

Impacto dos veículos elétricos nos diagramas de carga até 2030

NUNO FONSECA PRÍNCIPE DOS SANTOS

Julho de 2017

IMPACTO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS NOS DIAGRAMAS DE CARGA ATÉ 2030

NUNO FONSECA PRÍNCIPE DOS SANTOS



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2017

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de DSEE -
Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

Candidato: Nuno Fonseca Príncipe dos Santos, Nº 1090334, 1090334@isep.ipp.pt

Orientação científica: Teresa Alexandra Nogueira, tan@isep.ipp.pt

Supervisão: Eng. Nuno Gomes, nbg@isep.ipp.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2017

Agradecimentos

Ao realizar a presente dissertação, foram inúmeras as pessoas que contribuíram com o seu apoio, de forma direta ou indireta. Neste sentido, aproveitarei este espaço para demonstrar o meu profundo agradecimento.

Gostaria de expressar o meu agradecimento ao orientador desta dissertação o Engenheiro Nuno Gomes, pela sua disponibilidade, capacidade de orientar e pela criação de desafios que contribuíram para uma melhoria relevante da dissertação.

Não posso deixar de agradecer também à minha família, amigos e namorada que foram imprescindíveis no apoio prestado em momentos mais difíceis.

Por fim gostaria de demonstrar a minha gratidão, mais uma vez, às pessoas em cima mencionadas e aqueles, também, que de forma indireta possam ter influenciado positivamente o desenvolvimento da presente dissertação.

Resumo

Ao longo da última década a União Europeia tem realizado esforços no âmbito de uma política energética mais limpa e eficiente. Um dos setores de atuação que é envolvido por essa política é o setor dos transportes.

De forma a mitigar os impactos referentes à dependência energética tem existido uma forte aposta no setor automóvel, mais concretamente nos *Plug-in Electric Vehicles*. Assim, Portugal encontra-se, em conjunto com os demais Estados Membros, a reunir forças para a eletrificação do setor dos transportes, tentando criar, ainda, um *benchmark* desfavorável aos veículos de combustão interna. É o estudo referente ao impacto do consumo de energia associado ao pico de consumo de eletricidade que a presente dissertação trata.

Neste sentido, será realizado um estudo com o intuito de avaliar o impacto acima descrito, em Portugal e nas regiões que durante o estudo se verificaram as mais relevantes, tais como: Aveiro, Braga, Leiria, Lisboa, Porto e Faro. Assim, foi desenvolvida uma proposta de solução a curto-prazo que pretende minimizar esse impacto. Esta solução baseia-se na implementação de uma estratégia *Demand Response* que, através de tarifas dinâmicas, pretende aliviar o consumo de energia elétrica nas horas de pico, favorecendo o carregamento dos VEs nas horas de menor consumo.

De forma a implementar esta estratégia, houve a necessidade de desenvolver vários estudos que possibilitem calcular o impacto em cima descrito. De forma sucinta estes estudos dividem-se em cinco grupos:

- Cálculo da previsão da mobilidade elétrica em Portugal e nas regiões mais relevantes até 2030;
- Cálculo da previsão dos diagramas de carga até 2030;
- Cálculo do consumo de energia elétrica associado à utilização dos VEs;

- Aplicação de uma estratégia *Demand Response* no carregamento dos VEs de forma a não dilatar o pico de consumo de eletricidade e comparação da mesma com um carregamento sem qualquer gestão;
- Desenvolvimento de uma aplicação informática que permita, de uma forma simples e interativa, demonstrar ao utilizador o impacto produzido pelos VEs segundo diferentes cenários.

Neste sentido, e tendo em conta a penetração de VEs no mercado automóvel, num futuro próximo, é expectável que os diagramas de carga do consumo de eletricidade se alterem, produzindo um tal impacto no pico de consumo que possa por em causa a capacidade e qualidade da distribuição de energia elétrica. Trata-se então de criar uma solução que reduza a probabilidade de sobrecarga na rede elétrica, minimizando esse pico. Esta alteração pode produzir um impacto tanto maior quanto menor for a gestão do carregamento dos veículos elétricos.

A aplicação informática, desenvolvida no presente estudo, pretende demonstrar segundo uma gama de cenários o impacto do consumo de eletricidade associada aos VEs no pico de consumo dos diagramas de carga.

Palavras-Chave

Veículo Elétrico, Previsão da Mobilidade Elétrica, Diagramas de Carga, Consumo dos Veículos Elétricos.

Abstract

Over the past decade, the European Union has been working towards a clean and efficient energy policy, being the transportation one of the main sectors of intervention.

In order to mitigate the impact related to energy dependence, the automotive sector has been strongly explored, especially in what concerns to Plug-in electric vehicles. To accomplish this, Portugal, along with the other Member States, is setting the appropriate conditions to implement the electrification of the transportation sector, while it is also trying to create an unfavorable benchmark of the vehicles with an internal combustion engine. The target of this study is to evaluate the impact of the electricity consumption associated to the EV's on the peak consumption of load diagrams until 2030.

In that way, a study will be made with the aim of evaluate the impact mentioned above, in Portugal and in the regions that during the study were considered to be the most relevant, namely Aveiro, Braga, Leiria, Lisboa, Porto and Faro. Thus, it was developed one proposed solution in short-term that intends to understate that impact. This solution is based on the implementation of a Demand Response strategy, that, through dynamic rates, intends to ease the consumption of electrical energy in the peak load, charging the EV's on the lowest consumption hours.

The implementation of that strategy required several studies that allowed to calculate the impact described above. Those studies were divided in five clusters:

- *Estimation of the evolution of the electrical mobility in Portugal and in the most relevant regions until 2030;*
- *Estimation of the evolution of electrical consumption load diagrams until 2030;*
- *Calculation of the electrical energy consumption associated to the use of EV's;*
- *The use of a Demand Response strategy on the EV's charging to decrease the expansion level of the electricity consumption peak. Additionally, was evaluated the difference of using a strategy without energy management;*

- *The development of an informatic application which has the goal to calculate the impact, above described, produced by the EV's using different scenarios.*

As follows and with the penetration of EV's on the automotive market, in the foreseeable future, it is expectable the change of the electricity consumption producing such an impact on the consumption peak that cause a decrease of the distribution grid reliability, as well as its quality. The goal is to create a solution which decrease the overload probability on the grid, relieving that peak. This change can produce an impact as greater the smaller the EV's charging management is.

The informatic application developed on the present study intends to show, according to a range of scenarios, the impact of the electricity consumption associated to the EV's on the peak consumption of load diagrams.

Keywords

Electrical Vehicles, Prediction of electrical mobility, Load diagrams, Electrical Vehicles consumption

Índice

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO.....	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABELAS.....	XI
ACRÓNIMOS.....	XIII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E MOTIVAÇÃO	3
1.2 OBJETIVOS	3
1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	4
2 ESTADO DA ARTE	5
2.1 SETOR ENERGÉTICO EUROPEU E NACIONAL.....	5
2.1.1 <i>Produção e importação de Energia</i>	5
2.1.2 <i>Consumo de Energia</i>	8
2.1.3 <i>Pacote Energia-Clima ou pacote “20-20-20”</i>	10
2.2 VEÍCULOS ELÉTRICOS	10
2.2.1 <i>História dos Veículos Elétricos</i>	10
2.2.2 <i>O papel dos veículos elétricos</i>	11
2.2.3 <i>Configurações dos veículos elétricos</i>	11
2.2.4 <i>Impactos dos Veículos Elétricos</i>	13
2.2.5 <i>Demand response</i>	18
2.2.6 <i>Impacto dos perfis de carregamento no pico de procura de energia</i>	20
2.2.7 <i>Forças que atuam nos veículos</i>	22
2.2.8 <i>Sistemas de carregamento</i>	25
3 CARACTERIZAÇÃO E PREVISÃO DO PARQUE AUTOMÓVEL E MOBILIDADE ELÉTRICA ATÉ 2030	28

3.1	SISTEMA ELÉTRICO NACIONAL	28
3.1.1	Consumo de energia elétrica por distrito.....	28
3.1.2	Caracterização do consumo de eletricidade nacional.....	29
3.1.3	Modelo de previsão dos diagramas de carga.....	32
3.2	CARACTERIZAÇÃO NACIONAL DO PARQUE AUTOMÓVEL	33
3.2.1	Vendas de automóveis.....	35
3.2.2	Distribuição do parque automóvel em Portugal.....	35
3.2.3	Modelo de previsão do parque automóvel.....	36
3.3	CARACTERIZAÇÃO NACIONAL DA MOBILIDADE ELÉTRICA	38
3.3.1	Distribuição da mobilidade elétrica em Portugal.....	40
3.3.2	Modelo de previsão da mobilidade elétrica nacional em 2030	41
4	ESTUDO DO IMPACTO DA ENERGIA ASSOCIADA AOS VES NO PICO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	48
4.1	ESTUDO DO CONSUMO ENERGIA ASSOCIADA A UM VEÍCULO ELÉTRICO	48
4.1.1	Percurso escolhido.....	48
4.1.2	Características do veículo elétrico	50
4.1.3	Cálculo do consumo.....	51
4.2	TIPOS DE CARREGAMENTO.....	53
4.2.1	Modelos de carregamento	53
4.2.2	Soluções de carregamento.....	57
4.2.3	Cálculo do impacto do carregamento dos PEVs nos diagramas de carga	62
4.3	PROGRAMA MATLAB	63
4.3.1	Descrição do programa.....	64
4.3.2	Programa 1 - Impacto VEs estudo	65
4.3.3	Programa 2 – Introduzir número de VEs.....	67
4.3.4	Algoritmo do programa	69
5	SIMULAÇÃO E DEMONSTRAÇÃO DE RESULTADOS	73
5.1	IMPACTO NACIONAL	74
5.2	IMPACTO REGIONAL.....	79
6	CONCLUSÕES	86
	REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS.....	88

Índice de Figuras

Figura 1 – Produção de energia primária, Fonte: PORTDATA	6
Figura 2 Evolução da produção de energia primária por origem UE-28	7
Figura 3 Evolução da importação de energia primária na UE-28 e UE-19	7
Figura 4 – Rácio da dependência energética – UE-28	8
Figura 5 – Consumo energético por setor consumidor	9
Figura 6 – Comparação do custo de aquisição/utilização/manutenção entre um VE e um VCI [33]	17
Figura 7 – Comparação de custo de produção entre um VCI e um VE [34]	17
Figura 8 - Forças que atuam num veículo [50]	23
Figura 9 – Distribuição da rede de carregamento [53]	26
Figura 10 – Dia de maior consumo (21.01.2015)	30
Figura 11 – Dia de ponta anual (07.01.2015)	30
Figura 12 – Dia típico Primavera (16.04.2015)	31
Figura 13 – Dia típico Verão (18.07.2015)	31
Figura 14 – Dia típico Outono (15.10.2015)	31
Figura 15 – Parque automóvel nacional [21]	34
Figura 16 – Taxa de crescimento do parque automóvel	34
Figura 17 – Vendas automóvel anual	35
Figura 18 – Evolução da mobilidade elétrica em Portugal	39

Figura 19 – Previsão dos PEVs até 2020 pelo INESC-TEC	42
Figura 20 – Número de PEVs até 2030 – INESC-TEC	43
Figura 21 – Evolução da mobilidade elétrica	44
Figura 22 – Resumo de cenários	47
Figura 23 – Percurso ISEP – Avenida conduta (Rio Tinto)	49
Figura 24 – Tempo de carregamento de veículos citadinos	56
Figura 25 – Tempo de carregamento de veículos de longo percurso	56
Figura 26 – Distribuição de carga diária do Dumb Charging	58
Figura 27 – Relação do preço da produção energética com a sua necessidade	60
Figura 28 – Distribuição de carga diária do Fill-Valley-Strategy	61
Figura 29 – Menu principal (MatLab)	65
Figura 30 – Exemplo do programa em funções (Programa 1)	67
Figura 31 – Exemplo do programa em funções (guide 3)	68
Figura 32 – Determinação do número de veículos elétricos	70
Figura 33 – Determinação do diagrama de carga	71

Índice de Tabelas

Tabela 1 Produção de energia primária (em milhões de tep)	5
Tabela 2 Consumo de energia primária	9
Tabela 3 – Tipologia de carregamento [53]	27
Tabela 4 – Casos possíveis de utilização de um VE [53]	27
Tabela 5 – Quota de consumo de energia por distrito	29
Tabela 6 – Distribuição do PA por distrito [57]	36
Tabela 7 – Matriz do parque automóvel nacional em função do ano	37
Tabela 8 – Matriz das vendas anuais em função do ano	38
Tabela 9 – Distribuição do Parque automóvel português por distrito em 2015	40
Tabela 10 – Número de veículos referente aos cenários	47
Tabela 11 – Características do percurso	50
Tabela 12 – Características do Nissan Leaf [60]	51
Tabela 13 – Informação sobre os modelos de carregamento	54
Tabela 14 – Consumo nacional em 2015 segundo diferentes perfis de carregamento	75
Tabela 15 - Consumo nacional em 2020 segundo diferentes perfis de carregamento	75
Tabela 16 - Consumo nacional em 2030 segundo diferentes perfis de carregamento	77
Tabela 17 – Resumo do consumo nacional com integração dos PEVs, segundo o cenário inferior (Estimativa de PEVs calculada)	78
Tabela 18 - Resumo do consumo nacional com integração dos PEVs, segundo o cenário superior (INESC-TEC)	79

Tabela 19 - Consumo de Aveiro em 2030 com a integração dos PEVs, segundo diferentes perfis de carregamento	80
Tabela 20 - Consumo de Braga em 2030 com a integração dos PEVs, segundo diferentes perfis de carregamento	80
Tabela 21 - Consumo de Leiria em 2030 com a integração dos PEVs, segundo diferentes perfis de carregamento	81
Tabela 22 - Consumo de Lisboa em 2030 com a integração dos PEVs, segundo diferentes perfis de carregamento	82
Tabela 23 - Consumo do Porto em 2030 com a integração dos PEVs, segundo diferentes perfis de carregamento	83
Tabela 24 - Consumo de Faro em 2030 com a integração dos PEVs, segundo diferentes perfis de carregamento	83
Tabela 25 - Resumo do consumo por distrito com integração dos PEVs	84

Acrónimos

ACAP	– Associação Automóvel de Portugal
CE	– Comissão Europeia
DBC	– <i>Dumb Charging</i>
EM	– Estados Membros
FER	– Fontes de Energia Renováveis
FEV	– <i>Full Electric Vehicle</i>
FVS	– <i>Fill Valley Strategy</i>
GEE	– Gases com Efeito de Estufa
HEV	– <i>Hybrid Electric Vehicle</i>
IEA	– International Energy Agency
ISEP	– Instituto Superior de Engenharia do Porto
MERGE	– <i>Mobile Energy Resources For Grid of Electricity</i>
MOBLE	– Mobilidade Elétrica
PEV	– <i>Plug-in Electric Vehicle</i>
PHEV	<i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle</i>
REN	Redes Energéticas Nacionais
SEN	Sistema Elétrico Nacional
TTW	<i>Pump/Tank to Wheel</i>

UE	União Europeia
V2G	<i>Vehicle-2-Grid</i>
VCI	Veículo de Combustão Interna
VE	Veículo Elétrico
WHO	<i>World Health Organization</i>
WTT	<i>Well to Pump/Tank</i>
WTW	<i>Wells-to-Wheels Emission</i>
CL	Potência do carregamento Lento [kW]
CR	Potência do carregamento Lento [kW]
DMC	Dia de Maior Consumo
DPA	Dia de Ponta Anual
DTO	Dia Típico de Outono
DTP	Dia Típico de Primavera
DTV	Dia Típico Verão
E	Energia Consumida por um Veículo Elétrico [kWh/100km]
EDB	Energia Consumida pelo <i>Dumb Charging</i> [kWh]
K	Número de Veículos Elétricos
$P_A(z)$	Número de Veículos do Parque Automóvel por ano
P_{in}	Potência de Entrada [kW]
P_{out}	Potência de Saída [kW]

$QM_{PEV}(z)$	Quota de mercado dos PEVs no Parque Automóvel
$QV_{PEV}(z)$	Quota de Vendas de PEVs nas Vendas Automóvel por ano
RMP_r	Rotação da Roda [rpm]
T1	Tempo de carregamento lento dos veículos citadinos
T2	Tempo de carregamento rápido dos veículos citadinos
T3	Tempo de carregamento lento dos veículos de percurso longo
T4	Tempo de carregamento rápido dos veículos de percurso longo
$TC_{PA}(z)$	Taxa de Crescimento do Parque Automóvel por ano
$u_{Tclc}(t)$	Perfil de carregamento lento dos veículos citadinos
$u_{Tcrc}(t)$	Perfil de carregamento rápido dos veículos citadinos
$u_{Tclpl}(t)$	Perfil de carregamento lento dos veículos de percurso longo
$u_{Tcrpl}(t)$	Perfil de carregamento rápido dos veículos de percurso longo
$V_A(z)$	Vendas de Automóveis por ano
Vk	Velocidade do veículo [m/s]
Vl	Velocidade do veículo [km/h]
w	Velocidade da roda

1 Introdução

Os veículos elétricos (VEs) existem há mais de um século. No entanto, estes nem sempre representaram uma opção viável no setor dos transportes devido à sua fraca autonomia e também ao seu elevado custo de aquisição.

O certo é que as recentes descobertas tecnológicas no setor da mobilidade elétrica permitiram que a eletrificação dos transportes se tornasse, atualmente, a principal alternativa tecnológica aos veículos de combustão interna. Estes têm a vantagem de proporcionar não só uma solução mais económica para o utilizador, na sua utilização, como também uma redução potencial de gases com efeito de estufa e dependência energética de combustíveis fósseis [1].

Em Portugal, os combustíveis fósseis representam 70% da energia primária importada, sendo que 40% dos referidos combustíveis são utilizados no sector dos transportes, verificando-se, assim, uma forte e preocupante dependência em relação a este tipo de energia [2].

Ora, os *Plug-in Electric Vehicles* (PEVs) vêm contribuir para a resolução deste problema ao permitirem a redução das emissões de CO₂ embutidas na utilização dos transportes, bem como a redução do consumo de petróleo.

No entanto, apenas a difusão deste tipo de veículos em grande escala é suscetível de ter um impacto significativo no setor energético nacional. Sendo este, naturalmente, positivo, atendendo às vantagens anteriormente referidas, o mesmo representará também um desafio, como procuraremos evidenciar ao longo deste trabalho.

A difusão dos veículos elétricos no mercado terá, assim, que ser antecedida de estudos de diversa natureza, nomeadamente do seu impacto económico e ambiental, a fim de ser possível explorar todas as suas potencialidades [3].

Do ponto de vista do impacto económico, podem ser criadas estratégias para atenuar o aumento previsto da potência de pico no momento do carregamento dos VEs. Um objetivo poderá ser, como se propõe demonstrar, a transferência da procura energética para um horário de menor consumo, evitando picos de consumo [3].

Algumas estratégias tendem a aplicar soluções de carregamento que irão reduzir os respetivos custos, com base em determinados esquemas de tarifas de eletricidade dinâmicas obtidas em tempo real [4][5].

De notar ainda que, com o mercado liberalizado, o objetivo da aplicação de estratégias de carregamento é do interesse de todas as partes envolvidas, produtores e comercializadores de energia. Com efeito, estes têm como objetivo comum a redução do custo da produção energética e consequente redução dos custos referentes ao serviço prestado ao cliente.

Um assunto que também merece especial atenção é relativo ao impacto que os VEs irão produzir nos diagramas de carga. Por outras palavras, será imprescindível efetuar uma previsão do número de veículos elétricos a curto e longo prazo de modo a poderem ser tomadas previamente as medidas necessárias para garantir a qualidade de serviço no fornecimento de energia elétrica. Isto conduzirá também a uma melhor eficiência naquilo que é a previsão da oferta de energia necessária para responder à procura. O carregamento dos veículos elétricos deverá ser então controlado segundo medidas que estimulem o seu efeito ao longo das horas de menor consumo e desencorajando esse carregamento nas horas de maior consumo.

Em suma, deverão ser criadas estratégias que evitem a dilatação do pico de consumo de eletricidade devido à utilização dos veículos elétricos.

Os veículos elétricos serão, assim, uma mais valia, mas também um desafio para Portugal.

A presente dissertação pretende projetar a penetração dos veículos elétricos em Portugal e, posteriormente, demonstrar o respetivo impacto nos aludidos diagramas de carga. A final, irá também ser criada uma proposta que possibilite a minimização desse impacto.

1.1 Contextualização e Motivação

Durante o período do meu mestrado frequentei uma unidade curricular de veículos elétricos, no âmbito da qual realizei um projeto de um veículo elétrico.

Este trabalho, pressupôs um estudo prévio sobre a matéria que, posteriormente revelou algumas das oportunidades e desafios à penetração da mobilidade elétrica em Portugal. Desde então, e com recurso à informação estudada, partilho da visão que o futuro passará pela eletrificação do setor dos transportes.

Contudo, a previsão do impacto referente a esta penetração dos VEs é, ainda, um mistério, uma vez que o mercado dos veículos elétricos se encontra numa fase inicial. Surgiu então a oportunidade de, em conjunto com o meu orientador, desenvolver um estudo de um desses impactos. Nesta ótica, o desenvolvimento do tal estudo presumia a aplicação de capacidades multidisciplinares obtidas durante a minha formação académica, o que tornou este desafio ainda mais ambicioso.

Este trabalho transformou-se assim, no desenvolvimento de uma aplicação informática que permitirá realizar uma demonstração do impacto no pico de consumo de eletricidade, segundo determinados parâmetros opcionais.

1.2 Objetivos

A presente dissertação tem como objetivos principais:

- Determinar a taxa de penetração dos VEs em Portugal até 2030;
- Avaliar o impacto do consumo de energia elétrica associado ao carregamento dos veículos elétricos em Portugal e nos distritos de: Aveiro, Braga, Leiria, Lisboa, Porto e Faro até 2030;
- Concluir quais serão os distritos mais afetados, em termos do pico de consumo de eletricidade, pela penetração dos veículos elétricos e a respetiva causa;

- Desenvolver uma aplicação informática que permita avaliar esse impacto e verificar uma possível solução que o possa minimizar.

São ainda objetivos secundários da dissertação:

- A representação do quadro da dependência energética em Portugal e como este pode ser aproveitado como uma oportunidade ao investimento na mobilidade elétrica;
- A avaliação da influência do setor dos transportes no consumo energético nacional;

1.3 Organização da dissertação

A presente dissertação está organizada em 3 partes principais.

A primeira, que engloba os dois primeiros capítulos referentes à introdução e ao estado da arte. Por um lado, o capítulo da introdução está direcionado não só para apresentação do tema e dos seus objetivos, bem como para a motivação que conduziu à realização desta dissertação. Por outro lado, o capítulo do estado da arte pretende realizar um enquadramento do tema tanto a nível europeu como nacional. É também neste capítulo onde é realizada uma reflexão, sobre as características dos veículos elétricos, necessária à realização deste estudo.

Na segunda parte apresenta-se o método de trabalho que suporta as abordagens realizadas no desenvolvimento da investigação. Neste sentido, será caracterizado o processo de investigação que terá a finalidade de demonstrar de que forma é que o consumo energético, o parque automóvel nacional e a mobilidade elétrica irão evoluir até 2030. Ainda, no desenvolvimento desta dissertação realizada uma investigação que concerne o consumo energético de um veículo elétrico, os tipos de carregamento que estes poderão realizar, bem como uma proposta de solução de carregamento inteligente. Por fim é referida a construção de um programa em *MatLab* que permitirá atingir os objetivos da presente dissertação.

Por último, a terceira parte em que se pretende realizar uma simulação e demonstração dos resultados obtidos e, em consequência, extrair as respetivas conclusões.

2 Estado da Arte

2.1 Setor Energético Europeu e Nacional

A dependência energética da União Europeia (UE) é um problema controverso que a Comissão Europeia (CE) anseia mitigar. O objetivo da UE é criar um mercado de energia interno onde fosse possível gerar riqueza e competitividade a nível europeu[6]. No entanto, mais de metade da energia fornecida aos países da UE, 64.1% em 2014, é proveniente de países externos à UE – Zona Euro, como é possível observar na Tabela 1.

Tabela 1 Produção de energia primária (em milhões de tep)

	Produção total de energia primária (em milhões de tep)				Quota total de produção em 2014 (%)				
	2003	2007	2010	2014	Energia Nuclear	Combustíveis Sólidos	Gás Natural	Crude	Energias Renováveis
UE-28	937,1	861,9	835,8	770,7	29,3	19,4	15,2	8,4	25,4
UE-19	466,5	468,7	479,8	465,1	37,4	13,1	13,8	2,6	30,6
Portugal	4,3	4,4	5,8	5,9	0	0	0	0	97,6

Fonte: Eurostat nrg_100a

2.1.1 Produção e importação de Energia

A produção de energia associada a cada país promove alterações na dependência energética e é o primeiro *input* que influencia diretamente essa dependência. “A dependência energética é um reflexo da produção de energia primária”[7]. Esta depende predominantemente de recursos naturais e investimentos antecessores e é com esta base que é possível observar a evolução energética empreendida pelos vários países que constituem a Europa [7].

Em 2014, a produção da energia primária na União Europeia em 28 países (UE-28) demonstrou uma queda de 17% relativamente aos dados de 2003 e, na UE em 19 países – Zona Euro (UE-19), a produção total de energia primária estagnou nos 465,1 milhões de tep.

No entanto, Portugal, contrariando a queda da UE neste setor, criou um aumento de 37,2% relativamente à produção de energia primária entre 2003 e 2014 [8].

A produção de energia primária na Europa é reduzidamente dotada em combustíveis fósseis o que, por sua vez, cria uma dependência energética europeia favorável aos países externos. Esta foca-se particularmente na produção de energia nuclear e renovável, contabilizando, em 2014, 54,7% na UE-28 e 67,8% na UE-19 Zona Euro. Contudo, Portugal tem realizado a sua produção de energia primária apenas com recurso às energias renováveis[7], [8].

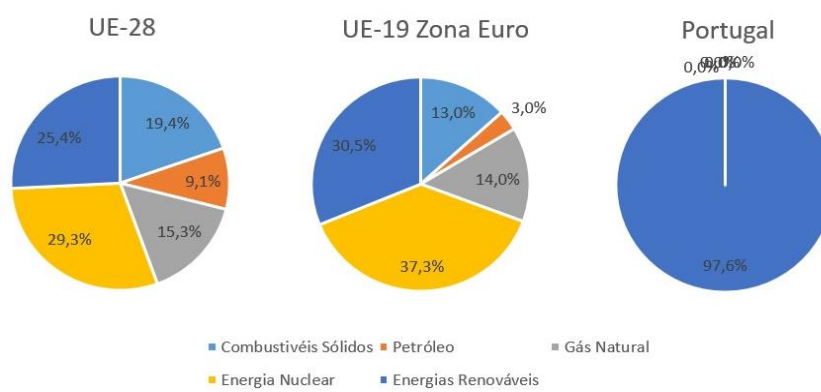


Figura 1 – Produção de energia primária, Fonte: PORTDATA

Todavia, a diversificação da produção de energia primária¹, representada na Figura 1, nem sempre foi repartida desta forma. Existe uma notória evolução neste setor, uma vez que é possível observar, no gráfico que segue, um decréscimo ao longo dos anos da produção de combustíveis sólidos, gás natural e petróleo, e ainda uma forte aposta nas fontes de energia renováveis [8].

¹ Uma fonte de energia primária é toda a forma de energia disponível na natureza antes de ser convertida ou transformada.

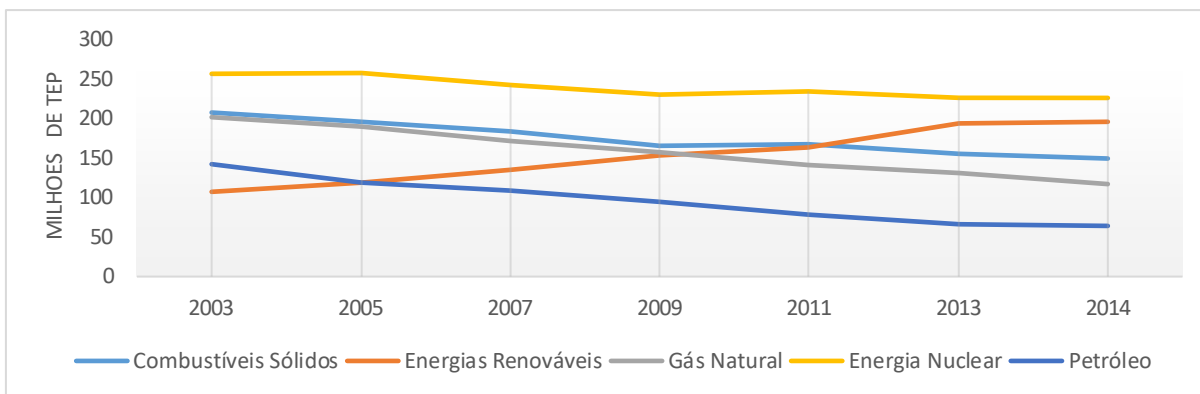


Figura 2 Evolução da produção de energia primária por origem UE-28

Em 1990, a importação de energia na Europa aumentava em larga escala, e com esta a dependência energética aumentava consequentemente. Foi então em 2011, quando existiu um *boom* na produção de energia a partir das FER (Fontes de Energia Renováveis) e adicionalmente o consumo energético diminuiu, que a importação de energia decresceu. Em Portugal esse decréscimo aconteceu um pouco mais cedo, em 2000, e desde então a importação de energia tem vindo a ser cada vez menor, apesar de ser ainda bastante elevada[7], [8].

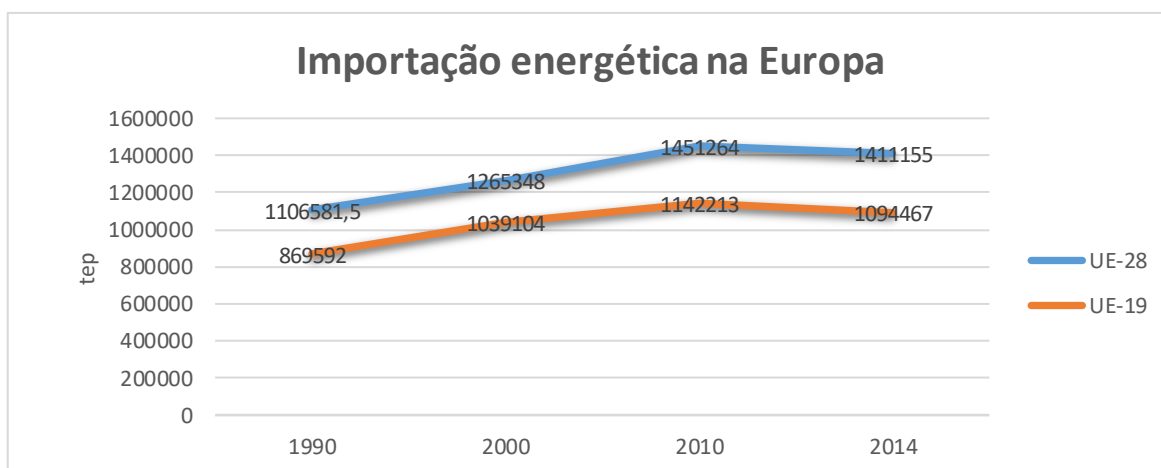
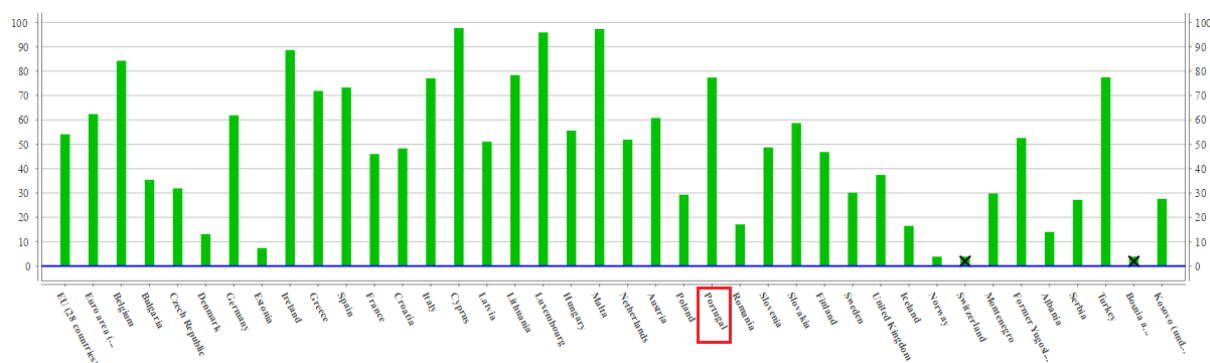


Figura 3 Evolução da importação de energia primária na UE-28 e UE-19

Com a atenuação da importação de energia a dependência energética voltou a contrair. Porém, ainda são praticados valores um tanto elevados. Na UE-28 a dependência energética é de 53,5%, na UE-19 é de 64,1% e em Portugal de 71,6% em 2014. Na seguinte figura é possível visualizar o rácio da dependência energética por país na Europa. [8]



(1) Eixo dos yy cortado (-569,6)
 Fonte: Eurostat, tsdcc310

Figura 4 – Rácio da dependência energética – UE-28

2.1.2 Consumo de Energia

O consumo energético é um segundo *input* da dependência energética. Naturalmente, os setores consumidores produzem efeitos na produção energética associada a cada país. É por tal facto evidente que, quando a energia produzida não é suficiente, o último recurso é importar. Em consequência a importação cresce, aumentando a dependência energética e escoando riqueza para países externos. [7]

Durante o período de 1990-2010 o consumo energético na UE-28 foi relativamente estável, exceto no ano de 2009 quando houve um forte decréscimo no consumo de combustíveis sólidos, gás natural e petróleo que, nesse mesmo ano, representaram menos 5,7% relativamente ao ano anterior. Esta diminuição do consumo deveu-se, em grande parte, à crise económica que a Europa atravessou [8].

Em 2010, o consumo energético aumentou 3,8% relativamente a 2009 e voltou a diminuir em 2011, 2012 e 2013, sendo que neste último ano o consumo energético aproximou-se dos valores de 2009 [8].

Tabela 2 Consumo de energia primária

Consumo total de Energia Primária (em milhões de tep)				
	1990	2000	2010	2014
UE (28 Países)	1667,9	1730,2	1763,5	1606,5
UE Zona Euro (19 Países)	1114,6	121,4	1246,6	1135,7
Portugal	18,2	25,3	24,3	22,1

Um dos setores mais importantes, no que diz respeito ao consumo energético, é o dos transportes. Este tem um grande impacto quando comparado com os outros setores consumidores, porque reflete não apenas um peso na economia, mas também e sobretudo pela necessidade de energia para sustentar esse setor. [7]

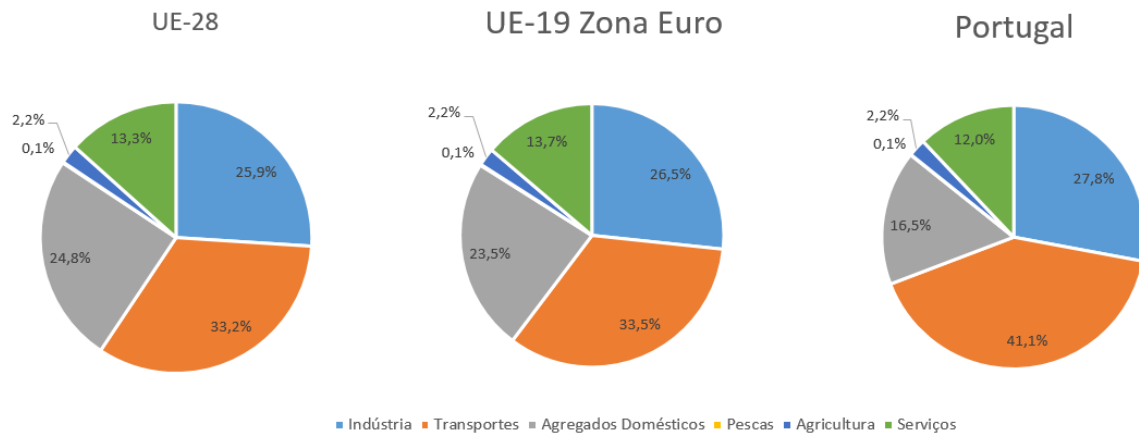


Figura 5 – Consumo energético por setor consumidor

Tendo em conta estes factos, e que a UE-19 é obrigada a respeitar uma política energética que visa diminuir o consumo de energia e conseqüentemente a dependência energética dos Estados-Membros (EM), é necessária uma resposta a estes problemas.

Vários autores defendem que uma aposta nos veículos elétricos e nas fontes de energia renováveis podem reduzir o consumo de energia no setor dos transportes e tornar esse consumo mais eficiente [1], [2], [9]. O objetivo é diminuir o consumo e aumentar a produção de energia na Europa pelo cumprimento de uma política energética bem definida e realista. Esta aposta é também suportada pelo pacote energia-clima “20-20-20” que estabelece metas que convergem nesse objetivo.

2.1.3 Pacote Energia-Clima ou pacote “20-20-20”

A política energética é uma das temáticas mais marcantes nos dias de hoje para a Comissão Europeia. Em 2007, a CE adotou um conjunto de medidas relativas à política energética e às alterações climáticas. Estas diligências traduziram-se numa iniciativa denominada Pacote Energia-clima ou pacote “20-20-20” que estabelecia um conjunto de medidas a serem cumpridas até ao ano de 2020 com o objetivo de garantir a segurança, sustentabilidade, competitividade e aprovisionamento na UE. Estas medidas perspetivavam:

- Uma redução de 20% das emissões de gases com efeito de estufa;
- Um aumento de 20% na quota-parte de energias renováveis, ao invés dos 8,5% praticados até ao momento;
- Uma melhoria da eficiência energética em 20%.

Esta política energética europeia criou novas metas, e tende a quebrar um consumo excessivo de energia importada, e assim, conseqüentemente, alivia o escoamento de riqueza gerada na UE. Uma vez que a Europa atualmente importa 54% da energia, e que tal facto se traduz num imposto anual médio e diluído de 700 euros por cidadão da UE, é urgente a tomada de medidas e imposição de metas que mitiguem o problema [10].

É neste ponto que os veículos elétricos começam a ter algum significado, uma vez que a sua penetração irá potenciar o cumprimento dos três objetivos acima descritos. Neste sentido, irá ser aprofundado o conhecimento sobre esta tecnologia.

2.2 Veículos Elétricos

2.2.1 História dos Veículos Elétricos

Os veículos elétricos sofreram diversas alterações, na sua utilização, ao longo dos anos. Porém é surpreendente saber que o veículo elétrico foi o primeiro transporte, com motor, produzido pelo Homem. Foi então, entre 1832 e 1839, que Robert Anderson desenvolveu o primeiro protótipo de um motor elétrico, alimentado por uma bateria de células não recarregáveis. [11]. Mais tarde, em 1889 Thomas Edison construiu o primeiro VE que previa a utilização de uma bateria de níquel [12].

Nesta época, *golden age*, o veículo elétrico sofreu um desenvolvimento próspero da tecnologia, onde foram realizados os maiores avanços neste setor. Atualmente essas descobertas representam o básico da tecnologia dos VEs [13].

Todavia, em 1908, surgiram os primeiros veículos de combustão interna, como o *Ford Model T* e, assim, os veículos elétricos carregados de desvantagens, como o seu preço e a sua autonomia, caíram em desuso, até que por fim em 1935 já não se encontrava um único veículo elétrico na estrada. Algumas décadas posteriores, em 1990, os governos tomaram novas iniciativas, através de regulamentos para reduzir as emissões nocivas e, desde então, as grandes empresas automobilísticas criaram os primeiros veículos híbridos (HEVs), como o *EVI Model* pela *General Motors*. Desde esse momento, o investimento nos VEs tem evoluído quer a nível investigacional quer ao nível da sua utilização [11]. Atualmente a aposta nos VEs está em crescimento e é de notar igualmente um crescimento de 95%, entre 2012 e 2013, na venda dos mesmos em Portugal. [14]

No entanto, esta “velha” tecnologia continua a ser alvo de protestos, não só pelas grandes marcas automobilísticas como também pela indústria do petróleo, uma vez que um escalonamento da utilização de veículos elétricos proporcionará uma menor importação e dependência de combustíveis fósseis [12], [15].

2.2.2 O papel dos veículos elétricos

Os transportes são um setor crítico, no que diz respeito à atividade humana. A atual dependência de combustíveis fósseis, em particular do petróleo, tem como consequência riscos a nível social, económico e ambiental. Desta forma, é notório que os veículos elétricos são extremamente relevantes para a resolução do problema, ainda que sob investigação e desenvolvimento [15], [16].

2.2.3 Configurações dos veículos elétricos

Atualmente existem três tipos de veículos elétricos que se destacam e que já superaram a fase de demonstração. Neste momento estes veículos já se encontram em produção e são denominados como *Hybrid Electric Vehicles*, *Plug-in Hybrid Electric Vehicles* (PHEV) e

os *Full Electric Vehicles* (FEV)[17]. Cada um destes tipos tem particularidades e impactos diferentes no meio que os envolve, sendo necessário compreender o que os distingue. Assim passamos a descrever essas tipologias.

- **Veículos Híbridos (HEV)** – Os HEVs são um tipo de veículos que confere a utilização de duas formas distintas de energia com o intuito de produzir movimento. Estas duas formas são um motor de combustão interna convencional e um sistema de bateria/motor elétrico. O objetivo que se pretende com a adição da bateria e motor elétrico ao veículo é providenciar uma redução no consumo de combustível e uma melhor *performance* relativamente a um veículo convencional [17]. Alguma da energia normalmente dissipada durante a travagem pode ser recuperada através da frenagem regenerativa e é por estes motivos que o HEV é considerado uma boa alternativa aos veículos convencionais [18], [19].
- **Veículos Híbridos *Plug-in* (PHEV)** – Os PHEVs são muito semelhantes aos HEVs, uma vez que utilizam um motor elétrico e um motor de combustão interna convencional. Os PHEVs diferem primariamente no sistema de armazenamento de energia mínimo de 4 kWh, sendo assim necessária uma fonte de energia externa para o carregamento da bateria. Este sistema deve proporcionar ao veículo uma autonomia de pelo menos 16 km em modo elétrico [17].

Este tipo de veículo está habilitado a funcionar com recurso a eletricidade, combustíveis fósseis (gasolina/diesel) ou ambos. Tais potencialidades permitem a economia de combustível, o aumento da eficiência do veículo, redução das emissões de gases com efeito de estufa e o aproveitamento da tecnologia *Vehicle-to-Grid*

²(V2G). Em comparação com um HEV, um PHEV permite uma redução de 35-65% em emissões de GEE, e 40-80% no consumo de combustível [17].

- **Veículos totalmente elétricos (FEV)** – Este tipo de veículo utiliza um motor elétrico ao invés de um motor a combustão interna. Este motor tem a possibilidade também de funcionar como gerador no momento da frenagem regenerativa. Um dos seus componentes importantes é o inversor. Este permite que a corrente contínua armazenada nas baterias seja transformada em corrente alternada para alimentar o motor, que geralmente funciona nesse tipo de corrente. É também este inversor que permite ao VE a possibilidade da tecnologia *vehicle-2-grid* (V2G).

A eletricidade é geralmente providenciada por um pacote de baterias internas e recarregáveis do veículo. Em comparação com os PHEV a redução das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) é considerável. Neste ponto, a região onde é realizado o carregamento do pacote de baterias do FEV tem um grande impacto ambiental, visto que a energia que alimenta o veículo está sujeita a diversificação energética praticada nessa mesma região. Esta é a razão pela qual o FEV apenas apresenta zero emissões na sua utilização, ou seja, no circuito *pump-to-wheel* [17], [20].

A utilização destes veículos irá criar diversos impactos, e para melhor perceção dos mesmos, no próximo ponto irão ser abordados alguns dos impactos inerente à penetração dos veículos elétricos.

2.2.4 Impactos dos Veículos Elétricos

O mercado dos veículos elétricos encontra-se ainda numa fase embrionária. Por um lado, as empresas automobilísticas persistem em melhorar progressivamente, dificultando assim a penetração dos VEs e criando um *benchmark* ainda mais desfavorável. Por outro lado, existe

² V2G: É uma tecnologia associada aos PEVS, uma vez que estes possuem uma fonte de energia e conseguem produzir 50 Hz de corrente alternada. Essa energia produzida pode fluir desde o veículo até à rede elétrica. Assim com esta troca bidirecional de energia é possível aos PEVs providenciar um apoio à rede que os alimenta. [64]

uma imensa investigação da tecnologia que suporta os VEs [1] e uma melhoria, no que diz respeito ao preço destes veículos (i.e. *Tesla Model 3*³).

De forma a incentivar a penetração no mercado por parte dos VEs existem algumas iniciativas a nível europeu, entre as quais a “*Green cars initiative*”⁴ e a “*Green emotion*”⁵ [1].

Ainda assim, e tendo em conta a evolução da penetração dos VEs, referenciada no ponto 2.2.1, é necessário entender quais as oportunidades que se pretendem potenciar e, por outro lado, as ameaças que se pretendem mitigar.

Atualmente as atenções estão direcionadas para os dois grandes impactos da utilização dos veículos elétricos. Têm sido realizadas investigações intensivas para deduzir e reduzir estes impactos, sendo estes descritos como: impacto ambiental e impacto económico [11].

2.2.4.1 Impacto ambiental

Este impacto dos veículos elétricos tem consequências sobre o meio ambiente, pois segundo a World Health Organization (WHO) a poluição do ar é um problema que afeta a população mundial. Estudos realizados pela WHO revelam que aproximadamente 80% da poluição do ar está relacionada com mortes prematuras, como em 2012 que foram contabilizadas 3.7 milhões de mortes relacionadas com tal poluição. [21]

A emissão de gases com efeito estufa (GEE) para a atmosfera, associada à utilização de combustíveis fósseis, tem provocado uma alteração climática prejudicial para o ecossistema. São, por isso, necessárias novas soluções para combater este problema. Desta forma, a *International Energy Agency* (IEA) concebeu diferentes cenários para limitar o aumento da

³ O preço base do *Tesla Model 3* situa-se nos 35.000 euros.

⁴ “*is a contractual public-private partnership dedicated to delivering green vehicles and mobility system solutions*” – Retirado de : <http://www.egvi.eu/>

⁵ *It is a partnership from the industry which joined their forces to explore the basic conditions that need to be fulfilled for Europe-wide electromobility* – Retirado de: <http://www.greenemotion-project.eu>

temperatura média global em 2 graus Celcius até 2050, mencionados pelo Conselho Europeu de Bruxelas [22]. No entanto, se ocorrer uma estagnação de iniciativas que combatam a utilização de combustíveis fósseis, como por exemplo os veículos elétricos, em 2050 as emissões de GEE projetadas serão o dobro [11]. Para combater esta ocorrência, a UE tem realizado esforços para reduzir a poluição do ar através da imposição de limites legais (diretiva 2008/50/EC) e outras ações políticas com o mesmo objetivo [23].

O impacto dos transportes neste setor é colossal, numa escala mundial 26% da energia primária é consumida pela utilização de transportes e 23% da emissão de gases com efeito de estufa está diretamente relacionada com essa utilização. É de referir, ainda, que os automóveis particulares representam 74% do setor dos transportes⁶ [24], [25].

Neste sentido, é, sem dúvida, mais do que importante o estudo deste setor a fim de compreender como diminuir a emissão de GEE para a atmosfera. A solução passa pela eletrificação do setor[1], ou seja, por transitar de combustíveis fósseis para energia elétrica no setor automóvel [26], de modo a garantir uma sustentabilidade a longo prazo [1].

A comparação das emissões de GEE, embutidas na utilização de um VE comparativamente a um veículo de combustão interna (VCI), podem ser elucidadas através de um parâmetro denominado “*Wells-to-Wheels Emission*”(WTW) [11]. Este parâmetro tem em consideração, não só as emissões resultantes da utilização do veículo “*Pump/Tank to Wheel*” (TTW), como também as que resultam da produção, transporte e distribuição dessa mesma energia “*Well to Pump/Tank*” (WTT) [27].

Assim, este parâmetro mostra-nos, através de vários estudos [28], [29],[30] e tendo em conta o ciclo de vida da energia que alimenta o veículo, que as maiores reduções do consumo de energia e posteriormente menor emissão de CO₂ foram alcançadas por PEVs⁷.

⁶ Dados relativos a 2012

⁷ Entende-se por PEVs todos os veículos elétricos Plug-in, ou seja, os FEVs e os PHEVs.

2.2.4.2 Impacto económico

Existem dois pontos de vista no que concerne ao impacto económico por parte dos veículos elétricos. Um primeiro, que está diretamente relacionado com o impacto económico que os VEs poderão induzir a nível nacional com o aumento de procura de energia. Existe também um segundo impacto económico que irá afetar diretamente os utilizadores dos veículos elétricos. [11] Na perspetiva dos utilizadores de VEs constata-se que os VEs têm um baixo custo na sua utilização quando comparados com os VCIs. Tal facto é quantificável numa distinta diferença de rendimentos. No caso dos VEs o rendimento é aproximadamente 80%, enquanto que nos VCIs o rendimento é aproximadamente 20% [31].

Contudo, os VEs apresentam uma grande desvantagem que é o investimento inicial. Ora, este é bastante superior ao investimento nos VCIs, no entanto pode ser diluído e minimizado de duas formas. A primeira, seria ao longo da vida útil do VE “*EV Payback Period*” e a outra pela produção em massa de VEs [32].

O *EV Payback Period* é influenciado não só pelo investimento inicial realizado na compra do veículo, mas também pela manutenção, custo de reparação, fiabilidade, prémios de seguro, impostos, incentivos e o preço da energia necessária para utilizar o VE. [32]

Um VCI, quando comparado com VEs, distingue-se em grande parte pelo seu investimento inicial, uma vez que esse investimento representa o único benefício económico para o seu utilizador. No que diz respeito a custos energéticos ou mesmo custos de manutenção e seguro, os VEs distinguem-se por serem mais económicos, como se pode verificar na figura que segue.[33]

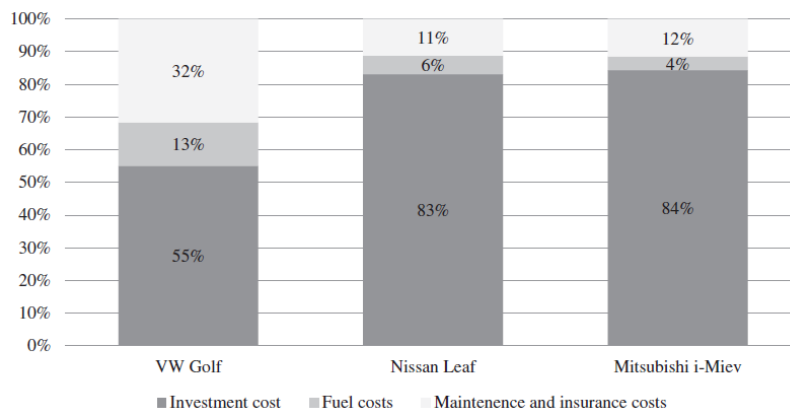


Figura 6 – Comparação do custo de aquisição/utilização/manutenção entre um VE e um VCI [33]

A produção em massa de baterias irá reduzir o investimento inicial para o utilizador de veículos elétricos. De acordo com um estudo realizado, a bateria representa de 30% a 50% do valor do carro elétrico, como pode ser verificado na próxima figura que compara o custo de produção de um VE com um VCI [34].

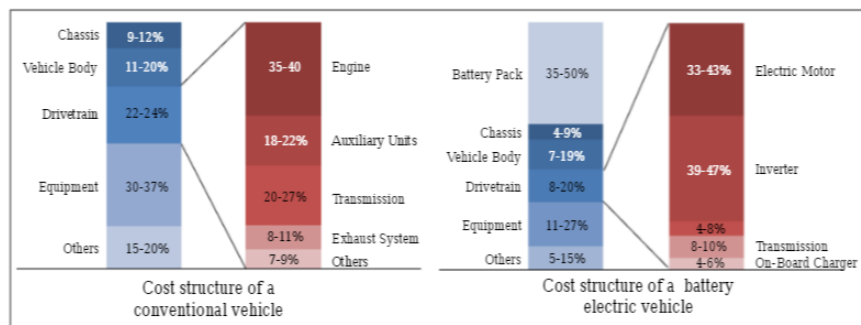


Figura 7 – Comparação de custo de produção entre um VCI e um VE [34]

Desta forma, a expansão do mercado dos veículos elétricos irá acompanhar a evolução do mercado das baterias, uma vez também que o preço das mesmas está dependente do seu volume de produção. Trata-se então de providenciar um escalonamento deste mercado, de forma a que as células das baterias possam cobrir um maior grupo de aplicações [35].

Por outro lado, a nível nacional, apesar do desenvolvimento e velocidade de adoção dos VEs, por parte dos utilizadores ser incerto, o número de VEs no mercado pode crescer de forma acelerada [3]. Tal facto, manifesta uma preocupação ao nível dos impactos negativos que este possa imprimir na rede elétrica a nível de harmónicos, perdas, desequilíbrio de fases, sobretensões, instabilidade do sistema, entre outros [11]. De notar ainda, um dos impactos negativos que será sujeito ao seu estudo na presente dissertação é o impacto referente ao aumento do pico de consumo de energia elétrica. Uma das estratégias que tem o objetivo de mitigar esse impacto, como já foi referido anteriormente, é a estratégia *Demand Response* que irá ser abordada no ponto que segue.

2.2.5 Demand response

A gestão de energia tem o objetivo de otimizar uma das maiores, mais técnicas e complexas criações: O sistema energético [36]. Apesar de haver um grande conhecimento e experiência na otimização da produção e distribuição da energia elétrica, é o setor da procura que merece, atualmente, maior atenção e é peça de investigação pela indústria. [36]

O desenvolvimento desta área é conduzido pelo facto de – apesar de existir uma melhoria na eficiência de equipamentos elétricos – o consumo energético continua a crescer de ano para ano. Enquanto que a produção energética possa não ser um problema, na satisfação da procura, a rede elétrica pode constituir o maior problema por poder não ter capacidade para satisfazer essa necessidade [36]. Esta matéria torna-se, assim, extremamente relevante quando é abordada a penetração dos veículos elétricos no sistema energético. Neste sentido, com o crescimento da procura de eletricidade em detrimento dos combustíveis fósseis que alimentam os VCIs, o consumo de eletricidade irá, tendencialmente, aumentar e assim, também, como a necessidade de desenvolvimento de uma estratégia que mitigue o ponto de rutura da rede elétrica aquando da procura excessiva de eletricidade [36]–[38]. Estas estratégias têm em comum a alteração do preço da energia elétrica, ao longo de um dia, por meio de tarifas dinâmicas, que intencionalmente irão modificar o consumo de eletricidade pelos seus consumidores finais [39]. Estas tarifas dinâmicas, em tempo real, podem então ser utilizadas de forma a otimizar a operação da distribuição de energia, reduzindo a necessidade de aumentar a capacidade da rede elétrica [39], [40].

Tradicionalmente, é no momento da alta procura energética, no pico do diagrama de carga de consumo, que a rede elétrica estará mais vulnerável. Assim, o objetivo das investigações que estudam o *Demand Response* é o desenvolvimento de projetos que possam reduzir esse pico de consumo através das estratégias que se inserem neste âmbito. [40]

O *Demand Response* pode, então, ser definido pela alteração do padrão natural de consumo de eletricidade pelo cliente final em resposta à alteração do preço de eletricidade durante o dia [37], [40].

O desenvolvimento de estratégias *Demand Response* como resposta à penetração dos veículos elétricos no mercado é imprescindível, uma vez que uma adicional carga associada ao carregamento dos VEs irá criar um impacto na rede elétrica que poderá ser maior ou menor consoante a estratégia adotada para mitigar o problema do aumento do pico da procura de eletricidade [37], [39], [41].

De forma mais específica, e no que diz respeito à penetração dos veículos elétricos, um estudo [42] realizado a nível regional pela *Oak Ridge National Laboratory* reportou a necessidade do aumento da produção de energia elétrica de forma a garantir a procura dessa energia fruto do carregamento dos VEs. Contudo, estudos [43]–[45] recentes começaram a direccionar-se para o âmbito da capacidade da rede elétrica de dar resposta à procura de eletricidade. Isto, porque a penetração dos VEs demonstra maiores impactos na rede elétrica, precisamente nas regiões mais pequenas onde o consumo de eletricidade é menor, e é quando os veículos elétricos carregam simultaneamente que a rede elétrica poderá não estar preparada para satisfazer tal carga [41].

A solução para este problema, de acordo com a *Federal Energy Regulatory Commission*, passa pela criação destas estratégias *Demand Response* que reduzem o pico do consumo de energia elétrica [41]. Os benefícios associados a este tipo de estratégias podem ser categorizados em 3 grupos: clientes finais, mercado de energia e a fiabilidade do sistema.

Neste sentido, os benefícios económicos associados aos clientes finais poderão ser impulsionados por incentivos financeiros que promovam o ajuste da procura de energia, por esses clientes, tendo em conta as tarifas dinâmicas. [40]

Noutro ponto de vista, o preço da eletricidade pode ser reduzido, se o ajuste acima referido acontecer, uma vez que é evitado um consumo da produção energética mais dispendiosa que satisfaça a procura. [40]

Por fim, na ótica da fiabilidade do sistema, a probabilidade – da capacidade da rede elétrica não ser suficiente para garantir a procura de eletricidade – diminui, bem como possíveis inconvenientes para os clientes finais. [40]

2.2.6 Impacto dos perfis de carregamento no pico de procura de energia

Uma alta penetração de PEVs traz novos desafios para os sistemas de operação, devido a uma elevação no pico de procura de energia, como foi referido no ponto anterior. Desta forma, é importante estudar tanto os desafios dos perfis de carga da rede, como a penetração dos PEVs, para ser possível perceber o impacto dos mesmos nas curvas de carga diária. [5], [43]

A expansão da mobilidade elétrica irá criar perfis de carregamento, que se não forem economicamente regulados irão provocar impactos. Estes serão maiores especialmente no caso do carregamento dos VEs no momento de chegada a casa pelo utilizador – 20:00h. Este tipo de carregamento irá criar impactos de três formas.[43]

A primeira que diz respeito ao aumento do pico diário do consumo de energia, aumentando o preço da mesma, e a segunda que está relacionada com a diminuição da fiabilidade do sistema e por fim a terceira que diz respeito à capacidade da rede elétrica de satisfazer a procura de eletricidade. [43]

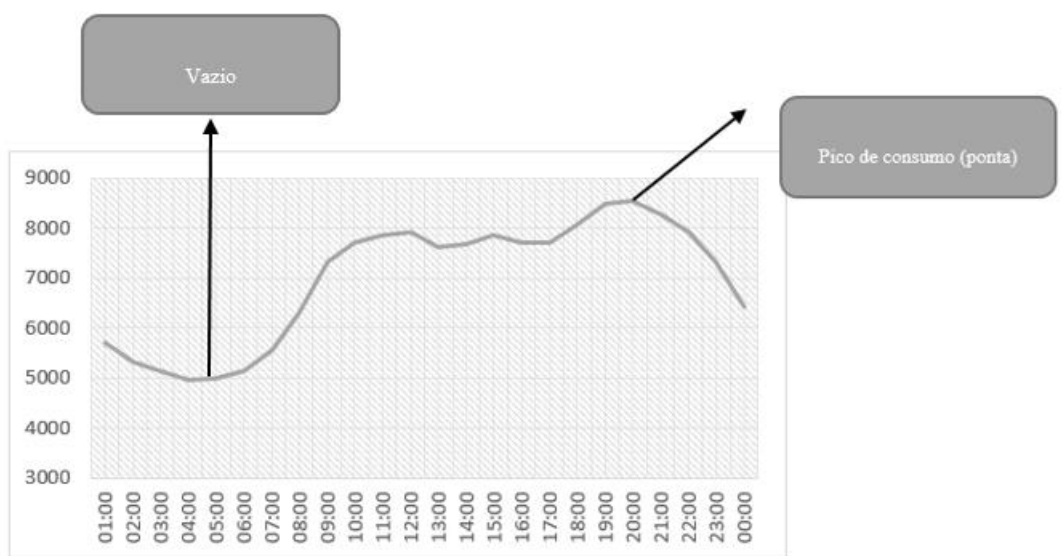
Desta forma, o controlo do carregamento dos veículos elétricos por meio de estratégias *Demand Response* começa a ter a sua importância. O *Load Shifting* e o *Valley-filling* são estratégias de carregamento que normalmente são apresentadas como uma solução a curto prazo. De modo a tornar este tipo de soluções viável é necessário criar uma abordagem descentralizada do problema, dando assim o poder da escolha do perfil de carregamento do veículo elétrico ao seu utilizador. O carregamento do VE deverá estar, assim, sujeito a tarifas reguladas e dinâmicas, impondo preços de energia mais dispendiosos no horário de maior consumo com o objetivo de incentivar o utilizador a fazê-lo no horário de menor consumo. [5]

O objetivo deste sistema é a obtenção de um cenário de carregamento noturno que não aumente o pico de consumo de energia e também, conseqüentemente, o aumento do custo de produção de energia e a fiabilidade na capacidade da rede elétrica para responder à procura de energia, sendo estes últimos, dois dos impactos com maior relevância, da penetração dos VEs.[5]

Desta forma, e sendo dinâmico o custo de energia para o utilizador, o mecanismo de comunicação desse preço seria efetuado por uma comunicação unilateral entre a rede e o posto de carregamento inteligente que o utilizador do veículo elétrico iria utilizar. Desta forma, o utilizador poderia escolher o seu perfil de carregamento de acordo com a variação do preço da eletricidade ao longo do dia. [5]

De modo a por em prática esta estratégia que mitiga os impactos referentes à penetração dos VEs acima descritos é perentória a noção do mercado do parque automóvel elétrico e a sua posterior transformação em energia. Assim, é necessário entender qual será a procura de energia para ser possível providenciar uma oferta da mesma à medida da necessidade.

A análise de alguns estudos [46]–[48] demonstram que o carregamento dos VEs acontecerá nas horas de pico de consumo. Na próxima figura será possível observar um diagrama aleatório em Portugal com o intuito de perceber o horário desse pico e que se situa aproximadamente nas 20:00h.



Felizmente, os VEs são mais flexíveis que as cargas tradicionais. Isto, porque os proprietários dos VEs chegarão a casa próximo do horário de pico e podem não ter preferência acerca do momento exato no qual o seu VE é carregado, desde que as baterias dos seus VEs estejam totalmente carregadas na manhã seguinte.[49]

Assim, com recurso aos dados fornecidos pelos diagramas de carga é possível aplicar uma estratégia como as que foram referidas neste ponto, possibilitando assim uma transferência horária da carga, associada ao carregamento dos VEs, para as horas de vazio.

2.2.7 Forças que atuam nos veículos

De forma a calcular o consumo de um veículo elétrico com o objetivo de ser possível saber a energia consumida pelos mesmos é necessário entender as forças que atuam nos veículos.

Qualquer tipo de veículo está sujeito a forças que o impedem de movimentar, e por forma a vencer essa inércia é necessário entender todas as resistências associadas ao caso em questão. Numa primeira fase é fundamental identificar quais são essas forças resistivas, perceber o que as causa, como se podem atenuar e, por fim, como podem ser vencidas em prol do movimento do veículo.

Uma das forças que atua diretamente no veículo é a força resistiva ao rolamento dos pneus, “O pneu é responsável por 20% do consumo total de combustível de um veículo”⁸. A força resistiva ao rolamento dos pneus pode ser calculada da seguinte forma:

$$F_{rolamento} = \mu_R * m * g * \cos \theta \quad [50] \quad (1)$$

⁸ Retirado de: www.michelin.pt

Em que, $F_{rolamento}$ caracteriza a força resistiva associada ao rolamento dos pneus; μ_R caracteriza o coeficiente de atrito de rolamento; m demonstra a massa total do veículo; g caracteriza a aceleração da gravidade, e por fim $\cos \theta$ caracteriza o Ângulo de inclinação.

Outra das forças que deve ser considerada, que também atua nos veículos é a força da resistência aerodinâmica. Esta é a força associada ao movimento do ar relativamente ao veículo e que se opõe sempre ao movimento.

A força da resistência aerodinâmica pode ser calculada da seguinte forma:

$$F_{aerodinâmica} = \frac{1}{2} * \rho * A_f * C_D * V^2 [50] \quad (2)$$

Em que, $F_{aerodinâmica}$ caracteriza a força da resistência aerodinâmica; ρ caracteriza a densidade do ar; A_f caracteriza a área frontal do veículo; C_D caracteriza o coeficiente de aerodinâmica e por fim V que traduz a velocidade do veículo.

A resistência de subida é outra força que atua nos veículos, ou seja, quando este se encontra a realizar um esforço num plano inclinado ele está sujeito a uma força. Na seguinte figura é possível observar uma descrição simbólica das forças que atuam no veículo.

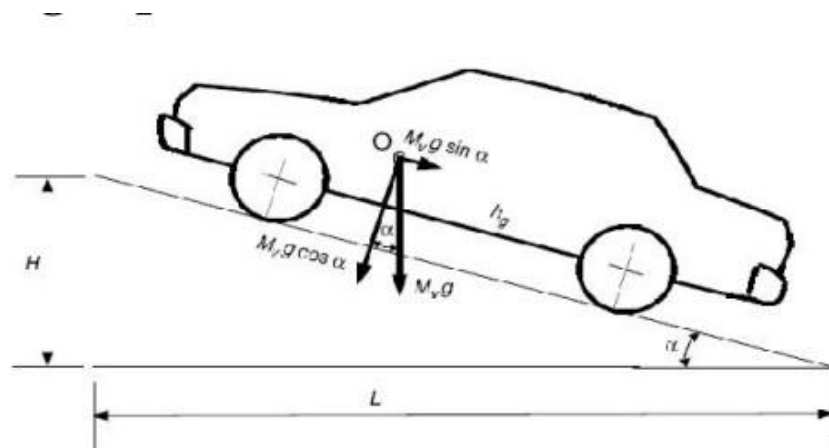


Figura 8 - Forças que atuam num veículo [50]

A força da subida é calculada com auxílio à figura anterior, uma vez que é necessário primariamente calcular o ângulo de inclinação. Desta forma, podemos obter a força que atua sobre o veículo numa subida. Mais uma vez, esta força depende apenas do peso do veículo, mais concretamente na massa do mesmo, pois todos os outros parâmetros são imutáveis na partilha da mesma situação.

$$F_g = m * g * (fr \cos \theta + \sin \theta) \quad [50] \quad (3)$$

Em que F_g caracteriza a força da subida; m caracteriza a massa do veículo; g caracteriza a aceleração gravítica; fr caracteriza o coeficiente de rolamento e por último θ que caracteriza o ângulo de inclinação.

Por fim, a restante força que atua no veículo denomina-se força de aceleração que é responsável por fazer com que o veículo se mova na direção desejada, dependendo da aceleração que este se encontra e do peso total do veículo.

$$Faceleração = M * a \quad [50] \quad (4)$$

Em que M significa a massa total do veículo, tendo em conta o próprio veículo mais os passageiros e a que traduz a aceleração do veículo em cada instante em ms^{-2} .

Sabendo então todas as forças que atuam no veículo, será agora necessário apenas a sua soma para obter a força resultante.

$$Fresultante = Fsubida + Frolamento + Faerodinâmica + Faceleração[50] \quad (5)$$

2.2.8 Sistemas de carregamento

O consumo dos veículos elétricos está diretamente relacionado com o momento do seu carregamento, pois é durante este período que está realmente a consumir a energia elétrica, distribuída pela rede. Assim, neste ponto, irá ser abordado esse assunto de forma a obter mais informação sobre esse processo.

Atualmente, existe um programa de mobilidade elétrica em Portugal que tem previsto um projeto de mobilidade elétrica (MOBI.E), gerido por duas entidades: a EDP Distribuição e o Inteli. [51] Este programa tem como principal objetivo desenvolver uma rede de carregamento para os veículos elétricos [51], [52]. Com a implementação desta infraestrutura de carregamento seria possível maximizar a mobilidade elétrica bem como explorar a integração entre a mobilidade sustentável e os sistemas energéticos, tirando partido das FER. [53]

Este sistema está distribuído por 25 Municípios (Figura 9) contabilizando, atualmente, um total de 1300 postos de carregamento lento e 50 postos de carregamento rápido. [52]

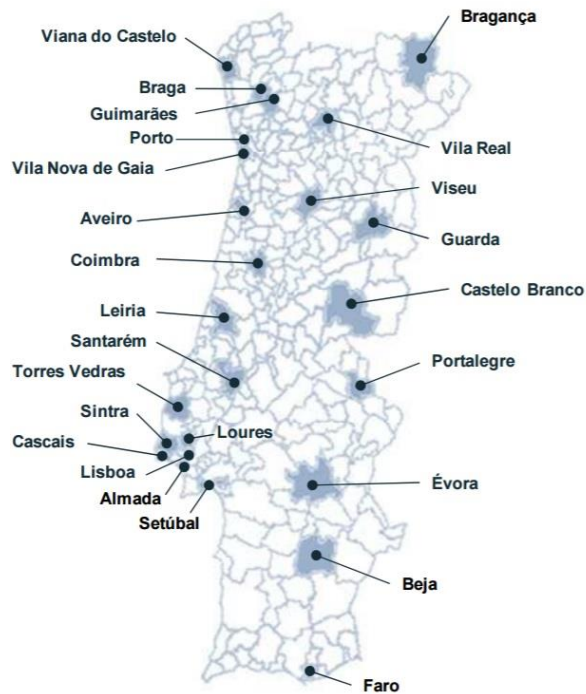


Figura 9 – Distribuição da rede de carregamento [53]

O sistema de carregamento MOBI.E tem também a particularidade de poder ser instalado em condomínios. No entanto, a maioria dos locais de estacionamento privados, construídos antes do ano 2010, encontram-se em não conformidade com o Decreto Lei nº 39/2010. Este facto deve-se à possibilidade desses mesmo locais poderem não estar munidos de uma tomada elétrica no local de estacionamento ou ainda a própria tomada fazer parte integrante dos serviços comuns do edifício. Sendo por tal razão necessária, uma alteração da tomada elétrica para uma ligação exclusiva à fração do proprietário. [52]

No que diz respeito ao tipo de carregamento e tendo em conta as necessidades futuras dos utilizadores de veículos elétricos, o perfil de utilização está dividido em dois tipos de carregamento. [53]

Tabela 3 – Tipologia de carregamento [53]

Tipologia de carregamento			
Carregamento	Tensão	Corrente	Potência
Lento	230-400V AC	16-32A	3,6-7,2 kVA
Rápido	500V DC	Até 200A	43 kW AC

Esta tipologia de carregamento está diretamente relacionada com o tipo de utilização do veículo elétrico. Este pode ser descrito em três grupos de casos possíveis que se podem observar na tabela que segue.

Tabela 4 – Casos possíveis de utilização de um VE [53]

Casos possíveis de utilização			
Utilização	Ida e volta à distancia de	Ida e volta com recarga no destino	Carga durante trajeto
Carga	Standard	Oportunidade/emergência	Extensão de autonomia
Local de carregamento	Casa; Local de trabalho; Base da frota	Centro comercial; Supermercado; Parque de estacionamento; Via pública	Área de serviço
Requisitos⁹	100% em 8 horas	50% em 30 minutos (oportunidade); 20 km em 10 minutos	80% em 10 minutos

⁹ Esta categoria está sujeita a percentagem de energia que a bateria possui no momento do carregamento.

Tipo de carregamento	Lento	Lento/Rápido	Rápido
-----------------------------	-------	--------------	--------

3 Caracterização e previsão do Parque Automóvel e mobilidade elétrica até 2030

3.1 Sistema Elétrico Nacional

Neste capítulo irá primeiramente ser caracterizado o consumo energético pertencente ao Sistema Elétrico Nacional (SEN) com respetivo enfoque numa análise do consumo de eletricidade nacional e por distrito.

3.1.1 Consumo de energia elétrica por distrito

O consumo de energia elétrica por distrito tem, obviamente, um impacto percentual no consumo nacional de eletricidade. O objetivo da extrapolação dos diagramas de carga por distrito irá ter relevância para o efeito do impacto dos PEVs nos mesmos. Desta forma, e para este estudo foram apenas considerados os distritos com maior relevância, ou seja, os distritos que possuem maior quota de mercado do parque automóvel nacional e que fazem parte integrante do programa MOBI.E: Aveiro, Braga, Leiria, Lisboa, Porto e Faro.

Os distritos anteriormente descritos, como quaisquer outros, possuem uma quota do consumo de eletricidade nacional e será a partir desse parâmetro que será realizada a extrapolação dos diagramas de carga para os diferentes distritos. Com recurso a dados estatísticos [54] referentes à distribuição da quota de consumo dos distritos foi possível apurar os resultados que se encontram na tabela que segue.

Tabela 5 – Quota de consumo de energia por distrito

Distrito	Quota de consumo de energia
Portugal	100%
Aveiro	5,58%
Braga	1,28%
Leiria	3,52%
Lisboa	25,52%
Porto	16,94%
Faro	0,54%

3.1.2 Caracterização do consumo de eletricidade nacional

Os próximos diagramas de carga que serão abordados irão ser utilizados como cenários, numa aplicação informática, que pretende verificar o impacto dos PEVS no pico de consumo de energia elétrica. É então com base nos diagramas, disponibilizados pela REN [55] e referentes ao ano 2015, que será caracterizado o consumo de energia elétrica ao longo de um dia. Estes diagramas de carga são voláteis, uma vez que o consumo de energia elétrica tem uma diferente escala nas quatro estações do ano. Ainda assim, estes podem ser caracterizados, segundo dias típicos, aplicando um perfil de consumo de energia elétrica com o objetivo de se poder caracterizar o consumo esperado num determinado espaço temporal. Neste sentido e segundo dias típicos serão definidos os diagramas de carga a estudar que poderão ser consultados nas próximas 5 figuras.

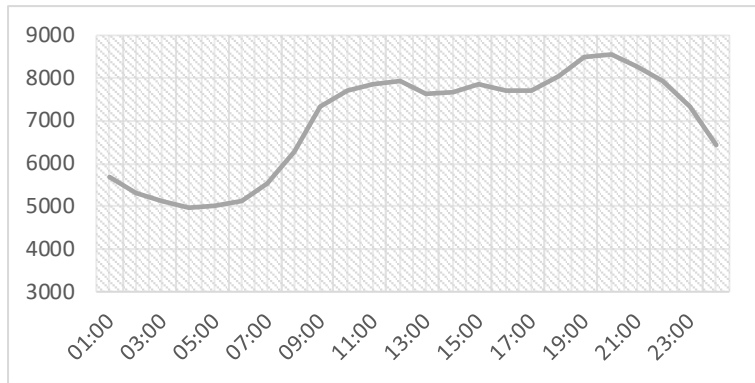


Figura 10 – Dia de maior consumo¹⁰ (21.01.2015)

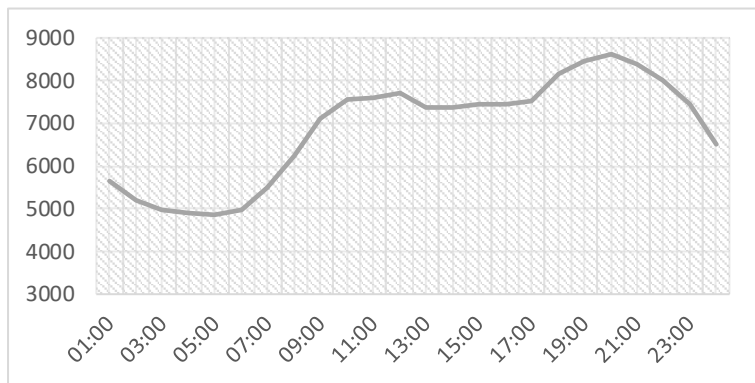


Figura 11 – Dia de ponta anual¹¹ (07.01.2015)

¹⁰ Este dia típico representa o diagrama de carga em que o consumo de energia elétrica acumulado foi máximo nesse ano.

¹¹ Este dia típico representa o diagrama de carga no qual se obteve a potência máxima nesse ano.

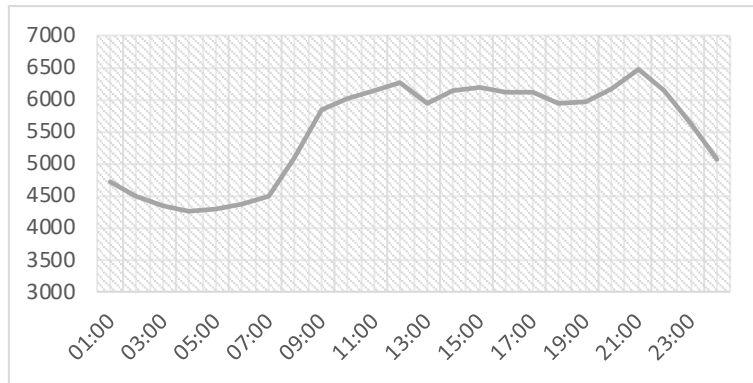


Figura 12 – Dia típico Primavera (16.04.2015)

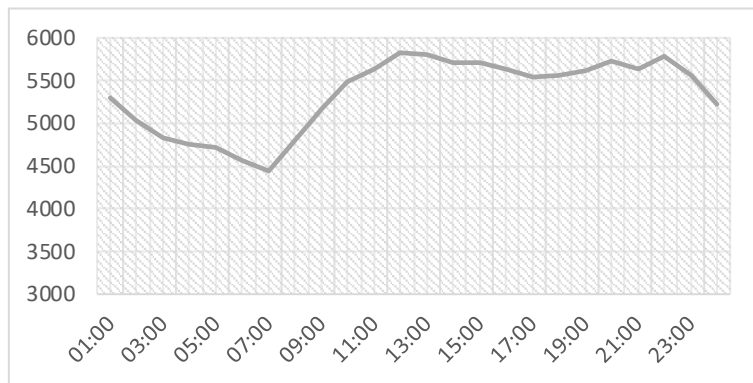


Figura 13 – Dia típico Verão (18.07.2015)

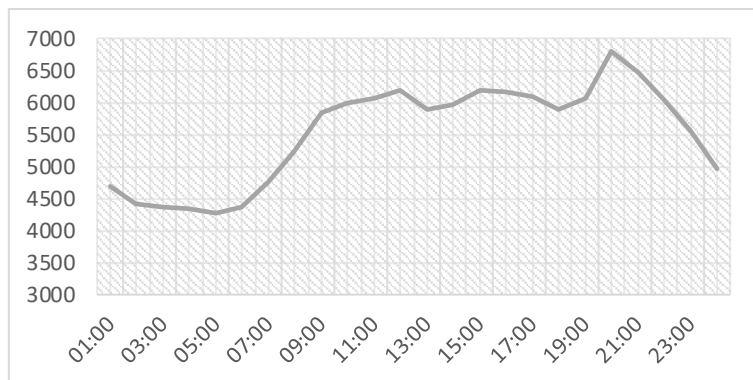


Figura 14 – Dia típico Outono (15.10.2015)

As figuras representadas anteriormente têm como principal objetivo a descrição do consumo de eletricidade ao longo de um determinado dia típico. Analisando essas figuras é possível verificar que o consumo é menos acentuado nas horas de vazio normal e super vazio e que é mais acentuado nas horas de cheia e de ponta. Ainda, é possível visualizar que o pico de

consumo de energia elétrica é verificado às 20:00h, sendo este o momento em que os veículos elétricos poderão aumentar o pico de consumo em maior escala.

3.1.3 Modelo de previsão dos diagramas de carga

A presente dissertação pretende verificar o impacto nos diagramas de carga provocados pelos PEVS até 2030. Desta forma, torna-se imprescindível uma estimativa da evolução dos diagramas de carga até esse ano. Atendendo aos dados descritos no ponto 2.1.2, relativos ao consumo de energia, verifica-se que desde 1990 este segue um crescimento neste setor. Ainda, um estudo realizado pela DGEG (Direção Geral de Energia e Geologia) com o apoio da REN (Redes Energéticas Nacionais) [56] comprova a afirmação em cima descrita e descreve um conjunto de cenários até 2030. Estes cenários pretendem caracterizar diferentes evoluções do consumo de energia elétrica até ao ano 2030. Neste sentido, este estudo será utilizado para estimar os diferentes diagramas de carga pretendidos nesta dissertação.

O estudo acima descrito refere-se ao relatório de monitorização da segurança e abastecimento do sistema elétrico nacional até 2030 embutindo os impactos das medidas de eficiência energética descritos no Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética, estendidos até esse ano. Este relatório estima, segundo três cenários distintos, a evolução do consumo de energia nos diagramas de carga até 2030.

- Cenário inferior que prevê uma evolução de 1,08%;
- Cenário central que prevê uma evolução de 1,1%;
- Cenário superior que prevê uma evolução de 1,4%.

Assim sendo e com recurso aos cenários acima descritos, pressupondo também que o perfil de consumo dos diagramas de carga (3.1.2.) permanece inalterado, é possível descrever o consumo de eletricidade no futuro até 2030.

Neste sentido, calculou-se um acerto proporcional ao aumento da potência prevista nos diagramas de carga, para o ano e região em questão, para os diferentes dias típicos e de acordo com os cenários referentes ao estudo referido neste ponto. Assim, estes diagramas calculados irão ser utilizados na aplicação informática que será desenvolvida para verificar o impacto nos PEVS nos diagramas de carga até 2030. Para tal efeito, será demonstrado o cálculo da extrapolação.

Em primeiro lugar e como base, será utilizada uma matriz referente aos diagramas de carga dos demais dias típicos utilizados no ponto 3.1.2. Posteriormente essa matriz será sujeita a um fator de multiplicação que concerne uma determinada região e cenário.

O fator de multiplicação referente à região é realizado tendo em conta a quota de consumo de energia elétrica que essa região tem em Portugal que foi descrita na Tabela 5.

O fator de multiplicação referente ao cenário engloba não só a evolução prevista nos cenários (inferior, central, superior) anteriormente descritos, como também a proporcionalidade com o ano em questão (2015, 2020, 2030).

Neste sentido, e como exemplo será realizada a extrapolação de um diagrama de carga do dia de ponta anual, para 2030, segundo um cenário superior e na região de braga.

$$\text{Diagrama de carga} = DPA * \text{Cen. superior} * QCE \quad (6)$$

Em que, DPA é a matriz referente ao dia de ponta anual, o Cen.Superior representa um fator de multiplicação de 1,4 com recurso ao estudo da DGEG descrito anteriormente e o QCE representa o fator de multiplicação da quota de consumo de energia descrito na Tabela 5 e que para o caso de Braga tem o valor de 0,0128.

3.2 Caracterização nacional do parque automóvel

No âmbito deste estudo, de forma a avaliar o consumo energético associado aos veículos elétricos, é perentória uma estimativa da evolução do Parque Automóvel (PA) em Portugal. A finalidade desta estimativa é compreender o padrão do crescimento do parque automóvel português e prever também a quota de mercado pertencente aos VEs.

A figura que segue, demonstra uma evolução quantitativa, de acordo com a ACAP, do parque automóvel em Portugal entre 2000 e 2014.

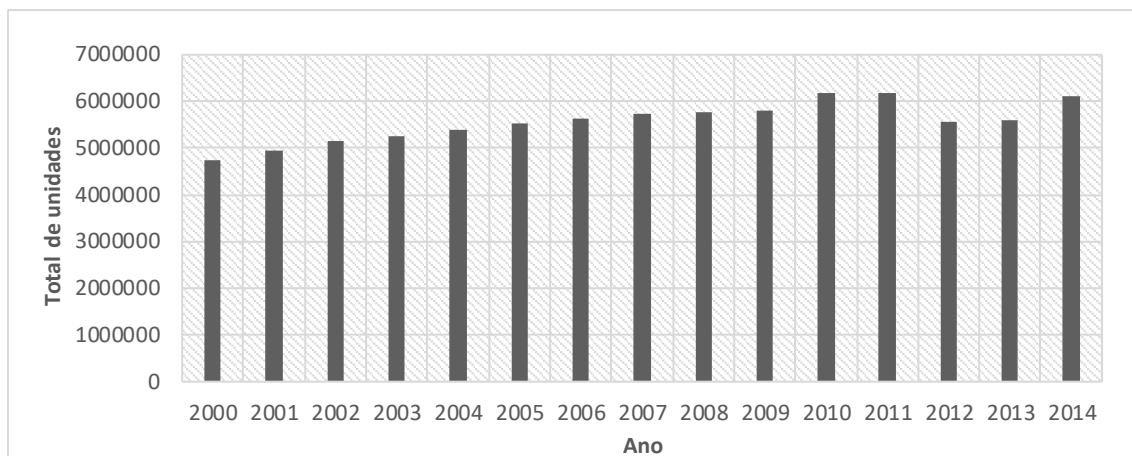


Figura 15 – Parque automóvel nacional [21]

Analisando o gráfico, é possível observar que a evolução do parque automóvel segue um crescimento natural de 2000 até 2009. É então em 2010 que pode ser observado um crescimento mais acentuado de 6,41% do PA mantendo-se em 2011 e regredindo de seguida em 2012 em 10,11%, equiparando-se aos valores de 2005. Esta redução deveu-se, em maior parte, à crise económica que Portugal atravessou mencionada no estado da arte (2.1.2.). Em 2014 os números do PA voltaram a aumentar em 8,5% retornando assim a um crescimento natural do mesmo.

Os dados da evolução do parque automóvel anteriormente descritos têm uma variação de resultados de ano para ano. Essa variação é denominada por taxa de crescimento do PA e pode ser observada na figura abaixo.

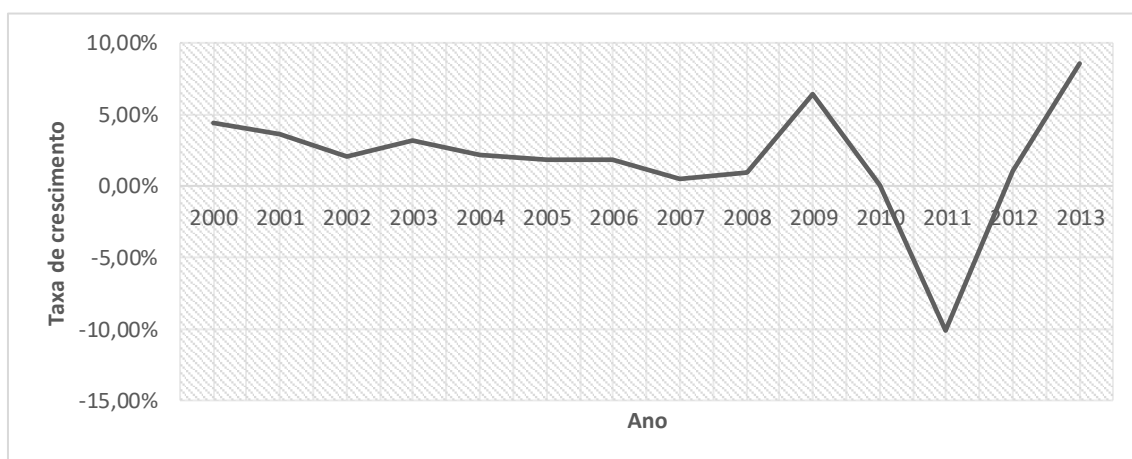


Figura 16 – Taxa de crescimento do parque automóvel

É possível constatar um decréscimo da taxa de crescimento entre 2000 e 2008 devido à diminuição de venda de veículos. No entanto, nos momentos seguintes existem dois picos positivos e um negativo que reforçam os números de 2010, 2012 e 2014 do gráfico anterior (Figura 16). Tendo em conta os presentes dados, fornecidos pela ACAP, é possível nivelar, em média, o crescimento anual do PA português em 1% respeitando ainda uma tendência crescente merecida pelos dois últimos exercícios.

3.2.1 Vendas de automóveis

As vendas de automóveis têm um grande impacto na evolução do parque automóvel num determinado ano. Posto isto, é necessária uma análise das vendas anuais de automóveis. Atendendo aos dados fornecidos pela ACAP, é possível distribuir as vendas de veículos novos entre 2000 e 2015 como se pode observar na figura que segue.

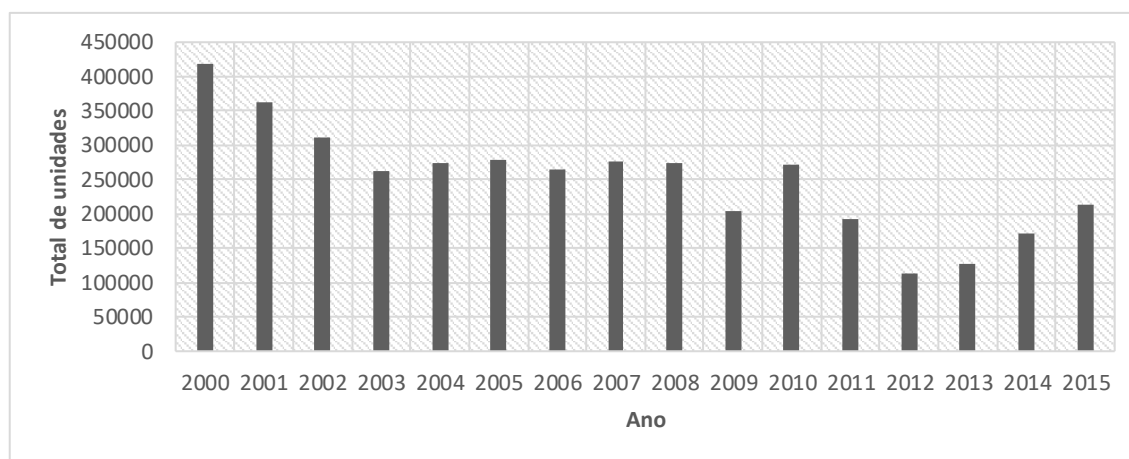


Figura 17 – Vendas automóvel anual

Estas vendas seguem um crescimento médio e anual de 0,53%, sendo esta a taxa de crescimento utilizada para prever o número de veículos vendidos em cada ano até 2030.

3.2.2 Distribuição do parque automóvel em Portugal

Neste estudo foram apenas contabilizados os distritos com maior quota de mercado de veículos automóveis em Portugal. Para este efeito, foi utilizado um relatório da Autoridade

de Supervisão de Seguros e Fundos de Pensões que retrata a distribuição percentual do PA por distrito em Portugal.

Tabela 6 – Distribuição do PA por distrito [57]

Distribuição do Parque automóvel português por distrito em 2015	
Local	Distribuição
Portugal	100%
Aveiro	7,4%
Braga	8,1%
Leiria	5,6%
Lisboa	20,8%
Porto	14,9%
Faro	4,7%

3.2.3 Modelo de previsão do parque automóvel

Relativamente ao PA nacional é necessário, em primeiro lugar, calcular a taxa de crescimento do mesmo (TC_{PA}), ou seja, estimar em percentagem o crescimento do PA de ano para ano. De forma a obter a TC_{PA} foi guardado, numa matriz (P_A), o número de automóveis do PA em cada ano (z). Posteriormente, foi calculada a média do crescimento do PA de ano para ano como se pode observar na seguinte equação:

$$TC_{PA}(z) = \frac{\sum_{2001}^{2014} \frac{P_A(z)}{P_A(z-1)}}{14} = + 1\% \quad (6)$$

$P_A(z)$ é uma matriz com as seguintes características:

Tabela 7 – Matriz do parque automóvel nacional em função do ano

z	Parque Automóvel Nacional $P_A(z)$
2000	4 750 000
2001	4 957 000
2002	5 138 000
2003	5 241 100
2004	5 405 700
2005	5 523 270
2006	5 625 000
2007	5 727 100
2008	5 757 400
2009	5 809 500
2010	6 182 106
2011	6 181 188
2012	5 556 041
2013	5 615 079
2014	6 095 506

A taxa de crescimento do PA média e anual é então de 1%. Este foi o valor utilizado, tendo em conta os últimos 14 anos para estimar o parque automóvel até 2030.

$$P_A(z) = P_A(z - 1) \times (1 + TC_{PA}), \quad 2014 \geq z \leq 2030 \wedge int \quad (7)$$

O mesmo pode ser realizado em relação às vendas automóveis, em que foi guardada uma matriz (V_A) com as vendas automóveis nos anos (z). Estas vendas seguem um crescimento médio e anual de 0,53%, sendo esta a taxa de crescimento utilizada para prever o número de veículos vendidos em cada ano até 2030. Com recurso à fórmula abaixo apresentada é possível estimar as vendas de automóveis até 2030.

$$V_A(z) = V_A(z - 1) \times \left(1 + \frac{\sum_{2000}^{2015} \frac{V_A(z)}{V_A(z - 1)}}{15} \right), \quad 2016 \geq z \leq 2030 \wedge int \quad (8)$$

Em que $V_A(z)$ é uma matriz com as seguintes características:

Tabela 8 – Matriz das vendas anuais em função do ano

z	Vendas Anuais $V_A(z)$
2000	418 881
2001	361 466
2002	310 823
2003	263 154
2004	274 195
2005	278 470
2006	265 174
2007	276 606
2008	275 127
2009	203 760
2010	272 754
2011	191 362
2012	113 435
2013	126 689
2014	172 357
2015	213 654

3.3 Caracterização nacional da mobilidade elétrica

Em Portugal a penetração de PEVs é reduzida. Neste sentido, e tendo em conta as vendas de PEVs em Portugal nos últimos anos, segundo a ACAP, é possível observar que neste país, as suas vendas têm uma percentagem inferior relativamente à tendência mundial[58]. Na próxima figura irá ser detalhada a evolução da mobilidade elétrica em Portugal.

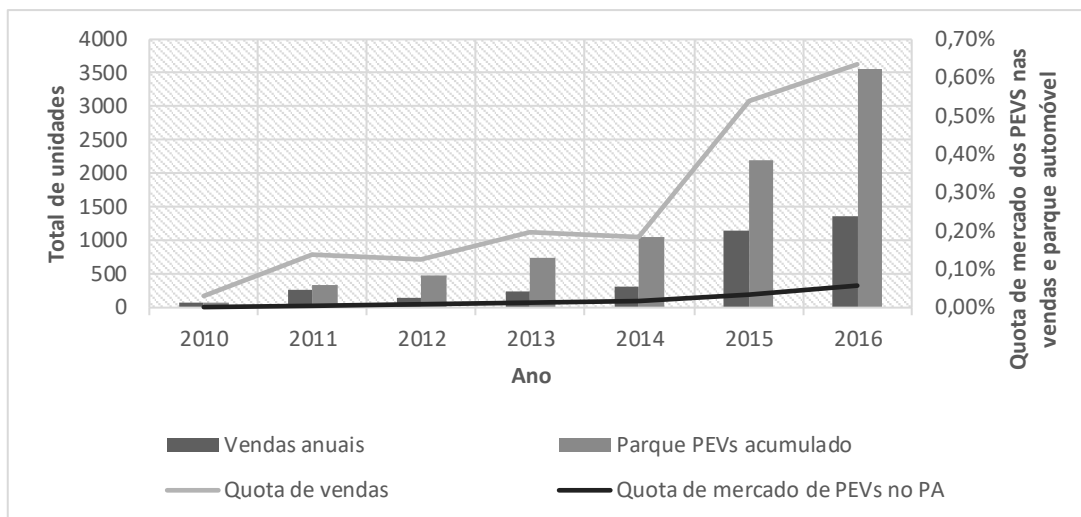


Figura 18 – Evolução da mobilidade elétrica em Portugal

Tendo em conta o gráfico que precede, é possível observar que o crescimento médio e anual de PEVs é de 146%. No entanto, a quota de mercado dos PEVs no PA total é muito reduzida. Um indicador que traduz a evolução na compra deste tipo de veículos é a quota de mercado dos PEVs sobre as vendas, onde se pode observar que em 2015 em 200 automóveis vendidos 1 foi PEV. Tal facto demonstra que existe uma penetração dos PEVs, ainda que reduzida, no setor automóvel e tendo em conta os dados dos anos anteriores é possível entender que se encontra numa fase crescente.

A quota de mercado de PEVs pode ser obtida tendo em conta o número de PEVs em determinado ano e o parque automóvel nacional nesse mesmo ano.

$$QM_{PEV}(z) = \frac{N_{PEV}(z)}{P_A(z)} \quad (9)$$

A quota de vendas de pode ser obtida tendo em conta as vendas de PEVs em determinado ano e a venda total de automóveis nesse mesmo ano.

$$QV_{PEV} = \frac{V_{PEV}(z)}{V_A(z)} \quad (10)$$

3.3.1 Distribuição da mobilidade elétrica em Portugal

A distribuição da mobilidade elétrica em Portugal foi realizada tendo em conta a distribuição do PA em Portugal devido à inexistência de dados fidedignos que suportem uma distribuição dos PEVs pelo País. Desta forma, e tendo em conta o gráfico referente à evolução da mobilidade elétrica em Portugal (Figura 18) e a Tabela 6 referente à distribuição do PA por distrito, é assim, possível estimar essa distribuição como se pode ver na próxima tabela.

Tabela 9 – Distribuição do Parque automóvel português por distrito em 2015

Distribuição do Parque automóvel português por distrito em 2015		
Local	Distribuição	Nº de PEVs
Portugal	100%	2203
Aveiro	7,4%	163
Braga	8,1%	178
Leiria	5,6%	123
Lisboa	20,8%	458
Porto	14,9%	328
Faro	4,7%	104

3.3.2 Modelo de previsão da mobilidade elétrica nacional em 2030

A informação existente sobre a previsão da mobilidade elétrica nos próximos anos, em Portugal, é bastante escassa ou quase nenhuma. Existe sim, um estudo realizado pelo INESC-TEC que prevê o número de automóveis elétricos até 2020.

Neste sentido, a previsão que irá ser realizada nesta dissertação, referente à evolução da mobilidade elétrica nacional, será distribuída em três cenários distintos:

- Cenário 1: Evolução do Parque automóvel elétrico INESC-TEC (*MERGE*) com posterior estimativa de 2020 a 2030;
- Cenário 2: Estimativa do parque automóvel elétrico até 2030 segundo a evolução representada na Figura 18;
- Cenário 3: Estimativa do parque automóvel elétrico a partir da média entre os dois últimos cenários.

3.3.2.1 Cenário 1: Estimativa do Parque automóvel elétrico INESC-TEC (*MERGE*)

Segundo o estudo realizado pelo INESC-TEC, em 2020 apenas 26.200 PEVs farão parte do parque automóvel elétrico português. Estas previsões foram o objetivo de um estudo Europeu – *MERGE (Mobile Energy Resources For Grid of Electricity)* liderado pelo INESC-TEC. Os especialistas que participaram no projeto, referem que os Estados-Membros não deverão ter necessidade de investir na renovação das infraestruturas de distribuição de energia nos próximos anos. Estes especialistas preveem ainda que será entre 2020 e 2030 quando acontecerá um maior aumento do número de automóveis elétricos em circulação, e posteriormente em 2030 haverá a massificação dos mesmos. Os preços elevados dos veículos elétricos e a sua autonomia reduzida são os dois fatores que retardam a penetração dos automóveis elétricos atualmente [51], [59].

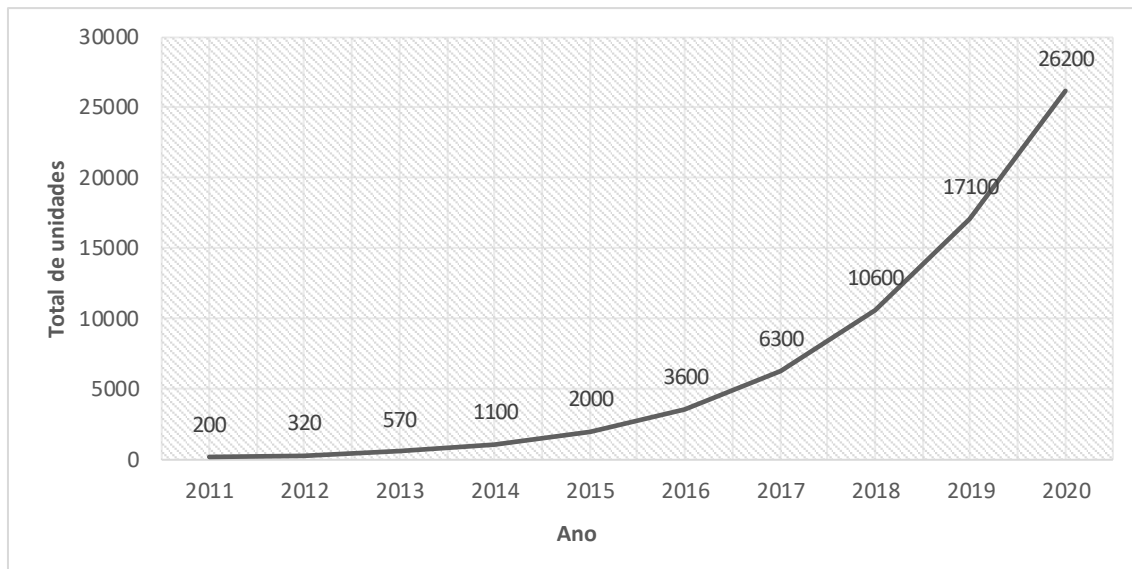


Figura 19 – Previsão dos PEVs até 2020 pelo INESC-TEC

Com o objetivo de ter a perceção da dispersão dos dados do estudo do INESC-TEC em torno dos valores reais, calculou-se o desvio padrão do valor real do parque automóvel de PEVs, desde 2010 até 2015, com o número de PEVs estimado por esse mesmo estudo nos respetivos anos. O desvio padrão foi calculado de acordo com a equação que segue

$$\sigma(z) = \sqrt{\left((NPEV_{inesc}(z) - \left(\frac{NPEV_{ac}(z) + NPEV_{inesc}(z)}{2} \right)) \right)^2 + \left((NPEV_{ac}(z) - \left(\frac{NPEV_{ac}(z) + NPEV_{inesc}(z)}{2} \right)) \right)^2} \quad (11)$$

$\cong +104$

Com recurso à formula anterior foi possível perceber que a dispersão em cima mencionada se situa nos +104 veículos anuais.

Uma vez que este estudo do INESC-TEC só prevê o número de PEVs a nível nacional até 2020 e na presente dissertação é necessário prever até 2030 foi realizada uma previsão do número de PEVs até 2030 tendo em conta os valores concluídos neste estudo. Para realizar esta previsão foi verificado que a curva da Figura 19 pode ser descrita matematicamente por

uma regressão polinomial de terceiro grau. O objetivo desta regressão é realizar a expansão deste estudo até 2030 tendo em conta o resultado dos anos anteriores.

Desta forma, a partir de uma equação de quatro variáveis (A, B, C, D) é possível determinar a curva da regressão polinomial através da seguinte equação:

$$Y = Ax^3 + Bx^2 + Cx + D \quad (12)$$

Substituindo estas quatro variáveis por quatro pontos distintos da curva determinam-se as variáveis acima descritas ficando, assim, com uma equação descrita na seguinte formula:

$$Y = 56,169x^3 - 563,96x^2 + 1910,3x - 1574,6 \quad (13)$$

sendo o coeficiente de determinação da curva ($R^2 = 0,9993$) , o que significa que as variáveis independentes explicam 99,93% da variação da variável dependente.

Assim, a curva calculada como sendo expansão do estudo até 2030 pode ser observada na seguinte figura.

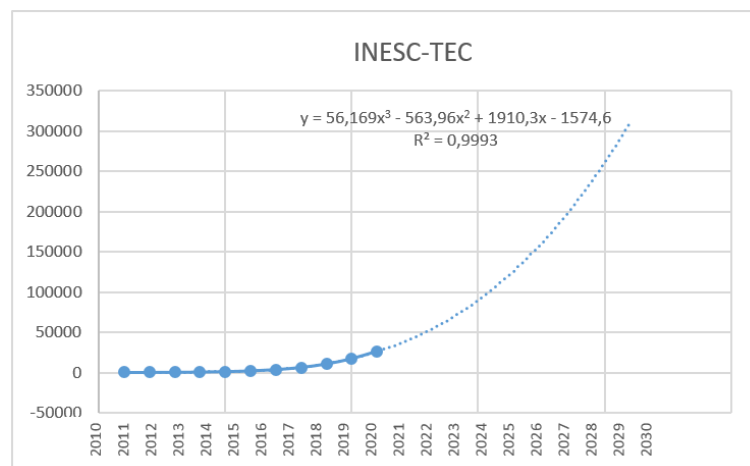


Figura 20 – Número de PEVs até 2030 – INESC-TEC

3.3.2.2 Cenário 2: Estimativa do Parque automóvel elétrico nacional

Esta estimativa do parque automóvel elétrico nacional segue o mesmo princípio que no caso do estudo do INESC-TEC no intervalo 2020 a 2030. Por tal razão é necessário extrair as variáveis independentes a partir de quatro pontos do próximo gráfico que traduz os valores reais do número de PEVs a nível nacional.

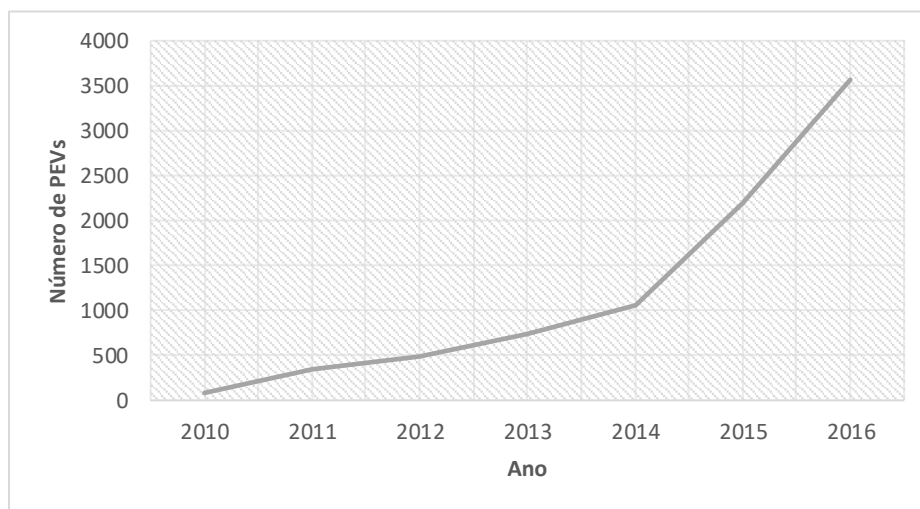
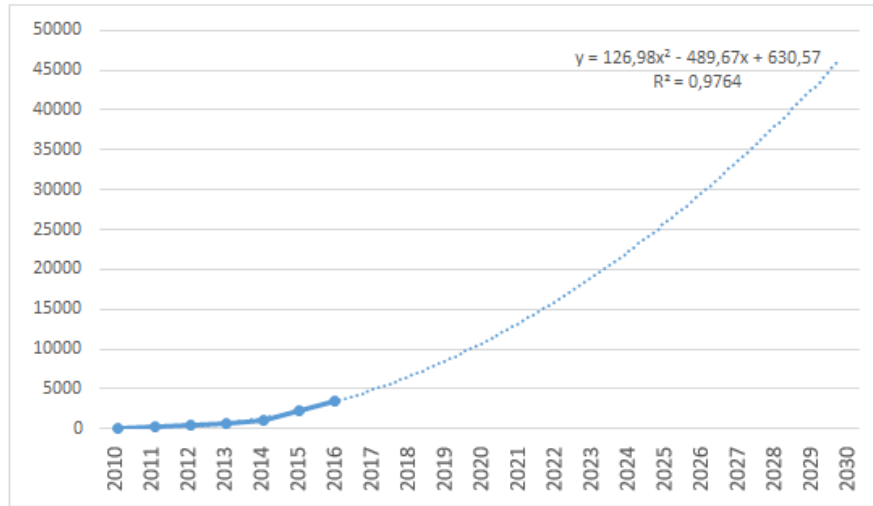


Figura 21 – Evolução da mobilidade elétrica

Para este caso será realizado o cálculo da regressão polinomial de segundo e terceiro grau com o objetivo de analisar e verificar assim qual será a melhor aproximação tendo em conta os respetivos coeficientes de determinação. Neste sentido, utilizando a formula 12 apuraram-se os seguintes resultados:

1. Aproximação utilizando um polinómio de segundo grau:

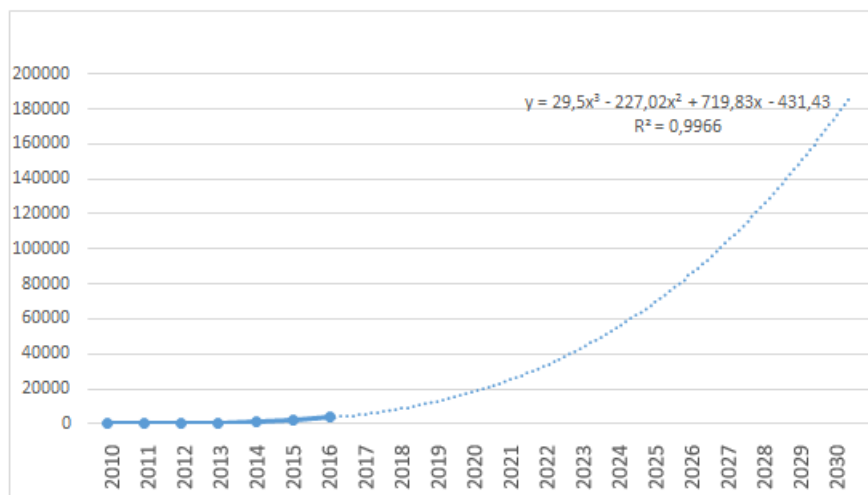


Com isto, e realizado o cálculo da regressão polinomial de segundo grau, utilizando a formula 12, ficamos com a seguinte formula que permite calcular a previsão do número de PEVs até 2030:

$$Y = 126,98x^2 - 489,67,83x - 630,57 \quad (14)$$

sendo o coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9764$), o que significa que as variáveis independentes explicam 97,64% da variação da variável dependente.

2. Aproximação utilizando um polinómio de terceiro grau:



Realizando o cálculo da regressão polinomial de terceiro grau, utilizando os mesmos princípios do caso anterior apurou-se a seguinte fórmula que permite calcular a previsão do número de PEVs até 2030:

$$Y = 29,5x^3 - 227,02x^2 + 719,83x - 431,43 \quad (15)$$

sendo o coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9966$), o que significa que as variáveis independentes explicam 99,66% da variação da variável dependente.

Desta forma, tendo em conta os dois últimos casos apresentados verificou-se que o coeficiente de determinação referente ao segundo caso (polinómio de terceiro grau) permite impor uma maior fiabilidade à previsão do número de PEVs até 2030. Por esta razão, o segundo caso servirá como estimativa do parque automóvel elétrico nacional a utilizar na aplicação informática que irá ser desenvolvida.

3.3.2.3 Cenário 3: Estimativa do Parque automóvel elétrico nacional Médio

Neste cenário foi realizada uma média simples, em cada ano, entre os valores do cenário 1 e do cenário 2. Sendo assim, a curva do cenário 3 irá também descrever uma equação polinomial de terceiro grau.

Tendo em conta que o cenário 1 é o mais otimista e o cenário 2 o mais pessimista, o cenário 3 será o cenário base ou médio utilizado neste estudo.

3.3.2.4 Resumo de cenários

O gráfico resumo respetivo aos três cenários pode ser observado na figura que segue.

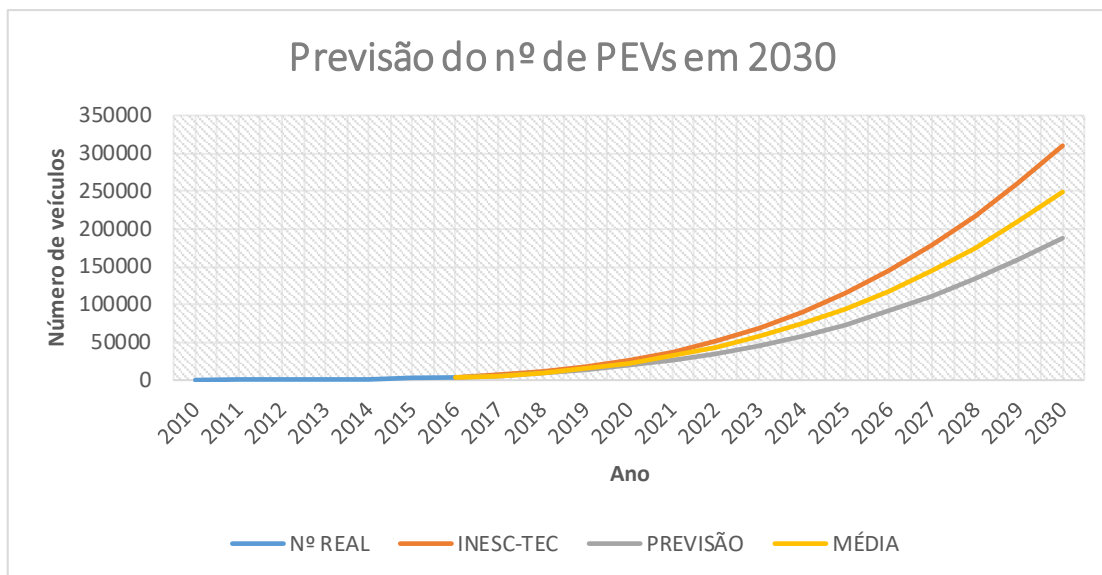


Figura 22 – Resumo de cenários

As matrizes que constituem este gráfico (Figura 22) podem ser observadas na tabela que segue:

Tabela 10 – Número de veículos referente aos cenários

Ano	Real	INESC-TEC (cen.1)	Previsão (cen.2)	Média (cen.3)
		Cen. Superior	Cen.inf	Cen.médio
2010	83			
2011	345			
2012	490			
2013	738			
2014	1054			
2015	2203			
2016	3567			
2017		6300	5902	6101
2018		10600	9164	9882
2019		17100	13565	15332
2020		26200	19282	22741
2021		37199	26492	31845
2022		51353	35371	43362
2023		68761	46098	57430
2024		89759	58849	74304
2025		114685	73801	94243
2026		143874	91130	117502
2027		177665	111015	144340
2028		216395	133632	175013
2029		260399	159157	209778
2030		310016	187769	248893

4 Estudo do impacto da energia associada aos VEs no pico de consumo de energia elétrica

No presente capítulo será apresentada a metodologia utilizada para prever o impacto do consumo dos PEVs nas curvas de carga diárias, mais concretamente no pico do consumo de energia elétrica, até 2030, com base no intervalo de dados de 2010 a 2016 referentes à mobilidade elétrica. Mediante cenários distintos, este estudo permitirá analisar o seu impacto quer a nível nacional quer a nível regional. De forma a avaliar esse impacto serão calculados alguns parâmetros, tais como:

- Estudo do consumo de energia elétrica na utilização de um VE;
- Tipologias e métodos de carregamento dos veículos elétricos;
- Previsão dos diagramas de carga para o ano de 2020 e 2030;
- Construção de uma aplicação informática que permita realizar o cálculo do impacto dos VEs no pico de consumo de eletricidade.

Posteriormente irá ser realizada uma análise e simulação dos resultados a nível nacional e regional.

4.1 Estudo do consumo energia associada a um veículo elétrico

Para a realização deste estudo é necessário primeiramente a escolha do itinerário pelo qual o estudo se irá reger, bem como a escolha de um modelo de veículo elétrico que possibilite, através das suas características, realizar o cálculo do consumo. Por último, realizar o cálculo do consumo de energia associado a esse modelo tendo em conta a velocidade, aceleração e as forças que atuam no veículo.

4.1.1 Percorso escolhido

O percurso escolhido foi um itinerário do tipo casa-trabalho de 6,7 km. Assim, o itinerário consistiu num percurso desde o Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) até à avenida conduta em Rio Tinto, como se pode ver na figura que segue.

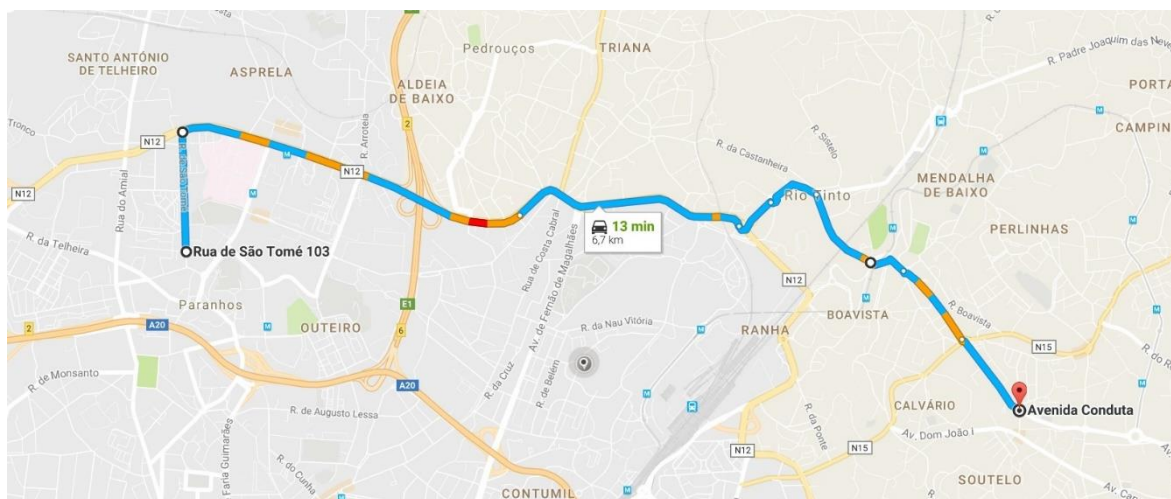


Figura 23 – Percurso ISEP – Avenida conduta (Rio Tinto)

Este percurso foi dividido em 8 troços para efeitos de cálculo. O objetivo de dividir o percurso em troços deveu-se à inclinação do troço, ou seja, sempre que exista uma inclinação diferente em sinal da que a precede é considerado um novo troço. Esta inclinação foi calculada com recurso à seguinte equação.

$$Inclinação = \text{sen} \left(\frac{Altitude_{Final} - Altitude_{início}}{Distância \text{ do troço}} \right) \quad (16)$$

O total de troços que constituem este percurso, bem como as características inerentes aos mesmos, podem ser observados na tabela que segue:

Tabela 11 – Características do percurso

Percurso ISEP - Avenida conduta (Rio tinto)		
Troço 1	Rua de São Tomé - ISEP	Estrada da circunvalação
Altitude (m) ¹²	109,286	100,407
Distância (m) ¹³	700	
Inclinação (radianos)	-0,012683946	
Troço 2	Estrada da circunvalação	Rotunda (Rua Diamantina)
Altitude (m)	100,407	137,391
Distância (m)	2500	
Inclinação (radianos)	0,01479306	
Troço 3	Rotunda (Rua Diamantina)	Rotunda (Rua de Rebordões)
Altitude (m)	137,391	98,172
Distância (m)	1000	
Inclinação (radianos)	-0,039208947	
Troço 4	Rotunda (Rua de Rebordões)	Rua de Rebordões
Altitude (m)	98,172	82,266
Distância (m)	400	
Inclinação (radianos)	-0,039754521	
Troço 5	Rua de Rebordões	Rotunda (A taberna)
Altitude (m)	82,266	86,442
Distância (m)	190	
Inclinação (radianos)	0,021977178	
Troço 6	Rotunda (A taberna)	Rua Amália Rodrigues
Altitude (m)	86,442	64,879
Distância (m)	550	
Inclinação (radianos)	-0,039195412	

4.1.2 Características do veículo elétrico

Para efeitos de cálculo, o *Nissan Leaf* foi o modelo escolhido para providenciar um conjunto de características necessárias ao cálculo do consumo de energia associado a um VE. O consumo deste veículo é de 12 kWh/100km, no entanto, esse consumo estará sujeito a um

¹² Dado recolhido com recurso ao site: www.daftlogic.com

¹³ Dado recolhido com recurso ao site: www.google.pt/maps/

teste de forma a provar a sua veracidade num circuito português aleatório. As características referentes ao *Nissan Leaf* podem ser observadas na tabela que segue:

Tabela 12 – Características do *Nissan Leaf* [60]

	Carro[60]		
Características	Peso do carro	1945	kg
	Peso de passageiros ¹⁴	150	kg
	Peso total	2095	kg
	Largura do pneu	205	mm
	Altura do Pneu	55	mm
	Medida do aro	16	polegadas
	Diâmetro da roda	0,6	m
	Raio da roda	0,3159498	m
	Área frontal	2,2	m²
	Coeficiente aerodinâmico[50]	0,2	
	Coeficiente de rolamento[50]	0,013	
Rendimento total do veículo ¹⁵	0,6		

	Motor[60]		
Características	Potência	80	kW
	Frequência	50	Hz
	Tensão	360	V
	Corrente		A
	Velocidade nominal	144	km/h
	Binário nominal	254	nm

	Roda[60]		
Características	Perfil Height	112,8	mm
	Perfil altura	4,4	polegadas
	Diâmetro	24,9	polegadas
	Diâmetro	0,6	m

Densidade do ar (15°) ¹⁶	1,2225	kg/m³
-------------------------------------	--------	-------------------------

4.1.3 Cálculo do consumo

Com recurso às formulas descritas no ponto 2.2.7. referentes às forças que atuam nos veículos e também às formulas que se seguem, foi possível calcular o consumo de energia referente ao *Nissan Leaf*.

¹⁴ Para efeitos de cálculo foi utilizado um peso de 150 kg equivalente a duas pessoas com um peso de 75 kg

¹⁵ Para efeitos de cálculo foi utilizado um rendimento total do *Nissan Leaf* de 60%

¹⁶ Foi pressuposta uma densidade do ar à temperatura de 15° *Celsius*

A aceleração e inclinação são *inputs*. Para a aceleração foi utilizado o valor de $1,2 \text{ ms}^{-2}$, ou seja, menos de metade da aceleração máxima ($2,8 \text{ ms}^{-2}$) deste veículo. Relativamente à inclinação foram utilizados os valores dos respetivos troços referenciados na Tabela 11.

Energia	$E = P_{in} \times \frac{1}{3600} \quad (17)$
Potencia de entrada	$P_{in} = P_{out} \times \eta \quad (18)$
Potência de saída	$P_{out} = F_{Total} \times Velocidade \quad (19)$
Velocidade	$V_k = Distância \times \Delta t \quad (20)$
Velocidade	$V_m = Velocidade(ms^{-1}) \times 3,6 \quad (21)$
Velocidade da roda	$\omega = \frac{V_m}{Raio \ da \ roda} \quad (22)$
Rotação da roda	$RMP_r = \frac{\omega}{\left(\frac{2 \times \Pi}{60}\right)} \quad (23)$

O valor do consumo de energia calculado no presente estudo teve um resultado de 14,35 kWh/100km contrariamente aos valores da ficha técnica[60] do *Nissan Leaf*, onde é representado um consumo de apenas 12 kWh/100km. De notar, ainda, que alguns parâmetros não foram contemplados na realização do cálculo do consumo de um VE na presente dissertação, tais como:

- Eficiência de um sistema de tração;
- Recuperação de energia nas travagens e descidas.

Contudo, existe um estudo [61] realizado pela Exame Informática revelou que num percurso em autoestrada, respeitando os limites máximos de velocidade (120 km/h), o *Nissan Leaf*

obteve um consumo ainda mais desfavorável. Neste caso real, o percurso escolhido foi uma viagem Porto-Lisboa em que a velocidade tendeu a ser constante, devido ao tipo de percurso. Por tal razão houve uma limitação das capacidades do VE em termos da regeneração de energia, que acontece, nas travagens, desacelerações e descidas acentuadas. Esta regeneração é importante na medida em que permite a possibilidade do motor elétrico funcionar como um gerador que carrega as baterias e, por isso aumenta a autonomia do VE. No entanto, este estudo representa um exemplo prático e real do consumo de um VE em autoestrada.

A final, todos os valores de consumo referenciados anteriormente irão fazer parte de consumos tipo, passíveis de escolha por parte do utilizador, na aplicação informática que será desenvolvida para estimar o impacto que os VEs irão ter nos diagramas de carga até 2030.

4.2 Tipos de carregamento

4.2.1 Modelos de carregamento

Os modelos de carregamento são um aspeto bastante importante para a previsão do consumo energético associado aos PEVs. De acordo com a Tabela 3, do ponto 2.2.8, existem dois modelos de carregamento, o rápido e o lento, cujas potências associadas podem ser verificadas na tabela acima mencionada.

Durante a utilização do veículo elétrico a energia armazenada na bateria é utilizada a uma determinada escala para produzir trabalho. Este consumo foi calculado no ponto 4.1.3 e é de 14,35 kWh/100 km. Ainda neste ponto e para realizar o cálculo do tempo de carregamento necessário para repor a capacidade máxima da bateria é necessário perceber qual o tipo de utilização que os veículos elétricos irão ter.

Considerou-se que este tipo de utilização foi dividido em dois grupos:

- Os veículos citadinos que percorrem em média 60 km diários;
- Os veículos de percurso longo que percorrem em média 120 km diários.

Para efeitos do cálculo do consumo de energia elétrica de um VE, num dia, foi utilizada a seguinte fórmula de cálculo:

$$Consumo_{Total} = \frac{Consumo_{M\u00e9dio}}{Capacidade\ m\u00e1x.\ bateria} \times M\u00e9dia\ de\ km's\ di\u00e1rios \quad (24)$$

Com estes \u00faltimos dados ir\u00e1 ser poss\u00edvel tamb\u00e9m calcular o tempo de carregamento necess\u00e1rio de forma a carregar a capacidade m\u00e1xima da bateria. Para esse efeito foi utilizada a seguinte equa\u00e7\u00e3o:

$$Tempo_{Carregamento} = \frac{Consumo_{Total}}{Pot\u00eancia\ do\ carregamento} \quad (25)$$

Realizados estes c\u00e1lculos, \u00e9 poss\u00edvel ter acesso ao tempo de carregamento necess\u00e1rio que um PEV tem com um determinado tipo de utiliza\u00e7\u00e3o e seguindo um determinado modelo de carregamento, como se pode verificar na figura que segue:

Tabela 13 – Informa\u00e7\u00e3o sobre os modelos de carregamento

Tipos de Utiliza\u00e7\u00e3o	Modelo de carregamento	Consumo Total (kWh)	Tempo de carregamento
Citadinos	Lento (3,6 kW) - CL	9,7	T1=03:09:00
	R\u00e1pido (43 kW) - CR	9,7	T2=00:23:00
Percurso longo	Lento (3,6 kW) - CR	19,4	T3=05:38:00
	R\u00e1pido (43 kW) - CR	19,4	T4=00:45:00

\u00c9 ainda poss\u00edvel verificar graficamente e de forma linear os diferentes processos de carregamento. As curvas que estar\u00e3o associadas aos tempos de carregamento na Figura 24 e na Figura 25 podem ser traduzidas pela express\u00e3o matem\u00e1tica *step-side-unit* de Laplace [62].

$$u_c(t) = \begin{cases} 0, & t < c \\ 1, & t \geq c \end{cases} \quad (26)$$

Que também pode ser escrita da seguinte forma:

$$u_c(t) = [u(t - c_1) - u(t - c_2)] \quad (27)$$

O objetivo desta equação é criar um sinal de degrau entre (c_1, c_2) ficando dependente de um fator de multiplicação, seja ele positivo ou negativo.

Aplicando esta formulação matemática para o caso de estudo e dividindo as curvas em dois grupos, citadinos e percurso longo, pode-se observar matematicamente as funções que constroem essas curvas:

- Para o caso dos veículos citadinos

$$\begin{cases} u_{Tcpu}(t) = [u(t) - u(t - T_1)] \times C_L \\ u_{Tcpppl}(t) = [u(t) - u(t - T_2)] \times C_R \end{cases} \quad (28)$$

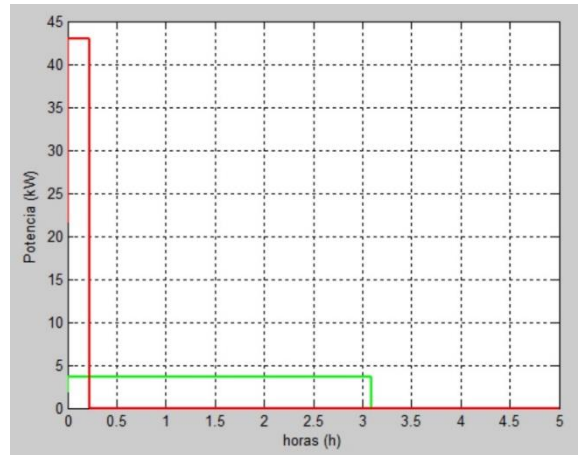


Figura 24 – Tempo de carregamento de veículos citadinos

- Para o caso dos veículos de percurso longo

$$\begin{cases} u_{T_{pll}}(t) = [u(t) - u(t - T_3)] \times C_L \\ u_{T_{plr}}(t) = [u(t) - u(t - T_4)] \times C_R \end{cases} \quad (29)$$

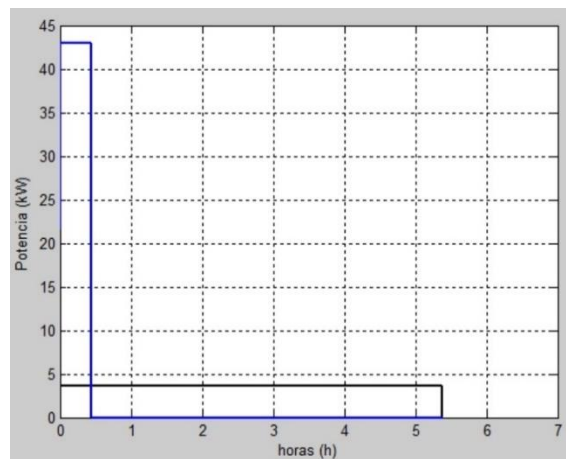


Figura 25 – Tempo de carregamento de veículos de longo percurso

Neste caso T_1, T_2, T_3, T_4 referem-se aos tempos de carregamento que podem ser observados na Tabela 13 e C_L, C_R representam as potências de carregamento lento e rápido referente à mesma tabela.

Assim sendo, podemos verificar que para o carregamento lento os tempos de carregamento necessários são aproximadamente 3 e 5 horas, dependendo do tipo de utilização citadino ou percurso longo, respetivamente. Para o caso do carregamento rápido, os tempos de carregamento são aproximadamente 20 e 40 minutos ficando dependente também dos respetivos tipos de utilização.

4.2.2 Soluções de carregamento

Neste ponto vão ser apresentadas duas possibilidades de carregamento dos *Plug-in Electric Vehicles*.

A primeira possibilidade não exige qualquer sistema de gestão de carregamento e denomina-se *Dumb Charging*. A segunda possibilidade exige um sistema de gestão de carregamento referenciado no ponto 2.2.6 e denomina-se *Fill-Valley-Strategy*, considerada uma das soluções *smart* para o carregamento dos PEVs.

4.2.2.1 Solução *dumb charging*

Para efeitos de carregamento do veículo elétrico, o utilizador irá carregar o seu veículo tendencialmente a partir das 20h. Este carregamento irá, por isso, fazer parte integrante do pico de consumo de energia, como foi referenciado no ponto 2.2.5.

Durante o período diurno considerou-se que o utilizador estará num período passível de utilizar o seu veículo e, por outro lado, no período noturno será um período passível de repouso, uma vez que o veículo se encontrará tipicamente parado.

Desta forma, e atendendo aos períodos de utilização/repouso do veículo, considerou-se que, tendo em conta a Tabela 13, no período noturno se iria realizar um carregamento do tipo lento e no período diurno um carregamento do tipo rápido.

Estabeleceu-se então que 20% dos PEVs iriam realizar o carregamento no período diurno e, por tal facto, um carregamento rápido. Por outro lado, 80% dos PEVs iriam carregar durante o período noturno e, por isso, realizariam um carregamento lento.

De acordo com a Tabela 4, presente no ponto 2.2.8, foi realizada uma distribuição do modo de utilização do veículo e considerou-se para este ponto que 80% dos PEVs iriam realizar um percurso citadino enquanto os outros 20% realizariam um percurso longo.

Esta solução tem um funcionamento simples que se divide em duas fases de carregamento num dia que serão descritas de seguida:

- A primeira fase, período diurno (P_{diurno}), das 1h as 17h – nesta fase 20% dos veículos irão realizar o seu carregamento;
- A segunda fase, período noturno (P_{not}), que tem início às 18h e termina quando os veículos elétricos de percurso longo finalizarem o seu carregamento ($18h+T3$);

Na figura que segue é possível observar a descrição gráfica da solução de carregamento *Dumb Charging*.

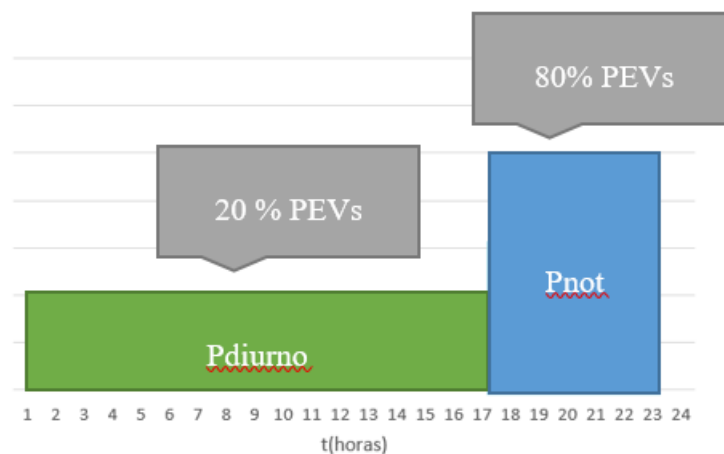


Figura 26 – Distribuição de carga diária do *Dumb Charging*

Assim, e tendo em conta a Figura 26, irá ser explicado como foram calculadas as duas potências existentes na estratégia de carregamento *Dumb Charging*.

Relativamente ao P_{diurno} , a equação apresentada pode ser vista de seguida:

(30)

$$P_{diurno} = (C_R \times T_2 \times 0,8 + C_R \times T_4 \times 0,2) \times \frac{Parque_{PEVs} \times 0,2}{17}$$

Os valores C_R ; T_2 e T_4 podem ser consultados na Tabela 13. Esta equação tem o objetivo de representar o consumo médio dos PEVs em 9 horas de 20% do número de PEVs. Estes 20% são caracterizados por serem os veículos que farão o carregamento rápido durante o dia e, como se pode verificar na formula anterior, 80 desses 20% correspondem aos veículos citadinos e os restantes 20% são referentes aos veículos de longo percurso.

Para o efeito de cálculo da potência no período noturno foi utilizada a seguinte equação:

$$P_{not} = (C_L \times T_1 \times 0,8 + C_L \times T_3 \times 0,2) \times \frac{Parque_{PEVs} \times 0,8}{6} \quad (31)$$

Desta forma, P_{not} representa o carregamento lento referente aos PEVs em que 80% são caracterizados por serem os veículos citadinos e os restantes 20% por serem os veículos de percurso longo.

4.2.2.2 Solução de carregamento *Fill-Valley-Strategy*

Os veículos elétricos, pela forma como é realizado o seu carregamento, poderão trazer problemas futuros para os quais são necessárias soluções. Um desses problemas acontece quando estes veículos são carregados de forma não controlada. Assim sendo, estes veículos realizam o seu processo de carregamento em momentos de pico de consumo energético, tal como acontece no *Dumb Charging*, abordado no ponto anterior. Uma vez que o custo de

produção de energia aumenta de acordo com a sua necessidade, como pode ser visto na próxima figura, este irá ser um problema real.

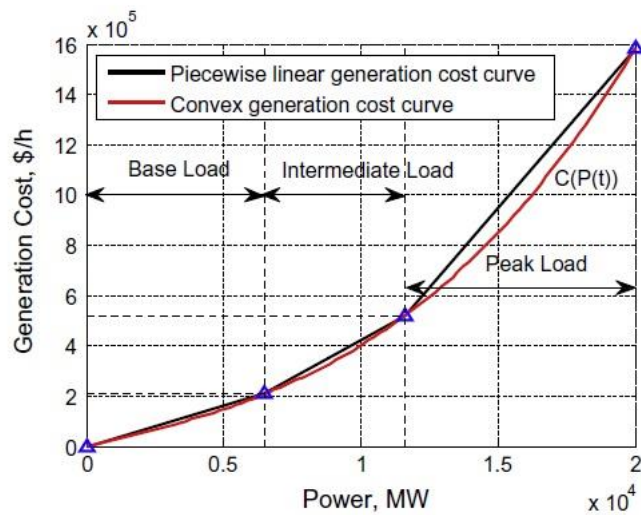


Figura 27 – Relação do preço da produção energética com a sua necessidade

Por esta razão foi desenvolvida uma estratégia de carregamento denominada *Fill-Valley-Strategy*. [5]

A *Fill-Valley-Strategy* tem o objetivo de aproveitar as horas de menor consumo no respetivo diagrama de carga de consumo e por esse motivo reduzir custos de produção energética, otimizando o processo e tornando a política da penetração dos veículos elétricos no mercado mais viável. [5]

Aplicando esta estratégia ao caso de estudo, primeiramente irá ser necessário dividir o dia em dois distintos períodos:

- O período de maior consumo – entre as 7:30h e as 24h (Phorascheias), que engloba as horas de ponta e de cheias [63];
- O período de menor consumo – entre a 1h e as 7:30h (Phorasvazio), que engloba as horas de vazio e super vazio [63].

Os valores referentes à Tabela 13, utilizados no *Dumb Charging*, que demonstram o tempo de carregamento em função do tipo de utilização e do modelo de carregamento, permanecem iguais para esta solução.

Tendo em conta estes dados, o carregamento de 80% dos veículos elétricos irá ser realizado no período de menor consumo, enquanto que os restantes 20% irão ser realizados no período de maior consumo.

Na figura que segue é possível observar graficamente o pretendido com este carregamento:

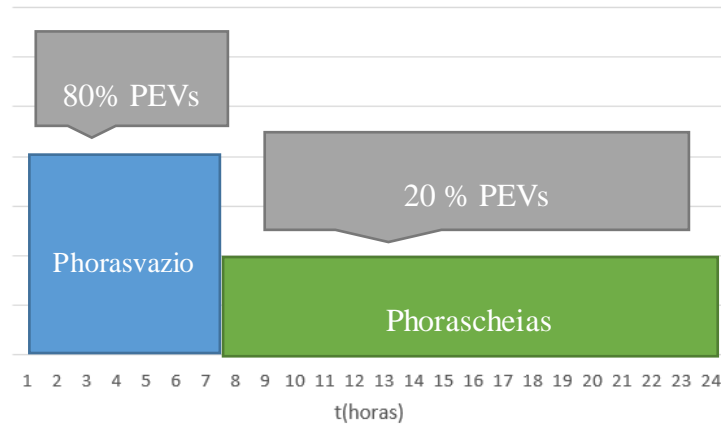


Figura 28 – Distribuição de carga diária do *Fill-Valley-Strategy*

Tendo em conta esta última figura, irá ser explicado como se podem calcular as potências associadas a este tipo de carregamento, o qual está dividido em dois tipos de potência, uma primeira (*Phorasvazio*), que pode ser calculada da seguinte forma:

$$Phorasvazio = (C_L \times T_1 \times 0,8 + C_L \times T_3 \times 0,2) \times \frac{Parque_{PEVs} \times 0,8}{7,5} \quad (32)$$

Os valores C_L, T_1, T_3 podem ser consultados na Tabela 13. Esta equação tem o objetivo de representar o consumo linear em 7 horas de 80% do número de PEVs. Esta percentagem engloba os veículos que farão o carregamento lento durante as horas de menor consumo e, como se pode verificar na formula anterior (equação 34) 80% desses 20% correspondem aos veículos citadinos e os restantes 20% são referentes aos veículos de longo percurso. A outra potência é referente às horas de maior consumo e denomina-se *Phorascheias*. Neste caso, a equação pode ser verificada de seguida.

$$Phorascheias = (C_R \times T_2 \times 0,8 + C_R \times T_4 \times 0,2) \times \frac{Parque_{PEVs} \times 0,2}{16,5} \quad (33)$$

Esta equação representa o consumo médio em 17,5 horas de 20% do número de PEVs. Esta percentagem caracteriza os veículos que farão o carregamento rápido durante as horas de maior consumo e, como se pode verificar na equação anterior, 80% desses 20% correspondem aos veículos citadinos e os restantes 20% são referentes aos veículos de longo percurso.

4.2.3 Cálculo do impacto do carregamento dos PEVs nos diagramas de carga

Como já foi referido, no ponto 2.2.5, o pico do consumo de energia elétrica verifica-se às 20:00h. Assim, serão desenvolvidas neste ponto as equações necessárias ao cálculo do impacto do carregamento dos PEVs nos diagramas de carga. Neste sentido, será analisado o período em que o pico de consumo é máximo (20:00h).

Para calcular o tal impacto, foram tidas em conta as matrizes que contêm os valores dos diagramas de carga, tais como:

- Matriz $x(h)$ - referente às potências do diagrama de carga por hora, num determinado dia típico;
- Matriz $z(h)$ – referente às potências dos carregamentos dos PEVs, por hora;
- Matriz $p(h)$ – Soma das potências referentes às matrizes $x(h)$ e $z(h)$ obtendo, assim, uma matriz que será traduzida num diagrama de carga final.

Desta forma, através de vários estudos e cálculos que foram realizados na presente dissertação é possível calcular o impacto do carregamento dos PEVs nos diagramas de carga através de uma equação bastante simples. Assim, será analisado com enfoque o período das 20:00h uma vez que é o horário do pico de consumo energético, como já foi referido anteriormente. Para tal, é necessário realizar uma procura da potência consumida, as 20:00h, nas seguintes matrizes:

- $X(20)$ – Potência de pico do diagrama de carga escolhido pelo utilizador, as 20:00h;

- $Z(20)$ – Potência consumida pelo carregamento dos PEVs, as 20:00h;
- $P(20)$ – Potência de pico total, as 20:00h. - $X(20)+Z(20)$.

Por fim, o impacto do consumo de energia associado aos PEVs, no pico de consumo de eletricidade, pode ser calculado através da equação que segue:

$$Impacto (\%) = \frac{P(20)}{X(20)} \times 100 \quad (34)$$

Ainda pode ser calculado o impacto do consumo de energia associado aos PEVs comparativamente ao dia de ponta anual em 2015. Para este caso é necessário ter em conta a matriz do dia de ponta anual de determinada região em 2015. De seguida pode ser verificado um exemplo do impacto para o caso do Porto em 2030:

$$ImpactoPorto2030 (\%) = \frac{P(20)}{DPA_{Porto_2015}(20)} \times 100 \quad (35)$$

4.3 Programa MatLab

No âmbito desta dissertação foi desenvolvido um programa em MatLab e o seu principal objetivo é visualizar o impacto do consumo energético dos PEVs no pico de consumo de energia elétrica, com recurso a cenários pré-definidos, bem como alguns parâmetros que podem ser escolhidos ou até mesmo digitadas pelo utilizador.

4.3.1 Descrição do programa

O programa irá ser realizado de menu principal e a partir deste será possível encaminhar o utilizador em dois tipos de programas distintos. A primeira opção será referente à possibilidade de visualizar o impacto acima referido de acordo com cenários relativos a:

- Locais;
- Estudos referentes à previsão do número de *Plug-in Electric Vehicles*;
- Ano para o qual se pretende visualizar o impacto;
- Estudos referentes à previsão dos diagramas de carga;
- Perfis de carregamento;
- Dias típicos relativos aos diagramas de carga;
- Consumo de um VE.

Por outro lado, irá ser possível escolher uma segunda opção, que permitirá também a visualização do impacto do consumo energético dos PVEs no pico de consumo de energia elétrica. No entanto, esta opção irá diferir apenas no ponto dos estudos referentes à previsão do número de PEVs. Isto, porque neste programa será possível introduzir o número de PEVs manualmente (digitado pelo utilizador). Assim sendo, este programa não será apenas um estudo pontual, podendo assim ser utilizado futuramente, o que irá atribuir ao programa um poder não só dinâmico, entre o *software* e o utilizador, como também um poder intemporal, uma vez que podem ser futuramente utilizados dados reais inseridos pelo utilizador.

O aspeto do menu principal referido anteriormente pode ser visualizado na figura que segue:

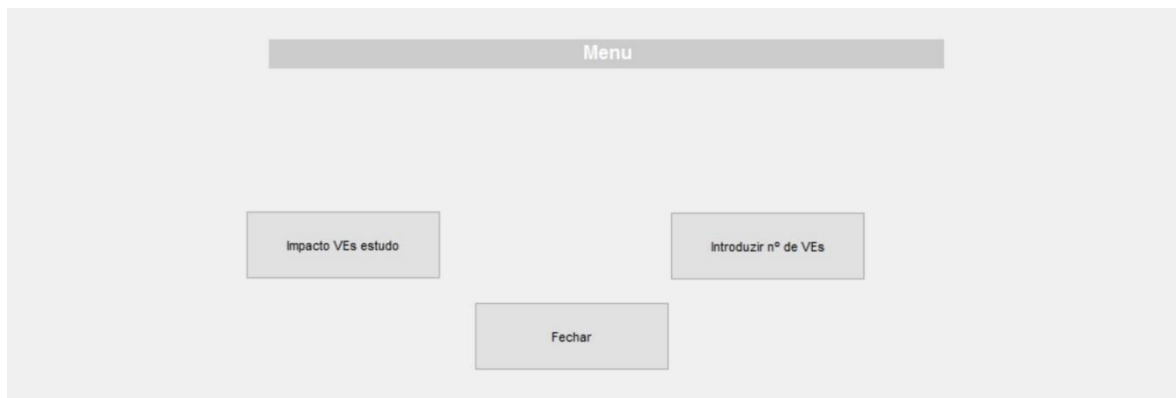


Figura 29 – Menu principal (*MatLab*)

4.3.2 Programa 1 - Impacto VEs estudo

O programa nº1 trata, então de cenários pré-definidos. Esses cenários estão distribuídos por listas referentes ao âmbito em que se inserem.

Na *listbox* 1 (Local) é possível escolher um dos sete locais referidos no ponto 3.2.2, ou seja, Portugal, Aveiro, Braga, Leiria, Lisboa, Porto e Faro. Assim, é escolhido o local onde é pretendido ver o impacto que este programa calcula.

Na *listbox* 2 (estudo previsão) é possível escolher um dos três cenários referenciados no ponto 3.3.2. Em consequência, estará disponível o cenário do número de PEVs pelo estudo do INESC-TEC, pelo estudo realizado a partir dos valores reais até ao ano 2016, ou pela média dos dois últimos cenários.

Na *listbox* 3 (Ano) poderá ser escolhido o ano para calcular o impacto do consumo energético associado aos PEVs, podendo este ser no ano 2015, 2020 ou 2030.

Na *listbox* 4 (cenário diagramas) é possível escolher o cenário da evolução dos diagramas de carga onde se pretende ver o impacto. Podendo este ser um cenário inferior, central ou superior previamente descritos no ponto 3.1.3.

Na *listbox* 5 (perfis de carregamento) é possível optar pela estratégia de carregamento *Dumb Charging*, que não requer um sistema de gestão de rede, ou pelo modelo *Fill-Valley-Strategy* que requer esse sistema.

Na *listbox* 6 (Dia típico) deverá ser escolhido um dos cinco dias típicos pré-definidos: o dia de maior consumo, o dia de ponta anual, o dia típico de Primavera, Verão ou de Outono.

Por fim, na *listbox* 7 (Consumo de um VE) o utilizador terá opção de escolha no que diz respeito ao consumo médio de um VE. Neste sentido, esta lista possui três opções passíveis de escolha:

- Consumo = 12 kWh/100km – Ficha técnica do *Nissan Leaf*;
- Consumo = 14 kWh/100km – Consumo calculado na presente dissertação;
- Consumo = 16 kWh/100km – Consumo apurado no caso prático.

Assim, após a escolha pelo utilizador dos sete parâmetros que irão definir o impacto, do consumo energético associado aos PEVs nos diagramas de carga, será possível visualizá-lo graficamente, bastando premir o botão “Calcular”.

O utilizador poderá, ainda, verificar algumas informações relevantes disponibilizadas pelo programa, tais como:

- Número de veículos elétricos do estudo
- Potência de pico com PEVS (P_{max} com PEVS)
- Potência de pico sem PEVS (P_{max} sem PEVS)
- Potência acrescentada pelos PEVS no pico (P_{ve} pico)
- Impacto do consumo de energia associado aos PEVs no pico dos diagramas de carga (P_{ve} % pico)
- Impacto do consumo de energia associado aos PEVs no pico dos diagramas de carga comparativamente ao dia de ponta anual de 2015.

De seguida, e como exemplo, irá ser simulado um caso a fim de ser visualizado o programa em funções.

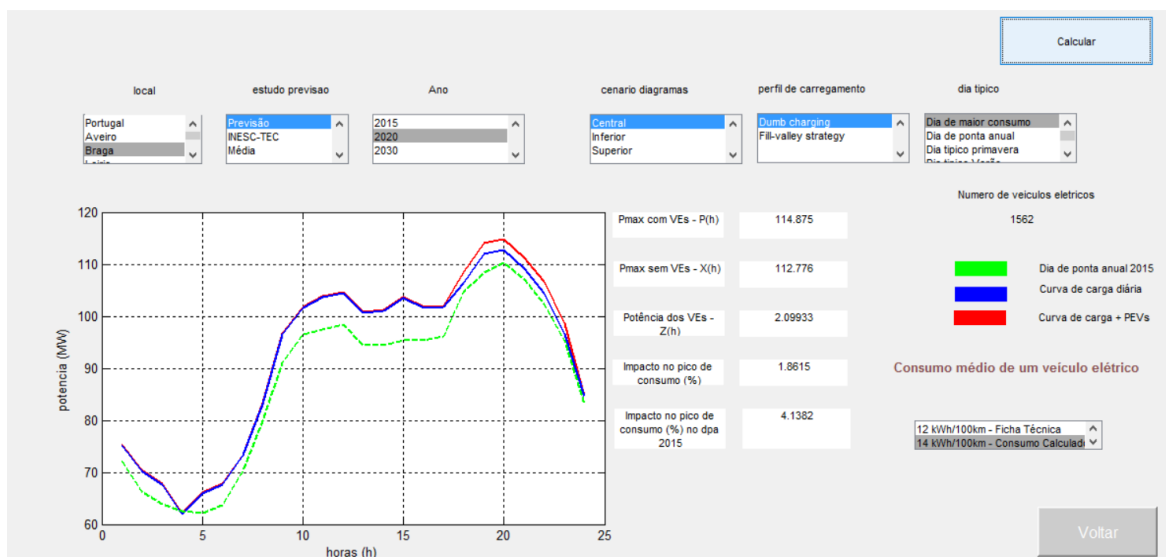


Figura 30 – Exemplo do programa em funções (Programa 1)

Neste exemplo, pode verificar-se o diagrama de carga (linha azul) nas situações selecionadas. O impacto relativo ao acréscimo do consumo energético dos PEVs está traduzido na linha vermelha. Ainda no programa, pode verificar-se o dia de ponta anual na região escolhida (Braga) em 2015 para efeitos de comparação. Ou seja, nas condições pré-definidas o diagrama de carga seria aproximadamente igual, exceto a partir das 18 horas quando os PVEs começam a carregar – no caso do *dumb charging*. Esse carregamento traduz-se num aumento da potência consumida, como pode ser observado na figura anterior. De notar também, o impacto que os PEVs irão produzir no pico do diagrama de carga, que neste caso é de 1,3% aproximadamente. Ainda, é possível verificar também que o impacto do consumo de energia elétrica associado aos PEVs, relativamente ao dia de ponta anual de 2015, tem um impacto de 4,1%. Isto, significa que às 20:00h de 2020 o distrito de braga irá consumir mais 4,1% de carga do que estava a consumir em 2015.

4.3.3 Programa 2 – Introduzir número de VEs

O programa nº2 (introduzir número de VEs) trata do mesmo impacto referido no programa nº1, apenas com uma diferença, que se traduz na possibilidade, do utilizador, digitar o número de veículos elétricos para os quais pretende visualizar o impacto em determinadas circunstâncias.

Para tal efeito, este programa conta com apenas 5 *listboxes*, uma vez que a *listbox* 2 foi retirada para poder ser realizado este processo dinâmico e intemporal. Para isso, foi implementada uma *edit box* com a capacidade de transferência de informação entre o utilizador e o próprio programa.

Apresenta-se em baixo, e como exemplo, uma simulação deste caso.

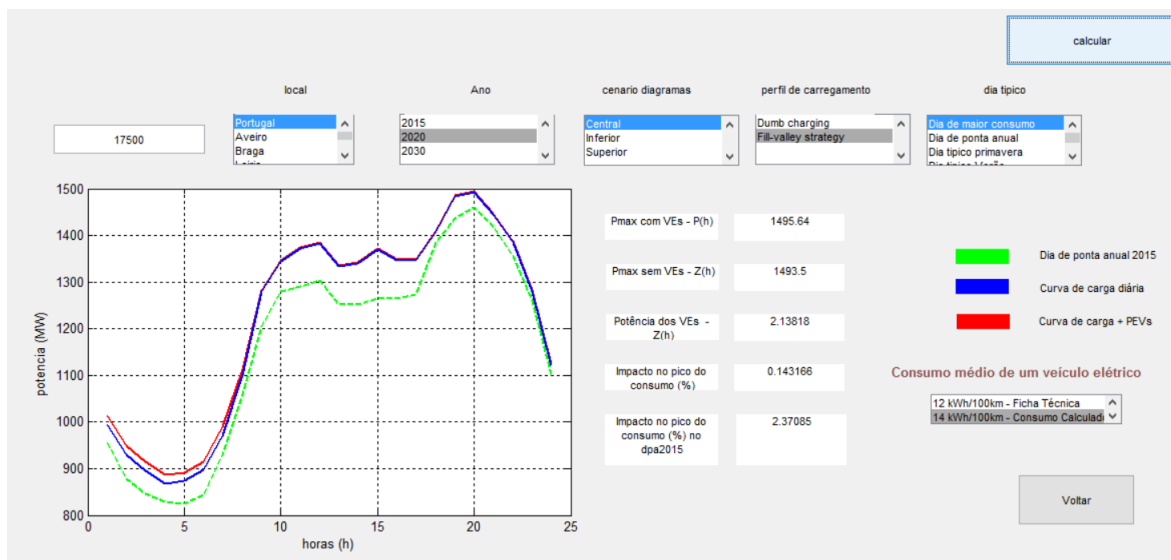


Figura 31 – Exemplo do programa em funções (*guide* 3)

Aqui, pode verificar-se que o utilizador escolheu visualizar o perfil de carregamento *Fill-Valley-Strategy*, aproveitando assim as horas de menor consumo. Este gráfico é referente a Portugal em 2020 no dia de maior consumo. O utilizador teve a oportunidade de escolher o número de veículos elétricos (17.500) para o qual pretendia visualizar o impacto e o programa efetuou esse cálculo automaticamente, segundo um algoritmo, disponibilizando o gráfico e o impacto dos PEVs no pico de consumo, para o utilizador poder visualizar o seu resultado.

Neste caso, pôde-se apurar que o impacto do carregamento dos PEVs no pico de consumo é de 0,07%, uma vez que a estratégia de carregamento utilizada é o FVS que permite exatamente a redução do consumo nesse pico.

Contudo, foi possível apurar também que em 2020, no dia de maior consumo e com a utilização dos PEVs, Portugal irá consumir às 20:00h mais 2,4% da carga que consumiu no dia de ponta anual em 2015.

4.3.4 Algoritmo do programa

O algoritmo do programa permite o cálculo automático do gráfico, tendo em conta as opções do utilizador. Esse algoritmo pode ser dividido em três parcelas.

A primeira, que diz respeito à perceção por parte do programa sobre as opções escolhidas pelo utilizador e as restantes duas dizem respeito aos algoritmos relativos aos perfis de carregamento.

4.3.4.1 Determinação do número de veículos elétricos

Relativamente à primeira parcela é necessário determinar, num primeiro momento, o número de veículos elétricos num determinado local, ano e segundo um determinado estudo, para o qual se pretende calcular o impacto. Para isso, são realizados sucessivos ciclos *switch*, de forma a analisar todos os casos possíveis.

É então aplicado um *switch* à *listbox* 1 (Local) que varre todos os locais passíveis de escolha, por parte do utilizador. De seguida, é aplicado um *switch* à *listbox* 2 (estudo previsão), dentro do primeiro *switch*, que tem o objetivo de conjugar o local pretendido com o estudo da previsão de veículos elétricos que pode ser escolhido no *interface*. Por fim, conjuga-se o local com o estudo acima referido e, posteriormente, com a *listbox* 3 (ano), para o qual se pretende a previsão dentro do *switch* à *listbox* 2. Desta forma, é possível percorrer todas as previsões do número de veículos elétricos existentes num dado ano e num determinado local. No final será extraído o valor de *k* (número de veículos) para a *static box* presente no *interface*.

Na seguinte imagem, será possível visualizar uma descrição simples e concreta o que é realizado pelo programa:

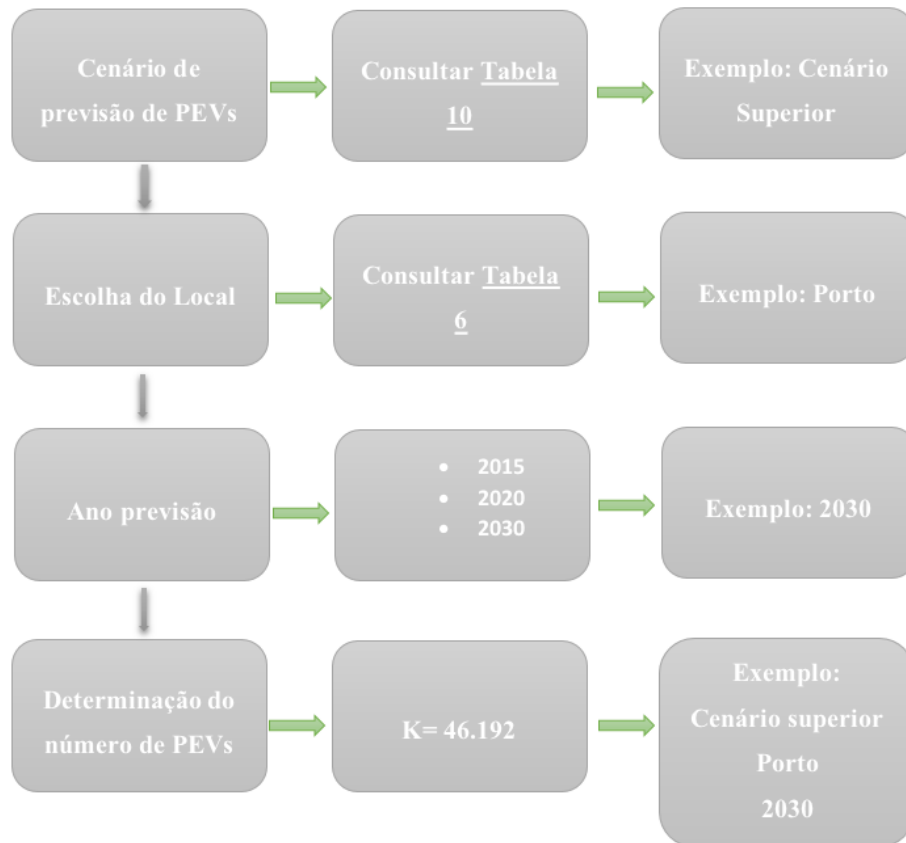


Figura 32 – Determinação do número de veículos elétricos

4.3.4.2 Determinação do diagrama de carga

Para a determinação do diagrama de carga que o utilizador pretende utilizar é necessário, em primeiro lugar, escrever as matrizes referentes aos dias típicos em Portugal no ano de 2015 (dmc^{17} , dpa^{18} , dtp^{19} , dtv^{20} , dto^{21}). Posteriormente é realizado o ciclo *switch*, como no ponto 4.2.2.1, para retirar a matriz (x) referente ao diagrama de carga pretendido.

Este diagrama de carga fica sujeito a diversas taxas dependentes de alguns parâmetros escolhidos. Essas taxas estão discriminadas nos pontos:

¹⁷ Matriz referente ao dia de maior consumo em Portugal (2015)

¹⁸ Matriz referente ao dia de ponta anual em Portugal (2015)

¹⁹ Matriz referente ao dia típico de Primavera em Portugal (2015)

²⁰ Matriz referente ao dia típico de Verão em Portugal (2015)

²¹ Matriz referente ao dia típico de Outono em Portugal (2015)

- 3.1.3 referente à previsão dos diagramas de carga;
- Tabela 5 , referente à distribuição dos diagramas de carga por locais.

Desta forma, para ser possível visualizar o impacto do consumo energético associado aos PEVs nos diagramas de carga, é necessário apenas relacionar os algoritmos anteriores com os referentes aos perfis de carregamento.

Na seguinte imagem, será possível visualizar uma descrição simples e concreta do que é realizado pelo programa:

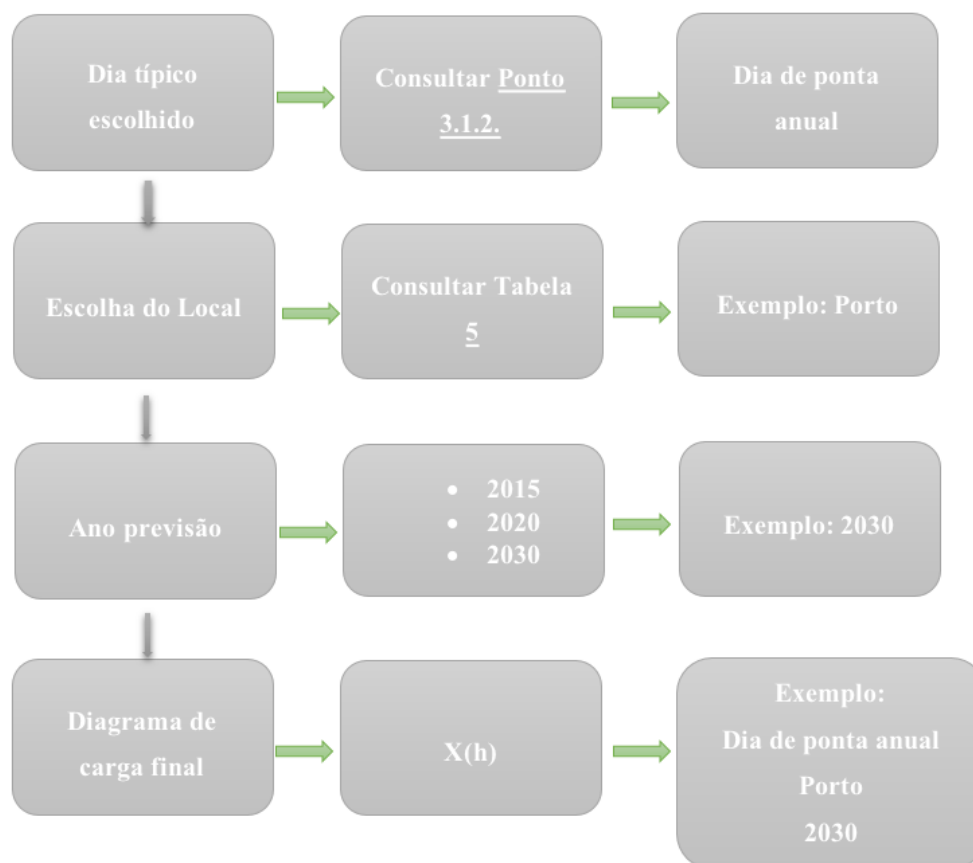


Figura 33 – Determinação do diagrama de carga

4.3.4.3 Algoritmo do *Dumb Charging*

Neste caso, são primeiro definidos os tempos e as potências de carregamento descritos na Tabela 13. De seguida, é extraído o valor do número de PEVs (k) calculado no ponto 4.3.4.1.

Posteriormente são definidas as equações relativas às potências de carregamento referenciadas no ponto 4.2.2.1.

Por último, é adicionada uma matriz $Z(h)$ que deve ter os valores das potências consumidas por hora ao longo de um dia e, posteriormente, essa matriz é somada à matriz $X(h)$ que possui os valores do diagrama de carga de consumo por hora, descrita no ponto 4.3.4.2.

Por último, realiza-se um *plot* da matriz (p) com a matriz (x) em função da matriz (horas) e o programa realiza o cálculo automático do gráfico que se pretende obter, como foi possível observar na Figura 30.

4.3.4.4 Algoritmo do *Fill-Valley-Strategy*

Neste tipo de carregamento, no *MatLab*, são também definidas as potências e tempos de carregamento, bem como o número de PEVs para o qual se pretende realizar o teste. Desta forma, este programa segue um caminho diferente relativamente às equações que traduzem a potência consumida por hora, que se podem consultar no ponto 4.2.2.2.

Finalmente, realiza-se um *plot* igual ao do caso do *Dumb Charging* e o programa irá realizar o cálculo automático do gráfico para as condições pretendidas.

5 Simulação e Demonstração de Resultados

Até este capítulo foram abordados diversos pontos necessários para realizar uma extração do impacto do consumo energético associado aos PEVs nos diagramas de carga.

Assim, de forma a construir as curvas de carga diárias produzidas pelo carregamento dos PEVs foram criados vários parâmetros passíveis de escolha por parte de um utilizador. O objetivo é, no final, ser possível observar no programa *MatLab* o acréscimo de carga (em percentagem) no pico de consumo de energia relativamente ao dia de ponta anual de 2015.

De forma a construir este cenário foram calculados determinados parâmetros necessários para o utilizador conseguir obter uma conclusão fidedigna da hipótese que pretende observar. Estes parâmetros traduzem-se numa escolha, por parte do utilizador, que definem o “como”, o “quando”, e o “onde” é que os PEVs irão ter um impacto, mais ou menos significativo, no consumo de energia.

Este programa, desenvolvido em *MatLab*, consegue produzir 1890 cenários diferentes ou, então, 270 cenários por local (Portugal, Aveiro, Braga, Leiria, Lisboa, Porto e Faro). Tal facto impossibilita a explicação de todos os cenários no presente documento.

Em consequência, irá ser explicado apenas um cenário para cada local. Este será relativo ao dia de ponta anual, sendo este o dia que traduzirá o cenário mais desfavorável relativamente ao dia de ponta anual de 2015 da região escolhida. Para a previsão de veículos elétricos será utilizado o estudo desenvolvido e calculado nesta dissertação. Quanto ao cenário dos diagramas de carga utilizar-se-á o cenário central.

Nas curvas que irão ser simuladas, para posterior avaliação, será possível observar os dois perfis de carregamento estudados, ou seja, tanto o *Dumb Charging* como o *Fill-Valley-Strategy*.

Relativamente aos restantes cenários, estes podem ser consultados pelo utilizador ou testados pelo mesmo, uma vez que existe a possibilidade de introduzir o número de veículos desejado.

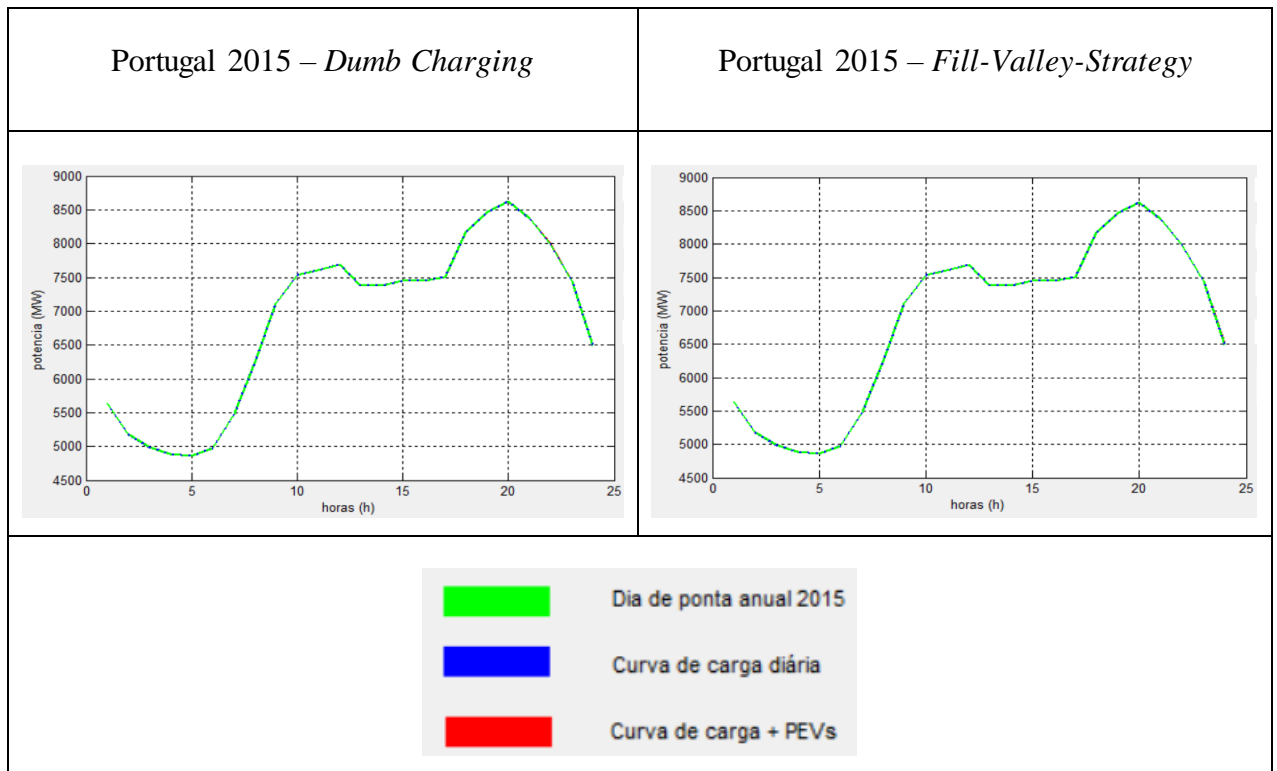
5.1 Impacto Nacional

Neste ponto, será analisado o impacto a nível nacional segundo uma gama de parâmetros descritos no ponto anterior. Para a simulação de resultados foram utilizados os parâmetros que revelaram um maior impacto do carregamento dos PEVs no pico de consumo dos diagramas de carga. Esses parâmetros serão discriminados nos pontos que seguem:

- Cenário de diagramas de carga – Para este parâmetro foi utilizado o cenário central;
- Dia típico – Para este parâmetro foi utilizado o dia de ponta anual, uma vez que este diagrama é o que produz um maior consumo no pico em comparação com os outros dias típicos. Assim, os PEVs terão um maior impacto no período de pico de consumo de energia elétrica relativamente ao DPA em 2015 na região escolhida;
- Consumo médio de um veículo – Para este parâmetro foi utilizado o consumo de 16 kWh/100km em detrimento dos 12 kWh/100 presentes na ficha técnica do Nissan Leaf e dos 14,35 kWh/100 calculados na presente dissertação. Isto porque o objetivo desta simulação, passa por perceber o impacto do carregamento dos PEVs no pico de consumo de energia, no pior caso possível;
- Relativamente ao estudo que prevê o número de PEVs, que produzirão o tal impacto em cima descrito, foi utilizado a estimativa calculada na presente dissertação ao invés do estudo do INESC-TEC que apesar de criar um caso mais desfavorável é um estudo realizado numa fase mais inicial da penetração dos PEVs o que pode levar a um maior erro naquilo que é a estimativa da penetração dos PEVs no mercado automóvel português.

Assim, serão de seguida simulados, através da aplicação informática desenvolvida nesta dissertação, os piores casos possíveis do impacto dos PEVs no pico do consumo de energia elétrica em Portugal.

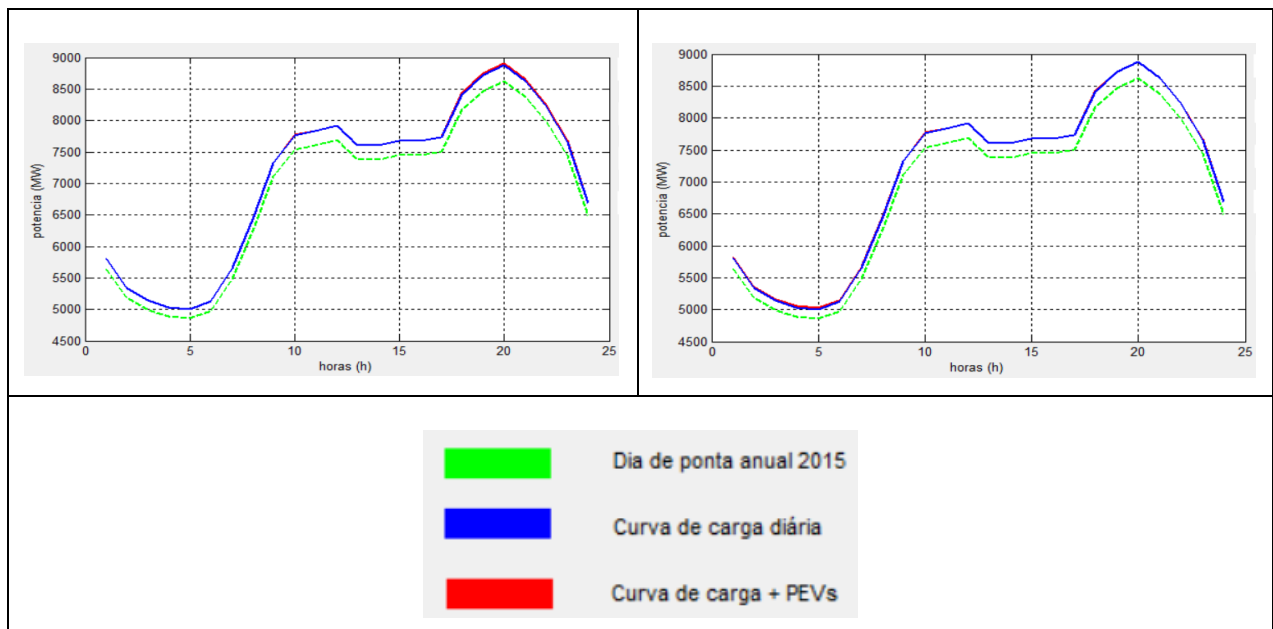
Tabela 14 – Consumo nacional em 2015 segundo diferentes perfis de carregamento



Segundo os dados referentes a 2015, como se pode observar nos gráficos anteriormente descritos, é possível concluir que o impacto dos PEVs nos diagramas de carga é residual. Em 2015, existiam apenas 2203 PEVs, o que significa que estes apenas iriam acrescentar uma potência no pico de consumo de 3,39 MW no caso do DBC. É ainda possível verifica que este acréscimo na potência de pico pode ser reduzido para 0,3 MW aplicando o FVS. Este acréscimo de potencia, por parte do carregamento dos PEVs no pico de consumo de energia elétrica, representa 0,025% e 0,002% na potencia de pico, utilizando o DBC e o FVS, respetivamente. Ainda neste ano, os PEVs representaram 0,04% da quota de mercado automóvel em Portugal. Assim, não é ainda possível distinguir o impacto representado, pelos PEVs, segundo os diferentes perfis de carregamento. Isto, porque o consumo de energia elétrica, devido à existência residual de PEVs, é baixo. No entanto, e de seguida, será representado o mesmo tipo de impacto em 2020, como se pode verificar na tabela que segue.

Tabela 15 - Consumo nacional em 2020 segundo diferentes perfis de carregamento

Portugal 2020 – <i>Dumb Charging</i>	Portugal 2020 – <i>Fill-Valley-Strategy</i>



Observando os gráficos anteriores, é possível visualizar um impacto tangencial dos PEVs na curva de carga diária nacional em 2020, referente ao dia típico de maior consumo.

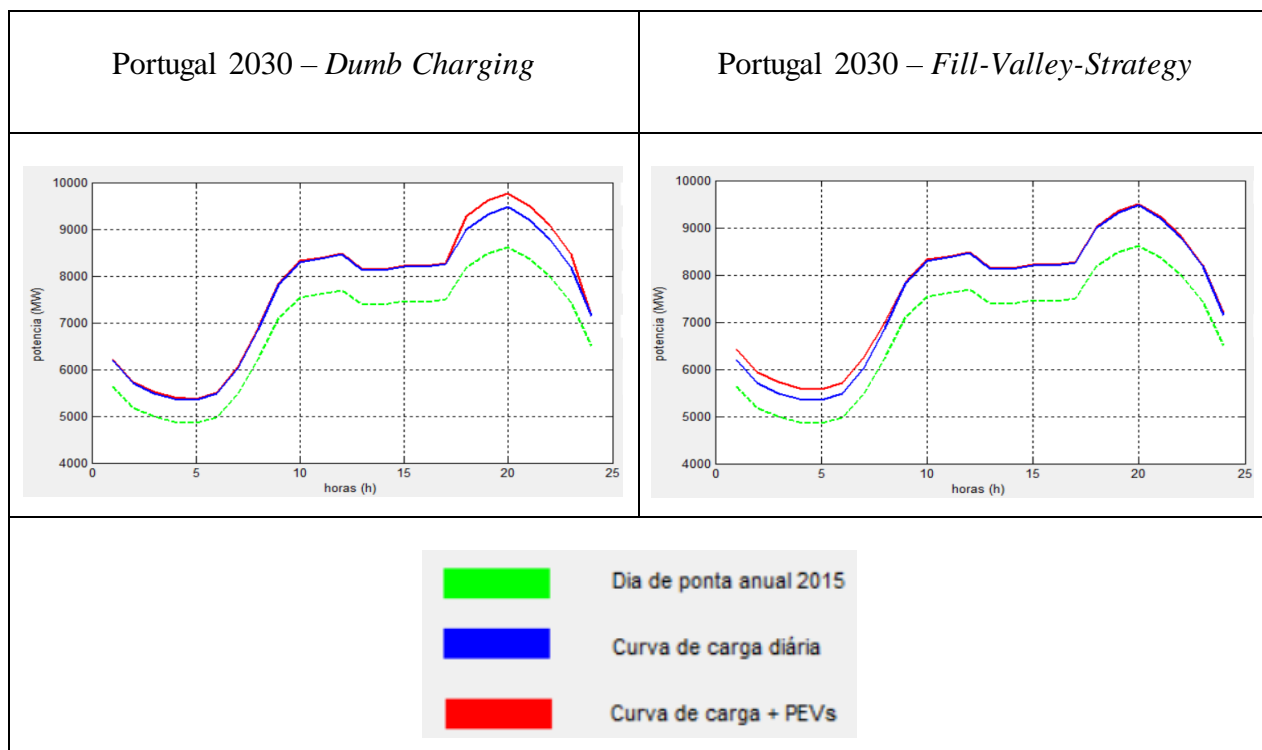
Tal efeito, deve-se ao estudo referente à estimativa do número de PEVs em 2020, que prevê um aumento dos mesmos, progredindo assim de 2203 veículos utilizados em 2015 para 19282 veículos. Estes, através do seu carregamento irão acrescentar à hora do pico de consumo uma potência de 29,6 MW e 2,7 MW segundo o DBC e o FVS, respetivamente. Assim, este acréscimo de potência representa aproximadamente 0,33% e 0,03% do pico de consumo, referentes aos tipos de carregamento DBC e FVS, respetivamente. Relativamente ao dia de ponta anual de 2015, em 2020, existe um acréscimo de 3,34% (DBC) e 3,03% (FVS) na carga existente no pico de consumo de energia elétrica.

Ainda em 2020, os PEVs irão representar 0,31% da quota de mercado automóvel. Esta taxa de penetração não é bastante significativa, todavia, é suficiente para poder ser visualizado o impacto dos mesmos no pico de consumo dos diagramas de carga, mediante diferentes perfis de carregamento.

Assim, é possível observar que no caso do perfil *Dumb Charging* o carregamento é mais acentuado num horário pós-trabalho, fazendo assim parte do pico e aumentando consequentemente o custo de produção de energia nesse horário. No entanto, no caso do perfil de carregamento referente ao *Fill-Valley-Strategy* são aproveitadas as horas de menor consumo para o carregamento dos PEVs, otimizando assim os custos de produção de energia.

De seguida será representado o impacto do consumo energético dos PEVs, associado ao diagrama de carga do dia de maior consumo, em 2030. Nesta próxima simulação, será expectável um impacto mais significativo, como se pode verificar na tabela que segue:

Tabela 16 - Consumo nacional em 2030 segundo diferentes perfis de carregamento



Em 2030, segundo a estimativa do número de PEVs (cenário inferior) calculada nesta dissertação, haverá 187769 veículos deste tipo. Neste caso, e como é perceptível, os PEVs já têm uma influência significativa na potencia de pico do diagrama de carga. Neste ano, os 187769 PEVs irão representar 3,0% da quota de mercado automóvel nacional. Isto, significa que, em 2030, em 100 veículos 3 deles serão PEVs. Estes, nesse ano, irão acrescentar 288,4 MW e 26,2MW à potência de pico no diagrama de carga utilizando o DBC e o FVS, respetivamente. Ainda, utilizando o FVS poderá ser observada uma redução no impacto no pico de consumo uma vez que esse impacto representa apenas 0,27% ao invés dos 3,04% provocados pela utilização do DBC no carregamento dos veículos elétricos. Foi ainda possível apurar que a carga existente às 20:00h no DPA de Portugal em 2030 será 13,3% ou 10,3% mais elevada dependendo do tipo de carregamento utilizado (DBC/FVS).

Neste caso, a forma como o carregamento destes veículos é realizada possui elevado interesse, do ponto de vista da otimização de custos e qualidade de serviço na distribuição de energia. É possível observar um aproveitamento das horas de menor consumo no perfil de carregamento *Fill-Valley-Strategy*. Todavia o perfil de carregamento *Dumb Charging* representa precisamente o contrário, o que significa, neste caso, que sem uma estratégia *Demand Response* o custo de produção de energia irá ser mais elevado para satisfazer o mesmo nível de consumo. Ainda, do ponto de vista da rede elétrica um carregamento como o FVS poderá evitar a diminuição da fiabilidade do sistema e qualidade de serviço.

A tabela que segue traduz um resumo daquilo que foi referido nos distintos casos abordados anteriormente. Esta tabela é referente ao cenário inferior, que prevê uma expansão mais reservada da mobilidade elétrica em Portugal.

Tabela 17 – Resumo do consumo nacional com integração dos PEVs, segundo o cenário inferior
(Estimativa de PEVs calculada)

Perfil de carregamento	Ano	Nº PEVs	Quota PEVs (%)	P_{pico} (c/PEVs) - MW	P_{pico} (s/PEVs)- MW	P_{pico} PEVs - MW	Impacto no pico de consumo (%)	Impacto no pico de consumo (%) relativamente ao DPA 2015
DBC	2015	2.203	0,04	8621,4	8618	3,4	0,04	0,04
FVS				8618,3		0,3	0	0
DBC	2020	26.200	0,43	8906,2	8876,5	29,6	0,33	3,34
FVS				8879,2		2,7	0,03	3,03
DBC	2030	310.016	5,04	9768,2	9479,8	288,4	3,04	13,3
FVS				9506,0		26,2	0,27	10,3

De forma a poderem ser comparados os resultados referentes ao cenário inferior e ao estudo do INESC-TEC (cenário superior) será replicada uma tabela do tipo da anterior, no entanto, agora com resultados referentes ao cenário superior.

Tabela 18 - Resumo do consumo nacional com integração dos PEVs, segundo o cenário superior (INESC-TEC)

Perfil de carregamento	Ano	Nº PEVs	Quota PEVs (%)	P_{pico} (c/PEVs) - MW	P_{pico} (s/PEVs)- MW	P_{pico} PEVs - MW	Impacto no pico de consumo (%)	Impacto no pico de consumo (%) relativamente ao DPA 2015
DBC	2015	2.203	0,04	8621,4	8618	3,4	0,04	0,04
FVS				8618,3		0,3	0	0
DBC	2020	26.200	0,43	8916,8	8876,5	40,2	0,45	3,47
FVS				8880,2		3,7	0,04	3,04
DBC	2030	310.016	5,04	9955,9	9479,8	476,2	5,02	15,5
FVS				9523,1		43,3	0,46	10,5

5.2 Impacto Regional

Neste subcapítulo irá ser visualizado o impacto nas curvas de carga diária, nos diferentes distritos referidos anteriormente. Nesta análise foi utilizada a mesma parametrização mencionada no impacto nacional uma vez que traduzirá um dos piores cenários construídos pela aplicação informática. De seguida, será possível então observar o impacto que os PEVs irão produzir em 2030 nas curvas de carga diária, segundo este estudo.

Tabela 19 - Consumo de Aveiro em 2030 com a integração dos PEVs, segundo diferentes perfis de carregamento

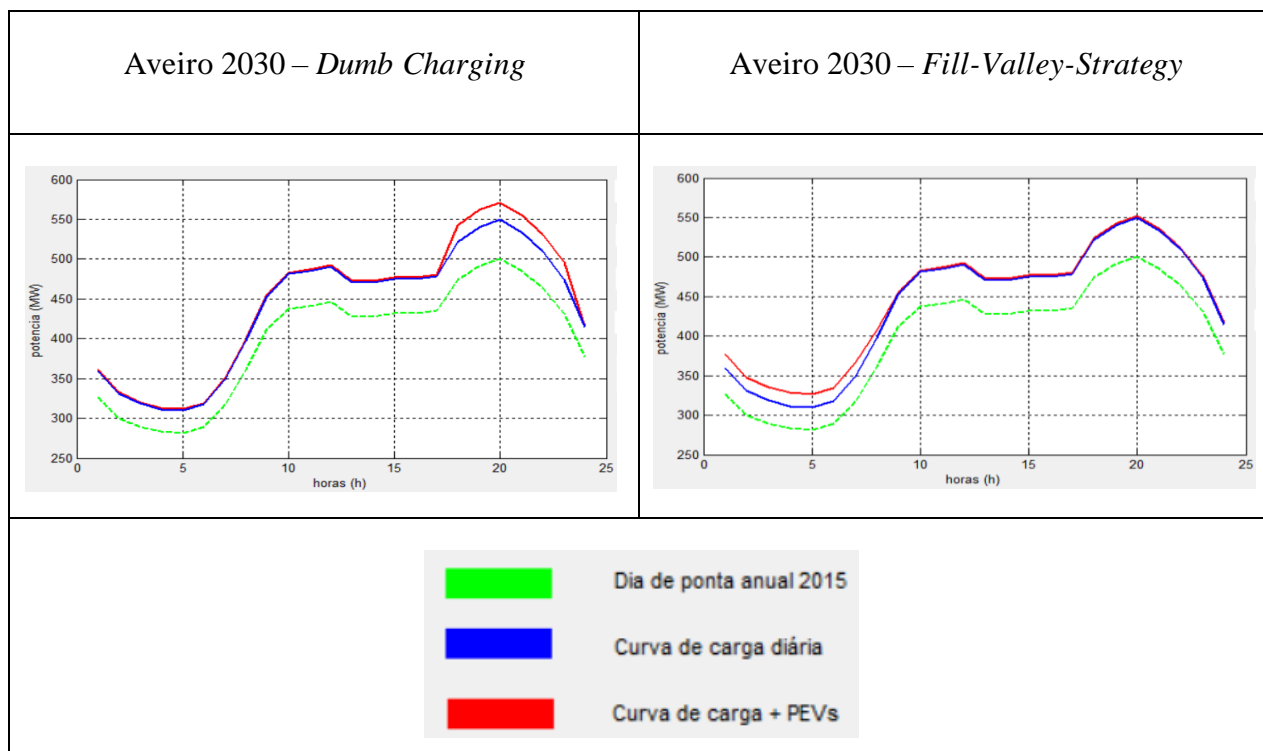


Tabela 20 - Consumo de Braga em 2030 com a integração dos PEVs, segundo diferentes perfis de carregamento

Braga 2030 – <i>Dumb Charging</i>	Braga 2030 – <i>Fill-Valley-Strategy</i>
-----------------------------------	--

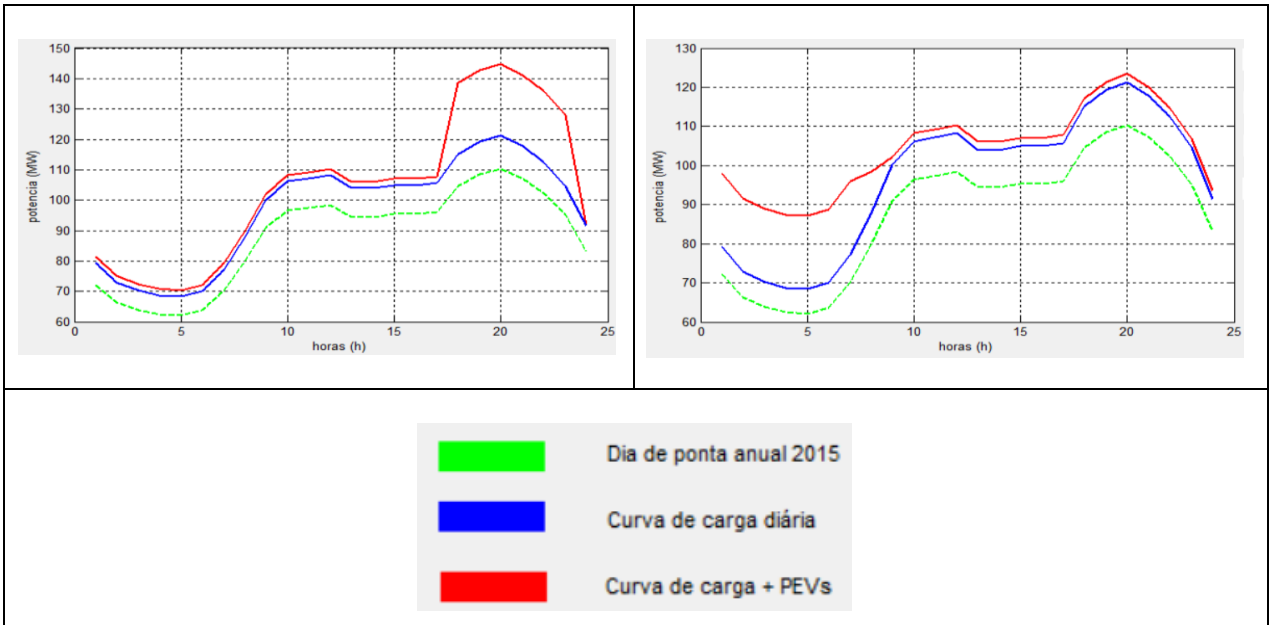
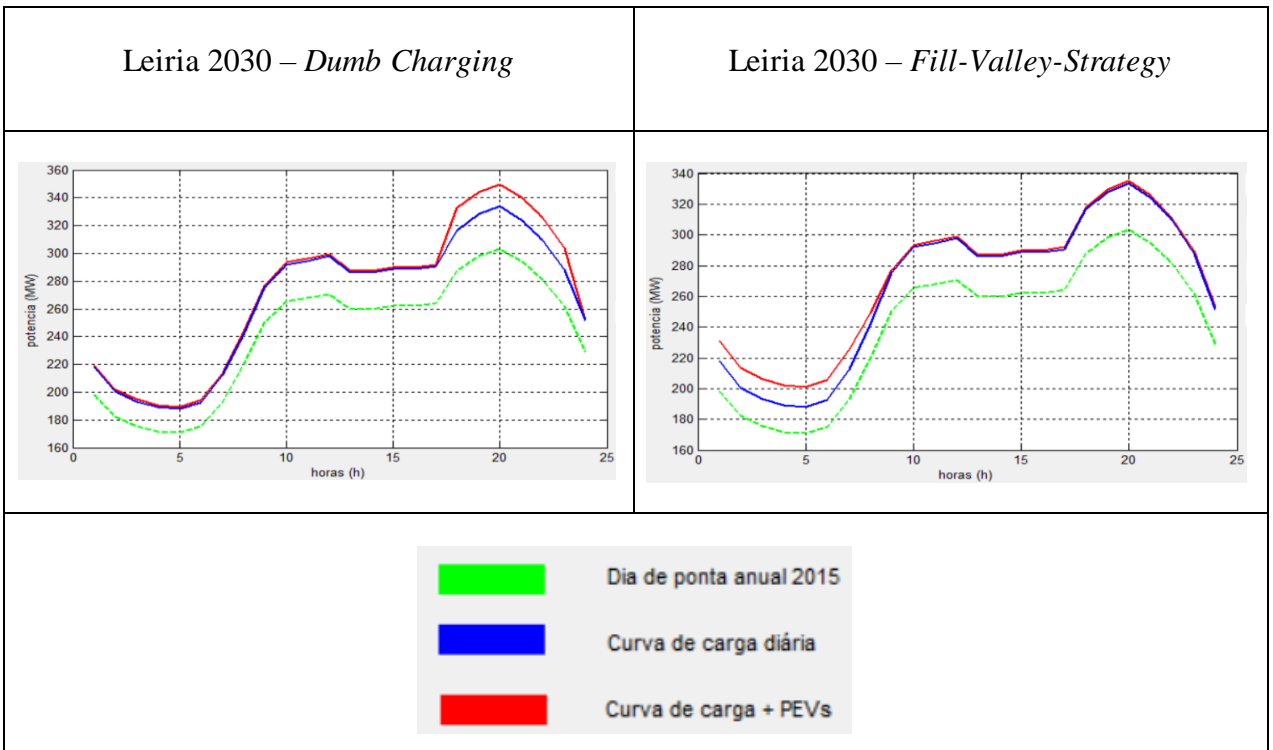


Tabela 21 - Consumo de Leiria em 2030 com a integração dos PEVs, segundo diferentes perfis de carregamento



Analisando estes três últimos casos, Aveiro, Braga e Leiria, pode verificar-se que em Braga o impacto nas curvas de carga diária por parte dos PEVs é diferente dos restantes distritos,

ou seja, mais significativo. Isto deve-se ao facto do consumo de energia em Braga, de 1,28% do consumo de Portugal, ser menor que Aveiro e Leiria, que têm uma quota no consumo total de 5,58% e 3,52%, respetivamente. De notar ainda que Braga possui uma quota de mercado de veículos superior aos restantes dois distritos. Enquanto Braga tem uma quota de mercado de automóveis de 8,1%, Aveiro e Leiria possuem 7,4% e 5,6%, respetivamente. De acordo com estes dados é perceptível que o impacto no pico do consumo de eletricidade será tanto maior quanto maior for a quota do parque automóvel nessa região e quanto menor for o consumo de eletricidade na mesma.

De seguida, serão representadas as tabelas referentes ao impacto demonstrado neste ponto, todavia agora relativos aos distritos de Lisboa, Porto e Faro.

Tabela 22 - Consumo de Lisboa em 2030 com a integração dos PEVs, segundo diferentes perfis de carregamento

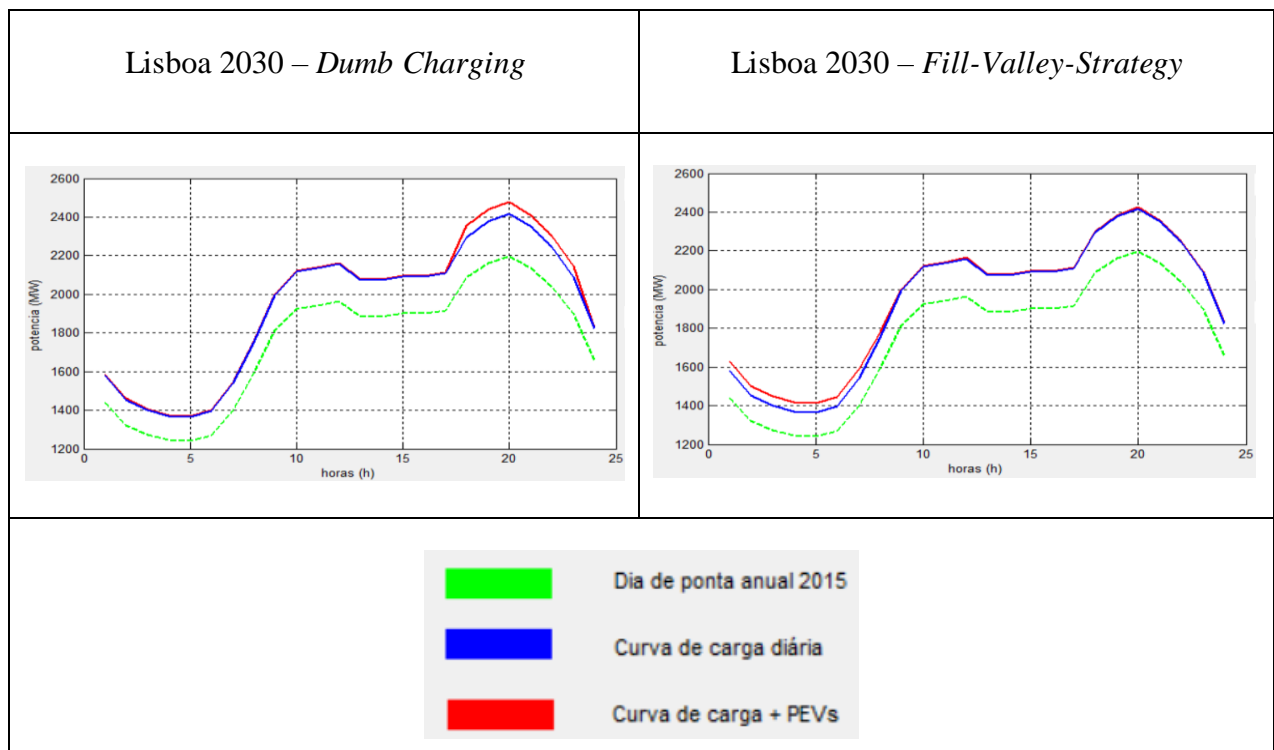


Tabela 23 - Consumo do Porto em 2030 com a integração dos PEVs, segundo diferentes perfis de carregamento

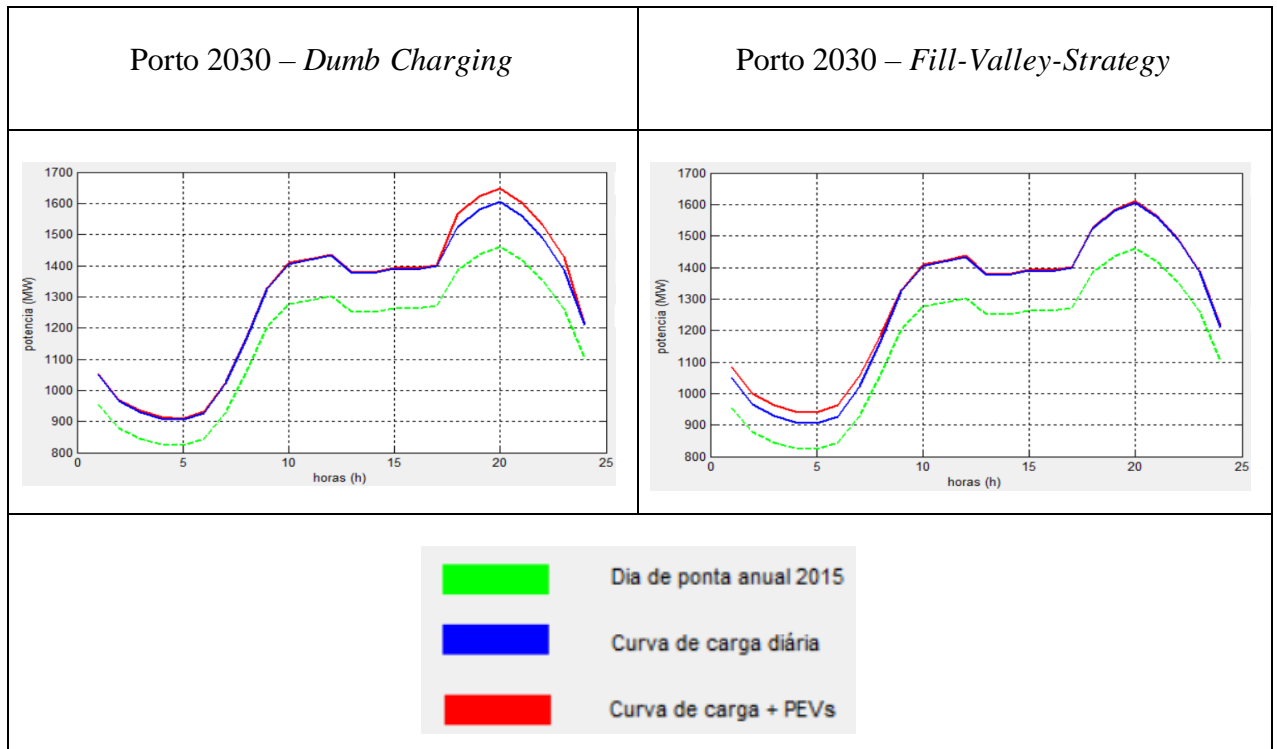
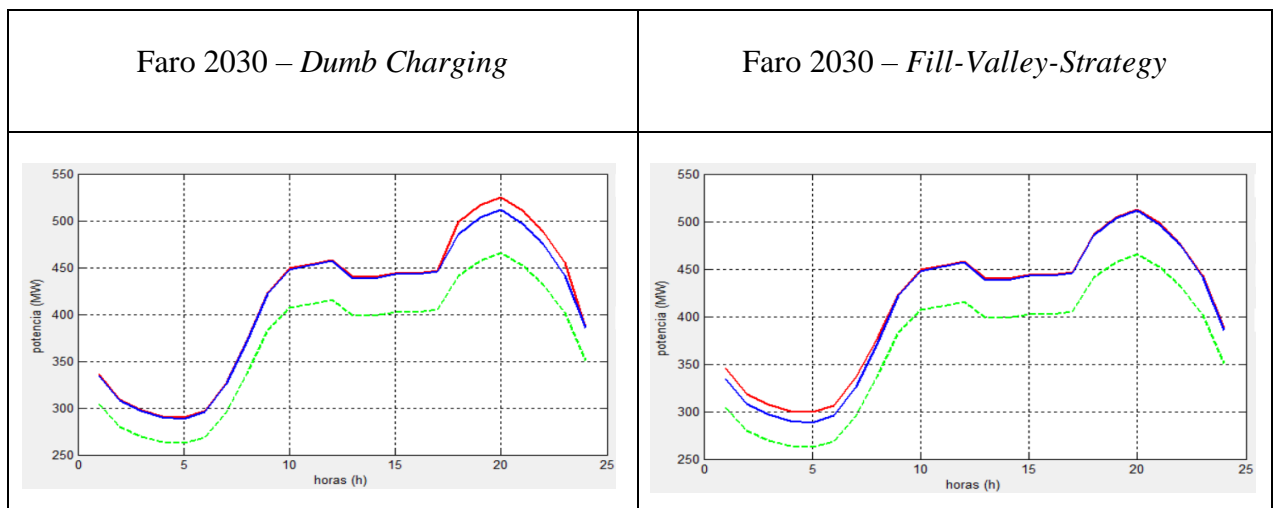
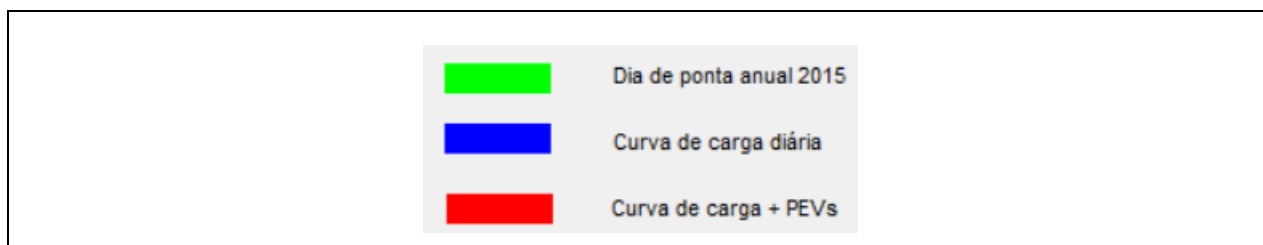


Tabela 24 - Consumo de Faro em 2030 com a integração dos PEVs, segundo diferentes perfis de carregamento





Nestes últimos 3 casos – Lisboa, Porto e Faro – pode-se concluir que devido ao elevado consumo praticado nas regiões, com maior ênfase em Lisboa e Porto, o consumo de energia associado ao carregamento dos PEVs apresenta-se mais diluído, criando um menor impacto no pico do consumo de eletricidade.

Para o caso dos grandes distritos de Lisboa e Porto é possível ter uma perceção visual de um impacto que parece diminuto. No entanto, a energia consumida pelo carregamento dos PEVs irá ser elevada, o que pode ser facilmente expectado, uma vez que o consumo energético nestas duas cidades é bastante superior ao das restantes.

Os dados que constituem o impacto regional, demonstrado nos gráficos anteriores, podem ser verificados na tabela que segue.

Tabela 25 - Resumo do consumo por distrito com integração dos PEVs

Distrito	Perfil de carregamento	Ano	Nº PEVs	P_{pico} (c/PEVs) - MW	P_{pico} (s/PEVs)- MW	P_{pico} PEVs - MW	Impacto no pico de consumo (%)	Impacto no pico de consumo (%) relativamente ao DPA 2015
Aveiro	DBC	2030	13.895	571,2	549,8	21,3	3,9	14,3
	FVS			551,8		1,9	0,35	10,4
Braga	DBC	2030	15.209	144,7	121,3	23,4	19,3	31,2
	FVS			123,5		2,1	1,75	11,9
Leiria	DBC	2030	10.515	349,8	333,7	16,2	4,8	15,3
	FVS			335,2		1,5	0,44	10,5

Lisboa	DBC	2030	39.056	2479,2	2419,2	60,0	2,5	12,7
	FVS			2424,7		5,5	0,22	10,2
Porto	DBC	2030	27.978	1648,9	1605,9	42,9	2,7	12,9
	FVS			1609,8		3,9	0,24	10,3
Faro	DBC	2030	8.825	525,5	511,9	13,5	2,6	12,9
	FVS			513,1		1,2	0,24	10,3

6 Conclusões

Numa primeira abordagem, a presente dissertação permitiu reportar que, em termos energéticos, Portugal é um país dependente de fontes de energia externas. No entanto, a diversificação da produção de energia primária praticada em Portugal (2.1.1.) caracteriza uma oportunidade à penetração dos *Plug-in-Electrical-Vehicles*, uma vez que a produção energética nacional é realizada, maioritariamente, com recurso a fontes de energia renovável. Isto irá convergir numa utilização mais eficiente dos PEVs. Ainda, a produção de energia primária a partir das FER irá tendencialmente continuar num processo contínuo de crescimento de forma a atingir as metas atuais e futuras, impostas pela União Europeia (2.1.3).

Foi também possível concluir, que o setor dos transportes é o que produz um maior impacto no consumo energético nacional. Assim, a eletrificação do setor dos transportes permitirá a Portugal atingir as metas do Pacote Energia-clima com maior eficácia. No entanto, este estudo permitiu concluir que essa eletrificação dos transportes não será massiva, pelo menos até 2030. Isto, porque os veículos de combustão interna têm uma dominância preponderante do parque automóvel nacional. É ainda expectável que o número de VCIs continue a crescer nos próximos anos, em detrimento das apostas realizadas nos PEVs. Tal facto, é explicável pelas desvantagens dos PEVs, uma vez que estas estão maioritariamente relacionadas com o seu investimento inicial e pela fraca autonomia dos veículos elétricos. A solução para este problema passa por criar novas aplicações para as baterias utilizadas nos PEVs, desenvolvendo assim a tecnologia e tornando-as mais económicas, e também pela produção em massa dos PEVs.

Do ponto de vista da evolução da mobilidade elétrica em Portugal, este estudo prevê que será reduzida. Ainda assim, segundo um cenário mais conservador, em 2030 haverá aproximadamente 190.000 PEVs, ou seja, aproximadamente 3% da quota de mercado do parque automóvel nacional.

Ainda, este estudo prevê também o consumo relativo aos PEVs nas curvas de carga diária. Este consumo foi considerado tendo em conta dois perfis de carregamento diferentes. Um primeiro, caracterizado por ser um carregamento não coordenado, o *Dumb Charging* (4.2.2.1.) e, um segundo, por utilizar uma estratégia *Demand Response*, o *Fill-Valley-Strategy* (4.2.2.2.) permitirá a redução da dilatação do pico de consumo de energia elétrica

bem como custos inerentes à extra produção que satisfaça a procura. Esta estratégia ao reduzir esta dilatação estará também a diminuir a probabilidade de existência de sobrecargas na rede elétrica e da fiabilidade do sistema.

Relativamente ao impacto que os PEVs irão ter nas curvas de carga diária, este estudo prevê que esse impacto dependerá do perfil de carregamento utilizado. No entanto, a nível nacional, apenas em 2030 é que os PEVs irão criar um aumento do pico de consumo tão elevado, que justifique a procura de novas estratégias de carregamento, solucionando assim o problema do carregamento não coordenado e de todas as desvantagens já referidas inerentes a este tipo de carregamento.

Este estudo, permite ainda concluir que a nível regional, os distritos mais afetados pela penetração dos PEVs serão os de Aveiro, Leiria, Faro e também com especial enfoque Braga. Isto, deve-se ao facto de o consumo energético nesses distritos ser relativamente baixo e o número de veículos automóveis que circulam nesses distritos ser elevado. Assim, o consumo energético nestes distritos, irá ser de tal forma superior que, sem uma estratégia de carregamento coordenado, o pico de consumo diário de eletricidade aumenta em larga escala.

No entanto, nos distritos de Lisboa e Porto, apesar da penetração dos PEVs ser maior, o impacto obtido pelo carregamento destes, torna-se menos relevante. Isto é devido ao elevado consumo de energia praticado nesses distritos que torna o impacto, por parte dos PEVs, diminuto.

De notar ainda que, segundo o estudo realizado, tendo em conta a penetração dos PEVs e o seu conseqüente acréscimo de carga, a produção de energia elétrica que satisfaça a procura não será o maior problema. O problema será tanto mais elevado quanto menor for a coordenação do carregamento dos PEVs num horário de pico de consumo. Deverão ser consideradas soluções a curto e a longo prazo de estratégias de carregamento por meio de tarifas dinâmicas com o objetivo do controlo da previsão de carga. Assim o objetivo destas soluções traduzir-se-á na otimização da distribuição da carga, pelas horas do dia, mitigando a possível falta de capacidade da rede elétrica em suportar o pico do consumo de energia elétrica.

Referências Documentais

- [1] L. Raslavičius, B. Azzopardi, A. Keršys, M. Starevičius, Ž. Bazaras, and R. Makaras, “Electric vehicles challenges and opportunities: Lithuanian review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 42, pp. 786–800, 2015.
- [2] C. Camus, T. Farias, and J. Esteves, “Potential impacts assessment of plug-in electric vehicles on the Portuguese energy market,” *Energy Policy*, vol. 39, no. 10, pp. 5883–5897, 2011.
- [3] E. Veldman and R. A. Verzijlbergh, “Distribution grid impacts of smart electric vehicle charging from different perspectives,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 6, no. 1, pp. 333–342, 2015.
- [4] F. J. Soares and P. M. Almeida, “Smart Charging Strategies for Electric Vehicles : Enhancing Grid Performance and Maximizing the Use of Variable Renewable Energy Resources,” pp. 1–11, 2009.
- [5] K. Zhang, L. Xu, M. Ouyang, H. Wang, L. Lu, J. Li, and Z. Li, “Optimal decentralized valley-filling charging strategy for electric vehicles,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 78, pp. 537–550, 2014.
- [6] D. Helm, “The European framework for energy and climate policies,” *Energy Policy*, vol. 64, pp. 29–35, 2014.
- [7] J. Amador, “Produção E Consumo De Energia Em Portugal,” *Bol. Económico*, pp. 71–86, 2010.
- [8] Eurostat, *Energy, transport and environment indicators*. 2015.
- [9] E. Gnansounou, “Assessing the energy vulnerability: Case of industrialised countries,” *Energy Policy*, vol. 36, no. 10, pp. 3734–3744, 2008.
- [10] C. das C. Europeias, “COMUNICAÇÃO DA COMISSÃO AO PARLAMENTO

EUROPEU, AO CONSELHO, AO COMITÉ ECONÓMICO E SOCIA,” 2014.

- [11] J. Y. Yong, V. K. Ramachandaramurthy, K. M. Tan, and N. Mithulananthan, “A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 49, pp. 365–385, 2015.
- [12] E. Valseira-Naranjo, A. Sumper, P. Lloret-Gallego, R. Villafáfila-Robles, and A. Sudria-Andreu, “Electrical vehicles: State of art and issues for their connection to the network,” *2009 10th Int. Conf. Electr. Power Qual. Util. EPQU’09*, pp. 2–4, 2009.
- [13] K. G. Hoyer, “The history of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars,” *Util. Policy*, vol. 16, no. 2, pp. 63–71, 2008.
- [14] McKinsey, “Cars, components and costs,” *Electr. Veh. Eur.*, no. April, p. 21, 2014.
- [15] E. Azadfar, V. Sreeram, and D. Harries, “The investigation of the major factors influencing plug-in electric vehicle driving patterns and charging behaviour,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 42, pp. 1065–1076, 2015.
- [16] M. Goldenstein and R. L. S. Azevedo, “Combustíveis alternativos e inovações no setor automotivo: Será o fim da era do petróleo?,” *BNDES Setorial*, no. 23, pp. 235–266, 2006.
- [17] A. Poullikkas, “Sustainable options for electric vehicle technologies,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 41, pp. 1277–1287, 2015.
- [18] V. H. V. H. Johnson, K. B. K. B. Wipke, and D. J. D. J. Rausen, “HEV control strategy for real-time optimization of fuel economy and emissions,” *SAE Trans.*, vol. 109, pp. 1677–1690, 2000.
- [19] H. Moghbelli, A. H. Niasar, and R. Langari, “New Generation of Passenger Vehicles : FCV or 1EV?,” pp. 452–459, 2006.
- [20] L. Liu, F. Kong, X. Liu, Y. Peng, and Q. Wang, “A review on electric vehicles interacting with renewable energy in smart grid,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 51, pp. 648–661, 2015.

- [21] WHO, “Impactos ambientais,” 2015. [Online]. Available: www.who.com. [Accessed: 02-Sep-2016].
- [22] Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Novembro de 2008, “Directiva 2008/101/CE,” *J. Of. da União Eur.*, pp. 3–21, 2009.
- [23] K. Slezakova, D. Castro, C. Delerue-Matos, M. da C. Alvim-Ferraz, S. Morais, and M. do C. Pereira, “Impact of vehicular traffic emissions on particulate-bound PAHs: Levels and associated health risks,” *Atmos. Res.*, vol. 127, pp. 141–147, 2013.
- [24] E. Helmers and P. Marx, “Electric cars: technical characteristics and environmental impacts,” *Environ. Sci. Eur.*, vol. 24, no. 1, p. 14, 2012.
- [25] L. Chapman, “Transport and climate change: a review,” *J. Transp. Geogr.*, vol. 15, no. 5, pp. 354–367, 2007.
- [26] D. Bozic and M. Pantos, “Impact of electric-drive vehicles on power system reliability,” *Energy*, vol. 83, pp. 511–520, 2015.
- [27] O. T. Nguyen, J. Ward, and K. Johnson, “Figure 1. Well-to-Wheels Greenhouse Gases Emissions for 2035 Mid-Size Car (Grams of CO₂-equivalent per mile),” vol. 13005, pp. 1–10, 2013.
- [28] A. Windecker and A. Ruder, “Fuel economy, cost, and greenhouse gas results for alternative fuel vehicles in 2011,” *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 23, pp. 34–40, 2013.
- [29] F. Salah, J. P. Ilg, C. M. Flath, H. Basse, and C. van Dinther, “Impact of electric vehicles on distribution substations: A Swiss case study,” *Appl. Energy*, vol. 137, pp. 88–96, 2015.
- [30] C. Lorf, R. F. Martínez-Botas, D. A. Howey, L. Lytton, and B. Cussons, “Comparative analysis of the energy consumption and CO₂ emissions of 40 electric, plug-in hybrid electric, hybrid electric and internal combustion engine vehicles,” *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 23, pp. 12–19, 2013.
- [31] A. Weis, P. Jaramillo, and J. Michalek, “Estimating the potential of controlled plug-

- in hybrid electric vehicle charging to reduce operational and capacity expansion costs for electric power systems with high wind penetration,” *Appl. Energy*, vol. 115, no. x, pp. 190–204, 2014.
- [32] C. Thiel, A. Perujo, and A. Mercier, “Cost and CO₂ aspects of future vehicle options in Europe under new energy policy scenarios,” *Energy Policy*, vol. 38, no. 11, pp. 7142–7151, 2010.
- [33] V. Gass, J. Schmidt, and E. Schmid, “Analysis of alternative policy instruments to promote electric vehicles in Austria,” *Renew. Energy*, vol. 61, pp. 96–101, 2014.
- [34] R. Kochhan, S. Fuchs, B. Reuter, P. Burda, S. Matz, and M. Lienkamp, “An Overview of Costs for Vehicle Components , Fuels and Greenhouse Gas Emissions,” no. February, pp. 1–19, 2014.
- [35] B. Diouf and R. Pode, “Potential of lithium-ion batteries in renewable energy,” *Renew. Energy*, vol. 76, pp. 375–380, 2015.
- [36] P. Palensky, S. Member, D. Dietrich, and S. Member, “Demand Side Management : Demand Response , Intelligent Energy Systems , and Smart Loads,” vol. 7, no. 3, pp. 381–388, 2011.
- [37] Z. Tan, S. Member, P. Yang, S. Member, and A. Nehorai, “An Optimal and Distributed Demand Response Strategy With Electric Vehicles in the Smart Grid,” vol. 5, no. 2, pp. 861–869, 2014.
- [38] J. Wang, C. Liu, D. Ton, Y. Zhou, J. Kim, and A. Vyas, “Impact of plug-in hybrid electric vehicles on power systems with demand response and wind power,” *Energy Policy*, vol. 39, no. 7, pp. 4016–4021, 2011.
- [39] F. Fernandes, H. Morais, Z. Vale, and C. Ramos, “Dynamic load management in a smart home to participate in demand response events,” *Energy Build.*, vol. 82, pp. 592–606, 2014.
- [40] P. Faria, S. Member, Z. A. Vale, S. Member, and I. Ferreira, “DemSi A Demand Response Simulator in the context of intensive use of Distributed Generation,” pp. 2025–2032.

- [41] S. Shao, M. Pipattanasomporn, and S. Rahman, “Grid Integration of Electric Vehicles and Demand Response With Customer Choice,” vol. 3, no. 1, pp. 543–550, 2012.
- [42] S. W. Hadley, A. A. Tsvetkova, and S. W. Hadley, “Potential Impacts of Plug-in Hybrid Electric Vehicles on Regional Power Generation,” 2009.
- [43] J. Taylor, A. Maitra, M. Alexander, D. Brooks, and M. Duvall, “Evaluation of the impact of plug-in electric vehicle loading on distribution system operations,” 2009 *IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet. PES '09*, 2009.
- [44] M. A. Ríos, N. M. Peña, G. A. Ramos, N. Achury, M. A. Rios, N. M. Pena, G. A. Ramos, N. Achury, and L. E. Munoz, “Evaluation of the Impact of Plug-in Electric Vehicles on the Load Profile of Commercial Buildings : a Stochastic Model,” 2014 *IEEE PES Transm. Distrib. Conf. Expo. - Lat. Am. (PES T&D-LA)*, pp. 1–6, 2014.
- [45] T. Cet, “Impact of Widespread Electric Vehicle Adoption on the Electrical Utility Business – Threats and Opportunities,” 2009.
- [46] D. Wu, S. Member, D. C. Aliprantis, S. Member, and K. Gkritza, “Electric Energy and Power Consumption by Light-Duty Plug-In Electric Vehicles,” vol. 26, no. 2, pp. 738–746, 2011.
- [47] P. Denholm and W. Short, “An Evaluation of Utility System Impacts and Benefits of Optimally Dispatched Plug-In Hybrid Electric Vehicles An Evaluation of Utility System Impacts and Benefits of Optimally Dispatched Plug-In Hybrid Electric Vehicles,” no. October, 2006.
- [48] M. Kintner-meyer, “Impacts Assessment of Plug-in Hybrid Vehicles on electric utilities and regional U.S. Power Grids.”
- [49] D. Wu, S. Member, D. C. Aliprantis, S. Member, and L. Ying, “Load Scheduling and Dispatch for Aggregators of Plug-In Electric Vehicles,” vol. 3, no. 1, pp. 368–376, 2012.
- [50] N. Gomes, “Forças que actuaem nos Veículos Eléctricos,” 2011.
- [51] A. V. Barbosa, “Redes de abastecimento para veículos eléctricos,” pp. 1–8, 2012.

- [52] MOBILE, “Sistema MOBILE.” [Online]. Available: <http://www.mobie.pt>. [Accessed: 02-Dec-2016].
- [53] L. Reis, “Modelo e sistema de carregamento para veículos eléctricos em portugal,” 2010.
- [54] PORDATA, “Consumidores de energia elétrica: total e por tipo de consumo (Municípios),” 2015. [Online]. Available: www.pordata.pt. [Accessed: 05-Dec-2016].
- [55] REN, “Diagramas de Carga - REN,” 2015. [Online]. Available: <http://www.centrodeinformacao.ren.pt>. [Accessed: 15-Dec-2016].
- [56] DGEG, “Relatório de Monitorização da Segurança de Abastecimento do Sistema Elétrico Nacional 2013-2030,” p. 97, 2013.
- [57] ASF, “Distribuição do parque automóvel,” 2016.
- [58] J. Cobb, “Top 10 Plug-in-cars adopting countries,” 2017. [Online]. Available: <http://www.hybridcars.com>. [Accessed: 20-Jan-2017].
- [59] H. Séneca, “Carros eléctricos em Portugal? Só em 2030,” *Mercados*, 2011. .
- [60] ZEEV, “Nissan Leaf - Ficha técnica.” [Online]. Available: www.zeev.pt. [Accessed: 05-Jan-2017].
- [61] E. Informática, “Consumo do Nissan Leaf,” 2016. [Online]. Available: <http://exameinformatica.sapo.pt/lifestyle/carros/2016-05-12-1001-km-num-Nissan-Leaf>. [Accessed: 14-May-2017].
- [62] P. Dawkins, “Step-side-unit Laplace,” 2017. [Online]. Available: <http://tutorial.math.lamar.edu>. [Accessed: 06-Jan-2017].
- [63] ERSE, “Ciclo Diário para fornecimento de BTN,” 2017. [Online]. Available: www.ERSE.pt. [Accessed: 05-Jan-2017].
- [64] Y. Zhou and X. Li, “Vehicle to Grid Technology : A Review,” vol. 2, no. 5, pp. 9031–9036, 2015.

