



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR  
Engenharia

# **Análise técnico-económica dos diferentes Sistemas de Propulsão Automóvel**

**Rodrigo Samuel dos Santos Barroso**

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

Orientador: Prof. Doutora Maria do Rosário Alves Calado

**Covilhã, Junho de 2011**



# Agradecimentos

A realização desta Dissertação marca o fim de uma importante etapa da minha vida. Gostaria de agradecer a todos aqueles que contribuíram de forma decisiva para a sua concretização. Assim, gostaria de expressar os meus sinceros agradecimentos:

À Professora Doutora Maria do Rosário Alves Calado, Professora Auxiliar no Departamento de Engenharia Electromecânica da Universidade da Beira Interior, principal responsável como orientadora científica, desejo expressar o meu agradecimento pela total compreensão, disponibilidade, aconselhamento, espírito crítico e construtivo e acima de tudo pelos ensinamentos transmitidos na presente dissertação.

Ao Professor Doutor João Matias, pela disponibilidade sempre demonstrada, interesse e cooperação no desenvolvimento deste trabalho.

À minha namorada Márcia, pelo seu amor, carinho, compreensão e ajuda que sempre me dedicou na realização desta dissertação bem como ao longo da nossa vida em comum.

Aos meus pais, pelo seu amor, apoio incondicional, ajudando-me nas decisões mais complicadas e dando-me sempre força ao longo da minha vida.

Ao Sr. Aníbal e D. Isabel, meus sogros, pelo carinho, apoio e força incondicional.

Aos meus cunhados, Sérgio pela sua ajuda e incentivo e Ângela pela sua ajuda e contribuição muito valiosa para este trabalho.

Ao meu irmão e cunhada, Nuno e Filipa pelo encorajamento e força incondicional.

Ao meu sobrinho, David por ser um raio de sol na nossa vida.



# Resumo

Face à necessidade crescente do Homem em se deslocar, surge também, desde há muito tempo, a preocupação em desenvolver diferentes soluções de mobilidade. Assim, nos últimos séculos foram desenvolvidos diversas alternativas. Contudo, nos últimos 100 anos assistiu-se a uma expansão e popularização de um modo imensurável do automóvel.

Neste sentido, os veículos automóveis são considerados uma presença fundamental na maioria das actividades desenvolvidas pelo Homem, pelo que, conceito como autonomia, conforto, versatilidade e rapidez são procurados aquando da aquisição de um determinado automóvel.

Também a queima de combustíveis fósseis é um dos grandes responsáveis pela emissão de gases poluentes para a atmosfera, que origina consequências graves, como o agravamento do efeito de estufa, levando a um aumento da temperatura do planeta, as alterações na flora e na fauna.

Desta forma, existem nos dias de hoje, um conjunto diversificado de combustíveis e de sistemas de propulsão alternativos aos convencionais.

De modo a ilustrar o funcionamento, o desempenho energético, as questões económicas e ambientais pretende-se apresentar os diferentes sistemas de propulsão automóvel, tendo por base a componente teórica subjacente a cada um deles, os aspectos técnicos, a componente económica e ambiental.

## Palavras-chave

Mobilidade, Automóvel, Propulsão, Efeito Estufa, Sistemas alternativos.



# Abstract

Face to the increasing need of the Man to displace, it also appears, since has much time, the concern in developing different solutions of mobility. According to this, in the last centuries several alternatives had been developed. However, in the last 100 years we've verified an immeasurably expansion and popularization of the automobile.

In this direction, the vehicles automobiles are considered a basic presence in the majority of the activities developed for the Man and concept as autonomy, comfort, versatility and speed are looked when purchasing a particular car.

Also the burning of fossil fuels is largely responsible for the emission of pollutant gases into the atmosphere, which leads to serious consequences such as the growing up of the greenhouse effect, leading to an increase of temperatures, changes in flora and fauna.

In such a way, they exist nowadays, a diversified set of fuels and alternative systems of propulsion.

In order to illustrate the behavior, the energy performance, the economics and ambient questions are intended to present the different systems of propulsion automobile, having in consideration the theoretical component underlying each of them, the technical, economic and environmental component.

# Keywords

Mobility, Vehicle, propulsion, Greenhouse effect, Alternative systems.



# Índice

<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
ENQUADRAMENTO.....	1
MOTIVAÇÃO .....	2
VISÃO GERAL DO DOCUMENTO.....	2
OBJECTIVO .....	3
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>5</b>
<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>5</b>
CONTEXTO ENERGÉTICO E AMBIENTAL MUNDIAL .....	5
IMPACTES AMBIENTAIS .....	8
POLÍTICA EUROPEIA PARA A ENERGIA .....	11
O SISTEMA ENERGÉTICO PORTUGUÊS .....	15
ESTRATÉGIA NACIONAL PARA A ENERGIA .....	19
MOBILIDADE SUSTENTÁVEL.....	21
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>23</b>
<b>INTRODUÇÃO - SISTEMAS DE PROPULSÃO AUTOMÓVEL.....</b>	<b>23</b>
SISTEMA DE PROPULSÃO .....	23
PROPULSÃO CONVENCIONAL .....	27
Sistema “aspirado” de gestão electrónica .....	41
Sistema de injeção sequencial .....	43
PROPULSÃO ELÉCTRICA A BATERIAS .....	46
Eficiência.....	63
Custo .....	63
Tolerância a avarias.....	63
Relação entre velocidade máxima e nominal.....	64
Segurança e Fiabilidade .....	64
Nível de maturação da tecnologia .....	64
Densidade de potência.....	64
Topologia A .....	66
Topologia B .....	66
Topologia C .....	66
Topologia D .....	66
Topologia E.....	67
Topologia F.....	67
SISTEMA DE PROPULSÃO HÍBRIDO ELÉCTRICO .....	68
Sistema Série .....	69
Sistema Paralelo .....	74
Sistema Série-Paralelo .....	78
Sistema Complexo .....	81
Micro .....	83
Mediano.....	84
Completo .....	84
Charge-depleting.....	85
Blended .....	85
Charge-sustaining .....	86

<b>CONSUMO DE ENERGIA PRIMÁRIA E EMISSÕES DE GASES DE EFEITO DE ESTUFA NOS DIFERENTES SISTEMAS DE PROPULSÃO .....</b>	<b>88</b>
<b>DETERMINAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA PRIMÁRIA .....</b>	<b>88</b>
Consumo de energia primária associado ao consumo de gasóleo .....	89
Consumo de energia primária associado ao consumo de energia eléctrica .....	89
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>93</b>
ANÁLISE COMPARATIVA DOS DIFERENTES SISTEMAS DE PROPULSÃO .....	100
<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>113</b>
CONCLUSÕES .....	113
DIRECÇÕES DE INVESTIGAÇÃO .....	114
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>117</b>
<b>SÍTIOS DA INTERNET .....</b>	<b>121</b>

# Lista de Figuras

Figura 1 - Taxa de crescimento do consumo de energia primária entre 1995 e 2004. ....	5
Figura 2 - Repartição do consumo de energia primária em 2004.....	6
Figura 3 - Repartição do consumo de energia final por combustível. ....	7
Figura 4 - Repartição da oferta de energia primária por combustível. ....	7
Figura 5 - Distribuição geográfica das principais reservas de combustíveis fósseis .....	8
Figura 6 - Repartição das emissões mundiais de GEE por sectores (2004).....	9
Figura 7 - Evolução mundial emissões GEE (1970-2004). ....	9
Figura 8 - Emissões de GEE por país .....	10
Figura 9 - Alterações verificadas na temperatura média do período 1961 - 1990.....	11
Figura 10 - Dependência energética do exterior em 2005.....	16
Figura 11 - Emissões de GEE e meta Quioto para Portugal. ....	17
Figura 12 - Emissões de GEE per capita (2004) e por unidade de PIB (2006).....	17
Figura 13 - Intensidade energética em 2005. ....	18
Figura 14 - Objectivos de electricidade renovável para 2010. ....	20
Figura 15 - Metas adoptadas no âmbito do Protocolo de Quioto. ....	21
Figura 16 - Representação esquemática das resistências ao deslocamento do veículo. ....	24
Figura 17 - Influência da forma da carroçaria na perturbação das linhas de corrente.....	25
Figura 18 - Determinação da área frontal A, de um veículo. ....	25
Figura 19 - Fluxo de energia através do Sistema de Propulsão Convencional.....	27
Figura 20 - Exemplo da cambota (vermelho), êmbolos ou pistões (cinzento), e os cilindros (azul). Encontra-se acoplada ao volante, que irá transferir a energia mecânica para a caixa de velocidades. ....	28
Figura 21 - Funcionamento de um motor de quatro tempos. ....	29
Figura 22 - Representação esquemática de uma embraiagem de fricção. ....	30
Figura 23 - Diagramas de força de tracção e de velocidade para um veículo ligeiro equipado com uma caixa manual de cinco velocidades.....	31
Figura 24 - Exemplos de conjuntos de transmissão para diferentes layouts do sistema de propulsão.....	32
Figura 25 - Reservatório tórico. ....	33
Figura 26 - Reservatório cilíndrico.....	33
Figura 27 - Multiválvula instalada do reservatório.....	35
Figura 28 - Esquema de funcionamento da multiválvula. ....	35
Figura 29 - Electroválvula de GPL em corte.....	36
Figura 30 - Aspecto exterior de uma electroválvula.....	36
Figura 31 - Computador de GPL.....	37
Figura 32 - Filtro de GPL. ....	37
Figura 33 - Redutor de GPL em corte. ....	38
Figura 34 - Aspecto exterior de um redutor de três estágios. ....	39
Figura 35 - Misturador.....	40
Figura 36 - Electroválvula de corte de gasolina. ....	40
Figura 37 - Esquema de funcionamento do sistema de “aspiração”. ....	41
Figura 38 - Componentes do sistema de gestão electrónica. ....	42
Figura 39 - Esquema de funcionamento do sistema de gestão electrónica.....	42
Figura 40 - Esquema de funcionamento da injeção sequencial. ....	44
Figura 41 - Computador de GPL do sistema de injeção sequencial. ....	44
Figura 42 - Topologia básica do veículo eléctrico a baterias. ....	46
Figura 43 - Constituição do veículo eléctrico a baterias.....	47
Figura 44 - Valores aproximados de energia específica tendo em conta o tipo de baterias. ..	50
Figura 45 - Valores aproximados de potência específica tendo em conta o tipo de baterias. .	50
Figura 46 - Valores aproximados de tempo de vida útil tendo em conta o tipo de baterias. ..	51
Figura 47 - Reacção verificada na célula de combustível. ....	53
Figura 48 - Diferentes conteúdos energéticos de alguns combustíveis utilizados nas células de combustíveis, por energia específica. ....	54
Figura 49 - Diferentes conteúdos energéticos de alguns combustíveis utilizados nas células de combustíveis, por densidade energética. ....	55
Figura 50 - Fluxo de energia no Sistema de Propulsão Eléctrico a Baterias em tracção. ....	57

Figura 51 - Exemplo de um Chopper para veículos de tracção eléctrica e respectivo esquema de ligações. ....	58
Figura 52 - Os dois grupos de tipos de motor a considerar para veículos eléctricos.....	58
Figura 53 - Constituição do motor de corrente contínua. ....	59
Figura 54 - Ilustração típica do motor de indução. ....	60
Figura 55 - Motor de relutância comutado, com 8 pólos no estator e 6 pólos no rotor. ....	61
Figura 56 - Exemplo de um motor eléctrico de corrente contínua de magnetos permanentes utilizado em veículos de tracção eléctrica.....	62
Figura 57 - Diferentes configurações de veículos eléctricos de baterias (D= Diferencial; E= Embraiagem; CV= Caixa de Velocidades; CVEF= Caixa de Velocidade de Engrenagem Fixa; M= Motor).....	65
Figura 58 - Sistema Série de um veículo híbrido eléctrico. ....	69
Figura 59 - Configuração Série a velocidade reduzida. ....	70
Figura 60 - Configuração Série durante aceleração. ....	70
Figura 61 - Configuração Série em velocidade constante. ....	71
Figura 62 - Configuração Série durante a travagem. ....	71
Figura 63 - Configuração Híbrida Paralelo. ....	74
Figura 64 - Configuração Paralelo no processo de ligação. ....	75
Figura 65 - Configuração Paralelo durante aceleração. ....	75
Figura 66 - Configuração Paralelo em velocidade constante. ....	76
Figura 67 - Configuração Paralelo durante a travagem. ....	76
Figura 68 - Acoplamento mecânico para um sistema de propulsão Híbrido Eléctrico Paralelo.....	77
Figura 69 - Configuração Híbrida Série-Paralelo. ....	79
Figura 70 - Configuração Série-Paralelo a velocidade reduzida. ....	79
Figura 71 - Configuração Série-Paralelo durante aceleração. ....	80
Figura 72 - Configuração Série-Paralelo a velocidade constante.....	80
Figura 73 - Configuração Série-Paralelo durante a travagem.....	81
Figura 74 - Configuração híbrida Complexa. ....	82
Figura 75 - Esquema de um veículo híbrido eléctrico de recarregamento pela rede.....	85
Figura 76 - Modos de operação do veículo híbrido eléctrico de recarregamento pela rede. ..	86
Figura 77 - Eficiência dos processos de obtenção do gasóleo.....	89
Figura 78 - Fontes Geradores de Electricidade. ....	90
Figura 79 - Eficiência dos processos de obtenção dos combustíveis utilizados no sistema electroprodutor português. ....	90
Figura 80 - Chevrolet Aveo 1.2 LS GPL.....	93
Figura 81 - Chevrolet Aveo 1.2 LS Gasolina .....	95
Figura 82 - Opel Corsa 1.3 CDTI Gasóleo .....	96
Figura 83 - Honda Jazz Hybrid Confort .....	97
Figura 84 - Nissan Leaf.....	99
Figura 85 - Custos de investimento inicial por tipo de veículo. ....	106
Figura 86 - Consumo de combustível por tipo de veículo.....	106
Figura 87 - Emissões de CO <sub>2</sub> por tipo de veículo. ....	107
Figura 88 - Número de quilómetros percorridos no ano de 2010 com o veículo de sistema GPL. ....	107
Figura 89 - Consumo de combustível por tipo de veículo, tendo por base o ano de 2010. ....	108
Figura 90 - Emissões de CO <sub>2</sub> por tipo de veículo, tendo por base o ano de 2010. ....	109
Figura 91 - Gasto por tipo de veículo, tendo por base o ano de 2010.....	110
Figura 92 - Análise comparativa dos custos de utilização e aquisição, por diferentes tipos de veículos.....	111



# Lista de Tabelas

Tabela 1 - Dados obtidos de um fabricante lituano de reservatórios de alta pressão.....	34
Tabela 2 - Componentes que constituem a injeção sequencial.....	43
Tabela 3 - Características dos tipos de baterias. ....	49
Tabela 4 - Constituintes da célula de combustível. ....	52
Tabela 5 - Diferentes conteúdos energéticos de alguns combustíveis utilizados nas células de combustíveis. ....	54
Tabela 6 - Classificação de células de combustível por tipo de electrólito. ....	56
Tabela 7 - Comparação dos sistemas de propulsão. ....	62
Tabela 8 - Eficiência dos processos de obtenção de combustíveis.....	88
Tabela 9 - Características do Chevrolet Aveo 1.2 LS GPL.....	94
Tabela 10 - Características do Chevrolet Aveo 1.2 LS Gasolina.....	95
Tabela 11 - Características do Opel Corsa 1.3 CDTI Gasóleo.....	96
Tabela 12 - Características do Honda Jazz Hybrid Confort.....	98
Tabela 13 - Características do Nissan Leaf.....	99
Tabela 14 - Dados reais do veículo GPL. ....	101
Tabela 15 - Dados convertidos para Chevrolet Aveo 1.2 LS Gasolina. ....	102
Tabela 16 - Dados convertidos para Corsa 1.3 CDTI Gasóleo. ....	103
Tabela 17 - Dados convertidos para Jazz Hybrid Confort. ....	104
Tabela 18 - Dados convertido para Nissan LEAF - Puro Eléctrico. ....	105



# Lista de Acrónimos

IEA	International Energy Agency
EIA	Environmental Impact Assessment
OECD/IEA	Organisation for Economic Co-operation and Development/Environmental Impact Assessment
BP	British Petroleum
GEE	Gases com Efeito de Estufa
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
DL	Decreto de Lei
UE	União Europeia
CE	Comunidade Europeia
CELE	Comércio Europeu de Licença de Emissão
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
EUROSTAT	Serviço de Estatística das Comunidades Europeias
PIB	Produto Interno Bruto
PNALE	Plano Nacional de Alocação de Licenças de Emissão
GPL	Gás de Petróleo Liquefeito
UCE	Unidade de comando electrónica
TPS	Sensor de posição da borboleta de acelerador
Pb	Chumbo
Ni-Cd	Níquel-Cádmio
Ni-MH	Níquel-Metal-Hidrato
Li-Ion	Iões de Lítio
CC	Corrente contínua
CA	Corrente Alternada





# Capítulo 1

## Introdução

Neste capítulo é apresentada uma breve introdução à temática dos sistemas de propulsão automóvel: análise técnico-económica. Apresenta-se o enquadramento do tema, bem como a abordagem à temática. No final deste capítulo é descrita a forma como a presente dissertação se encontra organizada.

## Enquadramento

Face à necessidade crescente do Homem em que se deslocar, surge também, desde há muito tempo, a preocupação em desenvolver diferentes soluções de mobilidade. Assim, nos últimos séculos foram desenvolvidas diversas alternativas. Contudo, nos últimos 100 anos assistiu-se a uma expansão e popularização de um modo imensurável do automóvel.

Neste sentido, os veículos automóveis são considerados uma presença fundamental na maioria das actividades desenvolvidas pelo Homem, pelo que, conceito como autonomia, conforto, versatilidade e rapidez são procurados aquando da aquisição de um determinado automóvel. No entanto, a sua utilização intensiva acarreta algumas desvantagens, tais como, o congestionamento de trânsito, que resulta em situações de ansiedade e mal-estar por parte dos utilizadores, bem como, a utilização de energia de uma forma pouco eficiente, onde estão associadas as emissões de gases poluentes.

Em Portugal, verifica-se que a quase totalidade dos veículos automóveis funcionam através a queima de combustíveis que derivam do petróleo, pelo que se prevê um esgotamento das reservas desta fonte de energia num futuro próximo, levando à existência de um equilíbrio entre a oferta e a procura e, conseqüentemente, a um aumento significativo dos preços.

Também a queima de combustíveis fósseis é um dos grandes responsáveis pela emissão de gases poluentes para a atmosfera, que origina conseqüências graves, como o agravamento do efeito de estufa, levando a um aumento da temperatura do planeta, as alterações na flora e na fauna.

Desta forma, existem nos dias de hoje, um conjunto diversificado de combustíveis e de sistemas de propulsão alternativos aos convencionais.

## **Motivação**

Os sistemas de propulsão alternativos aos convencionais possibilitam reduzir a dependência externa de combustíveis fósseis e as emissões de GEE associados, melhorar a qualidade de vida das cidades, bem como a qualidade da mobilidade das famílias e das próprias empresas.

Assim, os diferentes sistemas de propulsão automóvel, os aspectos técnicos e económicos, bem como a componente ambiental associadas a cada um deles são os factores motivadores para a realização e concretização da presente dissertação.

A presente dissertação visa apresentar os diferentes sistemas de propulsão automóvel, tendo por base a componente teórica específica de cada um deles, assim como, a componente económica e ambiental.

De modo a ilustrar o funcionamento e o desempenho energético e as questões económicas e ambientais de um determinado sistema de propulsão automóvel, apresentamos também no presente trabalho, um caso prático que abrange os diferentes sistemas de propulsão estudados.

Com a realização deste trabalho, pretendemos divulgar e explicitar os sistemas de propulsão automóvel, de modo a incrementar o interesse e, conseqüentemente, o número destes sistemas alternativos em Portugal.

## **Visão Geral do Documento**

A presente dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos. O Capítulo 2 destina-se à caracterização do contexto energético e questões ambientais e o Capítulo 3 é destinado à descrição dos diferentes sistemas de propulsão automóvel. O Capítulo 4 é destinado à apresentação do caso prático e o Capítulo 5 conclui a tese. Apresenta-se a seguir uma descrição mais detalhada do conteúdo de cada um dos capítulos.

No Capítulo 2 são enunciado os aspectos referentes ao contexto energético mundial e nacional, bem como, os impactos ambientais. São referidas também as medidas europeias e nacionais para a energia e ainda é feito uma breve caracterização do sistema energético português.

No Capítulo 3 apresentam os diferentes sistemas de propulsão automóvel, enunciando os seus aspectos teóricos, económicos e ambientais.

No Capítulo 4 apresenta-se o caso prático no qual se analisa o consumo de cada um dos sistemas de propulsão, a emissão de gases poluentes (CO<sub>2</sub>), questões financeiras, tendo por base uma análise comparativa entre os diferentes sistemas apresentados.

Finalmente, no Capítulo 5 enuncia-se uma síntese do estudo e apresentam-se as principais conclusões resultantes da presente dissertação. Apresentam-se também algumas sugestões para estudos futuros.

## **Objectivo**

Nesta dissertação pretende-se caracterizar alguns dos sistemas de propulsão automóvel, enfatizando a componente técnico-económica dos mesmos, bem como, o impacte ambiental de cada um.

O objectivo principal do trabalho consiste em estudar os sistemas de propulsão automóvel, nomeadamente, propulsão convencional, GPL automóvel, propulsão eléctrica a baterias e propulsão híbrido eléctrico, os seus aspectos teóricos, económicos e ambientais.



# Capítulo 2

## Introdução

### Contexto energético e ambiental mundial

Actualmente, no contexto energético mundial são cada vez mais urgentes as preocupações com a segurança do abastecimento, bem como, com os efeitos na competitividade económica, onde pode ser também inserido o impacto da utilização de energia nas alterações climáticas.

Neste sentido, a energia é uma componente primordial para o desenvolvimento económico e para o desenvolvimento social. Assim, nos países desenvolvidos em 2001, 1 em cada 5 habitantes do nosso planeta teve acesso à energia necessária para assegurar os padrões de vida dos mesmos (Baudoin, 2007).

Deste modo, 1000 milhões de habitantes dos países desenvolvidos eram responsáveis pelo consumo de, aproximadamente, 50% da oferta da energia a nível mundial. Porém, os 1000 milhões mais pobres da Terra consumiram somente 4%. Face a esta situação, concomitantemente com a pressão de crescimento demográfico e ainda pelo facto de a energia ser considerada um bem necessário ao desenvolvimento económico, tem-se verificado um incremento generalizado do seu consumo (Meneses, 2009).

Na Figura 1 pode-se observar as maiores taxas de crescimento e consumo de energia primária, entre o período de 1995 a 2004.

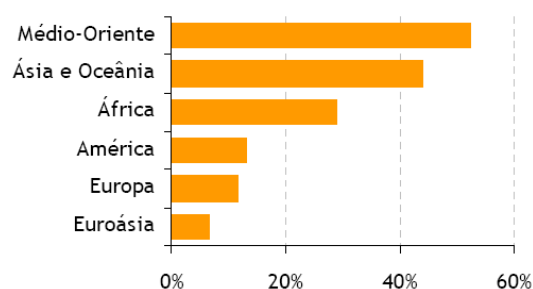


Figura 1 - Taxa de crescimento do consumo de energia primária entre 1995 e 2004.

Fonte: IEA (2007).

Em termos mundiais, no ano de 2004, países como os Estados Unidos da América, China, Rússia e Japão representavam os quatro maiores consumidores de energia primária, perfazendo 48% do consumo mundial. Especificamente no continente europeu, a Alemanha, O Reino Unido, a França e a Itália representam os principais consumidores de energia primária, sendo que no ano de 2004 representavam 52% da energia primária (Figura 2) (Damas, 2008).

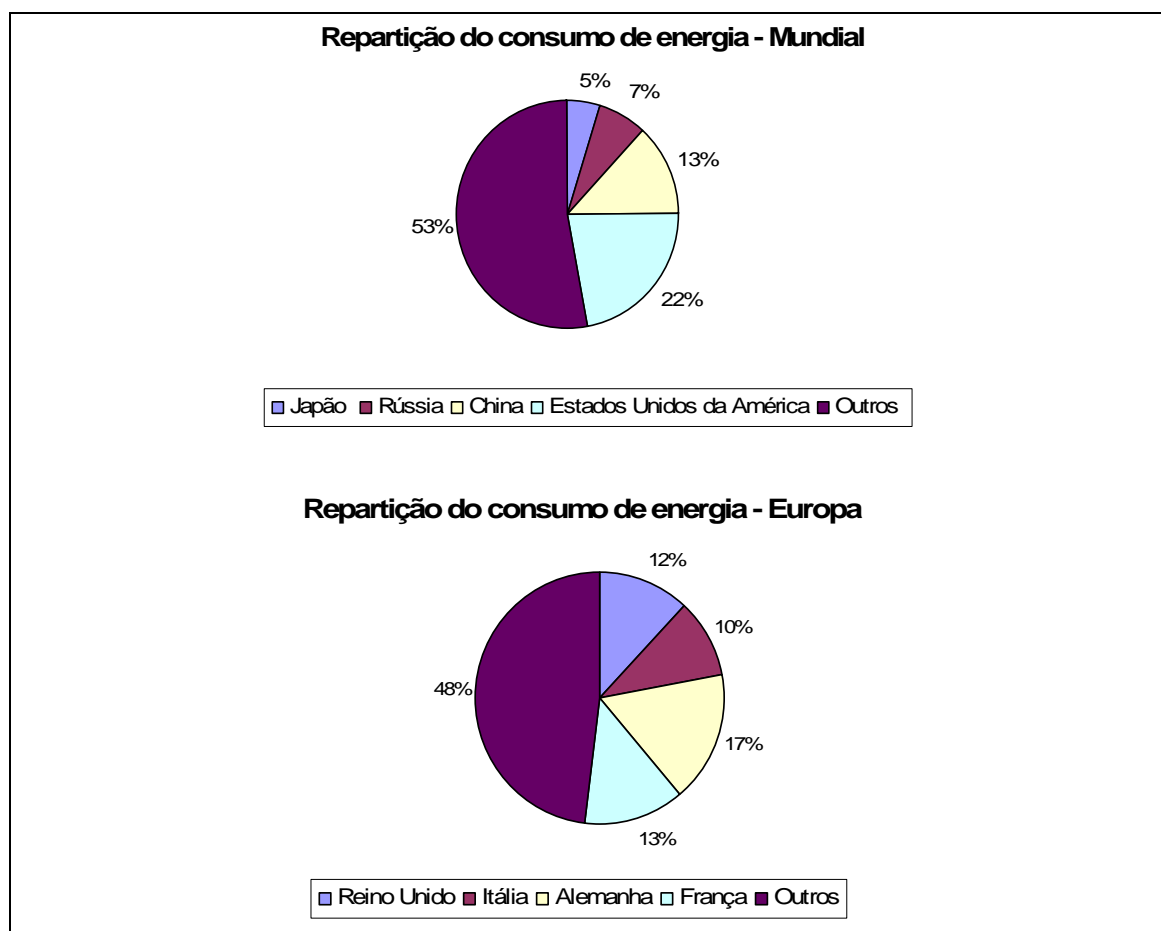


Figura 2 - Repartição do consumo de energia primária em 2004.

Fonte: IEA (2006)

Já em termos *per capita*, e considerando novamente o ano de 2004, os consumos mais elevados verificam-se em países do Médio-Oriente, da América do Norte e da Europa, sendo que o Qatar encontra-se com um valor mais elevado quanto à procura com o consumo de 21,4 tep/pessoa. No entanto, valores mais baixos verificaram-se em países africanos e asiáticos, onde o Bangladesh apresentou os menores consumos, com um valor de 0,2 tep/pessoa. Posto isto, constata-se uma grande discrepância quanto à distribuição geográfica do consumo energético e, por isso, prever um aumento da procura, particularmente, nos países menos desenvolvidos (Brito & Silva, 2003).

Neste sentido, o consumo de energia final assenta fundamentalmente em combustíveis fósseis. Desta forma, no final do ano de 2005, o petróleo, o gás natural e o carvão contribuíram em 67% para satisfazer a procura mundial de energia. No entanto, tendo em conta o mesmo ano, a electricidade representou 16% do consumo e o recurso a fontes renováveis e a resíduos 17%, completando o cenário da procura (Figura 3).

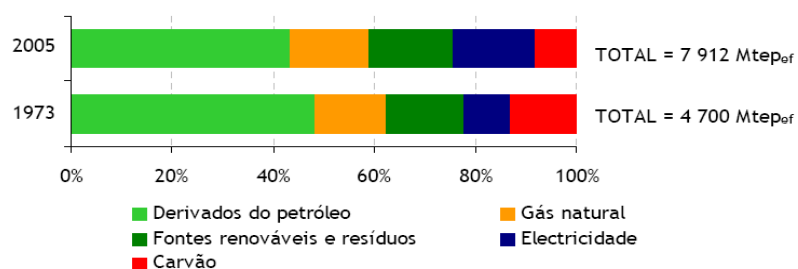


Figura 3 - Repartição do consumo de energia final por combustível.

Fonte: OECD/IEA (2007).

Desta forma, apesar de se verificar um aumento do interesse em relação às fontes de energias renováveis, em 2005, a oferta de energia primária continuou a basear-se particularmente em combustíveis de origem fóssil, nomeadamente, o petróleo, o gás natural e o carvão, representando cerca de 87% do total da oferta de energia primária nesse ano. Já a produção hídrica e nuclear representavam 2% e 6% respectivamente e as fontes renováveis representam 10% da oferta de energia primária no ano de 2005 (Figura 4) (Damas, 2008).

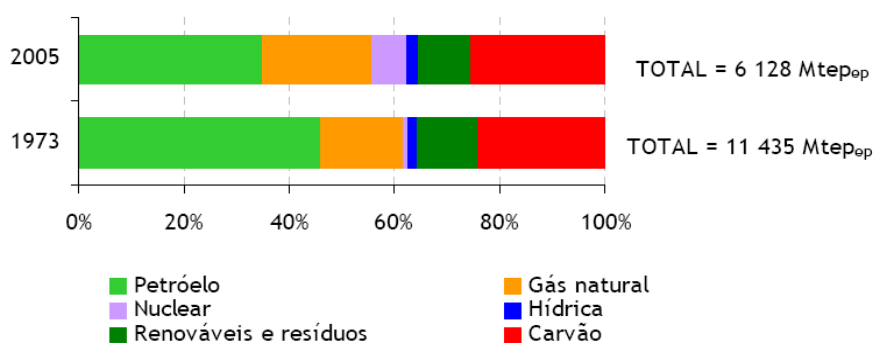


Figura 4 - Repartição da oferta de energia primária por combustível.

Fonte: OECD/IEA (2007).

A Agência Internacional de Energia prevê que se observe um incremento de 55% da procura de energia primária entre 2005 e 2030, com uma taxa anual média de 1,8%. Estima também que os combustíveis fósseis continuem a ser a fonte de energia primária primordial, contribuindo em cerca de 84% para o aumento da procura anteriormente referido. Deste modo, cerca de metade deste aumento, deverá acontecer para dar resposta à produção de electricidade e uma quinta parte para satisfazer as necessidades de transporte, particularmente combustíveis de origem fóssil (Brito & Silva, 2003).

Quanto às reservas de combustíveis fósseis, o petróleo encontra-se em maior número no Médio Oriente e o carvão encontra-se mais disponível em três regiões: Ásia Pacífico, América do Norte e Europa e Euroásia (Figura 5).

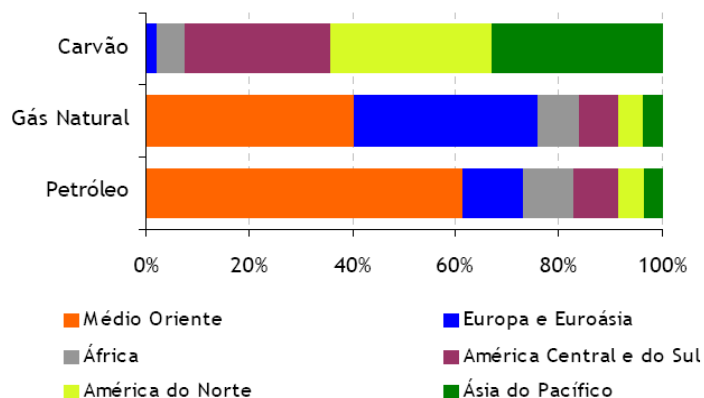


Figura 5 - Distribuição geográfica das principais reservas de combustíveis fósseis  
Fonte: BP (2007).

## Impactes Ambientais

Quer a produção, quer o consumo apresentam impactos ambientais significativos, como por exemplo, a emissão de gases com efeito de estufa (GEE) que acarretam consequências ao nível das alterações climáticas (Brito & Silva, 2003).

Neste sentido, desde o início do período pré-industrial, estas emissões têm vindo a aumentar como resultado de actividades antropogénicas, onde a queima de combustíveis fósseis são a principal fonte emissora (Figura 6) (Meneses, 2009).

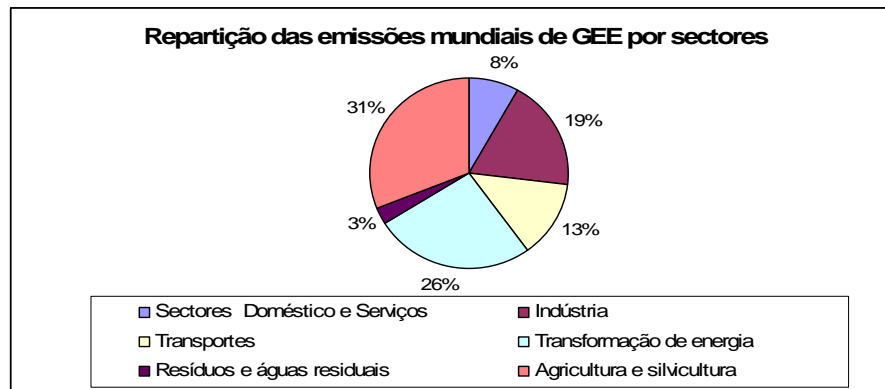


Figura 6 - Repartição das emissões mundiais de GEE por sectores (2004)

Fonte: IPCC (2007).

Apesar da utilização de tecnologias livres de carbono, especificamente, o recurso a energias renováveis, da implementação de vários mecanismos políticos, do aumento dos preços das *comodities* energéticas, a emissão de GEE provenientes da queima de combustíveis fósseis têm aumentando anualmente. Particularmente, entre 1970 e 2000, esta emissão aumentou em média 1,9% por ano, sendo que a emissão de CO<sub>2</sub> tem aumentado a uma taxa de 2,2% por ano (Figura 7) (Meneses, 2009).

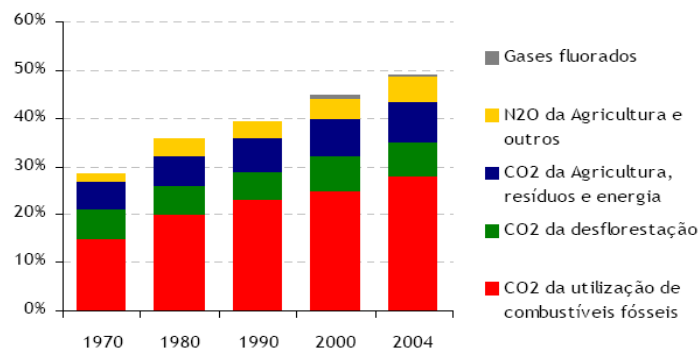
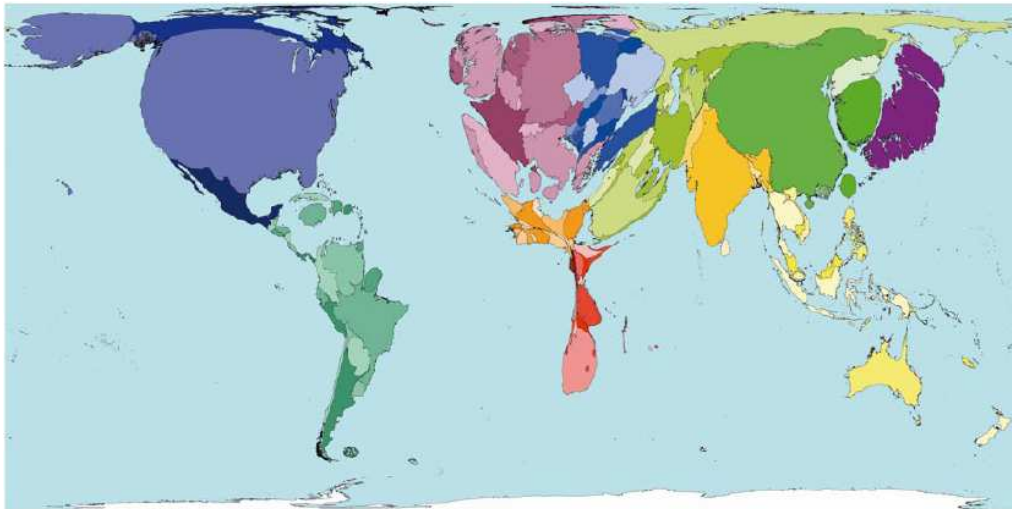


Figura 7 - Evolução mundial emissões GEE (1970-2004).

Fonte: IPCC (2007).

Na Figura 8 pode-se observar um planisfério onde a dimensão dos países foi ajustada, tendo em conta a sua proporção com o potencial de aquecimento global das suas emissões, sendo que os países que contribuem mais para a emissão de GEE localizam-se no hemisfério norte e

coincidem com os maiores consumidores de energia, nomeadamente, Estados Unidos, China, Rússia e Japão.



**Figura 8 - Emissões de GEE por país**

Fonte: Damas (2008).

Posto isto, verifica-se que os países que contribuem mais para a emissão de GEE localizam-se no hemisfério norte e coincidem com os maiores consumidores de energia, nomeadamente, Estados Unidos, China, Rússia e Japão.

Desta forma, existem evidências científicas de que o incremento destas emissões promove o aquecimento global do clima, ao aumentar a retenção de radiações infravermelhas pela atmosfera - efeito de estufa (Brito & Silva, 2003).

Assim, tendo em conta os últimos 30 anos, a temperatura global aumentou, aproximadamente, 0,2°C por década. A década mais quente alguma vez registada ocorreu desde 1990. Estas mudanças podem ser verificadas na fauna e na flora, como por exemplo, na deslocação de algumas espécies e ainda no florescimento prematuro (Figura 9).

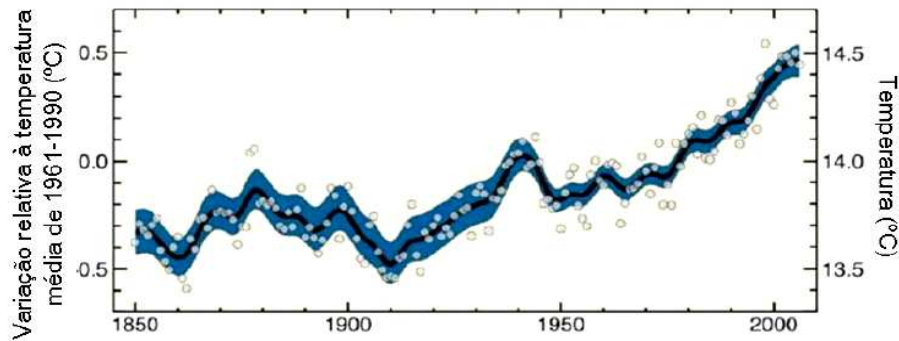


Figura 9 - Alterações verificadas na temperatura média do período 1961 - 1990.

Fonte: IPCC (2007).

As alterações climáticas despoletaram na comunidade internacional acções para fazer face à problemática das emissões de GEE, como a criação de instrumentos de combate global a este problema, sendo exemplos a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (CQNUAC) e o Protocolo de Quioto (Brito & Silva, 2003; Coelho & Bastos, 2008).

De forma a promover a diminuição das emissões de CO<sub>2</sub>, em condições económicas eficientes, bem como oferecer uma boa relação custo-eficácia, a União Europeia (UE) implementou o Comércio Europeu de Licença de Emissão (CELE), sendo o primeiro regime internacional de comércio para as emissões de CO<sub>2</sub> a nível mundial e, por isso, é considerado o principal impulsionador do mercado de carbono global emergente (Brito & Silva, 2003).

## Política Europeia para a Energia

A UE encara grandes lutas no que concerne à energia, nomeadamente, quanto à sustentabilidade e quanto à emissão de gases poluentes, segurança do abastecimento, dependência das importações, entre outros.

Face a esta situação e concomitantemente com o aumento do preço do petróleo e da instabilidade política, que tem vindo acontecer em alguns países normalmente fornecedores da UE, fez com que despoletasse a necessidade de criação de uma política energética pela UE.

De acordo com Damas (2008) das propostas mais significativas da UE são:

- *A redução da emissão interna de GEE em, pelo menos 20% até 2020 em relação aos níveis de 1990, e até 30% no quadro de um acordo internacional em que os países desenvolvidos assumam compromissos comparáveis entre si;*
- *A redução em 20% do seu consumo de energia até 2020, através de esforços concretos no que respeita à poupança de energia no sector dos Transportes, ao desenvolvimento de requisitos mínimos de eficiência para os equipamentos consumidores de energia, à sensibilização dos consumidores para um comportamento racional e económico no consumo de energia, à melhoria da eficiência da produção, ao transporte e distribuição de calor e de electricidade ou ainda ao desenvolvimento de tecnologias energéticas e ao desempenho energético dos edifícios;*
- *Um roteiro para as energias renováveis que fixa o objectivo vinculativo de 20% do consumo de energia proveniente de fontes de energia renovável até 2020, sendo que naquela data 10% dos combustíveis utilizados na UE deverão ser biocombustíveis;*
- *A concretização e aprofundamento do mercado interno de electricidade e do gás que permita garantir a liberdade da escolha dos consumidores, das empresas e dos fornecedores através da separação das actividades de produção e distribuição de energia (unbundling) e uma regulação efectiva;*
- *Um Plano Prioritário para as Interconexões, no sentido de limitar a vulnerabilidade da UE em relação às suas importações, às rupturas de abastecimento, às eventuais crises energéticas ou à incerteza que pesa sobre o abastecimento futuro. A política energética põe a tónica na importância de mecanismos que garantam a solidariedade entre os Estados-Membros, bem como na diversificação das fontes de abastecimento e das vias de transporte;*
- *O reconhecimento do papel da energia nuclear no cabaz energético para alguns Estados-membros;*
- *A apresentação de um Plano Estratégico para as Tecnologias Energéticas que ajudará a completar uma nova “revolução industrial” na UE, destacando-se o objectivo de, até 2020, ter em funcionamento 12 centrais de captura e armazenamento de carbono.*

No que concerne às propostas do plano internacional, salientamos:

- *A adoção em negociações internacionais do objectivo de redução de 30% das emissões de gases com efeito de estufa pelos países desenvolvidos até 2020 tendo como referência os níveis de 1990;*
- *Um acordo internacional sobre eficiência energética, de forma a atingir os objectivos em matéria de redução de emissões de CO<sub>2</sub> e facilitar a negociação de um futuro regime climático pós-2012;*
- *Outros acordos, nomeadamente no que respeita à interligação entre o regime de comércio de emissões europeu com regimes compatíveis de outros países, ao Tratado da Carta de Energia e à promoção de tecnologias limpas e renováveis;*
- *O aprofundamento das relações com os países produtores e de trânsito, destacando-se alguns deles (Rússia, Noruega, Argélia), sendo um dos instrumentos a extensão do Tratado da Comunidade da Energia a todos os países vizinhos;*
- *Encetar relações com países consumidores e lançar uma Parceria Europa-África;*
- *Privilegiar as questões da segurança, tanto nuclear como de abastecimento.*

Neste sentido, de modo a conseguir reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> em 60 a 80% até 2050, comparativamente ao ano de 1990, será imprescindível que a procura de energia não aumente, mantendo-se ao nível do actual. Desta forma, é preciso duplicar o objectivo da eficiência energética dos 20% fixados para o ano de 2020 pela UE, para os 40% em 2050. Também será fundamental existir uma revolução em termos tecnológicos no que respeita à produção de electricidade que possibilita uma aproximação ao grau zero de emissões. Será ainda necessário a continuação da expansão das fontes renováveis de energia, bem como, a generalização do carvão limpo. Outra medida passa pela redução dos níveis de CO<sub>2</sub> nos sectores dos Transportes, Indústria e Serviços, como também nas residências (Damas, 2008).

De forma a concretizar os acordos adoptados pela UE no que diz respeito à redução da emissão de carbono, em Janeiro de 2008, a Comissão Europeia apresentou um conjunto de medidas (Damas, 2008). São elas:

- *Um sistema de comércio de emissões melhorado, abrangendo mais emissões e permitindo às empresas de um país comprar licenças em qualquer outro país da UE;*

- *Uma meta de redução de emissões para os sectores não cobertos pelo regime de comércio de emissões (construção, transporte, resíduos), para que todos contribuam;*
- *Objectivos juridicamente vinculativos para aumentar a parte das energias renováveis no cabaz energético, reflectindo as necessidades e o potencial de cada país;*
- *Novas regras em matéria de sequestro e armazenamento de carbono e de subsídios ambientais.*

Também existem diversas directivas que têm vindo a ser publicadas nesta área, especificamente, quanto à promoção das energias renováveis, cogeração e biocombustíveis, eficiência energética e mercado interno de electricidade e gás natural (Damas, 2008).

- *Directiva 2001/77/CE, relativa à promoção da electricidade produzida a partir de fontes de energia renováveis no mercado interno da electricidade. Os Estados-Membros estão sujeitos ao cumprimento de metas indicativas nacionais relativas ao consumo bruto de electricidade produzida a partir de fontes renováveis em 2010. A quota portuguesa foi recentemente revista para 45%;*
- *Directiva 2004/8/CE - relativa à promoção da cogeração com base na procura de calor útil no mercado interno da energia, tendo em conta as condições específicas nacionais, nomeadamente em matéria de condições climáticas e económicas;*
- *Directiva 2003/30/CE - relativa à promoção da utilização de biocombustíveis ou de outros combustíveis renováveis nos Transportes, em substituição do gasóleo ou da gasolina para efeitos de transporte. Até 31 de Dezembro de 2010, o valor de referência é de 5,75% de toda a gasolina e de todo o gasóleo. Portugal assumiu recentemente a meta de 10% para 2010;*
- *Directiva 2002/91/CE - com o objectivo promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios, tendo em conta as condições climáticas externas e as condições locais, bem como as exigências em matéria de clima interior e a rentabilidade económica. A sua transposição para o direito nacional em 2006 deu origem aos regulamentos RSECE (DL 79/2006) e RCCTE (DL 80/2006);*
- *Directiva 2003/66/CE - estabelece as normas no que diz respeito à rotulagem energética. Transposta pelo Decreto-Lei n.º 1/2006, de 2 de Janeiro, que estabelece as regras relativas à*

*indicação do consumo de electricidade, por meio de etiquetagem, de frigoríficos, congeladores e respectivas combinações;*

*- Directiva 2006/32/CE – relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos. Os Estados-Membros devem adoptar e procurar atingir um objectivo global nacional indicativo de economias de energia de 9% para o nono ano de aplicação da directiva, a alcançar através de serviços energéticos e de outras medidas de melhoria da eficiência energética;*

*- Directiva 2005/32/CE - relativa à criação de um quadro para definir requisitos de concepção ecológica dos produtos que consomem energia;*

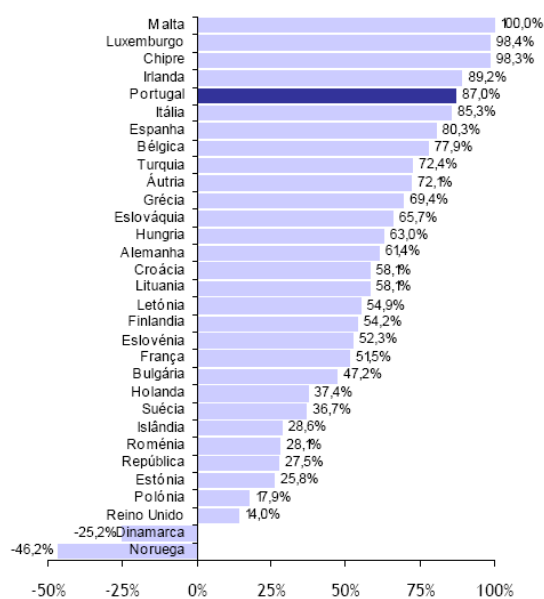
*- Directiva 2003/54/CE - estabelece regras comuns para o mercado interno da electricidade, definindo as normas relativas à organização e ao funcionamento do sector da electricidade e ao acesso ao mercado, bem como os critérios e mecanismos aplicáveis aos concursos, à concessão de autorizações e à exploração das redes;*

*- Directiva 2003/55/CE e Rectificação - estabelece regras comuns para o mercado interno do gás natural, definindo as normas relativas à organização e ao funcionamento do sector do gás natural e ao acesso ao mercado, bem como os critérios e mecanismos aplicáveis à concessão de autorizações de transporte, distribuição, fornecimento e armazenamento de gás natural e à exploração das redes,*

*- Directiva 2005/89/CE - relativa a medidas destinadas a garantir a segurança do fornecimento de electricidade e o investimento em infra-estruturas.*

## **O Sistema Energético Português**

Portugal é um país caracterizado por um consumo de energia crescente, uma produção nacional modesta e, conseqüentemente, uma forte dependência de importação de combustíveis para satisfazer os seus consumos. Especificamente, no ano de 2005, a dependência do exterior elevou-se aos 87% do total de energia primária consumida, o que posicionou Portugal no quinto lugar dos países que constituem a UE com maior dependência energética externa (Figura 10) (Damas, 2008).



**Figura 10 - Dependência energética do exterior em 2005.**

**Fonte: EUROSTAT (2007).**

Deste modo, o incremento dos preços das matérias-primas, seguido por uma tendência crescente da procura energética, tem vindo a aumentar o peso da factura energética nacional dos combustíveis importados (Damas, 2008).

Apesar da componente económica relacionada à utilização de combustíveis fósseis, existe uma preocupação com a componente ambiental, na medida em que, como foi referido anteriormente, trata-se de uma das primordiais fontes de emissões de GEE (Meneses, 2009).

Não obstante os esforços realizados para o cumprimento do Protocolo de Quioto, em Portugal estas emissões medidas em CO<sub>2</sub> equivalente aumentaram entre 1990 e 2004 a uma taxa de 3% por ano, sendo que em 2004 encontrava-se um valor aproximado de 9,6% acima do estabelecido para o período de 2008 a 2012 (Figura 11).

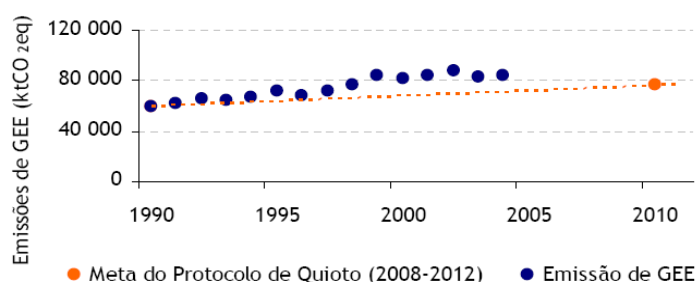


Figura 11 - Emissões de GEE e meta Quioto para Portugal.

Fonte: EUROSTAT (2007).

Assim, os principais motivos que justificam o aumento de emissões de GEE no período de tempo apresentado passam pelo crescimento da economia, a procura da energia, o volume de tráfego, entre outros. Também os parâmetros meteorológicos, como a precipitação têm um efeito significativo na produção hidroelétrica, o que influencia essencialmente na variabilidade das emissões nacionais (Damas, 2008).

Em relação aos restantes países da UE 25, Portugal foi um dos países que no ano de 2004 apresentou um incremento maior no que respeita às emissões de GEE face ao ano de 1990, um acréscimo em cerca de 42%. Concomitantemente apresentou menores valores quanto à captação de CO<sub>2</sub>, que podem ser justificadas pela utilização mais limitada do consumo de energia, particularmente, no aquecimento dos edifícios e por uma intensidade carbónica (emissões por PIB) média (Figura 12) (Meneses, 2009).

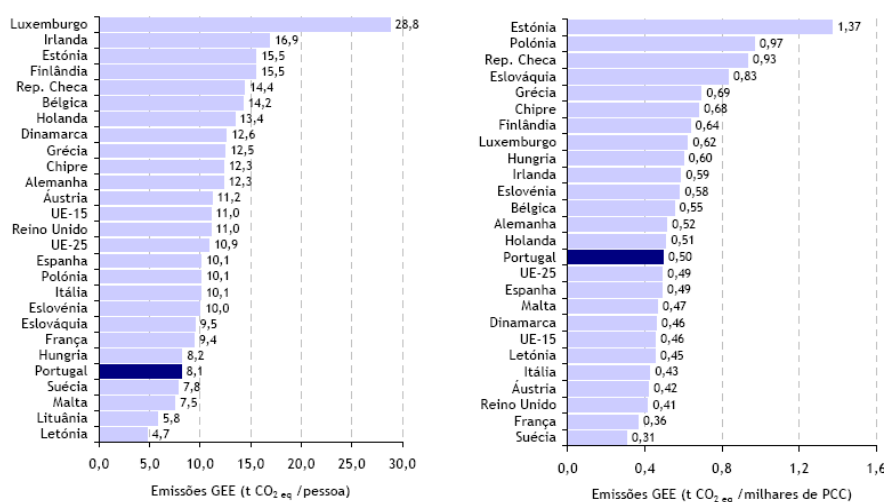
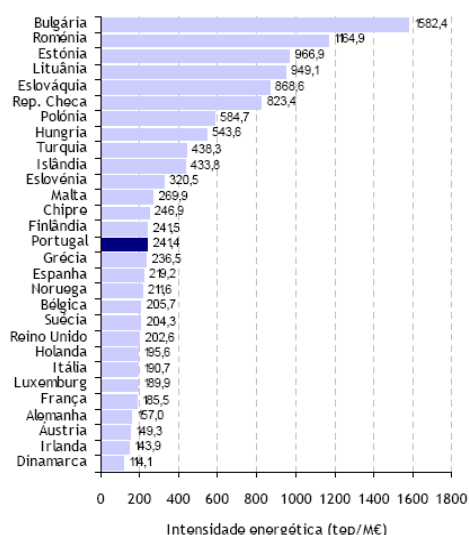


Figura 12 - Emissões de GEE per capita (2004) e por unidade de PIB (2006).

Fonte: EUROSTAT (2007).

No que diz respeito à intensidade energética, em 2005, Portugal apresentou um valor médio em relação aos outros países europeus. Este valor apresenta a eficiência com que com a energia é utilizada e é calculada através do quociente entre o consumo total de energia primária e o produto interno do país.

Na Figura 13 pode-se verificar que no ano de 2005, Portugal gastou mais de 112% de energia para criar o mesmo milhão de euros quando comparado com a Dinamarca. Contudo, gastou menos do que muitos países do leste e centro europeu, incluindo a Noruega que é o mais intensivo de todos. Apesar de Portugal ter ocupado a 15ª posição no índice das intensidades na Europa, existem diversos países de valores menores de intensidade que apresentam necessidades energéticas claramente superiores em valor absoluto, tendo em conta os respectivos climas (Damas, 2008).



**Figura 13 - Intensidade energética em 2005.**

**Fonte: EUROSTAT (2007).**

Para justificar a intensidade energética de Portugal é necessário mencionar todo um conjunto de perdas do lado da oferta de energia, quer sejam na transformação, quer no transporte e distribuição e do lado da procura, em que os consumidores assumem um papel primordial para minimizar as ineficiências, não só através da modificação de comportamentos individuais, como também na utilização de equipamentos mais eficientes (Meneses, 2009).

## Estratégia Nacional para a Energia

Portugal, ao apresentar valores elevados de intensidade energética da economia, e tendo maior dependência externa da UE, coloca-se face a grandes desafios na área energética. Desta forma, as directivas da política energética nacional - Programa do XVII Governo Constitucional de 2005-2009 e a Resolução do Conselho de Ministros ROM 169/2005 de 24 de Outubro foram estabelecidos com o intuito de contrariar as tendências históricas e de posicionar Portugal numa condição mais favorável no contexto energético europeu e mundial (Damas, 2008). Estes objectivos passam por:

- *Garantir a segurança do abastecimento de energia, através da diversificação dos recursos primários e dos serviços energéticos e da promoção da eficiência energética na cadeia da oferta e na procura de energia;*
- *Estimular e favorecer a concorrência, de forma a promover a defesa dos consumidores, bem como a competitividade e a eficiência das empresas, quer as do sector da energia quer as demais do tecido produtivo nacional;*
- *Garantir a adequação ambiental de todo o processo energético, reduzindo os impactos ambientais às escalas local, regional e global, nomeadamente no que respeita à intensidade carbónica do PIB.*

Assim, a segurança de abastecimento tem como objectivos maximizar a autonomia energética e minimizar os riscos que estejam relacionados à dependência, pelo que é necessário existir tanto o equilíbrio como a variação das diversas fontes de abastecimento. Posto isto, Portugal adoptou perante a UE e para o ano de 2010, um objectivo de 39% do consumo de electricidade satisfeito por produção provenientes das fontes renováveis de energia. Em 2010 esta taxa fixou-se nos 45% do consumo bruto nacional de electricidade garantido unicamente por fontes de energia renovável (Figura 14) (Damas, 2008).

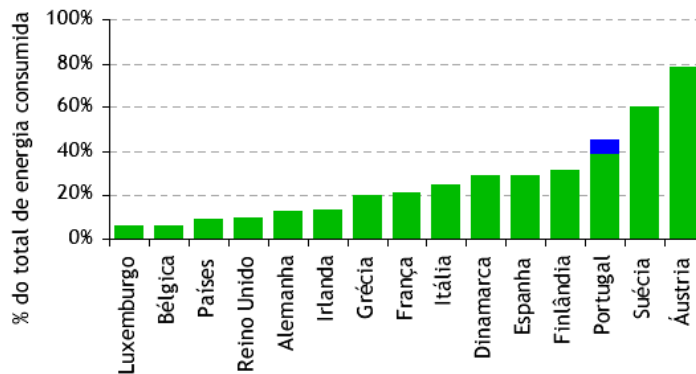


Figura 14 - Objectivos de electricidade renovável para 2010.

Fonte: Ministério da Economia (2007).

Deste modo, o documento publicado pelo Ministério da Economia referente à política energética, veio apresentar um novo objectivo a implementar até 2015, onde foram determinadas medidas complementares para reduzir o consumo de energia equivalente a 10% do consumo energético, e que incluem:

- A harmonização fiscal do gasóleo de aquecimento com o gasóleo rodoviário, desincentivando, de forma progressiva, a utilização do primeiro para o aquecimento doméstico e permitindo, simultaneamente, financiar o Fundo Português de Carbono para cumprimento do Protocolo de Quioto;
- O ajuste da taxa de carbono a todos os combustíveis industriais utilizados em instalações não abrangidas pelo PNALE (Plano Nacional de Alocação de Licenças de Emissão), promovendo isenções para esforços de eficiência energética;
- A aprovação de um Plano de Acção para a Eficiência Energética com o objectivo de conseguir medidas de redução equivalentes a 10% do consumo energético em 2015;
- A aprovação de um Programa de Aquisições Públicas ecológicas e dos incentivos à substituição da co-geração a fuel por co-geração a gás natural, significativamente mais eficiente.

No que respeita às emissões de GEE, a execução das metas adoptadas no âmbito do Protocolo de Quioto trata-se de uma possibilidade para (Figura 15):

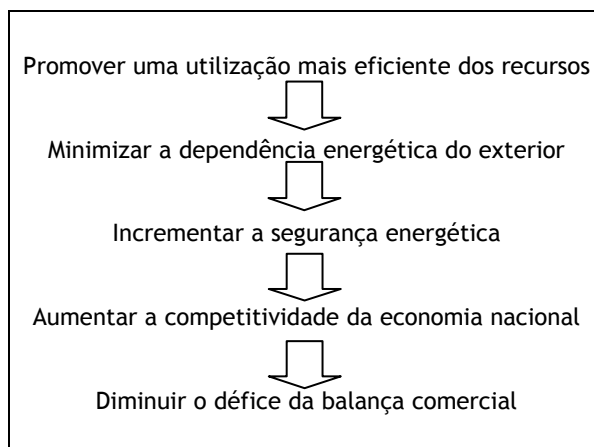


Figura 15 - Metas adoptadas no âmbito do Protocolo de Quioto.

## Mobilidade Sustentável

O sector dos transportes apresenta valores proporcionais entre GEE e o consumo de combustível e, por isso, esta grande dependência do petróleo como energia primária neste sector é bastante preocupante (Brito & Silva, 2003).

Na maioria, os sistemas de propulsão mais utilizados no sector dos transportes são os motores de combustão interna, cujo processo de transformação de energia química dos combustíveis em energia térmica que, posteriormente, numa etapa primordial do funcionamento dos motores - a expansão, esta energia é transformada em energia mecânica. Todo este processo produz emissão de poluentes que são nocivos para o meio ambiente, como por exemplo, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), monóxido de carbono (CO), óxido de azoto ( $\text{NO}_x$ ), hidrocarbonetos (HC) e partículas (PM) (Escária, 2009; IDAE, 2005; Karlberg, 2000).

Este sector apresenta um impacto importante no contexto ambiental, devido a emissões de GEE, sendo que estes contribuem para o aquecimento global da Terra, apresentando uma taxa e crescimento superior a qualquer outro sector (Meneses, 2009).

Dado que estas emissões encontram-se directamente relacionadas com a taxa de consumo de combustível é fundamental criar alternativas para a redução dos consumos em todas as áreas energéticas, e no caso específico da presente dissertação, a criação e utilização de sistemas de propulsão alternativos aos convencionais (Escária, 2009; Madureira, 2009).

Neste sentido, quer a escolha do combustível, quer do próprio veículo estão incluídos no conceito de mobilidade sustentável e, por isso, tem-se verificado uma crescente motivação no que concerne ao mercado automóvel, em produzir modelos alternativos que sejam competitivos com os motores de combustão interna e que sejam mais eficientes, por preços razoáveis e mais acessíveis (Madureira, 2009).

No capítulo seguinte é apresentado de forma sucinta algumas destas alternativas, de modo a modificar comportamentos e mentalidades, motivar e sensibilizar para a adopção do conceito de mobilidade sustentável.

## Capítulo 3

### Introdução - Sistemas de Propulsão Automóvel

O veículo automóvel trata-se de um meio de transporte que assegura aos seus utilizadores uma solução para as principais exigências de mobilidade diária. Assim, cada utilizador procura num determinado veículo automóvel, algumas características, tais como, o conforto, a autonomia e a versatilidade.

Actualmente, o conceito de automóvel resulta dos antigos carros de tracção animal bastante utilizados durante as primeiras décadas do século XX. No entanto, foi através do desenvolvimento da máquina a vapor, nomeadamente aplicada aos caminhos-de-ferro, que despoletou a aplicação de sistemas de propulsão que viessem substituir a tracção animal, com o intuito principal de aumentar a autonomia, bem como a velocidade dos meios de transporte individual.

Assim, no final do século XIX foram encontradas algumas soluções, como por exemplo, os motores de combustão interna e os motores eléctricos.

### Sistema de Propulsão

Qualquer veículo para se deslocar de forma autónoma requer um determinado conjunto de equipamentos, como por exemplo, um sistema de propulsão. É da responsabilidade do sistema de propulsão fornecer energia necessária para vencer as forças contrárias ao movimento, nomeadamente, a resistência do ar, o atrito das rodas em contacto com a estrada, o peso, bem como, a inércia do próprio veículo (Faias, 2006).

A determinação da força de tracção ( $F_T$ ) que deve ser disponibilizada pelo sistema de propulsão é calculada através da equação seguinte, obtida pela segunda Lei de Newton.

$$F_T = D + R + m \frac{dV}{dt} + m \cdot g \cdot \sin \alpha \quad (1)$$

Assim, verifica-se que a Força de tracção é resultante do somatório da resistência aerodinâmica ( $D$ ) com a resistência ao rolamento dos pneus ( $R$ ), resistência resultante da inércia do veículo ( $m \, dV/dt$ ) e resistência resultante da componente tangencial do peso (subidas e descidas) ( $m \, g \, \sin a$ ) onde o ( $m$ ) corresponde a massa do veículo o ( $g$ ) é aceleração gravítica e  $a$  o ângulo de inclinação da estrada.

Fonte: Faias (2006)

A Figura 16 representa os vectores do veiculo  $G$ , da componente tangencial do peso do veiculo  $G \cdot \sin \alpha$ , de resistência aerodinâmico  $D$ , do atrito ao rolamento  $R$  e também o ângulo de inclinação da estrada  $\alpha$  (Ehsani, Gao, Gay, & Emadi, 2004; Gomes, 2010).

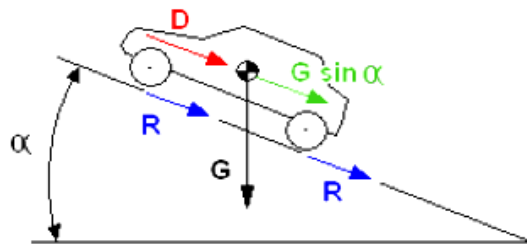


Figura 16 - Representação esquemática das resistências ao deslocamento do veículo.  
Fonte: Faias (2006).

A resistência aerodinâmica provém do atrito do veículo com o meio envolvente, ou seja, com o ar. Neste sentido, é responsável pela maioria da energia despendida na tracção de um determinado veículo, sendo tanto maior quanto maior foi a velocidade (Faias, 2006).

Na equação 2 pode observar-se que esta resistência depende da massa específica do meio que envolve ( $\rho$ ), do quadrado da velocidade de deslocamento ( $V$ ), do coeficiente de atrito ( $c_D$ ) e da área frontal do veículo ( $A$ ) (Gomes, 2010).

$$D = \frac{\rho}{2} \cdot V^2 \cdot c_D \cdot A \quad (2)$$

Fonte: Faias (2006).

Já o coeficiente de atrito ( $c_D$ ) depende da configuração da carroçaria do veículo, da interacção que esta apresenta com o meio que a envolve. No que respeita ao projecto da carroçaria, apesar das questões aerodinâmicas, quanto maior perturbação o veículo fizer no ar, no momento da sua deslocação, maior será a forma de resistência ao deslocamento.

Deste modo, a avaliação do desempenho aerodinâmico de um determinado veículo é realizada com recurso a ensaios em túneis de vento, onde é analisada a direcção das linhas de corrente, que são visíveis pela emissão de fumos (Figura 17). Através destes ensaios tem sido possível a evolução das carroçarias, de modo a eliminar ângulos e arestas vivas, que têm vindo a ser substituídas por formas e curvas suavizadas (Faías, 2006).

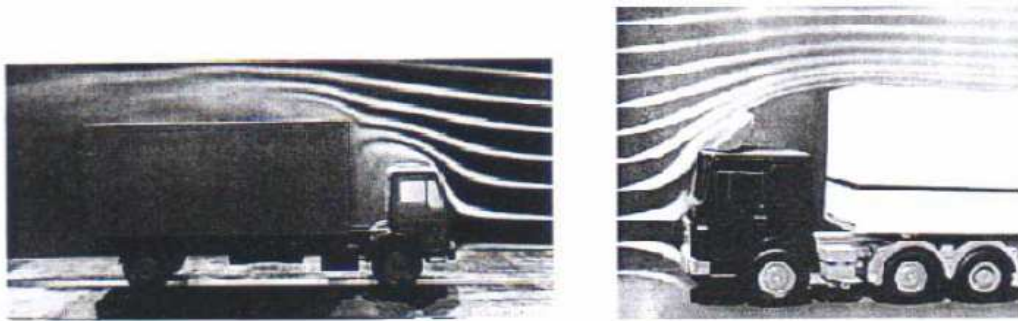


Figura 17 - Influência da forma da carroçaria na perturbação das linhas de corrente.  
Fonte: Faías (2006).

Também a área frontal depende das dimensões e configurações da carroçaria e, por isso, pode ser determinada pela sombra projectada num plano octogonal, face ao eixo longitudinal do veículo (Figura 18).

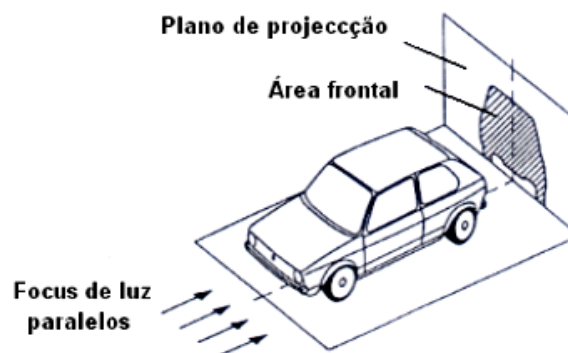


Figura 18 - Determinação da área frontal  $A$ , de um veículo.  
Fonte: Faías (2006).

No que diz respeito à resistência aerodinâmica total, deve ser levada em consideração a influência do vento, pois será maior quanto maior for o volume do veículo. Esta mesma influência em situações reais não é fácil de determinar, uma vez que o vento apresenta um carácter aleatório e de mudança, todavia é responsável por alterações na resistência ao movimento e por modificações nas trajectórias (Gomes, 2010).

A resistência ao rolamento  $R$  advém do atrito dos pneus com a estrada e, por isso, procura-se que esta seja elevada em termos de segurança na condução. No entanto, esta situação envolve elevados consumos de combustível, que pode levar a uma situação de compromisso entre o consumo e a segurança. Deste modo, a resistência ao rolamento  $R$  pode ser determinada pela equação 3, em que  $f_R$  representa o coeficiente de atrito ao rolamento e o  $m \cdot g \cdot \cos \alpha$  corresponde à componente normal do peso do veículo (Faia, 2006).

$$R = f_R \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \quad (3)$$

**Fonte:** Faia (2006).

Quanto ao coeficiente de atrito  $f_R$ , este depende de um conjunto de factores, como por exemplo, o material de construção da estrada, condições climatéricas, pressão, constituição e temperatura da velocidade do deslocamento, entre outros. O conjunto destes factores faz com que seja complexa a determinação do coeficiente e, por isso, na maior parte das vezes é determinado de forma experimental de dois modos: 1) rolamento em estrada ou 2) instalação constituída por um tambor onde a superfície do pneu irá circular (Faia, 2006).

Assim, quando um veículo se desloca a uma velocidade constante no plano horizontal, a força de tracção do veículo tem somente de vencer a resistência aerodinâmica e a resistência ao rolamento. Para velocidades reduzidas a predominância é da resistência ao rolamento, já para velocidades elevadas é a resistência aerodinâmica que mais se faz sentir.

De seguida, serão apresentados os principais sistemas de propulsão utilizados em veículos automóveis, tendo em conta o seu funcionamento, suas potencialidades e limitações.

## Propulsão Convencional

Um sistema de propulsão convencional é descrito na literatura como o mais relacionado ao conceito de veículo automóvel. Neste tipo de sistemas é utilizado um motor térmico para efectuar a tracção do próprio veículo.

Quanto ao funcionamento e principais constituintes, o sistema de propulsão convencional resume-se a um motor de combustão interna de movimento alternativo, em que a energia química potencial de um determinado combustível é transformada em energia mecânica. Por sua vez, esta energia é transmitida a uma caixa de velocidades através da embraiagem, onde chega por fim às rodas, após passar pelo sistema de transmissão (Aláez et al., 2010).

Na Figura 19 pode-se observar o fluxo de energia anteriormente descrito através dos diversos componentes do sistema de propulsão, desde o seu início no tanque de combustível, onde a energia é armazenada, até chegar às rodas.

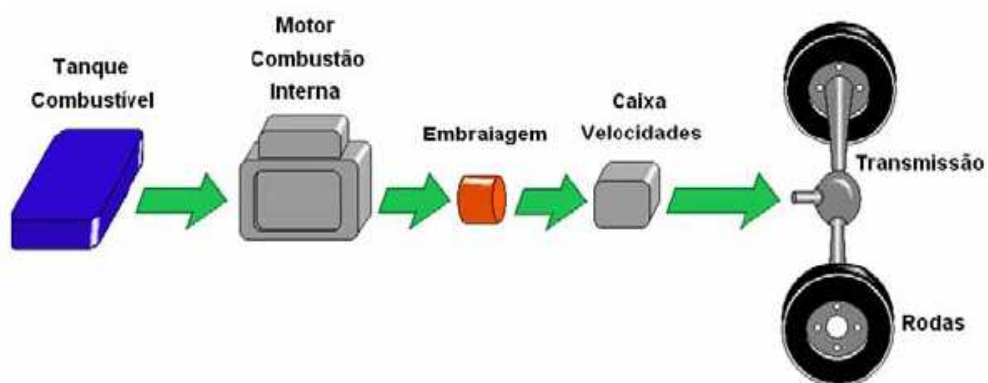


Figura 19 - Fluxo de energia através do Sistema de Propulsão Convencional.

Fonte: Faias (2006).

Neste sentido, como foi referido anteriormente, os diversos componentes que constituem o sistema de propulsão convencional são os seguintes: Tanque de combustível; Motor de combustão interna; Embraiagem; Caixa de velocidades; e Transmissão.

O tanque de combustível tem como função armazenar o combustível que é utilizado no motor de combustão interna. Assim, a autonomia deste tipo de sistema está directamente relacionada com o volume do próprio tanque. Desta forma, volumes elevados possibilitam o

transporte de quantidades maiores de combustível. Todavia, é de referir que o aumento da quantidade de combustível transportado faz aumentar a massa do veículo e, conseqüentemente, um maior consumo energético (Aláez, et al., 2010).

No que respeita ao funcionamento do motor de combustão de interna este baseia-se na transformação em trabalho, mediante um conjunto de êmbolos e cilindros, do calor libertado durante a queima de um determinado combustível (Costa, 2009).

Deste modo, o movimento linear alternativo realizado pelos êmbolos é convertido num movimento rotativo através de um veio de manivelas denominado por cambota (Figura 20).

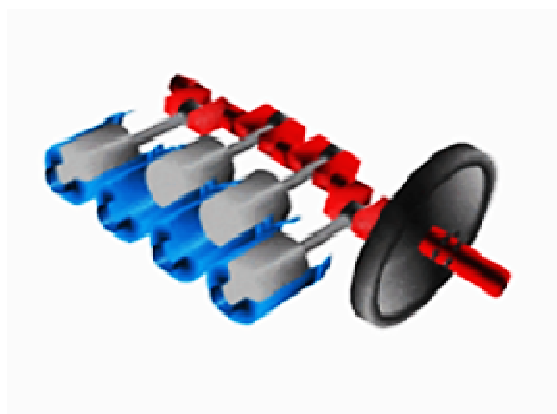


Figura 20 - Exemplo da cambota (vermelho), êmbolos ou pistões (cinzento), e os cilindros (azul). Encontra-se acoplada ao volante, que irá transferir a energia mecânica para a caixa de velocidades. Fonte: [http://www.tiosam.org/enciclopedia/index.asp?q=Volante\\_do\\_motor](http://www.tiosam.org/enciclopedia/index.asp?q=Volante_do_motor)

Neste veio irá ser disponibilizada uma potência sob a forma de velocidade angular e binária que é utilizada na tracção do veículo. A potência dos motores de combustão interna pode oscilar entre os 10W e 20MW, consoante a finalidade da sua aplicação (Costa, 2009).

Além da diversidade da potência, existem diferentes configurações de motores de combustão interna, em que podem ser utilizados diversos combustíveis. Assim, os mais correntes são o motor de ignição por faísca e o motor de ignição por compressão. O primeiro foi desenvolvido em 1876 pelo alemão Nikolaus Otto e daí poder ser também denominado por motor de ciclo Otto. Já o segundo tipo foi desenvolvido pelo alemão Rudolph Diesel, em 1897 e também pode ser designado de motor de ciclo Diesel (Figura 21) (Ehsani, et al., 2004; Gomes, 2010).

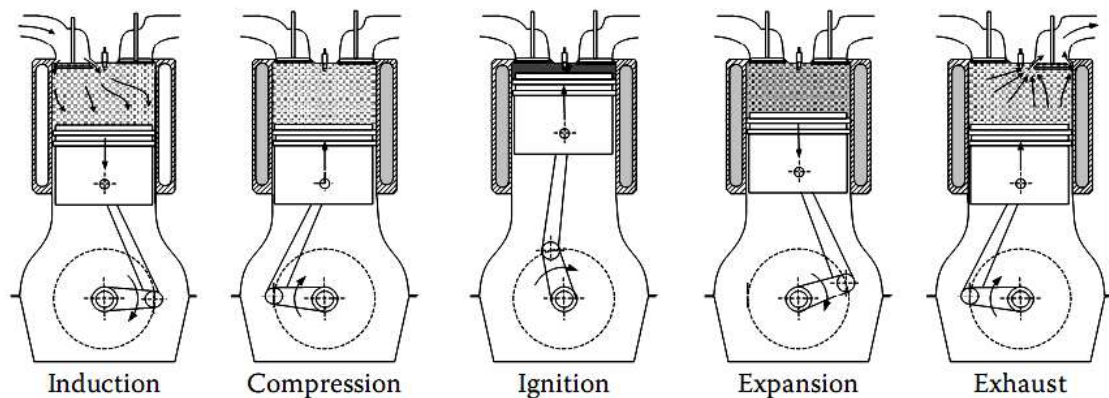


Figura 21 - Funcionamento de um motor de quatro tempos.

Fonte: Ehsani e colaboradores (2004).

De forma abreviada o funcionamento de um motor de quatro tempos descreve-se da seguinte forma (Gomes, 2010):

1. **Admissão (*Induction*):** Abertura da válvula de admissão e descida do êmbolo - admissão da mistura ar + combustível.
2. **Compressão (*Compression*):** Subida do êmbolo - compressão da mistura. Quando o pistão atinge o topo, a vela de ignição gera uma faísca - ocorre a combustão (*Ignition*) rápida da mistura, o que implica o aumento da pressão com a explosão.
3. **Expansão (*Expansion*):** Descida do êmbolo - expansão da mistura queimada.
4. **Exaustão (*Exhaust*):** Abertura da válvula de exaustão e subida do êmbolo - diminuição da pressão e exaustão dos gases.

Os combustíveis utilizados por estes tipos de motores são a gasolina e o gasóleo, em que apesar de apresentarem características e especificidades diferentes, ambos resultam do petróleo. Desta forma, verifica-se nos últimos anos uma maior preferência pelo motor Diesel, uma vez que se apresenta um menor preço do combustível e um maior rendimento e robustez (Aláez, et al., 2010; Rei, 2007).

Quanto à embraiagem, esta tem como papel desacoplar o motor do restante sistema de propulsão durante o momento de arranque do motor térmico. No entanto, na fase em que se encontra em movimento, é realizada, de forma progressiva, a acoplagem sem choques ou impulsos inconvenientes. A embraiagem é também utilizada para a mudança de engrenagem da caixa de velocidades.

À semelhança dos tipos de motores de combustão interna, existe também um tipo de utilização mais comum de embraiagem intitulado de embraiagem por fricção. A embraiagem por fricção é composta por dois discos coaxiais de elevado atrito que se mantêm geralmente acoplados através de uma mola, podendo ser separados através de um pedal que é accionado pelo condutor do veículo (Figura 22).

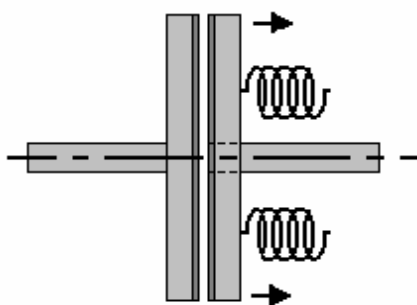


Figura 22 - Representação esquemática de uma embraiagem de fricção.

Fonte: Faias (2006).

Outro componente que constitui o sistema de propulsão convencional é a caixa de velocidades. É da responsabilidade da caixa de velocidades aumentar as possibilidades de funcionamento de um determinado veículo.

Dado que o motor apresenta intervalos de binário e velocidades de rotação restritos, a possibilidade única de ampliar a flexibilidade de funcionamento do veículo é conseguido através da desmultiplicação desses intervalos. Deste modo, a desmultiplicação é realizada mediante a utilização da caixa de velocidades, em que são conjugados distintos tipos de engrenagens (Aláez, et al., 2010).

Na Figura 23 observa-se um diagrama, situado à esquerda, que apresenta a relação entre a potência, a força de tracção e a velocidade de um veículo ligeiro de passageiros provido de uma caixa manual de velocidades. Já no diagrama da direita da mesma figura pode verificar-se a relação entre a velocidade de deslocamento do veículo e a rotação do motor.

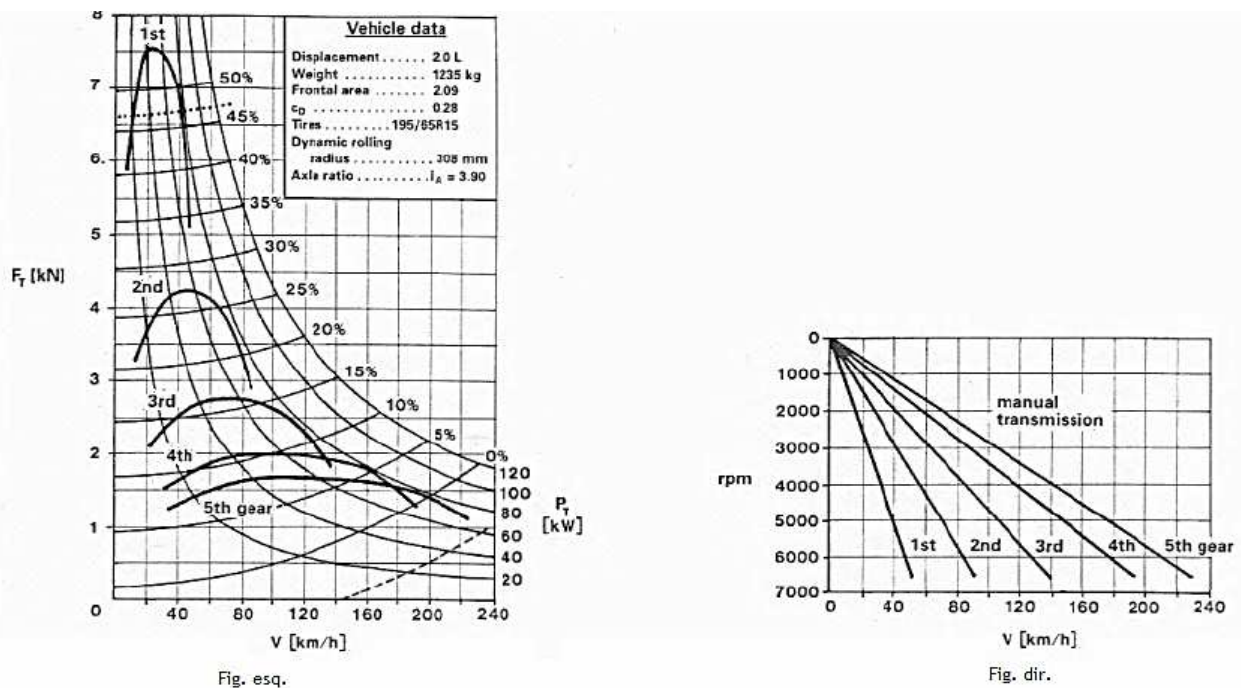


Figura 23 - Diagramas de força de tracção e de velocidade para um veículo ligeiro equipado com uma caixa manual de cinco velocidades.

Fonte: Faias (2006).

Quanto à transmissão, esta tem como função assegurar a ligação mecânica entre a caixa de velocidades e as rodas. A transmissão é constituída por um conjunto de engrenagens, pelos veios de transmissão às rodas e pelo veio de transmissão da caixa de velocidades.

É de referir que, caso o motor se encontre instalado no eixo longitudinal é acrescentado à transmissão uma outra função, que passa por modificar a direcção do movimento em  $90^\circ$  para a direcção transversal. No entanto, o conjunto de engrenagens pode também ser utilizado para afectar a relação de transmissão geral, como complemento à caixa de velocidades (Faias, 2006).

Neste sentido, a instalação do sistema de transmissão encontra-se dependente do tipo de *layout* do sistema de propulsão. Quando o sistema de transmissão de um sistema de propulsão se encontra na parte da frente do veículo, o motor de combustão é instalado na direcção longitudinal do veículo e o sistema de transmissão tem como função fazer a ligação entre a caixa de velocidades e as rodas, bem como alterar a direcção do movimento (Figura 24a). No

caso do sistema de propulsão ser instalado na parte dianteira e com tracção às rodas da frente, o motor encontra-se na direcção transversal e, por isso, não será necessário modificar a direcção do movimento (Figura24b). Na Figura 24c verifica-se uma instalação semelhante à primeira apresentada neste parágrafo, todavia com a diferença de que a tracção é feita pelo eixo traseiro do veículo.

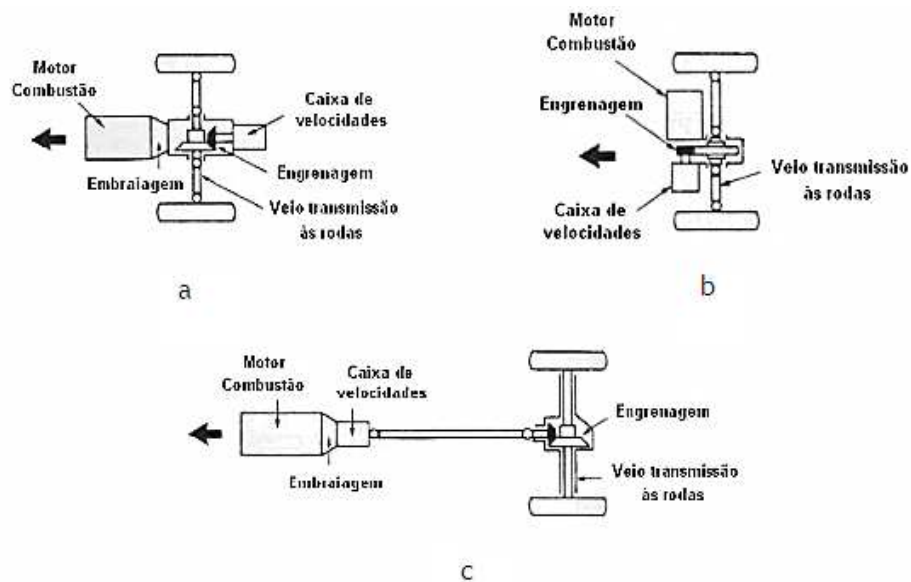


Figura 24 - Exemplos de conjuntos de transmissão para diferentes *layouts* do sistema de propulsão. Fonte: Faias (2006).

De forma geral, o sistema de propulsão convencional utiliza uma tecnologia sólida e experimentada, sendo um factor que influencia a escolha durante a fase de aquisição de um determinado veículo.

Neste sentido, a produção em grande série, fez com que os veículos equipados com este tipo de sistemas sejam a um preço mais acessível e onde existe uma disponibilidade maior no que concerne a marcas e a modelos.

Algumas das vantagens dos sistemas de propulsão convencional passam por uma elevada autonomia, superior a 250 km, e por existirem estações de abastecimento de combustível praticamente em todo o mundo (Faias, 2006).

## Sistema GPL automóvel

A instalação de GPL em veículos automóveis prevê que sejam colocados alguns componentes fundamentais ao seu funcionamento. Assim, os sistemas de alimentação aplicados variam consoante o veículo, contudo os seus constituintes baseiam-se no mesmo princípio de funcionamento.

O sistema GPL automóvel é constituído pelos seguintes componentes: dispositivo de enchimento, reservatório, conjunto de válvulas (multiválvula), electroválvula de GPL, comutador, filtro de GPL e redutor/evaporador (Pedro, 2010).

O dispositivo de enchimento é a interface com o exterior e o local onde o GPL inicia o seu percurso em direcção ao motor de combustão interna. O gás entra na fase líquida e segue, numa fase inicial, até ao reservatório. Assim, dependendo da bomba onde é realizado o abastecimento, a pressão do mesmo pode atingir, aproximadamente, os 15bar (Pedro, 2010).

Quanto ao reservatório, este é o local onde é armazenado o GPL na fase líquida. Actualmente, existem disponíveis no mercado dois tipos de reservatório, nomeadamente, os tóricos e os cilíndricos (Figura 25 e 26).

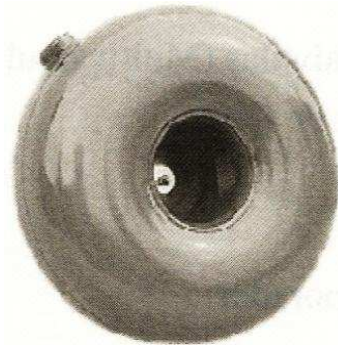


Figura 25 - Reservatório tórico.

Fonte: Pedro (2010)

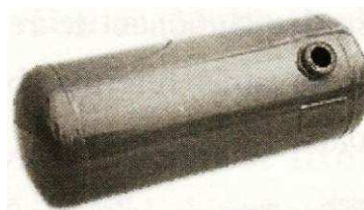


Figura 26 - Reservatório cilíndrico.

Fonte: Pedro (2010)

Deste modo, para cada uma destas tipologias existem várias dimensões, que correspondem a diversas capacidades absolutas. No entanto, o reservatório é o componente que mais dúvida levanta no que respeita à segurança. A sua construção é integralmente feita em aço e é sujeita a rígidos testes de controlo. Desta forma, cada reservatório é numerado e acompanhado de um documento comprovativo da sua aptidão para utilização.

De modo a apresentar a segurança oferecida pelos reservatórios utilizados no armazenamento de GPL, foram tidos em conta os dados obtidos de um fabricante lituano de reservatórios de alta pressão (Pedro, 2010). Os dados podem ser observados na tabela 1.

**Tabela 1 - Dados obtidos de um fabricante lituano de reservatórios de alta pressão.  
Fonte: Pedro (2010)**

Temperatura normal de funcionamento	-40°C a 45°C
Capacidade utilizável no reservatório	80% da capacidade total
Pressão de funcionamento	Não superior a 2,5MPa
Pressão de teste	Não inferior a 3,0MPa
Pressão de rebentamento	Não inferior a 6,75MPa

De forma geral, os reservatórios cilíndricos apresentam uma capacidade absoluta superior aos reservatórios tónicos. No entanto, a colocação dos reservatórios tónicos no espaço do pneu suplente tem vindo a aumentar a sua popularidade, na medida em que o pneu suplente não é obrigatório, podendo ser facilmente substituído por um *kit* rápido de reparação de pneus.

No que concerne ao conjunto de válvulas, este encontra-se fixo na entrada/saída do reservatório. O conjunto de válvulas apresentam com função permitir a entrada de GPL proveniente do dispositivo de abastecimento e a posterior saída para a electroválvula de corte (Figura 27).



Figura 27 - Multiválvula instalada do reservatório.  
Fonte: Pedro (2010)

Além desta função tem ainda associado um sistema que possibilita visualizar a quantidade de gás disponível no reservatório - indicador de nível (Figura 28)

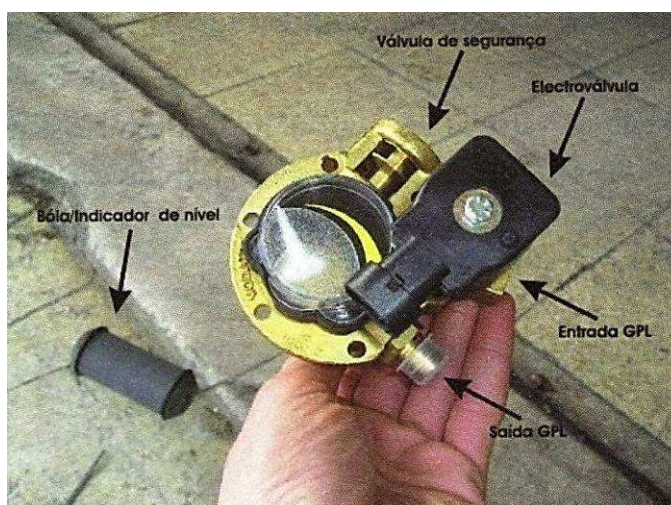


Figura 28 - Esquema de funcionamento da multiválvula.  
Fonte: Pedro (2010)

Na entrada existe uma válvula *one-way* que impede o GPL de sair novamente para o dispositivo de enchimento. Geralmente, na saída encontram-se duas válvulas, nomeadamente, uma de comando manual e outra de comando eléctrico que possibilitam cortar a alimentação quando assim for desejado. Já a bóia indicadora de nível permite ainda

que seja interrompido o abastecimento quando estiver, aproximadamente, a 80% da capacidade total do reservatório (Pedro, 2010).

À semelhança dos restantes componentes, as multiválvulas são dispositivos anteriormente homologados pela Direcção Geral de Energia e Geologia.

No que diz respeito à electroválvula de GPL, esta é uma válvula de comando electromagnético instalada na tubagem entre o reservatório e o evaporador/reductor. A electroválvula tem como função interceptar o fluxo de GPL quando o motor funciona a gasolina ou se encontra desligado (Figuras 29 e 30). Estes componentes são também homologados pela Direcção Geral de Energia e Geologia (Pedro, 2010).

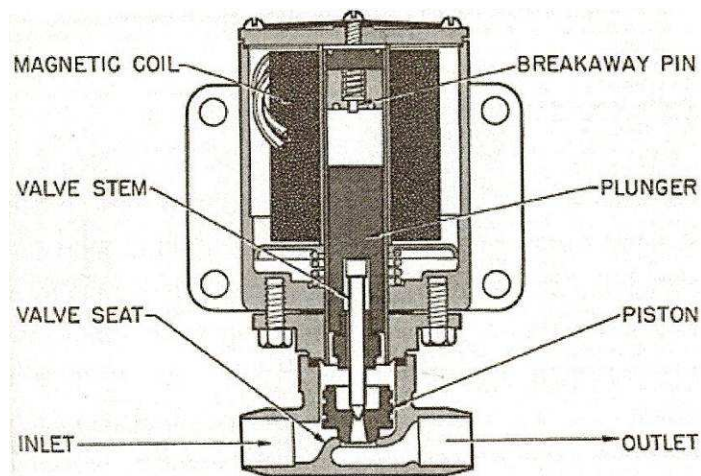


Figura 29 - Electroválvula de GPL em corte.  
Fonte: Pedro (2010)



Figura 30 - Aspecto exterior de uma electroválvula.  
Fonte: Pedro (2010)

Quanto ao comutador, este é um dispositivo electrónico que possibilita seleccionar o combustível a consumir. O comutador é projectado para que seja facilmente integrado no tablier do veículo e, por isso, devem ser instalados numa posição ergonómica para o utilizador do veículo. No mercado, existem comutadores para veículos de carburador e de injeção, equipados com indicadores de combustível seleccionado, indicador de nível e reserva de GPL (Figura 31) (Pedro, 2010).



Figura 31 - Comutador de GPL.  
Fonte: [www.chevrolet.pt](http://www.chevrolet.pt)

Já o filtro de GPL é construído em papel filtrante e, por isso, prevê eliminar as pequenas impurezas existentes no GPL. É um componente de desgaste, pelo que é esperada a sua substituição em manutenção programada (Figura 32).



Figura 32 - Filtro de GPL.  
Fonte: <http://forum.autohoje.com/forum-geral/92732-tres-deputados-do-ps-desafiam-governo-rever-limitacoes-legais-aos-veiculos-gas-10.html>

O evaporador/redutor apresenta como função reduzir a pressão do GPL proveniente do reservatório e efectuar a sua passagem ao estado gasoso (Figura 33) (Pedro, 2010).

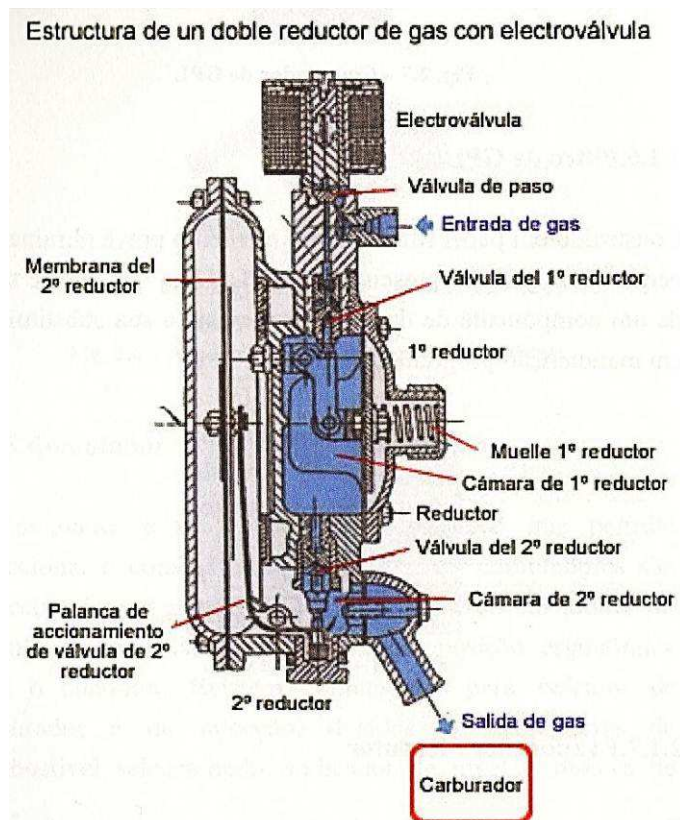


Figura 33 - Redutor de GPL em corte.  
Fonte: Pedro (2010)

Deste modo, quando a electroválvula abre, o gás é conduzido até ao primeiro estágio de redução. Ao realizar a redução de pressão, e com a ajuda do calor derivado do sistema de arrefecimento do motor, começa-se a evaporar, passando para o segundo estágio. Nesta etapa, as membranas de redução são comandadas pelo sistema de vácuo de admissão do motor. A cada solicitação deste último, o segundo redutor adequa a pressão necessária. Com o motor desligado, a pressão de saída do redutor é, aproximadamente, equivalente à pressão atmosférica.

Nos dias de hoje, são construídos dispositivos de redução com três estágios, destinados a motores com maior potência e de maior cilindrada. A principal diferença passa pela existência de mais um estágio de redução, que adequa com maior exactidão a pressão necessária para qualquer regime do motor (Figura 34). O evaporador/redutor é um componente comum a qualquer sistema de alimentação de GPL (Pedro, 2010).



Figura 34 - Aspecto exterior de um redutor de três estágios.  
Fonte: Pedro (2010)

No que respeita ao sistema de alimentação do veículo a GPL estes têm vindo a sofrer modificações; desde os sistemas “aspirado” até aos actuais “sistemas de injeção sequencial”, passaram cerca de 30 anos de desenvolvimento tecnológico.

### ***Sistema “aspirado” de carburador***

O carburador é um componente de comando totalmente mecânico responsável pela alimentação de um motor de combustão interna. Tem como finalidade misturar ar/combustível e realizar uma dosagem correcta para a combustão. Assim, o ar aspirado pelos pistões passa a alta velocidade pelo difusor - cone de *Venturi*, arrastando uma porção de gasolina da cuba que é um pequeno reservatório de gasolina à entrada do carburador. Já a borboleta que se encontra na base do carburador é accionada através do pedal do acelerador, controlando o débito de mistura ar/gasolina necessária consoante a carga do motor (Pedro, 2010).

Deste modo, os veículos equipados de carburador não apresentam ligações eléctricas complexas, pelo que o sistema de GPL baseia-se nos componentes apresentados anteriormente, acrescentando um misturador e uma electróválvula de corte de gasolina. O misturador é um dispositivo onde é libertado o GPL na tubagem de ar de admissão, sendo que ao passar, o ar aspirado pelo motor arrasta o gás por sucção - Efeito de *Venturi*. Já a electroválvula de gasolina apresenta o mesmo princípio de funcionamento de uma

electroválvula de GPL, com o intuito de cortar a alimentação de gasolina (Figura 35 e 36) (Pedro, 2010).



**Figura 35 - Misturador.**

Fonte: Pedro (2010)



**Figura 36 - Electroválvula de corte de gasolina.**

Fonte: Pedro (2010)

Assim, quando o condutor selecciona a posição de GPL no comutador, ocorrem as seguintes situações:

- abre a válvula eléctrica na multiválvula;
- abre a electroválvula de GPL;
- abre a válvula eléctrica do evaporador/reductor;
- fecha a electroválvula de gasolina.

Após a mistura GPL/Ar, esta passa pelo carburador que controla o débito pedido pelo pedal do acelerador e a gasolina, anteriormente cortada pela electroválvula, não é aspirada pela mistura. A Figura 37 representa um esquema de funcionamento do sistema de “aspiração” para o carburador (Pedro, 2010).

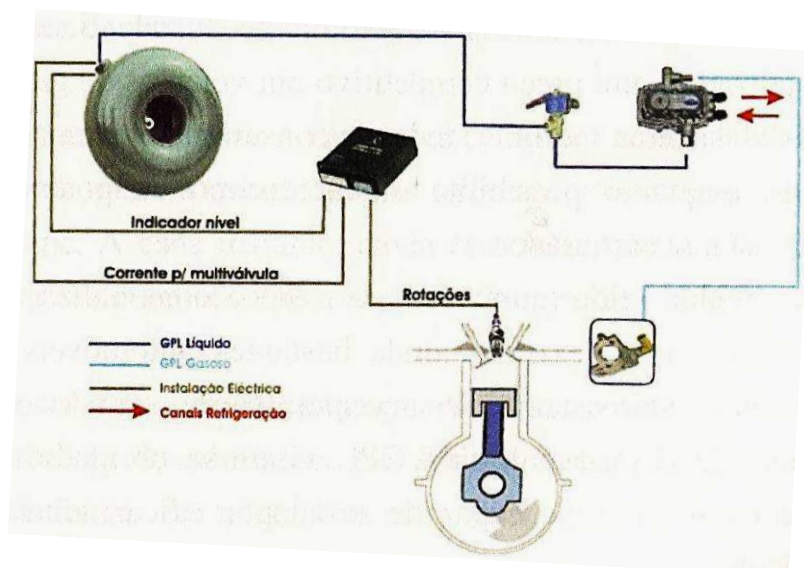


Figura 37 - Esquema de funcionamento do sistema de “aspiração”.  
Fonte: Pedro (2010)

### ***Sistema “aspirado” de gestão electrónica***

No início dos anos 90 deixaram de ser fabricados os carburadores e começou-se a utilizar conversores catalíticos e a injeção electrónica monoponto.

O sistema monoponto é caracterizado por conter um único injector, colocado no corpo da borboleta de admissão (componente semelhante a um carburador). A gestão deste sistema é efectuada recorrendo a uma unidade de comando electrónica (UCE), que recebe e processa as informações dos sensores, actuando em componentes específicos, tais como, o injector e o comando do ralenti, entre outros. Este sistema possibilita um aumento de potência relativamente ao carburador (Pedro, 2010).

O sistema “aspirado” de gestão electrónica tem por base o sistema de “aspiração para carburador, tendo sido apenas adicionado um módulo de controlo electrónico e um actuador eléctrico de passagem de gás (Figura 38).



Figura 38 - Componentes do sistema de gestão electrónica.  
Fonte: Pedro (2010)

O módulo de controlo electrónico, além de possibilitar quer a abertura, quer o fecho das electroválvulas, permite interceptar e recolher informações dos dois sensores da injeção de gasolina, nomeadamente, o sensor de oxigénio e o sensor de posição da borboleta de acelerador (TPS). O primeiro é mais conhecido por sensor lambda e tem com função medir a quantidade de oxigénio presente nos gases de escape e, a cada instante, envia esta mesma informação à UCE que a processa e actua sobre a abertura do injector. Já no sensor TPS, o potenciómetro é colocado no eixo de abertura da borboleta de admissão que, ao abrir e fechar, faz variar a sua resistência. Aquando do processamento deste sinal, a UCE actua sobre a abertura do injector (Pedro, 2010).

Assim, o módulo de controlo electrónico, que é previamente programado, processa a informação proveniente destes sensores e actua no motor eléctrico, que permite a passagem de gás, ou seja, quanto mais aberta estiver a borboleta, mais gás será introduzido na tubagem de admissão (Pedro, 2010). A Figura 39 representa um esquema de funcionamento deste sistema.

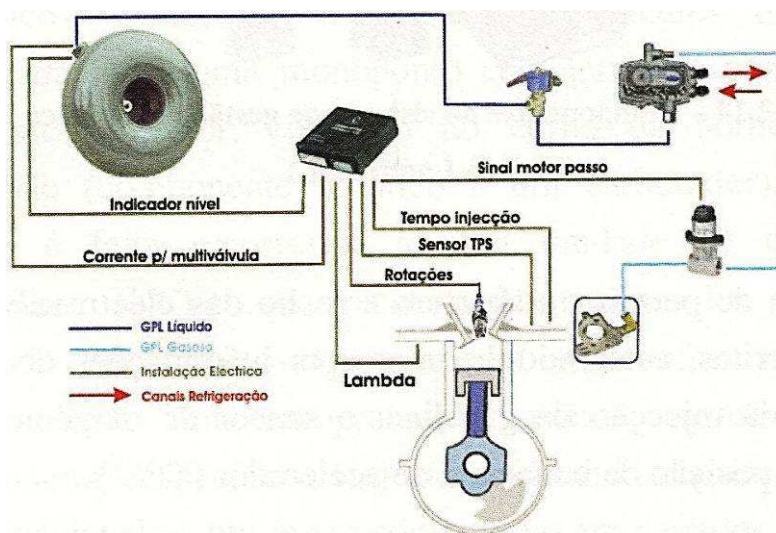


Figura 39 - Esquema de funcionamento do sistema de gestão electrónica.  
Fonte: Pedro (2010)

## ***Sistema de injeção sequencial***

De forma a acompanhar a evolução tecnológica dos motores, foi desenvolvido um sistema de GPL com a capacidade de efectuar uma gestão detalhada da alimentação. Deste modo, a injeção sequencial de GPL surge no final dos anos 90 com o objectivo de revolucionar os tradicionais sistemas de alimentação a gás, partindo de uma base, que na sua maioria é electrónica.

A injeção sequencial é constituída pelos componentes referidos na Tabela 2 (Pedro, 2010).

**Tabela 2 - Componentes que constituem a injeção sequencial.**

Fonte: Pedro (2010)

<b>UCE</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Equivalente, em termos físicos, à unidade de comando electrónica do motor e, por isso, é definida como o cérebro do sistema de GPL;</li><li>- Recolhe as informações provenientes dos sensores e actua sobre os injectores de gás</li></ul>
<b>Rampa de injectores</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Contém uma quantidade variável de injectores electromagnéticos, dependendo do número de cilindros do motor;</li><li>- Quando o gás chega ao aparelho de redução, tem como função doseá-lo e conduzi-lo até ao colector de admissão.</li></ul>
<b>Ramal eléctrico de injeção</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Intercalado no sistema de alimentação original apresenta como objectivo determinar os tempos de comando dos injectores de gasolina.</li></ul>
<b>Sensor de pressão de GPL</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Tem como função medir a pressão absoluta de GPL à entrada da rampa de injectores.</li></ul>
<b>Sensor de pressão de admissão</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Apresenta como função medir a pressão absoluta do ar no colector de admissão.</li></ul>
<b>Sensor de temperatura do redutor</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Tem como função medir a temperatura no corpo do evaporador/redutor.</li></ul>

Ao medir os tempos de injeção de gasolina e a rotação do motor, a UCE de GPL compara estes dados com os obtidos nos sensores colocados no circuito de gás. Através da programação adequada para o efeito, a unidade de comando tem como função determinar os tempos de injeção que terá de se aplicar ao GPL. Desta forma, é conseguida uma gestão totalmente

electrónica da alimentação, que resulta numa redução de consumo e emissões de gases poluentes. A Figura 40 representa o funcionamento do sistema de injeção de GPL (Pedro, 2010).

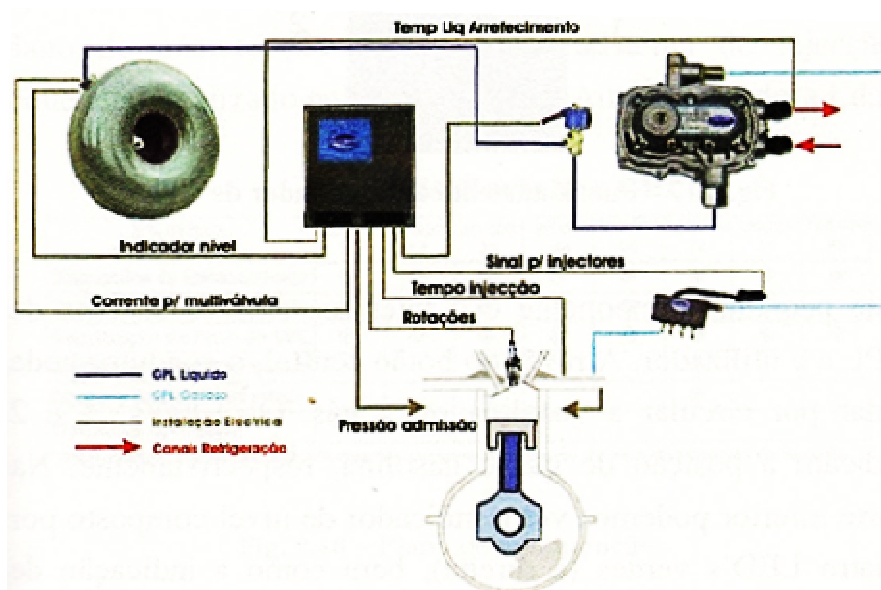


Figura 40 - Esquema de funcionamento da injeção sequencial.  
Fonte: Pedro (2010)

Os actuais sistemas de GPL são caracterizados pela sua simplicidade perante o utilizador, uma vez que este pode aceder a um veículo, e os fabricantes dos componentes de autogás criaram tecnologias *user friendly*, permitindo um funcionamento simples.

A Figura 41 representa um comutador de GPL do sistema de injeção sequencial. Este componente é a interface entre o sistema de GPL e o utilizador, sendo que através do botão central, o utilizador escolhe por circular a gás ou a gasolina (Pedro, 2010).

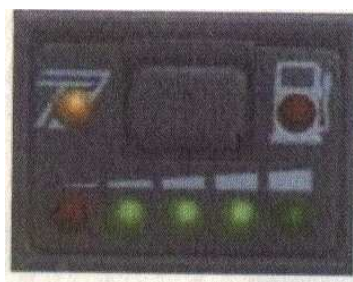


Figura 41 - Comutador de GPL do sistema de injeção sequencial.  
Fonte: Pedro (2010)

No entanto, para que qualquer sistema tenha um bom desempenho é fundamental realizar-se uma manutenção preventiva ao longo da sua vida útil. Este princípio é aplicado também aos restantes componentes de GPL instalados no veículo. Deste modo, segundo as indicações do cada fabricante, devem ser realizadas periodicamente acções de substituição, reparação ou afinação do sistema. Em específico, a substituição do elemento filtrante e o controlo dos gases de escape devem ser realizados de 20 em 20 mil quilómetros após a sua instalação. É de salientar que também podem ser necessárias reparações ou substituições, particularmente, das tubagens de borracha, bem como, de determinados apoios sujeitos a desgaste (Pedro, 2010).

## Propulsão eléctrica a baterias

O sistema de propulsão eléctrico a baterias é conhecido desde o final do século XIX e comporta um motor eléctrico que tem como função a tracção do veículo, alimentado por um conjunto de baterias. Em meados de 1899 foi construído o primeiro veículo eléctrico que ultrapassava o limite dos 100km/h (Gomes, 2010).

Deste modo, quer o sistema de propulsão convencional, quer este tipo de sistema têm um passado em comum, apesar deste último ter ficado esquecido por longas décadas. Este facto deve-se à autonomia limitada das baterias, à descoberta de novas jazidas de petróleo e ainda pelo desenvolvimento do motor de arranque. Contudo, com o despoletar da preocupação com questões ambientais nos anos 60, concomitantemente, com a crise petrolífera na década de 70, levou à recuperação do interesse e de investigação em torno do sistema de propulsão eléctrico a baterias (Braga, 2010; He, Hori, Kamachi, Walters, & Yoshida, 2005; Mehrdad Ehsani, 1997).

O veículo eléctrico a baterias é um veículo que aproveita a energia que provém das baterias colocadas no seu interior, que poderão ser carregadas em andamento ou em postos de abastecimento próprios. Assim, este tipo de veículo é constituído essencialmente por um motor eléctrico de tracção e por baterias químicas (Aláez, et al., 2010; Hori, 2004).

A distribuição de energia no veículo eléctrico a baterias é feita basicamente por cabos eléctricos flexíveis, em detrimento das ligações mecânicas presentes nos veículos de combustão interna, adoptando uma configuração de subsistemas distribuídos. Neste sentido, a utilização de distintos sistemas de propulsão envolve diferenças na arquitectura do sistema, bem como a utilização de diversas fontes de armazenamento de energia, origina diferentes formas de reabastecimento (Figura 42) (Ehsani, et al., 2004; Ramos, 2010).

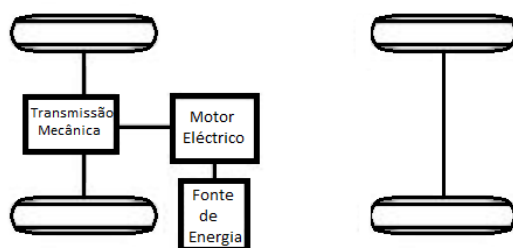


Figura 42 - Topologia básica do veículo eléctrico a baterias.

Fonte: Ramos (2010)

Deste modo, através das entradas de controlo dos pedais, quer do travão, quer do acelerador, o controlador electrónico disponibiliza sinais de controlo adequados à ligação e corte de dispositivos de electrónica de potência que, cuja função é regular o fluxo de energia entre a fonte de armazenamento de energia e o motor eléctrico. Já o sentido inverso do fluxo de energia deve-se à energia regenerativa proveniente do processo de travagem num veículo eléctrico, sendo posteriormente armazenada na fonte de armazenamento de energia. A unidade de gestão de energia, simultaneamente com o controlador electrónico, controla a recuperação de energia regenerativa de travagem, cooperando de igual forma com a unidade de reabastecimento de energia, com o intuito de gerir este mesmo reabastecimento (Figura 43) (Chan, 2002; Ramos, 2010).

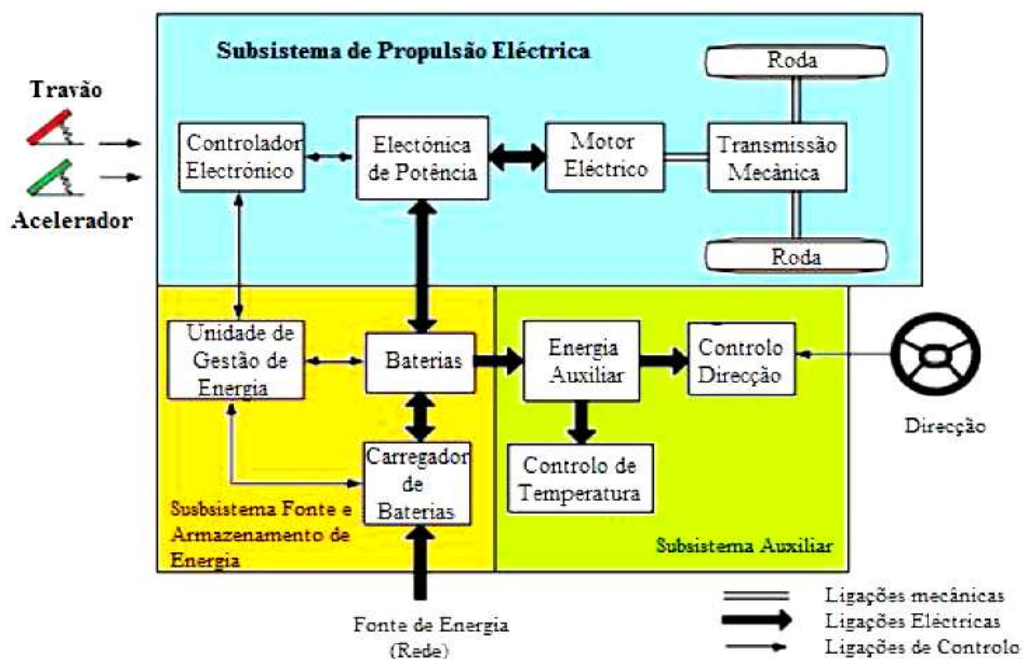


Figura 43 - Constituição do veículo eléctrico a baterias.

Fonte: Ramos (2010)

No que concerne à fonte auxiliar de energia esta disponibiliza a potência necessária com diferentes níveis de tensão para todos os módulos auxiliares, nomeadamente, o controlo de temperatura, a unidade de controlo de direcção e de toda a electrónica de controlo e monitorização (Xue X, 2008).

Neste sentido, quanto ao seu funcionamento e seus componentes, o sistema de propulsão eléctrica a baterias é constituído por: Conjunto de baterias; Conversor electrónico de potência; Motor eléctrico; e Sistema de transmissão.

O sistema de armazenamento de energia não se encontra relacionado de forma directa com o sistema de propulsão do veículo eléctrico, todavia é de grande relevância, pois é a fonte de

armazenamento e fornecimento de energia ao sistema de propulsão. De modo a assegurar um bom funcionamento da fonte de energia como do seu comportamento é fundamental que o sistema de propulsão funcione correctamente. No entanto, este tipo de sistema constitui o principal obstáculo à comercialização dos veículos eléctricos, pelo seu preço/densidade de energia (Aláez, et al., 2010).

É da responsabilidade da bateria disponibilizar a energia indispensável para fazer deslocar um determinado veículo. Este fluxo de energia cedido ao motor eléctrico de tracção, especificamente os valores instantâneos de tensão e de corrente, é orientado pelo conversor electrónico de potência. Desta forma, o conversor recebe as indicações do condutor do veículo em causa, através da leitura constante da posição do pedal de aceleração (Braga, 2010).

As baterias de tracção têm como função primordial acumular a energia electroquímica e são caracterizadas por três características essenciais: 1) energia específica; 2) potência específica e 3) tempo de vida útil.

A energia específica é definida pela quantidade de energia armazenada pela bateria por unidade de massa. A potência específica consiste na potência fornecida por unidade de massa. Já o tempo de vida útil diz respeito ao número de ciclos carga/descarga a que a bateria está sujeita (Larminie & Lowry, 2003).

Deste modo, as baterias utilizadas em veículos automóveis podem ser de diversos tipos. Os tipos de baterias mais comuns são os de Chumbo-ácidas (Pb), as de Níquel-Cádmio (Ni-Cd), as de Níquel-Metal-Hidrato (Ni-MH) e as de Iões de Lítio (Li-Ion) (Braga, 2010; Brosset & Bodereau, 2004; Husain, 2003).

As baterias de Chumbo-ácidas (Pb) além de serem as mais conhecidas, são também as com maior número de aplicação em veículos. Este tipo de baterias é mais barata e necessita de pouca manutenção, todavia apresenta uma energia de 40Wh/kg e uma potência específica de 350W/kg. Quanto às baterias de Chumbo-ácidas (Pb), o seu tempo médio de vida útil é um dos seus pontos negativos, pois apresenta cerca de 500 ciclos carga/descarga (Burke, 2007; Larminie & Lowry, 2003).

Ao compararmos as baterias Níquel-Cádmio (Ni-Cd) com o tipo apresentado anteriormente, deve referir-se que estas apresentam uma energia e potência específicas superiores. Quanto à energia específica, as baterias de Níquel-Cádmio têm um valor aproximado de 60 Wh/kg e quanto à potência específica, esta pode atingir um valor de 500W/kg. Em relação à vida útil deste tipo de baterias, este é relativamente longo, perto de 1500 ciclos. No entanto, quer a produção, quer a aplicação destas baterias será eliminada a curto prazo, na medida em que, o Cádmio é uma substância potencialmente cancerígena (Brosset & Bodereau, 2004).

Um outro tipo de baterias utilizadas em veículos equipados com sistemas de propulsão eléctrica é o de Níquel-Metal-Hidrato (Ni-MH). Nas baterias de Níquel-Metal-Hidrato, o Cádmió foi substituído por uma liga metálica com hidrogénio. Quando às suas características, apresenta uma energia específica que pode assumir valores até 70Wh/kg, uma potência específica que pode atingir os 1500W/kg e ainda uma vida útil de cerca de 1350 ciclos. Contudo, é de salientar que apresenta um ponto negativo que é o facto de o seu preço ser um dos mais elevados (Burke, 2007; Noce, 2009).

No entanto, o tipo de bateria mais prometedor apresentado nos últimos tempos é o de lões de Lítio (Li-Ion). No que diz respeito às suas características, estas baterias apresentam um valor superior a 125Wh/kg de energia específica e podem atingir um valor até aos 2000W/kg de potência específica. Já no que concerne à sua vida útil, as baterias de lões de Lítio apresentam cerca de 1000 ciclos carga/descarga. Porém, este tipo de baterias tem aspectos negativos, pois requer um sistema de carga bastante preciso, pelo facto da sua reduzida tolerância a picos de potência e por ainda ser relativamente dispendioso para veículos eléctricos puros (Gomes, 2010; Husain, 2003).

Na Tabela 3 e nas Figuras 44 à 46, resumem-se as características dos tipos de baterias referidos, tendo em conta a energia específica, potência específica e tempo de vida útil (Faías, 2006).

Tabela 3 - Características dos tipos de baterias.

Tipo de Baterias	Energia específica (Wh/kg)	Potência específica (W/kg)	Tempo de vida útil (número de ciclos carga/descarga)
<i>Chumbo-ácidas (Pb)</i>	40	350	500
<i>Níquel-Cádmió (Ni-Cd)</i>	60	500	1500
<i>Níquel-Metal-Hidrato (Ni-MH)</i>	70	1500	1350
<i>lões de Lítio (Li-Ion)</i>	125	2000	1000

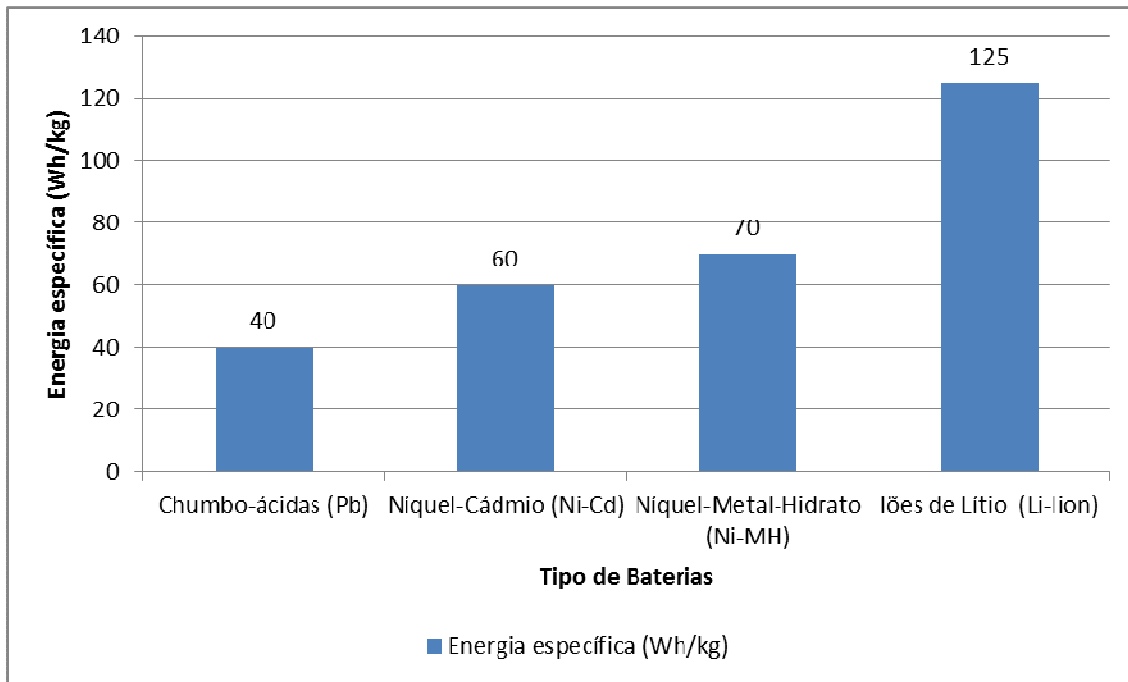


Figura 44 - Valores aproximados de energia específica tendo em conta o tipo de baterias.

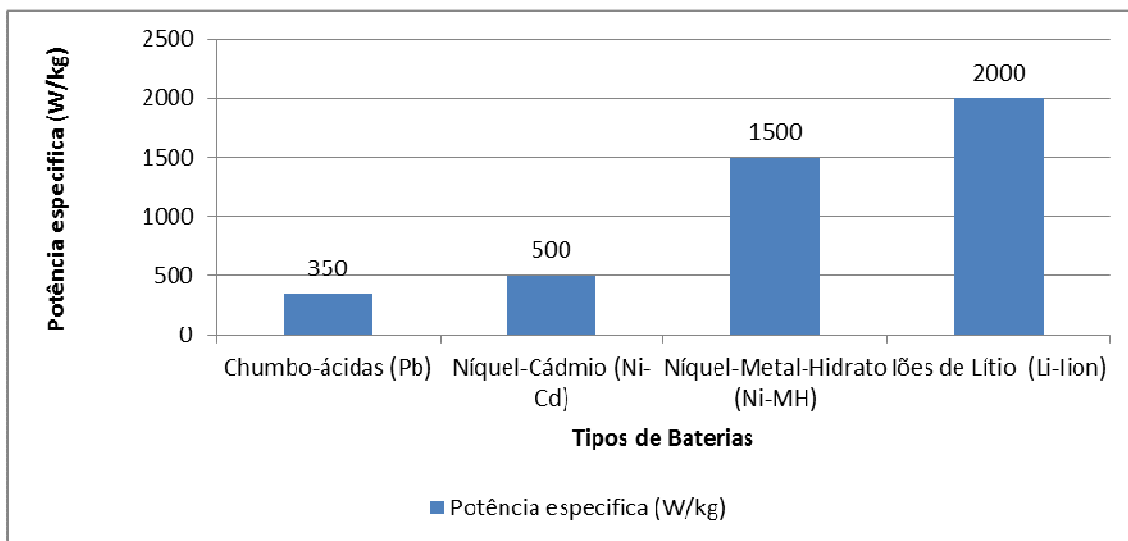


Figura 45 - Valores aproximados de potência específica tendo em conta o tipo de baterias.

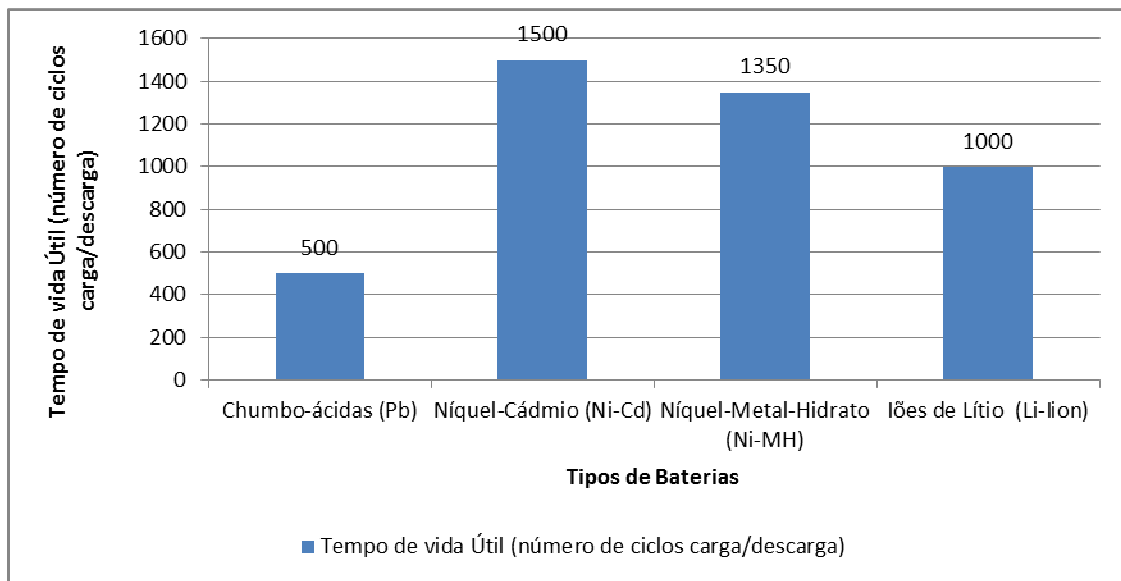


Figura 46 - Valores aproximados de tempo de vida útil tendo em conta o tipo de baterias.

No caso específico dos sistemas com baterias e condensadores, a alimentação principal é feita pelas baterias e os picos registados durante as cargas (travagens) e descargas (acelerações e subidas) das baterias são eliminadas pelos supercondensadores, levando a uma menor potência fornecida por estas e, conseqüentemente, a um aumento da eficiência. No entanto, os pontos negativos apontados a estas fontes de energia são o custo e o ciclo de vida útil (Aláez, et al., 2010; Noce, 2009).

A utilização dos supercondensadores como forma de armazenamento de energia esteve sempre muito marcado pelas limitações apresentadas, relacionadas com a densidade de energia e com as capacidades que lhe é característica. No entanto, com a evolução da tecnologia surgiram condensadores electroquímicos (ou de dupla-camada), que permitem obter grandes densidades volumétricas de energia, bem como, capacidades muito mais elevadas que os condensadores usuais (Braga, 2010; Gomes, 2010).

Presentemente, os supercondensadores apresentam boas características: podem carregar-se e descarregar-se quase indefinidamente, pois apresentam um tempo de vida útil muito longo; possibilitam correntes de descarga elevadas; o tempo de carga e descarga são semelhantes e curtos, de aproximadamente 30 segundos; são fabricados com materiais livres de toxicidade; são relativamente económicos e apresentam um rendimento elevado (Gomes, 2010).

Deste modo, os supercondensadores podem ser utilizados na propulsão eléctrica como fonte de armazenamento de energia auxiliar ou como *buffers* de energia eléctrica por absorverem

os picos de carga existentes no sistema e, por conseguinte, prolongam o tempo de vida das baterias, devido à menor utilização destas.

Ao contrário das baterias, a pilha de combustível é um componente que produz continuamente energia, em vez de a armazenar, enquanto lhe for fornecido hidrogénio, sendo que é alimentada por um combustível e um oxidante. As vantagens deste tipo de tecnologia passam pela eficiência da conversão, o funcionamento sem ruído, as emissões poluentes praticamente nulas, o rápido reabastecimento e a sua durabilidade (Dias, Mesquita, & Silva, s/d). Desta forma, o hidrogénio parece ser o combustível não poluente ideal, uma vez que apresenta uma grande densidade de energia e o produto da reacção da pilha de combustível é somente água (Aláez, et al., 2010; Babé, 2008).

Esta célula de combustível é composta essencialmente por um ânodo, um cátodo e um electrólito (Tabela 4) (Conesa, 2004; Reis, 2008).

**Tabela 4 - Constituintes da célula de combustível.**

**Fonte: Conesa (2004) e Reis (2008)**

<b>Ânodo</b>	É uma interface entre o combustível e o electrólito, catalisando a reacção de oxidação do combustível, conduzindo os electrões para o circuito exterior
<b>Cátodo</b>	Fornece uma interface entre o oxigénio e o electrólito, catalisando a reacção de redução do oxigénio, recebendo os electrões do circuito exterior.
<b>Electrólito</b>	Realiza o transporte dos iões envolvidos nas reacções descritas impedindo condução de electrões.

De entre a variedade dos combustíveis não poluentes utilizados nas células de combustível, o hidrogénio pelo seu elevado conteúdo energético por unidade de peso, parece ser o ideal. A reacção verificada na célula de combustível entre o hidrogénio e o oxigénio origina simplesmente água e a libertação de energia (Figura 47) (Barreto & Santos, 2005; Granadeiro, 2009).

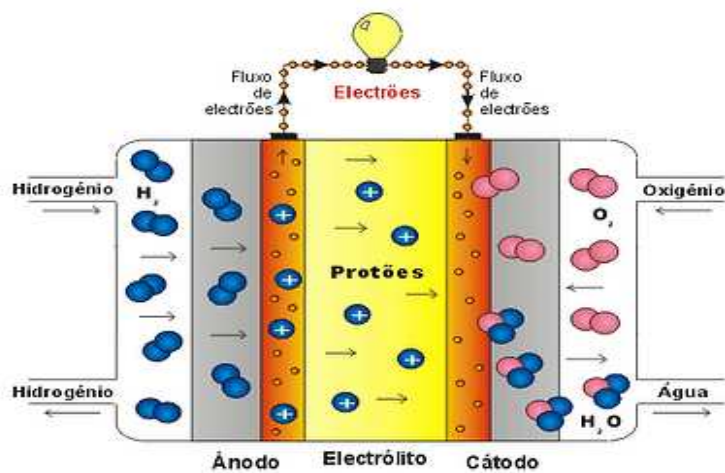


Figura 47 - Reacção verificada na célula de combustível.

Fonte: <http://celulasdecombustivel.planetaclix.pt/comofuncionam.html>

Contudo, apesar de se encontrar em abundância no universo, o hidrogénio não existe livre no planeta e, por isso, não é considerado um recurso primário, uma vez que deriva de recursos primários, tais como hidrocarbonetos, metanol e carvão (Babé, 2008; Conesa, 2004; Delgado, 2006; Karlberg, 2000).

A pilha de combustível apresenta uma energia específica equivalente à da gasolina, no entanto, a sua potência específica é bastante menor, fazendo com que o desempenho do arranque de um veículo com pilha de combustível seja inferior, quando comparado com o veículo tradicional. Todavia, ao integrar a bateria ou o supercondensador com a pilha de combustível, pode melhorar-se o desempenho do arranque do veículo, uma vez que, com múltiplas fontes de energia pormenorizadamente seleccionada, o desempenho dos veículos poderá ser bastante melhorado (Babé, 2008).

Na Tabela 5 e Figura 48 são apresentados os diferentes conteúdos energéticos de alguns combustíveis utilizados nas células de combustíveis.

Tabela 5 - Diferentes conteúdos energéticos de alguns combustíveis utilizados nas células de combustíveis.

	Energia Específica (Wh/kg)	Densidade Energética (Wh/l)
Hidrogénio Gasoso Comprimido	33600	600
Hidrogénio Líquido	33600	2400
Hidrato de Magnésio	2400	2100
Metanol	5700	4500
Petróleo	12400	9100

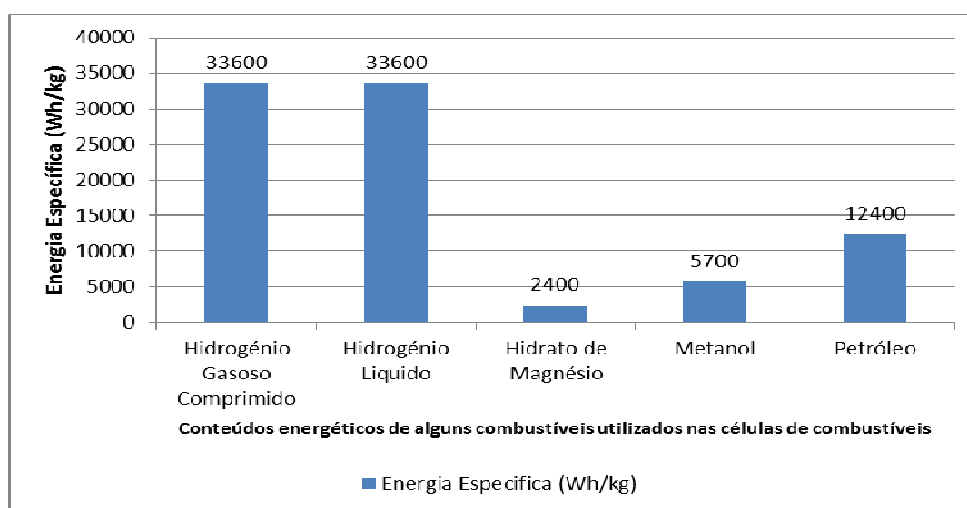


Figura 48 - Diferentes conteúdos energéticos de alguns combustíveis utilizados nas células de combustíveis, por energia específica.

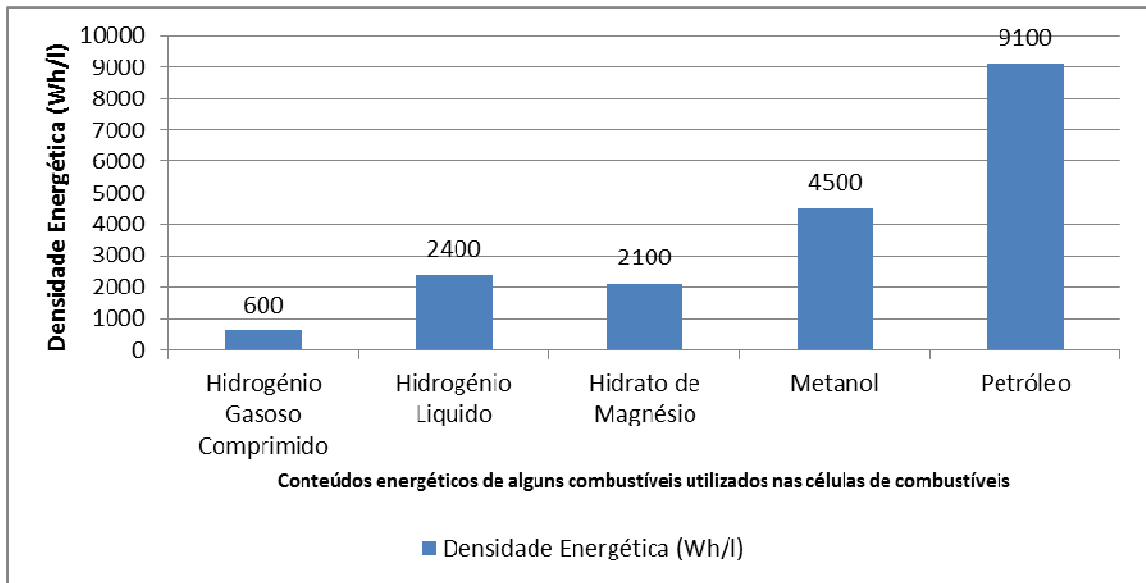


Figura 49 - Diferentes conteúdos energéticos de alguns combustíveis utilizados nas células de combustíveis, por densidade energética.

No que respeita à classificação de células de combustível esta é feita tendo em conta o tipo de electrólito (Tabela 6) (Granadeiro, 2009; Husain, 2003).

Tabela 6 - Classificação de células de combustível por tipo de electrólito.

Fonte: Granadeiro (2009) e Husain (2003)

Tipo de célula de combustível	Potência (kWe)	Eficiência Eléctrica (%)	Eficiência Térmica (%)	Combustível	Temperatura de Operação (°C)	Electrólito	Densidade de Potência (W/cm <sup>2</sup> )
Alcalina	1-150	30-45	---	Hidrogénio	80-100	Hidróxido de Potássio	0,2-0,3
Membrana de Permuta Protónica	0,2-10	30-40	25-49	Hidrogénio ou Gás Natural	60-80	Membrana Polimérica	0,35-0,6
	10-100	33-40	27-49				
Metanol Directo	<0,01	40-50	---	Metanol	60-100	Membrana Polimérica	0,04-0,23
Ácido Fosfórico	50-1200	35-40	---	Hidrogénio ou Gás Natural	190-220	Ácido Fosfórico	0,2-0,25
Carbonato Derretido	> 100	45-55	33-37	Hidrogénio, Gás Natural ou Hidrocarbonetos	600-650	Carbonatos de Lítio ou Potássio	0,1-0,2
Oxido Sólido	1-20	35-45	31-64	Hidrogénio, Gás Natural ou Hidrocarbonetos	800-1000	Óxidos de Zinção	0,24-0,3
	20-100	45-55	25-49				
	> 100						

Dos tipos de células de combustível apresentados, é de salientar que a célula de combustível de membrana de permuta protónica manifesta ser a solução ideal para a propulsão automóvel, devido à sua reduzida temperatura de funcionamento e à sua elevada densidade de potência (Barreto & Santos, 2005).

Este tipo de tecnologia considera-se uma solução a longo prazo, todavia encontra-se numa fase prematura, pelos problemas que estão associados, tanto ao manuseamento como ao armazenamento de hidrogénio (Babé, 2008; Barreto & Santos, 2005).

Outro componente pertencente a este sistema de propulsão é o sistema de transmissão, onde é feita a ligação mecânica entre o motor e as rodas (Ferraz & Donha, 2009). Este fluxo de energia através do sistema de propulsão, quando em tracção, pode ser observado na Figura 50.

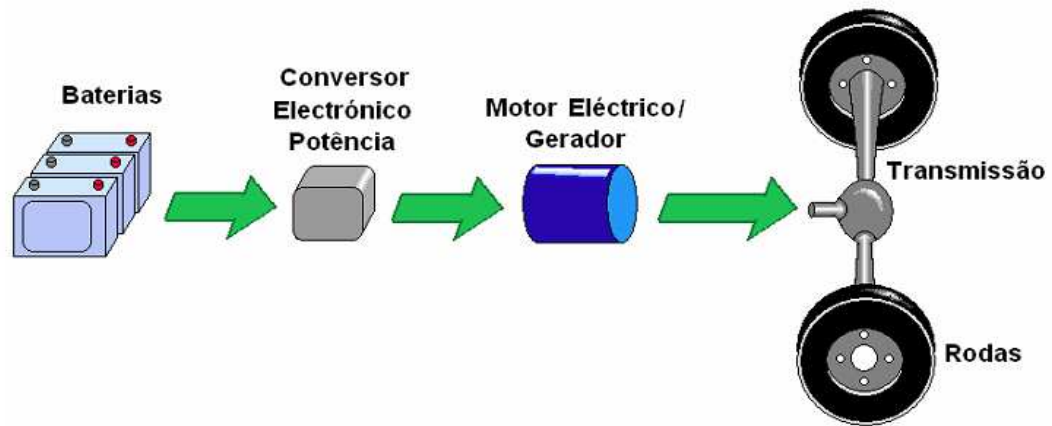


Figura 50 - Fluxo de energia no Sistema de Propulsão Eléctrico a Baterias em tracção.

Fonte: Faias (2006).

É da responsabilidade do conversor electrónico de potência fornecer a energia necessária para o funcionamento do motor eléctrico de tracção, através de um circuito de alimentação das baterias em corrente contínua. Este equipamento é, normalmente, constituído por um circuito com um conjunto de semicondutores que, pela sua abertura e fecho passam a potência requerida pelo motor eléctrico a cada momento. O conversor electrónico de potência compreende uma outra função que é o de proporcionar o funcionamento da máquina eléctrica de tracção como gerador durante as fases de regeneração de energia (Faias, 2006; Ramos, 2010).

Existe uma relação entre o tipo de conversor e o motor eléctrico. Desta forma, para motores de corrente contínua (CC), o tipo de conversor que deve ser utilizado é o *Chopper*, também conhecido por conversor contínuo/contínuo (Figura 51). Para motores de corrente alternada (CA), é utilizado um inversor ou ondulador que altera tanto a frequência como a amplitude da corrente eléctrica, possibilitando a regulação da velocidade de rotação do motor e a potência média que lhe é entregue.

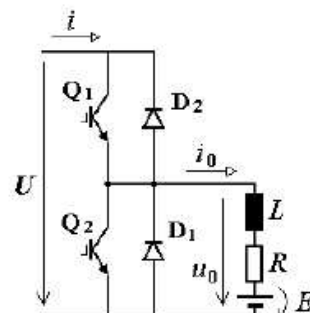


Figura 51 - Exemplo de um *Chopper* para veículos de tracção eléctrica e respectivo esquema de ligações.

Fonte: Faias (2006)

Dado que o controlador electrónico obedece ao conversor de potência, o conversor de potência depende do motor e do sistema de alimentação e que o motor está sujeito às necessidades e requisitos, pode-se concluir que o primeiro sistema a ter em conta é o motor eléctrico. Este tem como função transformar a energia eléctrica em energia mecânica para tracção do veículo (Chan, 2007; Ramos, 2010).

Os motores eléctricos podem ser classificados em dois grandes grupos, os motores com comutador/colector e os motores sem comutador (Figura 52) (Ramos, 2010).

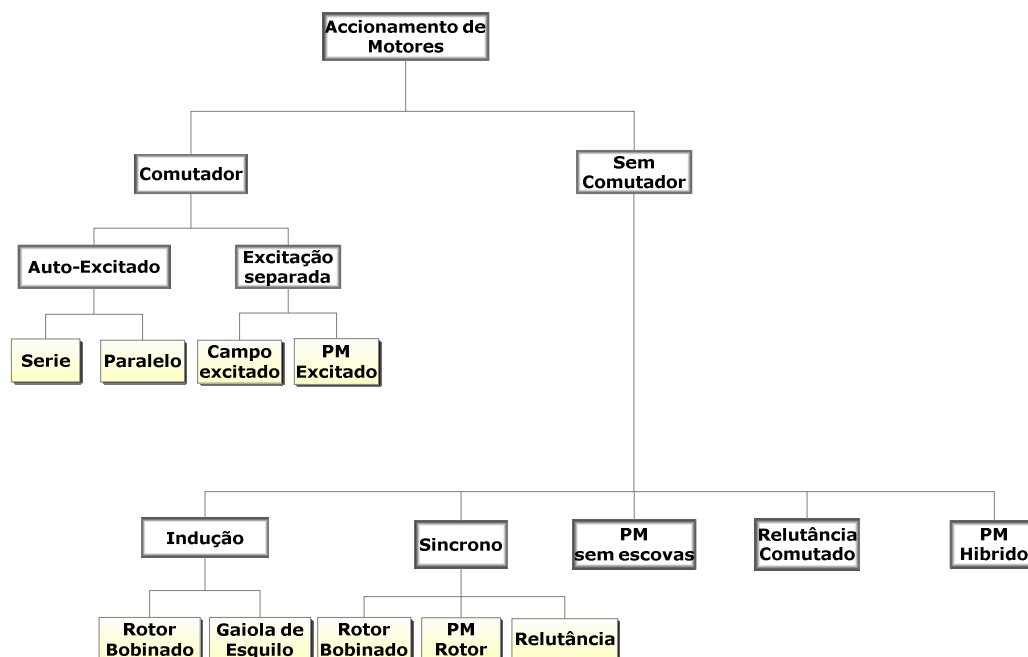


Figura 52 - Os dois grupos de tipos de motor a considerar para veículos eléctricos.

Fonte: Ramos (2010)

No grupo dos motores com comutador estão inseridos os motores de corrente contínua (CC) onde se incluem os motores de excitação em série, excitação em paralelo, excitação composta, excitação separadas e de magnetos permanentes. Tradicionalmente, este grupo de motores encontrava-se relacionado com a tracção eléctrica face à característica binário-velocidade adaptar-se às solicitações da tracção de um veículo e o seu controlo ser relativamente simples. Contudo, os motores CC requerem comutadores/colectores e escovas de modo que flua corrente para a armadura, que faz com que sejam menos fiáveis e menos apropriados para operar a altas velocidades, precisando de manutenção regular (Figura 53) (JGW, 1994; Ramos, 2010; Tseng & Chen, 1997).

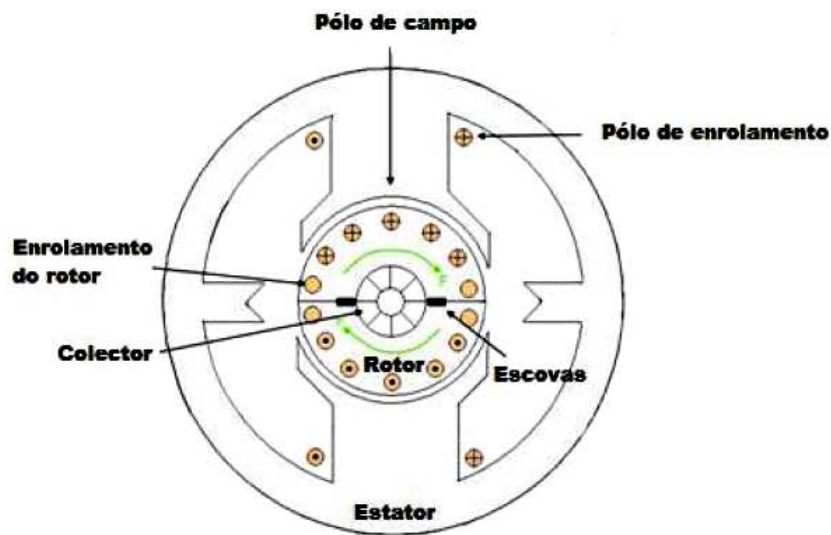


Figura 53 - Constituição do motor de corrente contínua.

Fonte: Ramos (2010)

Uma outra característica muito relevante que os motores utilizados em veículos eléctricos devem ter é uma elevada densidade de potência e os motores CC bobinados apresentam justamente uma baixa densidade de potência. No entanto, devido ao avanço da tecnologia inerente a estes motores e à sua facilidade de controlo, os motores CC são mais utilizados desde há muito tempo como meio de propulsão dos veículos eléctricos (Chan, 2007; Larminie & Lowry, 2003).



considerados como potenciais competidores relativamente aos motores de indução para aplicações em veículos eléctricos (Costa, 2009; Paulides, Kazmin, Gysen, & Lomonova, 2008).

Outro tipo de motor com algum potencial para ser utilizado em aplicações de tracção em veículos eléctricos é o motor de relutância variável comutado. O motor de relutância variável comutado apresenta como vantagens o facto de ter como construção simples, custo de produção baixa e excepcionais características binário-velocidade para aplicação em veículos eléctricos. A desvantagem deste tipo de motor passa pelo controlo mais complexo.

Geralmente, os motores de relutância variável comutada utilizam sensores para detectar a posição relativa entre o rotor e o estator e, são por isso, componentes vulneráveis a vibrações mecânicas e sensíveis quer à temperatura, quer à sujidade, que faz com que exista uma redução no que respeita à fiabilidade dos motores e limitando algumas aplicações dos mesmos (Figura 55) (JGW, 1994; Ramos, 2010).

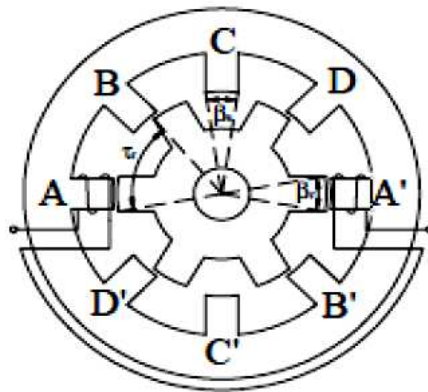


Figura 55 - Motor de relutância comutado, com 8 pólos no estator e 6 pólos no rotor.

Fonte: JGW (1994) e Ramos (2010).

Neste sentido, actualmente, o motor de indução e o motor síncrono de magnetos permanentes são os sistemas de propulsão mais ajustados a aplicações em veículos eléctricos, tendo em conta três factores determinantes para selecção do conjunto motor controlador, nomeadamente, o rendimento, o peso e o custo (Tabela 7) (Ramos, 2010).

Tabela 7 - Comparação dos sistemas de propulsão.

Fonte: ramos (2010)

	Rendimento (%)			Peso		Custo
	Motor	Controlador	Motor e controlador	Motor	Motor e controlador	
<i>Motor de corrente contínua</i>	80	98	78	4	4,5	2
<i>Motor de indução</i>	90	93	84	2	3	0,5
<i>Motor Síncrono de Imanes Permanentes</i>	97	93	90	1	2	1
<i>Motor de Relutância Variável Comutado</i>	94	90	85	1,5	2,5	1,5

Em suma, os tipos de motores mais utilizados em veículos eléctricos são os de corrente contínua com diversos tipos de excitação, tais como, série, derivação, magnetos permanentes (Figura 56), entre outros, motores de corrente alternada síncronas, como os convencionais ou de magnetos permanentes e os assíncronos, como por exemplo, rotor bobinado ou gaiola de esquilo. No entanto, os motores de corrente contínua são os mais facilmente controlados quando comparados com os motores de corrente alternada que necessitam de conversores e sistemas de controlo mais complexos. Também os motores de corrente contínua e os motores de corrente alternada síncronos convencionais requerem um maior número de cuidados quanto à sua manutenção, uma vez que o contacto eléctrico com o rotor é realizado através de um conjunto escovas-anel sujeito a algum desgaste. Já os motores assíncronos com rotor em gaiola são os mais económicos e que requerem menor manutenção (Granadeiro, 2009; JGW, 1994).

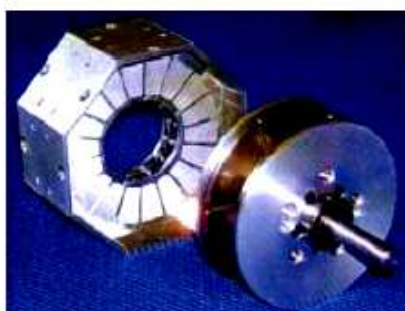


Figura 56 - Exemplo de um motor eléctrico de corrente contínua de magnetos permanentes utilizado em veículos de tracção eléctrica.

Fonte: Faias (2006)

Ao compararmos os motores de CC com os motores de CA é necessário ter por base alguns factores, nomeadamente, 1) eficiência, 2) custo, 3) tolerância a avarias, 4) relação entre velocidade máxima e velocidade nominal, 5) segurança e fiabilidade, 6) nível de maturação da tecnologia e 7) densidade de potência.

### ***Eficiência***

Os motores de CC de magnetos permanentes são os que apresentam uma maior eficiência. Os resultados quanto à eficiência que surgem na literatura são controversos. Para uns autores os motores de CC de magnetos permanentes são os que apresentam uma maior eficiência, para outros, os motores de CA de magnetos permanentes são considerados os que apresentam um valor maior, tendo em conta este parâmetro (Grilo, 2010).

### ***Custo***

Relativamente ao custo também os resultados são controversos, pois para uns autores, os motores de CC convencionais são os que apresentam menor custo e para outros autores são os motores de indução. Contudo, os resultados na literatura são unânimes quanto ao tipo de motores de custo superior, que são os motores CA de magnetos permanentes (Grilo, 2010).

### ***Tolerância a avarias***

Os motores de relutância variável comutados são equipamentos com maior resistência, por terem enrolamentos de fase independente uns dos outros, ou seja, caso algum enrolamento falhe, o motor poderá funcionar com os restantes, apesar de sofrer uma diminuição no desempenho no seu funcionamento. No entanto, para a conversão de energia electromecânica nos motores de indução e nos motores de CC de magnetos permanentes é interdependente, o que significa que quanto existe uma avaria, todo o sistema falha (Grilo, 2010).

### ***Relação entre velocidade máxima e nominal***

Os motores de relutância comutado podem alcançar uma relação de 5 ou 6, ou seja, em aplicações de veículos eléctricos, estes motores funcionam a velocidades muito elevadas, na ordem das 10.000 rpm. No entanto, o motor de CC de magnetos permanentes, por não funcionar a velocidades tão elevadas, como era esperado, necessita sofrer algumas alterações no rotor. Geralmente, estas alterações resultam numa diminuição do seu desempenho, levando a um aumento do custo associado. A mesma situação verifica-se nos motores de indução, na medida em que, normalmente, a sua velocidade máxima é inferior a 10.000rpm. Neste sentido, os motores de CC de magnetos permanentes e os motores de indução estão limitados no que respeita à velocidade máxima (Grilo, 2010).

### ***Segurança e Fiabilidade***

Os motores de relutância variável comutada são superiores aos restantes motores. Contudo, os motores de indução encontram-se também relacionados a uma elevada segurança e fiabilidade. Já os motores de menor segurança são os motores de corrente contínua (Grilo, 2010).

### ***Nível de maturação da tecnologia***

Os motores de indução apresentam um nível de maturação da tecnologia mais elevado, que se encontra relacionado com toda a investigação que tem sido realizada em torno deste tipo de motor, pois é um dos motores mais antigos (Grilo, 2010).

### ***Densidade de potência***

Os motores de CA de magnetos permanentes são os que apresentam maior vantagem em termos de densidade de potência, seguidos dos motores de indução. Tendo em consideração o desempenho de cada motor, os motores de relutância variável comutada seriam os mais apropriados para aplicação em veículos eléctricos. Todavia, o motor mais indicado é o motor

de indução por ser muito fiável, robusto, requerendo pouca manutenção e um baixo custo e estar habilitado a funcionar em ambientes adversos (Grilo, 2010).

Por último, a transmissão tem como função assegurar a ligação mecânica entre o motor eléctrico de tracção e as rodas. O sistema de transmissão é, geralmente, constituído por um conjunto de engrenagens, pelos veios de transmissão às rodas e pelo veio de ligação ao motor, este conjunto de engrenagens é, usualmente, utilizado como reductor de velocidades, possibilitando um maior binário disponibilizado às rodas dos veículos.

É de salientar que, nos veículos eléctricos as baterias podem ser caracterizadas por várias topologias, sendo que as mais utilizadas e referenciadas na literatura são apresentadas de seguida (Figura 57) (Granadeiro, 2009).

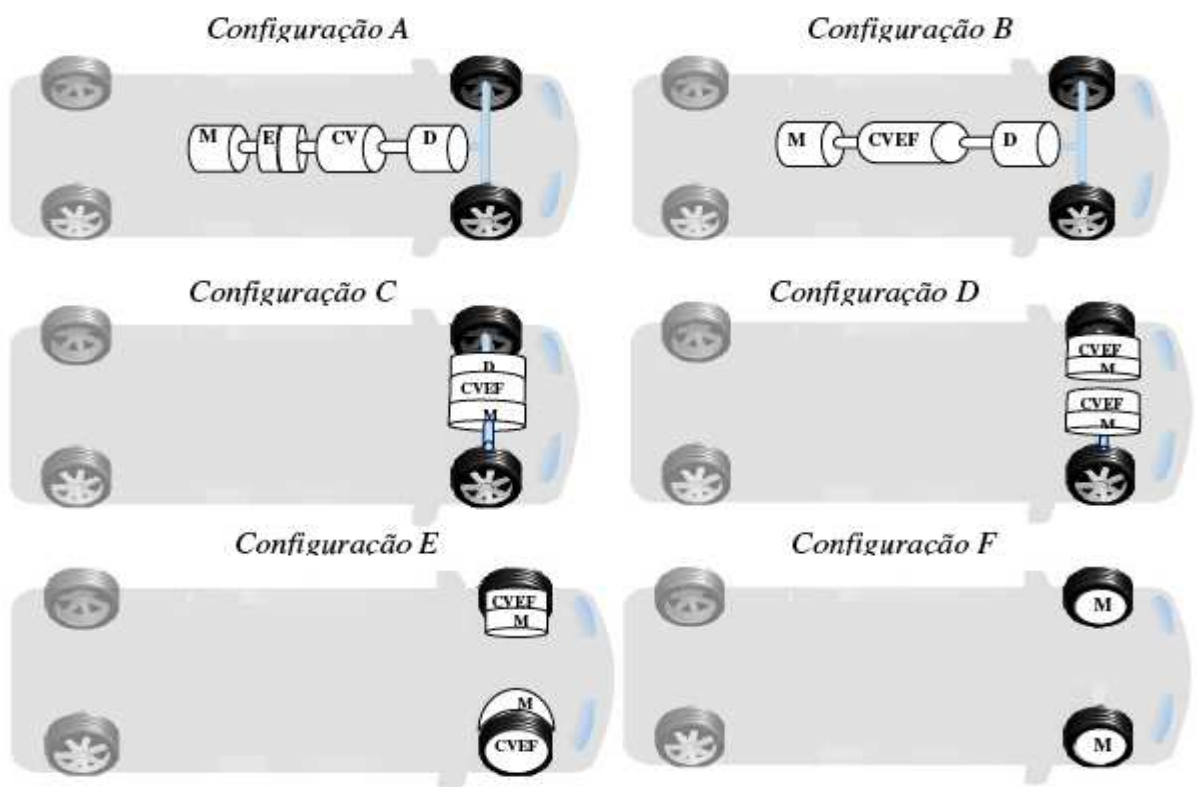


Figura 57 - Diferentes configurações de veículos eléctricos de baterias (D= Diferencial; E= Embraiagem; CV= Caixa de Velocidades; CVEF= Caixa de Velocidade de Engrenagem Fixa; M= Motor).  
Fonte: Granadeiro (2009)

### ***Topologia A***

- é constituída pelo motor eléctrico, embraiagem, caixa de velocidade e diferencial;
- o motor pode accionar as rodas dianteiras traseiras - tracção dianteira ou traseira;
- é muito utilizada na conversão do veículos convencionais porque reduz a complexa mecânica e existe um maior aproveitamento dos sistemas originais do veículo, pois há apenas a troca do motor de combustão por um idêntico, mas eléctrico (Granadeiro, 2009; Ramos, 2010).

### ***Topologia B***

- é constituída pelo motor eléctrico, engrenagem fixa e diferencial;
- é substituída a caixa de velocidades por uma engrenagem fixa, permite proceder à remoção da embraiagem, reduzindo o peso e tamanho do mecanismo de transmissão (Granadeiro, 2009; Ramos, 2010).

### ***Topologia C***

- é constituída pelo motor eléctrico, engrenagem fixa e diferencial, integrados num eixo entre as rodas motrizes;
- integra o conceito de motor frontal e tracção dianteiras transversal (Granadeiro, 2009; Ramos, 2010);

### ***Topologia D***

- a acção do diferencial em curvas pode ser electronicamente disponibilizadas por dois motores eléctricos operando a diferentes velocidades, conduzindo de forma separada às duas rodas motrizes, através de uma engrenagem fixa (Granadeiro, 2009; Ramos, 2010).

### ***Topologia E***

- o motor eléctrico encontra-se no interior das rodas associado a uma engrenagem planetária fixa, que diminui a velocidade do motor para uma velocidade desejável na roda (Granadeiro, 2009; Ramos, 2010).

### ***Topologia F***

- o motor eléctrico é directamente aplicado às rodas, contendo um rotor exterior de baixa velocidade;

- o controlo de velocidade do motor eléctrico é semelhante ao controlo da velocidade das rodas e, conseqüentemente, do veículo (Granadeiro, 2009; Ramos, 2010).

Quanto à escolha das diferentes tipologias apresentadas, esta depende do tamanho e aplicação do veículo eléctrico. Assim, nos dias de hoje, as topologias B e C são as mais conhecidas. Já as topologias E e F têm sido as mais utilizadas simplesmente para demonstrações, uma vez que se encontram ainda em fase de testes e de desenvolvimento (Granadeiro, 2009).

O sistema de propulsão eléctrico a baterias tem algumas vantagens pois não existe emissão de gases poluentes no seu local de funcionamento, bem como, por ser silencioso e por ter a capacidade de regenerar tanto nas desacelerações como nas descidas e consumir energia eléctrica, em que uma parte pode ter sido produzida por fontes renováveis (Hori, 2004; Shimizu, Harada, Bland, Kawakami, & Chan, 1997; Terashima et al., 1997).

No que diz respeito à autonomia deste tipo de sistema esta varia consoante o tipo de baterias, oscilando entre os 70 e os 250Km. Deste modo, a autonomia é considerada como uma limitação. Todavia, a recarga das baterias pode ser efectuada em qualquer local, desde que exista disponível uma tomada de rede eléctrica. Como outras desvantagens do sistema de propulsão eléctrica, a literatura refere o custo, o peso e tempo de recarga elevados (Shimizu, et al., 1997; Terashima, et al., 1997).

## Sistema de Propulsão Híbrido Eléctrico

Na procura de novos sistemas de propulsão alternativos ao sistema de propulsão convencional, surgem soluções tendo por base os sistemas híbridos (Mehrddad Ehsani, 1997).

Os sistemas de propulsão híbridos eléctricos tratam-se de sistemas desenvolvidos com o principal intuito de agregar as vantagens dos veículos eléctricos puros, como por exemplo, a eficiência energética e o facto de não existir emissão de gases poluentes no seu local de funcionamento, com as vantagens do veículo convencional, nomeadamente a autonomia, principal desvantagem do veículo eléctrico (Camus, Silva, Farias, & Esteves, 2009; Dominguez & Sanz, s/d).

Este tipo de sistemas conjuga o funcionamento de um motor térmico de combustão, para aumentar a autonomia, com o de um motor eléctrico para aumentar o rendimento. Assim funciona como motor a baixas rotações, onde o motor de combustão é ineficiente e já em altas rotações funciona, regularmente, como gerador, onde existe aproveitamento da energia cinética do veículo proveniente de travagens para carregar a bateria, denominadas de travagens regenerativas. De modo a evitar os regimes dinâmicos elevados na bateria é possível ter componentes intermédios, tais como, sistemas volantes e supercondensadores, com o intuito de melhorar o desempenho do sistema (Camus, et al., 2009; Ferraz & Donha, 2009).

Quanto ao seu funcionamento, os veículos híbridos eléctricos utilizam somente o motor eléctrico, quando a potência deste é suficiente para satisfazer as condições de condução e do terreno. No entanto, quando a potência do motor eléctrico é escassa, recorre-se ao motor de combustão interna (Chan, 2002).

No que concerne ao peso, as baterias devem ser o mais leves possível, com o objectivo de minimizar a energia utilizada somente para o transporte destas. Também no que diz respeito ao período de tempo de funcionamento em modo eléctrico, este deve ser o mais longo possível, com o intuito de reduzir as emissões poluentes que provêm do motor de combustão interna (Camus, et al., 2009; Nanda G, 2006).

Neste sentido, o desafio na concepção de um veículo híbrido eléctrico, passa pela gestão de variadas fontes de energia, com a adopção de diferentes configurações (Nanda G, 2006).

Desta forma, tendo em conta a sua configuração, os sistemas de propulsão híbrido eléctrico podem ser divididos em quatro grupos: 1) Série, 2) Paralelo, 3) Série-Paralelo e 4) Complexo.

### **Sistema Série**

O sistema de propulsão híbrido eléctrico série compreende a configuração de um veículo eléctrico cuja alimentação provém da junção de duas ou mais fontes de energia. Neste sentido, uma das soluções implementadas para incrementar a autonomia deste tipo de sistemas, passa por recorrer a fontes de energia, tais como, motores de combustão interna ou pilhas de combustível, de modo a garantir que estejam presentes as principais vantagens do sistema eléctrico a baterias (Faiais, 2006; Reis, 2008).

A energia cinética que provém da combustão do combustível no motor de combustão interna é convertida através do gerador em energia eléctrica, que depois será combinada com a energia proveniente da bateria através de um controlador electrónico. O controlador electrónico apresenta como função comparar as necessidades da condução com a velocidade do veículo e binário disponível do motor eléctrico, com o objectivo de determinar a quantidade de energia fornecida pela bateria e pelo motor de combustão interna (Figura 58) (Ehsani M, 2003; Granadeiro, 2009).

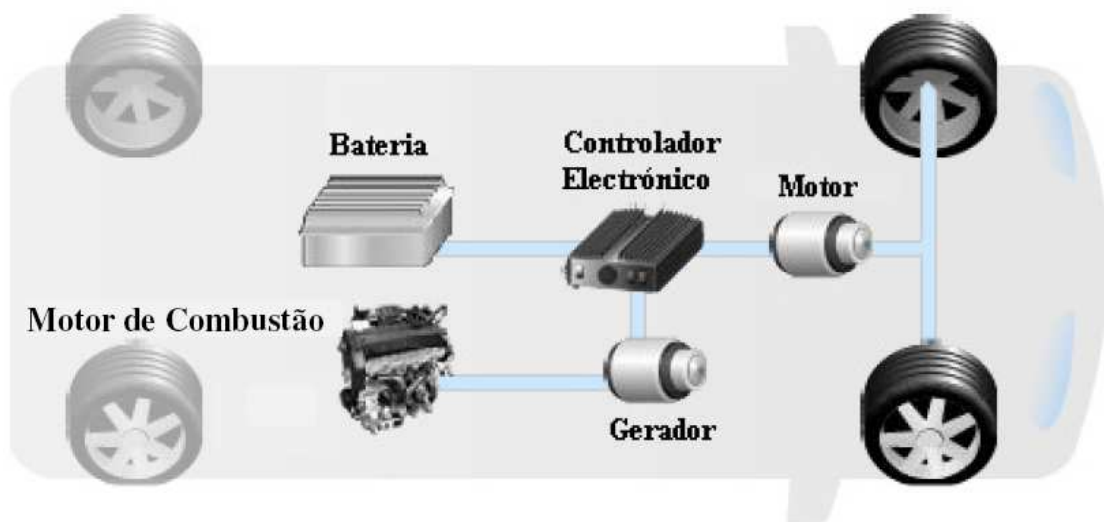


Figura 58 - Sistema Série de um veículo híbrido eléctrico.

Fonte: Granadeiro (2009).

Esta energia pode ser utilizada, quer para carregar a bateria, quer para a propulsão através do motor que se encontra ligado mecanicamente à transmissão. Em termos conceptuais, é como um veículo eléctrico assistido por um motor de combustão interna (Emadi, 2005; Gomes, 2010).

Quando opera a baixa velocidades, o controlador electrónico necessita somente energia da bateria para accionar o motor eléctrico, funcionando o veículo em modo eléctrico (Figura 59) (Granadeiro, 2009).

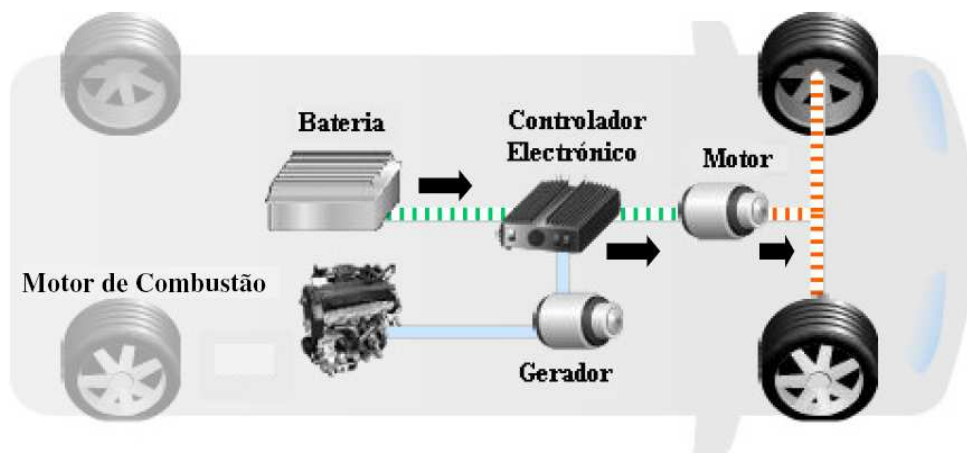


Figura 59 - Configuração Série a velocidade reduzida.  
Fonte: Granadeiro (2009).

Nos momentos de aceleração, o motor de combustão interna acciona o gerador, suplementando a energia que provém da bateria (Figura 60) (Granadeiro, 2009).

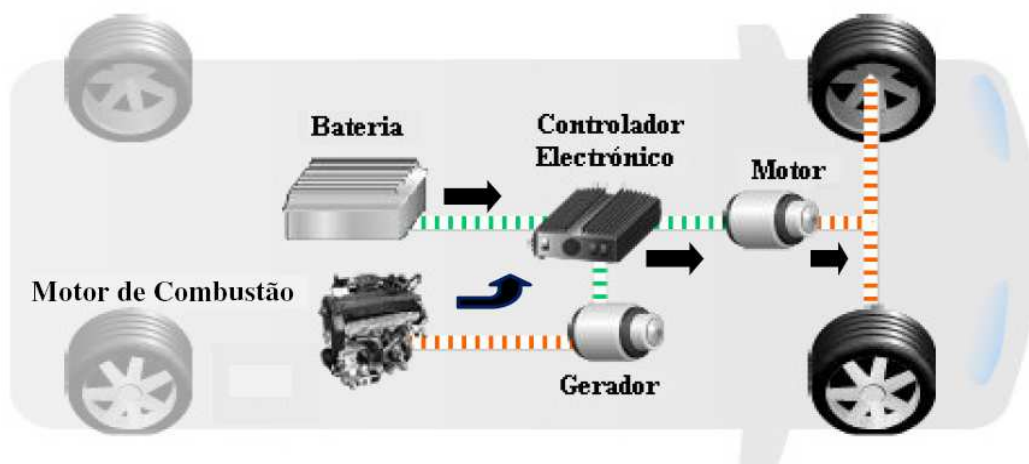


Figura 60 - Configuração Série durante aceleração.  
Fonte: Granadeiro (2009).

A uma velocidade constante, o motor de combustão interna acciona o gerador, fornecendo energia eléctrica para accionar o motor eléctrico e, caso necessário, recarregar a bateria. Este modo de operação faz com que haja uma redução emissão de gases poluentes (Figura 61) (Granadeiro, 2009).

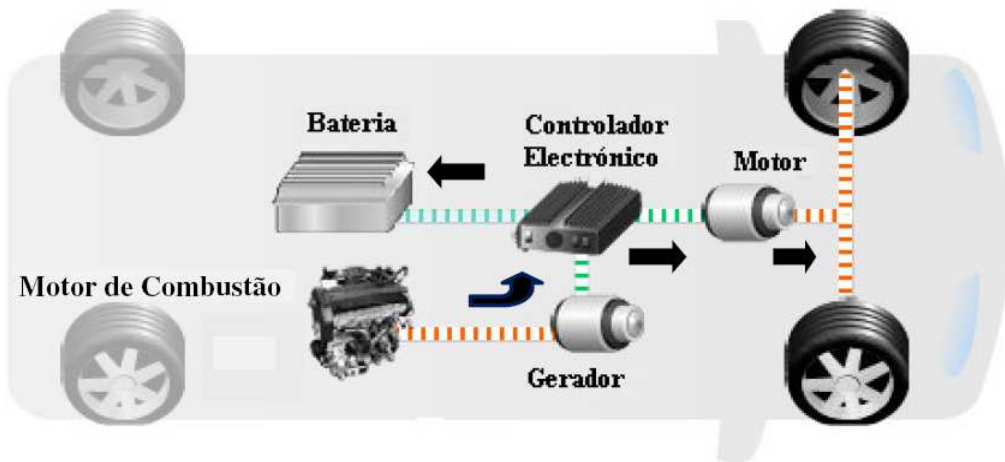


Figura 61 - Configuração Série em velocidade constante.

Fonte: Granadeiro (2009).

Já durante as travagens, o controlador electrónico permite o aproveitamento a energia regenerativa de travagem para carregar a bateria, funcionando o motor electrónico como gerador (Figura 62) (Granadeiro, 2009).

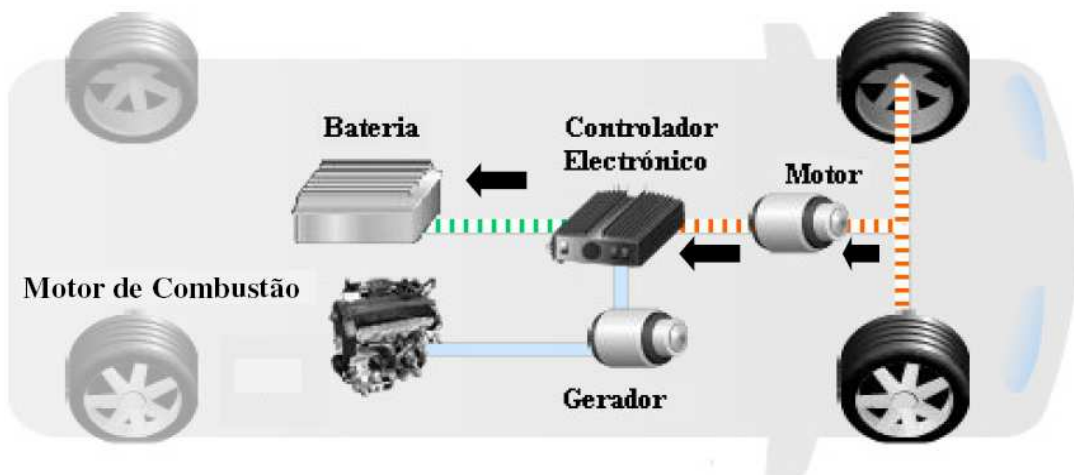


Figura 62 - Configuração Série durante a travagem.

Fonte: Granadeiro (2009).

Como vantagens, a configuração série dos veículos híbridos eléctricos permite a colocação de motor de combustão interna em qualquer parte do veículo, fora do compartimento dos passageiros, dado que não requer nenhuma ligação mecânica, para além da ligação ao gerador eléctrico (Gomes, 2010; Paulides, et al., 2008).

Ao não se encontrar o motor de combustão acoplado às rodas, a potência necessária no processo tanto de arranque, como de paragem é inferior, levando a um maior rendimento. Já como desvantagem é apontado o facto da necessidade de três máquinas, designadamente, o motor de combustão, o gerador e o motor eléctrico, dimensionados para a máxima potência exigida no desempenho do veículo, fazendo com que a concepção seja dispendiosa. Também o rendimento total do sistema é inferior pelo processo de conversão de energia mecânica em energia eléctrica e pela conversão de energia eléctrica em mecânica, de forma a accionar as rodas (Emadi, 2005; Faias, 2006).

Este tipo de configuração proporciona um melhor desempenho num tipo de condução de arranque-paragem e, por isso, em deslocações dentro das cidades. Assim, o sistema série apresenta um melhor comportamento, uma vez que utiliza com maior frequência a componente eléctrica. Já para longas distâncias, a utilização da cadeia completa induz perdas de transmissão maiores.

De forma sucinta, o sistema de propulsão híbrido eléctrico série é constituído por um conjunto de componentes. São eles: Grupo gerador; Baterias de tracção; Tanque de combustível; Conversor electrónico de potência; Motor eléctrico; e Sistema de transmissão.

O grupo gerador é composto por um motor de combustão interna e por um gerador eléctrico accionado por este. No que diz respeito à potência do conjunto, esta é determinada tendo em conta a potência média que se observa durante um certo percurso; todavia, em situações de picos de potência, a resposta é obtida com recurso à energia armazenada nas baterias (Emadi, 2005).

Quanto ao tipo de aplicação do motor de combustão interna aplicado, este pode ser de qualquer tipo, Otto ou Diesel, podendo utilizar-se combustíveis como gasolina e gasóleo.

Assim, a configuração do sistema de propulsão híbrido eléctrico possibilita que o motor de combustão interna funcione num regime estacionário e nas melhores condições de rendimento.

No que concerne ao tipo de gerador eléctrico, o que tem sido mais vezes instalado neste tipo de sistemas é a máquina de corrente alternada síncrona de magnetos permanentes, munido de um rectificador, geralmente conhecido como alternador, pelo seu elevado rendimento, entre 90 a 95% (Faias, 2006).

No sistema de propulsão híbrido eléctrico série é da responsabilidade das baterias acumular a energia que será requerida pelo motor eléctrico de tracção, no determinado momento em que a energia disponibilizada pelo gerador não for suficiente. Desta forma, a gestão adequada da energia gerada pelo gerador e armazenada nas baterias faz com que, durante espaços de tempo, o sistema funcione como um veículo eléctrico puro.

Quanto às características das baterias implementadas neste tipo de sistema, estas devem ter elevada energia específica, uma vez que, toda a energia utilizada durante a utilização do veículo está alojada nas baterias. No caso específico do sistema de propulsão híbrido eléctrico série, uma parcela da energia utilizada provém do grupo gerador, sendo que é da função da bateria ajudar o sistema de propulsão durante os picos de consumo. Deste modo, tanto a potência específica, como o número de ciclos carga/descarga durante a vida útil devem ser as características mais valorizadas neste componente (Faiais, 2006).

Os restantes elementos que constituem o sistema de propulsão Híbrido Eléctrico Série, tais como o tanque de combustível, o conversor electrónico de potência, o motor eléctrico e o sistema de transmissão já foram apresentando anteriormente.

Como vantagens do sistema de propulsão híbrido série salienta-se o elevado binário de arranque, a capacidade de periodicamente funcionar como um veículo que não emite gases poluentes no seu local de funcionamento, uma autonomia igual ou superior à de um sistema de propulsão convencional e ainda a capacidade de regenerar energia. Salienta-se também o facto de o motor térmico, que tem como função activar o gerador, ser escolhido para funcionar em regime estacionário e em circunstâncias próximas do melhor rendimento possível, fazendo com que exista uma redução tanto dos consumos energéticos como da emissão de gases poluentes (Denholm, 2006).

No entanto, como desvantagens deste tipo de sistema relativamente ao sistema de propulsão convencional, refira-se o facto de terem um maior número componentes que o constituem o que, conseqüentemente, torna o sistema mais complexo e, naturalmente, mais dispendioso.

O sistema de propulsão híbrido eléctrico série é mais apropriado a aplicações com maior número de paragens e arranques e terrenos acidentados, onde o sistema de propulsão convencional apresente reduzida eficiência energética e elevado gasto e, por isso, com bastante redução do seu tempo de vida útil (Júnior, 2002).

## Sistema Paralelo

Quando comparado com a configuração em série, o sistema paralelo distingue-se pelo facto de ambos, o motor de combustão interna e o motor eléctrico, poderem fornecer, de forma paralela, potências às rodas motrizes (Figura 63) (Granadeiro, 2009). Deste modo, a potência de propulsão pode derivar de forma isolada de cada um dos blocos ou por ambos em simultâneo, pois encontram-se acoplados ao eixo de transmissão do veículo através de duas embraiagens e uma caixa de velocidades. Assim, possibilita um incremento de eficiência do sistema de propulsão, bem como a aplicação de motores de inferiores potências comparativamente aos que são utilizados no sistema de propulsão convencional e no sistema de propulsão a baterias (Faias, 2006; Melo, 2010).

À semelhança do sistema série, o controlador electrónico compara as exigências de condução com a velocidade do veículo e binário do motor eléctrico, de forma a determinar a quantidade de energia fornecida pelas diversas fontes, com o objectivo de alcançar um melhor rendimento, desempenho e uma redução nas emissões de gases poluentes.

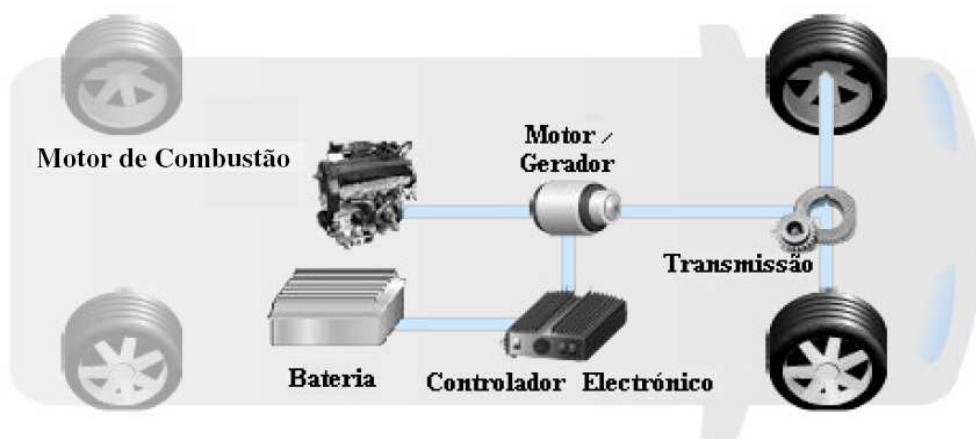


Figura 63 - Configuração Híbrida Paralelo.

Fonte: Granadeiro (2009).

O sistema de propulsão híbrido eléctrico paralelo procura usufruir dos pontos mais positivos, quer do sistema de propulsão convencional, quer do sistema eléctrico a baterias. Este tipo de sistema compreende a utilização de um motor eléctrico e de um motor de combustão interna para a tracção do veículo. O sistema paralelo armazena a energia de dois modos diferentes, o primeiro sob a forma de combustível ou o segundo sob a forma de energia electroquímica nas baterias de tracção (Gomes, 2010).

É de referir que o motor eléctrico pode também operar como gerador para carregar a bateria nos momentos de travagens regenerativas ou quando a potência que provém do motor de combustão é superior à necessária na transmissão. Desta forma, este tipo de sistema é melhor que o sistema série, precisando somente de dois sistemas de propulsão, excluindo o gerador (Reis, 2008).

Face à inexistência de motor de arranque, no processo de ligação após a paragem do veículo, por exemplo num semáforo, o motor de combustão interna é accionado pela unidade do motor eléctrico, utilizando a energia eléctrica da bateria (Figura 64) (Granadeiro, 2009).

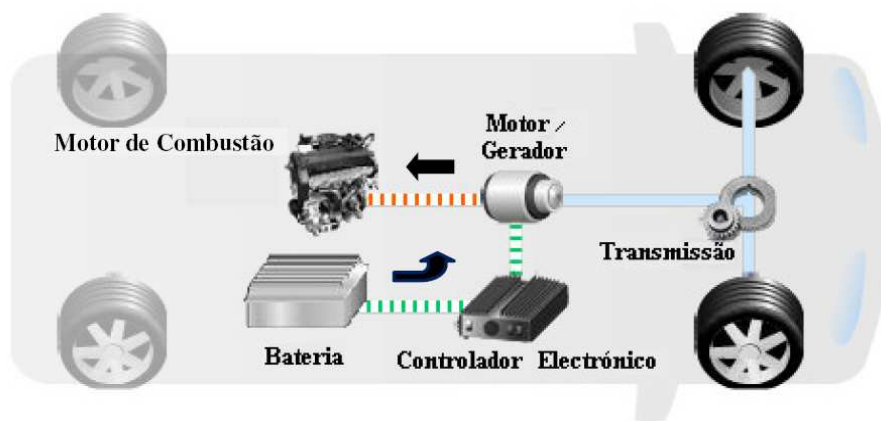


Figura 64 - Configuração Paralelo no processo de ligação.

Fonte: Granadeiro (2009).

No momento de aceleração, o motor de combustão interna acciona as rodas, auxiliado quando preciso pela unidade de motor eléctrico, cuja função é converter em energia mecânica a energia eléctrica que provém da bateria (Figura 65) (Granadeiro, 2009).

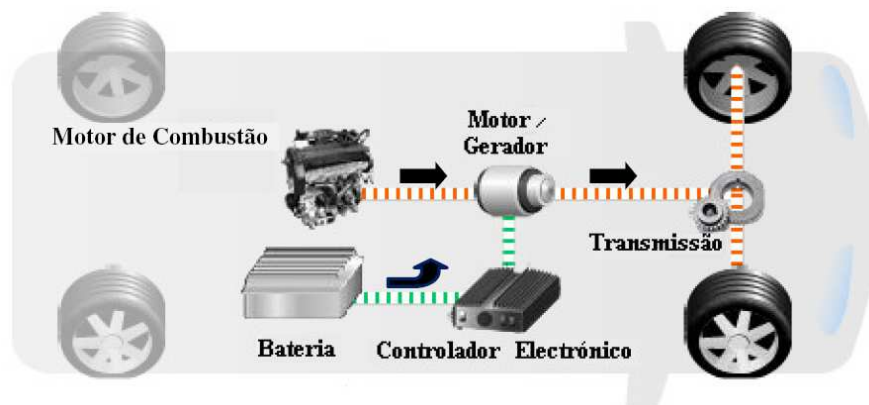


Figura 65 - Configuração Paralelo durante aceleração.

Fonte: Granadeiro (2009).

Considerando uma velocidade constante, as rodas são accionadas pelo motor de combustão, fazendo com que a energia mecânica adicional produzida por este seja transformada em energia eléctrica pela unidade de gerador eléctrico, de forma a recarregar a bateria (Figura 66) (Granadeiro, 2009).

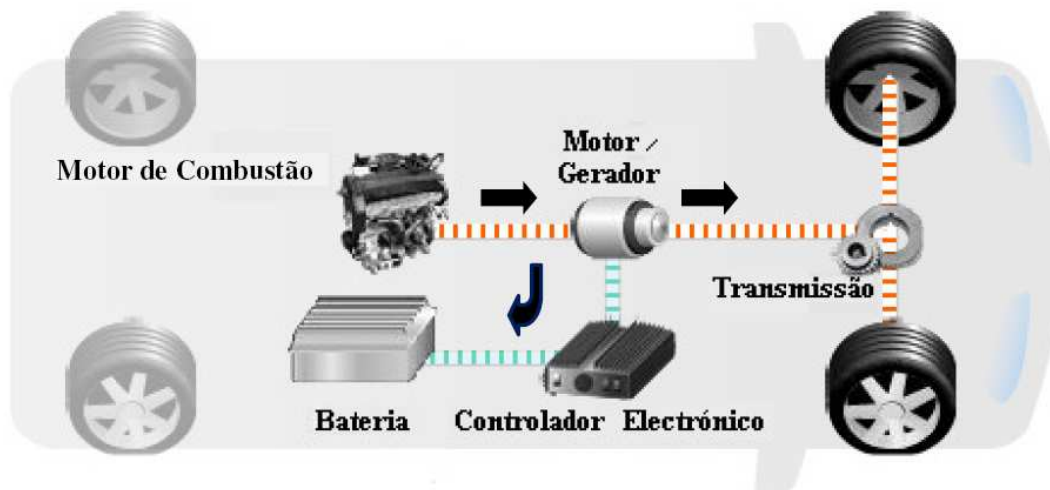


Figura 66 - Configuração Paralelo em velocidade constante.

Fonte: Granadeiro (2009).

Já no momento de travagem, a unidade motor/gerador modifica para modo regenerativo, transformando a energia mecânica de travagem em energia eléctrica, recarregando as baterias (Figura 67) (Granadeiro, 2009).

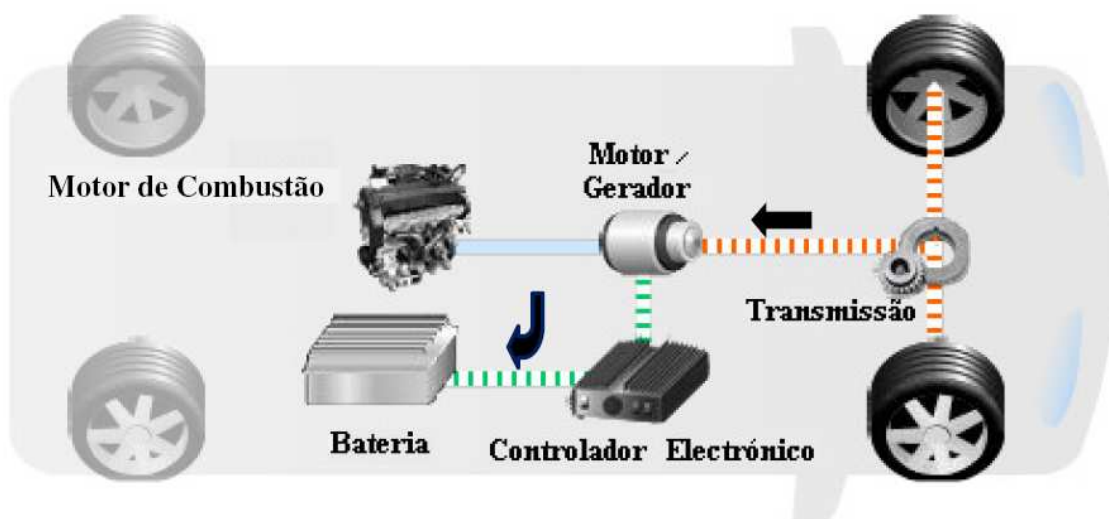


Figura 67 - Configuração Paralelo durante a travagem.

Fonte: Granadeiro (2009).

Neste tipo de configuração paralelo, o motor de combustão interna é accionado apenas para o veículo em movimento, à excepção do caso da bateria conter carga reduzida, minimizando o ruído de deslocação. É de salientar que o motor de combustão interna somente pode ser colocado em determinadas posições do veículo, na medida em que se encontra mecanicamente acoplado ao eixo de transmissão, apresentando uma maior variação de velocidade do que no sistema série, dificultando a redução de emissões de gases poluentes (Gomes, 2010).

Quando comparado com a configuração série, verifica-se um aumento de rendimento, dado que o motor de combustão interna se encontra ligado directamente às rodas, existindo somente uma única conversão de energia eléctrica em energia mecânica.

Assim, o motor de combustão interna e o motor de eléctrico, de dimensões mais reduzidas que no sistema série, possibilitam alcançar um desempenho semelhante para um nível aceitável de carga de bateria. Em viagens longas, somente o motor de combustão interna requer estar a funcionar no máximo, enquanto que o motor eléctrico opera a cerca de metade da sua capacidade.

Sucintamente, os componentes que constituem o sistema de propulsão híbrido eléctrico paralelo são os seguintes: Tanque de combustível; Motor de combustão interna; Embraiagem; Caixa de velocidades; Transmissão; Conversor electrónico de potência; Motor eléctrico; Baterias; e Acoplamento mecânico.

Desta forma, é da responsabilidade do acoplamento mecânico (Figura 68) realizar a ligação entre o motor de combustão interna, o motor eléctrico e a caixa de velocidades por um conjunto de engrenagens mecânicas.

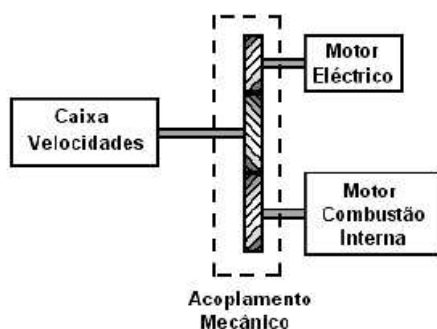


Figura 68 - Acoplamento mecânico para um sistema de propulsão Híbrido Eléctrico Paralelo.  
Fonte: Faias (2006).

Neste sentido, o binário disponível para a tracção do veículo será o somatório entre o binário do motor eléctrico e o binário do motor de combustão interna, para uma dada velocidade de rotação.

Uma das principais vantagens deste tipo de sistema passa por beneficiar das potencialidades quer do sistema convencional, quer do sistema eléctrico a baterias. É de referir que o facto da tracção no sistema de propulsão híbrido eléctrico paralelo ser efectuado através do motor eléctrico, do motor de combustão ou pelos dois motores de simultâneo, acarreta um grau elevado de versatilidade, possibilitando que a potência individual de cada um dos motores mencionados seja inferior, comparativamente ao sistema convencional e ao sistema eléctrico a baterias (Santos, 2009).

Outra das vantagens do sistema de propulsão híbrido eléctrico paralelo passa pelo facto de existir a capacidade de funcionamento como um veículo eléctrico puro, em que não existe emissão de gases poluentes nem ruído. A regeneração de energia em momentos de travagem, bem como a actuação do motor eléctrico em aceleração, leva a que este sistema diminua o consumo energético e as emissões de gases poluentes, relativamente ao sistema de propulsão convencional (Santos, 2009).

É de salientar que, apesar deste tipo de sistema apresentar um enorme potencial, existem algumas desvantagens que devem ser mencionadas, como por exemplo, a dependência de combustíveis que derivam do petróleo. Outro ponto negativo passa pela complexidade do sistema de controlo, o tempo de vida útil e ainda o preço das baterias de tracção (Santos, 2009).

### ***Sistema Série-Paralelo***

Este tipo de configuração inclui todas as características dos sistemas anteriormente apresentados, contendo uma ligação mecânica adicional face ao sistema série e um gerador adicional em relação ao sistema paralelo. Estas especificidades resultam das vantagens de ambas as configurações onde se baseou o sistema série-paralelo, todavia é, relativamente, mais complexo e mais dispendioso. No entanto apresenta um rendimento superior quando comparado a cada um dos outros sistemas (Gomes, 2010).

Neste sentido, nesta configuração em específico, o motor de combustão interna pode accionar de forma directa as rodas, ou ser efectivamente, desconectado das mesmas, sendo que estas são accionadas unicamente pelo motor eléctrico (Figura 69). Assim, o motor de

combustão interna funciona num regime de maior rendimento, operando a velocidades baixas como na configuração série, assumindo o controlo em velocidades elevadas, com o objectivo de reduzir as perdas energéticas (Granadeiro, 2009).

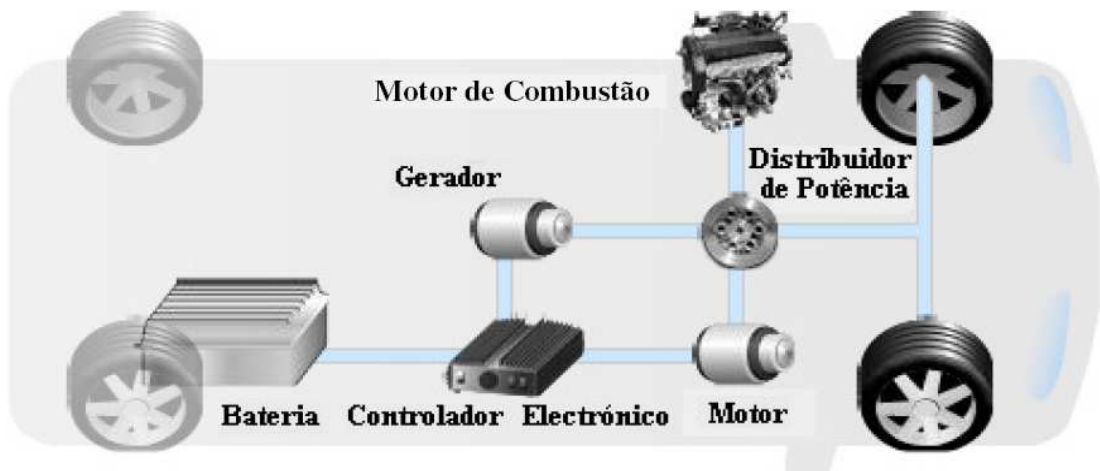


Figura 69 - Configuração Híbrida Série-Paralelo.

Fonte: Granadeiro (2009).

Perante uma condução a baixa velocidade, o distribuidor de potência direcciona o fluxo de energia da bateria para accionar o motor eléctrico, funcionando o veículo simplesmente em modo eléctrico (Figura 70) (Granadeiro, 2009).

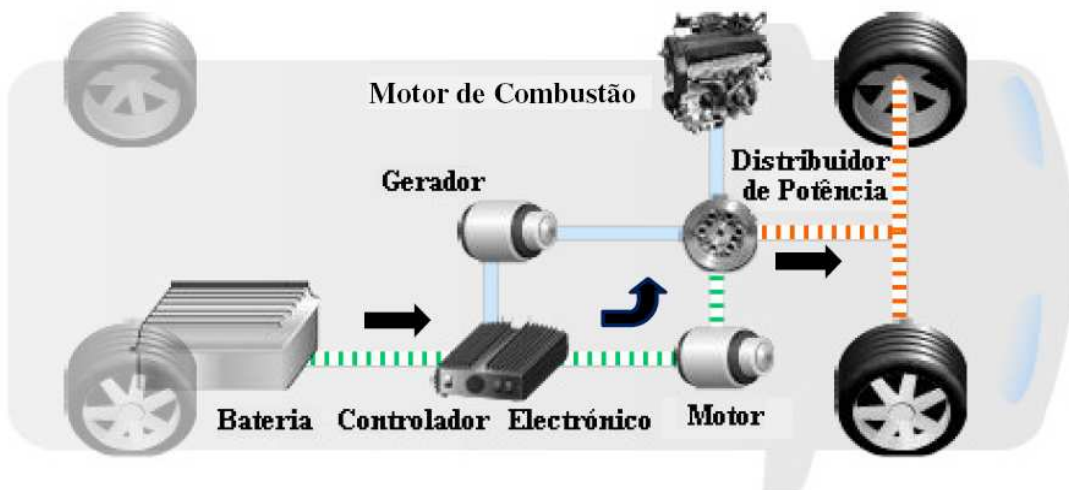


Figura 70 - Configuração Série-Paralelo a velocidade reduzida.

Fonte: Granadeiro (2009).

Já no momento de aceleração, a potência resultante do motor de combustão interna é conduzida pelo distribuidor de potência através do gerador, de forma a suplementar a potência eléctrica vinda da bateria (Figura 71) (Granadeiro, 2009).

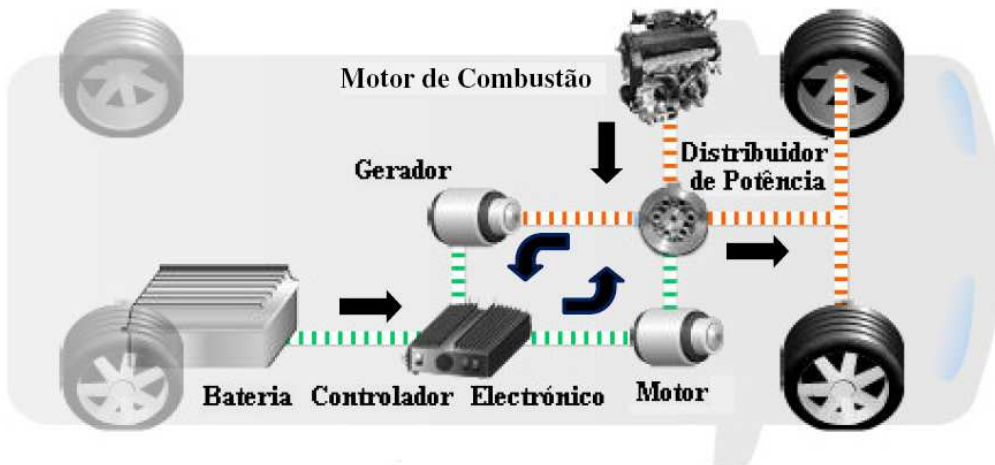


Figura 71 - Configuração Série-Paralelo durante aceleração.

Fonte: Granadeiro (2009).

Para uma velocidade constante, o motor de combustão interna acciona o gerador, disponibilizando a energia para accionar o motor eléctrico e, caso seja necessário, a energia adicional do gerador pode ser encaminhada para recarregar a bateria (Figura 72) (Granadeiro, 2009).

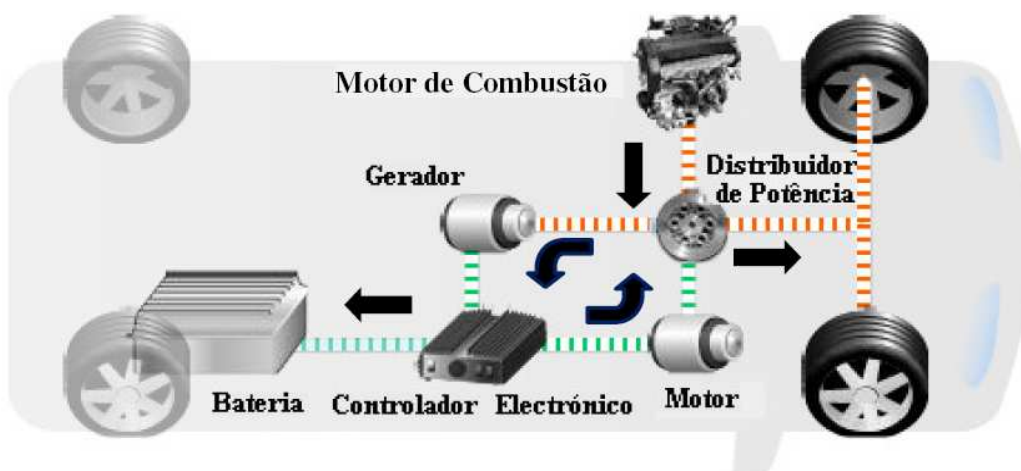


Figura 72 - Configuração Série-Paralelo a velocidade constante.

Fonte: Granadeiro (2009)

Face a um processo de travagem, a energia mecânica da travagem gerada é encaminhada pelo motor eléctrico, com o objectivo de recarregar as baterias (Figura 73) (Granadeiro, 2009).

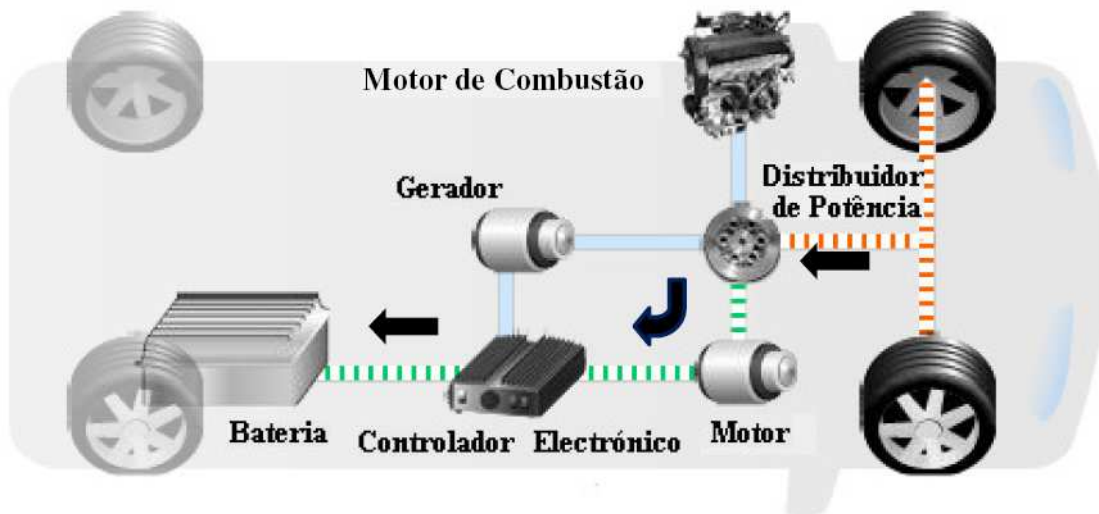


Figura 73 - Configuração Série-Paralelo durante a travagem.

Fonte: Granadeiro (2009).

No entanto, a configuração série-paralelo além de ter pontos positivos é, relativamente, mais complexa e em termos económicos mais dispendiosa, face à necessidade de conter, devido à configuração paralela, uma bateria maior e um controlo de potência mais complexo. Contudo, esta arquitectura apresenta um rendimento superior, comparativamente a cada uma das outras configurações apresentadas anteriormente (Gomes, 2010).

### ***Sistema Complexo***

Este sistema apresenta uma configuração complexa e não pode ser integrada com as restantes configurações apresentadas anteriormente, apesar de apresentar semelhanças com a configuração série-paralelo, o gerador pode funcionar como motor eléctrico, o que possibilita trânsito de energia bidireccional (Gomes, 2010; Melo, 2010). Esta versatilidade possibilita a propulsão de três formas distintas, pelo motor de combustão interna e pelos dois motores

eléctricos. À semelhança da configuração série-paralelo, o sistema complexo também é uma arquitectura de elevado custo e complexidade (Figura 74) (Reis, 2008).

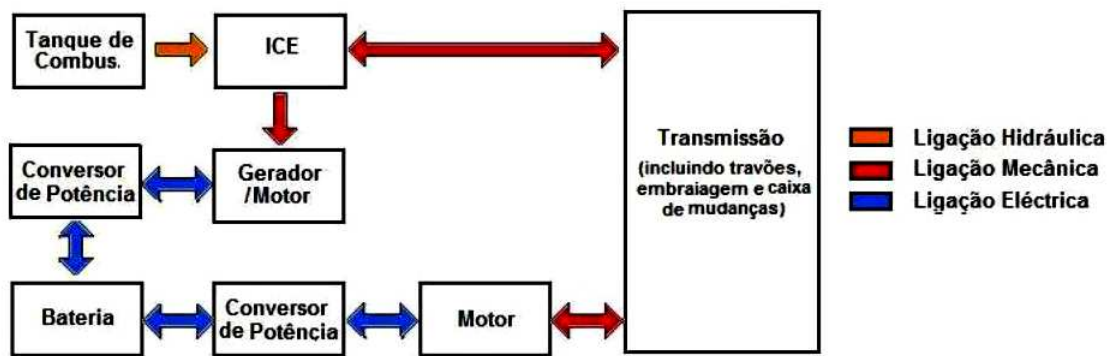


Figura 74 - Configuração híbrida Complexa.

Fonte: Reis (2008)

Como foi referido anteriormente, o sistema híbrido eléctrico emprega na sua propulsão uma combinação de motores eléctricos e motores de combustão interna, com especificidades distintas. Deste modo, o Grau de Híbridação representa a caracterização da relação entre a potência eléctrica e a potência térmica disponível num determinado veículo.

As diferenças nas características, quer do sistema híbrido eléctrico série, quer do sistema híbrido eléctrico paralelo, faz com que se tenham definido dois tipos de Grau de Híbridação, nomeadamente, o Grau de Híbridação Térmico e o Grau de Híbridação Eléctrico.

Assim, o Grau de Híbridação Térmico caracteriza a relação entre a potência eléctrica e a potência térmica instalada num sistema de propulsão híbrido eléctrico série. A equação 4 mostra a relação entre a potência do grupo gerador e a potência total disponível no veículo (gerador e baterias) (Faias, 2006).

$$\text{Grau de Híbridação Térmica} = \frac{P_{\text{Grupo Gerador}}}{P_{\text{Grupo Gerador}} + P_{\text{Baterias Tracção}}} \times 100\% \quad (4)$$

No entanto, graus de híbridação térmicos superiores a 50% equivalem a uma capacidade de armazenamento de energia eléctrica menor que a energia térmica produzida e, por isso, devem ser evitadas, pois podem fazer com que o motor eléctrico funcione ininterruptamente,

com um funcionamento semelhante a um sistema convencional. Face a esta situação, existe o risco de se perderem os ganhos de eficiência energética, bem como, aumentar a emissão de gases poluentes relacionados com este sistema de propulsão.

Quanto ao grau de hibridação eléctrica, este caracteriza-se pela relação entre a potência de motor eléctrico e a potência total disponibilizada para a tracção no sistema de propulsão híbrido eléctrico paralelo. A equação 5 representa o Grau de Hibridação Eléctrico (Faias, 2006).

$$\text{Grau de Hibridação Eléctrica} = \frac{P_{\text{Motor Eléctrico}}}{P_{\text{Motor Eléctrico}} + P_{\text{Motor Combustão Interna}}} \times 100\% \quad (5)$$

Desta forma, o Grau de Hibridação Eléctrica com um valor igual a 100% equivale a um sistema eléctrico a baterias e um valor igual a 0% corresponde a um sistema convencional, onde é possível para cada uma das aplicações determinar um Grau de Hibridação óptimo.

Tendo em conta o nível funcional e de potência do motor eléctrico, os veículos híbridos eléctricos podem ser classificados em três categorias: 1) micro, 2) mediano e 3) completo.

### **Micro**

É constituído especificamente por um motor eléctrico com cerca de 2,5KW a 12V e é fundamental para o arranque e funciona como alternador nos veículos convencionais de combustão. Consegue-se melhorar a eficiência energética, aproximadamente, entre 5 e 10%, em relação aos veículos convencionais em situações de pára-arranca - situações muito frequentes nas zonas urbanas - em troca de um preço um pouco mais elevado no preço final do veículo (Gomes, 2010; Reis, 2008).

### **Mediano**

É constituído por um motor eléctrico com cerca de 10 a 20 KW a 100-200V. Neste caso específico, o motor é agregado directamente na transmissão e é desenhado com o objectivo de ter uma elevada inércia. Esta classe baseia-se na configuração em paralelo e consegue poupar, aproximadamente, entre a 20 a 30% da energia a custo do aumento de 20 a 30% do preço final do veículo (Gomes, 2010; Reis, 2008).

### **Completo**

É constituído particularmente por um motor eléctrico com cerca de 50KW a 200-300V. Normalmente, tem um motor, um gerador e o motor de combustão interna adoptados em configuração série-paralelo ou complexo. Estes elementos em conjunto com os restantes constituintes, incluindo a bateria, apresentam como objectivo encontrar o ponto óptimo de máxima eficiência energética e o mínimo de emissões poluentes. Geralmente, na condução dentro das cidades consegue-se, aproximadamente, entre 30 a 40% de redução de energia, enquanto que o preço do veículo aumenta em cerca de 30 a 40% (Gomes, 2010; Reis, 2008).

Actualmente, os veículos híbridos eléctricos desenvolvem-se de acordo com duas direcções: a primeira está direccionada para o desenvolvimento do híbrido completo, com elevada eficiência energética e baixas emissões, apesar do custo acrescentado; a segunda apresenta os híbridos micro e mediano com uma configuração simples de custo reduzido. Esta arquitectura mais simples é preferível no continente Europeu; todavia a venda dos veículos híbridos eléctricos, em geral, tem-se mostrado superior nos Estados Unidos e no Japão.

De acordo com o reabastecimento de energia, o veículo híbrido eléctrico pode ser classificado em dois tipos: 1) reabastecimento na estação de serviço e 2) de recarregamento pela rede.

O veículo híbrido eléctrico de recarregamento pela rede (Figura 75) é um veículo com opção de recarregamento das baterias pela rede eléctrica (*Plug-in*), ou seja, é um veículo híbrido eléctrico completo. Segundo o *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, este tipo de veículo deverá conter uma bateria de pelo menos de 4 kWh, ter um método de recarregamento da bateria por uma fonte de energia eléctrica exterior e ter uma autonomia mínima de 16 km, em modo eléctrico (Gomes, 2010).



Figura 75 - Esquema de um veículo híbrido eléctrico de recarregamento pela rede.

Fonte: Gomes (2010)

O modo de funcionamento deste tipo de veículo determina quer o tipo, quer o tamanho da bateria, de acordo com o seu método de descarga, designadamente, o *charge-depleting* (CD), o *Blended* e o *Charge-sustaining* (CS).

### ***Charge-depleting***

Neste modo, a energia armazenada nas baterias é utilizada para alimentar o veículo híbrido eléctrico de recarregamento pela rede. A carga da bateria vai diminuindo - *state of charge* (SOC) - até atingir um nível mínimo - *threshold*. Neste momento em específico, o veículo passa a funcionar em modo *charge-depleting* (Gomes, 2010).

### ***Blended***

O modo *charge-depleting* pode ser concebido para utilizar somente a energia das baterias ou em conjunto com o motor de combustão interna. Este último modo é denominado por *blended* e, geralmente, é utilizado por veículos que não possuem energia eléctrica suficiente para manter velocidades elevadas e precisas, daí o auxílio ao motor de combustão interna.

Deste modo, as baterias dos veículos que utilizam este modo não são tão potentes como as do modo *charge-depleting* (Gomes, 2010).

### **Charge-sustaining**

É resultado do melhor desempenho do sistema global, isto é, do motor de combustão interna e do motor eléctrico. Neste sentido, a potência na bateria encontra-se dentro de uma banda e terá tendência para manter a carga, utilizando neste caso, o motor de combustão interna como propulsão principal - híbrido convencional (Gomes, 2010).

Na Figura 76 são apresentados os modos de operação referidos anteriormente.

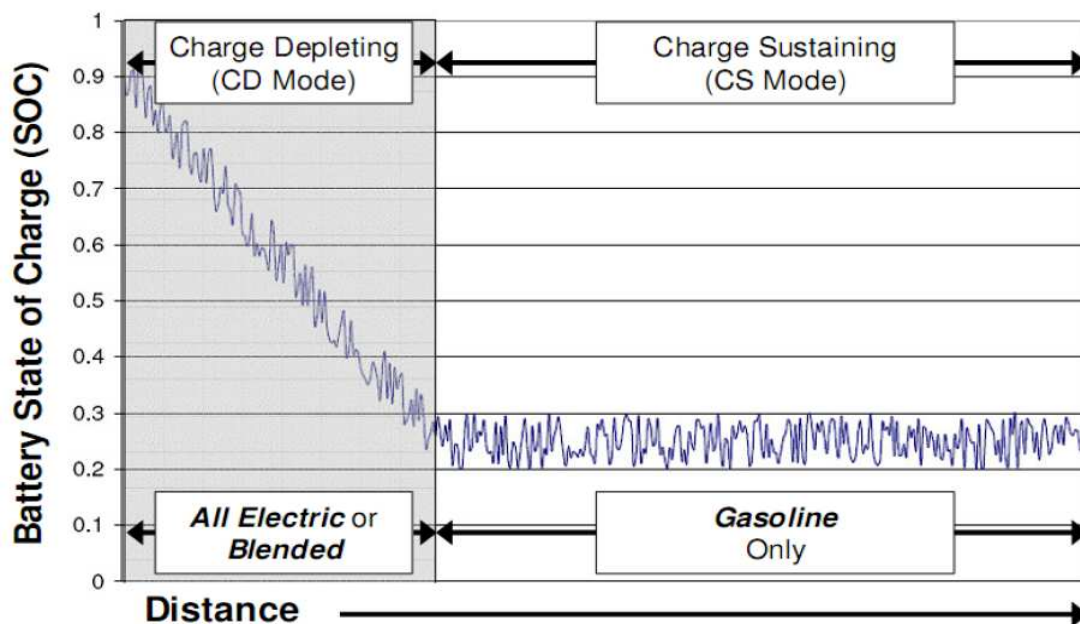


Figura 76 - Modos de operação do veículo híbrido eléctrico de recarregamento pela rede.

Fonte: Gomes (2010)

Assim, através da análise figura 76, verifica-se que no modo *charge-depleting*, o *state of charge* das baterias sofre pequenas oscilações, todavia com uma tendência decrescente. No modo totalmente eléctrico, as baterias são carregadas somente durante a travagem regenerativa (Coelho & Bastos, 2008). Já no modo *blended* estas também são carregadas pelo excesso de energia fornecido pelo motor de combustão interna. Deste modo, no modo *charge-*

*sustaining*, o *state of charge* é mantido num intervalo e as suas oscilações derivam dos mesmos motivos que no modo *blended*, todavia com limitação de *state of charge* mínimo (Gomes, 2010).

# Consumo de energia primária e emissões de gases de efeito de estufa nos diferentes sistemas de propulsão

## Determinação do consumo de energia primária

A comparação directa entre o consumo de energia dos diversos sistemas de propulsão poderá não fazer sentido, na medida em que são utilizados diferentes tipos de combustíveis, bem como, diversas tecnologias. Todavia com o intuito de desenvolver um termo de comparação entre os consumos energéticos, foi tido em consideração a determinação do consumo de energia primária de cada um dos tipos de sistemas de propulsão (Faias, 2006).

Para determinar o consumo de energia primária relacionado aos sistemas de propulsão que utilizam o petróleo como combustível, foi realizado a análise dos processos aos quais as matérias-primas estão sujeitas, desde a sua extracção da natureza até à sua disponibilização como combustível no depósito do veículo. Na Tabela 8 é apresentado a eficiência dos diversos processos (Faias, 2006).

Tabela 8 - Eficiência dos processos de obtenção de combustíveis

Processos	Eficiência (%)
Extracção do Petróleo Bruto	96,9
Extracção de Carvão	98,1
Transporte de Petróleo Bruto	98,9
Transporte de Carvão	99,3
Refinação de Petróleo	90,0
Refinação de Fuelóleo	95,2
Transporte de Gasóleo	99,2
Transporte de Fuelóleo	99,3

### ***Consumo de energia primária associado ao consumo de gasóleo***

O gasóleo é um dos imensos produtos que resultam da refinação do petróleo bruto. Especificamente, o petróleo bruto é um combustível fóssil derivado da transformação de matéria orgânica - florestas, em matéria mineral que ocorreu ao longo de milhares de anos. Contudo, apesar de se tratar de um processo natural, o petróleo não pode ser considerado um recurso renovável, devido à intensidade com que tem sido utilizado nos últimos tempos e pelo processo de transformação da matéria orgânica e mineral ser bastante moroso (Faias, 2006).

Neste sentido, para que o gasóleo chegue aos depósitos dos veículos é necessário ocorrer um conjunto de processos desde a extracção do petróleo bruto. Deste modo, o petróleo é extraído das jazidas e é transportado em bruto para as refinarias, onde é decomposto pela torre de refinação nos vários hidrocarbonetos que o compõem, um dos quais o gasóleo. De seguida, este gasóleo é conduzido às estações de abastecimento, onde ficará disponível para a utilização nos veículos. A Figura 77 apresenta os processos mencionados anteriormente, assim como, a eficiência de cada um deles (Faias, 2006).

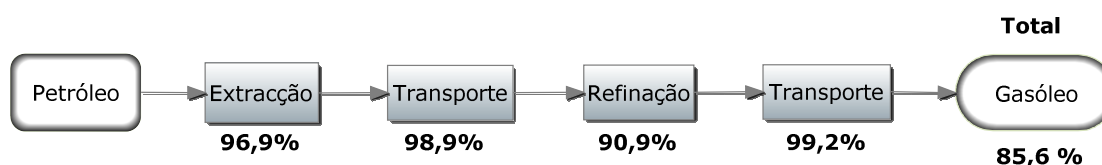


Figura 77 - Eficiência dos processos de obtenção do gasóleo.

Fonte: Faias (2006)

### ***Consumo de energia primária associado ao consumo de energia eléctrica***

A energia que o sistema de propulsão eléctrico a baterias utiliza durante o seu funcionamento é fornecida através da rede eléctrica e armazenada nas baterias. Deste modo, com o principal intuito de caracterizar o consumo de energia primária relacionado com a sua actividade, devem ser tido em consideração os tipos de centrais que constituem o sistema electroprodutor português (Faias, 2006).

Assim, a quantidade total de energia produzida pelo sistema electroprodutor diverge de ano para ano, bem como a constituição de cada central. Na presente dissertação irá ser considerado o ano de 2010, particularmente, o mês de Setembro, Figura 78. Desta forma,

5,3% da energia produzida é proveniente da energia nuclear, 21% provém da combustão de carvão e 29,3% de combustão de gás natural e a restante de fonte renovável (Faías, 2006).

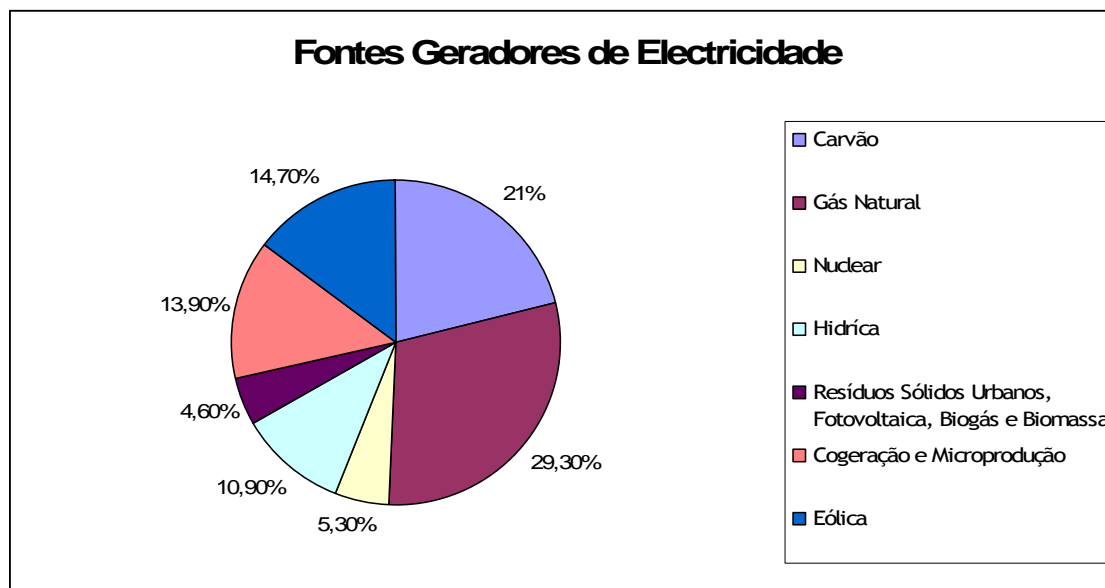


Figura 78 - Fontes Geradores de Electricidade.

Fonte: Faías (2006)

Para além do rendimento e da contribuição de cada central para a energia total produzida por ano, é fundamental conhecer-se a eficiência total dos processos implicados na obtenção de cada um dos combustíveis, Figura 79.

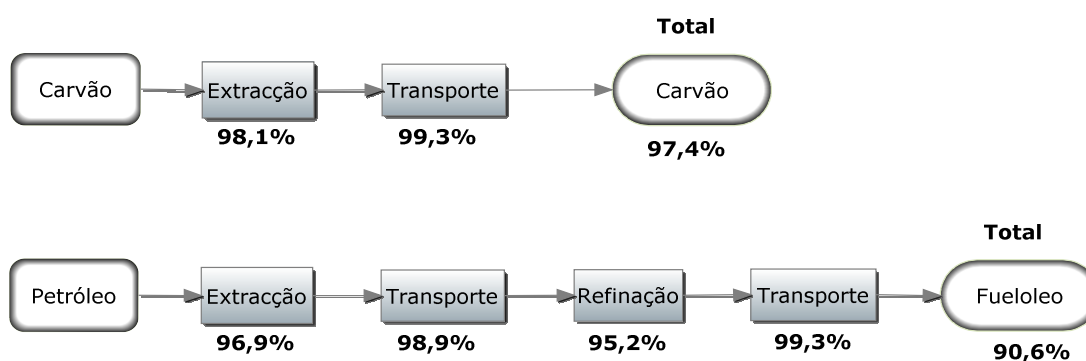


Figura 79 - Eficiência dos processos de obtenção dos combustíveis utilizados no sistema electroprodutor português.

Fonte: Faías (2006)

Tendo em conta o consumo energético, o combustível que apresenta resultados inferiores é o carvão, contudo apresenta rendimentos inferiores e, geralmente, tem associados níveis superiores de emissões de gases de efeito de estufa.



# Capítulo 4

## Caso de Estudo

Neste capítulo apresentamos um caso de estudo, com o propósito de efectuar uma análise comparativa, entre os diferentes sistemas de propulsão automóvel com objectivo estudar o consumo, as emissões de CO<sub>2</sub> e o gasto financeiro de cada um dos sistemas de propulsão automóvel, tendo por base o percurso percorrido por um automóvel movido a GPL durante o ano de 2010. É de salientar que para a realização deste estudo, teve-se o cuidado de considerar veículos semelhantes no que concerne às suas características.

De seguida, apresentamos todos os veículos que serão alvo de estudo. O primeiro modelo apresentado será o veículo que estará na base de todo o estudo, e de onde provêm todos os dados reais.

## Sistema GPL automóvel

- ✓ Marca - Chevrolet
- ✓ Modelo - Aveo 1.2 LS GPL



Figura 80 - Chevrolet Aveo 1.2 LS GPL

Fonte: [www.chevrolet.pt](http://www.chevrolet.pt)

Na Tabela 9 enuncia-se as características do Chevrolet Aveo 1.2 LS GPL, mostrado na Figura 80, tendo em conta as especificidades do motor, bem como os seus consumos nos diferentes tipos de circuito e ainda o valor de emissão de CO<sub>2</sub>.

Tabela 9 - Características do Chevrolet Aveo 1.2 LS GPL

Fonte: [www.chevrolet.pt](http://www.chevrolet.pt)

<b>Motor</b>			
<i>Cilindrada</i>	<i>Potência</i>	<i>Tipo Combustível</i>	<i>Transmissão</i>
1206 Cc	81cv (60 kW)	GPL	Caixa Manual

<b>Consumos l/100km</b>				
<i>Urbano</i>	<i>Extra-Urbano</i>	<i>Misto</i>	<i>Real</i>	<i>Emissão de CO<sub>2</sub> [g/km]</i>
9,4	5,9	7,2	8,88	116

<b>Preço</b>
14.610,00 €

# Propulsão Convencional - Gasolina

- ✓ Marca - Chevrolet
- ✓ Modelo - Aveo 1.2 LS



Figura 81 - Chevrolet Aveo 1.2 LS Gasolina  
Fonte: [www.chevrolet.pt](http://www.chevrolet.pt)

Na Tabela 10 encontram-se as características do Chevrolet Aveo 1.2 LS Gasolina, mostrado na Figura 81, tendo em conta as especificidades do motor, bem como, os seus consumos nos diferentes tipos de circuito e ainda o valor de emissão de CO<sub>2</sub>.

Tabela 10 - Características do Chevrolet Aveo 1.2 LS Gasolina  
Fonte: [www.chevrolet.pt](http://www.chevrolet.pt)

Motor			
<i>Cilindrada</i>	<i>Potencia</i>	<i>Tipo Combustível</i>	<i>Transmissão</i>
1206 cc	84cv (62 kW)	Gasolina	Caixa Manual

Consumos l/100km				
<i>Urbano</i>	<i>Extra-Urbano</i>	<i>Misto</i>	<i>Real</i>	<i>Emissão de CO<sub>2</sub> [g/km]</i>
7,2	4,6	5,5	-	130

Preço
12.790,00 €

## Propulsão Convencional - Gasóleo

- ✓ Marca - Opel
- ✓ Modelo - Corsa 1.3 CDTI



Figura 82 - Opel Corsa 1.3 CDTI Gasóleo

Fonte: [www.opel.pt](http://www.opel.pt)

Na Tabela 11 encontram-se as características do Opel Corsa 1.3 CDTI Gasóleo, mostrado na Figura 82, tendo em conta as especificidades do motor, bem como, os seus consumos nos diferentes tipos de circuito, e ainda o valor de emissão de CO<sub>2</sub>.

Tabela 11 - Características do Opel Corsa 1.3 CDTI Gasóleo

Fonte: [www.opel.pt](http://www.opel.pt)

Motor			
<i>Cilindrada</i>	<i>Potência</i>	<i>Tipo Combustível</i>	<i>Transmissão</i>
1248	95cv (70 kW)	Gasóleo	Caixa Manual

Consumos l/100km				
<i>Urbano</i>	<i>Extra-Urbano</i>	<i>Misto</i>	<i>Real</i>	<i>Emissão de CO<sub>2</sub> [g/km]</i>
5,4	3,8	4,4	-	115

Preço
19.080,00 €

## Sistema de Propulsão Híbrido Eléctrico

- ✓ Marca - Honda
- ✓ Modelo - Jazz Hybrid Confort



Figura 83 - Honda Jazz Hybrid Confort

Fonte: [www.honda.pt](http://www.honda.pt)

Na Tabela 12 enuncia-se as características do Honda Jazz Hybrid Confort, mostrado na Figura 83, tendo em conta as especificidades do motor, bem como, os seus consumos nos diferentes tipos de circuito e ainda o valor de emissão de CO<sub>2</sub>.

Tabela 12 - Características do Honda Jazz Hybrid Confort  
 Fonte: www.honda.pt

Motor			
<u>Cilindrada</u>	<u>Potência</u>	<u>Tipo Combustível</u>	<u>Transmissão</u>
1339	88cv	Gasolina	Automática
	14cv	Baterias/Eléctrico	

Consumos l/100km				
<u>Urbano</u>	<u>Extra-Urbano</u>	<u>Misto</u>	<u>Real</u>	<u>Emissão de CO<sub>2</sub> [g/km]</u>
4,6	4,4	4,5	-	104

Preço
20.506,14 €

## Propulsão eléctrica a baterias

✓ Marca - Nissan

✓ Modelo - Leaf



Figura 84 - Nissan Leaf  
Fonte: [www.honda.pt](http://www.honda.pt)

Na Tabela 13 enuncia-se as características do Nissan Leaf, mostrado na Figura 84, tendo em conta as especificidades do motor, bem como, os seus consumos nos diferentes tipos de circuito e ainda o valor de emissão de CO<sub>2</sub>.

Tabela 13 - Características do Nissan Leaf  
Fonte: [www.honda.pt](http://www.honda.pt)

Motor			
<i>Cilindrada</i>	<i>Potência</i>	<i>Tipo Combustível</i>	<i>Transmissão</i>
-	80 kW	Bateria /eléctrico	Automática

Consumos l/100km				
<i>Urbano</i>	<i>Extra-Urbano</i>	<i>Misto</i>	<i>Real</i>	<i>Emissão de CO<sub>2</sub> [g/kwh]</i>
-	-	-	-	383,54

Preço
30.990,00 €

É de salientar que apesar de todas campanhas publicitárias referirem que as emissões de CO<sub>2</sub> serem nulas nos veículos eléctricos, todavia é necessário considerar as emissões em Portugal para produzir um kWh.

A emissão de CO<sub>2</sub> por kWh de electricidade produzida varia muito de país para país, pois depende da combinação de fontes de energia utilizada para a produção de energia eléctrica. Segundo a Agência Internacional de Energia, no ano de 2008, para produzir 1 kWh eram libertados em Portugal 383,54g de CO<sub>2</sub>.

## **Análise comparativa dos diferentes sistemas de propulsão**

Como foi referido anteriormente, para a realização deste estudo foram tidos em conta os dados reais provenientes de um veículo GPL.

Assim, como conhecemos o consumo real, é possível estimar um perfil de viagem, sendo o consumo real neste caso particular de 8,88 l/100km.

Sabendo que o consumo urbano anunciado é de 9,4 l/100km e o extra-urbano é 5,9 l/100km. Então,

$$9,4[\text{l}/100\text{km}] * X + 5,9 \text{ l}/100\text{km} * Y = 8,88 \text{ l}/100\text{km}$$

*X= percurso percorrido em ambiente urbano (%)*

*Y= percurso percorrido em ambiente extra-urbano (%)*

Neste sentido, para o cálculo das percentagens é sabido que: X+Y=1. Assim, estima-se que 85% do percurso total foi em regime urbano e apenas 15% em extra-urbano.

Assim, a partir dos dados reais provenientes do veículo GPL, foram realizadas análises comparativas, tendo em conta os outros tipos de sistemas de propulsão automóvel estudados. Os parâmetros estudados foram: o número de quilómetros, o consumo, a emissão de CO<sub>2</sub> e o gasto associado ao consumo, e são listados na Tabela 14.

Tabela 14 - Dados reais do veículo GPL.


	Km	Litros	CO <sub>2</sub> [Kg]	€ gastos
Janeiro	3513	302,69	407,51	194,65
Fevereiro	2934	245,15	340,34	161,30
Março	3889	327,54	451,12	217,09
Abril	3607	315,371	418,41	217,9
Maio	3447	311,92	399,85	221,00
Junho	2922	256,54	338,95	181,64
Julho	3749	372,81	434,88	254,83
Agosto	4305	437,07	499,38	307,22
Setembro	2528	235,29	293,25	163,95
Outubro	2460	193,48	285,36	135,24
Novembro	2534	219,30	293,94	155,95
Dezembro	3356	292,24	389,30	215,40
<b>TOTAIS</b>	<b>39244</b>	<b>3509,40</b>	<b>4552,30</b>	<b>2426,17</b>

Nas Tabelas 15, 16 e 17 encontram-se os dados convertidos, tendo em conta o veículo escolhido para realizar a análise em estudo, nomeadamente, o Chevrolet Aveo 1.2 LS Gasolina, o Corsa 1.3 CDTI Gasóleo, o Jazz Hybrid Confort e o Nissan LEAF - Puro Eléctrico.

Tabela 15 - Dados convertidos para Chevrolet Aveo 1.2 LS Gasolina.

	Aveo 1.2 LS - Gasolina			
	Km	Litros	CO <sub>2</sub> [Kg]	€ gastos
Janeiro	3513	239,24	456,69	320,58
Fevereiro	2934	199,81	381,42	270,14
Março	3889	264,84	505,57	371,57
Abril	3607	245,64	468,91	350,77
Maior	3447	234,74	448,11	330,05
Junho	2922	198,99	379,86	282,17
Julho	3749	255,31	487,37	354,37
Agosto	4305	293,17	559,65	406,92
Setembro	2528	172,16	328,64	239,30
Outubro	2460	167,53	319,80	231,86
Novembro	2534	172,57	329,42	242,80
Dezembro	3356	228,54	436,28	339,39
<b>TOTAIS</b>	<b>39244</b>	<b>2672,52</b>	<b>5101,72</b>	<b>3739,89</b>

Tabela 16 - Dados convertidos para Corsa 1.3 CDTI Gasóleo.



	Corsa 1.3 CDTI -Gasóleo			
	Km	Litros	CO <sub>2</sub> [Kg]	€ gastos
Janeiro	3513	181,27	404,00	197,59
Fevereiro	2934	151,39	337,41	179,55
Março	3889	200,67	447,24	228,77
Abril	3607	186,12	414,81	220,55
Maio	3447	177,87	396,41	208,46
Junho	2922	150,78	336,03	178,97
Julho	3749	193,45	431,14	227,11
Agosto	4305	222,14	495,08	261,23
Setembro	2528	130,44	290,72	154,06
Outubro	2460	126,94	282,90	149,91
Novembro	2534	130,75	291,41	157,95
Dezembro	3356	173,17	385,94	219,93
<b>TOTAIS</b>	<b>39244</b>	<b>2024,99</b>	<b>4513,06</b>	<b>2384,07</b>

Tabela 17 - Dados convertidos para Jazz Hybrid Confort.

	Jazz Hybrid Confort			
	Km	Litros	CO <sub>2</sub> [Kg]	€ gastos
Janeiro	3513	160,54	368,87	215,13
Fevereiro	2934	134,08	308,07	181,28
Março	3889	177,73	408,35	249,35
Abril	3607	164,84	378,74	235,39
Maiο	3447	157,53	361,94	221,48
Junho	2922	133,54	306,81	189,35
Julho	3749	171,33	393,65	237,81
Agosto	4305	196,74	452,03	273,07
Setembro	2528	115,53	265,44	160,59
Outubro	2460	112,42	258,30	155,59
Novembro	2534	115,80	266,07	162,94
Dezembro	3356	153,37	352,38	227,75
<b>TOTAIS</b>	<b>39244</b>	<b>1793,45</b>	<b>4120,62</b>	<b>2509,74</b>

No caso específico do veículo eléctrico, para calcular os consumos teve-se em conta a capacidade da bateria que é de 24kWh.

Assim, considerando as distâncias percorridas, será necessário efectuar o carregamento total da bateria todos os dias do ano, pelo que o carregamento é feito nas horas de vazio da Tarifa bi-horária da EDP cujo valor é de 0,0778 €/kWh.

Tabela 18 - Dados convertido para Nissan LEAF - Puro Eléctrico.



	Nissan LEAF - Puro Eléctrico			
	Km	Litros	CO <sub>2</sub> [Kg]	€ gastos
Janeiro	3513	N/A	276,15	56,02
Fevereiro	2934	N/A	276,15	56,00
Março	3889	N/A	276,15	56,00
Abril	3607	N/A	276,15	56,00
Maio	3447	N/A	276,15	56,00
Junho	2922	N/A	276,15	56,00
Julho	3749	N/A	276,15	56,00
Agosto	4305	N/A	276,15	56,00
Setembro	2528	N/A	276,15	56,00
Outubro	2460	N/A	276,15	56,00
Novembro	2534	N/A	276,15	56,00
Dezembro	3356	N/A	276,15	56,00
<b>TOTAIS</b>	39244	0,00	3313,79	672,02

Ao analisar o custo do investimento inicial para a aquisição de um determinado veículo apresentado, verificou-se que o veículo mais dispendioso é o veículo eléctrico puro e o menos dispendioso é o veículo a gasolina, tal como representado no gráfico da Figura 85.

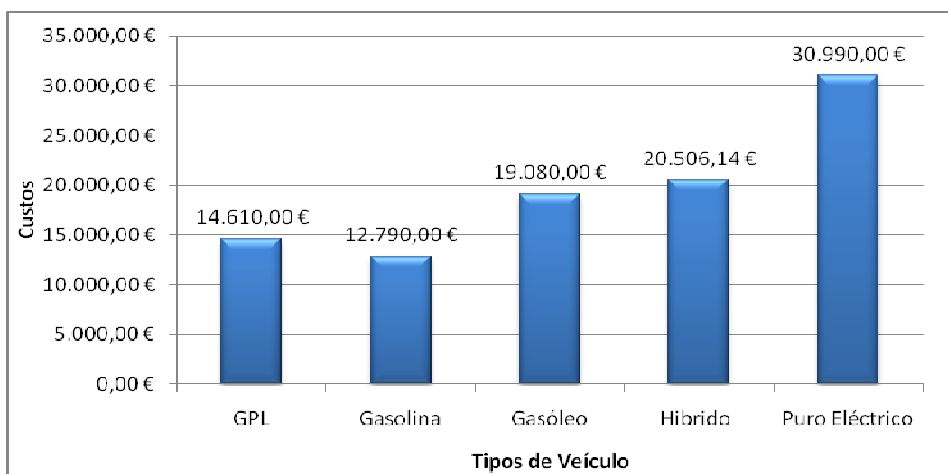


Figura 85 - Custos de investimento inicial por tipo de veículo.

Ao estudar os consumos dos diferentes veículos apresentados, pode-se observar que o consumo urbano é maior no veículo a GPL e o menor consumo verifica-se no veículo a gasóleo. Tendo em conta o consumo extra-urbano, o comportamento dos veículos é semelhante ao do consumo urbano. Neste sentido, observa-se que este consumo é maior no veículo a GPL e o consumo é menor no veículo a Gasóleo, como mostra o gráfico da Figura 86.

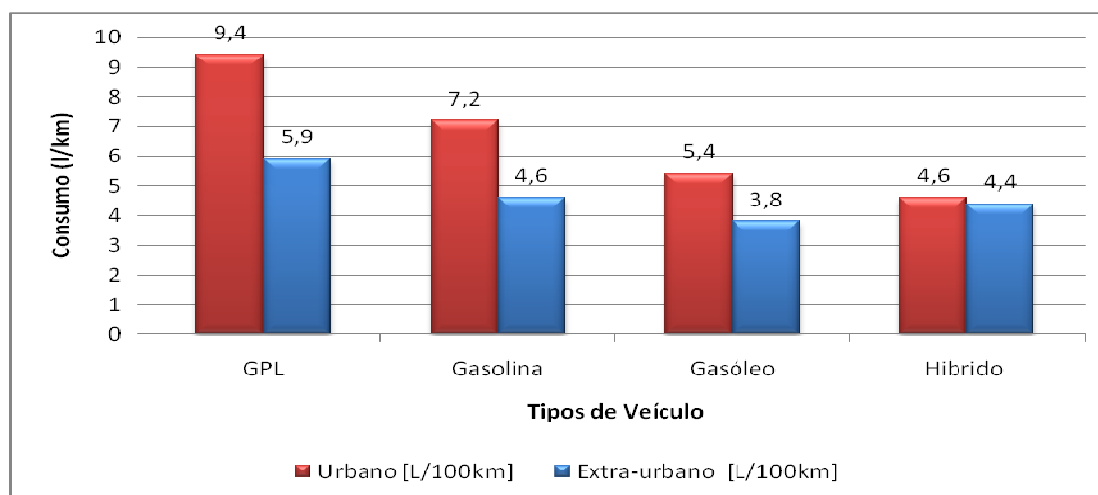


Figura 86 - Consumo de combustível por tipo de veículo.

Quanto ao estudo das emissões de CO<sub>2</sub>, cujo gráfico comparativo se mostra na Figura 87, verificou-se que no veículo a gasolina existe maior emissão de CO<sub>2</sub> e, como era esperado, no veículo puro eléctrico não existe emissão de CO<sub>2</sub>.

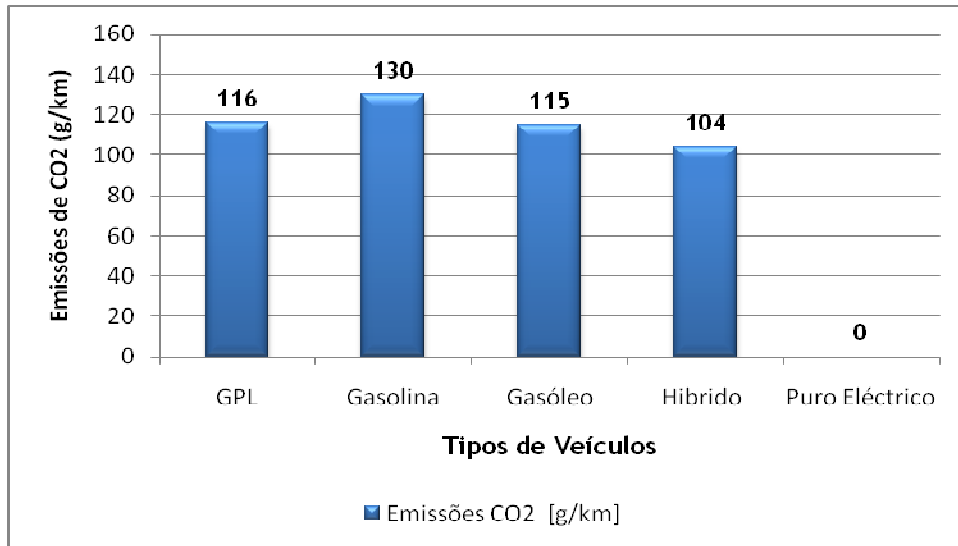


Figura 87 - Emissões de CO<sub>2</sub> por tipo de veículo.

A análise que a seguir se apresenta tem em conta todas as deslocações mensais realizados no ano de 2010 num veículo GPL, que estão representados na Figura 88. Nos meses de Julho e Agosto verifica-se que se percorreu mais quilómetros, já que estes meses correspondem ao período de férias.

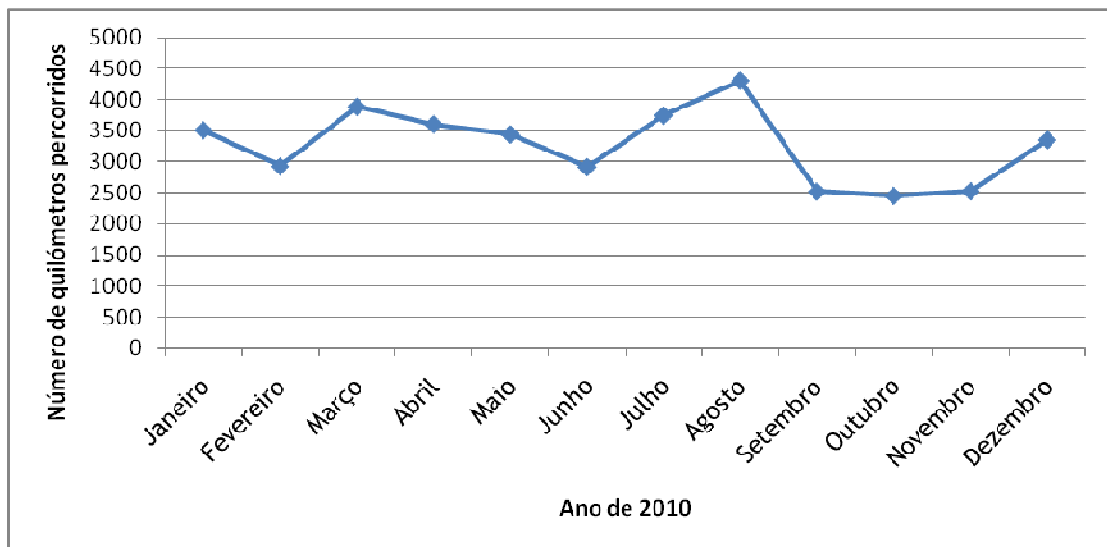


Figura 88 - Número de quilómetros percorridos no ano de 2010 com o veículo de sistema GPL.

No que diz respeito ao consumo de combustível em litros, cujos gráficos estão representados na Figura 89, verifica-se que o veículo híbrido apresenta valores inferiores quando comparado com os restantes veículos, sendo que o veículo GPL apresenta valores de consumo superiores a todos os outros veículos.

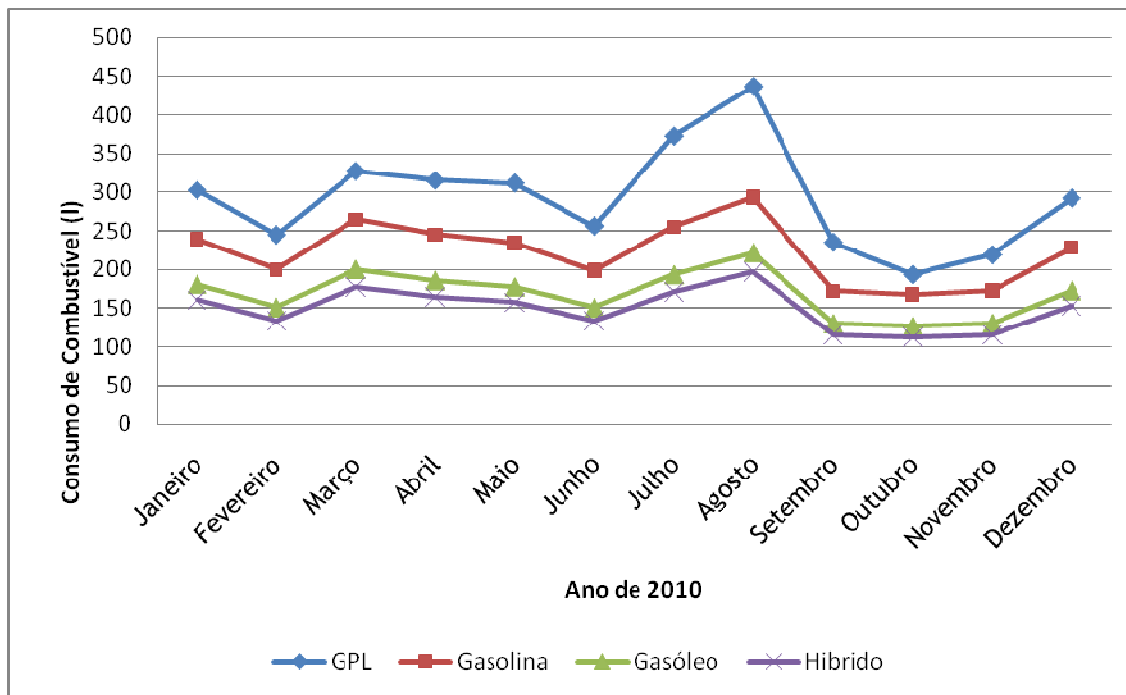


Figura 89 - Consumo de combustível por tipo de veículo, tendo por base o ano de 2010.

No que concerne às emissões de CO<sub>2</sub> observa-se que o veículo a gasolina emite maior quantidade de CO<sub>2</sub>. Verifica-se também que o veículo GPL e o veículo a gásóleo apresentam emissões muito semelhantes. É de salientar que o veículo puro eléctrico apresenta uma emissão de CO<sub>2</sub> constante, pois representa a emissão relativa ao período diário de carregamento da bateria, Figura 90.

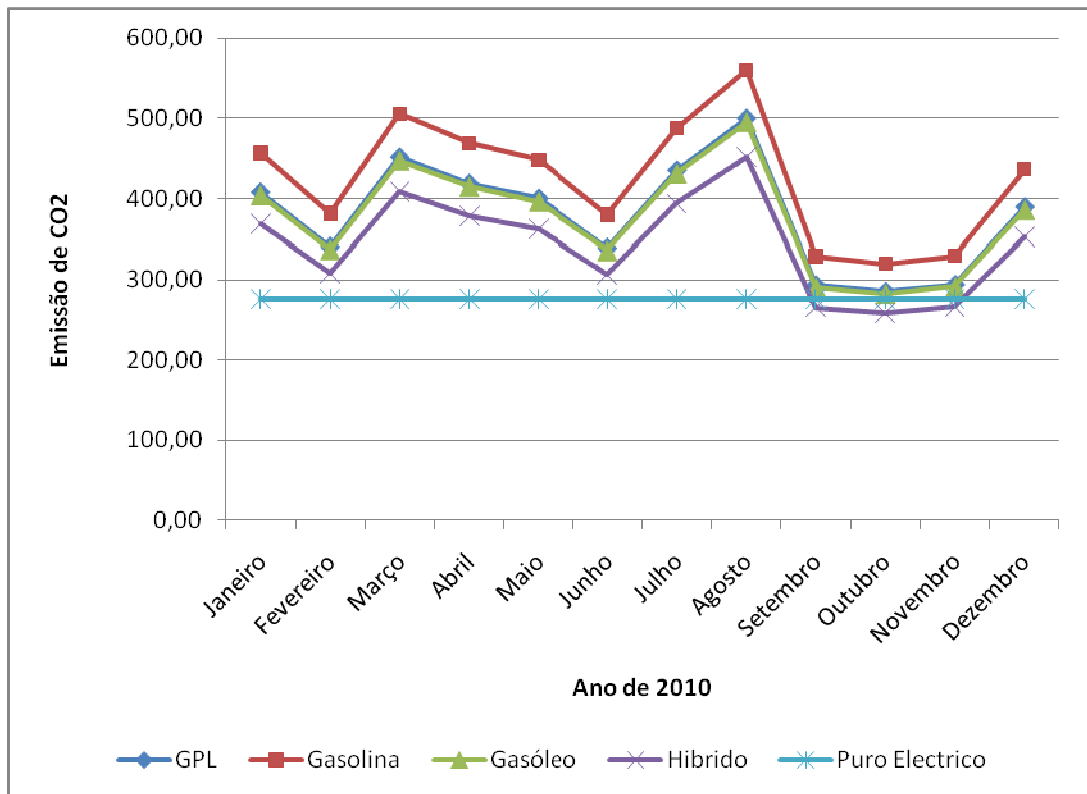


Figura 90 - Emissões de CO<sub>2</sub> por tipo de veículo, tendo por base o ano de 2010.

Da análise efectuada aos gastos mensais verifica-se que o veículo a gasolina apresenta um gasto significativamente superior, quando comparado com os restantes veículos. Já o gasto do veículo puro eléctrico é constante e bastante inferior ao longo do ano de 2010, pelo que o gasto apresentado corresponde ao período de carregamento da bateria, Figura 91.

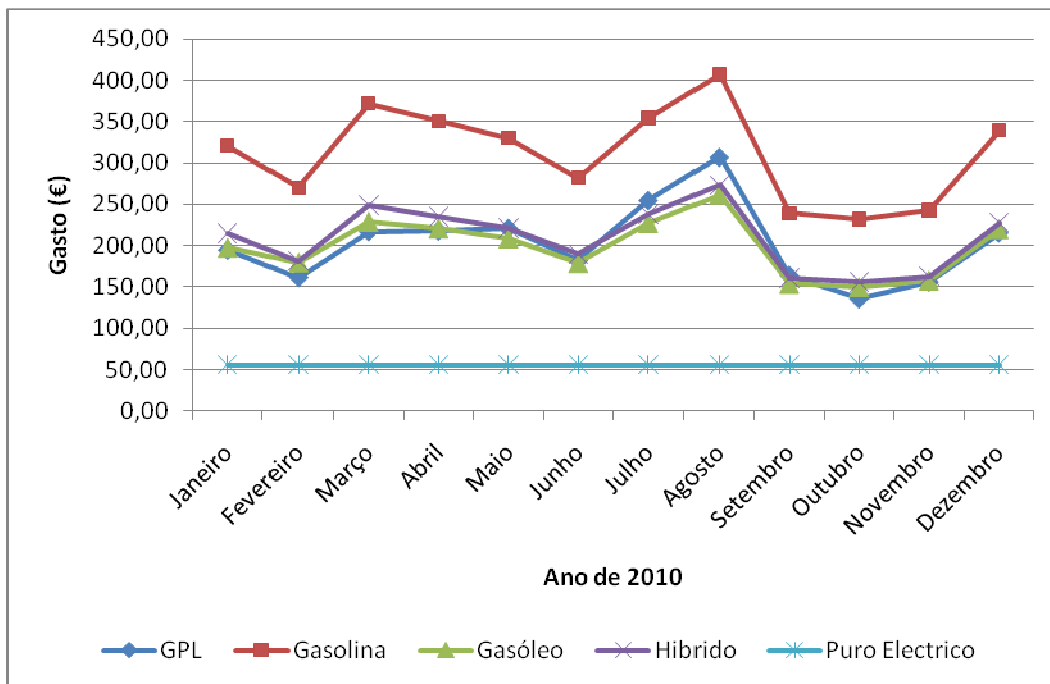


Figura 91 - Gasto por tipo de veículo, tendo por base o ano de 2010.

Do global das análises efectuadas, pode-se verificar que o custo inicial do veículo automóvel varia muito consoante a tecnologia utilizada para a sua propulsão, na medida em que, os veículos automóveis que utilizam uma tecnologia mais recente apresentam um custo mais elevado em relação aos convencionais.

Quanto aos consumos anunciados, pode-se observar que o veículo híbrido vem diminuir o rácio entre o consumo urbano e extra-urbano nos veículos convencionais, pois nos percursos onde o consumo é geralmente elevado (nas cidades), o motor eléctrico dá um contributo significativo para a locomoção, diminuindo o esforço do motor a gasolina.

Ao comparar as diferentes tecnologias, e tomando como base o total de quilómetros percorridos em 2010, é evidente que o veículo que consome a maior quantidade de combustível é o veículo com locomoção a GPL, seguido do veículo a gasolina. No entanto, como o preço do GPL é cerca de metade do da gasolina, verifica-se que o veículo a gasolina convencional é o menos económico.

Pelo contrário, verifica-se que para este perfil de viagem, o veículo eléctrico torna-se mais económico, uma vez que os gastos associados ao carregamento da bateria são muito inferiores a qualquer uma das outras tecnologias estudadas.

Analisando as emissões de CO<sub>2</sub>, é notória a redução nos veículos eléctricos na medida em que durante o seu funcionamento apresentam emissões Zero. Porém, apresentam emissões associadas ao carregamento das baterias. No entanto, e como esperado, o que emite a maior quantidade de CO<sub>2</sub> é o motor a gasolina.

Assim, verifica-se que para este perfil de viagem e tendo em conta a aquisição de um veículo, pode-se inferir que o tipo de locomoção mais económica é o sistema GPL, visto que, apesar do custo associado às viagens ser bastante inferior quando comparado com o veículo eléctrico, o custo de aquisição deste é praticamente o dobro.

Da análise da Figura 92 verifica-se que é necessário ter em conta alguns aspectos relevantes para a sua melhor compreensão. Assim, para a realização da referida análise, considerou-se que face aos preços dos combustíveis, nomeadamente, gasolina, gasóleo, gás e electricidade, estes mantiveram-se proporcionalmente inalteráveis, ou seja, a variância existente seria sempre a mesma entre todos os combustíveis estudados.

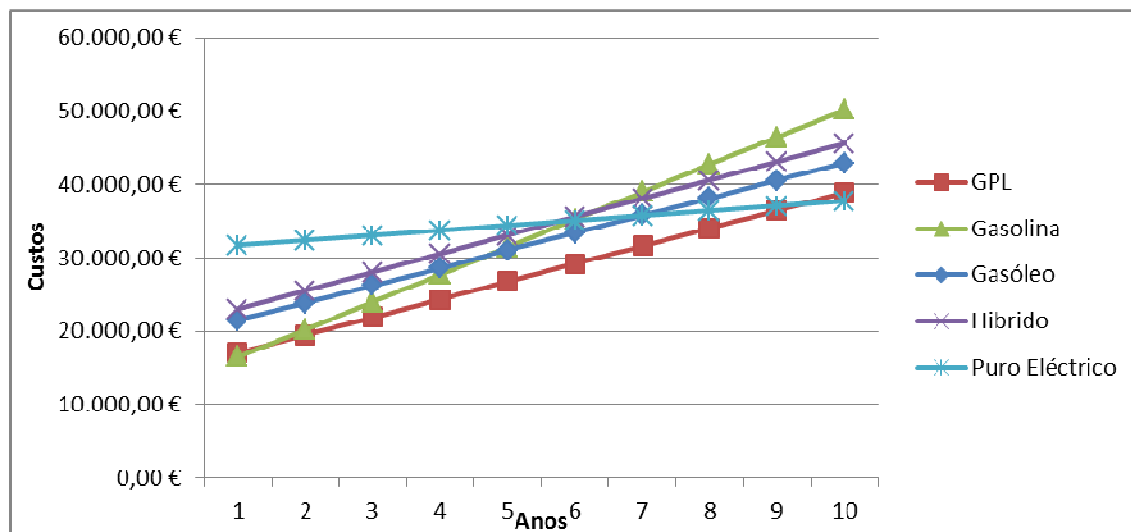


Figura 92 - Análise comparativa dos custos de utilização e aquisição, por diferentes tipos de veículos.

É de salientar que para esta análise não se teve em conta os custos de manutenção durante a sua utilização, na medida em que esta variável é prematura em veículos eléctricos e híbridos eléctricos, pois o seu aparecimento e desenvolvimento tecnológico é recente, pelo que não existem dados suficientes para sustentar uma análise mais aprofundada. Assim, é necessário não esquecer o valor residual que o próprio veículo apresenta no final da sua utilização, que nesta análise não foi possível contemplar.

Da realização desta análise e considerando 2010 o ano de aquisição dos diferentes tipos de veículos estudados, verifica-se que o veículo a gasolina é o menos dispendioso no primeiro ano. Nos anos seguintes, o veículo a GPL é mais acessível em termos de custos,

comparativamente com o veículo a gasolina que é o mais caro. Contudo, passados 10 anos, o veículo mais dispendioso é o de gasolina e o mais viável é o eléctrico puro.

# Capítulo 5

## Introdução

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões resultantes da presente dissertação. Através da realização deste trabalho são também apresentadas algumas sugestões para estudos futuros na área dos sistemas de propulsão automóvel.

## Conclusões

A presente dissertação foi delineada de modo a ser utilizada por potenciais utilizadores de sistemas de propulsão automóvel alternativos ao sistema convencional.

Assim, este trabalho apresenta uma panóplia de informação relacionada com os sistemas de propulsão automóvel, tais como a caracterização do contexto energéticos, bem como, as políticas e medidas energéticas europeias e nacionais associadas, as diversas e distintas tecnologias de sistemas de propulsão, a componente teórica relacionada a cada uma delas, os aspectos económicos e os impactes ambientais.

A questão da mobilidade sustentável possibilita a redução da dependência energética externa de combustíveis fósseis, que deterioram significativamente a balança comercial de Portugal. A mobilidade sustentável permite ainda a redução da poluição atmosférica das emissões de GEE, um decréscimo dos níveis de ruído, que contribuem para melhorar a qualidade de vida das cidades e, conseqüentemente, verifica-se uma redução da factura de mobilidade quer das famílias, quer das empresas, que optem por sistemas de propulsão alternativos.

É de referir que não existe concretamente um sistema superior aos restantes, pois é necessário averiguar qual poderá ter melhor desempenho e melhor viabilidade financeira, tendo em conta o perfil de utilização do próprio utilizador.

Assim, a forma de implementação dos diferentes tipos de sistemas, bem como, dos seus constituintes, também apresentam graus distintos de complexidade, na medida em que a qualidade da instalação e funcionamento dos mesmos será preponderante para o desempenho do mesmo.

É de salientar a importância dos estudos prévios sobre o dimensionamento do sistema de propulsão, assim como ter conhecimento da informação referente ao consumo, às emissões

de CO<sub>2</sub> e ao gasto envolvido no tipo de sistema, dado que esta análise é fundamental para a viabilidade financeira de um determinado sistemas de propulsão automóvel.

Neste sentido, apresentamos na presente dissertação os benefícios em termos de consumo, económicos e ambientais dos sistemas de propulsão automóvel estudados, tendo em conta o perfil previamente traçado. No que respeita ao consumo e os gastos associados verificam-se diferenças significativas nos diferentes sistemas que poderão traduzir-se em receitas a médio prazo para o utilizador. No que concerne aos aspectos ambientais, aponta-se a redução nas emissões de GEE, bem como, uma redução no consumo de recursos fósseis.

De forma geral, o objectivo estabelecido previamente para a realização da presente dissertação foi plenamente atingido, e até superado, dado que foi efectuado um estudo aprofundado referente aos diferentes sistemas de propulsão automóvel, centrado mais nos sistemas alternativos aos convencionais, de modo a providenciar uma informação mais abrangente e necessária para os potenciais utilizadores.

Foi ainda apresentado um caso de estudo prático de elevado interesse, tendo por base dados reais referentes ao ano de 2010 de um veículo de sistema GPL.

## **Direcções de investigação**

Poderá ser importante avaliar, de forma individual e mais aprofundada, cada um dos diferentes sistemas de propulsão automóvel, em termos de viabilidade financeira e em termos energéticos e ambientais.

Por vezes, a falta de informação face à implementação e/ou aquisição destes sistemas alternativos poderá ser considerada um obstáculo.

Assim, poderá ser importante estudar os períodos de compra e venda de energia eléctrica e avaliar as condições económicas envolvidas para que estes sistemas se tornem mais atractivos para os potenciais utilizadores de veículos. Estudos que abordem as questões de ligação à rede, o impacto da frota de veículos na rede e no sector automóvel e ainda estudos de mercado. Outro desafio passaria pela produção e armazenamento de hidrogénio utilizado nas pilhas de combustível.

Neste sentido, parece relevante a continuação de investigações nesta área, na medida em que são ainda poucos os estudos no âmbito dos sistemas de propulsão automóvel, que abrangem os seus benefícios, vantagens e desvantagens, aspectos económicos e ambientais,

sendo estes os elementos fundamentais para minimizar a falta de informação e promover a utilização deste tipo de sistemas alternativos.



# Bibliografia

Aláez, R., Barneto, M., Gil, C., Longás, J. C., Lucea, J., Ullívarri, M., et al. (2010). Del Motor de Combustión Interna al Vehículo Eléctrico - cuatro alternativas técnicas. 95-108.

Babé, L. G. (2008). *Modelado y simulación HIL (hardware-in-the-loop) de un sistema pila de combustible - batería*. Universidad Carlos III de Madrid.

Barreto, D. A., & Santos, G. V. d. (2005). Utilização de células a combustível em automóveis como sistema de propulsão alternativo ao motor de combustão convencional. Unpublished Projecto Final de Curso II. Centro Federal de Educação Tecnologia do Paraná - Unidade de Curitiba.

Baudoin, J.-M. (2007). *Avaliação energética e ambiental da produção e reciclagem de materiais/componentes de veículos convencionais versus veículos híbridos*. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

Braga, J. R. (2010). *Integração de Veículos Eléctricos no Sistema Eléctrico Nacional*. Universidade Nova de Lisboa, Braga.

Brito, P. J., & Silva, N. M. (2003). O automóvel e o ambiente. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Brosset, M., & Bodereau, G. (2004). Conhecendo as Baterias. Unpublished Documentação - Energia Autónoma. MBT.

Burke, A. F. (2007). Battery and ultracapacitors for electric, hybrid and fuel cell vehicles. *Proceedings of the IEEE, 95(4)*.

Camus, C., Silva, C., Farias, T., & Esteves, J. (2009). Impact of Plug-in Hybrid Electric Vehicles in the Portuguese Electric Utility System. *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*.

Chan, C. C. (2002). The state of the art of electric and hybrid vehicles. *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, 90, 247-275*.

Chan, C. C. (2007). The State of the Art of Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles. *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, 95, 704-718*.

Coelho, M., & Bastos, L. (2008). *Avaliação do consumo energético de veículos híbridos*. Paper presented at the 1º Congresso Nacional sobre Alterações Climáticas.

Conesa, J. E. P. (2004). Células de combustible para producir energía limpia. *Técnica Industrial* 255, 52-56.

Costa, W. d. (2009). *Metodologia para conversão de veículos equipados com motores a combustão interna para tração elétrica: aplicação de motor síncrono de ímã permanente com fluxo magnético radial a um furgão*. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Damas, M. C. (2008). *Avaliação de Cenários para a evolução do sistema energético em Portugal*. Universidade do Porto, Porto.

Delgado, J. (2006). Energias do futuro - o hidrogénio não é alternativa. *Turbo*, 96-98.

Denholm, P. a. S., W. (2006). An Evaluation of Utility System Impacts and Benefits of Optimally Dispatched Plug-In Hybrid Electric Vehicles. *National Renewable Energy Laboratory*.

Dias, A., Mesquita, F., & Silva, L. G. (s/d). PDIS - Pilhas de Combústivel. Universidade do Porto.

Dominguez, J. C., & Sanz, N. V. (s/d). Los coches híbridos. *Electrónica del Automóvil*, 1-6.

Ehsani, M., Gao, Y., Gay, S. E., & Emadi, A. (2004). *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles - Fundamentals, Theory, and Design*. Florida: CRC Press LLC.

Ehsani M, G. Y., Gay S. (2003). Characterization of Electric Motor Drives for Traction Applications. *Industrial Electronic Society*, 1, 891-896.

Emadi, A. R., K.; Williamson, S.S.; Lukic, S.M. . (2005). Topological overview of hybrid electric and fuel cell vehicular power system architectures and configurations. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, 54(3), 763 - 770.

Escária, S. C. (2009). As novas exigências da mobilidade urbana e as respostas tecnológicas do sector automóvel. . *Departamento de Prospectiva e Planeamento e Relações Internacionais da Sphera*, 1-25

Faias, S. M. R. (2006). *Optimização de Sistemas de Propulsão de Veículos para Frotas*. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

Ferraz, C. V., & Donha, D. C. (2009). Sistemas Controlados de Propulsão de Veículos Automotores. from <http://www.mecanica-poliusp.org.br/05pesq/cont/pdf/602.pdf>:

Gomes, L. M. M. (2010). *O Veículo Eléctrico e a sua Integração no Sistema Eléctrico*. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

- Granadeiro, S. A. M. (2009). *Controlo de Motor Assíncrono Aplicado a Veículos Eléctricos*. Universidade Nova de Lisboa, Monte da Caparica.
- Grilo, N. A. B. d. G. (2010). *Concepção e caracterização de um motor de indução para integração num veículo eléctrico comercial*. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- He, P., Hori, Y., Kamachi, M., Walters, K., & Yoshida, H. (2005). Future Motion Control to be Realized by In-wheel Motored Electric Vehicle. *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*, 2632-2637.
- Hori, Y. (2004). Future Vehicle Driven by Electricity and Control—Research on Four-Wheel-Motored “UOT Electric March II”. *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*, 51(5), 954-962.
- Hredzak, B., Gair, S., & Eastham, J. F. (1996). Elimination of Torque in a Direct Drive EV Wheel Motor. *IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS*, 32(5), 5010-5012.
- Husain, I. (2003). *ELECTRIC and HYBRID VEHICLES - Design Fundamentals*. Florida: CRC PRESS.
- IDAE. (2005). Manual de conducción eficiente para conductores de vehículos industriales. from [www.idae.es](http://www.idae.es):
- JGW, W. (1994). DC, induction, reluctance and PM motors for electric vehicles. *Power Engineering Journal*, 8(2), 77-88.
- Júnior, A. P. (2002). *Regulação da demanda de energia em um sistema de propulsão para um veículo eléctrico híbrido série*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- Karlberg, T. (2000). A Experiência de Projectos e Programas de Veículos Eléctricos - Um estudo sobre a Europa, os EUA e o Japão (Parte I). from APVE - Associação Portuguesa do Veículo Eléctrico - <http://www.apve.pt>:
- Larminie, J., & Lowry, J. (2003). *Electric Vehicle Technology Explained*. England: John Wiley & Sons Ltd.
- Madureira, J. P. (2009). *Monitorização do efeito do comportamento de condução no consumo em veículos ligeiros diesel*. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Mehrdad Ehsani, K. M. R., Hamid A. Toliyat. (1997). Propulsion System Design of Electric and Hybrid Vehicles. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 44(1).
- Melo, P. M. A. d. S. (2010). Estruturas e características de veículos híbridos e eléctricos. *Revista Técnico-Científica - Neutro à Terra*, 6(2), 17-27.

Meneses, B. (2009). *Prospectiva dos mercados de energia*. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.

Nanda G, K. N. (2006). A survey and comparison of characteristics of motor drives used in electric vehicles. *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, 811-814.

Noce, T. (2009). *Estudo do Funcionamento de Veículos Elétricos e contribuições ao seus aperfeiçoamento* Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Paulides, J., Kazmin, E., Gysen, B., & Lomonova, E. (2008). Series hybrid vehicle system analysis using an in-wheel motor design. *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*.

Pedro, J. (2010). *Autogás em Portugal*. Lisboa: Sítio do Livro.

Ramos, T. M. S. (2010). *Sistema de tracção de um VEC (Veículo Eléctrico de Competição)*. Universidade do Porto, Porto.

Rei, D. F. T. (2007). *Avaliação Energética e Ambiental de um Veículo Diesel Recente*. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

Reis, N. A. O. (2008). *O automóvel híbrido como elemento fornecedor-consumidor de electricidade - Modelação de baterias*. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

Santos, P. M. C. (2009). *O Automóvel Híbrido como Elemento Fornecedor/Consumidor de Electricidade - Modelação de Baterias de Iões de Lítio*. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

Shimizu, H., Harada, J., Bland, C., Kawakami, K., & Chan, L. (1997). Advanced Concepts in Electric Vehicle Design. *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*, 44(1), 14-18.

Terashima, M., Ashikaga, T., Mizuno, T., Natori, K., Fujiwara, N., & Yada, M. (1997). Novel Motors and Controllers for High-Performance Electric Vehicle with Four In-Wheel Motors. *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*, 44(1), 28-38.

Tseng, K.-J., & Chen, G. H. (1997). Computer-Aided Design and Analysis of Direct-Driven Wheel Motor Drive. *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*, 12(3), 517-527.

Xue X, C. K., Cheung N. (2008). Selection of Electric Motor Drives for Electric Vehicles. *Australian Universities Power Engineering Conference*.

## Sítios da Internet

- [www.acap.pt](http://www.acap.pt)
- [www.dgge.pt](http://www.dgge.pt)
- [www.novaenergia.net/pontosdecarga](http://www.novaenergia.net/pontosdecarga)
- [www.nissan.pt](http://www.nissan.pt)
- [www.opel-ampera.com](http://www.opel-ampera.com)
- [www.ren.pt](http://www.ren.pt)
- [www.edp.pt](http://www.edp.pt)
- [www.sae.org](http://www.sae.org)
- [www.iec-normen.de](http://www.iec-normen.de)
- [www.mennekes.de](http://www.mennekes.de)
- [www.imtt.pt](http://www.imtt.pt)
- [www.ree.es](http://www.ree.es)
- [www.toyota.pt](http://www.toyota.pt)
- [http://automobiles.honda.com](http://http://automobiles.honda.com)
- [www.ford.com](http://www.ford.com)
- [www.min-economia.pt/](http://www.min-economia.pt/)
- [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)
- [epp.eurostat.ec.europa.eu](http://epp.eurostat.ec.europa.eu)