

# Instituto Politécnico de Viseu

Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu





## **Agradecimentos**

Ao Professor Doutor Luís Teixeira de Lemos pela orientação, ajuda e todo o apoio prestado para a realização deste trabalho.

A toda a minha família pela compreensão, confiança e apoio demonstrados e a todos os que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho

Agradeço também a todos aqueles que me têm incentivado e que acreditam em mim.

Muito obrigado

Agradece-se à Rede Elétrica Nacional (REN) pela disponibilização dos dados utilizados neste trabalho.



## **Prefácio**

O aumento continuado do preço dos combustíveis fósseis, o agravamento ambiental em termos de poluição e as alterações climáticas conduzem a novas estratégias de mobilidade.

O desenvolvimento e disseminação do veículo elétrico resultam do amadurecimento de diversas tecnologias, envolvendo motores elétricos cada vez mais eficientes, recurso a eletrónica de potência no controlo dos motores e na gestão das baterias, baterias com melhor desempenho e outros. Atualmente verifica-se por parte da maioria dos fabricantes de automóveis a exploração deste mercado, cada vez com mais procura por parte da população. A capacidade das baterias é ainda insatisfatória pelo que a autonomia deste tipo de veículos é um fator que os limita relativamente aos veículos com motor de combustão interna em que a energia armazenada no depósito de combustível é muito superior. Atualmente o recurso a veículos elétricos ocorre sobretudo em trajetos em que a autonomia *versus* tempo de carga não sejam um problema.

O presente trabalho pretende complementar a informação existente relativa às novas tecnologias de mobilidade rodoviária, nomeadamente potencial dos veículos elétricos e respetivos custos energéticos refletidos em termos de energia primária e a sua contribuição para a sustentabilidade energética.



## **Resumo**

Num mercado em que os motores de combustão interna teriam atingido o seu limite quer em termos de eficiência energética quer em termos de minimização das respetivas emissões gasosas, os fabricantes estão a dar particular atenção aos veículos com motorização elétrica.

Estes veículos são apresentados como uma solução sustentável na redução da emissão dos gases com efeito de estufa e na diminuição da dependência dos combustíveis fósseis, dada a cada vez maior utilização de energias renováveis na produção de eletricidade.

Neste trabalho estima-se o custo energético de um veículo na sua deslocação, em termos de energia primária consumida, considerando, quando aplicáveis, custos energéticos com a sua exploração, transporte e refinação, além do consumo do próprio veículo. Desta forma, pretendem contabilizar-se vantagens e limitações dos veículos elétricos face aos veículos com motor de combustão interna.

Foi desenvolvido um programa de cálculo – MIX que permite ao utilizador conhecer o custo em termos de energia primária de um kWh de energia elétrica no dia em que o consome. Este procedimento baseia-se na atualização, com periodicidade diária, dos dados disponibilizados pela REN e no seu tratamento com vista ao conhecimento do mix energético na produção de energia elétrica num dado dia.

Assim, facilmente se podem comparar as diversas tecnologias de mobilidade (motores elétricos e motores de combustão interna) no que respeita aos respetivos consumos em termos de energia primária (nomeadamente em termos da importância dos recursos energéticos efetivamente dispendidos na origem) e das emissões de CO<sub>2</sub> associadas.



## **Abstract**

In a market where internal combustion engines may have reached their limit in terms of energy efficiency and minimization of gaseous emissions, manufacturers are giving particular attention to vehicles with electric motorization.

These vehicles are faced as a sustainable solution in reducing greenhouse gases emissions and fossil fuels dependence, given the increasing use of renewable energy in electricity production.

This paper estimates the energy cost in moving a vehicle, in terms of primary energy consumption, considering, when applicable, energy costs with its extraction, transportation, refining and the consumption of the vehicle itself. Advantages and limitations of electric vehicles compared to vehicles with internal combustion engines are considered.

A calculation program was developed - MIX that lets the user know the cost in terms of primary energy of a kWh of electricity in the day it is consumed. This procedure is based on a daily update of REN's provided data and their treatment in view of the knowledge of the energy mix in the production of electricity on a given day.

It can easily compare the various mobility technologies for (electric motors and internal combustion engines) with respect to their consumption in terms of primary energy (particularly in terms of the importance of energy resources effectively spent at the origin) and associated CO<sub>2</sub> emissions.



## **Palavras-chave**

Veículo elétrico

Veículo de combustão interna

Veículo híbrido

Rede de distribuição de energia elétrica

Energia Primária

Energia Final



## **Key-words**

Electric vehicle  
Internal combustion vehicle  
Hybrid vehicle  
Network power distribution  
Primary energy  
Final energy



# Índice Geral

<b>Agradecimentos</b> .....	<b>I</b>
<b>Prefácio</b> .....	<b>III</b>
<b>Resumo</b> .....	<b>V</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>VII</b>
<b>Palavras-chave</b> .....	<b>IX</b>
<b>Key-words</b> .....	<b>XI</b>
<b>Índice Geral</b> .....	<b>XIII</b>
<b>Índice de Figuras</b> .....	<b>XV</b>
<b>Índice de Tabelas</b> .....	<b>XIX</b>
<b>Lista de Abreviaturas</b> .....	<b>XXI</b>
<b>1. Introdução</b> .....	<b>1</b>
1.1. Contexto .....	1
1.2. Motivação .....	2
1.3. Estrutura .....	4
<b>2. Tecnologias de locomoção de veículos ligeiros</b> .....	<b>5</b>
2.1. Veículos com motor de combustão interna .....	5
2.2. Veículos híbridos .....	6
2.3. Veículos elétricos .....	9
2.4. Carregamento de veículos elétricos em Portugal .....	15
2.5. Estratégia Nacional para a Energia 2020.....	17
<b>3. Energia primária</b> .....	<b>19</b>
3.1. Combustíveis fósseis .....	23
3.1.1. Carvão, petróleo e gás natural .....	23
3.1.2. Perdas energéticas na exploração e transporte dos combustíveis fósseis....	24

Carvão .....	28
Petróleo .....	29
Gás natural .....	30
3.1.3. Perdas energéticas associadas à obtenção da gasolina e do gasóleo .....	32
3.2. Eletricidade .....	35
3.2.1. Produção de eletricidade em centrais termoelétricas.....	36
3.2.3. Eletricidade importada.....	41
<b>4. Produção de eletricidade em Portugal.....</b>	<b>43</b>
4.1. Análise da correlação do mix energético na produção de eletricidade .....	47
<b>5. Emissões de CO<sub>2</sub> .....</b>	<b>61</b>
<b>6. Programa auxiliar .....</b>	<b>63</b>
<b>7. Energia Primária <i>versus</i> Energia Final.....</b>	<b>69</b>
7.1. Exemplos de casos práticos.....	73
<b>8. Conclusão .....</b>	<b>79</b>
<b>Bibliografia .....</b>	<b>81</b>

## Índice de Figuras

Figura 1 - Perdas de energia na locomoção de um automóvel (3) .....	5
Figura 2 - Diversas fases da locomoção híbrida (7) .....	7
Figura 3 - Ford Focus Electric- veículo elétrico sob base já existente (13) .....	12
Figura 4 - Nissan Leaf - veículo elétrico de raiz (14).....	12
Figura 5 - Múltiplos cenários para o desenvolvimento dos VE (17).....	15
Figura 6 - Posto de carregamento Mobi.e em Viseu .....	16
Figura 7 - Integração da carga de veículos elétricos com a rede de distribuição elétrica (19) .....	17
Figura 8 – Estratégia 20-20-20- metas para Portugal (20) .....	18
Figura 9 - Taxa de dependência energética de Portugal (22) .....	20
Figura 10 - Evolução do consumo de Energia Primária em Portugal (22).....	21
Figura 11 Intensidade energética dos países da UE27 (kgep / 1000 € de PIB) (23) .....	22
Figura 12 - Consumo energético por modo de transporte, UE-28, 1990-2012 (1990 = 100 Tep (23) .....	22
Figura 13 - Exemplo dos limites dos vários EROI (27) .....	25
Figura 14 - Valores anuais do $EROI_{st}$ do petróleo convencional, (27) .....	26
Figura 15 - Valores $EROI_{ext}$ de diversos combustíveis em 2006 (27).....	27
Figura 16 – Exploração previsível da produção mundial de petróleo em milhões de barris / dia (10) .....	30
Figura 17 - Rede Nacional de Gás Natural (37).....	32
Figura 18 - Esquema de coluna de destilação, com a indicação dos elementos separados às diversas temperaturas (36) .....	33
Figura 19 - Produtos finais da refinação do petróleo bruto em refinarias da GALP (36) .	34
Figura 20 - Esquema exemplificativo da eficiência do aparelho refinador após reconversão das refinarias nacionais (41).....	34
Figura 21 - Evolução da potência instalada entre 2003 e 2012 (REN) .....	36
Figura 22 - Esquema simplificado de um grupo da central de Sines (45).....	37
Figura 23 - Esquema simplificado de um grupo de central de gás natural (46).....	38
Figura 24 - Origem da energia elétrica produzida em 2011 e 2012 (49) .....	39
Figura 25 - Evolução mensal da energia consumida por tecnologia em 2012 (44) .....	40

Figura 26 - Evolução do consumo de eletricidade e o peso das diferentes fontes de produção de energia elétrica de 2000 a 2012 (49) .....	40
Figura 27 - Mix energético de Espanha 2012 (52) .....	41
Figura 28 - Tratamento dos dados obtidos no sítio da REN (54) .....	43
Figura 29 – Gráfico referente à produção de eletricidade a partir de energia térmica (combustíveis fósseis) nos meses de Janeiro e Agosto de 2013 (54).....	45
Figura 30 - Gráfico referente à produção de eletricidade a partir de energia eólica nos meses de Janeiro e Agosto de 2013 (51).....	46
Figura 31 - Gráfico referente à produção de eletricidade a partir de energia hídrica nos meses de Janeiro e Agosto de 2013 (54).....	46
Figura 32 - Gráfico referente à produção de eletricidade a partir de energia eólica, hídrica e térmica no mês de Janeiro de 2013 (51).....	47
Figura 33 - Gráfico de dispersão referente à energia térmica entre sábado e a sexta-feira que o antecede.....	49
Figura 34 - Gráfico referente à energia térmica entre sábado e o sábado que o antecede	49
Figura 35 - Gráfico referente à energia eólica entre sábado e a sexta-feira que o antecede .....	50
Figura 36 – Gráfico referente à energia eólica entre sábado e o sábado que o antecede..	50
Figura 37 - Gráfico referente à energia térmica entre domingo e o sábado que o antecede .....	51
Figura 38 - Gráfico referente à energia térmica entre domingo e o domingo que o antecede.....	52
Figura 39 - Gráfico referente à energia eólica entre domingo e o sábado que o antecede	52
Figura 40 - Gráfico referente à energia eólica entre domingo e o domingo que o antecede .....	53
Figura 41 - Gráfico referente à energia térmica entre segunda-feira e o domingo que a antecede.....	54
Figura 42 - Gráfico referente à energia térmica entre segunda-feira e a sexta-feira que a antecede.....	54
Figura 43 - Gráfico referente à energia eólica entre segunda-feira e o domingo que a antecede.....	55
Figura 44 - Gráfico referente à energia eólica entre segunda-feira e a sexta-feira que a antecede.....	55

Figura 45 - Gráfico referente à energia térmica entre um dia útil e o dia útil que o antecede (2ª feira não considerada) .....	57
Figura 46 - Gráfico referente à energia térmica entre um dia e o dia que o antecede (todos os dias da semana) .....	57
Figura 47 - Gráfico referente à energia eólica entre um dia útil e o dia útil que o antecede (2ª feira não considerada) .....	58
Figura 48 - Gráfico referente à energia eólica entre um dia e o dia que o antecede (todos os dias da semana) .....	58
Figura 49 – Gráfico referente à correlação dos dados para o período de Janeiro de 2013 a Março de 2014.....	59
Figura 50 – CO <sub>2</sub> emitido pela combustão dos diversos combustíveis (56).....	62
Figura 51 - Gráfico referente ao consumo diário de energia elétrica e as fontes que lhe deram origem, disponibilizada pela REN em 19/02/2014.....	64
Figura 52 - Software MIX .....	65
Figura 53 - Diagrama de funcionamento do <i>software</i> MIX .....	66
Figura 54 – Tendência de energia primária na produção de energia final nos meses de Janeiro e Agosto de 2013 .....	68
Figura 55 - Energia Final e Energia Primária na produção de energia elétrica em 2012..	71
Figura 56 –Mix Energético <i>versus</i> Rendimento Marginal na produção elétrica em 2012	72
Figura 57 - Mix Energético em Portugal no ano de 2013 (59).....	72
Figura 58 - Comparação entre os diversos tipos de combustíveis e tecnologias.....	74
Figura 59 - Emissões de CO <sub>2</sub> dos veículos em análise.....	77



## Índice de Tabelas

Tabela 1 – Características de alguns veículos híbridos disponíveis no mercado português - dados fornecidos pelas marcas .....	8
Tabela 2 – Alguns factos relativos à evolução histórica do mercado dos veículos elétricos (10) .....	10
Tabela 3 - Tipos de baterias de Lítio e aplicações (16) .....	13
Tabela 4 – Caracterização de alguns veículos elétricos vendidos em Portugal - dados anunciados pelas marcas.....	14
Tabela 5 – Potencial energético segundo o Despacho nº 17313/2008 de 26 de Junho (24) .....	23
Tabela 6 - Conversão do $EROI_{st}$ em percentagem de custo energético (27).....	27
Tabela 7 - Diferentes tipos de carvão com diferentes níveis de energia (30).....	28
Tabela 8 – Necessidades energéticas associadas à produção de gasóleo e gasolina (conforme Tabela 5) .....	35
Tabela 9 - Indicadores técnicos de eletricidade de 2008 a 2012 (43) .....	35
Tabela 10 - Energia dispendida na produção de energia elétrica em Espanha no ano de 2012 por combustível e total .....	42
Tabela 11 – Coeficientes de correlação entre sábado e a sexta-feira anterior e entre sábado e o sábado anterior.....	48
Tabela 12 – Coeficientes de correlação entre domingo e o sábado que o antecede e entre o domingo e o domingo que o antecede .....	51
Tabela 13 – Coeficientes de correlação entre segunda-feira e o domingo anterior e entre segunda-feira e a sexta-feira anterior.....	53
Tabela 14 – Coeficientes de correlação relativos aos dias úteis (dia útil, dia útil anterior - 2ª feira não considerada) e a todos os dias da semana.....	56
Tabela 15 - Fatores de emissão de $CO_2$ (56) .....	61
Tabela 16 - Tabela de estatística diária disponibilizada pela REN no dia 20/02/2014 .....	63
Tabela 17 - Valores de cenários-limite de utilização de combustíveis fósseis <i>versus</i> energias renováveis no mix energético nacional (kWh de Energia Primária por kWh de Energia Final .....	67
Tabela 18 - Valores calculados para cada fonte de energia.....	70
Tabela 19 - Eficiência dos diversos combustíveis na produção de eletricidade em 2012.....	70

Tabela 20 - Eficiência dos diversos combustíveis na produção de eletricidade em 2013 73

Tabela 21 - Comparação entre diversos tipos de combustíveis e tecnologias, contabilizando os custos energéticos de exploração, transporte e refinação de combustíveis fósseis e produção de energia elétrica, dados de 2012..... 74

Tabela 22 - Comparação de veículos desportivos contabilizando os custos energéticos de exploração, transporte e refinação de combustíveis fósseis e produção de energia elétrica, dados de 2012..... 76

## Lista de Abreviaturas

DGEG	Direção Geral de Energia
EREV	<i>Electric Vehicle with a Range Extender</i>
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
FEV	<i>Full Electric Vehicle</i>
GPL	Gás de Petróleo Liquefeito
HEV	<i>Hybrid Electric Vehicle</i>
Kgep	Kg equivalente de petróleo
MOBI-E	Rede Nacional de Mobilidade Elétrica
PHEV	<i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle</i>
PIB	Produto Interno Bruto
PRE	Produção Regime Especial
PRO	Produção em Regime Ordinário
REN	Rede Energética Nacional
SUV	<i>Sport Utility Vehicle</i>
Tep	Tonelada equivalente de petróleo
VCI	Veículo de Combustão Interna / ICEV <i>Internal combustion engine vehicle</i>
VE	Veículo Elétrico / EV <i>Electric Vehicle</i>



## **1. Introdução**

### **1.1. Contexto**

O contexto do presente trabalho insere-se na problemática da mobilidade decorrente do aumento da população e do correspondente incremento do número de veículos em circulação. Esta realidade acarreta cada vez maiores necessidades energéticas e implica o aumento de emissão de gases de combustão.

Neste trabalho, a energia é contabilizada desde a fonte energética primária (recurso natural) até ao depósito de combustível ou às baterias (em inglês: well to tank – WTT) ou seja, considerando nomeadamente os custos energéticos associados à exploração, transporte e refinação de combustíveis ou, no caso da eletricidade, ao custo energético desde a produção até à disponibilização ao consumidor final.

O setor dos transportes era, em 2012, responsável por cerca de um quarto das emissões de gases com efeito de estufa na União Europeia (1). Com o crescente custo da energia e as alterações climáticas, aumenta a pressão para se encontrarem soluções que mitiguem as emissões de gases com efeito de estufa. A indústria automóvel é um dos setores que apresenta maiores investimentos em investigação e desenvolvimento com vista a reduzir emissões e a dependência dos combustíveis fósseis (2).

A disseminação dos motores elétricos no setor automóvel vem sendo tentada desde o início do século XX, mas o baixo custo da energia proveniente dos combustíveis fósseis ditou o seu fracasso (2). Atualmente esta situação tende a inverter-se lentamente: os desenvolvimentos tecnológicos e o aumento do custo dos combustíveis fósseis estão a dar mais vantagens aos veículos movidos a eletricidade, embora ainda não sejam competitivos face aos veículos com motor de combustão interna (VCI). A autonomia é a maior limitação dos veículos movidos a eletricidade, devido à reduzida capacidade de armazenamento energético das suas baterias, relativamente aos combustíveis fósseis. A autonomia de uma carga completa permite, na melhor das situações, percorrer cerca de 200 quilómetros, ao passo que, os veículos de combustão interna apresentam autonomias na ordem dos 1000 quilómetros ou mais, sendo ainda possível reabastecê-los em poucos minutos.

Em situações em que as distâncias a percorrer estão dentro dos limites da autonomia elétrica, os EV têm vantagens significativas, tanto em termos de consumo energético como em termos de emissões poluentes, sendo ideais para circular em cidade ou em percursos pendulares, como na deslocação diária para o trabalho.

O aumento da autonomia e a diminuição do tempo de carga das baterias merecem toda a atenção em termos de investigação e desenvolvimento. Por outro lado, a eficiência deste tipo de locomoção e a forma de obter a energia torna-o apetecível para combater problemas relacionados com as emissões de gases com efeito de estufa, a poluição e a crise energética. Outro problema relacionado com os veículos elétricos é o elevado custo de aquisição pelo que há, em geral, incentivos governamentais para a aquisição deste tipo de veículos, estimulando o respetivo mercado com o objetivo de retirar os veículos de combustão interna das ruas, melhorando a qualidade do ar dos grandes centros urbanos e, dessa forma, a qualidade de vida da população.

## **1.2. Motivação**

Torna-se clara a necessidade de mudar o comportamento do Homem na sua relação com a natureza, no sentido de promover, sob um modelo de desenvolvimento sustentável, a compatibilização de práticas económicas com a necessidade de garantir a qualidade de vida dos cidadãos. A educação ambiental constitui um importante instrumento de sensibilização dos cidadãos, procurando incutir na população em geral uma consciência crítica sobre a problemática ambiental. A informação é muito importante em todo este processo de desenvolvimento sustentável.

A mobilidade é uma das mais importantes questões ligadas à sustentabilidade nos centros urbanos, constituindo um desafio que todas as cidades enfrentam. O problema tem vindo a agravar-se devido ao aumento da população e conseqüente aumento do número de automóveis em circulação, contribuindo para o aumento de gases na atmosfera, nomeadamente: CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), NO<sub>x</sub> (óxidos de azoto), SO<sub>2</sub> (dióxido de enxofre), CO (monóxido de carbono) e HC (hidrocarbonetos).

Os veículos elétricos surgem como resposta a considerar; o objetivo do desenvolvimento de veículos elétricos por parte das marcas automóveis relaciona-se com a eficiência superior deste tipo de veículos comparativamente aos veículos com motor de combustão interna, dado que precisam de menos energia para o seu deslocamento e acarretam uma menor emissão de gases poluentes (na componente de produção termoelétrica). Além disso, contribuem para a diminuição da exploração de combustíveis fósseis, pois a energia elétrica utilizada poderá vir da produção de eletricidade a partir de fontes renováveis.

Com o presente trabalho pretende avaliar-se a contribuição dos veículos elétricos no panorama rodoviário em Portugal. Trata-se, de comparar as diversas tecnologias existentes em termos de veículos automóveis e também as tecnologias utilizadas na produção de energia para o seu abastecimento. A componente de educação ambiental também está presente na divulgação das vantagens deste tipo de tecnologia; abordam-se temas tão importantes como a sustentabilidade energética e as emissões poluentes na mobilidade e na produção de energia.

São abordadas as diversas transformações energéticas desde que a energia primária é retirada do meio natural até à sua utilização no veículo automóvel, considerando-se os combustíveis fósseis utilizados em veículos com motor de combustão interna e as fontes que dão origem à eletricidade utilizada nos veículos elétricos. Esta abordagem requer a contabilização de todos os consumos nos processos de exploração, transporte e refinação dos combustíveis fósseis e também a discriminação do mix energético que origina a energia elétrica em Portugal, fazendo-se uma abordagem aos processos de exploração dos combustíveis utilizados.

Foi desenvolvido um *software* - MIX, com o objetivo de calcular o valor do kWh de energia final em termos da energia primária que lhe deu origem. Também fornece a indicação da quantidade de CO<sub>2</sub> emitida na produção desse kWh. A mais-valia deste programa é a obtenção imediata do consumo de energia primária para a produção de eletricidade em Portugal, tornando-se uma ferramenta importante, que fornece dados, para que facilmente se possam comparar as diversas tecnologias existentes em termos de mobilidade, no que diz respeito à eficiência energética e emissão de CO<sub>2</sub>.

São analisados vários modelos de automóveis existentes no mercado com vista a determinar as diferenças, em termos energéticos e de emissões de CO<sub>2</sub>, entre os diversos tipos de energia de propulsão do automóvel. Também se tenta, desta forma, desmistificar a visão muito comum em parte da população acerca dos veículos elétricos, de que estes não poluem. De facto, há que considerar a poluição decorrente da produção de energia elétrica necessária. Ao longo deste trabalho analisam-se todas as variáveis para se chegar a uma conclusão objetiva.

### 1.3. Estrutura

O presente documento é composto por oito capítulos.

No primeiro capítulo que serve de introdução ao documento, é descrito o contexto em que surge este trabalho e é apresentada a motivação para a sua execução.

No capítulo 2, realiza-se uma retrospectiva à mobilidade rodoviária, caracterizando sucintamente as diversas tecnologias existentes (veículos de combustão interna, veículos híbridos e veículos elétricos) e as vantagens e desvantagens de cada uma delas.

O objetivo do capítulo 3 é identificar os diversos tipos de energia primária, tanto na produção de combustíveis para os veículos de combustão interna, como no mix energético para a produção de eletricidade. É efetuada também uma caracterização desses combustíveis e de todas as transformações que sofrem.

No capítulo 4 procede-se à caracterização da produção de eletricidade em Portugal com base nos dados fornecidos pela REN sendo também determinado o coeficiente de correlação entre os diversos dados disponíveis.

No capítulo 5 é efetuada uma abordagem às emissões de CO<sub>2</sub> relacionadas com os veículos e também com a produção de eletricidade em Portugal.

O capítulo 6 descreve o modo de funcionamento do *software* MIX. Este programa faz a aquisição dos dados diários do mix energético na produção de eletricidade disponibilizados pela REN e fornece os dados pretendidos em termos de energia primária e emissões de CO<sub>2</sub>.

No capítulo 7 realiza-se um estudo acerca de diversos veículos, com diferentes tecnologias de propulsão, existentes no mercado e comparando-se entre si, no que se refere aos consumos energéticos, e à libertação de CO<sub>2</sub>.

As conclusões do trabalho são apresentadas no capítulo 8.

## 2. Tecnologias de locomoção de veículos ligeiros

Existem no mercado diversas tecnologias de locomoção de veículos ligeiros de passageiros, nomeadamente motores de combustão interna, sendo os mais usuais de ciclo *Otto* e ciclo *Diesel*, sistemas híbridos que conjugam motores de combustão interna com motores elétricos e diversas opções de veículos de locomoção exclusivamente assegurada por motores elétricos.

### 2.1. Veículos com motor de combustão interna

Num veículo convencional, do potencial energético do combustível só uma parte relativamente reduzida (17 a 21%) é transmitida às rodas, assegurando o deslocamento do veículo e que corresponde à resistência ao rolamento, à resistência aerodinâmica e à dissipação em travagem.

No motor ocorrem perdas da ordem de 70 a 72% resultantes maioritariamente da conversão da energia térmica em energia mecânica (dissipadas no sistema de refrigeração e nos gases de escape) mas também da combustão, do atrito e outras. Globalmente podem ainda referir-se perdas na transmissão e outras (bomba de água, alternador...) da ordem dos 5 a 6 % cada (Figura 1).

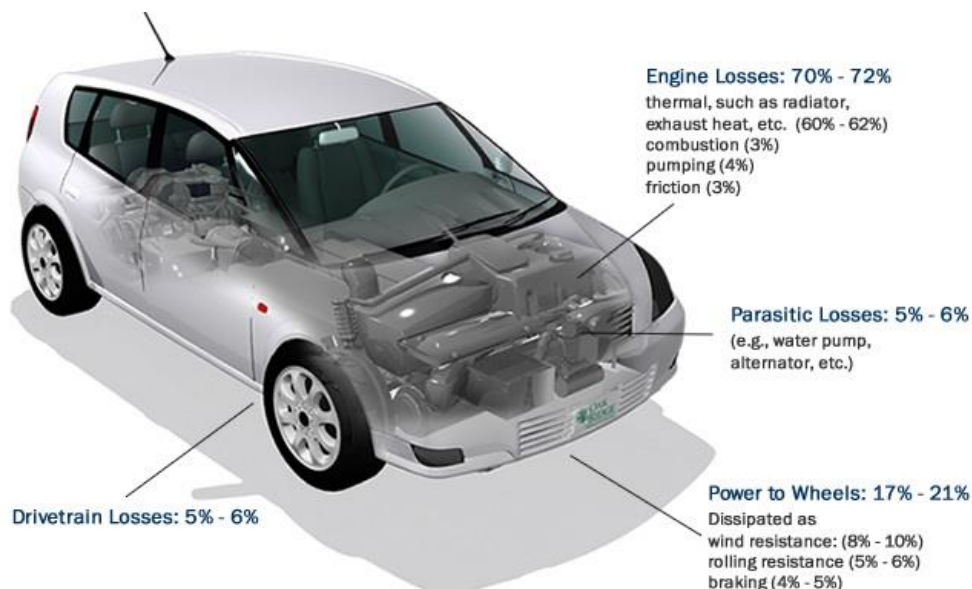


Figura 1 - Perdas de energia na locomoção de um automóvel (3)

Os motores de combustão interna funcionam segundo os ciclos térmicos de *Otto* ou de *Diesel* com recurso a combustíveis fósseis, gerando energia mecânica que é transmitida às

rodas dos veículos. Ultimamente tem-se assistido ao amadurecimento deste tipo de motorizações com o aumento da sua eficiência e conseqüente redução das emissões poluentes. No entanto, o aumento significativo do número de veículos em circulação e, por sua vez, das emissões totais geradas representam ameaças ao ambiente e à saúde pública. Da combustão da mistura ar-combustível, surgem produtos (dióxido de carbono, óxidos de azoto, monóxido de carbono e hidrocarbonetos) que degradam a qualidade do ar e contribuem para o efeito de estufa (4).

Os motores de combustão interna a gasolina e a gasóleo têm eficiências térmicas à volta de 30% e de 38% respetivamente, o que significa que, quando estes motores operam em condições de máxima eficiência, cerca de 62 a 70% da energia contida na gasolina ou no gasóleo é rejeitada sob a forma de calor, sem produção de trabalho útil. Cerca de metade desta energia é rejeitada nos gases de escape e a restante no arrefecimento do motor (5).

A maioria dos veículos ligeiros que circula em Portugal possui motores de combustão interna a gasóleo, gasolina ou GPL.

## 2.2. Veículos híbridos

Segundo a *United Nations Economic Commission for Europe* (UNECE), o veículo híbrido utiliza pelo menos duas fontes diferentes de energia, um motor de combustão e um motor elétrico, para movimentar o veículo (6). Assim, o veículo híbrido possui dois sistemas de armazenamento de energia, um depósito de combustível e uma ou mais baterias.

Este tipo de veículos, além de contribuir para a redução do consumo de combustíveis fósseis e conseqüentemente das emissões de gases para a atmosfera, contribui para o desenvolvimento da mobilidade sustentável.

As marcas pioneiras neste tipo de veículos foram a *Toyota* e a *Honda*, com veículos de diferentes gamas no mercado há já alguns anos.

Parte da eficiência de um veículo híbrido resulta da possibilidade de armazenar energia nas baterias, ao desacelerar ou ao travar, ao contrário dos veículos convencionais em que toda a energia cinética é desperdiçada. Num veículo híbrido, parte dessa energia movimenta o motor elétrico que funciona como gerador elétrico, carregando as baterias. Essa energia poderá ser posteriormente utilizada para que o motor elétrico assista o motor de combustão em situações em que seja necessária potência extra, economizando combustível.

Conforme se pode observar na Figura 2, da direita para a esquerda, o veículo quando necessita de mais energia (em subidas) recorre à carga das baterias para auxiliar o motor de

combustão (barra azul a indicar assistência conforme se requer mais ou menos potência do conjunto). Esta assistência provem da carga disponível nas baterias que alimenta o motor elétrico acoplado ao motor de combustão. Com a inversão do plano do terreno, o motor elétrico passa a funcionar como gerador, aproveitando a energia disponível nas descidas, carregando as baterias e repondo assim energia gasta nas subidas. Esta situação pode ser aproveitada também em travagens de reduzida intensidade, em que a carga das baterias é efetuada de forma mais célere - travagem regenerativa (7).



Figura 2 - Diversas fases da locomoção híbrida (7)

Podem considerar-se três classes de veículos híbridos:

i) o veículo híbrido série, em que o motor de combustão interna (ICE) está acoplado a um gerador de eletricidade que por sua vez alimenta o motor elétrico movimentando o veículo; este sistema é muito utilizado nas locomotivas *diesel*-elétricas e, no caso dos automóveis, é utilizado no híbrido *Opel Ampera*;

ii) o veículo híbrido paralelo, em que o motor de combustão está mecanicamente acoplado ao motor elétrico, rodando sempre agregados, ou seja, quando é necessária potência funcionam os dois em conjunto debitando a potência necessária; nas desacelerações ou

travagens, o motor elétrico tem a sua função invertida funcionando como gerador elétrico e carregando as baterias; este sistema é utilizado pelos automóveis híbridos da marca *Honda*;

iii) o veículo híbrido série/paralelo conjuga as duas possibilidades anteriores. Possui, além do motor de combustão interna, dois motores elétricos que também podem funcionar como geradores (juntos ou separadamente em qualquer uma destas funções); permite fornecer energia para a movimentação do veículo e gerar eletricidade simultaneamente; tem a vantagem de se poder movimentar em modo elétrico exclusivamente com a energia acumulada nas baterias; este sistema é utilizado em todos os veículos híbridos da marca *Toyota*.

Com base na forma de tração, podem referir-se: o veículo híbrido total (*full hybrid*), o veículo híbrido mínimo (*mild hybrid*) e o veículo híbrido micro (*micro hybrid*).

O veículo híbrido total pode, em determinadas situações, movimentar-se exclusivamente com tração elétrica, sendo ainda possível o modo motor de combustão e o modo simultâneo de ambos os motores. No veículo híbrido mínimo, embora seja possível utilizar a energia das baterias para tração motora, não é possível a tração em modo exclusivamente elétrico devido às reduzidas dimensões do motor elétrico. Em ambos os casos, o arranque do motor de combustão interna é efetuado com energia proveniente das baterias. O sistema micro utiliza a energia acumulada na bateria exclusivamente para o arranque do motor de combustão, o qual se desliga sempre que o veículo se imobiliza.

Na Tabela 1 podem observar-se diversos exemplos de veículos com tecnologia híbrida disponíveis no mercado português.

**Tabela 1 – Características de alguns veículos híbridos disponíveis no mercado português - dados fornecidos pelas marcas**

Marca/Modelo	Motor CI (cilindrada/potência)	Motor elétrico (kW)	Consumo L\100km (circuito misto)	Segmento	Disposição motriz
Peugeot 3008 Hybrid 4	2000 cm <sup>3</sup> diesel 120 kW	27	3,4	SUV	Série/paralelo
Peugeot 508 Hybrid 4			3,4	D	Série/paralelo
Peugeot 508 RXH			3,4	SUV	Série/paralelo
Honda Jazz Hybrid	1400 cm <sup>3</sup> gasolina 72 kW	10	4,5	B	Paralelo

Honda CRZ	1500 cm <sup>3</sup> gasolina 89 kW	15	4,7	Coupé	Paralelo
Toyota Yaris HSD	1500 cm <sup>3</sup> gasolina 55 kW	45	3,5	B	Série/paralelo
Toyota Auris HSD	1800 cm <sup>3</sup> gasolina 99 kW	60	4	C	Série/paralelo
Toyota Prius	1800 cm <sup>3</sup> gasolina 99 kW	60	4	C	Série/paralelo
Toyota Prius <i>Plug-in</i>	1800 cm <sup>3</sup> gasolina 99 kW	60	2,1	C	Série/paralelo
Opel Ampera	1400 cm <sup>3</sup> gasolina 63 kW	111	1,2	C	Série

A tecnologia híbrida sendo intermédia entre o veículo com motor de combustão e o veículo elétrico, permite às marcas abordarem as tecnologias elétricas sem comprometerem a sua fiabilidade. Trata-se de uma estratégia importante no desenvolvimento de novas tecnologias, quando estas ainda não estão devidamente testadas pelos consumidores. Desenvolvem-se controladores, motores elétricos e baterias, obtendo-se um saber fazer que, de outra maneira, seria muito mais dispendioso em termos financeiros.

O desenvolvimento tecnológico das baterias tornou possível a existência do veículo híbrido *Plug-in*, que possui maior autonomia em modo totalmente elétrico, e deslocações mais extensas graças ao motor de combustão interna. O *Toyota Prius Plug-in* tem uma bateria suplementar de iões lítio que pode ser carregada a partir de uma tomada elétrica normal em cerca de hora e meia, aumentando a autonomia em modo elétrico de dois para vinte e cinco quilómetros (8).

### 2.3. Veículos elétricos

Segundo o artigo 4.º do capítulo I do Decreto-Lei nº170/2012 de 1 de Agosto, são considerados veículos elétricos, o automóvel, o motociclo, o ciclomotor, o triciclo ou o quadriciclo, dotados de um ou mais motores principais de propulsão elétrica que transmitam energia de tração ao veículo, cuja bateria seja carregada mediante ligação à rede de mobilidade elétrica ou a uma fonte de eletricidade externa, e que se destinem, pela sua função, a transitar na via pública, sem sujeição a carris.

Os veículos elétricos são considerados como uma forma de mobilidade sustentável na medida em que contribuem para a diminuição da dependência do petróleo e da emissão de gases poluentes. A retirada gradual dos veículos de “motorização convencional” do meio urbano representa um importante contributo para diminuir significativamente o volume das emissões de gases com efeito de estufa e a poluição sonora e atmosférica locais. O aumento do preço dos combustíveis de origem fóssil favorece o desenvolvimento da mobilidade elétrica no mercado automóvel (9), (10).

O veículo elétrico apresenta-se pois como uma alternativa viável aos veículos com motor de combustão interna. Segundo um estudo da IPSOS APEME em 2012, cerca de 6% dos entrevistados admitem fazer mais de 100 quilómetros diariamente, estando a utilização do automóvel para percursos superiores a 160 quilómetros fundamentalmente associada a viagens de lazer, turismo ou férias, com frequência esporádica (11).

Desde meados do século XIX que a disseminação do veículo elétrico (Tabela 2) foi contrariada pela abundância de combustíveis fósseis que conduziu ao desenvolvimento dos motores de combustão interna em detrimento dos elétricos.

Tabela 2 – Alguns factos relativos à evolução histórica do mercado dos veículos elétricos (10)

1888	O engenheiro alemão Andreas Flocken,, construiu o primeiro veículo de quatro rodas elétrico.
1897	O primeiro veículo comercial elétrico entrou ao serviço da frota de táxis de Nova Iorque. O fabricante de automóveis Pope Manufacturing Co. foi o primeiro construtor de veículos elétricos de grande escala nos Estados Unidos.
1900	Os carros movidos a eletricidade passaram a ser os modelos mais vendidos nos Estados Unidos.
1908	Surge, no mercado, o Ford Model T, a gasolina.
1912	O <i>stock</i> global de veículos elétricos atinge o valor máximo de 30 000 unidades.
1935	Os veículos elétricos quase não existem, predominando os de motor de combustão interna devido ao petróleo muito barato.
1947	O racionamento de petróleo no Japão leva o fabricante japonês Tama a fabricar um veículo elétrico de 4,5 CV.
1973	Os preços elevados do petróleo renovam o interesse nos veículos elétricos.
1976	O governo francês lança o programa “PREDIT”, de investigação e desenvolvimento de veículos elétricos.
1996	Para complementar os requisitos do estado da Califórnia de 1990 no programa de veículos de zero emissões, a General Motors produz e comercializa em <i>leasing</i> o modelo elétrico EV1.
1997	No Japão, a Toyota começa a comercializar o Prius, o primeiro carro híbrido comercializado mundialmente. Foram vendidas 18000 unidades no primeiro ano.
2010	É lançado o Nissan Leaf.

2011	O <i>stock</i> de veículos elétricos atinge 50000 unidades.
2012	O <i>stock</i> de veículos elétricos atinge 100000 unidades.

Conforme referido, a diminuição das reservas de petróleo contribui para o aumento da importância da mobilidade elétrica. A transição do atual sistema de transportes, assente em produtos derivados do petróleo para um sistema de transportes elétrico, baseado em fontes de energia renováveis beneficiaria também o setor da energia, pois os veículos elétricos poderiam aproveitar os recursos elétricos atuais para reduzirem a dependência de petróleo e impulsionar o setor das fontes de energia renováveis. Têm também a possibilidade de poder ajudar a resolver alguns problemas relacionados com a intermitência da produção elétrica nas horas de vazio associado a algumas das fontes de energia renováveis, por exemplo, a energia eólica, através de um carregamento em horas de reduzida procura (12).

Algumas desvantagens em relação aos veículos de combustão interna, nomeadamente a sua autonomia e tempo de recarga, fazem com que a tipologia mais corrente dos veículos elétricos seja a de pequenas dimensões, leve e alimentada por baterias que podem ser recarregadas através da rede ou por travagem regenerativa (*regenerative braking*). São ideais para deslocamentos curtos em meio urbano. Possuem como características o elevado rendimento energético e a não emissão de poluentes e de ruído no local em que circulam.

Podem distinguir-se, à partida, dois tipos de abordagem nos novos veículos fabricados: conversão de um veículo existente com motor de combustão interna em veículo elétrico (Figura 3) ou um veículo elétrico concebido de raiz (Figura 4).

A primeira abordagem tem a vantagem de tornar o seu fabrico bastante mais económico, pois partilha peças, materiais e linhas de produção com os restantes modelos e a desvantagem de não proporcionar o mesmo equilíbrio na distribuição de pesos devido à colocação das baterias.



**Figura 3 - Ford Focus Electric- veículo elétrico sob base já existente (13)**

A segunda abordagem, atualmente a mais comum, permite uma conceção flexível, coordenando e integrando vários subsistemas do veículo, aumentando a eficiência total do sistema. Também se podem utilizar materiais mais leves de modo a compensar o aumento de peso devido às baterias. Além disso, como o veículo é pensado de raiz para este tipo de motorização, os aspetos de segurança são também mais bem elaborados. Assim sendo, as marcas começam a produzir modelos elétricos de raiz, com eficiência crescente, mais seguros e com melhor preço, pois o efeito de escala proveniente do aumento de vendas deste tipo de veículos permite diluir os custos de investigação e desenvolvimento.



**Figura 4 - Nissan Leaf - veículo elétrico de raiz (14)**

Refiram-se outros fatores a ter em conta no desenvolvimento de um veículo elétrico:

**Motores** – devem ter elevadas densidades de binário e de potência, elevado rendimento sob um grande intervalo de velocidades, robustez, segurança e custo reduzido. Os mais utilizados são os de corrente alternada (AC) (2).

**Conversores de potência** – são desenvolvidos retificadores, inversores e conversores DC/DC que possibilitam a gestão do binário, potência e velocidade a ser entregue às rodas do veículo (2).

**Armazenamento de energia** – as baterias mais promissoras no mercado são as baterias de lítio, não tóxicas e com matéria-prima não muito dispendiosa, comparativamente com os restantes tipos de baterias. As baterias mais utilizadas nos veículos elétricos são as de íões de lítio, que apresentam uma energia específica superior a 300 Wh/Kg e uma potência específica superior a 10 kW/Kg (2).

Alem disso, quando estas baterias deixam de corresponder às elevadas exigências da utilização em veículos, poderão ter ainda interesse técnico e comercial nouro tipo de situações menos exigentes, nomeadamente como unidades de armazenamento associadas a equipamentos de energias renováveis (células fotovoltaicas ou aerogeradores). Este procedimento aumenta o período de vida útil das baterias (15).

Existem diferentes tipos de baterias de lítio para as diversas aplicações (Tabela 3).

Tabela 3 - Tipos de baterias de Lítio e aplicações (16)

Química	Material	Abreviatura	Sigla	Observações
Óxido de Cobalto-Lítio	$\text{LiCoO}_2$ (60% Co)	LCO	Li-cobalt	Alta capacidade; utilizado em telemóveis, portáteis, câmaras, veículos elétricos (Tesla), ...
Óxido de Lítio-Manganês	$\text{LiMn}_2\text{O}_4$	LMO	Li-manganese	As mais seguras, menos capacidade do que as de LCO, mas maior potência específica e longevidade, utilizados em ferramentas, veículos elétricos, medicina, ...
Lítio-Fosfato de Ferro	$\text{LiFePO}_4$	LFP	Li-phosphate	
Lítio Níquel Óxido de Manganês Cobalto	$\text{LiNiMnCoO}_2$ (10-20% Co)	NMC	NMC	
Óxido de	$\text{LiNiCoAlO}_2$	NCA	NCA	Começam a ganhar importância em

Cobalto de Alumínio e Lítio de Níquel	(9% Co)			veículos elétricos e armazenagem de rede.
Lítio-Titanato	$\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$	LTO	Li-titanate	

Já existem veículos elétricos em todos os segmentos do mercado, nomeadamente em Portugal: desde o segmento A (automóveis de pequenas dimensões, também denominados de cidadãos) ao segmento D (automóveis de luxo), conforme se pode verificar na Tabela 4, com alguns exemplos. As condições para aferir os consumos e autonomia respeitam os procedimentos das diretivas da União Europeia, Regulamento (CE) nº692/2008 da Comissão de 18 de Julho de 2008, alterado pelo Regulamento (CE) nº136/2014 da Comissão de 11 de Fevereiro de 2014.

**Tabela 4 – Caracterização de alguns veículos elétricos vendidos em Portugal - dados anunciados pelas marcas**

Marca/Modelo	Autonomia (Km)	Potência (kW)	Consumo (kWh/100km)	Segmento	Velocidade máxima (Km/h)
Nissan Leaf	199	80	15	C	145
Mitsubishi i-MIEV	150	49	13,5	A	120
Smart Fortwo EV	110	30	12	A	110
Tesla Roadster	350	216	13,3	Roadster	209
Ford Focus Electric	122	107	19	C	135
Renault Zoe	210	65	11	B	135

A UE considera três cenários relativamente à possível evolução no mercado dos vários tipos de VE em substituição parcial dos veículos convencionais (Figura 5), (17):

Cenário 1: baseia-se nas estimativas atuais de custos e de desenvolvimento de veículos elétricos e nos incentivos governamentais e políticas fiscais e é considerado o cenário mais realista. Estima cerca de 3,3 milhões de veículos elétricos na UE em 2020, com um rápido aumento nos anos seguintes, atingindo um número superior a 50 milhões em 2030

Cenário 2: embora o veículo elétrico ganhe quota de mercado, esta continuará a ser relativamente reduzida. Os veículos de combustão interna permanecerão em destaque a longo prazo, facto sustentado num elevado aumento da eficiência. Prevê cerca de 2 milhões de veículos elétricos em 2020 na UE, aumentando para 20 milhões em 2030.

Cenário 3: pressupõe um avanço significativo na tecnologia das baterias na próxima década, levando a reduções de custo rápidas e, portanto, à sua mais fácil aceitação pelo mercado após 2020. Os VE tornam-se competitivos relativamente aos VCI, tanto em termos de preço como em relação ao desempenho. Chegarão aos 5,5 milhões em 2020 e a 98 milhões em 2030; as vendas de veículos elétricos ultrapassarão as dos veículos de combustão interna a partir de 2025.

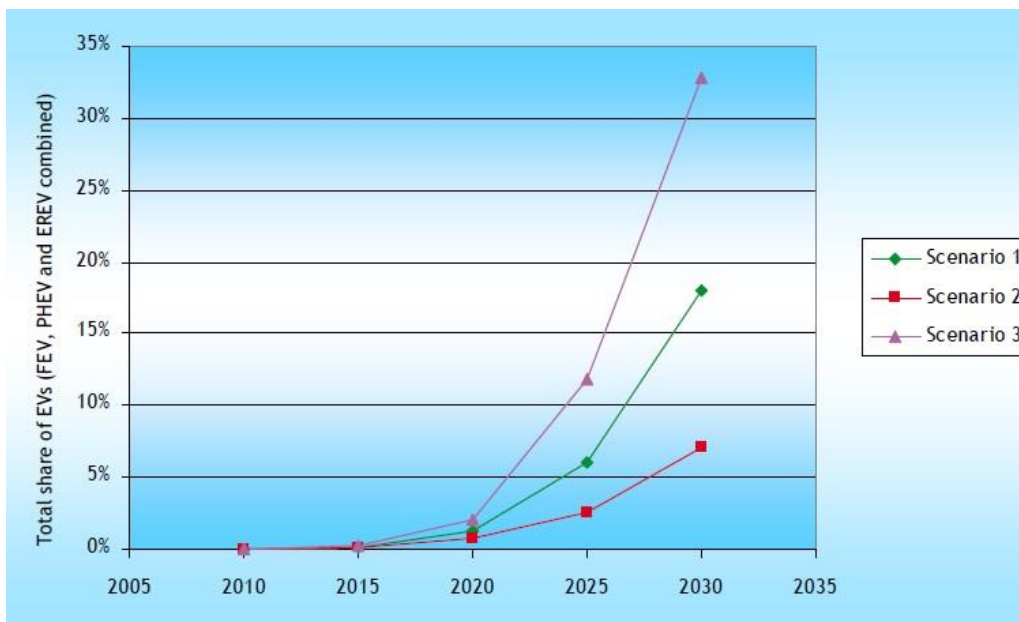


Figura 5 - Múltiplos cenários para o desenvolvimento dos VE (17)

## 2.4. Carregamento de veículos elétricos em Portugal

Os veículos elétricos podem ser carregados em qualquer tomada vulgar. No entanto, para garantir o carregamento dos veículos elétricos é necessário que exista uma rede dedicada, quer para possibilitar deslocações maiores quer para quem não tenha a possibilidade de carregar o veículo em casa.

Foi implementada legislação que regulamenta todas as atividades desta rede através da Resolução do Conselho de Ministros nº20/2009 que veio, mais tarde, a dar origem ao Decreto-lei nº39/2010 de 6 de Abril, republicado no Decreto-lei nº170/2012 de 1 de Agosto,

dando início à rede Mobi.e. No artigo 2º é referido que a rede de mobilidade elétrica (Mobi.e) compreende o conjunto integrado de pontos de carregamento e demais infraestruturas, de acesso público e privativo, relacionadas com o carregamento de baterias de veículos elétricos, em que intervêm os agentes que desenvolvem as atividades previstas no artigo 5º, o qual se destina a permitir o acesso dos utilizadores de veículos elétricos à mobilidade elétrica. Esta é uma rede integrada e aberta que assume o carregamento de veículos elétricos, permite ao utilizador localizar e seleccionar locais de carregamento, planear trajetos e saber o estado de carregamento do veículo (18). A Mobi.e assegura em Portugal 1300 pontos de carregamento normal e 50 pontos de carregamento rápido em espaços de acesso público (18).



Figura 6 - Posto de carregamento Mobi.e em Viséu

Refira-se que a utilização de veículos elétricos durante o dia implica o seu carregamento durante a noite, o que contribui para uma melhoria significativa da gestão da eletricidade em Portugal, levando a uma menor oscilação no consumo da rede e a um melhor encaixe da energia elétrica produzida a partir de fontes renováveis (18). Conforme se pode verificar no gráfico seguinte, a carga dos veículos elétricos dá-se maioritariamente em alturas em que o consumo na rede de distribuição é mais reduzido, minimizando dessa forma os impactos que baixos consumos têm na rede elétrica.

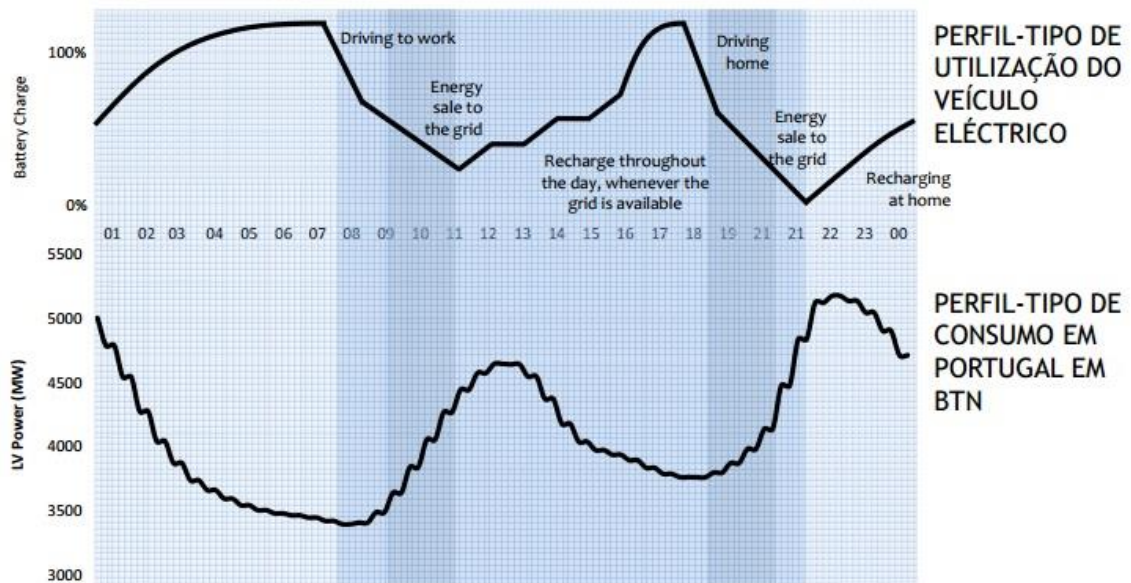


Figura 7 - Integração da carga de veículos eléctricos com a rede de distribuição eléctrica (19)

## 2.5. Estratégia Nacional para a Energia 2020

Em 2010, através da Resolução do Conselho de Ministros n.º29/2010, de 15 de Abril, foi aprovada a Estratégia Nacional para a Energia 2020 (ENE 2020) que define uma agenda para a competitividade, para o crescimento e diminuição da dependência energética do país, através da aposta nas energias renováveis e na promoção da eficiência energética, assegurando a segurança do abastecimento energético e a sustentabilidade económica e ambiental do modelo energético nacional.

A estratégia define as políticas e medidas de maior relevância para a área da energia, as quais assentam em cinco prioridades fundamentais:

- Competitividade, crescimento e independência financeira;
- Aposta nas energias renováveis;
- Promoção da eficiência energética;
- Garantia da segurança do abastecimento energético;
- Promoção da sustentabilidade da Estratégia Nacional para a Energia 2020.

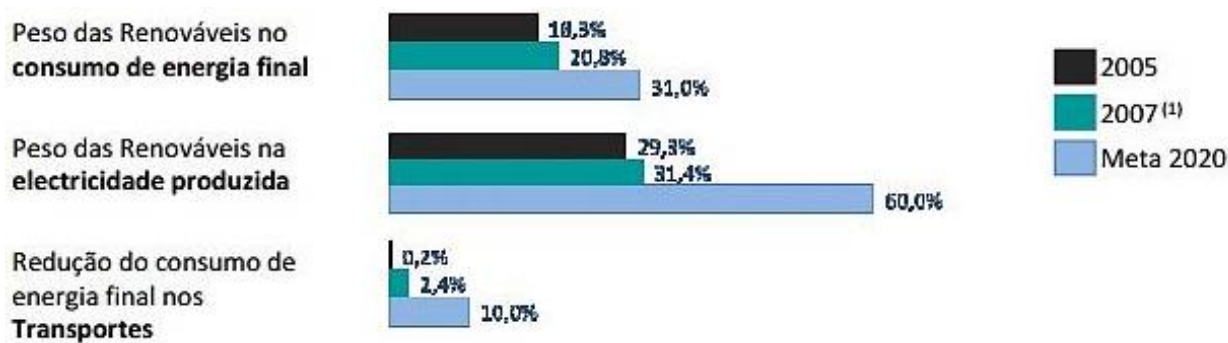


Figura 8 – Estratégia 20-20-20- metas para Portugal (20)

Como se pode verificar pela Figura 8, é expectável uma redução de 10% no consumo de energia final nos transportes, o que só é possível com o aumento da eficiência destes, tendo a eletrificação do parque automóvel em Portugal um papel importante.

Foi também criado o já referido Programa para a Mobilidade Elétrica através da Resolução do Conselho de Ministros nº20/2009, que pretende introduzir o veículo elétrico enquanto meio de transporte e contribuir para o cumprimento das metas nacionais de redução da dependência energética e combate às alterações climáticas através da substituição progressiva dos combustíveis fósseis por eletricidade e consequente redução das emissões de gases com efeito de estufa proveniente do setor dos transportes rodoviários.

Na Europa, o setor dos transportes é um setor fundamental, tanto para a economia, como para a sociedade. A mobilidade é essencial para a realização do mercado interno e para a qualidade de vida dos cidadãos. Atendendo a que este setor representa uma fonte de crescimento económico através da criação de riqueza e de emprego, é crucial promover a sua sustentabilidade. Por outro lado, sendo esta uma atividade intrinsecamente internacional, qualquer intervenção significativa neste domínio, para ser eficaz, requer uma forte cooperação entre as partes (21).

As importações de petróleo custaram à UE, em 2010, cerca de 210 mil milhões de euros (21). É importante diminuir esta dependência, caso contrário, as possibilidades de mobilidade e a segurança económica da União Europeia podem vir a ser seriamente afetadas. São por isso absolutamente necessárias alternativas ao petróleo. Prosseguindo este, objetivo, a Comissão Europeia apresentou a Proposta de Diretiva destinada a assegurar a criação de infraestruturas para combustíveis alternativos em toda a Europa, com normas comuns de conceção e de utilização (21).

### **3. Energia primária**

Tendo como objetivo determinar o valor da energia primária correspondente a uma dada quantidade de energia final consumida no abastecimento de veículos, considerar-se-ão os casos da gasolina, do gasóleo e da eletricidade. Ao passo que a gasolina e o gasóleo resultam do processamento do petróleo bruto, a eletricidade pode ser produzida com base em combustíveis fósseis, em fontes energéticas renováveis ou de origem nuclear.

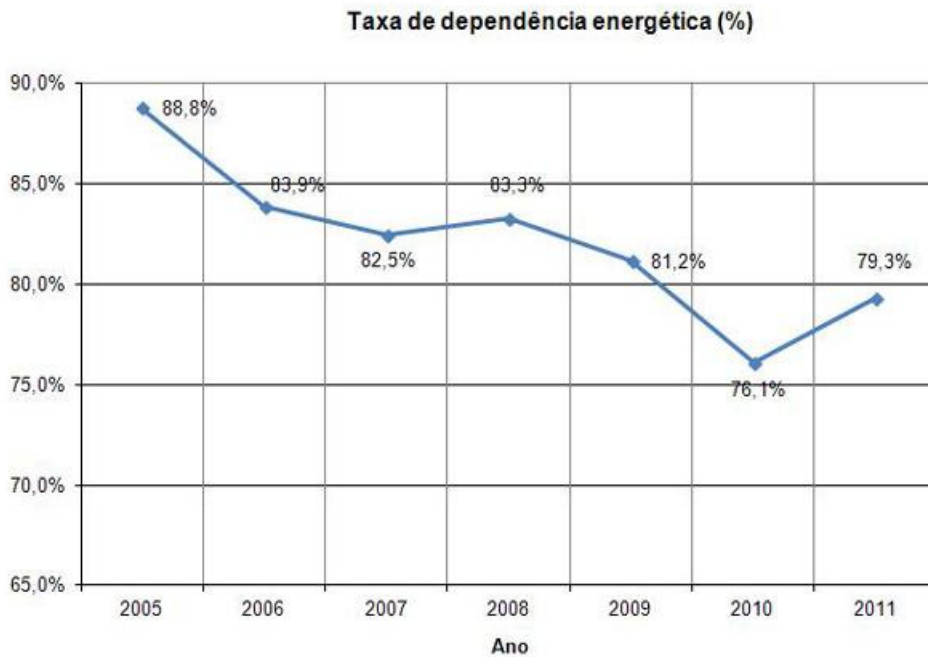
Com vista a uma melhor sistematização do texto que se segue, abordam-se em primeiro lugar diversos aspetos relativamente aos combustíveis fósseis e ao seu processamento, nomeadamente a refinação do petróleo, necessária à obtenção de gasolina e gasóleo. De seguida dedica-se particular atenção à eletricidade, nomeadamente em termos da sua produção e características associadas à importação.

O conceito de energia primária corresponde aos recursos energéticos na sua forma natural, na natureza, antes de qualquer conversão ou transformação, tais como o carvão, o petróleo e o gás natural na origem, a energia hídrica, solar, eólica, oceânica, geotérmica e da biomassa.

A energia final corresponde à forma de energia disponibilizada ao consumidor final.

As fontes de energia podem ser renováveis ou não renováveis: as renováveis possuem a capacidade de se regenerar a uma escala de tempo reduzida; as não renováveis provêm do subsolo, resultando da decomposição da matéria orgânica ao longo de milhões de anos, não se renovando à escala de tempo humano, pelo que, considerando o consumo, a sua disponibilidade é cada vez menor.

Dado que Portugal não possui recursos energéticos fósseis endógenos, é muito importante a contribuição das energias renováveis na atenuação da sua forte dependência da importação de energia (Figura 9), (22).



**Figura 9 - Taxa de dependência energética de Portugal (22)**

As variações observadas na Figura 9 decorrem da intermitência de disponibilidade das energias renováveis: em anos com pluviosidade muito reduzida, a energia hídrica apresenta baixa produtividade obrigando a maior importação de energia, como aconteceu, por exemplo, no ano de 2005, facto que se repetiu em 2012, como se verá adiante.

Na energia primária consumida em Portugal, a quota-parte das energias renováveis tem vindo a aumentar, sendo que a utilização de derivados de petróleo tem vindo a diminuir, conforme se pode verificar na Figura 10.

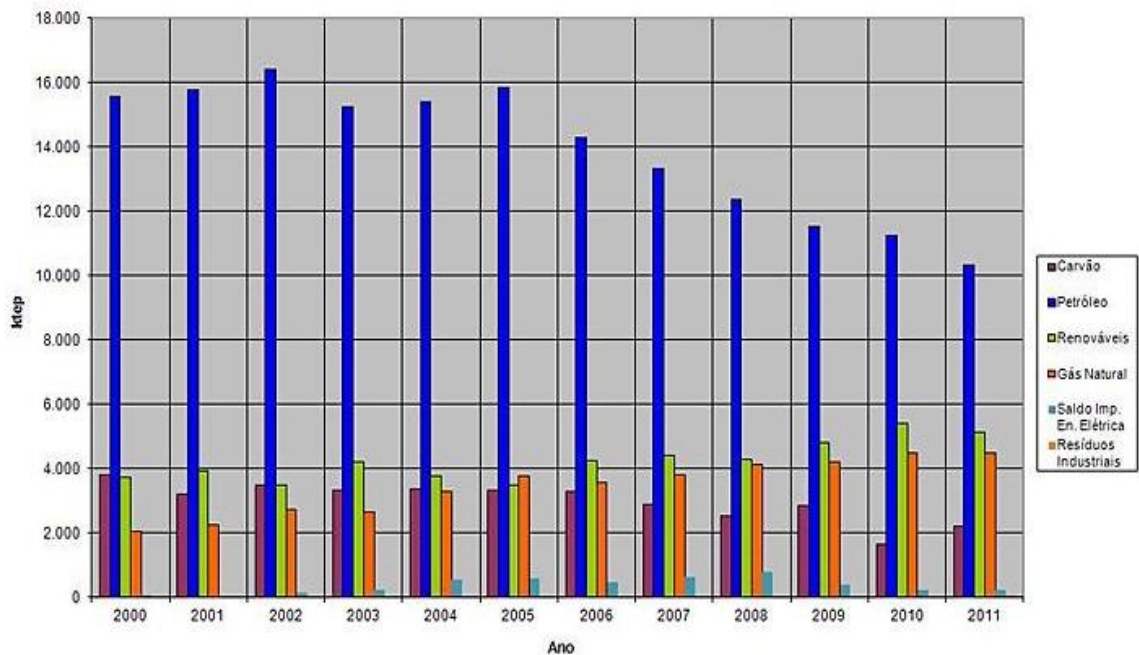
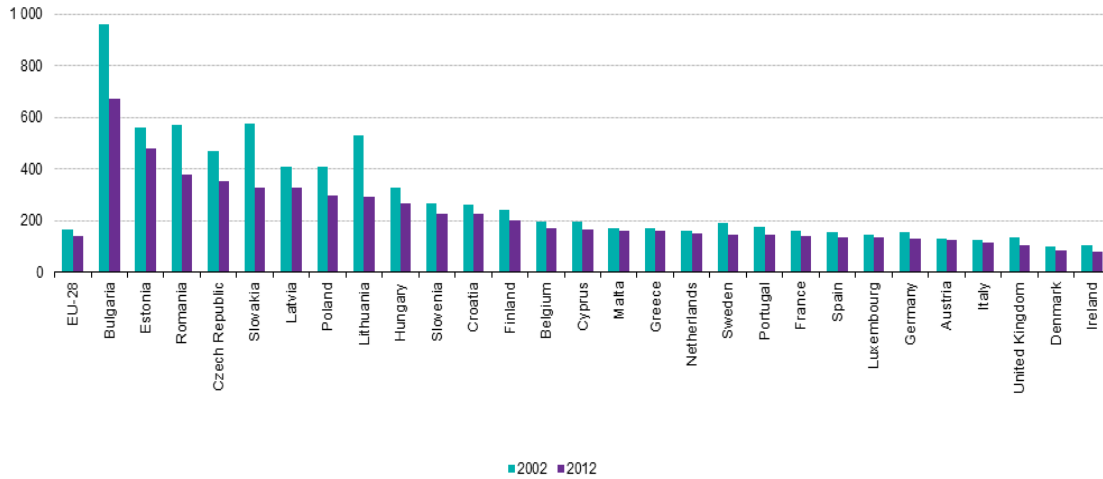


Figura 10 - Evolução do consumo de Energia Primária em Portugal (22)

O petróleo mantém um papel relevante na estrutura de abastecimento, tendo representado 45,9% do consumo total de energia primária em 2011, contra 48,7% em 2010. O gás natural que contribui para diversificar e reduzir a dependência em relação ao petróleo, apresentou uma evolução positiva no contexto energético, representando em termos de energia primária em 2011, 19,9% do total do consumo contra 19,5% em 2010. O carvão que representou em 2011, 9,9% do consumo total de energia primária, deverá ver reduzida progressivamente a sua importância na produção de eletricidade, devido ao seu impacto nas emissões de CO<sub>2</sub> (22).

A eficiência energética é determinante em todos os processos, no sector doméstico e dos serviços, na indústria e nos transportes. A intensidade energética é um indicador de eficiência energética correspondente à importância do consumo de energia final relativamente ao PIB (Produto Interno Bruto). Quanto menor for a intensidade energética, maior é a eficiência energética de uma economia. A intensidade energética é maior nos países menos desenvolvidos conforme se pode observar na Figura 11; nos países mais desenvolvidos, os processos energéticos são mais eficientes, nomeadamente devido à aplicação de técnicas e tecnologias mais adequadas.

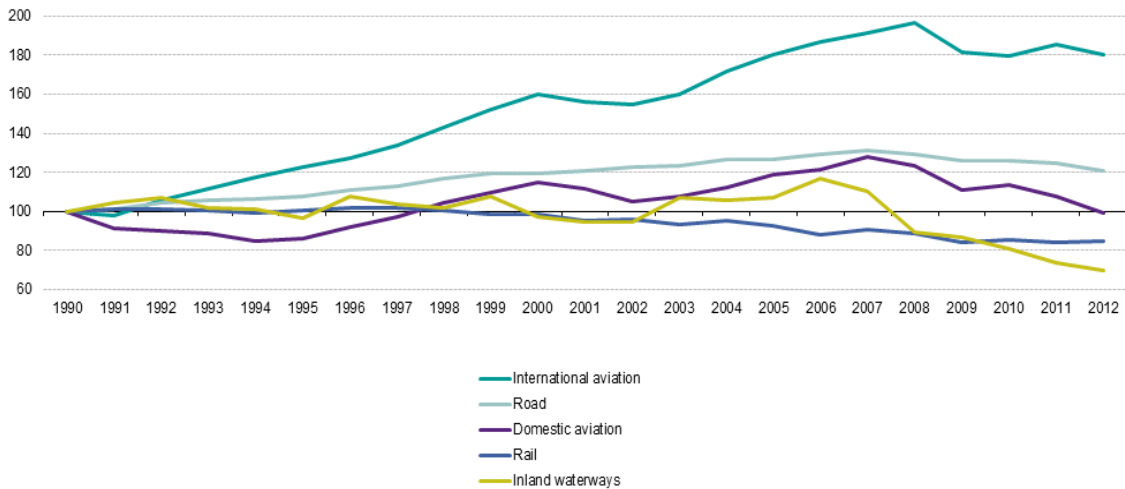
## Contribuição para a Avaliação Energética da Mobilidade Rodoviária em Portugal



Source: Eurostat (online data code: tsdec360)

**Figura 11 Intensidade energética dos países da UE27 (kgpe / 1000 € de PIB) (23)**

No caso específico do sector dos transportes, a energia consumida em função do modo de transporte registou uma queda a partir de 2008 (Figura 12), facto atribuído à crise económica no espaço europeu (23).



Source: Eurostat (online data code: nrg\_100a)

**Figura 12 - Consumo energético por modo de transporte, UE-28, 1990-2012 (1990 = 100 Tep) (23)**

### 3.1. Combustíveis fósseis

Os combustíveis fósseis apresentam como vantagem significativa a sua elevada densidade energética (Tabela 5). A sua combustão disponibiliza uma importante quantidade de energia térmica, originando igualmente impactes ambientais significativos.

Tabela 5 – Potencial energético segundo o Despacho nº 17313/2008 de 26 de Junho (24)

	(MJ/Kg)	(MJ/L)
Gasolina	44,5	34,90
Gasóleo	42,8	36,38
Gás Natural	45,1	37,9*
Carvão (antracite)	26,7	

\*a PTN

Pode estimar-se, para uma dada utilização, o correspondente consumo de energia final. Para se ter uma ideia da quantidade de energia primária realmente utilizada, é necessário ter em conta todo o processo que ocorre desde a exploração do combustível até à sua disponibilização ao consumidor final, passando pelo seu transporte, refinação e distribuição.

#### 3.1.1. Carvão, petróleo e gás natural

O carvão é uma complexa e variada mistura de componentes orgânicos sólidos, fossilizados ao longo de milhões de anos.

O petróleo é explorado desde o século XIX, sendo o combustível mais utilizado a nível global. Gera problemas de diversa ordem: i) económica, referentes ao aumento do custo de exploração; ii) ambiental, com o aumento da concentração de poluentes na atmosfera; iii) social, com o aumento de doenças, relacionadas com a poluição atmosférica.

O gás natural resulta da decomposição de sedimentos orgânicos de origem vegetal e animal, acumulados ao longo de milhões de anos em jazidas naturais subterrâneas. É destas bolsas que o gás natural convencional é extraído e transportado, sendo consumido sem sofrer qualquer processo de transformação. É o combustível fóssil de queima mais limpa, emitindo menores quantidades dióxido de carbono, bem como de óxidos de enxofre e de azoto (25).

### 3.1.2. Perdas energéticas na exploração e transporte dos combustíveis fósseis

Antes de serem disponibilizados aos consumidores finais sob a forma de energia final, os combustíveis fósseis sofrem, desde a sua extração do meio natural, uma série de transformações que envolvem perdas energéticas. No sentido da contabilização destas perdas, alguns autores introduziram o conceito de EROI, definido como sendo a relação entre a energia que se obtém de um determinado recurso energético e a energia que é necessário consumir para o obter. Este valor é indicativo se determinado combustível ou fonte energética contribui ou não para o aumento da energia líquida na Sociedade e determina em que medida isso acontece (26). A primeira parcela de energia a considerar corresponde à fase de exploração e extração e denomina-se retorno energético da energia investida - *Energy Return On Energy Investment standard* (EROEI<sub>st</sub>) ou *Energy Return On Investment standard* (EROI<sub>st</sub>). Dado que as grandes empresas que exploram o crude não divulgam os respetivos custos de exploração, para atribuir um valor ao custo energético correspondente à exploração de combustíveis fósseis, torna-se necessário recorrer a estudos realizados a tal propósito como é o caso de “*Energy Return on Investment*” por Charles A.S. Hall (26).

Existem vários conceitos associados à determinação do valor do retorno energético: i) EROI social - *Societal EROI* (EROI<sub>soc</sub>): é o EROI global do custo da energia até ser utilizada pela Sociedade em geral; pode ser obtido a partir de todos os ganhos de energia e dos custos necessários a obtê-la; este cálculo é teórico já que é difícil, senão impossível, incluir todas as variáveis necessárias à sua determinação; ii) EROI padrão - *EROI standard* (EROI<sub>st</sub>): este tipo de abordagem considera apenas a energia utilizada direta e indiretamente na exploração da energia primária, ou seja, diretamente, os custos energéticos no local de exploração e, indiretamente, os custos dos produtos utilizados nessa exploração; iii) EROI ponto de uso - *EROI point of use* (EROI<sub>pou</sub>): consiste numa forma mais abrangente que inclui os custos associados à refinação e ao transporte do combustível; como os limites da análise se expandem, o custo da energia correspondente aumenta, diminuindo dessa forma o valor do EROI; iv) EROI estendido - *extended EROI* (EROI<sub>ext</sub>): considera a energia necessária desde a exploração (energia primária) até se atingirem os vários setores da Sociedade (27).

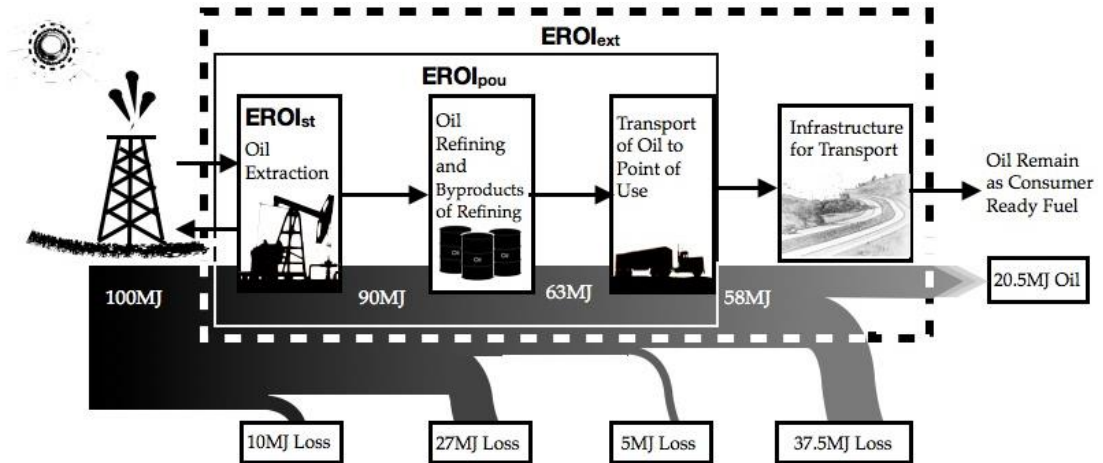


Figura 13 - Exemplo dos limites dos vários EROI (27)

No presente trabalho, utiliza-se nos cálculos o valor correspondente ao  $EROI_{st}$ , ou seja, o valor de retorno energético até chegar à refinaria; daí em diante será considerado o valor de eficiência das refinarias existentes em Portugal.

Para determinar o valor de retorno de energia ( $EROI_{st}$ ) é necessário dividir a energia resultante do processo de produção pela energia consumida nesse mesmo processo. Obtém-se o desempenho energético relativo à obtenção de determinada fonte de energia.

$$EROI_{st} = \frac{\text{Energia disponibilizada à sociedade}}{\text{Energia necessária para obter tal energia}}$$

A determinação do valor que figura no numerador da equação é normalmente simples, bastando multiplicar a quantidade de energia produzida pela energia unitária. A determinação do valor do denominador é geralmente mais difícil: a energia utilizada diretamente, ou seja, no local, por exemplo, utilizada para rodar o bit de perfuração num poço de petróleo ou a energia utilizada para escavar na mineração de carvão, entre outros (26).

O  $EROI_{st}$  para a maioria de fontes de energia de origem fóssil tem vindo a diminuir, o que indica que a depleção vai sendo mais importante que os avanços tecnológicos (26).

Em termos globais, o  $EROI_{st}$  correspondente à exploração do petróleo e do gás natural tem vindo a diminuir: era de 30:1 em 1995 e de 17:1 em 2006. O valor do  $EROI_{st}$  para o gás natural está por norma agregado ao do petróleo devido à idêntica forma de exploração e custos energéticos similares. Os valores acima indicados significam que, em 1995, uma unidade de petróleo (por exemplo, um barril) continha energia suficiente para explorar trinta unidades; já em 2006, a energia de um barril apenas permitiria explorar dezassete barris (27).

Relativamente ao petróleo registou-se na última década e meia (desde 2000), um declínio do seu valor de cerca de 50%: as novas tecnologias e métodos de exploração (plataformas petrolíferas e perfuração horizontal) embora permitam manter a produção, são insuficientes para contrariar a queda do  $EROI_{st}$  (27).

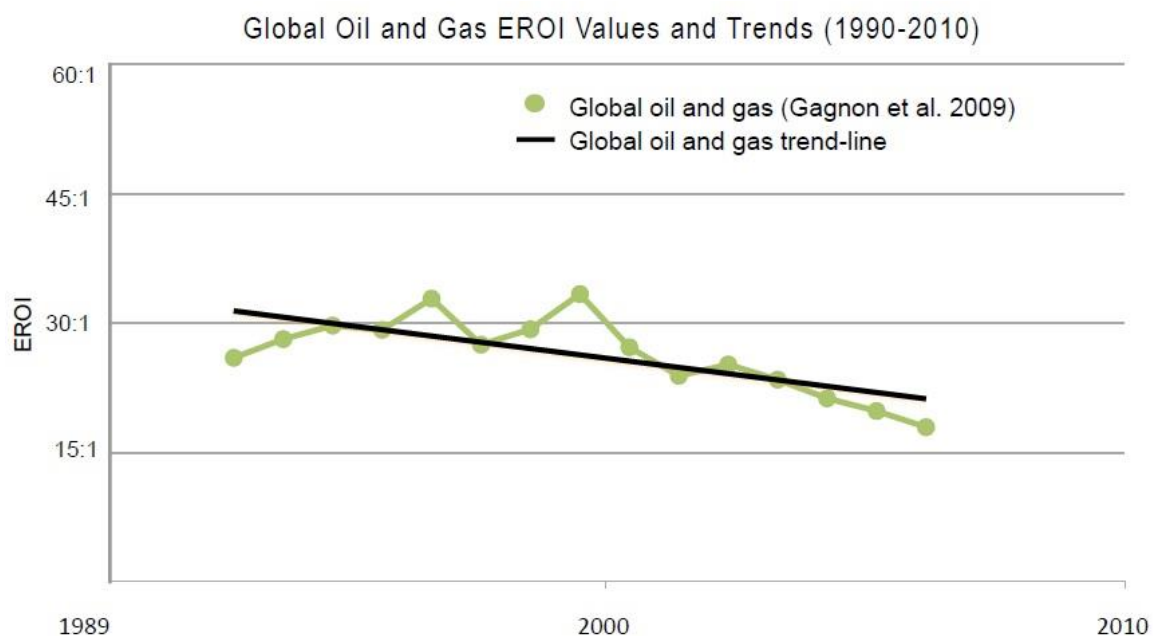


Figura 14 - Valores anuais do  $EROI_{st}$  do petróleo convencional, (27)

No caso do carvão, o panorama é um pouco diferente: no século XX, o EROI baixou de 80:1 para 30:1 até ao início dos anos 80, voltando a subir até quase atingir os mesmos 80:1 logo no início da década de 90, mantendo-se em queda desde então: em 2006, o EROI do carvão rondava os 28:1 (27).

No gráfico da Figura 15 apresentam-se as diferenças de custos energéticos entre os diversos combustíveis fósseis. Verifica-se que, mesmo sendo referente ao  $EROI_{ext}$  (custo energético desde a exploração até à entrega dessa energia à sociedade) o retorno energético do carvão, embora tenha vindo a diminuir, mantém-se muito acima dos restantes combustíveis, tornando-o muito apetecível em termos de mercado.

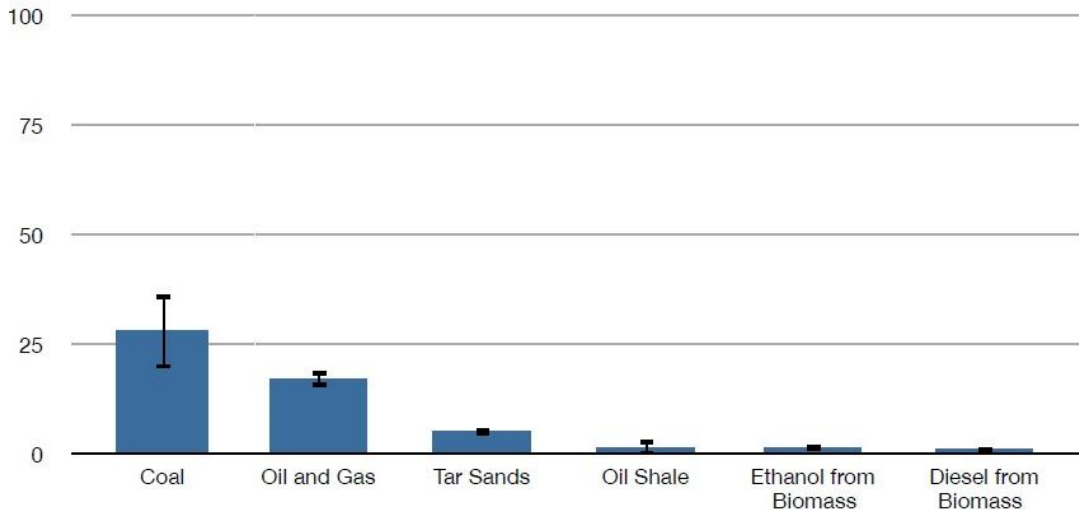


Figura 15 - Valores EROI<sub>ext</sub> de diversos combustíveis em 2006 (27)

Com base no valor do EROI<sub>st</sub> que reflete o consumo energético do processo, contabilizando as perdas ao longo do mesmo, podem calcular-se também valores de eficiência em termos percentuais, conforme figura na Tabela 6.

Tabela 6 - Conversão do EROI<sub>st</sub> em percentagem de custo energético (27)

	EROI <sub>st</sub>	Custo energético (%)	Eficiência (%)
Carvão	28	3,57	96,43
Petróleo	17	5,88	94,12
Gás Natural	17	5,88	94,12

Existem outras abordagens relativamente ao custo energético de exploração de recursos naturais de origem fóssil (28). Neste estudo, os valores não diferem muito da abordagem anterior, sendo indicados os valores relativos às fases de exploração e transporte até à refinaria (correspondentes ao EROI<sub>st</sub> no caso anterior): para o petróleo, 4,2 % de perdas na extração e transporte até à refinaria; 2,6 % para o carvão e 10 % para o gás natural.

Optou-se pelos valores do estudo anteriormente referido por se tratar de dados mais recentes.

## Carvão

O poder calorífico do carvão aumenta com o teor de carbono, conforme exposto na tabela de classificação da “*American Society for Testing and Materials*” (Tabela 7). O carvão, além de carbono contém hidrogénio, oxigénio, azoto e quantidades variáveis de enxofre sendo que, quando o teor em carbono aumenta, o teor em oxigénio e em hidrogénio, diminui e vice-versa (29).

Tabela 7 - Diferentes tipos de carvão com diferentes níveis de energia (30)

<b>Ranks of Coal</b>	<b>MJ/kg moist</b>	<b>Carbon cont. %</b>	<b>Moisture %</b>	<b>Volatile matter %</b>
<b>Lignite (brown coal)</b>	<b>14,7-19,3</b>	<b>65,0</b>	<b>50-70</b>	<b>50,0</b>
<b>Subbituminous B-C</b>	<b>19,3-24,4</b>	<b>75,0</b>	<b>25-30</b>	<b>45,0</b>
Bituminous	24-33	80,0	.5-10	35,0
Anthracite	26-38	95,0	.2-5	2,0

O carvão é o combustível fóssil mais abundante, sendo a sua extração menos exigente em termos de capital que a do petróleo ou do gás natural (31).

Segundo dados da BP, depois do petróleo, o carvão é o segundo combustível com o crescimento mais lento em termos de procura, com esta aumentando em média, 1,1% ao ano até 2035. Durante o período, o crescimento estabiliza-se em apenas 0,6% ao ano a partir de 2020. Quase todo o crescimento líquido (87%) da procura em 2035 provém da China e da Índia, cuja participação combinada no consumo mundial de carvão passará de 58% em 2012 para 64% em 2035 (32).

É, necessário utilizar o carvão de forma eficiente e sustentável nas centrais termoelétricas mediante opções tecnológicas como a combustão de carvão pulverizado em condições supercríticas o que permite atingir níveis de eficiência da ordem dos 45% (33), (31).

## **Petróleo**

O incremento da exploração do crude tem como resultado o esgotamento de muitos poços de petróleo ou o aumento dos custos da sua extração.

Em jazidas de petróleo, a elevação do crude até à superfície pode ser natural, quando o fluxo aí chega espontaneamente devido à pressão dos fluídos no interior das jazidas, ou pode ser artificial. Existem vários processos de elevação artificial, nomeadamente através do recurso a gás comprimido ou bombagem (33).

Com a diminuição das reservas de petróleo procuram-se novas formas de exploração. Assim, além da exploração convencional, também se extrai crude não convencional, como é o caso das areias betuminosas do Canadá, tipo de extração que apresenta custos acrescidos e maiores impactes ambientais.

A forma como os combustíveis são explorados pode ter impacte significativo nas emissões de gases com efeito de estufa ao longo do seu ciclo de vida. Por exemplo, a produção de gasolina a partir de areias betuminosas emite mais 18 a 49% de gases com efeito de estufa que a produção convencional na União Europeia, devido ao menor grau de pureza do recurso natural (34).

Dado que a produção de combustíveis com base em petróleo convencional tem emissões na ordem de 87,5 g CO<sub>2</sub>/MJ e a sua produção com origem nas areias betuminosas emissões da ordem de para 107g CO<sub>2</sub>/MJ (34), a Comissão Europeia alerta para que os valores de referência da emissão de CO<sub>2</sub> tenham em conta estes pressupostos porque, se assim não for, haverá distorção do mercado em prejuízo do ambiente (35).

Conforme exposto na Figura 16, a Agência Internacional de Energia estima um aumento na produção de petróleo nos países que exploram areias betuminosas como matéria-prima, como os Estados Unidos e o Canadá (10).

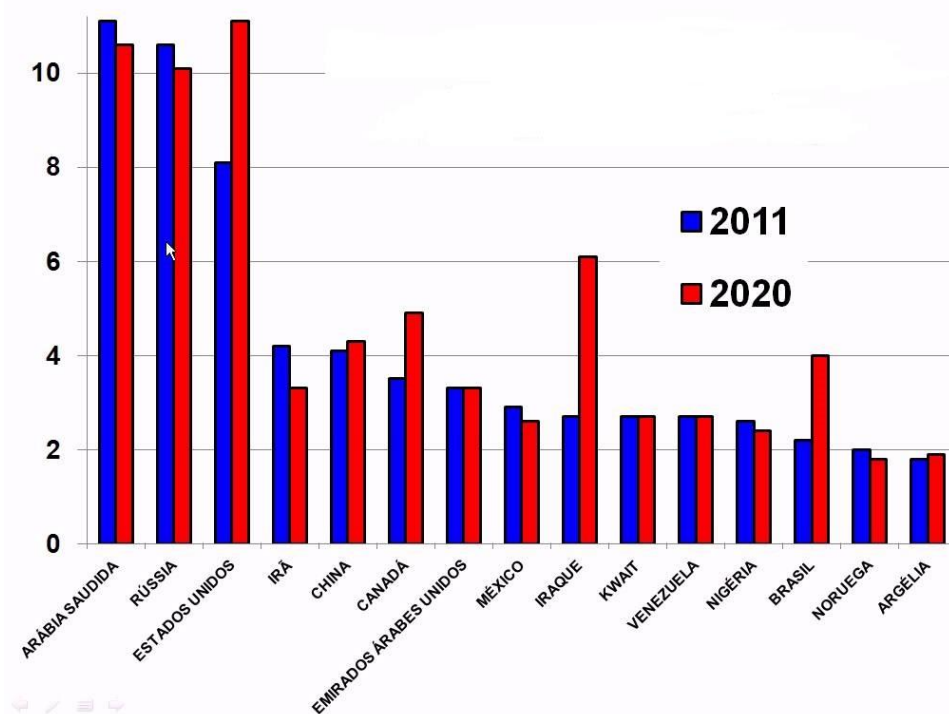


Figura 16 – Exploração previsível da produção mundial de petróleo em milhões de barris / dia (10)

Em Portugal, apenas a “GALP Energia, SA” produz gasolina e gasóleo, nas refinarias de Sines e de Matosinhos, com uma capacidade de refinação total de cerca de 330 mil barris de petróleo bruto por dia (36).

## Gás natural

O gás natural é menos denso que o ar, apresenta um teor de metano, em geral, superior a 70% e um poder calorífico entre 8000 e 10000 kcal/m<sup>3</sup>, dependendo do teor de gases pesados, sobretudo etano e propano e de inertes, nomeadamente, azoto e dióxido de carbono (25).

O transporte de gás por gasoduto expandiu-se após a Segunda Guerra Mundial, sobretudo devido aos avanços tecnológicos em metalurgia, soldadura e metalomecânica. Em consequência, as redes de transporte e de distribuição expandiram-se, com a indústria e as centrais termoelétricas a serem importantes consumidoras de gás natural (37).

Como as infraestruturas necessárias à distribuição e armazenamento do gás natural implicam avultados investimentos, não sendo adequado fomentar a concorrência através da duplicação das mesmas, as atividades de transporte e distribuição de gás natural são normalmente exercidas em regime de monopólio (37).

A utilização do gás natural em Portugal é relativamente recente, data de 1997, tendo vindo diversificar os recursos energéticos utilizados, diminuindo a dependência do petróleo

(37). Atualmente, Portugal importa gás natural da Argélia (por gasoduto) e da Nigéria (GNL) por via marítima. O gás natural proveniente da Argélia entra em território nacional na zona de Campo Maior e é transportado através de gasodutos de alta pressão da Rede Nacional de Transporte de Gás Natural (RNTGN) que se ligam, através de estações de medição e de redução de pressão, aos gasodutos de média pressão operados pelas empresas de distribuição (Figura 17) (38). Nas instalações de armazenamento subterrâneo, no concelho de Pombal (Carriço), o gás em alta pressão é armazenado sob a forma gasosa em cavidades preparadas no interior de um maciço salino, a profundidades superiores a mil metros (38). O gás natural importado por via marítima chega ao terminal de Sines onde é rececionado sob a forma de Gás Natural Liquefeito (GNL). Após o descarregamento dos navios metaneiros, o GNL é enviado para tanques de armazenamento intermédio até que seja posteriormente regaseificado. No final deste processo, o gás natural (já sob a forma gasosa) é comprimido e injetado na rede de alta pressão. (38).

Em Portugal, é a “GALP Energia, SA” que opera a atividade regulada de armazenamento subterrâneo de gás natural. Tem atualmente uma capacidade de armazenamento de 40 milhões de m<sup>3</sup>. Dada a sua importância para a segurança energética do país, por se tratar de uma reserva de energia, as cavernas de armazenamento subterrâneo de gás natural são operadas em regime de concessão de regime público. No final de 2013, com a conclusão de mais uma caverna, a capacidade de armazenamento de gás natural em Portugal passou para cerca de 130 milhões de m<sup>3</sup> (39).

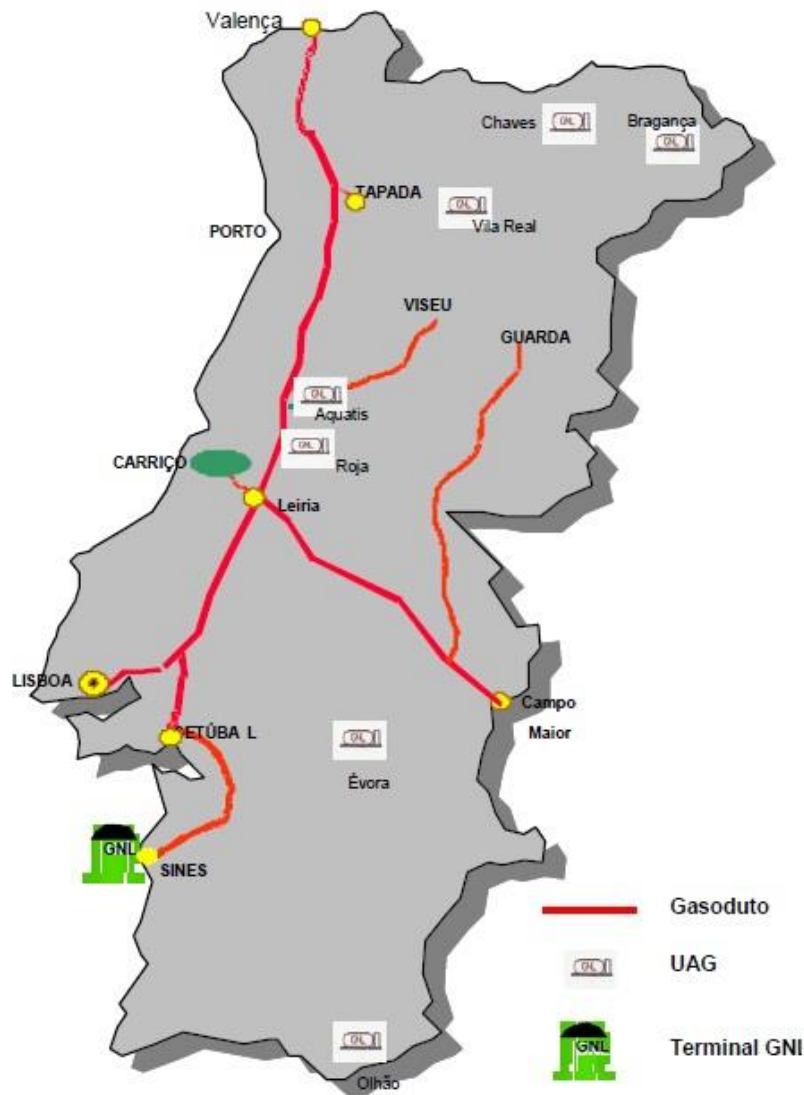


Figura 17 - Rede Nacional de Gás Natural (37)

### 3.1.3. Perdas energéticas associadas à obtenção da gasolina e do gasóleo

O processo de refinação do petróleo bruto consiste na separação dos diversos hidrocarbonetos que o compõem. É um processo de separação que assenta nos diferentes pesos, volatilidades e temperaturas de ebulição dos hidrocarbonetos que constituem o crude, para os separar, dando origem a produtos intermédios e a produtos finais (36). Da refinação do crude resultam vários produtos, como gases de petróleo liquefeito (GPL), gasolina, gasóleo, querosene e alcatrão, entre outros (Figura 18).

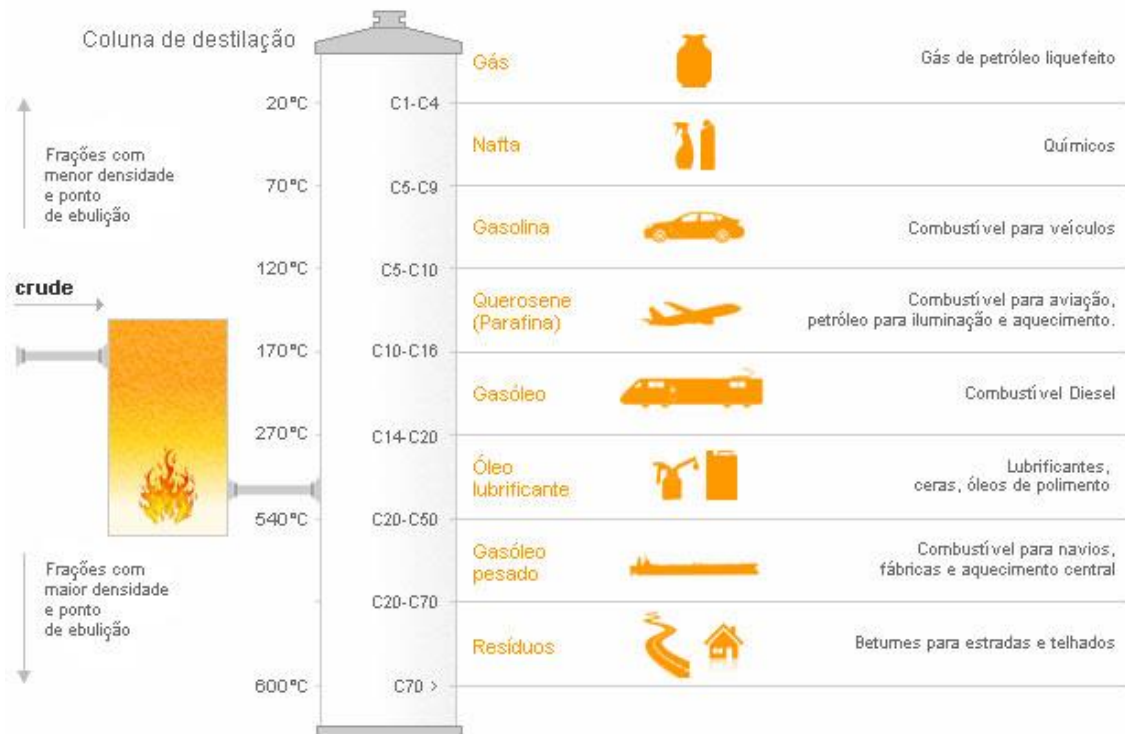


Figura 18 - Esquema de coluna de destilação, com a indicação dos elementos separados às diversas temperaturas (36)

O processo tem início com o aquecimento do petróleo bruto. Os vapores que se libertam sobem pela coluna de fracionamento (Figura 18), ocorrendo a separação dos diversos constituintes. A coluna está equipada com diversos compartimentos a diferentes alturas, fazendo com que componentes mais voláteis e com menores pontos de ebulição subam ao topo dessa coluna, enquanto nas camadas mais baixas ficam os componentes com ponto de ebulição mais elevado. Esta técnica de separação física das frações é o ponto de partida para o processo de refinação do petróleo, sendo também designada por destilação fracionada (36).

Em Portugal, com o objetivo de maximizar a sua eficiência, as refinarias da “GALP Energia, SA” são geridas de forma integrada, como se de uma única unidade se tratasse. As características de cada uma delas permitem um mix de produção equilibrado com predomínio dos destilados médios, como o gasóleo e a gasolina (36). Com vista a otimizar a utilização da capacidade instalada, iniciou-se em 2008 o processo de reconversão tecnológica das refinarias. Teve como objetivo ajustar o perfil de produção às necessidades do mercado ibérico, onde atualmente existe um défice de gasóleo, maximizando a produção de *diesel* em detrimento da produção de fuelóleo (40).

Em 2012, concluído o processo de reconversão, deu-se o arranque das refinarias com maior produção de gasóleo cujo valor no mercado é superior (39). Conforme se pode observar na Figura 19, o gasóleo, corresponde a 33% da produção.

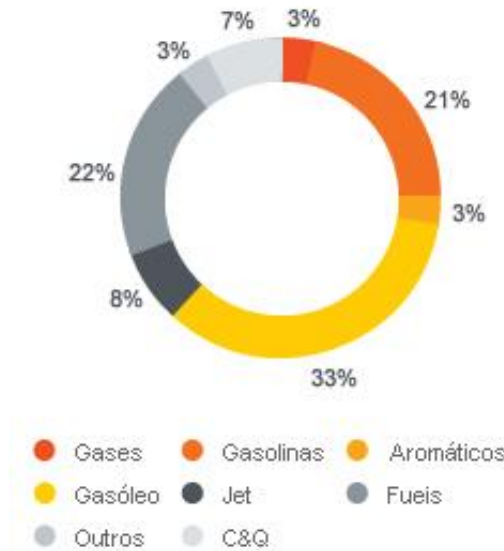


Figura 19 - Produtos finais da refinação do petróleo bruto em refinarias da GALP (36)

Após a reconversão das refinarias, o rendimento energético do processo espectável era da ordem de 87% (Figura 20), (40). Tal significa que 13% da energia da matéria-prima inicial é consumida no processo de refinação dos combustíveis.

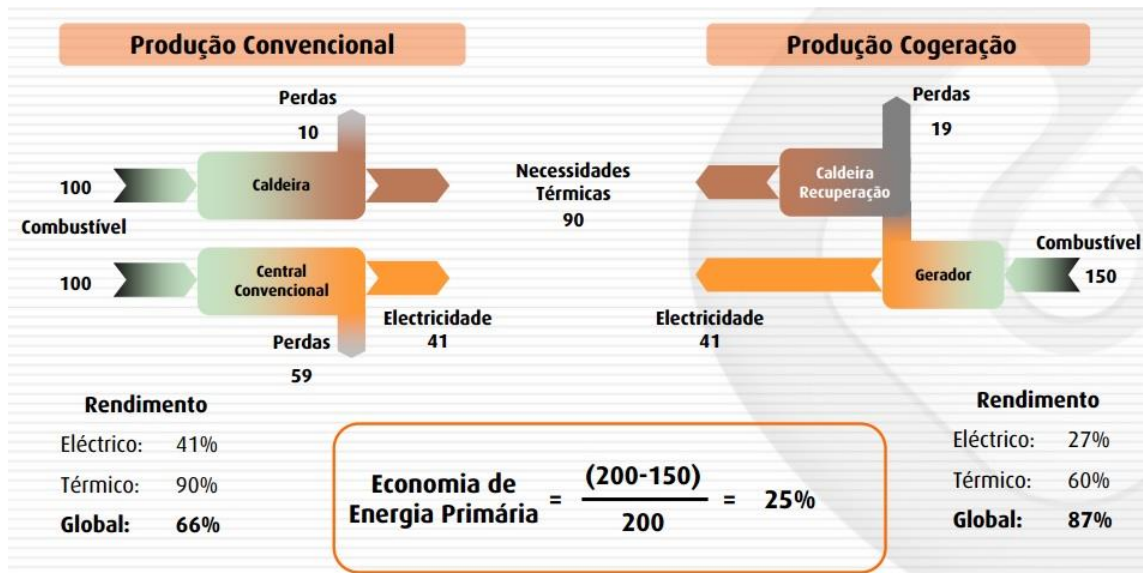


Figura 20 - Esquema exemplificativo da eficiência do aparelho refinador após reconversão das refinarias nacionais (41)

Assim, para a gasolina e para o gasóleo, o processo de refinação envolve perdas energéticas de cerca de 13% que acrescem aos 5,88% de perdas de energia na exploração e transporte do crude. A correspondente perda energética global é de 18,12% da energia da matéria-prima inicial, valor que será considerado posteriormente no presente trabalho.

Tabela 8 – Necessidades energéticas associadas à produção de gasóleo e gasolina (conforme Tabela 5)

	Energia final kWh/L	Energia primária kWh/L
Gasolina	8,87	10,83
Gasóleo	9,82	11,99

### 3.2. Eletricidade

A eficiência energética é relevante na produção e consumo de eletricidade, no sentido da sustentabilidade energética e ambiental. É importante aproveitar o potencial das energias renováveis que em Portugal é assinalável, com destaque para a energia solar, eólica, hídrica e da biomassa, reduzindo a dependência dos combustíveis fósseis na produção de eletricidade (42).

No transporte da eletricidade, desde a produção, até ao consumidor final, existem perdas, devido à resistência interna dos cabos que fazem parte da rede, e também nos transformadores de abaixamento de tensão (Tabela 9), que em 2012 foram da ordem dos 1,56%. Estas perdas, independentes do modo de produção, não serão consideradas neste trabalho, tal como acontece com as perdas energéticas associadas ao transporte dos combustíveis líquidos entre as refinarias e os postos de abastecimento.

Tabela 9 - Indicadores técnicos de eletricidade de 2008 a 2012 (43)

	08'	09'	10'	11'	12'
Consumo, Twh	50,6	49,9	52,2	50,5	49,1
Variação anual do consumo de eletricidade, %	1,1	-1,4	4,6	-3,3	-2,9
Potência instalada, MW	14.844	16.634	17.895	18.894	18.532
Energia transportada na RNT, Twh	42,8	42,5	42,6	42,2	41,0
Perdas no transporte de energia, %	1,33%	1,37%	1,83%	1,54%	1,56%
Tempo de interrupção equivalente, minutos	1,29	0,42	1,15	0,27	0,00

A eficiência energética associada à produção de eletricidade depende do processo utilizado. Assim, é necessário conhecer o mix energético na sua origem e também a eficiência

de cada um dos modos na produção de eletricidade em Portugal. A eletricidade produzida por via térmica baseia-se no consumo de carvão e de gás natural.

A potência instalada em Portugal tem vindo a aumentar, como se pode verificar na Figura 21.

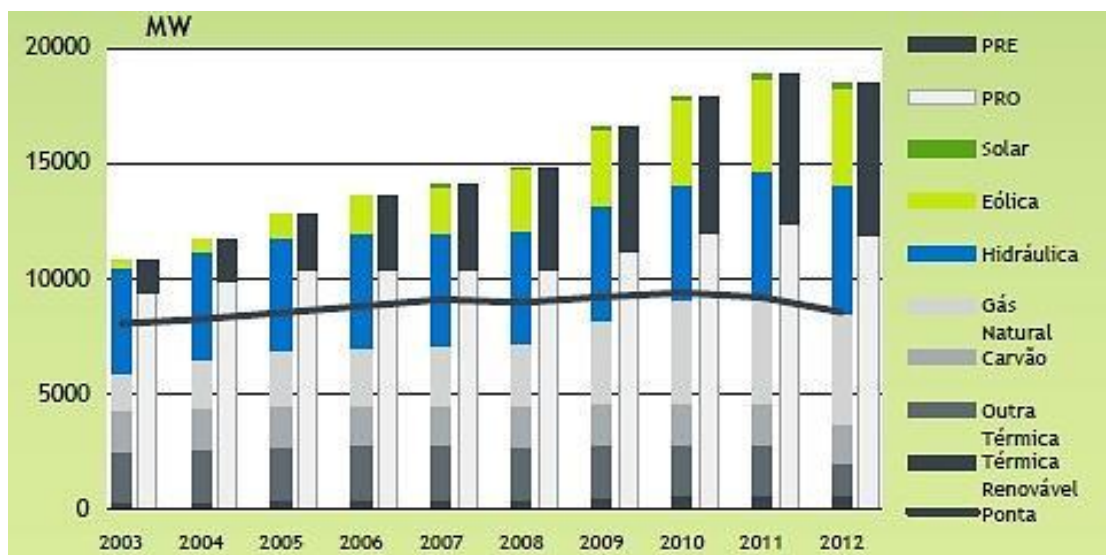


Figura 21 - Evolução da potência instalada entre 2003 e 2012 (REN)

A legislação portuguesa prevê dois regimes na produção de eletricidade:

1. Produção em regime ordinário (PRO), relativa à produção de eletricidade a partir de fontes térmicas não renováveis e em grandes aproveitamentos hidroelétricos.
2. Produção em regime especial (PRE), relativa à produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis e endógenas, como é o caso da cogeração, eólica e solar.

Entre 2003 e 2012, verificou-se um aumento de potência instalada em equipamentos de produção eólica e em centrais termoelétricas a gás natural, sendo também notório o aumento da parcela correspondente a outros produtores em regime especial.

### 3.2.1. Produção de eletricidade em centrais termoelétricas

Em Portugal a central termoelétrica de Sines é a central a carvão com maior produção, com uma potência instalada de 1192 MW, um rendimento do gerador de vapor de 87% e um rendimento global elétrico de 45%. É constituída por quatro grupos geradores idênticos, independentes entre si, com potência elétrica unitária de 314 MW (Figura 22). A produção de

vapor é assegurada por caldeiras que produzem vapor sobreaquecido à pressão de 167 bar e à temperatura de 535°C, reaquecido à mesma temperatura e à pressão de 44 bar, com um caudal de vaporização de 950 t/h (44). O abastecimento de carvão é efetuado a partir de navios no cais mineraleiro do Porto de Sines. O transporte até ao parque de carvão é efetuado por telas transportadoras cobertas e de torres transferência (45).

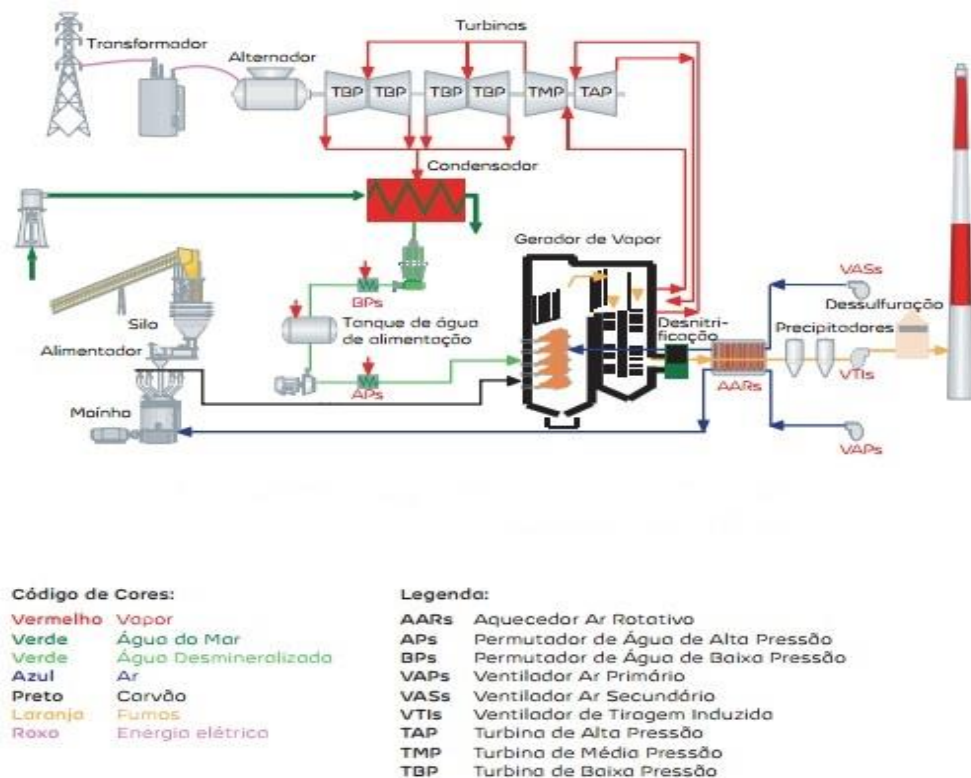


Figura 22 - Esquema simplificado de um grupo da central de Sines (45)

O recurso ao gás natural na geração de eletricidade representou um passo fundamental na diversificação das fontes de aprovisionamento energético primário, melhorando o desempenho ambiental setorial, dada a sua menor carga poluente. Em Portugal, a maior central termoelétrica a gás natural é a central Ribatejo situada a cerca de 30 quilómetros a norte de Lisboa, com uma potência instalada de 1176 MW, com a entrada em serviço industrial do primeiro grupo em fevereiro de 2004. Utiliza a tecnologia de ciclo combinado a qual assenta na conjugação do funcionamento de uma turbina de gás e de uma turbina a vapor acopladas a um alternador, sendo a turbina de gás responsável por dois terços da potência total e a turbina a vapor pela restante potência (Figura 23), (46). O alternador efetua a transformação da energia mecânica em energia elétrica, sendo a eficiência global desta central termoelétrica da ordem dos 57% (46).

Os valores dos rendimentos destas duas centrais termoelétricas: 45% para o carvão e 57% para o gás natural, serão utilizados em cálculos posteriores no presente trabalho.

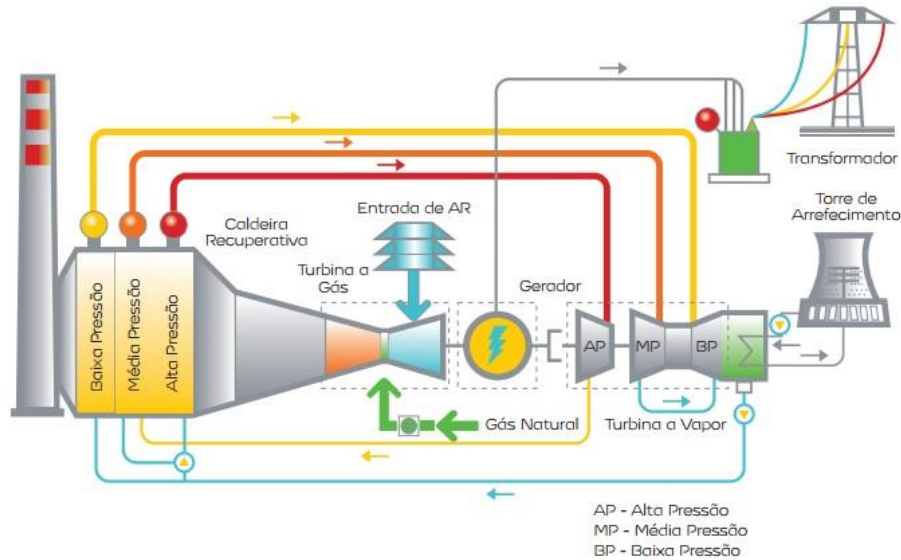


Figura 23 - Esquema simplificado de um grupo de central de gás natural (46)

### 3.2.2. Produção de eletricidade através de fontes energéticas renováveis

No caso do recurso a fontes energéticas renováveis na produção de eletricidade, considera-se que o aproveitamento energético é total, ou seja, que a energia delas proveniente não tem qualquer custo ou perda de energia associado (47). Refira-se que, na contabilização dos custos energéticos, apenas se consideram fatores relacionados com a transformação de energia, não se contabilizando nem a construção de edifícios nem produção e montagem de equipamentos necessários a essa transformação nem, conforme atrás referido, o transporte da energia até ao consumidor.

Em 2012, o mix elétrico nacional teve a configuração que se pode observar na Figura 24, com a energia de origem renovável a representar cerca de 37% do total (menos 9% que no ano antecedente, sobretudo devido a diferentes condições climáticas (48).

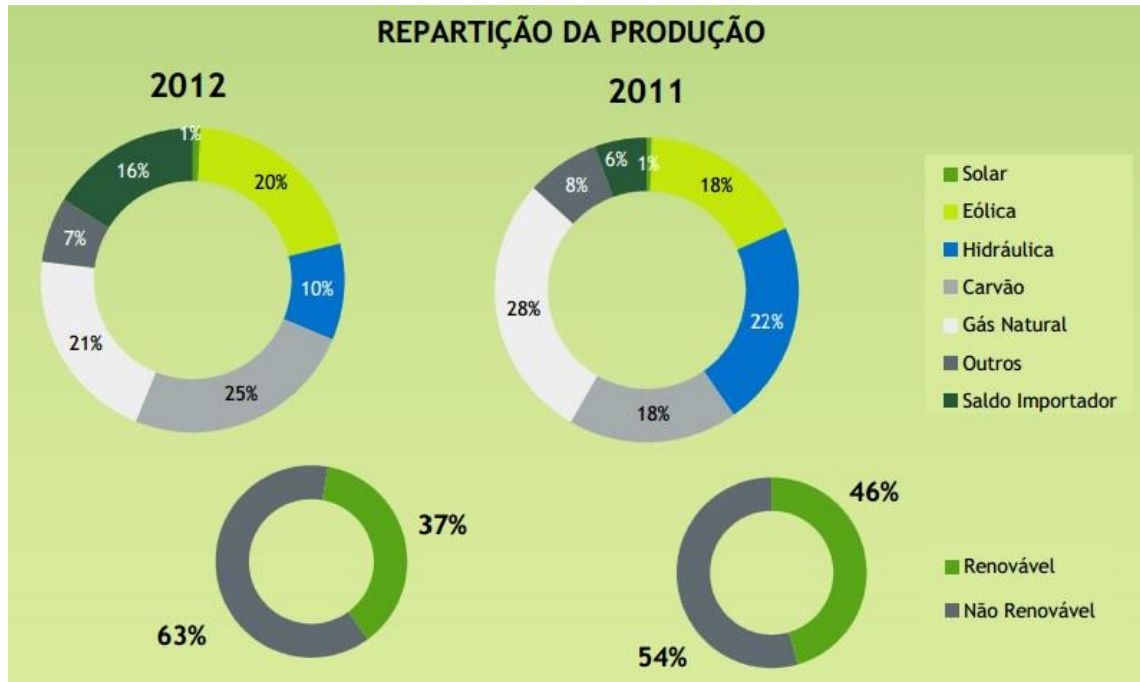


Figura 24 - Origem da energia elétrica produzida em 2011 e 2012 (49)

O principal problema associado a este tipo de energia resulta da sua intermitência. Esta impõe uma dependência em permanência de energias não renováveis que têm que responder muito rapidamente a qualquer quebra nas condições atuais de produção de energia. Por exemplo, a possibilidade da paragem de geradores eólicos devido à ausência súbita de vento, impõe a necessidade de uma reserva energética disponível. Assim, para colmatar períodos em que o consumo aumentasse bruscamente (menos provável) em que as energias renováveis não conseguem um tempo de resposta satisfatória ou em que, devido às condições climáticas deixasse de ocorrer a produção de eletricidade (mais provável), a dependência dos combustíveis fósseis na produção de energia elétrica mantém-se. Por outro lado, uma central termoelétrica não arranca nem para rapidamente, podendo levar horas ou dias a atingir condições nominais. Assim, tem que estar em funcionamento permanente, se bem que em condições mínimas para poder responder eficazmente a eventuais oscilações nas necessidades da rede elétrica. Pelo exposto, as centrais termoelétricas mesmo quando não introduzem eletricidade na rede representam custos económicos significativos.

A sazonalidade tem muita interferência na produção de eletricidade por parte das fontes renováveis, conforme se pode observar na Figura 25.

Contribuição para a Avaliação Energética da Mobilidade Rodoviária em Portugal

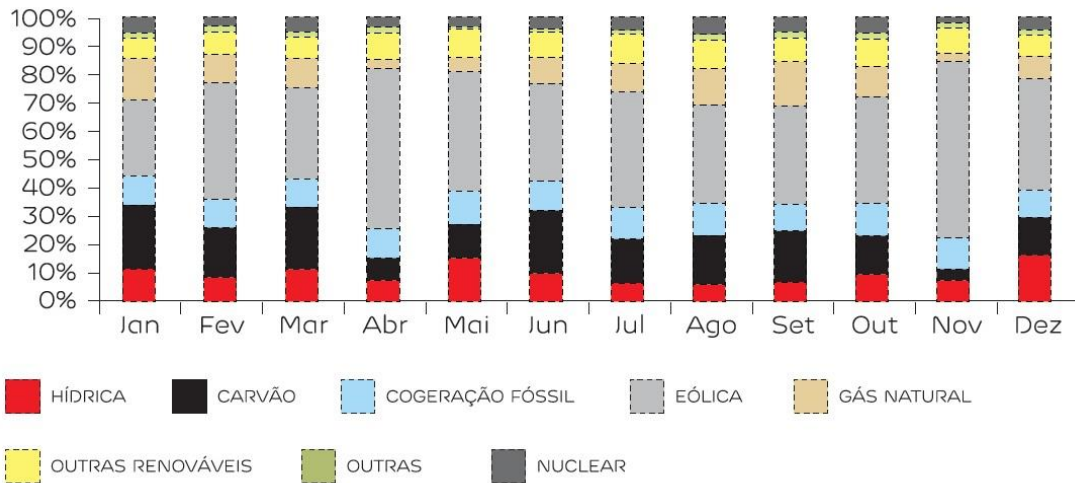


Figura 25 - Evolução mensal da energia consumida por tecnologia em 2012 (44)

O aumento de potência instalada em produção de energias renováveis conduz a um menor custo energético e económico na produção de eletricidade. Pode observar-se na Figura 26 a importância crescente da fração renovável no mix elétrico.

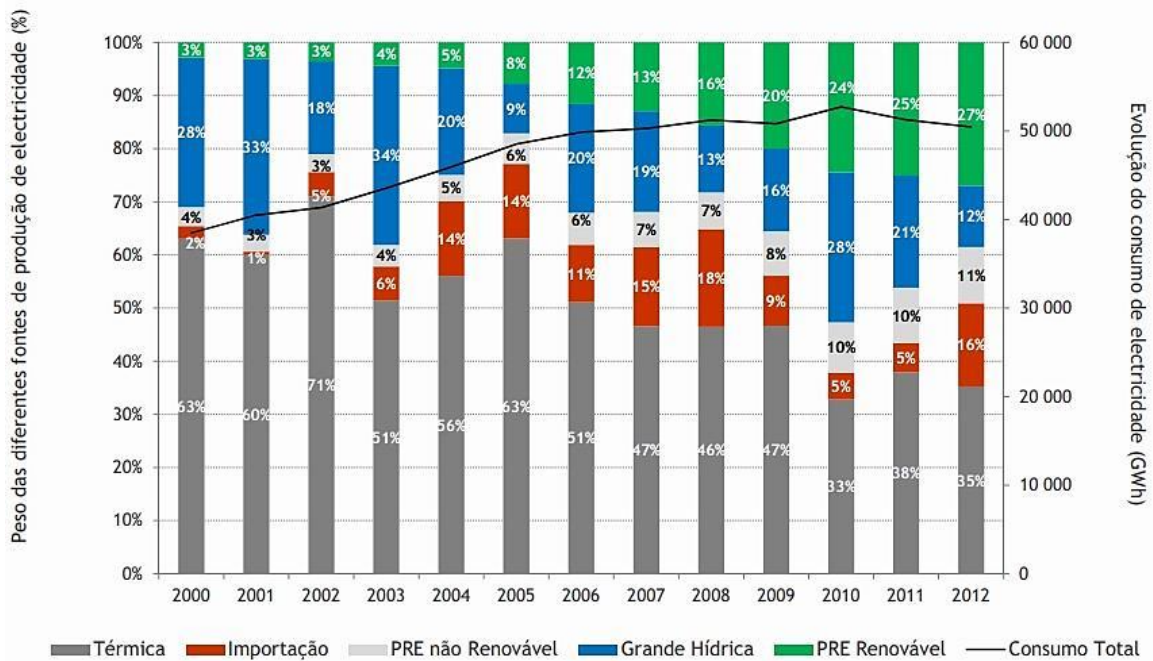


Figura 26 - Evolução do consumo de eletricidade e o peso das diferentes fontes de produção de energia elétrica de 2000 a 2012 (49)

O saldo importador corresponde essencialmente a eletricidade proveniente de Espanha que, em 2012, representou 16% do consumo (no ano anterior tinha sido de 5%). Tal diferença justifica-se pelo período de seca ocorrido no início de 2012 que reduziu em 46% a produção

das centrais hidroelétricas. O acréscimo da energia importada corresponde praticamente ao decréscimo de tal produção (50).

### 3.2.3. Eletricidade importada

Em 2012, Portugal importou eletricidade de Espanha. Neste ano, o mix elétrico espanhol incluiu cerca de 21% de eletricidade de origem nuclear, conforme se pode observar pela Figura 27. Assim, se bem que indiretamente, a eletricidade de origem nuclear também está incluída no mix energético de produção de eletricidade de Portugal. Considerando os processos anteriores à obtenção de eletricidade, nomeadamente: mineração, conversão, enriquecimento, processamento subsequente, construção da central nuclear, operação e tratamento de resíduos, é considerada uma eficiência de 98.65 % para a obtenção da eletricidade de origem nuclear importada de Espanha (51).

Mix eléctrico España 2012:

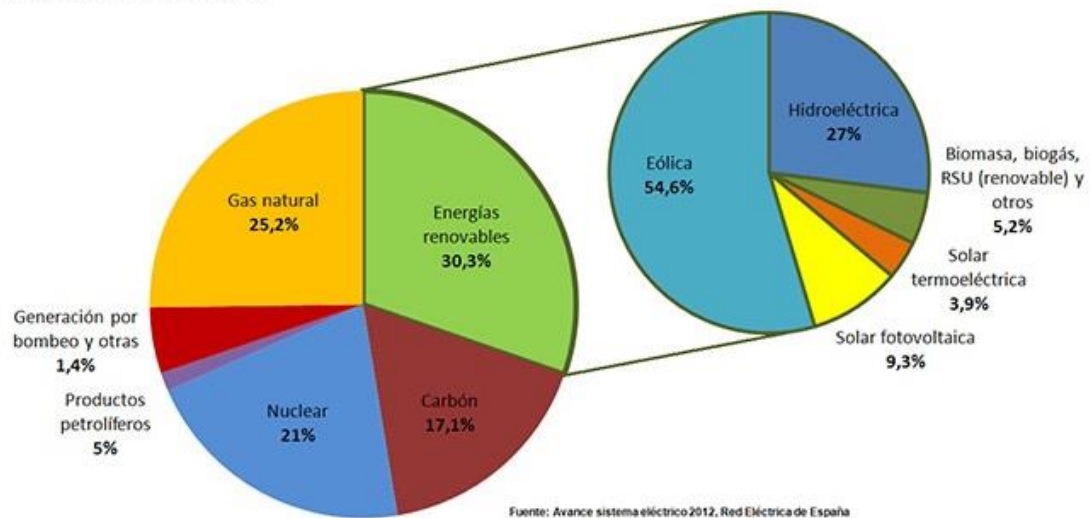


Figura 27 - Mix energético de Espanha 2012 (52)

Com os valores indicados pode estimar-se a eficiência da parcela da eletricidade importada, conforme se pode verificar na tabela seguinte.

**Tabela 10 - Energia dispendida na produção de energia elétrica em Espanha no ano de 2012 por combustível e total**

	Carvão	GN	Renováveis	Nuclear	Total (Mix)
Perdas energéticas de exploração %	3,57	5,88	100	n.c.	
Perdas energéticas de conversão %	55	43	100	n.c.	
Perdas energéticas globais %	56,61	46,35	0	1,35	
Rendimento global por recurso energético %	43,39	53,65	100	98,65	
Repartição do recurso energético no mix (Energia Final) %	17,1	31,6	30,3	21	100,0
Energia Primária (kWh) por kWh de Energia Final Total	0,3933	0,5890	0,3030	0,2142	1,4995

n.c. não contemplado

Na eletricidade importada de Espanha em 2012, 1 kWh de Energia Final corresponde a cerca de 1,50 kWh de Energia Primária. A eficiência global na produção de eletricidade foi de 66,67%.

## 4. Produção de eletricidade em Portugal

Atualmente, em Portugal Continental, a eletricidade é produzida com recurso a diferentes tecnologias e fontes primárias de energia (carvão, gás natural, fuel, gasóleo, água, vento, sol, biomassa, resíduos). A potência instalada tem aumentado significativamente, uma vez que, além das centrais térmicas e hídricas de grande dimensão, têm surgido muitas outras, de menor potência, no âmbito da cogeração ou da produção de origem renovável (53).

Em 2013, quase 6,1 milhões de consumidores (a maior parte em Baixa Tensão, 23500 em Média Tensão e cerca de 350 em Alta e Muito Alta Tensão) consumiram mais de 49 000 de GWh de energia elétrica (53).

Devido à complexidade do sistema, é importante verificar como este responde à oscilação da disponibilidade das energias renováveis. Assim sendo, foram trabalhados dados referentes ao mix energético na produção de eletricidade em termos gerais e também especificamente à fração referente à energia térmica correspondente ao carvão e ao gás natural (54). A REN disponibilizou dados relativos ao período entre 01/01/2013 e 01/04/2014. Obteve-se para cada dia, a repartição percentual dos diversos tipos de energia utilizados no mix relativo à produção elétrica de Portugal (Figura 28).

			%	%	%	%	%	%	%	%	gWh	gWh	gWh					
			Termica C.F.	Carvão	G.N.	Térmica coge.	Hidraulica	Eolica	Foto	Importada	Carvão	G.N.	Cogeração			Carvão	G.N.	
3	terça-feira	01-01-2013	19,95	0,00	19,95	16,58	28,99	19,00	0,43	15,11	86	0,00	23,40	19,2	85,8806	1,14	0%	100%
4	quarta-feira	02-01-2013	25,12	0,00	25,12	15,98	29,82	19,95	0,54	8,60	0,00	37,60	23,8	85,221	1,15	0%	100%	
5	quinta-feira	03-01-2013	29,53	25,37	4,17	13,84	20,53	34,73	0,60	0,78	38,13	6,26	23,2	85,305	1,15	86%	14%	
6	sexta-feira	04-01-2013	34,80	25,49	9,32	14,69	24,40	23,58	0,63	1,89	40,23	14,71	23,3	82,402	1,18	73%	27%	
7	sábado	05-01-2013	41,31	31,18	10,13	15,19	26,50	4,56	0,68	11,77	41,12	13,36	20	76,3764	1,24	75%	25%	
8	domingo	06-01-2013	42,76	31,95	10,81	14,41	26,50	3,78	0,39	12,17	41,57	14,06	18,7	75,5489	1,24	75%	25%	
9	segunda-feira	07-01-2013	44,63	28,73	15,91	15,73	22,98	1,58	0,39	14,68	42,07	23,30	23,9	73,9083	1,26	64%	36%	
10	terça-feira	08-01-2013	42,71	26,60	16,11	14,83	29,78	6,27	0,38	6,02	41,96	25,41	23,4	77,3401	1,23	62%	38%	
11	quarta-feira	09-01-2013	37,29	28,77	8,52	14,47	21,65	18,74	0,19	7,67	40,79	12,08	23,4	79,5328	1,20	77%	23%	
12	quinta-feira	10-01-2013	41,63	27,29	14,34	14,35	23,68	10,62	0,39	9,33	37,38	19,64	22,3	76,9189	1,23	66%	34%	
13	sexta-feira	11-01-2013	43,64	29,42	14,22	14,85	23,84	9,58	0,32	7,78	41,00	19,82	23,1	76,3819	1,24	67%	33%	
14	sábado	12-01-2013	27,91	27,85	0,06	13,53	15,01	37,98	0,35	5,21	38,48	0,08	6,3	84,8263	1,15	100%	0%	
15	domingo	13-01-2013	27,90	27,57	0,33	13,48	14,64	40,94	0,43	2,61	38,19	0,46	18,6	85,5797	1,14	99%	1%	
16	segunda-feira	14-01-2013	28,35	20,85	7,50	15,37	21,31	30,01	0,55	4,41	32,08	11,54	25,1	84,8396	1,15	74%	26%	
17	terça-feira	15-01-2013	31,56	23,50	8,06	15,15	17,38	31,14	0,30	4,47	38,97	13,36	25,1	83,2502	1,17	74%	26%	
18	quarta-feira	16-01-2013	23,57	23,12	0,45	15,08	14,31	44,06	0,12	2,85	39,14	0,76	25,4	87,6289	1,12	98%	2%	
19	quinta-feira	17-01-2013	30,20	21,61	8,59	14,68	19,20	30,56	0,18	5,17	34,68	13,78	24,7	83,7139	1,16	72%	28%	
20	sexta-feira	18-01-2013	18,47	18,47	0,00	13,57	19,65	48,03	0,11	0,17	32,98	0,00	24,1	90,9019	1,09	100%	0%	
21	sábado	19-01-2013	9,06	6,80	2,26	12,69	34,95	43,11	0,19	0,00	6,01	1,99	19,6	95,5599	1,04	75%	25%	
22	domingo	20-01-2013	5,04	4,24	0,80	12,85	38,81	42,06	0,14	1,10	6,38	1,20	18,6	97,212	1,03	84%	16%	
23	segunda-feira	21-01-2013	19,21	18,35	0,86	13,55	38,77	27,81	0,54	0,12	22,97	1,07	22,5	90,5548	1,09	96%	4%	
24	terça-feira	22-01-2013	5,23	4,85	0,38	12,19	43,07	39,18	0,28	0,06	4,92	0,38	21,9	97,4208	1,03	93%	7%	
25	quarta-feira	23-01-2013	6,70	5,93	0,77	13,07	49,61	30,11	0,39	0,11	10,71	1,39	23,4	96,683	1,03	89%	11%	
26	quinta-feira	24-01-2013	17,42	15,44	1,98	13,36	44,42	24,63	0,17	0,00	27,52	3,54	23,7	91,4651	1,09	89%	11%	
27	sexta-feira	25-01-2013	20,94	18,35	2,59	13,71	47,02	17,52	0,12	0,69	31,82	4,49	23,7	89,5414	1,10	88%	12%	
28	sábado	26-01-2013	19,11	18,16	0,95	14,06	46,43	17,83	0,27	2,29	27,12	1,43	20,9	89,9775	1,10	95%	5%	
29	domingo	27-01-2013	14,37	14,37	0,00	11,65	38,59	35,14	0,18	0,06	24,00	0,00	19,3	92,9404	1,07	100%	0%	
30	segunda-feira	28-01-2013	23,01	18,32	4,69	15,61	42,01	12,92	0,63	5,83	29,32	7,51	24,9	87,0491	1,13	80%	20%	
31	terça-feira	29-01-2013	26,21	24,26	1,95	15,70	43,62	12,40	0,73	1,34	39,85	3,20	25,7	86,7724	1,13	93%	7%	
32	quarta-feira	30-01-2013	24,55	15,04	9,51	16,39	39,23	15,35	0,68	3,81	9,86	5,23	26,7	86,8738	1,13	65%	35%	

Figura 28 - Tratamento dos dados obtidos no sítio da REN (54)

Pretende-se, com estes dados, verificar qual o grau de correspondência entre o mix energético de um dado dia com o de dia anterior, particularmente com o dia que o antecede. Consegue, desta forma, ter-se uma ideia da previsibilidade das variações de consumo e também das oscilações da disponibilidade das energias renováveis de um dia para o dia seguinte, ou então verificar a correspondência entre dias similares da semana, como por exemplo, entre um sábado e o sábado anterior. Fica a conhecer-se qual a melhor correlação entre os diversos dados, permitindo a escolha do dia anterior mais indicado para caracterizar o dia presente.

Partindo do princípio que as condições climáticas não se alteram muito em dois dias consecutivos (à exceção do vento com as implicações já referidas), fez-se a análise da situação verificada em dois dias consecutivos, procurando avaliar da consistência de considerar que o mix energético do dia em que se pretende disponibilizar valores pode ser, em primeira análise, considerado idêntico ao do dia precedente (do qual já se possuem dados relativos à situação efetivamente verificada).

Por outro lado, considerando a variação semanal dos consumos e, conseqüentemente, da resposta por parte do gestor da rede e do sistema electroprodutor, existirão condições diferentes aos dias úteis, aos sábados e aos domingos (situação similar aos feriados a qual será contudo, pela sua reduzida importância, desprezada na presente fase do estudo), as quais foram igualmente analisadas.

Tendo em conta o exposto, com base nos dados disponibilizados pela Rede Elétrica Nacional relativos ao período entre Janeiro de 2013 e Março de 2014, foi analisada a situação de diversas fontes energéticas, em particular das mais susceptíveis de variação – eólica e térmica de origem fóssil, tendo sido consideradas as seguintes possibilidades para cada uma delas:

- a) Entre sábado e a sexta-feira que o antecede,
- b) Entre sábado e o sábado que o antecede,
- c) Entre domingo e o sábado que o antecede,
- d) Entre domingo e o domingo que o antecede,
- e) Entre segunda-feira e o domingo que a antecede,
- f) Entre segunda-feira e a sexta-feira que a antecede,
- g) Entre um dia útil e o dia útil que o antecede (segunda-feira não considerada)
- h) Entre um dia e o dia que o antecede (todos os dias da semana).

Na posse destes dados, é também possível conhecer a evolução diária do contributo de cada fonte energética e, como o sistema reage perante os condicionalismos da rede, conforme se pode verificar nos seguintes gráficos referentes à evolução da parcela de combustíveis na produção de eletricidade em diferentes épocas do ano e também à disponibilidade das energias renováveis que igualmente se altera com as condições climatéricas.

Na Figura 29, compara-se o valor percentual da utilização de combustíveis fósseis nos meses de Janeiro e de Agosto de 2013. Verifica-se que em Janeiro, mês mais propício a melhores condições para a utilização de energias renováveis, nomeadamente a hídrica e a eólica, existem mais oscilações que no mês de Agosto.

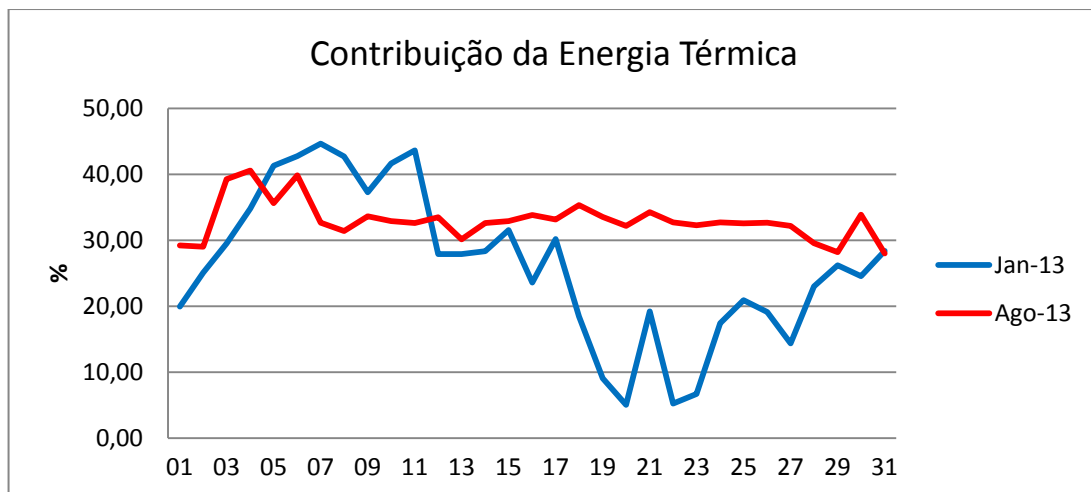


Figura 29 – Gráfico referente à produção de eletricidade a partir de energia térmica (combustíveis fósseis) nos meses de Janeiro e Agosto de 2013 (54)

Conforme se pode observar na Figura 30, existe, ao longo do mês de Janeiro, uma elevada intermitência da energia eólica. A energia eólica interage significativamente com a produção termoelétrica (o aumento da primeira permite a diminuição da segunda e o aumento da segunda decorre da diminuição da primeira).

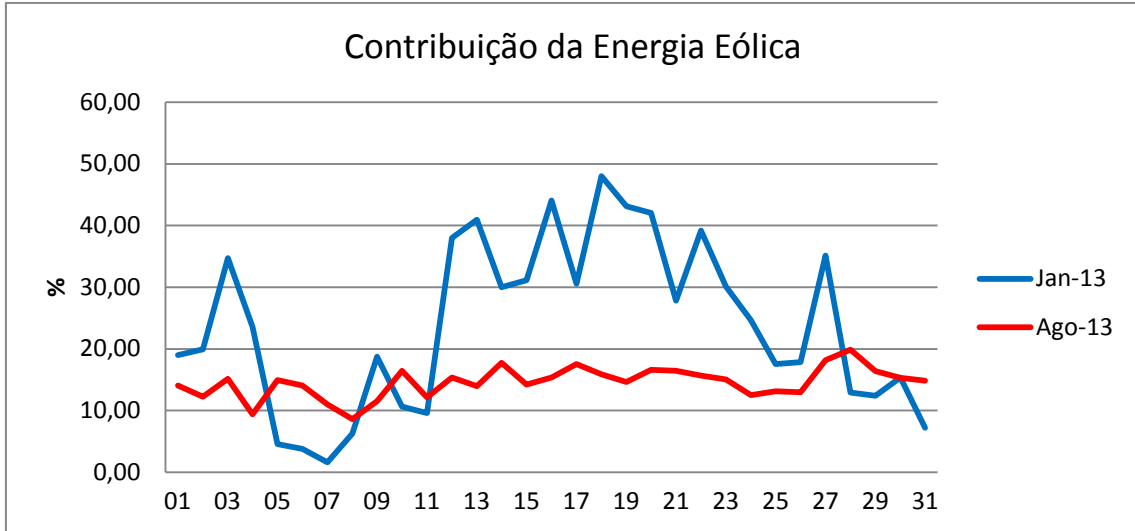


Figura 30 - Gráfico referente à produção de eletricidade a partir de energia eólica nos meses de Janeiro e Agosto de 2013 (51)

A Figura 31, referente à produção de eletricidade por via hídrica, mostra a diminuição da produção hidroelétrica em Agosto, mês em que os rios apresentam menores caudais. As oscilações são também maiores no período do Inverno, tal como com a energia eólica.

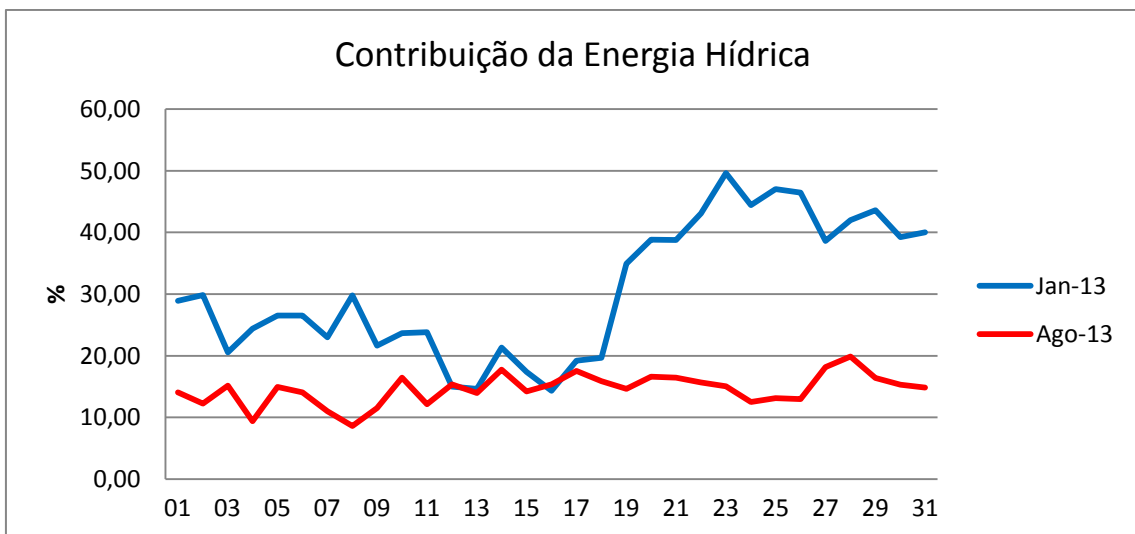


Figura 31 - Gráfico referente à produção de eletricidade a partir de energia hídrica nos meses de Janeiro e Agosto de 2013 (54)

Analisando os gráficos anteriores, verifica-se que, como seria expectável, o aproveitamento das energias renováveis é superior durante o mês de Janeiro comparativamente a Agosto, sendo que, por norma, os valores de Janeiro apresentam mais oscilações e maiores amplitudes.

Os dados relativos a este mês estão expostos de forma conjunta na Figura 32. A diminuição da disponibilidade das energias renováveis tem que ser compensada pela energia produzida pelas centrais termoelétricas.

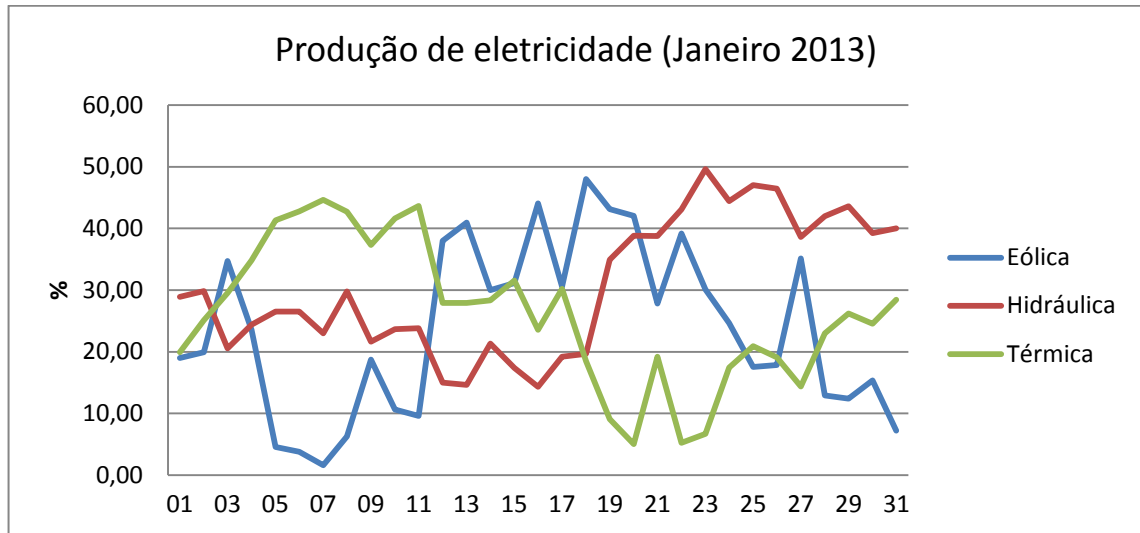


Figura 32 - Gráfico referente à produção de eletricidade a partir de energia eólica, hídrica e térmica no mês de Janeiro de 2013 (51)

#### 4.1. Análise da correlação do mix energético na produção de eletricidade

As previsões climáticas constituem uma ferramenta indispensável na gestão do contributo das energias renováveis, permitindo uma adequada adaptação a condições futuras, de forma a evitar variações bruscas em termos de produção de eletricidade.

Como já referido, na perspectiva de utilizar valores de dias passados no próprio dia, foram analisados os dados do mix diário da produção de eletricidade disponibilizados pela REN referentes ao ano de 2013 e ao ano de 2014 até ao mês de Março inclusivé. Calcularam-se os fatores de correlação entre os diversos valores que integram o mix energético diário, confrontando os valores do próprio dia com os de dias passados.

Na Tabela 11 figuram os dados relativos aos coeficientes de correlação entre sábado e a sexta-feira anterior e entre sábado e o sábado anterior, para as diversas fontes energéticas.

Tabela 11 – Coeficientes de correlação entre sábado e a sexta-feira anterior e entre sábado e o sábado anterior

	sab sex	sab sab
Térmica fóssil	0,83129	0,64011
Cogeração	0,79303	0,66419
Hídrica	0,92833	0,78980
Eólica	0,57586	-0,08253
Fotovoltaica	0,67021	0,41800
Importada	0,81293	0,51314
	sab sex	sab sab
Carvão	0,80918	0,68480
Gás Natural	0,46813	0,12659

Tendo em conta a diferença do perfil de consumo/produção de sábado relativamente a sexta-feira, testou-se também a hipótese de sábado com sábado anterior. Constatou-se que o espaço temporal de uma semana de diferença se superioriza à diferença de perfil de consumo/produção, originando uma dispersão mais acentuada. De facto, os coeficientes de correlação para a situação sábado/sábado anterior são mais reduzidos que os correspondentes à situação sábado/sexta-feira que o antecede. Como expectável, a intermitência da energia eólica conduz a valores mais reduzidos de correlação, o mesmo acontecendo com o gás natural, pois são as centrais termoelétricas deste tipo que respondem às oscilações da produção da componente eólica.

Nos gráficos seguintes pode verificar-se a dispersão dos dados referentes à energia térmica de origem fóssil, entre sábados e a sexta-feira que os antecede e entre sábados consecutivos. É notório que a dispersão, neste último caso, é mais reduzida (gráficos das Figuras 33 e 34).

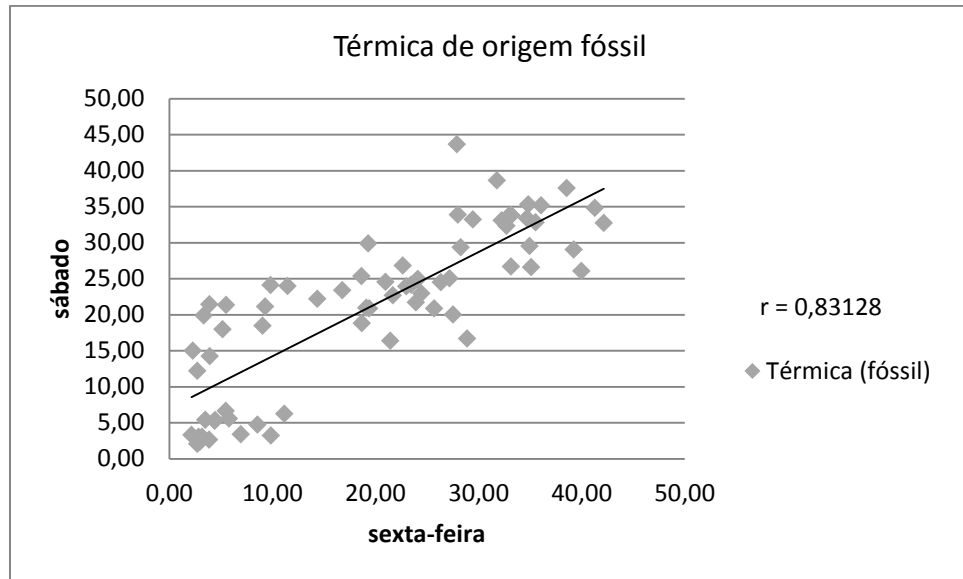


Figura 33 - Gráfico de dispersão referente à energia térmica entre sábado e a sexta-feira que o antecede

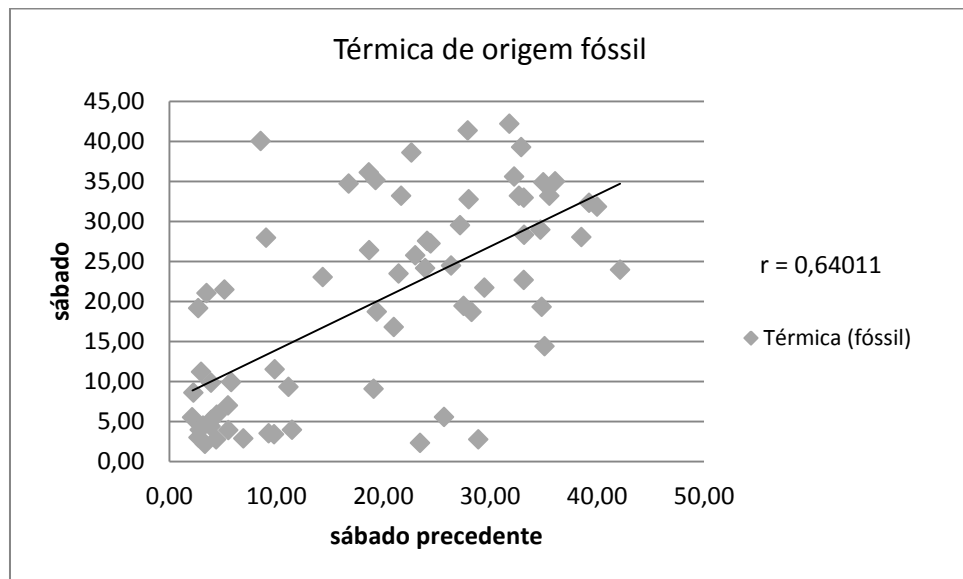


Figura 34 - Gráfico referente à energia térmica entre sábado e o sábado que o antecede

No caso da energia eólica, adotou-se o mesmo procedimento da situação anterior, embora se verifique, que com este tipo de energia, os valores são tão dispersos que se torna evidente a forma intermitente em como este tipo de energia renovável se apresenta (gráficos das Figuras 35 e 36).

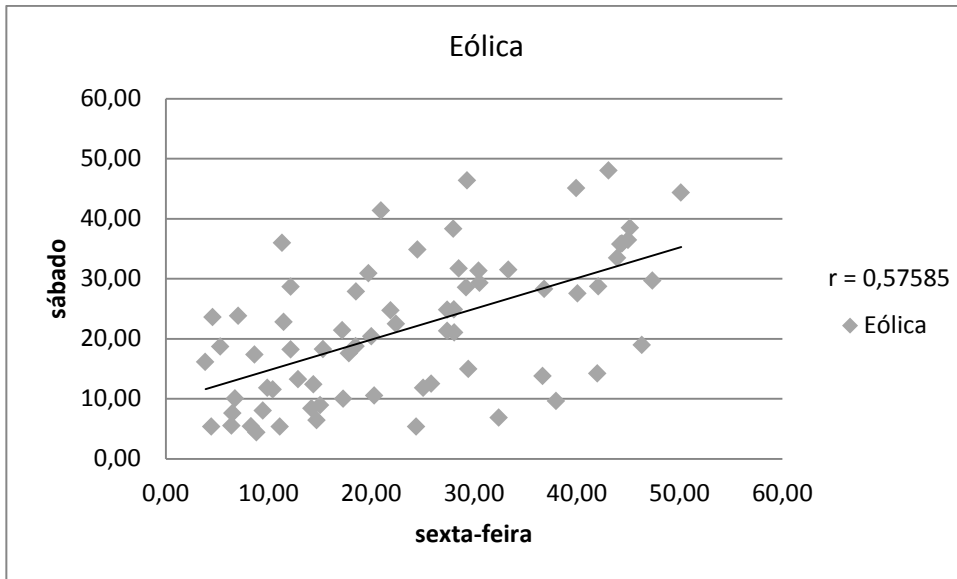


Figura 35 - Gráfico referente à energia eólica entre sábado e a sexta-feira que o antecede

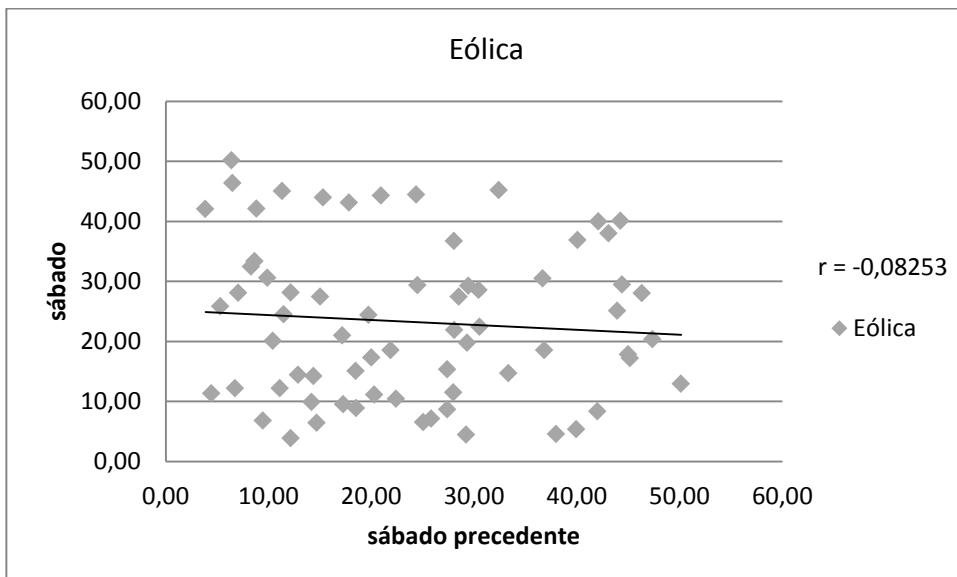


Figura 36 – Gráfico referente à energia eólica entre sábado e o sábado que o antecede

Apesar de tudo, é possível observar, embora de forma ligeira, alguma correspondência em dias contíguos.

Na tabela 12, para os domingos, tal como feito para os sábados, além de dias consecutivos, tendo em conta a diferença do perfil de consumo/produção de domingo relativamente a sábado, testou-se também a hipótese de domingo com domingo anterior. Constatou-se, mais uma vez, que o espaço temporal de uma semana de diferença se superioriza à diferença de perfil de consumo/produção, originando uma dispersão mais acentuada.

Os coeficientes de correlação entre domingo e o domingo anterior são reduzidos, por isso aceita-se que a melhor correlação para este dia é a correspondência de domingo com o sábado que o antecede.

Tabela 12 – Coeficientes de correlação entre domingo e o sábado que o antecede e entre o domingo e o domingo que o antecede

	dom sab	dom dom
Térmica (fóssil)	0,88310	0,61035
Cogeração	0,88228	0,66709
Hídrica	0,92897	0,77890
Eólica	0,52453	0,07595
Fotovoltaica	0,67022	0,38414
Importada	0,76461	0,69062
	dom sab	dom dom
Carvão	0,88005	0,63256
Gás Natural	0,57382	0,31476

Na Figura 37 e na Figura 38 mostram-se os gráficos correspondentes aos domingos e sábados anteriores e a domingos sucessivos respetivamente.

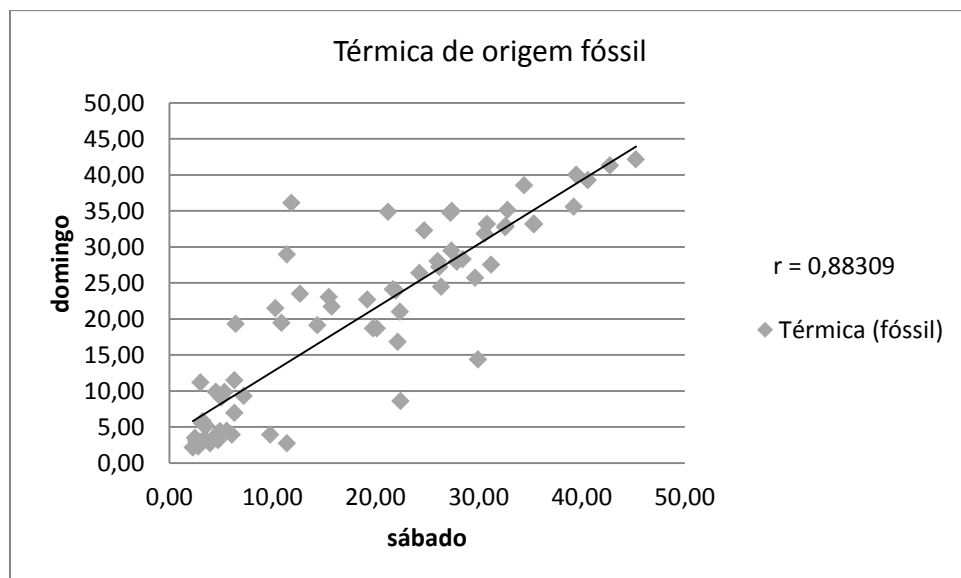


Figura 37 - Gráfico referente à energia térmica entre domingo e o sábado que o antecede

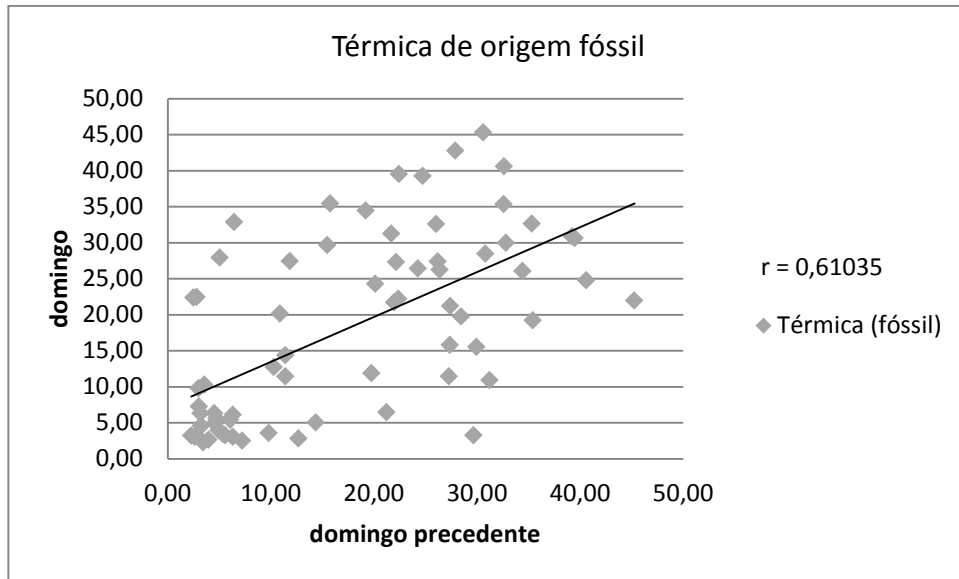


Figura 38 - Gráfico referente à energia térmica entre domingo e o domingo que o antecede

É visível a maior correspondência entre os domingos e os sábados que os antecedem.

Para a energia eólica o resultado é idêntico, mas com maior dispersão entre os valores diários, conforme se pode verificar nos gráficos da Figura 39 e da Figura 40.

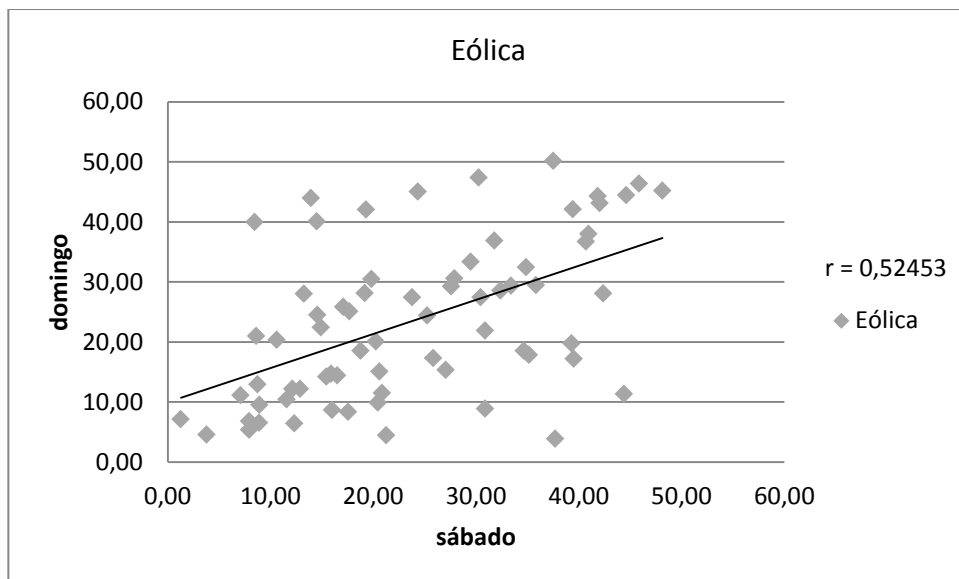


Figura 39 - Gráfico referente à energia eólica entre domingo e o sábado que o antecede

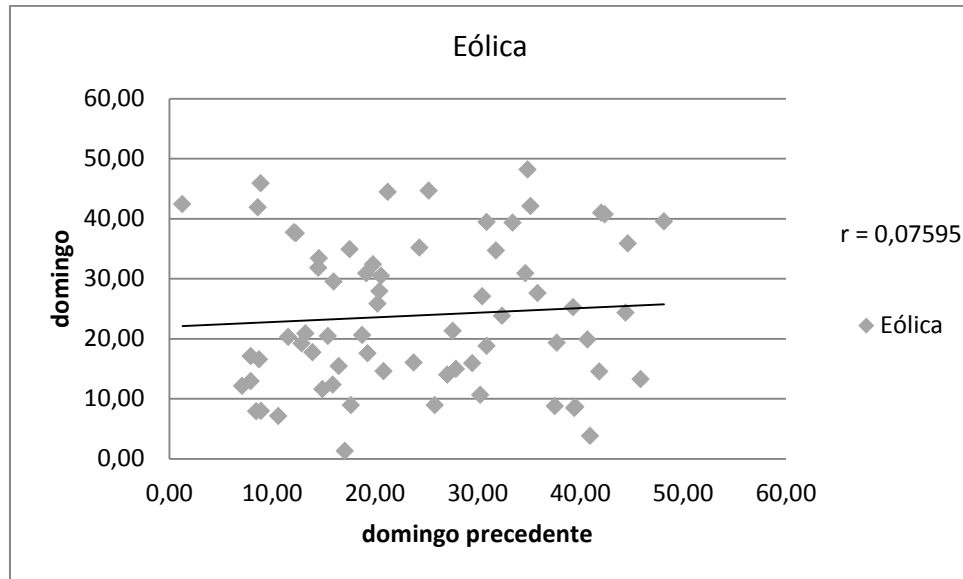


Figura 40 - Gráfico referente à energia eólica entre domingo e o domingo que o antecede

Também se observa para o caso da energia eólica maior correlação entre dias contíguos.

Para o caso das segundas-feiras, na Tabela 13, verifica-se que o maior coeficiente de correlação existe entre segunda-feira e o domingo que a antecede.

Tabela 13 – Coeficientes de correlação entre segunda-feira e o domingo anterior e entre segunda-feira e a sexta-feira anterior

	seg dom	seg sex
Térmica (fóssil)	0,82242	0,75193
Cogeração	0,81502	0,75762
Hídrica	0,94101	0,90770
Eólica	0,61146	0,38891
Fotovoltaica	0,66164	0,55948
Importada	0,84762	0,799874
	seg dom	seg sex
Carvão	0,79876	0,70760
Gás Natural	0,68968	0,59378

Tendo em conta a diferença do perfil de consumo/produção de segunda-feira relativamente a domingo, testou-se também a hipótese de segunda-feira com sexta-feira anterior. Constatou-se que o espaço temporal de um fim de semana de diferença, se superioriza à diferença de perfil de consumo/produção, originando uma dispersão mais acentuada.

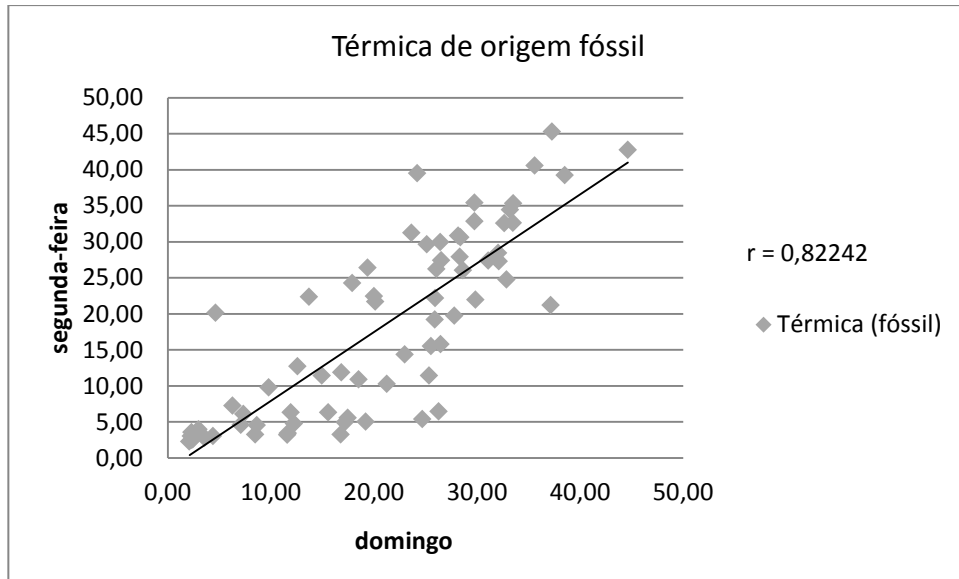


Figura 41 - Gráfico referente à energia térmica entre segunda-feira e o domingo que a antecede

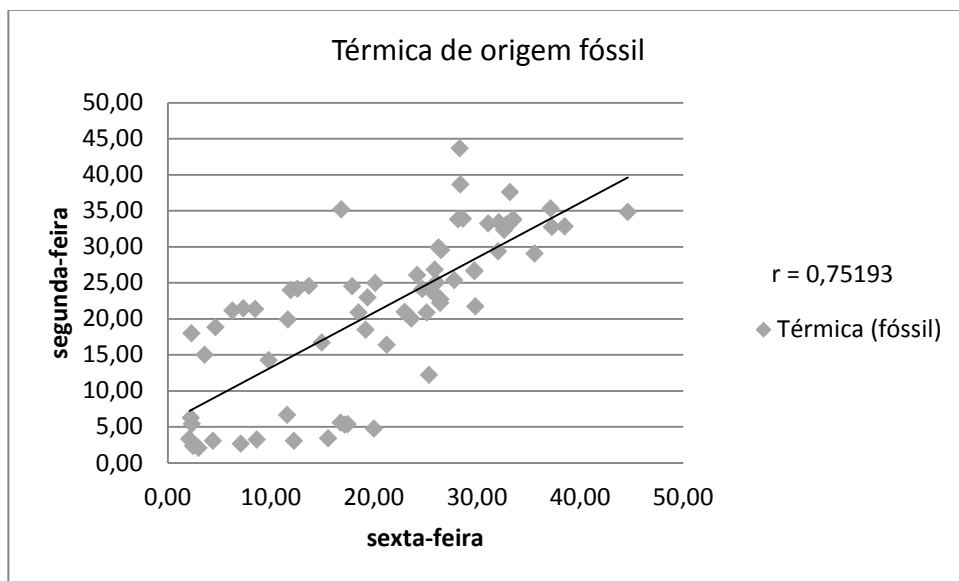


Figura 42 - Gráfico referente à energia térmica entre segunda-feira e a sexta-feira que a antecede

Nesta situação (Figura 41 e Figura 42) é notório que o coeficiente de correlação entre a segunda-feira e a sexta-feira anterior é inferior ao que ocorre entre segunda-feira e o domingo antecedente.

No caso da energia eólica (Figura 43 e Figura 44) verifica-se que a imprevisibilidade do vento é tanto maior quanto maior for o lapso de tempo entre os dados, ou seja, entre segunda-feira e a sexta-feira, o coeficiente de correlação é menor que entre segunda-feira e o domingo.

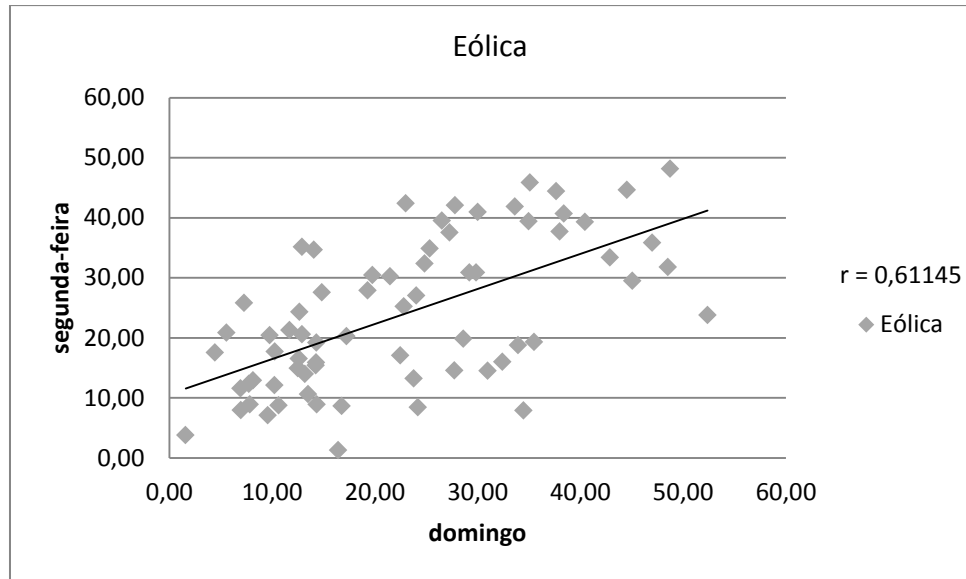


Figura 43 - Gráfico referente à energia eólica entre segunda-feira e o domingo que a antecede

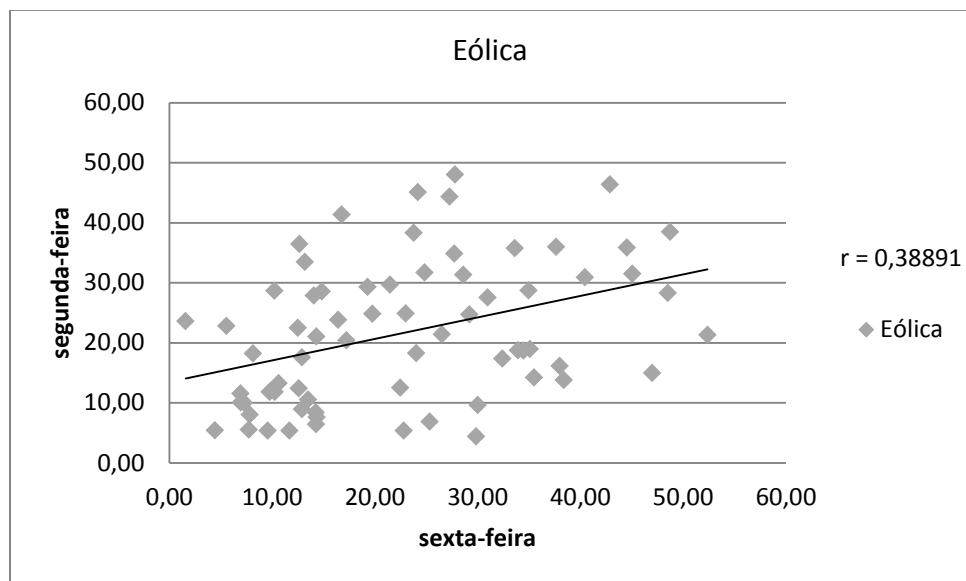


Figura 44 - Gráfico referente à energia eólica entre segunda-feira e a sexta-feira que a antecede

Verifica-se, de seguida, a correspondência entre dias úteis da semana (exceto a segunda-feira) e entre a totalidade dos dias (dia/dia anterior independentemente de se tratar de dia útil ou não) (Tabela 14 e Figuras 45 a 48).

**Tabela 14 – Coeficientes de correlação relativos aos dias úteis (dia útil, dia útil anterior - 2ª feira não considerada) e a todos os dias da semana**

	3ª,4ª,5ª,6ª	7 dias
Térmica (fóssil)	0,87405	0,84961
Cogeração	0,74407	0,82086
Hídrica	0,92583	0,92794
Eólica	0,63139	0,60607
Fotovoltaica	0,84295	0,70949
Importada	0,90003	0,82640
	3ª,4ª,5ª,6ª	7 dias
Carvão	0,82262	0,81970
Gás Natural	0,55566	0,56944

Na Tabela 14 verifica-se uma maior aproximação dos valores entre as duas possibilidades.

Analisando todas as tabelas observa-se que, mesmo com o fim de semana, em que os consumos são mais reduzidos, os melhores coeficientes de correlação ocorrem entre o próprio dia e o que o antecede. Pode então considerar-se que a melhor opção em termos de correlação de dados de um dia é a utilização de dados do dia anterior, para os sete dias da semana, independentemente de se tratar de dia útil ou não.

A interligação dos dados acontece devido à previsibilidade tanto do consumo como da disponibilidade das fontes renováveis. Mesmo para a energia eólica, a mais intermitente, conseguem-se atualmente previsões da sua produção de 48 horas, renovadas a cada seis horas (56), ou seja, o mix energético do dia anterior só será muito diferente do dia seguinte se existir algum incidente que o altere repentinamente. Toda a gestão da rede elétrica nacional assenta nessas previsões tornando o fornecimento o mais equilibrado possível.

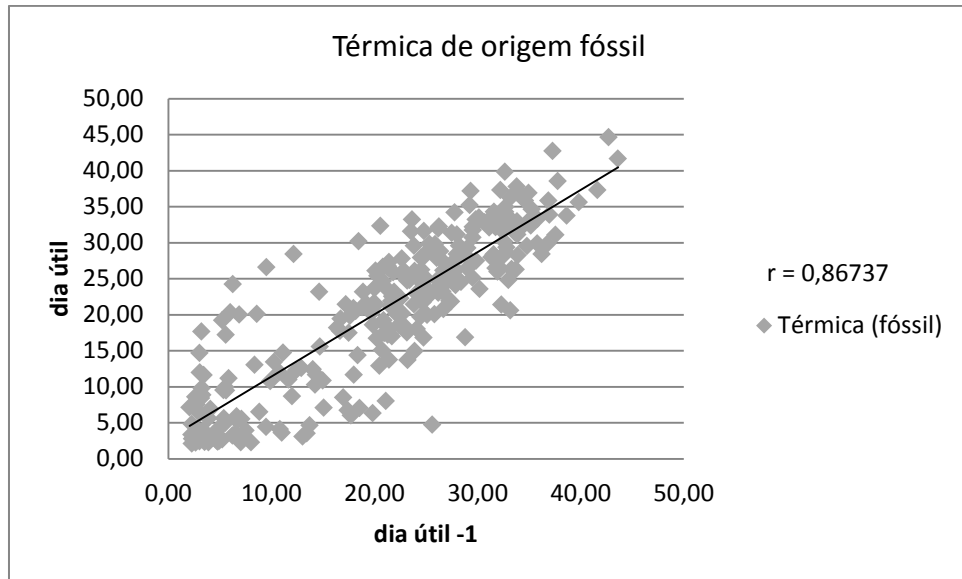


Figura 45 - Gráfico referente à energia térmica entre um dia útil e o dia útil que o antecede (2ª feira não considerada)

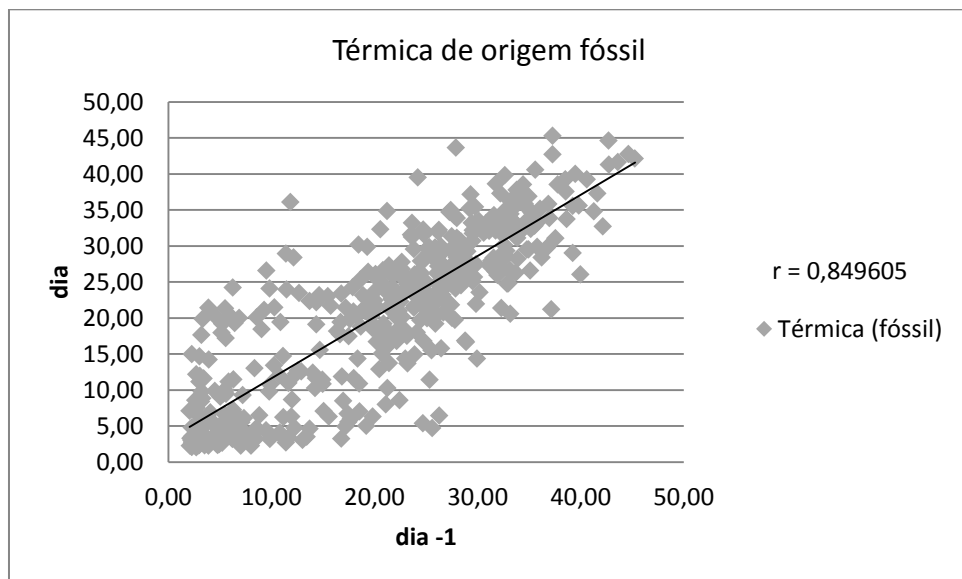


Figura 46 - Gráfico referente à energia térmica entre um dia e o dia que o antecede (todos os dias da semana)

Analisando estes gráficos pode verificar-se que não existem muitas diferenças entre utilizar apenas os dias úteis ou todos os dias da semana para a energia térmica com recurso a combustíveis fósseis.

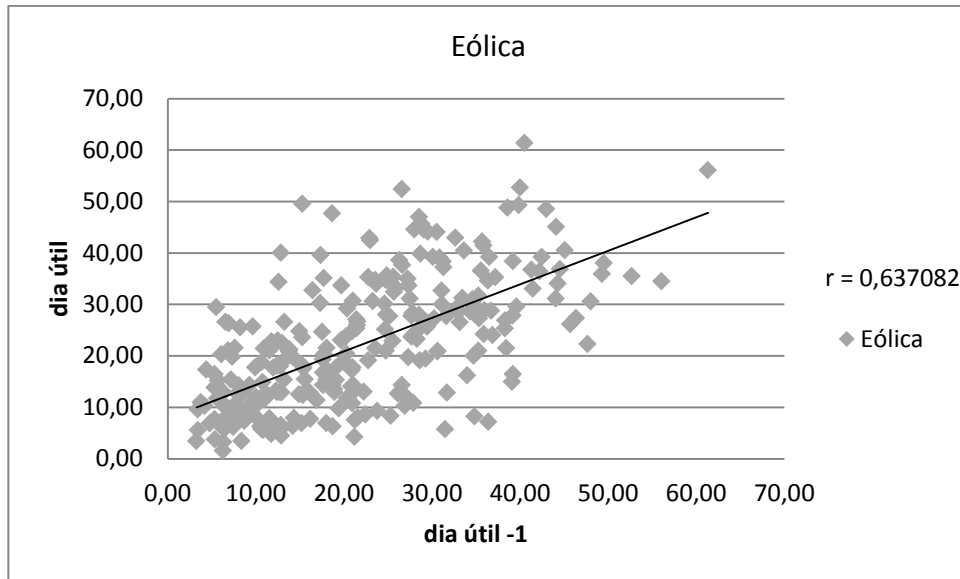


Figura 47 - Gráfico referente à energia eólica entre um dia útil e o dia útil que o antecede (2ª feira não considerada)

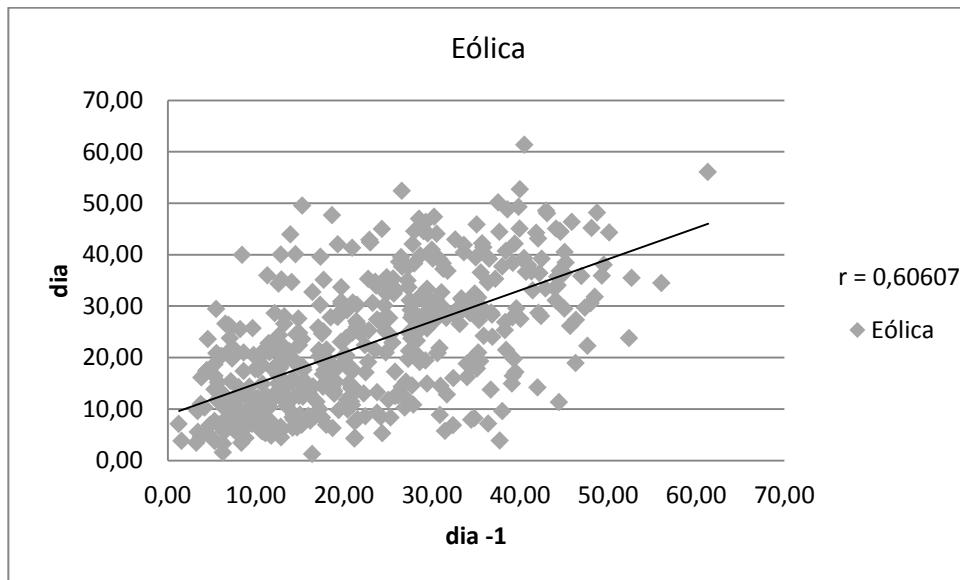


Figura 48 - Gráfico referente à energia eólica entre um dia e o dia que o antecede (todos os dias da semana)

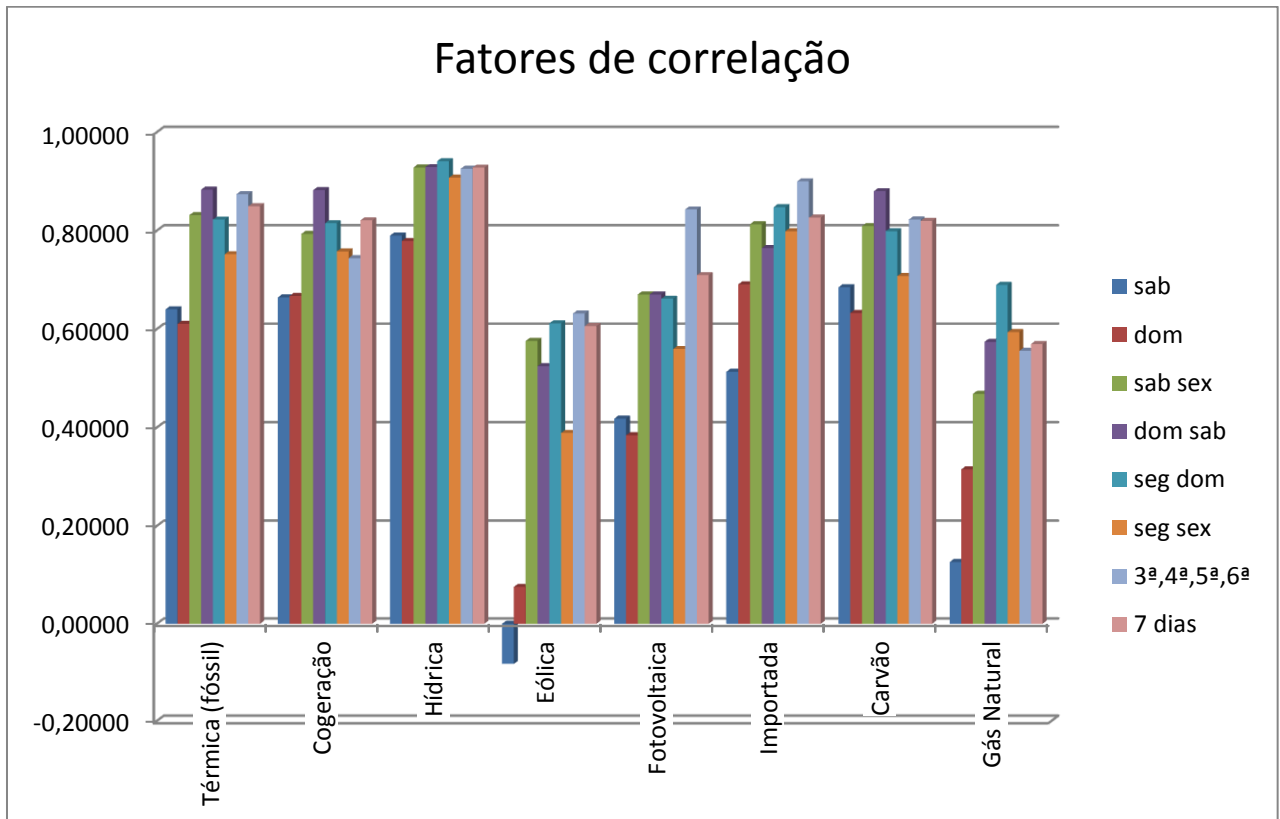
O cenário para a energia eólica é muito idêntico, seja para os dias úteis da semana ou para todos os dias.

Após a análise destes dados, no presente trabalho considera-se como mais razoável para a previsão da situação de um dado dia, a consideração da situação verificada no dia anterior, sem distinção entre dias úteis ou dia de fim de semana.

No gráfico da Figura 49 podem observar-se os diversos factores de correlação determinados. A melhor opção de previsão de dados é tomar como válido para o próprio dia,

o valor do dia anterior (opção 7 dias) e que compreende nomeadamente as situações anteriormente tratadas separadamente: sábado/sexta-feira anterior, domingo/sábado anterior e segunda-feira/domingo anterior.

Figura 49 – Gráfico referente à correlação dos dados para o período de Janeiro de 2013 a Março de 2014





## 5. Emissões de CO<sub>2</sub>

As emissões de CO<sub>2</sub> estão diretamente associadas à queima de combustíveis fósseis. A ERSE (Entidade Reguladora de Serviços Energéticos) emitiu em 2011 um conjunto de valores resultantes de cálculos efetuados relativamente às emissões de CO<sub>2</sub> de instalações de produção de eletricidade na Península Ibérica, para os consumos efetuados em Portugal (56). Os fatores de emissão (quociente entre os valores das emissões e a eletricidade produzida - massa de CO<sub>2</sub> libertado pela produção de um kWh de eletricidade) para cada uma das fontes de energia estão expostos na Tabela 15 e na Figura 50 (56).

Tabela 15 - Fatores de emissão de CO<sub>2</sub> (56)

Fonte de energia	Fator emissão CO <sub>2</sub> (g/kWh)
Hídrica	0
Eólica	0
Cogeração renovável	0
Outras renováveis	0
R.S.U.	735
Cogeração fóssil	327
Gás natural	350
Carvão	973
Nuclear	0
Fuelóleo	1000

Na produção de eletricidade, a utilização de carvão origina emissões de dióxido de carbono substancialmente mais elevadas que o recurso a gás natural.

Para as fontes renováveis de energia não são consideradas quaisquer emissões de dióxido de carbono.

Em termos globais, a produção de eletricidade representou, em 2012, cerca de 40% das emissões de CO<sub>2</sub> seguindo-se-lhe os transportes com 30%. Conjuntamente, estes dois tipos de atividades representavam 70% das emissões de dióxido de carbono (57).

Com base nos valores constantes na Tabela 15 pode calcular-se a quantidade de CO<sub>2</sub> libertada na produção de eletricidade, tendo em conta o mix energético na sua origem. Sabendo a quantidade de combustível de cada parcela do mix chega-se ao valor de emissão de CO<sub>2</sub> respetivo e à emissão global deste gás.

Para a gasolina e gasóleo utilizados nos transportes, as emissões de CO<sub>2</sub> são de cerca de 264 g/kWh e de 263 g/kWh respetivamente. A maior exigência relativamente à dessulfurização do gasóleo rodoviário aproximou estes valores. De facto, os procedimentos de extração do enxofre acarretam a remoção de outras impurezas contidas no combustível levando a melhorias na combustão aumentando a eficiência e diminuindo o consumo dos motores, daí resultando menores emissões de CO<sub>2</sub> (57).

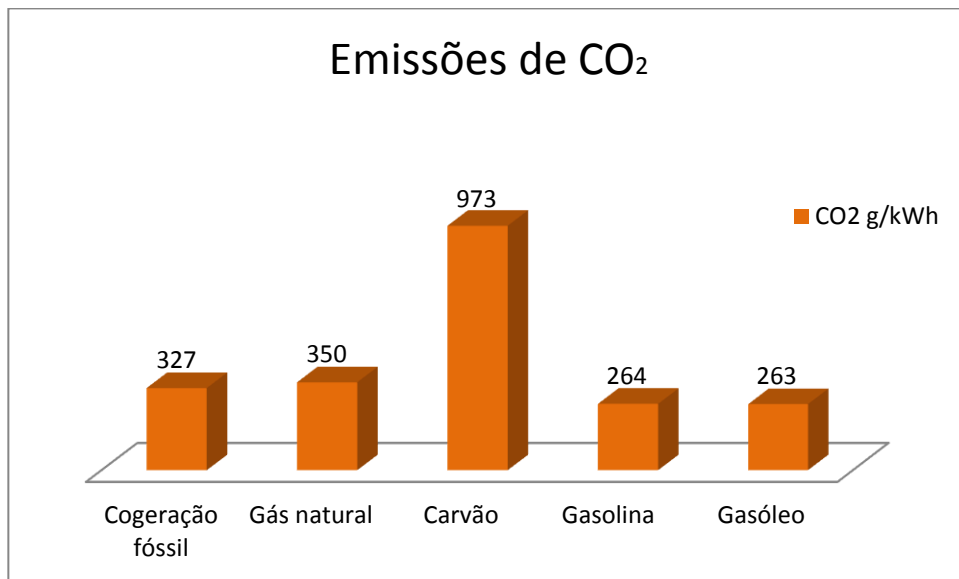


Figura 50 – CO<sub>2</sub> emitido pela combustão dos diversos combustíveis (56)

Com base no mix de 2012, à eletricidade proveniente de Espanha, tendo em conta que a eletricidade obtida por via nuclear não emite CO<sub>2</sub> (57), corresponde a emissão de 277 g/kWh de dióxido de carbono.

Considerando todos os valores, para a eletricidade consumida em Portugal no ano de 2012 estima-se um fator de emissão global de CO<sub>2</sub> de 364 g/kWh.

Em relação aos combustíveis utilizados nos veículos automóveis (gasolina e gasóleo) só se consideram as emissões resultantes da sua combustão, não se considerando emissões associadas à exploração da matéria-prima nem à sua refinação.

## 6. Programa auxiliar

No âmbito do presente trabalho foi desenvolvido um *software* que obtém e processa os dados disponibilizados pela REN (Rede Elétrica Nacional) e que se denominou MIX.

A REN disponibiliza diariamente (exceto aos fins de semana e feriados em que tal ocorre posteriormente) no seu sítio da *internet*, uma tabela com informação estatística diária relativa à produção de energia elétrica do dia anterior. Esta tabela está organizada por tipo de fonte energética primária na origem da produção de eletricidade em Portugal (Tabela 16). Desta tabela consta, além da produção diária de energia elétrica, a ponta atingida, a produção do dia homólogo do ano anterior e a variação percentual entre esses dias. Não é referenciada de forma distinta a produção de eletricidade com recurso a gás natural ou a carvão.

Tabela 16 - Tabela de estatística diária disponibilizada pela REN no dia 20/02/2014



English  
**REN**  
Electricidade Centro de Informação

Home PT | Publicações ▾ | Informação Técnica ▾ | Informação Exploração ▾ | Informação Certificados ▾

Centro De Informação > Home PT

**Estatística Diária - SEN**

Data para análise  
20-02-2014 [calendar icon] [Executar »] [Download]

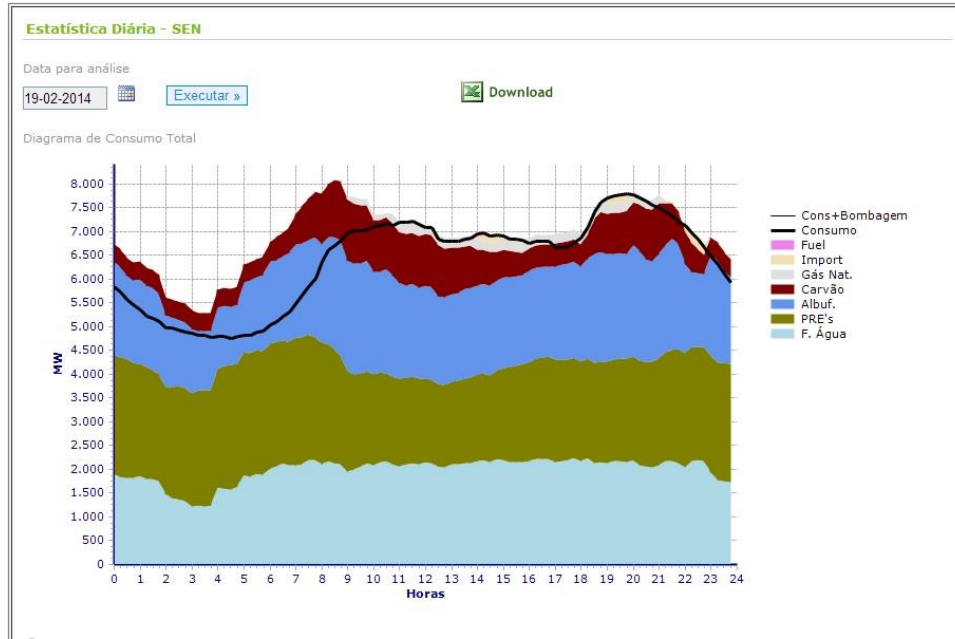
Resumo Diário

	Ponta [MW]	Dia (2014) [GWh]	Dia (2013) [GWh]	Mês (2014) [GWh]	Variação [%]
Hidráulica	4,700	89.6	41.6	1,612.1	70.2
Térmica	846	10.7	40.0	227.1	-67.3
<b>Total Prod. Regime Ordinário</b>	<b>5,397</b>	<b>100.3</b>	<b>81.6</b>	<b>1,839.2</b>	<b>12.0</b>
Importação (Comercial)	0	0.0	2.5	29.8	-73.4
Exportação (Comercial)	1,900	26.4	7.5	493.9	172.5
<b>Saldo Importador</b>	<b>-1,914</b>	<b>-26.6</b>	<b>-5.1</b>	<b>-463.0</b>	<b>565.1</b>
<b>Bombagem</b>	<b>0</b>	<b>0.0</b>	<b>5.3</b>	<b>60.6</b>	<b>-40.9</b>
Hidráulica	354	8.2	6.8	161.7	17.7
Térmica	1,105	23.9	25.7	447.1	-12.5
Eólica	2,715	49.4	45.5	1,070.0	46.1
Fotovoltaica	98	0.5	0.6	15.4	-19.3
Ondas	0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Total Prod. Regime Especial</b>	<b>4,149</b>	<b>82.1</b>	<b>78.6</b>	<b>1,694.3</b>	<b>21.0</b>
<b>CONSUMO</b>	<b>7,921</b>	<b>155.8</b>	<b>149.8</b>	<b>3,010.0</b>	<b>4.9</b>
(Corrig. Temperatura)		155.4	152.5	2,982.7	3.8

Consumo referido à produção líquida das centrais, no dia seleccionado, dia equivalente do ano anterior, acumulado mensal e variação face ao mesmo período mensal do ano anterior.

Resumo | Diagrama | Hidráulica | Térmica | Interligações

Também é disponibilizado no mesmo sítio o gráfico referente ao consumo diário de eletricidade e as fontes que lhe deram origem (Figura 51).



**Figura 51 - Gráfico referente ao consumo diário de energia elétrica e as fontes que lhe deram origem, disponibilizada pela REN em 19/02/2014**

O *software* MIX (Figura 52), com base nos valores relativos ao dia anterior, estima em tempo real a quantidade de energia primária utilizada na geração de energia elétrica. Esta opção pelo dia anterior resulta da melhor correlação verificada, tendo em conta o exposto no Capítulo 4.

Existe também a possibilidade de obter dados de outros dias, colocando a data desejada na célula e clicando em “Dados anteriores”.

Além do mix energético há também a possibilidade de obter os dados da repartição da produção de energia com base em fontes térmicas (carvão, gás natural ou cogeração).

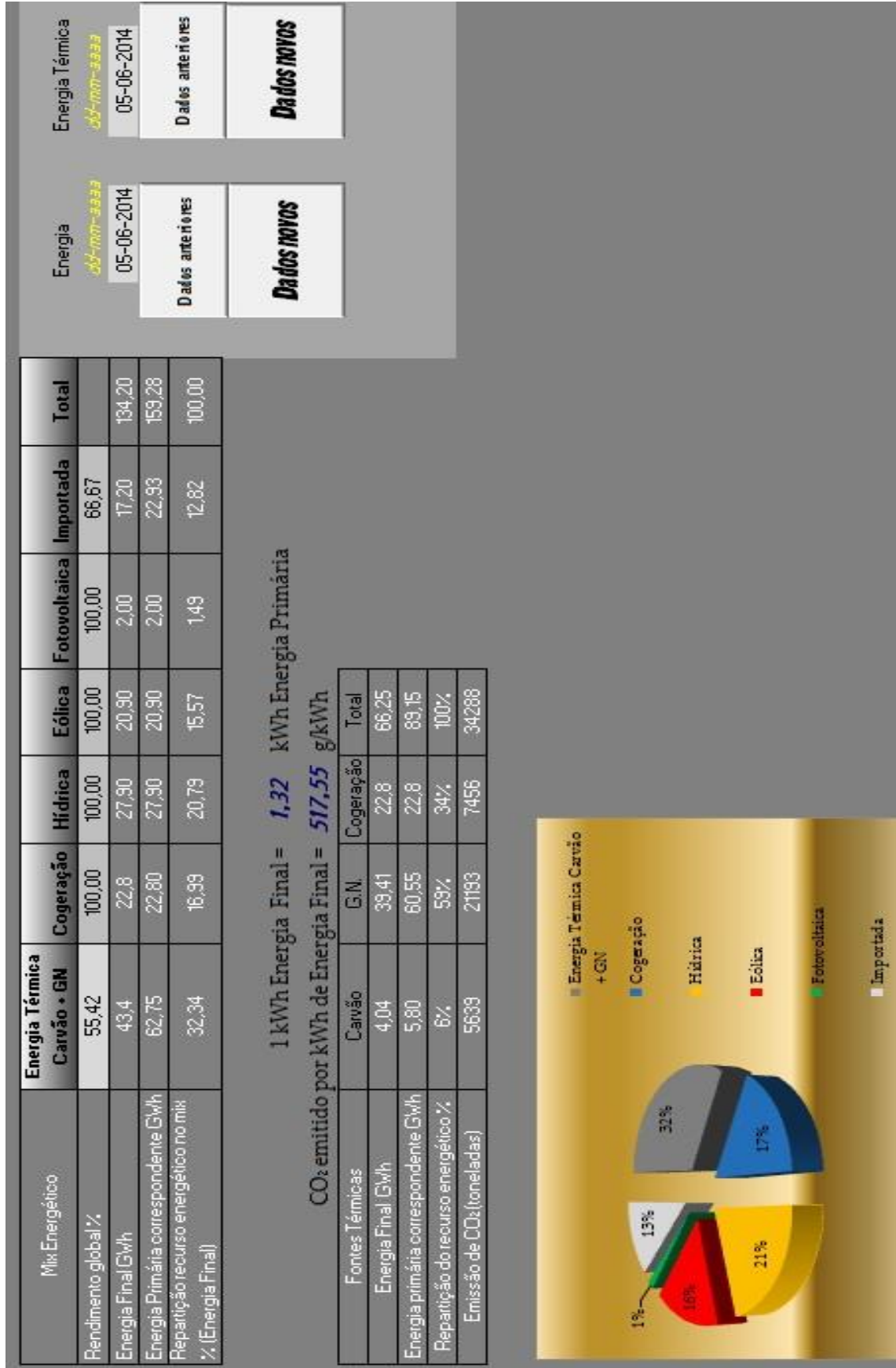


Figura 52 - Software MIX

É possível alterar algumas variáveis do programa, como o valor da eficiência energética de cada tipo de fonte energética.

Previamente, além desta visualização gráfica, este *software* também importa a tabela do sítio da internet da REN e cria uma pasta com o nome REN no disco C: do computador. Nesta pasta coloca o histórico dos ficheiros *Excel* importados denominando-os automaticamente com a data respetiva.

Para estes cálculos foram criadas macros para cada um dos botões: no caso do “atualizar”, recorrendo à data do computador, define o *link* para importar a tabela que se encontra no sítio da REN do dia anterior; no caso do botão “dados anteriores” esse *link* é definido na célula que se encontra acima deste, consistindo na colocação da data correspondente aos dados em análise.

O fluxograma correspondente ao modo de operação do *software* é mostrado na Figura 53. Existem duas possibilidades de observação dos dados: i) dados do próprio dia; ii) dados de dias anteriores.

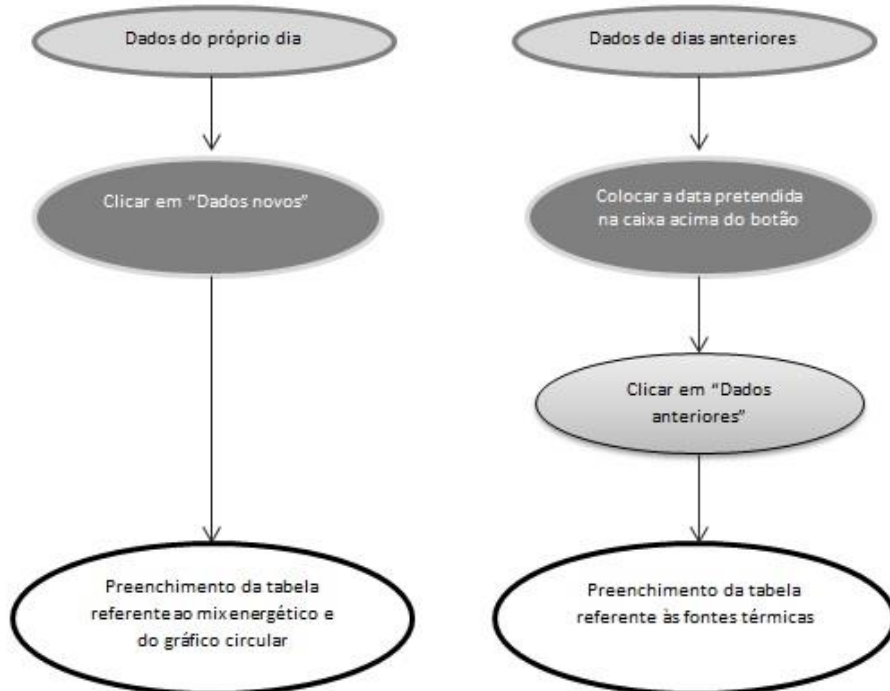


Figura 53 - Diagrama de funcionamento do *software* MIX

O MIX permite também calcular valores limite para os diversos combustíveis que definem o mix energético na produção de eletricidade, como se pode verificar na Tabela 17,

que representa uma avaliação da sensibilidade da razão energia primária/energia final com base numa estimativa de variação da importância relativa das fontes energéticas fósseis entre 0% e 100%, para o caso do carvão (situação mais desfavorável) e para o caso do gás natural (situação menos desfavorável da energia térmica). Em ambos os casos, o complemento energético seria de fontes renováveis, razão pela qual se encontra o valor 1 para 0% de energia fóssil. Verifica-se pois que no caso mais desfavorável (100% de carvão) cada kWh de energia final corresponde à necessidade de 2,30 kWh de energia primária.

**Tabela 17 - Valores de cenários-limite de utilização de combustíveis fósseis versus energias renováveis no mix energético nacional (kWh de Energia Primária por kWh de Energia Final)**

Fração de combustível	<b>Carvão</b> Energia Primária/Energia Final	<b>Gás Natural</b> Energia Primária/Energia Final
100%	2,30	1,86
80%	2,04	1,69
60%	1,78	1,52
40%	1,52	1,34
20%	1,26	1,17
0%	1,00	1,00

Com recurso ao *software* MIX foi também elaborado o gráfico da Figura 54, onde se pode observar a tendência da energia primária utilizada na produção de energia final. Verifica-se que a curva correspondente ao mês de Janeiro de 2013 se apresenta tendencialmente abaixo da correspondente ao mês de Agosto, devido ao maior aproveitamento das energias renováveis, apesar das maiores variações na produção de energia elétrica. No mês de Agosto a estabilidade é maior, pois o recurso a combustíveis fósseis é superior devido às condições climáticas menos favoráveis ao recurso a energias renováveis, nomeadamente a energia hídrica. Consequentemente, neste mês, a produção de eletricidade é mais significativa em termos de energia primária.

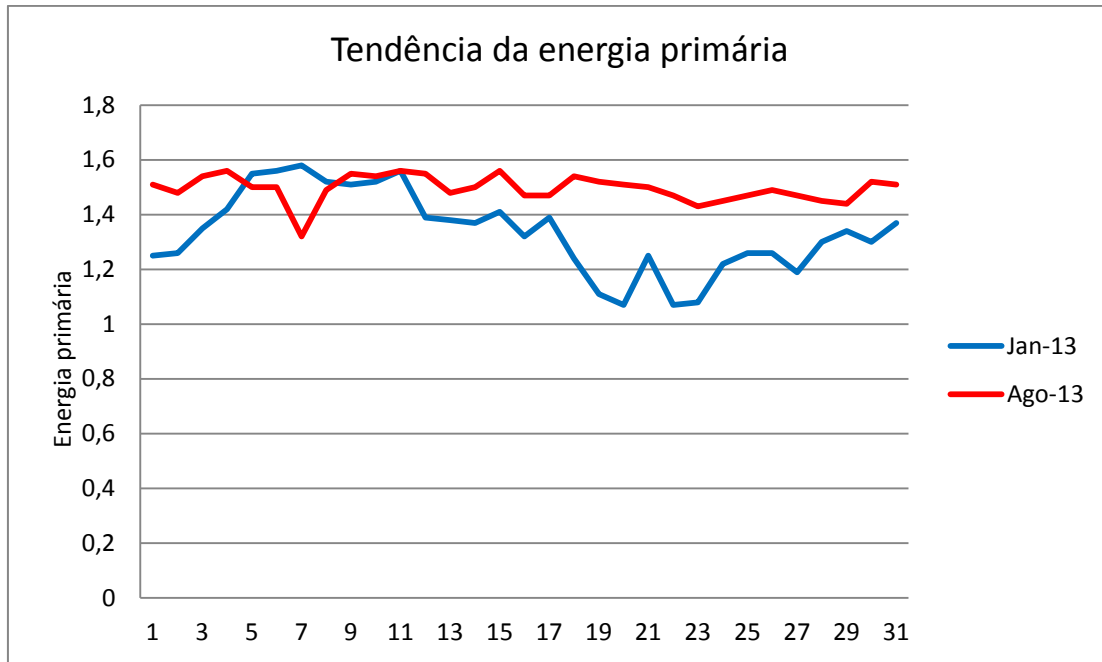


Figura 54 – Tendência de energia primária na produção de energia final nos meses de Janeiro e Agosto de 2013

## 7. Energia Primária versus Energia Final

Para o cálculo da energia primária versus energia final dos combustíveis fósseis, há que considerar os custos energéticos associados à exploração e transporte bem como a eficiência das refinarias (no presente caso em Portugal).

Por outro lado, a eletricidade, segundo a Agência Internacional de Energia, pode ser considerada como energia primária ou como energia secundária, em função da fonte que a origina. Se for produzida com recurso a combustíveis fósseis em centrais termoelétricas é considerada energia secundária (existe conversão dos recursos naturais em energia térmica, desta em energia mecânica e desta em energia elétrica); se for obtida a partir de fontes renováveis, como a solar, hídrica ou eólica, considera-se como energia primária, pois a eletricidade é obtida diretamente da fonte (47).

A eletricidade proveniente das fontes renováveis tem 100% de aproveitamento, como considerado no “*Energy statistics manual*” publicado pela Agência Internacional de energia em 2005 (47).

Outra abordagem possível relativamente à produção de energia elétrica envolve a atribuição de um valor marginal ao rendimento elétrico, como inscrito na alínea 3.1 do Despacho nº 17313/2008 de 26 de Junho que atribui o rendimento de 40% à geração de eletricidade, independentemente da fonte que a produz. Este valor não reflete as diferentes fontes que integram o mix energético na produção de eletricidade nem a sua importância. De facto, estas são variáveis: por exemplo, se num determinado dia a eletricidade produzida em Portugal tiver origem predominantemente em fontes renováveis, o referido rendimento de 40% estará fora da realidade. Nesta parte do trabalho consideram-se, para comparação dos resultados, o valor marginal e o valor calculado do mix energético da produção de eletricidade, não atribuindo qualquer perda energética às energias renováveis.

Em Portugal, no ano de 2012 o mix energético na produção de eletricidade foi o seguinte (média anual, valores do mix energético da REN):

- Carvão 25%
- Gás Natural 21%
- Fontes renováveis 37%
- Energia Importada 16%
- Cogeração 1%

Para o cálculo da energia primária utilizada na produção de eletricidade considera-se o rendimento de conversão das diferentes fontes de energia declarado pelos produtores e gestores dessas energias em Portugal, nomeadamente a “Galp Energia, SA” e a “Rede Elétrica Nacional-REN”. Relativamente à eletricidade importada, considera-se o mix determinado com os dados disponibilizados pela “Red Eléctrica España” (Espanha).

Todas as fases do processo de obtenção de energia envolvem perdas: na origem aquando da exploração do recurso natural (fonte primária), na transformação desta em energia final e no transporte até ao consumidor final. Esta última fase não será contabilizada neste trabalho, dado os valores serem similares e muito reduzidos.

Na Tabela 18 exprimem-se os valores utilizados no presente trabalho.

**Tabela 18 - Valores calculados para cada fonte de energia.**

	Carvão	GN	Renováveis	Petróleo	Importada
Perdas energéticas de exploração %	3,57	5,88	0	5,88	na
Perdas energéticas de refinação %	na	na	na	13	na
Perdas energéticas de conversão em eletricidade %	55	43	0	na	na
Rendimento global %	43,39 <sup>a)</sup>	53,65 <sup>a)</sup>	100 <sup>a)</sup>	81,88	66,67 <sup>a)</sup>

na: não aplicável

a) na produção de eletricidade

Conhecendo os valores do rendimento global de conversão das centrais de energia e o custo energético de exploração das matérias-primas (Linha 1) e a repartição do recurso energético no mix nacional (Linha 2), obtém-se o valor da parcela correspondente de energia primária necessária para se obter a referida energia final (Linha 3), conforme se pode verificar na Tabela 19.

**Tabela 19 - Eficiência dos diversos combustíveis na produção de eletricidade em 2012**

	Carvão	GN	Renováveis	Importada	Total (Mix)
Rendimento global por recurso energético %	43,39	53,65	100	66,67	
Repartição do recurso energético no mix (Energia Final) %	25	22	37	16	100
Energia Primária (kWh) por kWh de Energia Final Total	0,5762	0,4101	0,3700	0,2400	1,5963

Em Portugal, no ano de 2012, a eficiência global na produção de eletricidade foi de cerca de 63%. Por cada kWh de eletricidade produzido (Energia Final) ocorreu o consumo de cerca de 1,60 kWh de Energia Primária.

Considerando o valor marginal atribuído pela legislação portuguesa - 40% de eficiência para a produção de eletricidade (Despacho nº17313/2008 de 26 de Junho), um kWh de energia final (eletricidade), implica cerca de 2,5 kWh de energia primária, ou seja, o valor do rendimento marginal é inferior ao rendimento do carvão.

Na Figura 55 observa-se, por recurso energético, a diferença entre a energia elétrica produzida enquanto forma de energia final e a energia primária retirada do meio natural, contabilizando, neste caso, a energia dispendida na exploração e transformação dos diversos combustíveis fósseis.

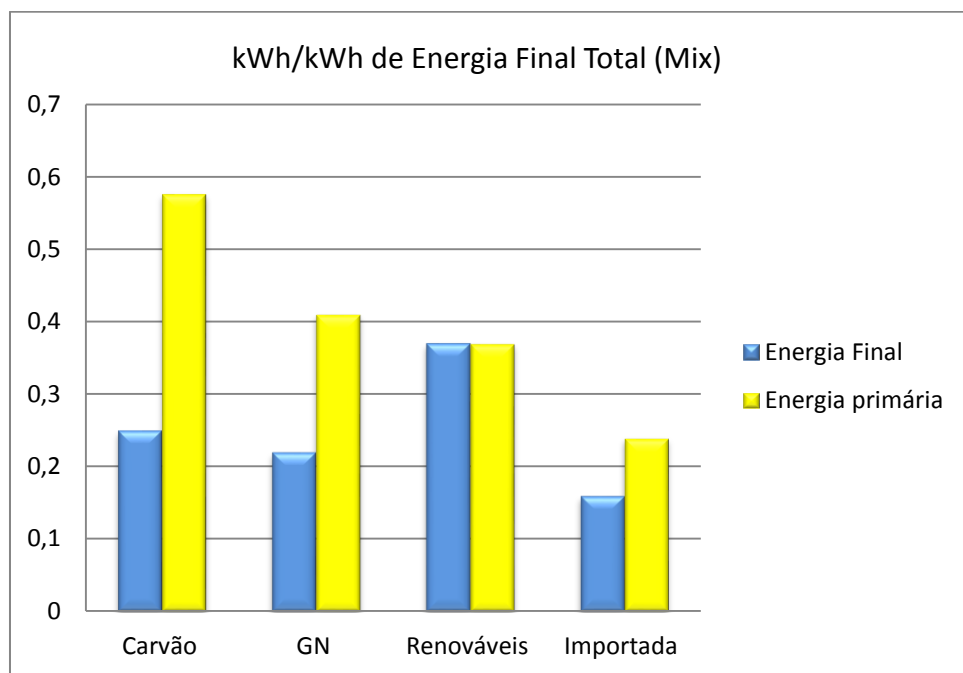


Figura 55 - Energia Final e Energia Primária na produção de energia elétrica em 2012

Na Figura 56 pode observar-se a diferença entre a energia primária calculada através dos dados do mix energético em Portugal cedidos pela REN e considerando o valor marginal atribuído pela legislação portuguesa.

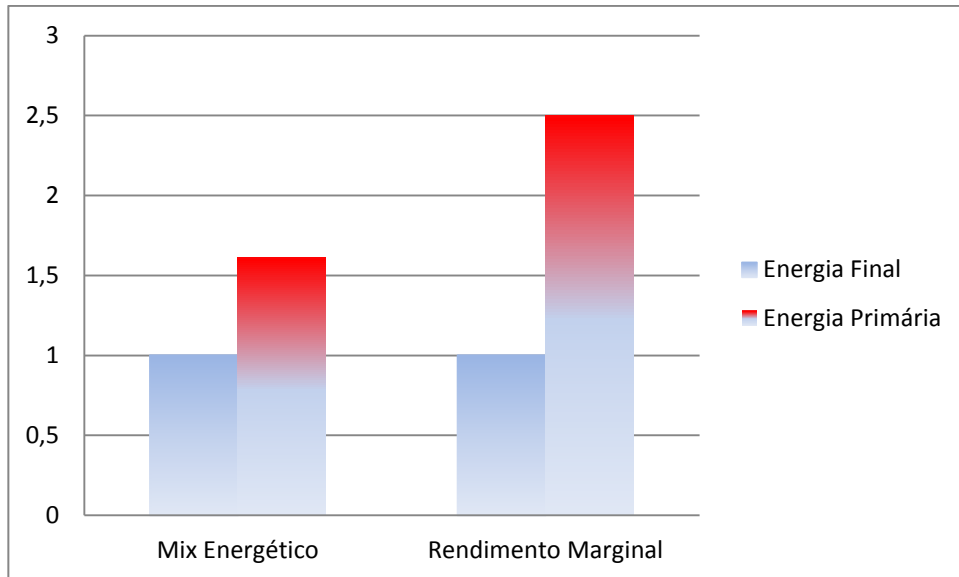


Figura 56 – Mix Energético *versus* Rendimento Marginal na produção elétrica em 2012

Já em 2013, o mix energético na produção de eletricidade foi substancialmente diferente do de 2012, notando-se principalmente um aumento na parcela das energias renováveis e uma acentuada diminuição na energia importada.

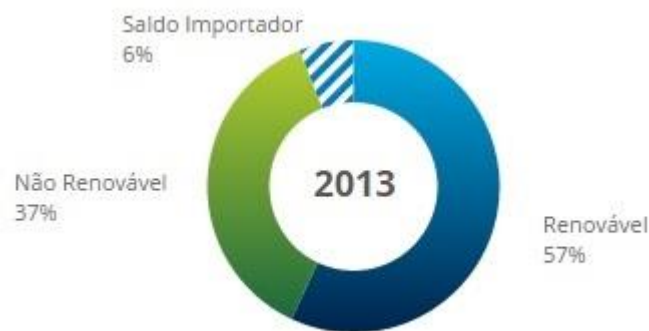


Figura 57 - Mix Energético em Portugal no ano de 2013 (59)

Os valores da Tabela 20 decorrem do mix energético na produção de eletricidade em Portugal no ano de 2013 divulgado pela REN (59). Não se dispondo de valores para o mix energético da energia importada de Espanha, assume-se o valor de 2012 para 2013.

Tabela 20 - Eficiência dos diversos combustíveis na produção de eletricidade em 2013

	Carvão	GN	Renováveis	Importada	Total
Rendimento global %	43,39	53,65	100	66,67	
Repartição do recurso energético no mix (Energia Final) %	22	15	57	6	100
Energia Primária/Energia Final kWh/kWh	0,5070	0,2796	0,5700	0,090	1,4466

Em Portugal, no ano de 2013, a eficiência global na produção de eletricidade foi de cerca de 69%. Por cada kWh de eletricidade produzido (Energia Final) ocorreu o consumo de cerca de 1,45 kWh de Energia Primária. É notória a diferença relativamente ao ano de 2012 no qual o aproveitamento de energias renováveis foi substancialmente mais reduzido.

## 7.1. Exemplos de casos práticos

No texto que se segue apresentam-se dados relativos ao desempenho de alguns veículos ligeiros de passageiros que utilizam diversas tecnologias de propulsão.

Consideram-se quatro modelos com características similares, nomeadamente em termos de peso, potência e dimensões. Os valores considerados relativos aos respetivos consumos são os indicados pelas marcas nos catálogos que disponibilizam.

O consumo declarado é aferido pelos fabricantes dos automóveis de acordo com os procedimentos das diretivas da Comunidade Europeia, Regulamento (CE) nº692/2008 da Comissão de 18 de Julho de 2008, alterado pelo Regulamento (CE) nº136/2014 de Comissão de 11 de Fevereiro de 2014 (procedimento necessário à respetiva homologação em Portugal).

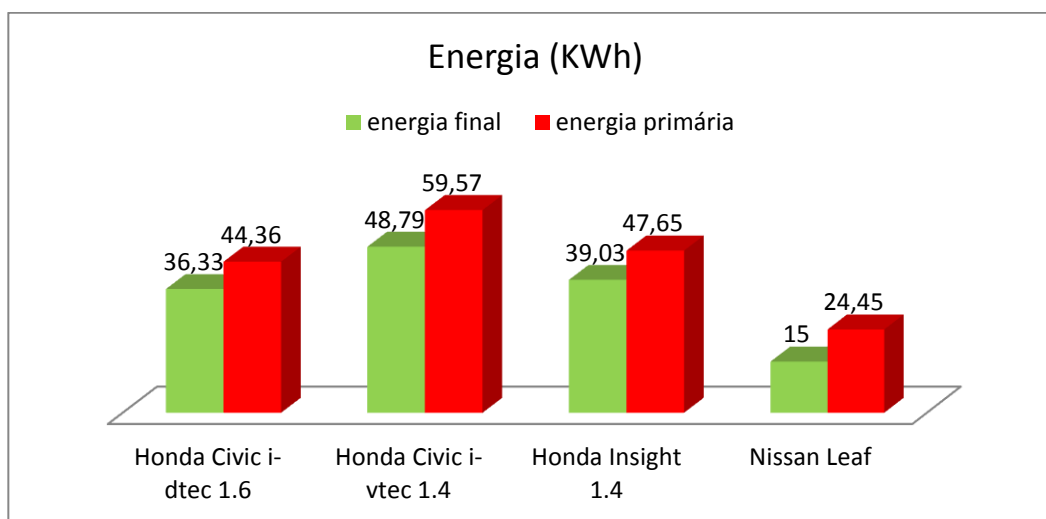
Considerando o consumo de cada um dos veículos com motor de combustão interna e tendo em conta a capacidade energética de cada um dos combustíveis, foi-lhes atribuído o valor do custo da exploração e refinação chegando dessa forma ao consumo geral de todo o sistema, desde a exploração do crude ao abastecimento do automóvel, ou seja, do poço até ao depósito, designado em inglês como *Well to Tank* (WTT).

Para o veículo elétrico foi atribuído o valor do custo energético da produção de eletricidade, tendo em conta o mix energético nacional para o ano de 2012.

Desta forma, chegou-se aos valores indicados na Tabela 21 e na Figura 58 correspondente aos consumos dos automóveis (energia final) e à energia primária correspondente, tendo em conta os pressupostos referidos anteriormente.

**Tabela 21 - Comparação entre diversos tipos de combustíveis e tecnologias, contabilizando os custos energéticos de exploração, transporte e refinação de combustíveis fósseis e produção de energia elétrica, dados de 2012**

Veículo	Combustível	Consumo declarado L/100km	Consumo de energia final kWh/100km	Consumo de energia primária kWh/100km
Honda Civic i-dtec 1.6	Gasóleo	3,7	36,33	44,36
Honda Civic i-vtec 1.4	Gasolina	5,5	48,79	59,57
Honda Insight 1.4	Híbrido	4,4	39,03	47,65
Nissan Leaf	Eletricidade		15,00	24,45



**Figura 58 - Comparação entre os diversos tipos de combustíveis e tecnologias**

O veículo elétrico (Nissan Leaf) consome menos de metade da energia para percorrer 100 quilómetros que o veículo que mais se lhe aproxima em termos de consumo, o veículo a gasóleo (Honda Civic i-dtec). Noutros estudos, ocorrem resultados similares. A energia consumida por um veículo elétrico corresponde a cerca de um terço da energia consumida por um veículo movido a gasolina de peso e potência similar. (58).

Considerando os casos de menor consumo, tendo em conta o rendimento de conversão elétrica da Tabela 19, cerca de 63%, pode calcular-se o consumo em kgep (energia primária):

Conversão para kgep:

Rendimento global de transformação = 63 %

1 Kgep = 41868 kJ / 3600 kJ/kWh = 11,63 kWh

= 1 / 11,63 = 0,086 kgep / kWh<sub>EF</sub>

Coeficiente de conversão =  $0,086 \text{ (kgep / kWh}_{EP}) / 0,63 \text{ (kWh}_{EF} / kWh_{EP}) = 0,137 \text{ kgep / kWh}_{EF}$  (Conforme figura no Despacho nº17313/2008 de 26 de Junho):

❖ Nissan Leaf

- ◆ Consumo: 15 kWh /100 km
- ◆  $0,086 \text{ kgep} \times 15 \text{ kWh}_{EF} / 100 \text{ km} = 1,29 \text{ kgep} / 100 \text{ km}$  - energia final
- ◆  $0,136 \text{ kgep} \times 15 \text{ kWh}_{EF} / 100 \text{ km} = 2,04 \text{ kgep} / 100 \text{ km}$  - energia primária

Para combustíveis líquidos é necessário recorrer a outros cálculos.

❖ Honda Civic i-Dtec

- PCI diesel – 42,8 MJ/kg (Conforme Tabela 5)
- Rendimento da transformação do petróleo (utilizando dados deste estudo) – 81,88%
- $1 \text{ kgep} - 41868 \text{ kJ} = 10\,000 \text{ Kcal} = 11,63 \text{ kWh}$
- Consumo – 3,7 L/100
- Conversão de massa para volume =  $42,8 \text{ MJ/kg} \times 0,85 = 36,38 \text{ MJ/L}$  (Tabela 5)
- Consumo específico =  $3,7 \text{ L/100} \times 36,38 \text{ MJ/L} / 0,82 \times 36,38 = 3,936 \text{ kgep/100km}$  - energia primária

Pode também calcular-se o valor correspondente, tendo em conta o conceito de consumo marginal correspondente ao rendimento elétrico de 40%, conforme Despacho nº17313/2008 de 26 de Junho:

Conversão para kgep:

Rendimento global de transformação = 40 %

$1 \text{ Kgep} = 41868 \text{ kJ} / 3600 \text{ kJ/kWh} = 11,63 \text{ kWh}$

$= 1 / 11,63 = 0,086 \text{ kgep} / kWh_{EF}$

Coeficiente de conversão =  $0,086 \text{ (kgep / kWh}_{EP}) / 0,4 \text{ (kWh}_{EF} / kWh_{EP}) = 0,215 \text{ kgep / kWh}_{EF}$  (conforme Despacho nº17313/2008 de 26 de Junho)

❖ Nissan Leaf

- ◆ Consumo: 15 kWh /100 km
- ◆  $0,086 \text{ kgep} \times 15 \text{ kWh}_{EF} / 100 \text{ km} = 1,29 \text{ kgep} / 100 \text{ km}$  energia primária
- ◆  $0,215 \text{ kgep} \times 15 \text{ kWh}_{EF} / 100 \text{ km} = 3,23 \text{ kgep} / 100 \text{ km}$  energia final

No caso dos veículos movidos a combustíveis fósseis não se consegue obter a energia final sem o custo da energia primária, pois não é possível dissociar do sistema todas as transformações necessárias à obtenção do combustível.

Considera-se que o conceito de consumo marginal é demasiado penalizador pois assume que seria sempre a central electroprodutora de pior rendimento a produzir eletricidade, o que não corresponde à realidade em causa.

Quanto maior for a potência dos veículos, mais favorável se torna o cenário para o veículo elétrico. Por exemplo, considerando dois veículos desportivos com cerca de 200 kW de potência, obtêm-se os resultados expressos na Tabela 22.

**Tabela 22 - Comparação de veículos desportivos contabilizando os custos energéticos de exploração, transporte e refinação de combustíveis fósseis e produção de energia elétrica, dados de 2012**

Veículo	Combustível	Consumo declarado L/100km	Consumo energia final kWh/100km	Consumo energia primária kWh/100km
Tesla Roadster	Eletricidade		13,30	21,68
Bmw Z3 35i	Gasolina	9,4	83,38	101,80

O veículo elétrico, além de ter potência superior e maior binário que o veículo com motor de combustão interna, tem um consumo energético muito inferior tanto no deslocamento, como em termos de energia primária (59), (60).

Neste caso, da comparação entre os dois veículos elétricos conclui-se que o veículo mais potente consegue, para o mesmo percurso, melhor consumo que o menos potente, ou seja, o Tesla Roadster consegue ser mais eficiente que o Nissan Leaf, devido ao seu menor peso e melhor aerodinâmica.

O CO<sub>2</sub> emitido através do escape pelos diferentes veículos (não incluindo o CO<sub>2</sub> correspondente às fases anteriores à chegada do combustível à bomba de abastecimento) tendo em conta o mix energético no ano de 2012 e as emissões atribuídas na tabela 15 com dados da ERSE, pode ser observado na Figura 59.

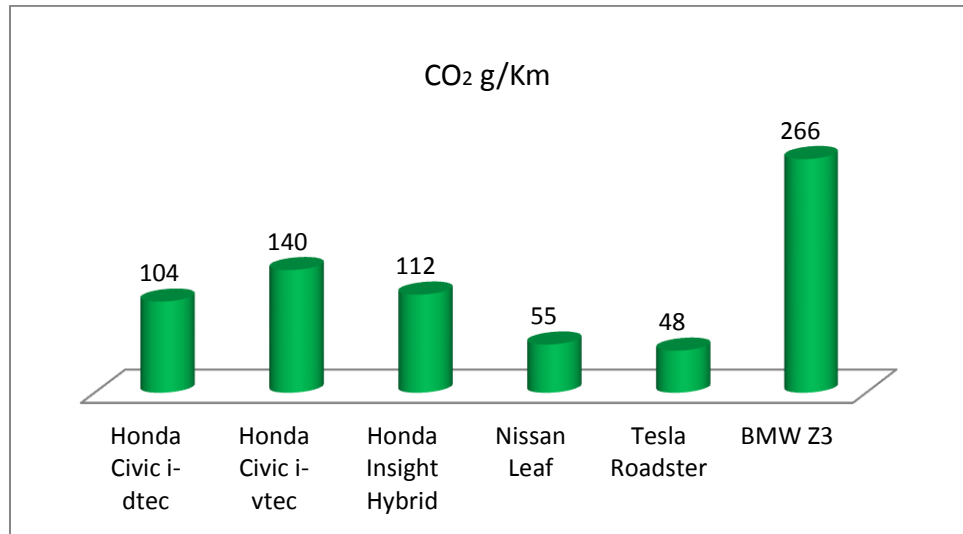


Figura 59 - Emissões de CO<sub>2</sub> dos veículos em análise

Mesmo tendo em conta que a produção de eletricidade em 2012 implicou emissões de CO<sub>2</sub> elevadas, pois foi um ano atípico devido às condições climatéricas menos adequadas à produção de eletricidade baseada em fontes renováveis, o que conduziu à forte utilização de carvão na sua produção, os veículos elétricos destacam-se pelas menores emissões de CO<sub>2</sub>.



## 8. Conclusão

A indústria automóvel continua muito focada nas motorizações a gasolina e a gasóleo. Com a degradação da qualidade do meio ambiente, nomeadamente a poluição nos grandes centros urbanos, as alterações climáticas e também as limitações na disponibilidade dos combustíveis fósseis, procuram-se tecnologias com menor impacte nos recursos energéticos e menores emissões para a atmosfera.

Embora subsistam limitações à utilização de veículos elétricos como a autonomia e o tempo de recarga das baterias, estes são encarados cada vez mais como uma alternativa interessante e até uma opção para segundo carro da família, em percursos diários de casa para o trabalho e vice-versa.

O presente trabalho confirmou, como expectável, a importância dos veículos elétricos na diminuição do consumo de recursos energéticos primários, em particular de combustíveis fósseis, e consequente redução das emissões de CO<sub>2</sub> e de outros poluentes.

O *software* desenvolvido – MIX, com base nos dados disponibilizados pela REN, permite selecionar e calcular dados referentes a múltiplas possibilidades de valores limite na utilização de fontes energéticas e também saber rapidamente qual o custo energético da energia final em termos de energia primária. Permite igualmente a obtenção e tratamento de dados referentes às emissões de CO<sub>2</sub>.

A utilização de 2012 (ano mais atual de que então se dispunham dados) como ano de referência para os cálculos, corresponde a um cenário específico, algo diferente da realidade atual. De facto, tratou-se de um ano de seca extrema, com reduzida utilização da energia hídrica, tornando-o um ano atipicamente dependente de energia importada, nomeadamente eletricidade e combustíveis fósseis como o carvão e o gás natural. Mesmo assim, apesar de condições mais desfavoráveis é notória a vantagem dos veículos com motorizações elétricas em relação aos veículos com motorizações de combustão interna, tanto no consumo energético como nas emissões de dióxido de carbono.

O setor dos transportes continuará a expandir-se nas próximas décadas ainda muito assente no aumento do parque automóvel de combustão interna. Esta situação acentua a relevância das questões de mobilidade sustentável e do interesse crescente pelos veículos elétricos. Comparativamente ao veículo de combustão interna, o veículo elétrico tem um preço de aquisição ainda um pouco elevado, desvantagem que acresce à ainda limitada autonomia e ao tempo necessário para a recarga das baterias.

No presente trabalho desenvolveu-se, através do tratamento adequado da informação disponível e de cálculo expedito, um processo que permite determinar o consumo de um veículo elétrico em termos de energia primária necessária e as correspondentes emissões de CO<sub>2</sub>. Permite ainda a comparação entre veículos com diferentes motorizações, nomeadamente de combustão interna.

Com o presente trabalho, pretendeu contribuir-se para o aumento de mobilidade sustentável através da divulgação e disseminação de informação relativa a aspetos energéticos associados às alternativas existentes.

## Bibliografia

1. **Agência Europeia do Ambiente.** <http://www.eea.europa.eu>. [Online] 2012. [Citação: 22 de 08 de 2014.] <http://www.eea.europa.eu/pt/pressroom/newsreleases/poluicao-proveniente-do-trafego-continua>.
2. **Ricardo Faria, Pedro Moura, Joaquim Delgado, Anibal T. de Almeida.** Elsevier, A sustainability assessment of electric vehicles as a personal mobility system. [Online] 2012. [http://www2.isr.uc.pt/~carlospatrao/VE/A\\_sustainability\\_assessment\\_of\\_EVs.pdf](http://www2.isr.uc.pt/~carlospatrao/VE/A_sustainability_assessment_of_EVs.pdf).
3. **U.S. Department of Energy.** Fuel economy: where the energy goes. [www.fueleconomy.gov](http://www.fueleconomy.gov). [Online] 2008. <http://www.fueleconomy.gov/feg/atv.shtml>.
4. **Mehrdad Ehsani, Yimin Gao, Ali Emadi.** *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design*. USA : CRC Press, 2009.
5. **Keating, Bernie.** *A Romp Thru Science*. Berkeley : <http://books.google.pt/>, 2012.
6. **UNECE.** <http://www.unece.org>. [Online] 21 de 08 de 2013. <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2013/R085r1e.pdf>.
7. **Honda.** World.honda. <http://world.honda.com>. [Online] 02 de 10 de 2013. <http://world.honda.com/automobile-technology/IMA/detail/>.
8. **Toyota.** [www.toyota.pt](http://www.toyota.pt). [Online] 2013. [http://www.toyota.pt/cars/new\\_cars/prius-plugin/index.tmex](http://www.toyota.pt/cars/new_cars/prius-plugin/index.tmex).
9. **Comissão Europeia.** Livro Branco dos Transportes. [Online] 28 de 03 de 2011. [Citação: 16 de 04 de 2014.] <http://lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0144:FIN:PT:PDF>.
10. **International Energy Agency, Global EV Outlook.** Understanding the Electric Vehicle Landscape to 2020. [www.iea.org](http://www.iea.org). [Online] 04 de 2013. [http://www.iea.org/topics/transport/electricvehiclesinitiative/EVI\\_GEO\\_2013\\_FullReport.pdf](http://www.iea.org/topics/transport/electricvehiclesinitiative/EVI_GEO_2013_FullReport.pdf).
11. **Ipsos Apeme.** Apresentação sobre perceções e expectativas no uso de veículo elétrico. <http://www.mobil3e.com/>. [Online] 12 de 2012. [Citação: 29 de 03 de 2014.] [http://www.mobil3e.com/assets/uploads/Estudo\\_sobre\\_Autom%C3%B3vel\\_El%C3%A9trico\\_Fase\\_Quantitativa3.pdf](http://www.mobil3e.com/assets/uploads/Estudo_sobre_Autom%C3%B3vel_El%C3%A9trico_Fase_Quantitativa3.pdf).
12. **Kammen, Daniel M.** The Rise of Renewable Energy. [Online] 09 de 2006. <https://rael.berkeley.edu/sites/default/files/Kammen%202006-%20The%20Rise%20of%20Renewable%20Energy.pdf>.

13. **Ford.** <http://www.ford.com>. [Online] 2014. [Citação: 04 de 03 de 2014.]  
<http://www.ford.com/cars/focus/gallery/photos/electric>.
14. **Nissan.** [www.nissan.pt](http://www.nissan.pt). [Online] 2014. [Citação: 04 de 03 de 2014.]  
<http://www.nissan.pt/PT/pt/vehicle/electric-vehicles/leaf.html>.
15. **Valorcar.** Guia de gestão de baterias de veículos usadas. [www.valorcar.pt](http://www.valorcar.pt). [Online] 2012. [Citação: 29 de 03 de 2014.]  
<http://www.valorcar.pt/core/components/manageLibFiles/uploads/D/GuiaBVU.pdf>.
16. **Battery University.** <http://batteryuniversity.com>. [Online] 2010. [Citação: 12 de 05 de 2014.] [http://batteryuniversity.com/learn/article/types\\_of\\_lithium\\_ion](http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion).
17. **European Commission, Impact of Electric Vehicles.** <http://ec.europa.eu/>. [Online] 04 de 2011. [Citação: 04 de 03 de 2014.]  
[http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/docs/summary\\_report\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/docs/summary_report_en.pdf).
18. **Mobi.e.** [www.mobie.pt](http://www.mobie.pt). [Online] 2013. [Citação: 13 de 05 de 2014.]  
<http://www.mobie.pt/a-rede-mobie>.
19. **Reis, Luis.** Modelo e sistema de carregamento para veículos elétricos em Portugal. <http://www.imtt.pt>. [Online] 08 de 03 de 2010. [Citação: 17 de 07 de 2014.]  
[http://www.imtt.pt/sites/imtt/portugues/noticias/documents/semin%C3%A1rio%2008%20mar%C3%A7o%202010-%20pdfs/luis\\_reis.pdf](http://www.imtt.pt/sites/imtt/portugues/noticias/documents/semin%C3%A1rio%2008%20mar%C3%A7o%202010-%20pdfs/luis_reis.pdf).
20. **ADENE.** <http://www.empreender.aip.pt>. [Online] 2010. [Citação: 10 de 08 de 2014.]  
[http://www.empreender.aip.pt/irj/go/km/docs/site-manager/www\\_empreender\\_aip\\_pt/conteudos/pt/centrodocumentacao/Centro%20de%20Documenta%C3%A7%C3%A3o/Apresenta%C3%A7%C3%B5es%20dos%20Workshops%202010/6%C2%BA%20Workshop%20-%20Sector%20da%20Energia!/6%C2%BA%20](http://www.empreender.aip.pt/irj/go/km/docs/site-manager/www_empreender_aip_pt/conteudos/pt/centrodocumentacao/Centro%20de%20Documenta%C3%A7%C3%A3o/Apresenta%C3%A7%C3%B5es%20dos%20Workshops%202010/6%C2%BA%20Workshop%20-%20Sector%20da%20Energia!/6%C2%BA%20).
21. **Assembleia da República, Comissão de Assuntos Europeus.** Proposta de Diretiva do Parlamento Europeu e do Conselho relativa à criação de uma infraestrutura para combustíveis alternativos. [Online] 2013. [Citação: 02 de 03 de 2014.]  
[http://ec.europa.eu/dgs/secretariat\\_general/reasons/reasons\\_other/npo/docs/portugal/2013/com20130018/com20130018\\_assembleia\\_opinion\\_pt.pdf](http://ec.europa.eu/dgs/secretariat_general/reasons/reasons_other/npo/docs/portugal/2013/com20130018/com20130018_assembleia_opinion_pt.pdf).
22. **Direção Geral de Energia e Geologia.** Caracterização energética nacional. [Online] 23 de 11 de 2013. [www.dgeg.pt](http://www.dgeg.pt).
23. **Eurostat.** Consumption of energy. [epp.eurostat.ec.europa.eu](http://epp.eurostat.ec.europa.eu). [Online] 23 de 11 de 2013.  
[http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics\\_explained/index.php/Consumption\\_of\\_energy](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Consumption_of_energy).

24. "D.R. II Série", 122 27912 - 27913. **Despacho nº17313/2008**. 26 de Junho de 2008.
25. **GALP - Gás natural**. www.galpennergia.com. [Online] 2010.  
<http://www.galpennergia.com/PT/ProdutosServicos/GasNatural/Distribuicao/Vantagens/Paginas/O-que-e-gas-natural.aspx>.
26. **Hall, Charles A. S.** Energy return on investment. [Online] 2012. [http://energy-reality.org/wp-content/uploads/2013/05/09\\_Energy-Return-on-Investment\\_R1\\_012913.pdf](http://energy-reality.org/wp-content/uploads/2013/05/09_Energy-Return-on-Investment_R1_012913.pdf).
27. **Jessica Lambert, Charles Hall, Steve Balogh, Alex Poisson and Ajay Gupta.** EROI of global energy resources. [Online] 02 de 11 de 2012.  
[http://www.roboticscaucus.org/ENERGYPOLICYCMTEMTGS/Nov2012AGENDA/documents/DFID\\_Report1\\_2012\\_11\\_04-2.pdf](http://www.roboticscaucus.org/ENERGYPOLICYCMTEMTGS/Nov2012AGENDA/documents/DFID_Report1_2012_11_04-2.pdf).
28. **Quanlu Wang, Mark A. Delucchi.** Impacts of electric vehicles on primary energy consumption and petroleum displacement. [Online] 01 de 1991. [Citação: 17 de 07 de 2014.]  
<http://www.uctc.net/papers/006.pdf>.
29. **World Coal Organization.** www.worldcoal.org. [Online] n.d. [Citação: 27 de 02 de 2014.] <http://www.worldcoal.org/coal/what-is-coal/>.
30. **Carborobot.** The Coal. [Online] 2012. [Citação: 29 de 03 de 2014.]  
<http://www.carborobot.hu/EN/Szen%20EN.htm>.
31. **International Energy Agency, Coal Industry Advisory Board.** IEA. www.iea.org. [Online] 2010.  
[http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/power\\_generation\\_from\\_coal.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/power_generation_from_coal.pdf).
32. **BP.** BP Energy Outlook 2035. <http://www.bp.com>. [Online] 2014. [Citação: 27 de 06 de 2014.] [http://www.bp.com/pt\\_br/brazil/sala-de-imprensa/noticias/press-release--outlook-2035.html](http://www.bp.com/pt_br/brazil/sala-de-imprensa/noticias/press-release--outlook-2035.html).
33. **World Energy Council - Desenvolvimento energético global sustentável.**  
<http://www.worldenergy.org>. [Online] 06 de 2004.  
[http://www.worldenergy.org/documents/carvo\\_desenvolvimento\\_energtico.pdf](http://www.worldenergy.org/documents/carvo_desenvolvimento_energtico.pdf).
34. **GALP - Extração e processamento.** www.galpennergia.com. [Online] 28 de 03 de 2013. <http://www.galpennergia.com/PT/agalpennergia/os-nossos-negocios/Exploracao-Producao/fundamentos-engenharia-petroleo/Paginas/Extracao-e-processamento.aspx>.
35. **Simon Mui, Luke Tonachel, Bobby McEnaney, Elizabeth Shope.** GHG Emission Factors for High Carbon . [Online] 09 de 2010. [Citação: 16 de 04 de 2014.]  
[http://docs.nrdc.org/energy/files/ene\\_10070101a.pdf](http://docs.nrdc.org/energy/files/ene_10070101a.pdf).

36. **Quercos.** Areias betuminosas ameaçam política europeia de alterações climáticas e transportes. *www.quercus.pt*. [Online] 2011. [Citação: 16 de 04 de 2014.]  
<http://www.quercus.pt/comunicados/2012/fevereiro/134-areias-betuminosas-ameacam-politica-europeia-de-alteracoes-climaticas-e-transportes>.
37. **GALP - Refinação e distribuição.** *www.galpennergia.com*. [Online] 03 de 04 de 2013. <http://www.galpennergia.com/PT/agalpennergia/os-nossos-negocios/Refinacao-Distribuicao/Paginas/Home.aspx>.
38. **ERSE.** Caracterização do sector do gás natural em Portugal. [Online] 12 de 2003. [http://www.erse.pt/pt/consultaspublicas/historico/Documents/CP\\_06/06\\_1/Caracterizacao\\_g%C3%A1s\\_natural\\_290104.pdf](http://www.erse.pt/pt/consultaspublicas/historico/Documents/CP_06/06_1/Caracterizacao_g%C3%A1s_natural_290104.pdf).
39. **REN, Gás Natural.** O setor do gás natural. [Online] 2013. [http://www.ren.pt/o\\_que\\_fazemos/gas\\_natural/o\\_setor\\_do\\_gas\\_natural/#1](http://www.ren.pt/o_que_fazemos/gas_natural/o_setor_do_gas_natural/#1).
40. **GALP - Relatório de contas 2012.** *www.galpennergia.com*. [Online] 2012. [http://www.galpennergia.com/PT/investidor/Relatorios-e-resultados/relatorios-anuais/Documents/Relatorio\\_contas\\_2012.pdf](http://www.galpennergia.com/PT/investidor/Relatorios-e-resultados/relatorios-anuais/Documents/Relatorio_contas_2012.pdf).
41. **GALP - Projeto conversão refinarias.** *www.galpennergia.com*. [Online] 02 de 04 de 2013. <http://www.galpennergia.com/PT/investidor/Estrategia/PrincipaisProjectos/Conversao-refinarias/Paginas/Projecto-de-conversao-refinarias-Portugal.aspx>.
42. **Galpennergia.** Melhorar a competitividade do aparelho refinador. [Online] 01 de 2007. [Citação: 05 de 01 de 2014.]  
<http://www.galpennergia.com/PT/investidor/Noticias/Documents/2007/Conversvpt.pdf>.
43. **ECOEDP.** ecoedp. <http://www.eco.edp.pt>. [Online] 23 de 11 de 2013. [http://www.eco.edp.pt/component/option,com\\_glossary/id,36/](http://www.eco.edp.pt/component/option,com_glossary/id,36/).
44. **REN - Relatório de contas 2012.** *www.ren.pt*. [Online] 2013. <http://relatorioecontas2012.ren.pt/#/ren-num-relance/paginas/25-principais-indicadores-de-desempenho/252-indicadores-tecnicos-eletricidade/>.
45. **EDP - A nossa energia.** <http://www.a-nossa-energia.edp.pt>. [Online] 2013. [http://www.a-nossa-energia.edp.pt/centros\\_produtores/info\\_tecnica.php?item\\_id=76&cp\\_type=te&section\\_type=info\\_tecnica](http://www.a-nossa-energia.edp.pt/centros_produtores/info_tecnica.php?item_id=76&cp_type=te&section_type=info_tecnica).
46. **EDP - Central Termoelétrica de Sines, declaração ambiental.** <http://www.a-nossa-energia.edp.pt>. [Online] 2012. [http://www.a-nossa-energia.edp.pt/pdf/desempenho\\_ambiental/da\\_76\\_2012\\_cen\\_term.pdf](http://www.a-nossa-energia.edp.pt/pdf/desempenho_ambiental/da_76_2012_cen_term.pdf).

47. **EDP - Central Termoelétrica do Ribatejo, declaração ambiental.** <http://www.a-nossa-energia.edp.pt>. [Online] 2012. [http://www.a-nossa-energia.edp.pt/pdf/desempenho\\_ambiental/da\\_73\\_2012\\_cen\\_term.pdf](http://www.a-nossa-energia.edp.pt/pdf/desempenho_ambiental/da_73_2012_cen_term.pdf).
48. **International Energy Agency.** Energy Statistics Manual. <http://www.iea.org>. [Online] 2005. [Citação: 29 de 03 de 2014.] [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/statistics\\_manual.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/statistics_manual.pdf).
49. **REN.** Dados técnicos 2012. [Online] 2013. [http://www.ren.pt/files/2013-05/2013-05-23162325\\_f7664ca7-3a1a-4b25-9f46-2056eef44c33\\$72f445d4-8e31-416a-bd01-d7b980134d0f\\$see3c56e5-6d14-4aa0-ac1f-ca5006917e03\\$\\$storage\\_image\\$\\$pt\\$\\$1.pdf](http://www.ren.pt/files/2013-05/2013-05-23162325_f7664ca7-3a1a-4b25-9f46-2056eef44c33$72f445d4-8e31-416a-bd01-d7b980134d0f$see3c56e5-6d14-4aa0-ac1f-ca5006917e03$$storage_image$$pt$$1.pdf).
50. **REN.** Dados tecnicos eletricidade. [Online] 2012. [Citação: 05 de 01 de 2014.] <http://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/InformacaoTecnica/DadosTecnicos/REN%20Eletricidade%20-%20Dados%20T%C3%A9cnicos%202012.pdf>.
51. **Dinheiro vivo.** <http://www.dinheirovivo.pt>. [Online] 16 de 02 de 2013. <http://www.dinheirovivo.pt/Empresas/Artigo/CIECO101614.html>.
52. **World Nuclear Association.** Energy Analysis of Power Systems. <http://www.world-nuclear.org/>. [Online] 12 de 2013. <http://www.world-nuclear.org/info/Energy-and-Environment/Energy-Analysis-of-Power-Systems/>.
53. **APPA, Asociación de Empresas de Energías Renovables.** <http://www.appa.es>. [Online] 2013. [Citação: 02 de 05 de 2014.] <http://www.appa.es/01energias/07primaria.php>.
54. **REN, O setor elétrico.** O que fazemos. [Online] REN. [Citação: 06 de 06 de 2014.] [http://www.ren.pt/o\\_que\\_fazemos/eletricidade/o\\_setor\\_eletrico/](http://www.ren.pt/o_que_fazemos/eletricidade/o_setor_eletrico/).
55. **REN, Centro de informação.** Centro de informação. [Online] REN, 2014. [Citação: 06 de 06 de 2014.] <http://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/Paginas/CIHomePage.aspx>.
56. **G.V. Marcelino, S. Ludovino.** DÉCIMO TERCER ENCUESTRO REGIONAL IBEROAMERICANO DE CIGRÉ , Comité de Estudio C6 - Sistemas de Distribución y Generación Dispersa . [Online] 28 de 05 de 2009. [Citação: 24 de 05 de 2014.] <http://www.voltimum.pt/files/pt/others/K/2009111319142009111347591585.pdf>.
57. **ERSE.** Recomendação nº2/2011, Rotulagem de energia elétrica. [Online] 12 de 2011. [Citação: 08 de 03 de 2014.] [http://www.erse.pt/pt/desempenhoambiental/rotulagemenergetica/documentacao/Documents/Recomendacao%20\\_2011%20Rotulagem.pdf](http://www.erse.pt/pt/desempenhoambiental/rotulagemenergetica/documentacao/Documents/Recomendacao%20_2011%20Rotulagem.pdf).

58. **Demirel, Yasar.** Energy: Production, Conversion, Storage, Conservation, and Coupling. *http://www.springer.com.* [Online] 2012. <http://www.springer.com/978-1-4471-2371-2>.
59. **REN, Relatório de contas 2013.** *http://www.ren.pt/media/comunicados/.* [Online] 09 de 09 de 2014. [Citação: 06 de 10 de 2014.] <http://relatorioecontas2013.ren.pt/relatorio-de-gestao/paginas/31-envolvente/313-envolvente-setorial/>.
60. **Margarita Mediavilla, Carlos de Castro, Inigo Capellán, Luis Javier Miguel, Iñaki Arto, Fernando Frechoso.** Energy Policy. [Online] 10 de 11 de 2012. [Citação: 13 de 03 de 2014.] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421512008087>.
61. **BMW.** *http://www.bmw.pt/.* [Online] 2014. [Citação: 01 de 04 de 2014.] [http://www.bmw.pt/pt/newvehicles/z4/roadster/2013/showroom/technical\\_data/index.html](http://www.bmw.pt/pt/newvehicles/z4/roadster/2013/showroom/technical_data/index.html).
62. **Tesla motors.** *http://www.teslamotors.com/.* [Online] 2014. [Citação: 01 de 04 de 2014.] [http://www.teslamotors.com/en\\_EU/roadster/specs](http://www.teslamotors.com/en_EU/roadster/specs).
63. **Ajay K. Gupta, Charles A.S. Hall.** Sustainability. [Online] 2011. [www.mdpi.com/journal/sustainability](http://www.mdpi.com/journal/sustainability).
64. **EDP - Energia renováveis.** *www.edp.pt.* [Online] 2012. [http://www.edp.pt/pt/sustentabilidade/ambiente/energiasrenovaveis/Pages/energias\\_renovaveis.aspx](http://www.edp.pt/pt/sustentabilidade/ambiente/energiasrenovaveis/Pages/energias_renovaveis.aspx).
65. **Ahman, Max.** Primary energy efficiency of alternative powertrains in vehicles. *www.elsevier.com/locate/energy.* [Online] 23 de 06 de 2000. [http://www.dimec.unisa.it/leonardo\\_new/doc/Primary\\_Energy\\_Efficiency\\_of\\_Alternative\\_Powertrain\\_in\\_Vehicles.pdf](http://www.dimec.unisa.it/leonardo_new/doc/Primary_Energy_Efficiency_of_Alternative_Powertrain_in_Vehicles.pdf).
66. **Andrew Livesey, Alan Robinson.** The history, development and construction of the car body. *v5.books.elsevier.com.* [Online] 30 de 11 de 2006. <http://v5.books.elsevier.com/bookscat/samples/9780750667531/9780750667531.pdf>.
67. **Bridgestone.** *www.bridgestone.pt.* [Online] 2013. <http://www.bridgestone.pt/corporativo/bridgestone/meio-ambiente-and-seguranca>.
68. **RTP.** Relançado debate sobre energia nuclear em Portugal. [Online] 16 de 06 de 2008. <http://www.rtp.pt/noticias/index.php?article=96223&tm=6&layout=121&visual=49>.
69. **Yongsheng Liu, Chun-Chao Chen, Ziruo Hong, Jing Gao, Yang (Michael) Yang, Huanping Zhou, Letian Dou, Gang Li, & Yang Yang.** Solution-processed small-molecule solar. [Online] 28 de 11 de 2013. [Citação: 28 de 02 de 2014.] <http://www.nature.com/srep/2013/131128/srep03356/pdf/srep03356.pdf>.

70. **Green Car Congress.** Energy, technologies, issues and policies for sustainable mobility. [*Online*] 2005. [Citação: 08 de 03 de 2014.]

[http://www.greencarcongress.com/2005/02/doe\\_cofunds\\_12\\_.html](http://www.greencarcongress.com/2005/02/doe_cofunds_12_.html).