percurso, o Opel teve um custo de 2,80 €, mais do dobro do custo do Toyota.

Depois da anterior análise dos resultados, e tendo em conta que existem diversas possibilidades para aproveitamento, ou não, do carregamento das baterias, foram simulados 3 cenários (explicados em 5.4 Comparação de resultados), a partir dos quais se podem retirar algumas conclusões. Numa utilização exclusivamente elétrica do Toyota, é possível percorrer 200 km, somente em cidade, com um custo de 3,87 €. No entanto, existirá um custo indeterminado com combustível, quando é necessário o motor de combustão entrar em funcionamento para aquecimento do sistema. É, normalmente, um processo rápido, mas a sua eficiência no aquecimento dependerá muito da temperatura ambiente, pelo que em países frios a distância em modo elétrico possível de percorrer será inferior. Para o mesmo cenário, o custo para o Opel é de 18,55 €; no entanto, poderia ser um valor mais reduzido se ao sistema Start-Stop tivesse sido usado nas paragens e se a regeneração do sistema relativo ao filtro de partículas não tive sido iniciada, o que aumentou o consumo de combustível.

No segundo cenário, numa utilização em percurso misto com maior influência do troço de cidade, o Opel apresenta um custo de 24,19 €. Para o Toyota, foi simulado o mesmo percurso, envolvendo 1 e 4 recarregamentos das baterias, com aproveitamento do andamento elétrico em cidade após cada um deles, o que resultou em custos de 15,36 e 18,85 €, respetivamente. Essa diferença (de 3,49 €) evidencia o peso que tem, nas contas, o aproveitamento da capacidade de condução elétrica.

No último cenário, foi simulado um percurso misto com maior influência do troço de autoestrada. Relembro que em percurso somente de autoestrada, o Opel conseguiu um custo inferior mas o mesmo já não se verifica neste percurso misto. Os custos, a 90 e a 120 km/h, resultaram em 3,45 e 4,52 € para o Toyota, respetivamente, e em 5,32 e 5,86 para o Opel, respetivamente, o que evidencia novamente a vantagem em poder usufruir da condução elétrica no troço de cidade.

Depois dos cálculos anteriores e tendo em conta os 12 900 € de diferença entre o preço de cada veículo, foi calculado o tempo e a distância necessários a percorrer para amortizar esse valor, o que depende muito do aproveitamento da condução elétrica. A distância mínima calculada para amortizar o valor foi de 209 082 km, que pode ser estendida até acima de 1 milhão de quilómetros, se o recarregamento das baterias só for feito de 300 em 300 quilómetros. É importante referir que os tempos ou distâncias a percorrer para amortizar o valor em excesso podem variar muito, pelo que são totalmente dependentes do preço base do veículo concorrente.

No último capítulo deste trabalho, foram calculados os custos de vida de cada veículo consoante o tipo de percurso que fazem ao longo da sua vida, tendo em conta o preço base, o combustível e o imposto único de circulação, excluindo custos de manutenção e seguro, impossíveis de quantificar. Em qualquer dos percursos considerados, o Toyota Prius obteve sempre um custo de vida superior ao Opel, mesmo conseguindo sempre consumos de combustível inferiores. A razão desse custo superior é devida, principalmente, à diferença no preço de compra do veículo, mas também ao preço superior da gasolina, em relação ao gasóleo, e também ao imposto único de circulação, de valor superior. O maior valor calculado para o Toyota foi de 59 018 €, para um percurso misto com maior influência de troços de autoestrada a 120 km/h, o que resulta numa diferença de 8 003 € para o Opel.

Em suma, a grande vantagem da tecnologia híbrida do Toyota Prius em relação, não só ao Opel, mas a qualquer outro veículo convencional, é a capacidade de condução elétrica nos 24,5 km testados até ao término da energia nas baterias. No entanto, enquanto atestar o depósito de combustível demora um par de minutos, para recarregar as baterias é necessário estar o veículo parado durante 1h30 ligado à corrente, o que pode ser, de fato, uma inconveniência. Apesar do Toyota poder circular com apenas energia elétrica até, sensivelmente, 90 km/h, não é a melhor forma de obter a melhor eficiência do veículo. Os motores de combustão interna são mais gastadores em ambiente urbano e como tal, é sensato deixar a capacidade elétrica para os mesmos ambientes, selecionando manualmente o modo híbrido para autoestrada, o qual revelou também bons consumos de combustível. Relativamente ao seu opositor, o Opel, tem a vantagem de custar menos 12 900 €, o que é um fator extremamente importante, nos dias que correm, devido à crise económica instalada, o que enfraquece o poder de compra dos consumidores. Revelou, também, consumos de combustível muito competentes, especialmente em autoestrada, que é onde o custo por quilómetro é mais reduzido.

Por último, outra vantagem do Toyota Prius é o fato de ter emissões de gases poluentes mais reduzidas do que qualquer outro automóvel convencional, com características semelhantes. A condução em modo elétrico tem grande influência nesses valores, com 49 g CO₂/km anunciados contra as 89 g CO₂/km anunciadas em modo híbrido. Ambas são inferiores às 104 g CO₂/km anunciadas para o Opel. De fato, o Toyota consegue ser “mais amigo do ambiente” no seu tempo de vida, mas a necessidade de fabrico de baterias com maior capacidade e o gasto de energia elétrica para as recarregar, são também fatores com um grande impacto ambiental, sendo impossível de quantificar, se uma coisa compensa a outra. A conclusão final que se pode retirar é, sim, a tecnologia híbrida tem vantagens para o utilizador com consumos de combustíveis mais reduzidos, mas tem ainda um preço excessivo no momento de compra, o que, para já, não compensa as poupanças com combustível, do ponto de vista do utilizador.

8 Referências

- [1] Notícias ao minuto (2014), “Foto galeria as maiores catástrofes naturais desde os anos 80”, www.noticiasao minuto.com/mundo, consultado em Maio de 2014.
- [2] APA (2014), Agência Portuguesa do Ambiente, www.apambiente.pt, consultado em Maio de 2014.
- [3] APA (2012), Agência Portuguesa do Ambiente, “Avaliação do cumprimento do Protocolo de Quioto”, Maio de 2012, pp 15.
- [4] BP (2013), “BP Statistical Review of World Energy”, Junho de 2013, pp 48.
- [5] APA (2013), Agência Portuguesa do Ambiente, “Relatório do Estado do Ambiente”, Outubro de 2013, pp 204.
- [6] Sínteses da legislação da União Europeia (2014), www.europa.eu/index_pt.htm, consultado em Maio de 2014.
- [7] ICCT (2014), International council on clean transportation, “EU CO₂ emission standards for passenger cars and light-commercial vehicles”, Janeiro de 2014, pp 9.
- [8] Toyota Global (2014),
http://www.toyota-global.com/innovation/environmental_technology/hybrid/,
consultado em Março de 2014.
- [9] Luzia M. (2009), “Monitorização do Desempenho Energético de um Veículo Híbrido Lexus”, dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro.
- [10] Karden E., Ploumen S., Fricke B., Miller T., Snyder K. (2007), “Energy storage devices for future hybrid electric vehicles”, *Journal of Power Sources* 168, pp 2–11.
- [11] Lexus (2014), www.lexus.pt, consultado em Março de 2014.

- [12] Silva C., Ross M., Farias T. (2009), “Evaluation of energy consumption, emissions and cost of plug-in hybrid vehicles”, *Energy Conversion and Management* 50, pp 1635–1643.
- [13] Lave L., MacLean H. (2002), “An environmental-economic evaluation of hybrid electric vehicles: Toyota’s Prius vs. its conventional internal combustion engine Corolla”, *Transportation Research Part D* 7, pp 155-162.
- [14] Coelho M., Bastos L. (2008), “Avaliação do consumo energético de veículos híbridos”, dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro.
- [15] Heffner R., Kurani K., Turrentine T. (2007), “Symbolism in California’s early market for hybrid electric vehicles”, *Transportation Research Part D* 12, pp 396-413.
- [16] Guia do automóvel, www.guiadoautomovel.pt/, consultado em Abril de 2014.
- [17] Lista de veículos híbridos, <http://www.hybridcars.com/hybrid-cars-list>, consultado em Abril de 2014.
- [18] Auto Hoje (2014), www.autohoje.com, consultado em Abril de 2014.
- [19] Top Gear (2014), www.topgear.com consultado em Abril de 2014.
- [20] Audi (2014), www.audi.pt, consultado em Abril de 2014.
- [21] BMW (2014), www.bmw.pt, consultado em Abril de 2014.
- [22] Chevrolet (2014), www.chevrolet.pt, consultado em Abril de 2014.
- [23] Citroen (2014), www.citroenselect.pt, consultado em Abril de 2014.
- [24] Honda (2014), www.honda.pt, consultado em Abril de 2014.
- [25] Mercedes (2014), www.mercedes-benz.pt, consultado em Abril de 2014.
- [26] Mitsubishi (2014), www.mitsubishi-motors.pt, consultado em Abril de 2014.
- [27] Opel (2014), www.opel.pt, consultado em Abril de 2014.
- [28] Peugeot (2014), www.peugeot.pt consultado em Abril de 2014.
- [29] Porsche (2014), www.porsche.com/portugal, consultado em Abril de 2014.
- [30] Toyota (2014), www.toyota.pt consultado em Abril de 2014.
- [31] Volkswagen (2014), www.volkswagen.pt consultado em Abril de 2014.

- [32] Revisão ao Toyota Prius Plug-In (2014), <http://www.hybridcars.com/toyota-prius-plug/>, consultado em Abril de 2014.
- [33] Toyota (2014), “Catálogo Prius Plug-In”, www.toyota.pt, consultado em Abril de 2014, 21 pp.
- [34] Burress T. (2006), “Vector Control and Experimental Evaluation of Permanent Magnet Synchronous Motors for HEVs”, pp 104.
- [35] Departamento técnico Toyota (2014), “Hybrid vehicle dismantling manual”, pp 38.
- [36] Notícias Internacionais Opel (2014), <http://media.opel.com/>, consultado em Maio de 2014.
- [37] Opel (2014), “Catálogo Opel Astra”, www.opel.pt, consultado em Maio de 2014, pp 64.
- [38] Guia técnico da Injeção eletrónica de combustível (2014), www.performancefuelsystems.com/TechnicalGuidetoElectronicFuelInjection.htm, consultado em Junho de 2014
- [39] ERSE (2014), Entidade reguladora serviços energéticos, “Preços de referência no mercado liberalizado de energia elétrica e gás natural em Portugal continental”, <http://www.erse.pt/>, consultado a 29-04-14, pp 43.
- [40] ARAN (2014), Associação Nacional Ramo Automóvel, “Simulador de IUC em 2014” <http://www.site.aran.pt/index.php/simuladores/imposto-unico-de-circulacao>, consultado em Junho de 2014.