



## **Impacto dos veículos eléctricos na rede de distribuição**

**EZEQUIEL JOAQUIM COUTO DE SOUSA**

outubro de 2020

# Impacto dos veículos eléctricos na rede de distribuição

Ezequiel Joaquim Couto de Sousa



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Eléctricos de Energia

**2020**



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

Candidato: Ezequiel Joaquim Couto de Sousa, Nº 1180053, 1180053@isep.ipp.pt

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



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia



*“Eis o princípio da sabedoria:  
adquire pois a sabedoria; emprega tudo  
o que possuis na aquisição de conhecimento.”*

*Provérbios 4:7*



# Agradecimentos

A Deus, pela força e determinação que me deu, dia após dia, para alcançar esta etapa da minha vida.

À minha mãe e à minha irmã, que muito me incentivaram, para a realização deste mestrado.

À Engenheira Teresa Nogueira pela sua orientação e apoio à execução desta dissertação e pela disponibilidade prestada.

À EDP Distribuição, que cedeu a informação necessária para o desenvolvimento deste estudo, assim como a autorização para a utilização dos softwares que apoiaram a implementação deste trabalho, em especial ao eng. Bruno Silva e ao eng. João Osvaldo pelo apoio prestado.



# Resumo

Tem sido notório o crescimento dos veículos eléctricos em Portugal. Esse crescimento poderá ser ainda maior nos próximos anos, devido à necessidade e ao comprometimento do nosso país em reduzir as emissões com gases de efeito de estufa. Desse modo, a realização deste estudo visa fazer uma análise ao impacto que, o carregamento de veículos eléctricos, terá na rede de baixa tensão, quer ao nível da potência instalada, quer ao nível das quedas de tensão provocadas, na rede.

Para levar a cabo este estudo, é necessário ter conhecimento do cadastro da rede de baixa tensão, e da quantidade de veículos eléctricos a existir no futuro. De modo à análise poder ser mais específica, apenas serão considerados vinte concelhos, e um período de dez anos, ou seja, de 2020 a 2030. Neste estudo foram criados cenários com diferentes previsões do parque automóvel de veículos eléctricos, de modo a verificar o impacto que originará na potência instalada, quer no período diário de maior consumo de energia, quer no período diário de menor consumo. Foi também analisada a rede, dos diferentes tipos de postos de transformação, de modo a verificar o comportamento da variação da tensão em cada uma delas, antes e após o incremento dos veículos eléctricos.

No termino deste estudo, é possível verificar, que a potência instalada na região apenas terá capacidade para as previsões mais baixas, do crescimento de veículos eléctricos, caso contrário será necessário um reforço da potência, a meio da década, e também é possível verificar que as redes das zonas mais urbanas são as que estão mais capacitadas, ao nível da qualidade de tensão, para suportar o carregamento dos veículos eléctricos, ao contrário do que acontece nas redes das zonas rurais.

## *Palavras-Chave*

Consumo energético; Impacto dos Veículos Eléctricos; Potência de carregamento dos VE; Projecções do PA; Rede de BT.



# ***Abstract***

*The growth of electric vehicles in Portugal has been notorious. This growth may be even greater in the coming years, due to the need and commitment of our country to reduce emissions with greenhouse gases. Thus, this study aims to analyze the impact that the charging of electric vehicles will have on the low voltage network, both in terms of the installed power and in terms of the voltage drops caused in the network.*

*To carry out this study, it is necessary to have knowledge of the low voltage network, and the number of electric vehicles to exist in the future. For the analysis to be more specific, only twenty counties will be considered, and a period of ten years, that is, from 2020 to 2030. In this study, scenarios were created with different forecasts for the electric vehicle fleet, to verify the impact that will originate in the installed power, both in the daily period of highest energy consumption and in the daily period of lower consumption. The network of the different types of transformer stations was also analyzed, to verify the behavior of the voltage variation in each one, before and after the increase of electric vehicles.*

*At the end of this study, it is possible to verify that the installed power in the region will only have capacity for the lower forecasts, of the growth of electric vehicles, otherwise it will be necessary to increase the power, in the middle of the decade, and it is also possible to verify the networks in the most urban areas are the most capable, in terms of voltage quality, to support the charging of electric vehicles, unlike what happens in networks in rural areas.*

## **Keywords**

*BT network; Energy consumption; EV charging power; Impact of Electric Vehicles; PA projections;*



# Índice

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>I</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	<b>XIII</b>
<b>ACRÓNIMOS</b> .....	<b>XVII</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO .....	1
1.2 OBJECTIVOS .....	3
1.3 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO .....	4
<b>2 VEÍCULOS ELÉCTRICOS E A REDE ELÉCTRICA</b> .....	<b>7</b>
2.1 A INDÚSTRIA AUTOMÓVEL .....	7
2.1.1 <i>Tipo de veículos eléctricos</i> .....	7
2.1.2 <i>Modos de carregamento</i> .....	8
2.1.3 <i>Tipos de baterias</i> .....	13
2.1.4 <i>Parque automóvel português</i> .....	17
2.1.5 <i>Mercado dos veículos eléctricos</i> .....	24
2.2 FORÇAS RESULTANTES NO MOVIMENTO DOS VE .....	26
2.3 REDE ELÉCTRICA .....	31
2.3.1 <i>Distribuição da energia eléctrica</i> .....	31
2.3.2 <i>Tarifas</i> .....	34
2.4 TOPOLOGIA DA REDE DE BT .....	36
2.4.1 <i>PT AS</i> .....	37
2.4.2 <i>PT AI</i> .....	38
2.4.3 <i>PT Cabine Alta</i> .....	39
2.4.4 <i>PT Cabine Baixa</i> .....	40
<b>3 MODELIZAÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO</b> .....	<b>41</b>
3.1 PERCURSO DIÁRIO .....	41
3.1.1 <i>Percurso longo</i> .....	41

3.1.2	<i>Percurso Curto</i> .....	47
3.2	ENERGIA DIÁRIA REQUERIDA À REDE POR CADA VE .....	48
3.3	CONSUMO DE ENERGIA NUM DIA TÍPICO .....	52
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA DE CÁLCULO DAS QUEDAS DE TENSÃO NA REDE DE BT</b> .....	<b>55</b>
4.1	PROGRAMAS UTILIZADOS .....	56
4.1.1	<i>SIT-DM</i> .....	56
4.1.2	<i>DPLAN</i> .....	57
4.2	POTÊNCIA INSTALADA .....	59
4.2.1	<i>Potência disponível durante o 'horário fora do vazio'</i> .....	61
4.2.2	<i>Potência disponível durante o 'horário de vazio'</i> .....	63
<b>5</b>	<b>ESTUDO DA PREVISÃO DO PA DE VE 2020-2030: METODOLOGIA DESENVOLVIDA</b> .....	<b>67</b>
5.1	ESTUDOS DE PREVISÃO .....	67
5.1.1	<i>Previsão do índice populacional até 2030</i> .....	67
5.1.2	<i>Previsão de vendas de veículos ligeiros de passageiros</i> .....	70
5.1.3	<i>Previsão do PA de veículos ligeiros de passageiros</i> .....	72
5.2	PROECÇÃO DO PA DE VE 2020-2030 .....	73
5.3	CASOS DE ESTUDO: PROECÇÕES .....	78
5.3.1	<i>Proecção mínima</i> .....	79
5.3.2	<i>Proecção média</i> .....	80
5.3.3	<i>Proecção máxima</i> .....	81
5.4	CARACTERIZAÇÃO DOS CENÁRIOS DE ESTUDO .....	82
5.4.1	<i>Cenário 1</i> .....	83
5.4.2	<i>Cenário 2</i> .....	84
5.4.3	<i>Cenário 3</i> .....	85
<b>6</b>	<b>RESULTADOS EXPERIMENTAIS</b> .....	<b>87</b>
6.1	DETERMINAÇÃO DO CENÁRIO 1 .....	87
6.1.1	<i>Carregamento no período fora do vazio</i> .....	88
6.1.2	<i>Carregamento no período de vazio</i> .....	89
6.2	DETERMINAÇÃO DO CENÁRIO 2 .....	90
6.2.1	<i>Carregamento no período fora do vazio</i> .....	90
6.2.2	<i>Carregamento no período de vazio</i> .....	91
6.3	DETERMINAÇÃO DO CENÁRIO 3 .....	92
6.3.1	<i>Carregamento no período fora do vazio</i> .....	92
6.3.2	<i>Carregamento no período de vazio</i> .....	93
6.4	QUEDAS DE TENSÃO NA REDE DE BT COM O AUMENTO DOS VE .....	94

6.4.1	<i>Circuitos de PT's AS</i> .....	95
6.4.2	<i>Circuitos de PT's Al</i> .....	98
6.4.3	<i>Circuitos de PT's Cabine Alta</i> .....	101
6.4.4	<i>Circuitos de PT's Cabine Baixa</i> .....	104
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>107</b>
7.1	ANÁLISE CONCLUSIVA DOS CENÁRIOS APRESENTADOS .....	107
7.2	ANÁLISE CONCLUSIVA DAS QUEDAS DE TENSÃO .....	107
7.3	PERSPECTIVAS FUTURAS.....	108
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>109</b>
	<b>ANEXOS</b> .....	<b>115</b>
	ANEXO A .....	116
	ANEXO B .....	118
	ANEXO C.....	120
	ANEXO D .....	122
	ANEXO E.....	124
	ANEXO F.....	125
	ANEXO G .....	129
	ANEXO H .....	133
	ANEXO I.....	136
	ANEXO J .....	141



# Índice de Figuras

Figura 1 – Mapa de concelhos da Área de Redes Penafiel/Guimarães	4
Figura 2 – Carregamento normal de um VE	8
Figura 3 – Carregamento em Modo 1	9
Figura 4 – Carregamento em Modo 3	10
Figura 5 – Fichas/Tomadas para o Modo 3	11
Figura 6 – Carregamento em Modo 2	12
Figura 7 – Carregamento em Modo 4	12
Figura 8 – Ligações em Modo 4	13
Figura 9 – Descrição do funcionamento de uma bateria de iões-lítio	14
Figura 10 – Quantidade de veículos ligeiros, em Portugal, segundo IMT	17
Figura 11 – Volume de venda automóvel entre 2010 e 2017	18
Figura 12 – Venda de VE em Portugal	18
Figura 13 – Venda de automóveis ligeiros por tipo de combustível 2008 – 2018	19
Figura 14 – Venda de automóveis ligeiros 2008 – 2018	20
Figura 15 – Evolução do parque de veículos eléctricos em Portugal	20
Figura 16 – Vendas de VE e postos de carregamento, por habitantes, na Europa	22
Figura 17 – Evolução do Parque automóvel em Portugal	23

Figura 18 – Perspectiva de evolução do sistema na próxima década	23
Figura 19 – Forças que actuam num veículo	26
Figura 20 – Resistência de forma	28
Figura 21 – Período bi-horário (ciclo diário)	36
Figura 22 – Período tri-horário (ciclo diário)	36
Figura 23 – PT AS	37
Figura 24 – PT AI	38
Figura 25 – PT Cabine Alta	39
Figura 26 – PT Cabine Baixa	40
Figura 27 – Percurso Amarante – Águas Santas	42
Figura 28 – Trajecto Amarante <-> Águas Santas	42
Figura 29 – Diagrama consumo Total – 15 Jan 2019	53
Figura 30 – Janela de desenho SIT	56
Figura 31 – Representação gráfica das quedas de tensão num circuito	58
Figura 32 – Potência máxima disponível no horário de vazio	63
Figura 33 – Parque automóvel de VE e vendas anuais	75
Figura 34 – Gráfico com as três projecções de VE do PA	78
Figura 35 – Simulação da micro-produção no circuito modelo AS	97
Figura 36 – Simulação da micro-produção no circuito modelo AI	100
Figura 37 – Simulação da micro-produção no circuito modelo de CA	103

# Índice de Tabelas

Tabela 1 – Classe e categoria dos veículos	15
Tabela 2 – As 10 marcas de VE, mais vendidos em Portugal, no 1º semestre de 2019	25
Tabela 3 – Características técnicas dos 3 modelos mais vendidos, em Portugal	25
Tabela 4 – Coeficientes de Rolamento	27
Tabela 5 – Coeficientes de atrito ( $\mu$ ) de referência	30
Tabela 6 – Potência normalizadas BTN	33
Tabela 7 – Informações da RND	33
Tabela 8 – Características do relevo do percurso longo	43
Tabela 9 – Potência do <i>Nissan Leaf</i> , por troço, Amarante -> Águas Santas	44
Tabela 10 – Potência do <i>Tesla Model 3</i> , por troço, Amarante -> Águas Santas	44
Tabela 11 – Potência do <i>Renault Zoe</i> , por troço, Amarante -> Águas Santas	45
Tabela 12 – Potência do <i>Nissan Leaf</i> , por troço, Águas Santas -> Amarante	46
Tabela 13 – Potência do <i>Tesla</i> , por troço, Águas Santas -> Amarante	46
Tabela 14 - Potência do <i>Renault Zoe</i> , por troço, Águas Santas -> Amarante	47
Tabela 15 – Potência do <i>Nissan Leaf</i> por viagem de 15Km	48
Tabela 16 - Potência do <i>Tesla Model 3</i> por viagem de 15Km	48
Tabela 17 - Potência do <i>Renault Zoe</i> por viagem de 15Km	48
Tabela 18 – Energia por viagem, Amarante – Águas Santas (a 100km/h)	49

Tabela 19 – Energia por viagem, Águas Santas - Amarante (a 100km/h)	49
Tabela 20 – Energia requerida no percurso longo	50
Tabela 21 – Energia requerida no percurso curto	50
Tabela 22 – Ponderação (%) dos três VE mais vendidos	50
Tabela 23 – Energia média que VE requer da rede	51
Tabela 24 – Tempo de carregamento do VE	52
Tabela 25 – Potência máxima e mínima em 15 Jan 2019, fonte REN	53
Tabela 26 – Tabela dinâmica para projecção dos diagramas de carga	54
Tabela 27 – Parâmetros do DPLAN	57
Tabela 28 – Quantidade de PT's por concelho	59
Tabela 29 – Potência instalada	60
Tabela 30 – Potência de ponta	61
Tabela 31 – Potência disponível no horário fora do vazio	62
Tabela 32 – Potências no horário de vazio	64
Tabela 33 – Potência disponível para carregamento de VE no horário de vazio	65
Tabela 34 – Índice populacional da região em estudo	68
Tabela 35 -Previsão do crescimento populacional de 2020 até 2030	69
Tabela 36 – População residente em Portugal 2012 -2019	69
Tabela 37 – Previsão da população residente em Portugal até 2030	70
Tabela 38 – Previsão de vendas veículos ligeiros passageiros	71
Tabela 39 - Previsão do PA veículos ligeiros passageiros	72

Tabela 40 – Compilação de dados do capítulo 2.1.4	73
Tabela 41 – Projecção do PA de VE segundo previsão do PNEC	74
Tabela 42 – Projecção das vendas de VE segundo previsão do PNEC	74
Tabela 43 – Projecção do PA de VE até 2030	76
Tabela 44 – Três projecções do PA de VE para os anos 2020 a 2030	77
Tabela 45 – Projecção da quantidade mínima de VE por concelho	79
Tabela 46 – Projecção da quantidade média de VE por concelho	80
Tabela 47 - Projecção da quantidade máxima de VE por concelho	81
Tabela 48 – Potência para carregamento dos VE para a projecção mínima	83
Tabela 49 – Potência para carregamento dos VE para a projecção média	84
Tabela 50 – Potência para carregamento dos VE para a projecção máxima	85
Tabela 51 – Impacto na potência disponível no horário ‘fora do vazio’ cenário 1	88
Tabela 52 – Impacto na potência disponível no horário do ‘vazio’ cenário 1	89
Tabela 53 – Impacto na potência disponível no horário ‘fora do vazio’ cenário 2	90
Tabela 54 – Impacto na potência disponível no horário do ‘vazio’ cenário 2	91
Tabela 55 – Impacto na potência disponível no horário ‘fora do vazio’ cenário 3	92
Tabela 56 – Impacto na potência disponível no horário do ‘vazio’ cenário 3	93
Tabela 57 – Quedas de tensão nos circuitos de PT’s AS	95
Tabela 58 – Quadro resumo das secções dos circuitos AS, estudados	96
Tabela 59 – Características dum modelo de circuito AS	96
Tabela 60 – Quedas de tensão, no circuito modelo AS, com micro-produção	97

Tabela 61 – Quedas de tensão nos circuitos de PT's AI	98
Tabela 62 – Quadro resumo das secções dos circuitos AI estudados	99
Tabela 63 – Características dum modelo de circuito AI	99
Tabela 64 – Quedas de tensão, no circuito modelo AI, com micro-produção	100
Tabela 65 – Quedas de tensão nos circuitos de PT's CA	101
Tabela 66 – Quadro resumo das secções dos circuitos de CA, estudados	102
Tabela 67 – Características dum modelo de circuito de CA	102
Tabela 68 – Quedas de tensão, no circuito modelo de CA, com micro-produção	103
Tabela 69 – Quedas de tensão nos circuitos de PT's CB	104
Tabela 70 – Quadro resumo das secções dos circuitos de CB estudados	105
Tabela 71 – Características dum modelo de circuito de CB	106

# Acrónimos

ACAP	–	Associação Automóvel de Portugal
AI	–	Aéreo com interruptor-seccionador
AS	–	Aéreo com seccionador
AT	–	Alta Tensão
BT	–	Baixa Tensão
BTE	–	Baixa Tensão Especial
BTN	–	Baixa tensão Normal
CA	–	Cabine Alta
CB	–	Cabine Baixa
IMT	–	Instituto da Mobilidade e dos Transportes
IP	–	Iluminação Pública
MAT	–	Muito Alta Tensão
ML	–	Mercado Livre
MR	–	Mercado Regulado
MT	–	Média Tensão
PA	–	Parque Automóvel

PNEC – Plano Nacional Energia e Clima

PT – Posto de Transformação

QGBT – Quadro Geral de Baixa Tensão

REN – Rede Eléctrica Nacional, S.A

RND – Rede Nacional de Distribuição

RNT – Rede Nacional de Transporte

SEN – Sistema Eléctrico Nacional

VE – Veículos Eléctricos

# 1 Introdução

Esta dissertação estuda e analisa o impacto que o aumento dos veículos eléctricos poderão trazer para as redes de distribuição de energia, nos moldes actuais que as mesmas se encontram configuradas.

Este primeiro capítulo tem por objectivo contextualizar o motivo desta dissertação, assim como definir os objectivos a serem atingidos e apresentar a estrutura usada no desenvolvimento deste documento.

## 1.1 Contextualização

Estamos ainda no início do século XXI, e as projecções apontam para um grande aumento dos veículos eléctricos durante este século, em todo o mundo, no entanto a invenção deste meio de transporte remonta à primeira metade do século XIX.

No ano 1828, o engenheiro físico e sacerdote Ányos István Jedlik, criou o primeiro modelo de carro eléctrico, porém o título do primeiro carro eléctrico é atribuído ao americano Thomas Davenport, entre 1834 – 1835. Contudo, a grande contribuição, para que o carro eléctrico se tornasse viável, veio da França, através de Gaston Planté que inventou a bateria recarregável de chumbo ácido em 1859. [1]

O desenvolvimento do carro eléctrico foi progredindo nos países mais desenvolvidos da época. No ano 1900, os carros eléctricos representavam cerca de um terço do total dos carros dos Estados Unidos, tinham a vantagem de serem mais silenciosos e eram mais fáceis de operar, porém a sua autonomia era mais baixa do que a dos carros a combustão. Após o ano 1920 os carros eléctricos começaram a perder mercado, para os carros a combustão interna, devido ao facto de o combustível ser mais vantajoso e à substituição do uso da manivela pelo arranque eléctrico. Assim os carros eléctricos tiveram o seu declínio, até à quase extinção, em meados dos anos trinta. [1]

Durante o século XX, a humanidade desenvolveu mais do que em milhares de anos e esse desenvolvimento tão exponencial, principalmente por todo hemisfério norte, tem por base o petróleo e o motor de combustão interna. O motor a combustão interna revolucionou toda a indústria de transportes, de outro modo o petróleo, com todos os seus derivados, revolucionou todos os transportes, aéreos, marítimos e terrestres, permitiu um grande aumento de produção de electricidade, e revolucionou ainda toda a indústria e agricultura, e consequentemente a económica mundial cresceu exponencialmente. No entanto, o abundante e excessivo consumo de petróleo, também conhecido por “ouro negro”, trouxe um problema para a humanidade, a poluição. A queima dos derivados do petróleo liberta para a atmosfera elevados níveis de CO<sub>2</sub> o que provoca um aumento significativo da poluição no meio ambiente. Esta consequência levou a que os países mais desenvolvidos e desprovidos de petróleo começassem a adoptar a energia eléctrica renovável, como meio alternativo ao petróleo, e consequentemente começaram a desenvolver uma tecnologia mais eficiente para os carros eléctricos, nomeadamente ao nível da capacidade das baterias.

O carro eléctrico é apresentado à sociedade como sendo um coadjuvante, na redução das emissões dos gases com efeitos de estufa para a atmosfera, mas, isso só fará sentido se a energia eléctrica, necessária para a sua mobilidade, provir de fontes renováveis, amigas do ambiente.

Em Portugal a energia eléctrica é produzida através de fontes renováveis e não renováveis, contudo, a maior capacidade de produção de energia eléctrica, encontra-se a grande distância dos principais centros de consumo, e como tal existe a necessidade de transportar e distribuir essa energia. Em Portugal existem dois operadores de redes de energia eléctrica: o operador da rede de transporte, responsável pelo transporte da energia em MAT; e o operador da rede de distribuição, responsável pela distribuição de energia em AT, MT e BT.

Desde os primeiros candeeiros de iluminação pública, há mais de um século, até aos dias de hoje, que a produção e as redes de energia eléctrica têm aumentado, começando primeiro pelas grandes cidades até chegar às zonas mais rurais. Esse desenvolvimento levou décadas, contudo, foi após ter sido constituída a EDP, na década de setenta, e também com a entrada de Portugal para a Comunidade Económica Europeia, em 1986, que houve um aumento mais significativo, permitindo levar a electricidade a praticamente todo o país.

Actualmente a rede e a produção de energia eléctrica, supera as necessidades dos clientes, no entanto, com o advento dos carros eléctricos colocam-se várias questões: quer a respeito da capacidade de produção de energia eléctrica renovável; quer do transporte e distribuição da energia; ou da forma como serão efectuados os carregamentos; entre outras.

É desta forma, e para responder a uma dessas questões, que esta dissertação se focará no estudo e análise, do comportamento da rede de distribuição, mais concretamente a rede de Baixa Tensão (BT), em relação à capacidade desta, para a futura demanda de carga, requerida pelos veículos eléctricos.

## 1.2 Objectivos

Este trabalho visa estudar o impacto que o aumento de VE do parque automóvel português, possa trazer para as actuais redes de distribuição eléctrica. A área geográfica, para análise do estudo em causa, abrange 20 concelhos da região do Ave, Tâmega e Sousa e estão afectos à Área de Rede Penafiel/Guimarães, da concessionária EDP Distribuição, conforme apresenta a Figura 1.

Os objectivos propostos para esta dissertação, são os seguintes:

- Determinar o previsível aumento de VE, no parque automóvel português até 2030;
- Determinar o consumo energético, automóvel, para dois percursos distintos. Um percurso citadino, mais curto, e outro mais longo entre cidades;
- Avaliar o impacto sobre a potência instalada, para o período diário de maior consumo (**ponta**) e para o período diário de menor consumo (**vazio**);
- Avaliar o impacto, ao nível da tensão, na rede dos diferentes tipos construtivos de PT's.



Figura 1 – Mapa de concelhos da Área de Redes Penafiel/Guimarães

### 1.3 Organização do documento

Para o alcance dos objectivos, é necessário definir a forma como será estruturado o estudo desta dissertação, para tal foram criados 7 capítulos:

- Introdução – Neste capítulo é feito um enquadramento do tema, sustentando a motivação que conduziu à escolha deste assunto, para esta dissertação, são ainda, apresentados os objectivos propostos a alcançar;
- Veículos eléctricos e a rede eléctrica – Neste capítulo é feito um levantamento teórico relativo aos VE em Portugal e relativo à rede eléctrica. Esta informação teórica servirá de base para os capítulos seguintes;

- Modelização do consumo energético – Neste capítulo já é encetada a análise ao desempenho dos VE, para tal são escolhidos dois percursos, e é calculada a energia eléctrica, que os VE necessitam para a realização dos mesmos;
- Metodologia de cálculo das quedas de tensão na rede de BT – De modo a perceber as características topológicas da rede de BT, é feita neste capítulo, uma descrição dos diferentes tipos construtivos de PT's, de modo a apresentar diferentes estruturas de rede para análise das quedas de tensão. Neste capítulo é ainda calculada a potência disponível durante o período horário do 'vazio' e no período horário 'fora do vazio'.
- Estudo de previsão do parque de VE 2020-2030: Metodologia desenvolvida – Neste capítulo são calculadas as previsões de vendas de veículos ligeiros e do PA português, e são também descritos dos diferentes cenários para análise do impacto sobre a potência, tendo em conta as diferentes projecções do PA de VE para o período de 2020 a 2030.
- Resultados experimentais – Após a conclusão dos capítulos anteriores é possível, neste capítulo, finalizar o estudo, fazendo a simulação da potência de carregamento dos VE sobre a potência instalada e observar o comportamento da mesma para um carregamento orientado para o período do 'vazio' e para o carregamento aleatório, tendendo para o período 'fora do vazio'. São realizados testes a alguns circuitos da rede, para analisar as quedas de tensão provocadas pelos VE, de modo a perceber qual a quantidade de VE que ela é capaz de suportar, sem deixar de cumprir com os padrões da qualidade de tensão;
- Conclusão – Por fim, neste capítulo são apresentadas algumas considerações gerais a respeito dos resultados obtidos no capítulo anterior.

Faz ainda parte deste documento uma lista de anexos, onde estão reunidas algumas tabelas e gráficos, indispensáveis para a sustentação da análise de estudo.



# 2 Veículos eléctricos e a rede eléctrica

Neste capítulo é feita uma pesquisa relacionada com a actualidade dos VE, e a estrutura da rede eléctrica de distribuição, assim como o tipo de tarifas aplicadas à electricidade.

## 2.1 A indústria automóvel

Para começar o estudo em causa, é necessário ter em consideração todo um conjunto de características peculiares aos VE. Neste ponto do capítulo é feita uma recolha de informação inerente aos VE tais como: tipos de veículos movidos a electricidade; os modos de carregamento disponíveis; as baterias mais utilizadas; a quantidade e o crescimento dos VE no parque automóvel português; o mercado dos VE em Portugal e os parâmetros técnicos do automóvel necessários para a realização de cálculos de consumo de energia.

### 2.1.1 Tipo de veículos eléctricos

Actualmente há várias marcas de veículos automóveis, que estão a investir no desenvolvimento e melhoria de VE, existindo já uma razoável variedade de modelos de carros eléctricos, mas independentemente das marcas, os VE podem ser distinguidos segundo as seguintes características:

**Veículo híbridos** – trata-se de um veículo que combina um sistema de propulsão eléctrico com um motor de combustão interna. As baterias do sistema eléctrico são carregadas através da energia dissipada pela travagem ou pelo motor tradicional;

**Veículo eléctrico híbrido *plug-in*** – são semelhantes aos veículos híbridos, mas com a possibilidade de o carregamento das baterias ser efectuado através de um ponto de carregamento exterior, isso faz com que este veículo, possa ser conduzido sem o recurso a combustíveis fósseis, mesmo que a autonomia eléctrica seja bastante limitada;

**Veículo eléctrico (baterias)** – são veículos, cujo movimento, é realizado apenas com recurso a motores eléctricos, um ou mais. Estes motores são alimentados por baterias recarregáveis, através de um ponto de carregamento exterior ou da travagem

regenerativa. Estas baterias têm uma capacidade de armazenamento superior aos demais veículos híbridos. [2]

Para este trabalho, apenas serão considerados os VE (baterias), ou seja, automóveis ligeiros de passageiros.

### 2.1.2 Modos de carregamento

O carregamento de um veículo eléctrico é semelhante ao carregamento de um equipamento electrónico, ou seja, necessita de um cabo de alimentação e um carregador, mas dado que este irá solicitar uma corrente elevada, equivalente a uma casa inteira e durante bastante tempo os cuidados a ter na instalação serão mais específicos. Devido à dimensão do veículo, o seu carregamento poderá ser efectuado numa área de acesso humano não controlado e em caso de falha na instalação eléctrica, poderá ocorrer, o risco de electrocução por contactos indirectos. A Figura 2 ilustra o carregamento normal, de um VE, em que o carregador que está no interior do veículo recebe a energia, da tomada da rede, em corrente alternada e converte-a para a bateria em corrente contínua.

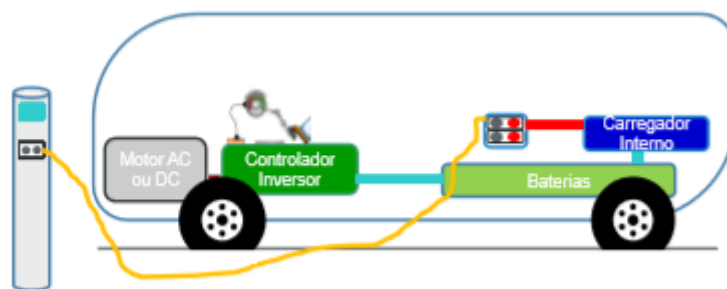


Figura 2 – Carregamento normal de um VE

A norma EN/NP61851 – Sistema de carga condutiva para veículos eléctricos (2003), define as condições de carregamento dos VE apresentando 4 modos de carregamento. [3]

#### Modo 1

“Modo 1 de carga: Ligação do VE à rede de alimentação utilizando tomadas normalizadas de corrente atribuída até 16A, no lado da rede de alimentação, monofásica ou trifásica, com condutores de fase(s), de neutro e de terra de protecção, (ou seja, tomadas domésticas do tipo shüico ou industriais da norma EN60309). A utilização do modo 1 de carga depende da presença de um dispositivo de corrente residual (RCD), também chamado de disjuntor diferencial, no lado da rede de alimentação. Onde a presença de um RCD no lado da rede não for exigida pelas normas nacionais, o modo 1 de carga não é permitido.

A Norma estabelece ainda uma protecção adicional obrigatória de um RCD de  $I_{n} \leq 30\text{mA}$  deve ser fornecido como parte do equipamento de alimentação condutiva do VE para sistemas com ligação à terra”. [3]

Desta forma o carregamento MODO 1, representa a ligação do VE por um cabo a uma tomada doméstica, com terra de protecção e um diferencial de calibre,  $I_{n} \leq 30\text{mA}$ , como pode ser observado na Figura 3 [3].

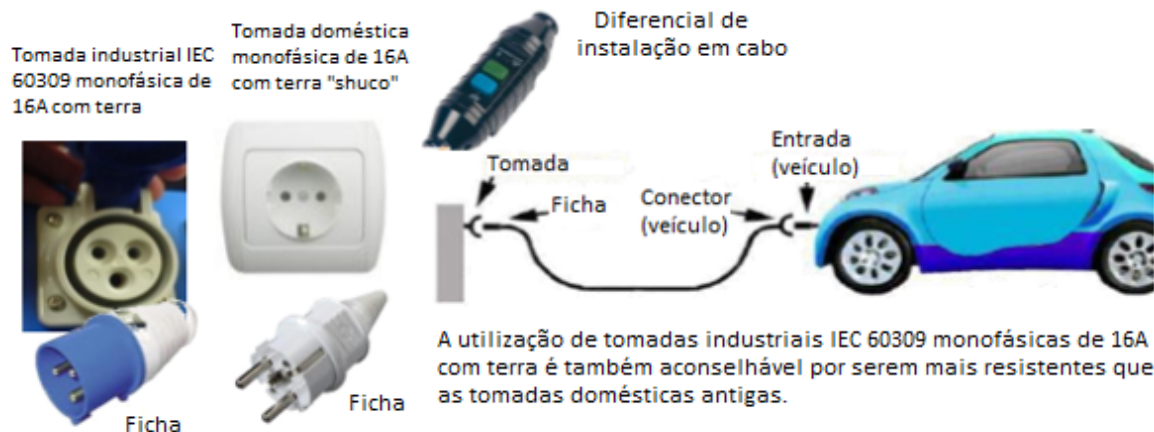


Figura 3 – Carregamento em Modo 1

### Modo 3

“O modo 3, segundo a norma EN/NP61851, é um sistema de fornecimento de energia em corrente alternada, desenvolvido especificamente para veículos eléctricos. Este sistema visa aumentar a segurança do processo de carregamento de um VE e reduzir o risco decorrente de eventuais erros de manipulação por seres humanos e de defeito de isolamento eléctrico do VE, cabo de ligação ou tomada de fornecimento. O sistema Modo 3 é constituído por três componentes fundamentais:

- I. **Tomadas e fichas de fornecimento** dedicadas para VE que incluem: condutores de energia, fases e neutro, terra de protecção, condutor do sinal de ‘piloto de controlo’ e sensor de inversão de ficha na tomada. As tomadas têm ainda incluído no seu desenho um mecanismo de encravamento da ficha na tomada, após inserção. Numa ligação Modo 3, todos os condutores são passados da tomada de fornecimento, à ficha de fornecimento do cabo de ligação e, pelo cabo, à ficha de ligação ao veículo, até à tomada de carregamento do veículo;
- II. **Relé de corte alimentação** controlado pelo sistema electrónico que permite a alimentação ou o corte da tomada quando o sistema electrónico o indicar;
- III. **Sistema electrónico associado à tomada de fornecimento** que, através do condutor de ‘piloto de controlo’, permite, pelo estabelecimento contínuo de uma pequena corrente, entre a tomada de fornecimento e o veículo, monitorizar a manutenção das condições de

isolamento das partes em tensão durante uma sessão de carregamento. Este sistema electrónico permite ainda, através de uma simples forma de comunicação utilizando o condutor de ‘piloto de controlo’, que seja estabelecido um limite de corrente puxado pelo carregador do veículo, em função das condições da tomada de fornecimento e das condições da instalação eléctrica a montante. Em caso do não cumprimento em cada instante destas condições, poderá existir uma falha em alguma parte do circuito e o sistema electrónico não energiza a tomada de fornecimento, através do comando do relé. Um veículo utilizando o sistema Modo 3, não carregará, na ausência de um sistema Modo 3 a montante, com quem se possa emparelhar.” [3]

Desta forma o Modo 3 é caracterizado como o carregamento semi-rápido, que necessita de um posto de carregamento denominado de *WALLBOX*, que conta com todo um sistema de segurança, tanto para o veículo como para a rede eléctrica. A Figura 4 [3] ilustra o carregamento em Modo 3



Figura 4 – Carregamento em Modo 3

O Modo 3 utiliza um sistema de tomadas e fichas específicos para os VE em monofásico ou trifásico com várias correntes possíveis, a norma propõe neste momento três tipos de fichas/tomadas diferentes, conforme ilustra a Figura 5 [3].

**Tipo 1** - também chamada "Yazaki", é utilizada no Japão e EUA e nos veículos Nissan Leaf, Mitsubishi Imiev, Citroen C-Zero e Peugeot I-On. Tem 5 pinos: Fase, Neutro, Terra, Detector de Inserção e Piloto de Controlo.



**Tipo 2** - também chamada "Mennekes" é proposta para a Europa, é trifásica até 44kW (63A p/fase) e está a ser usada no Smart em princípio Renault e todos os carros de futuro fabrico europeu. Tem 7 pinos: 3 Fases, Neutro, Terra, Detector de Inserção e Piloto de controlo



**Tipo 3** - desenvolvido pela EV Plug Alliance também chamada "Scame" é proposta para a Europa, é trifásica até 22kW (32A p/fase). Tem 7 pinos: 3 Fases, Neutro, Terra, Detector de Inserção e Piloto de Controlo.



Figura 5 – Fichas/Tomadas para o Modo 3

## Modo 2

“O Modo 2 é então um sistema de carregamento em que o relé e o sistema electrónico definidos para o Modo 3, bem como um diferencial de  $I_N \leq 30\text{mA}$ , estão instalados na In-cable Control Box (ICCB) ou a caixa de Controlo do Cabo, que está instalada numa das extremidades do cabo de ligação, e de onde sai uma ligação e ficha normalizada (doméstica ou industrial) para ligação à rede eléctrica. Na outra extremidade do cabo existe uma ficha Modo 3 para ligar ao veículo com este sistema, sendo o circuito entre o VE e a ICCB percorrido pelo “piloto de controlo.” [3]

O Modo 2, é um sistema de carregamento desenvolvido para permitir que os VE que só carregam em Modo 3, possam ser carregados numa tomada doméstica ou industrial, trata-se assim de um “adaptador”. A Figura 6 [3] ilustra o carregamento com cabo carregador ICCB.



Figura 6 – Carregamento em Modo 2

## Modo 4

“O Modo 4 é definido como a ligação indirecta do VE à rede de alimentação utilizando um carregador externo no qual o condutor-piloto de controlo vai até ao equipamento ligando-se de uma forma permanente à rede de alimentação. É exemplo do Modo 4 os carregadores rápidos DC que alimentam a bateria do veículo directamente em DC, fazendo o bypass do carregador de bordo.” [3]

A Figura 7 ilustra o carregamento em Modo 4 que é realizado em corrente continua e é o modo de carregamento encontrado normalmente em autoestradas, pois permite um rápido carregamento. No entanto este modo de carregamento não é recomendado para uso diário, pois reduz a vida útil da bateria.

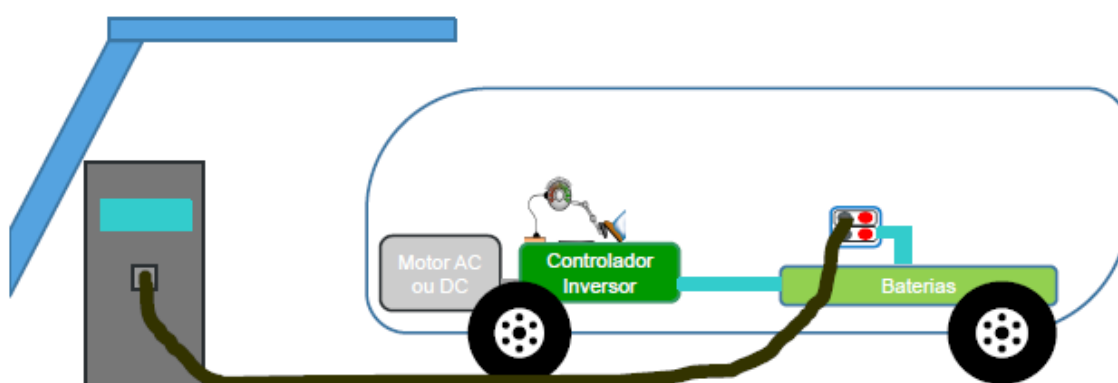


Figura 7 – Carregamento em Modo 4

Os conectores mais comuns do Modo 4 são o *Chademo*, de norma japonesa, e o Sistema de Carga Combinado (CCS), padrão europeu e norte americano. Este tipo de ponto de carregamento é constituído por um armário de carregamento e um cabo preso ao armário. O carregamento é controlado pelo veículo através de comunicação no cabo, assim não há perigo de o carregador injectar corrente de forma nociva para a bateria. Na Figura 8 [3] está presente algumas imagens do ponto de carregamento e respectiva tomada/ficha.



Figura 8 – Ligações em Modo 4

### 2.1.3 Tipos de baterias

No sistema eléctrico, a electricidade consumida é produzida instantaneamente e como tal é necessário existir uma ligação, por cabo, desde a unidade produtora até ao equipamento de consumo. Com o advento das tecnologias e a necessidade de ter equipamentos moveis, sem cabos associados, tem feito com que, os estudos e investigações em busca da melhor solução para armazenar a energia eléctrica, sejam levados a cabo, um pouco por todo o mundo.

Ao longo dos anos foram surgindo vários tipos de baterias com diferentes metais, tais como, as baterias de níquel-cádmio (Ni-Cd) e as baterias de hidreto metálico de níquel (NiMH). As baterias de iões-lítio começaram a ser comercializadas em 1991, a sua composição com grafite tornou estas baterias recarregáveis e viáveis a nível comercial. As baterias de iões-lítio, actualmente dominam o mercado de baterias recarregáveis, para os dispositivos portáteis e veículos eléctricos e é devido ao crescimento do mercado de VE que tem aumentado a prospecção e exploração de lítio, em todo o mundo.

Na Figura 9 está ilustrado o princípio de funcionamento de uma bateria de iões-lítio com ânodo de grafite e cátodo de fosfato de ferro e lítio. Durante o período de carga os electrões deslocam-se do cátodo para ânodo, pelo circuito externo, enquanto que os iões de lítio atravessam o separador, que separa os dois eléctrodos, ficando a carga eléctrica

armazenada no lado do ânodo. Quando a bateria entra em funcionamento, os íões de lítio vão do ânodo para o cátodo passando pelo separador, quando esta reacção ocorre é libertado 1 electrão por íão de lítio, que é capturado pelo ânodo de grafite e seguidamente leva a fornecer a energia ao equipamento. [4]

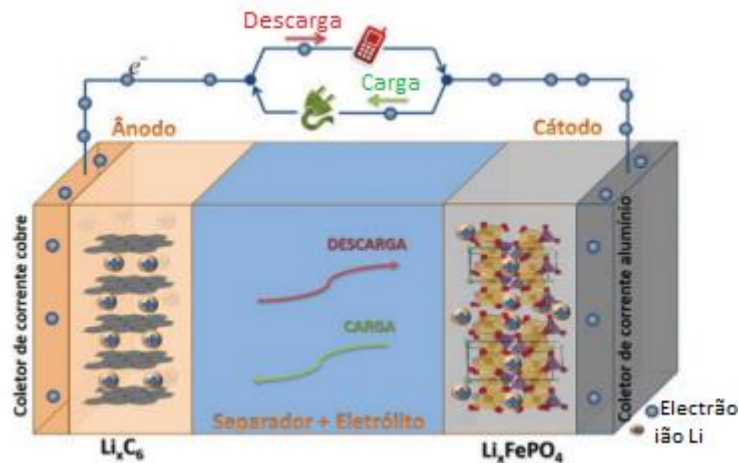


Figura 9 – Descrição do funcionamento de uma bateria de íões-lítio

A directiva europeia (2006/66/EC) faz a distinção entre baterias, consoante a tipologia de veículos, ou seja, a utilização de baterias de chumbo, para arranque, iluminação e ignição, e as usadas para tração dos veículos eléctricos.

A Tabela 1 [4] apresenta as diferentes classes e categorias de veículos, com as respectivas baterias disponíveis.

Os veículos convencionais (a combustão), *Start-Stop* e micro-híbridos continuarão a usar baterias de chumbo 12V, devido à sua capacidade para o arranque do motor em baixas temperaturas e pelo processo de reciclagem das mesmas.

Em veículos híbridos a bateria tem um papel mais activo, pois permite o armazenamento da energia durante a travagem, o que pode representar uma poupança até 40% no consumo de combustível. As baterias mais utilizadas para satisfazer estas poupanças são as de NiMH e as de íões-lítio para potências mais elevadas, devido à sua rápida capacidade de recarga. Para veículos híbridos recarregáveis e veículos 100% eléctricos as baterias de íões-lítio são a melhor escolha. Um carro eléctrico de 1 tonelada, para percorrer uma distância de 100km deve ter em média cerca de 15kWh de energia armazenada. [4]

Tabela 1 – Classe e categoria dos veículos

Classe	Categoria	Nome	Funcionamento/Finalidade
1	1	Motor de combustão interna	A bateria só é usada para o arranque do motor de combustão interna, iluminação e ignição.
	2	Carros <i>Start-Stop</i>	O motor de combustão interna é automaticamente desligado durante a travagem e paragem.
1+2	3	Veículos micro e médio híbridos	O sistema <i>Start-Stop</i> combinado com a travagem regenerativa permite usar a energia gerada para aumentar a aceleração do veículo
2	4	Veículos 100% híbridos (HEVs)	Características equivalentes ao veículo médio híbrido, mas a energia armazenada na bateria pode também ser usada para conduzir uma curta distância em modo eléctrico
3	5	Veículos eléctricos plug-in híbridos (PHEVs)	A bateria é usada como fonte de energia principal para viagens diárias (entre 20 km a 50 km), mas se necessário, o PHEV também funciona em modo híbrido usando o motor de combustão interna. A bateria pode ser carregada a partir da rede pública de electricidade.
	6	Veículos eléctricos (EVs)	Sistema de armazenamento de energia eléctrica total. A bateria é usada como única fonte de energia sendo as baterias carregadas a partir da rede pública de electricidade

O tempo de vida útil das baterias, anunciado pelos fabricantes é cerca de 10 anos, contudo existem alguns cuidados a ter para manter a longevidade das mesmas.

#### **Considerações a ter no carregamento das baterias:**

- **Carga lenta** – As baterias devem ser carregadas em “carga lenta”, de modo a preservar a integridade das células das baterias. Alguns estudos apontam para a perda de 1% da capacidade quando estas são submetidas, constantemente, a carregamentos rápidos, ou seja, ao privilegiar o carregamento lento a capacidade da bateria ao fim de dez anos rondará os 80% da sua capacidade, doutro modo poderá cair para cerca de 70% da capacidade. Em casos de carregamentos, tipicamente domésticos, o automóvel não deve estar menos do que uma hora ligado à tomada.

- **Evitar descargas totais** – é prejudicial para a bateria a descarga total da mesma. O intervalo ideal da capacidade da bateria é entre os 20% e os 80%. Em caso da não utilização do veículo, por um período de tempo mais prolongado, a carga ideal a manter na bateria será cerca de 60%. Uma vantagem de não efectuar a carga completa, é a de poder ficar espaço livre para o armazenamento de energia, vinda da travagem regenerativa. As baterias de iões-lítio preferem ciclo de cargas parciais, ao invés de ciclos de descarga/carga total, pois não provocam danos, nem viciação ou efeito de memória.
- **Temperaturas excessivas** – deve ser evitado o carregamento da bateria logo após uma condução sujeita a temperaturas elevadas. É de privilegiar as temperaturas amenas. Sempre que possível o carro deverá ficar à sombra e de Inverno estacionado em garagem.
- **Fim da vida útil** – Como os processos de reciclagem das baterias ainda são caros e pouco desenvolvidos, pode ser dado um outro fim à bateria, ou seja, estas poderão ser aproveitadas para armazenamento de energia para a habitação. Por norma quando a capacidade da bateria só atinge os 80%, esta deixa de ter interesse para o veículo, contudo ela poderá ter uma nova vida no armazenamento de energias renováveis, nomeadamente a fotovoltaica. [5]

Actualmente está a ser testado um novo funcionamento, alternativo à tradicional bateria de lítio, pela empresa *NanoFlowcell*, um dispositivo do tamanho de uma caixa de sapatos, o bi-ION, composto por uma solução electrolítica salina.

“Segundo uma estimativa, custo de produção (com matéria-prima incluída) é menos de 10 cêntimos por litro. Igualmente, também se prevê um baixo custo de comercialização, visto que o seu armazenamento e o transporte não exigem cuidados especiais. Ao contrário do que acontece com as baterias tradicionais, o NanoFlowcell é alimentado com energia de electrólitos líquidos que podem ser guardados longe da própria célula. Por sua vez, esses líquidos serão separados por dois tanques e bombeados por circuitos separados através de um conversor, consoante a sua carga (positiva ou negativa). Quando chegam a uma membrana permeável, dividem-se e ocorre a troca de iões. Nesse momento, converte-se a energia química em energia eléctrica, a qual ficará imediatamente disponível.” [6]

Actualmente existe um protótipo movido com esta tecnologia, o ‘*Quantino*’, que já fez 350 mil km sem apresentar problemas.

## 2.1.4 Parque automóvel português

Interessa ter um conhecimento de como tem evoluído o parque automóvel português, para que se poder fazer uma projecção do seu crescimento nos anos futuros. De acordo com os dados disponíveis pelo IMT, e que estão representados na Figura 10 [7], é possível perceber que desde o ano 2010 até 2018 o número de veículos ligeiros tem aumentado todos os anos, à excepção do ano 2012 que registou uma quebra em relação ao ano transato, e poderá se justificado pelos efeitos mais tardios da crise financeira de 2009.



Figura 10 – Quantidade de veículos ligeiros, em Portugal, segundo IMT

No gráfico da Figura 11 [8] está um excerto da estatística do volume de vendas de automóveis ligeiros em Portugal desde 2010 até 2017. Onde também é possível verificar a quebra de vendas no ano de 2012, muito devido à crise económica, na altura.

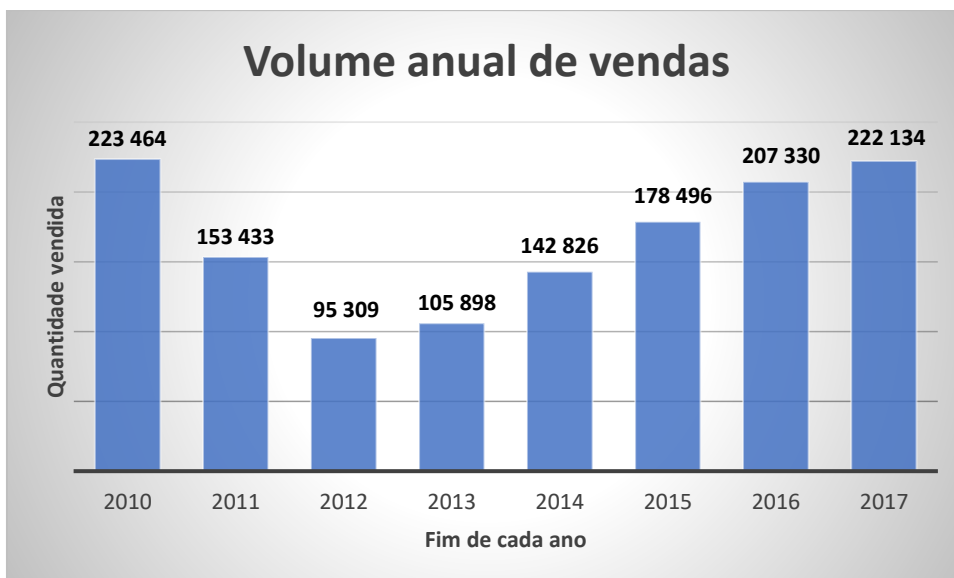


Figura 11 – Volume de venda automóvel entre 2010 e 2017

Em relação a dados sobre VE, não existe uma base de dados concreta e assertiva, que reúna valores de vendas dos últimos anos, e valores de representação no parque automóvel português. Existe a Associação de Utilizadores de Veículos Elétrico (UVE) que apresenta alguns dados e existem alguns artigos de jornais que apontam alguns números. A Figura 12 [9], mostra a representação gráfica das vendas de VE, em Portugal em 2019 e início de 2020.

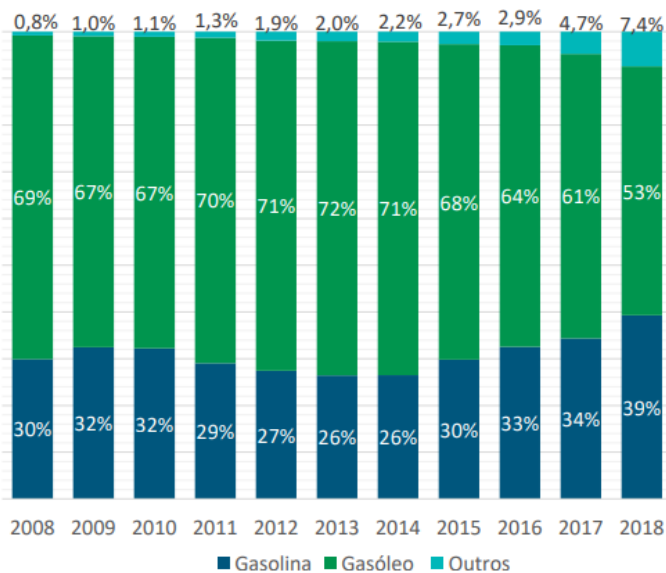


Figura 12 – Venda de VE em Portugal

A mesma fonte UVE, revela ainda que no ano 2015 foram vendidos 1305 VE e em 1970 no ano 2016.

Numa outra fonte, a Associação Automóvel de Portugal, apresenta as vendas de VE e híbridos, entre os anos 2008 e 2018, conforme a Figura 13 [10], onde se percebe um considerável aumento no ano 2017 e 2018.

### Vendas de Automóveis Ligeiros de Passageiros em Portugal por Tipo de Combustível em 2018



- Em 2018 verificou-se uma diminuição significativa do peso do gasóleo;
- Também se verifica um aumento de cerca de 2,7 pontos percentuais nas outras energias, e de 5 p.p. na gasolina.

Fonte: ACAP

Figura 13 – Venda de automóveis ligeiros por tipo de combustível 2008 – 2018

O gráfico da Figura 14 [10] representa as vendas dos “outros”, mencionados na Figura 13, onde apresenta uma quantidade de 4073 VE vendidos em 2018 com um crescimento de 148% em relação ao ano de 2017.

## Vendas de Automóveis Ligeiros de Passageiros em Portugal em 2018

### Movidos a Energias Alternativas

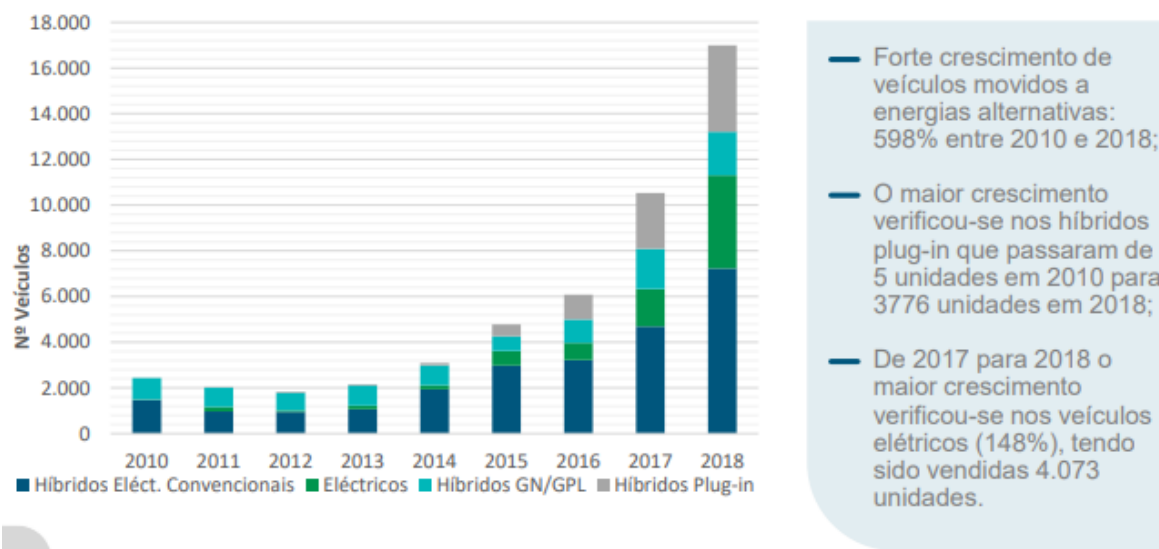
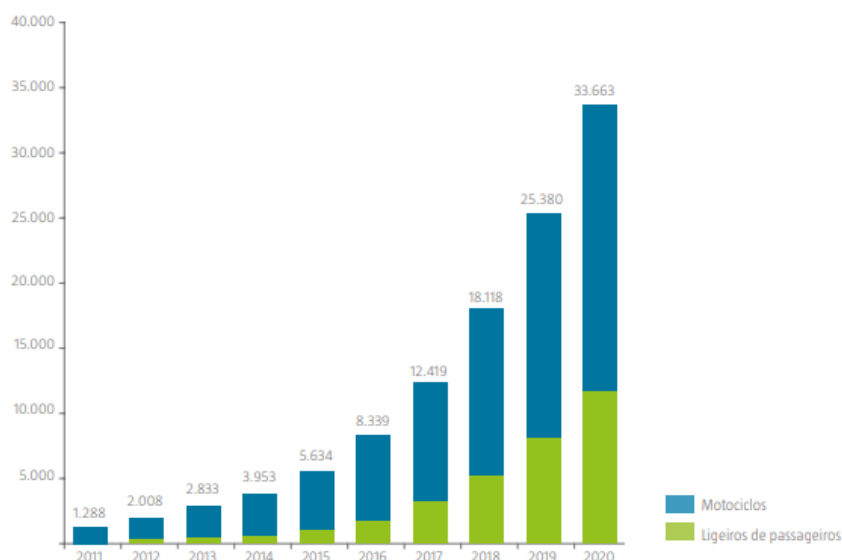


Figura 14 – Venda de automóveis ligeiros 2008 – 2018

A Plataforma para o Crescimento Sustentável, apresentou em 2016 o crescimento de VE desde 2011 até 2020, de acordo com o que está previsto pelo Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética, (PNAER), conforme mostra a Figura 15 [11].



Fonte: Estratégia para as Energias Renováveis - PNAER 2020 - Mobilidade Eléctrica

Figura 15 – Evolução do parque de veículos eléctricos em Portugal

Segundo um artigo publicado no site de notícias automóveis, “Motor 24”, a venda de VE ligeiros de passageiros em 2019 foi de menos 1145 veículos em relação aos 4073 VE vendidos no ano de 2018, ou seja, 2928 VE, leia-se:

“As vendas globais de automóveis em Portugal caíram 2% em 2019, mas o “tombo” foi ainda maior no segmento dos carros eléctricos ligeiros de passageiros, que diminuiu 16.4%, comparativamente ao ano transato.

De acordo com os dados avançados pela Associação Automóvel de Portugal (ACAP), foram matriculados 7096 automóveis eléctricos no nosso país, dos quais 6883 eram ligeiros de passageiros e 213 de mercadorias. Em 2018, de acordo com a Associação de Utilizadores de Veículos Eléctricos, foram vendidos mais 1145 veículos ligeiros de passageiros exclusivamente eléctricos” [12]

Segundo um artigo do jornal digital, Dinheiro Vivo, de Maio de 2019, pode ler-se o seguinte:

“Associação europeia *Eurelectric* diz que as vendas de veículos não poluentes dispararam 95% em 2018, mas postos de carregamento não acompanham.

Portugal é o quinto país europeu onde, em percentagem do total, se venderam mais veículos eléctricos em 2018 (3,4% do total), apenas ultrapassado por nações desenvolvidas do norte da Europa, como a Noruega (onde 49,1% dos carros vendidos no ano passado foram eléctricos ou híbridos plug-in), Suécia (8%), Holanda (6,7%) e Finlândia (4,7%).” [13]

Ainda de acordo com o jornal digital, Dinheiro Vivo, o número de postos de carregamento em Portugal não tem acompanhado o aumento das vendas de VE, como é possível ver na Figura 16 [13].

## Veículos eléctricos na Europa

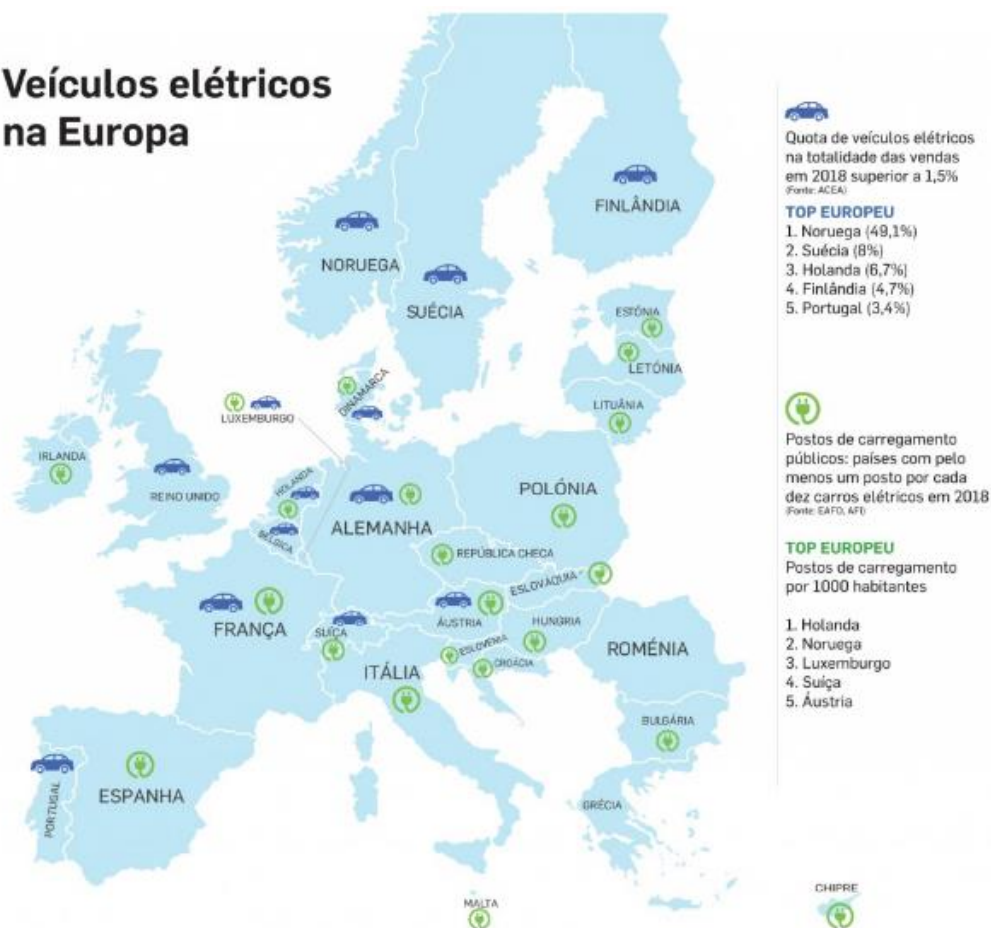


Figura 16 – Vendas de VE e postos de carregamento, por habitantes, na Europa

Segundo o mesmo artigo do jornal, Dinheiro Vivo, pode ler-se o seguinte:

“Com 40 milhões de carros eléctricos e híbridos plug-in a terem de circular nas estradas europeias em 2030 [hoje não vão além de um milhão] para que possam ser cumpridas as metas ambientais, é necessária uma estratégia de electrificação dos transportes terrestres que implique o desenvolvimento de redes públicas de carregamento, refere a *Eurelectric* no estudo a que o Dinheiro Vivo teve acesso. Em Portugal, garante a *Eurelectric*, o salto pode ser igualmente de gigante de 16 300 veículos eléctricos e híbridos hoje em dia para 655 mil em 2030 (ou seja, 40 vezes mais).” [13]

Segundo um artigo do Jornal de Negócios, de Abril de 2019, dá conta de cerca de 12 mil carros eléctricos em Portugal, leia-se:

“O número de automóveis 100% eléctricos em Portugal ronda os 12 mil, segundo estimativas da associação UVE – Utilizadores de Veículos Eléctricos. Dados oficiais apontam para cerca de 9 900 carros eléctricos, mas há que somar a Tesla.” [14]

Segundo o PNEC 2030 – Plano Nacional Energia e Clima há a perspectiva de que a evolução dos VE venha a representar 20% do parque automóvel português, conforme se pode ver pelo gráfico da Figura 17. [15]

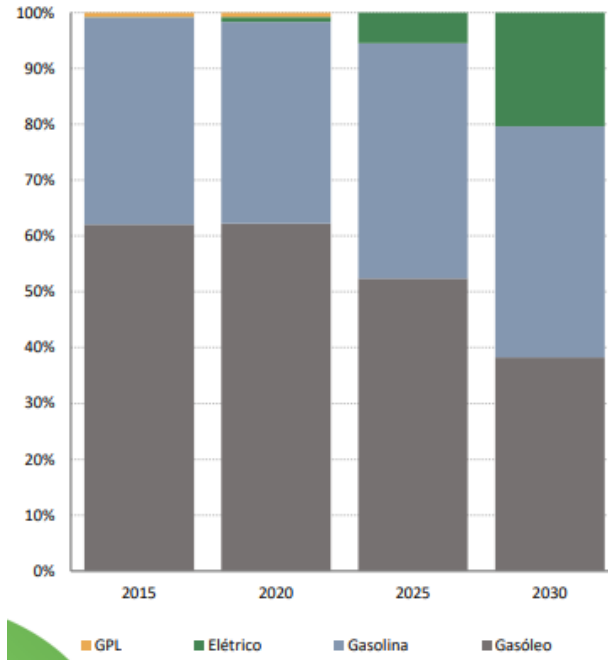


Figura 17 – Evolução do Parque automóvel em Portugal

De acordo com o gráfico da Figura 18 [15] referente ao PNEC 2030 é possível ver que há a perspectiva de que em 2030 cerca de 1/3 das vendas de veículos sejam elétricos.

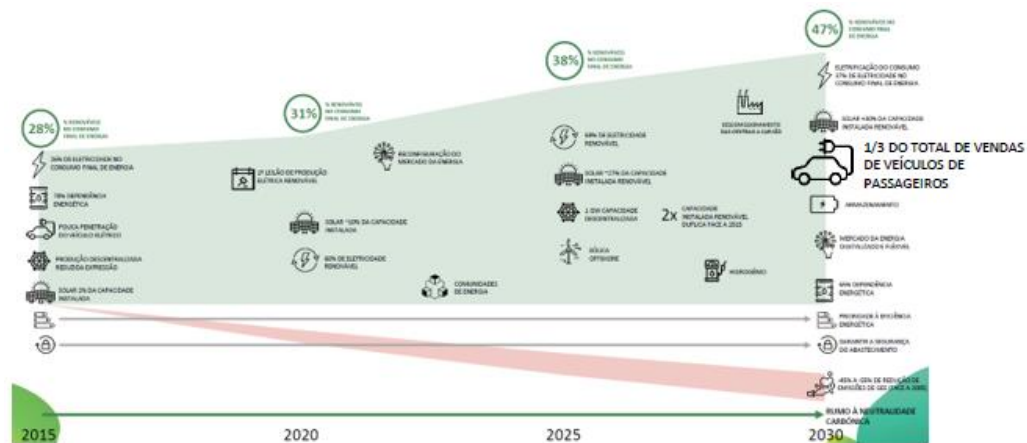


Figura 18 – Perspectiva de evolução do sistema na próxima década

Nos próximos anos muitas mudanças poderão acontecer no PA português. O crescimento do PA está dependente de vários factores, que poderão levar a uma velocidade de crescimento variável. Os principais factores a influenciarem o crescimento do PA, são os factores políticos e ambientais.

Os países que assinaram o protocolo de Quioto, estão comprometidos em baixar os níveis de emissões de CO<sub>2</sub>, para a atmosfera, e têm metas a cumprir, Portugal é um desses países. Um dos sectores que mais polui é o sector dos transportes, daí que, cada vez mais as políticas sejam orientadas para transportes mais ecológicos, assim sendo é possível que nos próximos anos sejam implementadas algumas políticas que venham a favorecer a aceleração do crescimento dos VE em Portugal.

Se olharmos para o mercado internacional, verifica-se que a Republica Popular da China, através de empresas internas, detém uma grande parte do direitos de exploração das minas de lítio existentes no mundo, o que lhe permite ter um forte controlo sobre a indústria de automóveis eléctricos [16]. Tendo em conta que o valor das baterias é o que mais pesa no preço dos VE, então será possível ver que a China poderá controlar o mercado dos VE, por outro lado a China está a investir na produção interna de VE. A China nunca foi um país de referência na concepção/construção de carros a combustão, mas caminha para ser referência nos VE.

De referir ainda, que a China já conseguiu, pela primeira vez, obter a certificação necessária para comercializar o seu SUV U5 (da *Aiways*), em qualquer parte da União Europeia, a sensivelmente metade do preço dos modelos equivalentes. [17]

### **2.1.5 Mercado dos veículos eléctricos**

São já muitas as marcas de veículos automóveis que comercializam os seus próprios VE, contudo há apenas algumas que se destacam no mercado português. O mercado dos VE em Portugal tem aumentado consecutivamente ano após ano, e em 2019 foi o ano em que mais VE foram vendidos. Na Tabela 2 [18] estão destacadas as 10 marcas mais vendidas em Portugal, dá para perceber que entres as 3 marcas mais vendidas há uma diferença considerável, por exemplo o *Renault Zoe* tem um preço próximo do *Nissan Leaf*, no entanto as suas vendas foram aproximadamente metade das do *Nissan Leaf*. Entre os três primeiros verifica-se que há uma tendência para o mais barato.

Tabela 2 – As 10 marcas de VE, mais vendidos em Portugal, no 1º semestre de 2019

<b>Mais vendidos no 1º semestre 2019</b>		
<b>Marca</b>	<b>Quantidade</b>	<b>preço a partir de:</b>
<i>Nissan Leaf</i>	1032	32.400 €
<i>Tesla Model 3</i>	853	54.400 €
<i>Renault Zoe</i>	547	34.292 €
<i>BMW i3</i>	291	38.250 €
<i>Jaguar I-Pace</i>	242	80.925 €
<i>Hyundai Kauai EV</i>	239	45.561 €
<i>Tesla Madel S</i>	170	89.800 €
<i>Smart EV</i>	159	22.500 €
<i>Tesla Model X</i>	120	95.400 €
<i>Hyundai Ioniq</i>	59	29.900 €

Para se determinar a energia consumida por um VE é necessário calcular a resultante das forças que actuam sobre o veículo, para isso é necessário conhecer determinados parâmetros dos VE em estudo. NA Tabela 3 [19] [20] [21] [22] [23] [24] [25] [26] [27] ,estão reunidas as características necessárias, para os cálculos, das três marcas de VE mais vendidos em Portugal.

Tabela 3 – Características técnicas dos 3 modelos mais vendidos, em Portugal

<b>Características</b>	<b>Marca</b>		
	<i>Nissan Leaf</i>	<i>Tesla Model 3</i>	<i>Renault Zoe</i>
Largura (m)	1,788	1,933	1,787
Comprimento (m)	4,49	4,69	4,087
Altura (m)	1,54	1,443	1,562
Peso (kg)	1520	1847	1480
Máxima potência do motor (cv)	150		92
Binário Nm	320	350	220
Bateria iões de lítio	40 kWh	74 kWh	41 kWh
coeficiente de aerodinâmica	0,28	0,23	0,25
Autonomia (km)		530	300
	<b>Carregamento</b>		
43 kW - 64A (trifásico)			50 min (10%-80%)
16,5 kW - 32A (trifásico)		65 km/h	2h15 (10%-100%)
11 kW - 16A (trifásico)		65 km/h	4h30 (10%-100%)
7,4 kW - 32A ( <i>wallbox</i> )	11h	44 km/h	6h (10%-100%)
3,7 kW - 16A ( <i>wallbox</i> )	7h	22 km/h	11h (10%-100%)
2,3 kW - 10A		14 km/h	18h (10%-100%)

## 2.2 Forças resultantes no movimento dos VE

Um veículo automóvel, ao circular na estrada, comporta-se como um corpo dinâmico, com uma diversa complexidade de forças que variam de acordo com o movimento, posição e orientação. As estradas podem ser de asfalto, paralelos ou terra, assim como podem ser planas, inclinadas ou desniveladas, estas características, juntamente com as características do automóvel, e condições atmosféricas, é que irão ditar a performance/rendimento do veículo.

A Figura 19 [28] ilustra os principais vectores das forças aplicadas a um veículo, numa dinâmica longitudinal (x,z). Existe ainda a dinâmica lateral (y,z) para a representação de forças em planos desnivelados, como é o caso das curvas, mas não estará aqui representado, pois para o caso em estudo apenas será considerada a dinâmica longitudinal.

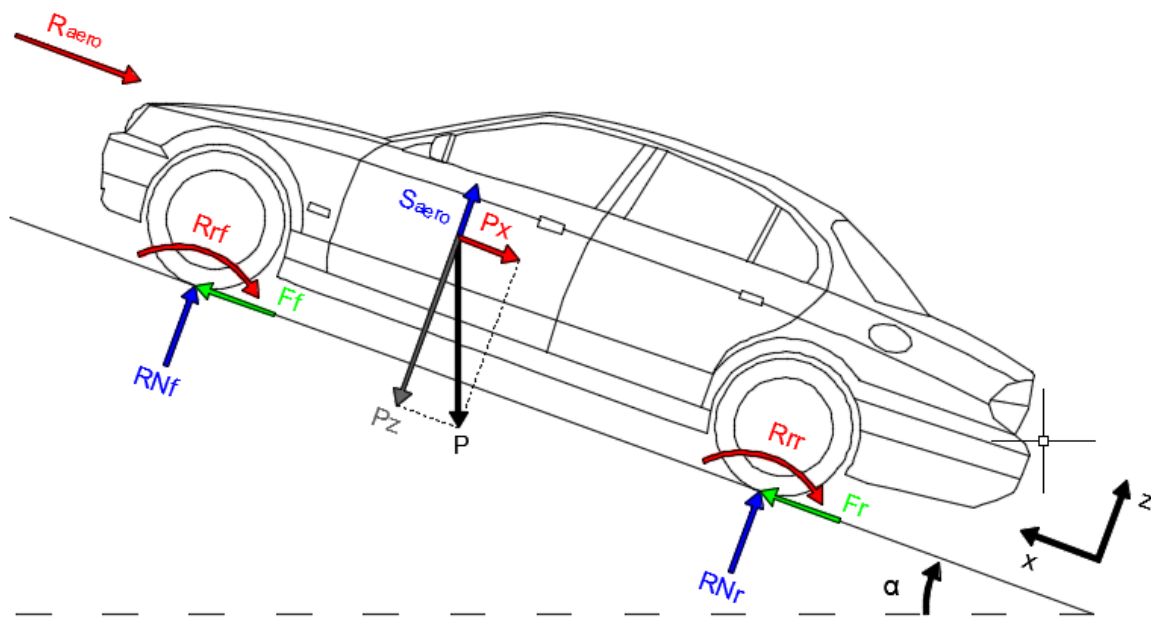


Figura 19 – Forças que actuam num veículo

Do acordo com a Figura 19 e pelas leis da física retiram-se algumas equações resultantes das anulações de vectores. [28]

**Forças de tracção (+) ou travagem (-) (F):**

$$F = F_f + F_r \quad (1)$$

$$F = F_{f_{esq.}} + F_{f_{dir.}} + F_{r_{esq.}} + F_{r_{dir.}} \quad (2)$$

A força individual em cada roda é igual ao binário/torque na roda a dividir pelo seu raio:

$$F_{roda} = \frac{T}{r} \quad (3)$$

**Peso longitudinal, tangencial à superfície (Px):**

$$P_x = m \cdot g \cdot \sin \alpha \quad (4)$$

Será negativo para  $\alpha > 0$  e positivo para  $\alpha < 0$

**Resistência de rolamento (Rr):**

Quando um pneu rola sobre o piso, surge uma força contrária ao movimento para além do atrito, originária da deformação visco-elástica, da área de contacto, que cria uma ligeira deslocação da pressão e uma consequente alteração do centro geométrico em relação ao centro giratório da roda.

$$R_r = R_{rf} + R_{rr} = f_r \cdot RN \quad (5)$$

RN é a reacção normal do solo ao peso, e  $f_r$  é o coeficiente de resistência de rolamento que depende essencialmente:

- do material e estrutura do pneu;
- da temperatura e pressão do ar dentro do pneu;
- da geometria do piso do pneu;
- do material e rugosidade do solo;
- da presença de líquidos ou sólidos (partículas) sobre o solo.

A Tabela 4 [29] apresenta os coeficientes de rolamento típicos.

Tabela 4 – Coeficientes de Rolamento

Condições	Coefficiente de atrito de rolamento
Pneu de carro / Asfalto	0,013
Pneu de carro / Gravelha	0,02
Pneu de carro / Paralelo	0,025
Pneu de carro / terra	0,05

## Resistência aerodinâmica ( $R_{aero}$ ):

Da **resistência aerodinâmica** é de salientar que, um corpo em movimento num meio gasoso fica sujeito a uma força resistente (resistência aerodinâmica), que resulta principalmente de duas componentes:

- Resistência de forma;
- Resistência de fricção.

A **resistência de forma** resulta na compressão do ar na frente do veículo e na descompressão criada na parte traseira do mesmo e deve-se ao formato (físico exterior), do veículo. Pela Figura 20 [29] entende-se que se os ângulos, do formato do veículo, forem mais obtusos, menos compressão fará ao ar, por outro lado se os ângulos forem mais rectos, irá formar uma maior barreira à dispersão do ar.

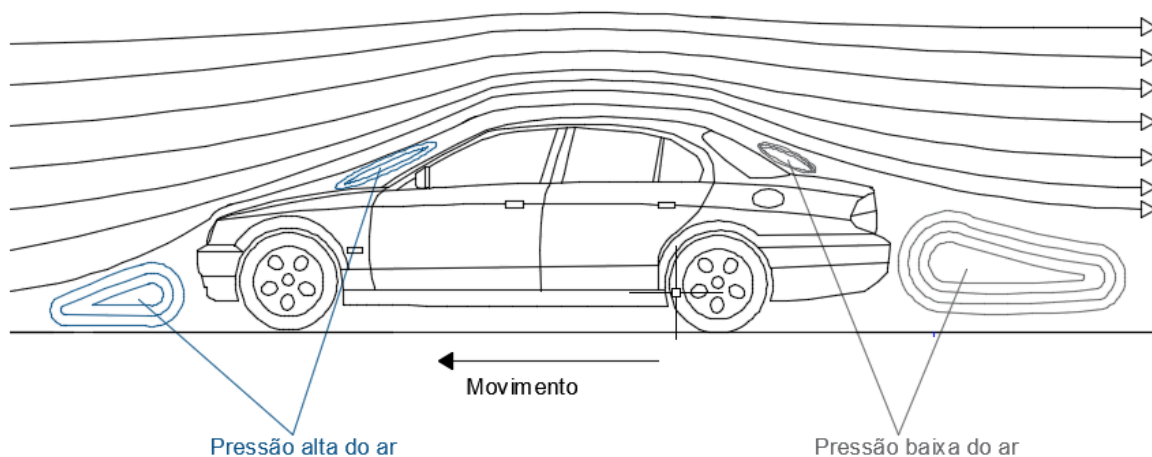


Figura 20 – Resistência de forma

A **resistência de fricção** deve-se ao choque criado pelas moléculas do ar que estão em movimento, causado pelo veículo, e as moléculas, de ar, que estão paradas e se encontram mais distantes do veículo. [29]

De acordo com a Figura 20, pode-se chegar à seguinte equação:

$$R_{aero} = C_D \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot S \quad (6)$$

Em que:

$C_D$  – é o coeficiente de resistência/aerodinâmica;

$\rho$  – é a densidade do ar;

$v$  – é a velocidade;

$S$  – é a área da superfície frontal.

### **Dinâmica das forças no plano longitudinal (x):**

Para que o veículo entre em movimento é necessário que o balanço de forças seja positivo ( $F >$  forças resistivas):

$$F + P_x + R_r + R_{aero} = 0 \quad (7)$$

### **Reacção normal ao solo (RN):**

$$RN = N_f + N_r \quad (8)$$

A repartição da reacção normal por eixo depende da posição do centro de massa (CM). A Reacção normal é igual, em módulo, ao peso.

$$RN = m \cdot g \quad (9)$$

Para o plano inclinado fica:

$$RN = m \cdot g \cdot \cos \alpha \quad (10)$$

### **Sustentação aerodinâmica ( $S_{aero}$ ):**

$$S_{aero} = C_S \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot S \quad (11)$$

Em que:

$C_S$  – é o coeficiente de sustentação;

$(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2)$  – é a pressão dinâmica;

$S$  – é a área de referência.

A sustentação aerodinâmica ( $S_{aero}$ ) é positiva para a generalidade dos automóveis, ela aumenta de acordo com o quadrado da velocidade, se o automóvel atingir uma velocidade, de tal modo que,  $S_{aero} > |P_z|$ , então o automóvel perderá o contacto com a superfície. [28]

**Peso perpendicular à superfície (Pz):**

$$P_z = m \cdot g \cdot \cos \alpha \quad (12)$$

**Dinâmica das forças no vertical (Z):**

Para que o veículo se encontre em equilíbrio o balanço das forças terá de ser:

$$N + S_{aero} + P_z = 0 \quad (13)$$

**Força de atrito (Fa):**

A força de atrito, traduz-se pela força resistente, oferecida ao movimento do veículo sobre a superfície. O princípio fundamental do atrito, diz que o atrito é proporcional à força da reacção normal aplicada, traduzido pela equação: [28]

$$F_a = \mu \times RN \quad (14)$$

Tabela 5 – Coeficientes de atrito ( $\mu$ ) de referência

Condições	Coeficiente de atrito ( $\mu$ )	
	$\mu$ estático	$\mu$ cinético
Borracha / betão seco	1	0,8
Borracha / asfalto seco	0,9	0,7
Borracha / betão molhado	0,6	0,4
Borracha / asfalto molhado	0,5	0,35
Borracha / gravilha/terra	0,35	0,25
Borracha / neve/relva molhada	0,2	0,15
Borracha / asfalto com óleo	0,15	0,1
Borracha / gelo/aquaplaning	0,1	0,1

A **força de atrito** deixa de existir quando o movimento da roda é puramente rotativo, ou seja, no momento em que o movimento passa a ser uniforme e já não há deslizamento.

**Potência necessária ao movimento do veículo de acordo com a velocidade (P):**

A potência necessária para colocar um veículo a determinada velocidade, será obtida pelo somatório das forças resistivas ao movimento vezes a velocidade pretendida: [29]

$$P = |F_{aero} + F_r + F_a + P_x| \times v \quad (15)$$

$$P = |C_D \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot S + m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot f_r + m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot \mu + m \cdot g \cdot \sin \alpha| \times v \quad (16)$$

## 2.3 Rede eléctrica

Falar de uma rede eléctrica, é falar de um conjunto de linhas eléctricas e de transformadores de potência, interligados nas suas extremidades por barramentos e que têm como objectivo transportar e distribuir a energia eléctrica dos centros electroprodutores até aos consumidores finais.

Para fins comerciais as redes de energia são classificadas por níveis de tensão, da seguinte forma:

- Baixa Tensão (BT)  $\leq 1\text{kV}$ ;
- Média Tensão (MT) 6kV, 10kV, 15kV ou 30kV;
- Alta Tensão (AT) 60kV;
- Muito Alta Tensão (MAT) 150kV, 220kV ou 400kV.

Desta forma as redes são separadas em dois grupos: Rede Nacional de Transporte (RNT), contempla as linhas de MAT e Rede Nacional de Distribuição (RND), que contempla as linhas de AT, de MT e de BT

A Rede Nacional de Transporte (RNT), permite o transporte da energia eléctrica desde as centrais produtoras até às subestações próximas das zonas de consumo, e permite ainda a interligação com Espanha, através das linhas de MAT. Actualmente a RNT entrega energia a 83 subestações de MAT/AT e a arquitectura das suas linhas é em malha.

Em Portugal, a gestão, operação e controlo da RNT está concessionada à REN, esta empresa detém a concessão, estabelecida pelo estado Português até 2057, e ainda gere tecnicamente o Sistema Eléctrico Nacional (SEN). [30]

### 2.3.1 Distribuição da energia eléctrica

A distribuição da energia é feita pela RND que começa nas linhas de AT e termina no consumidor final a 230/400V. As linhas de AT alimentam as subestações de AT/MT, que, por conseguinte, irão alimentar milhares de PT's quer de distribuição quer de clientes. Quanto maior for a distância da subestação aos PT's maior será o nível de tensão, dentro dos valores estipulados da MT. A jusante dos PT's seguem as linhas de BT, que por norma

encontram-se junto às estradas e caminhos, e terminam ligadas aos contadores dos consumidores, é ainda por estas linhas, que é feita a alimentação da rede de Iluminação Pública (IP).

A rede de AT, é composta na sua maioria, por linhas aéreas, havendo, contudo, linhas subterrâneas, principalmente junto aos grandes centros urbanos. A arquitectura desta rede é em malha de modo a garantir que na falha de um elemento da rede, está garantida a reserva N-1.

A rede de MT, que passa junto aos centros urbanos, é na sua generalidade composta por linhas subterrâneas, que por sua vez alimentam os PT's de cabine baixa, que predominam no meio urbano. A rede de MT que passa pelo meio rural é na sua generalidade composta por linhas aéreas, que alimentam os PT's aéreos e os PT's de cabine alta e também alguns PT de CB. Esta rede é ainda composta por órgãos de controlo remoto (OCR), que permitem de uma forma célere, colocar ou retirar uma linha em serviço através de telecomando, e ainda por posto de seccionamento (PS). A rede de MT funciona numa estrutura radial, contudo, a sua arquitectura, está concebida num formato em anel, de modo a permitir, através dos órgãos de comando, dar continuidade de serviço, em caso de avaria ou intervenção na rede, garantindo a reserva N-1. A rede de MT para além de ser abastecida pelas linhas de AT também é alimentada por centrais de produção distribuída.

A rede de BT, parte do PT até aos consumidores em linhas aéreas ou subterrâneas. A energia eléctrica, é entregue aos clientes em ligação monofásica, a 230V ou em ligação trifásica, a 400V e com um limite de potência contratada. Para o caso de clientes de Baixa Tensão Normal (BTN), a potência contratada é entregue por escalões até 41.4kVA, conforme a Tabela 6 [2], e para potências superiores já é possível contratar uma potência aleatória, ou seja, sem escalões, e são denominados por clientes de Baixa Tensão Especial (BTE), a diferença entre BTN e BTE é essencialmente a energia reactiva, ou seja, os clientes BTN, não pagam esta energia e os clientes BTE têm que pagar. A arquitectura da rede BT apresenta uma estrutura radial, contudo a sua energia em muitos casos já não é unidireccional, ou seja, do PT para o consumidor, actualmente com a microprodução, que se encontra ligada à rede BT, a energia a circular nestes circuitos é bidireccional, pois ela pode circular de um consumidor/produtor, para um outro consumidor vizinho.

Tabela 6 – Potência normalizadas BTN

Potências normalizadas BTN			
Monofásico		Trifásico	
P(kVA)	In(A)	P(kVA)	In(A)
1,15	5	6,9	3x10
2,3	10	10,35	3x15
3,45	15	13,8	3x20
4,6	20	17,25	3x25
5,75	25	20,7	3x30
6,9	30	27,6	3x40
10,35	45	34,5	3x50
13,8	60	41,4	3x60

Actualmente as linhas de AT e MT estão concessionadas à EDP Distribuição, que é responsável pelo desenvolvimento, exploração e manutenção da rede de distribuição, e é ainda responsável por assegurar a garantia da capacidade da rede a longo prazo.

As linhas de BT são concessionadas pelos municípios e actualmente a maioria das concessões estão atribuídas à EDP Distribuição, à excepção de algumas freguesias que estão concessionadas a cooperativas ou juntas de freguesia. [30]

A Tabela 7 [32] apresenta algumas informações a respeito da RND e também dos clientes associados a ela. Ao operador da RND compete entregar a energia ao consumidor final, contudo, a comercialização dessa energia, fica ao encargo das empresas comercializadoras, do Mercado Livre (ML) ou do Mercado Regulado (MR).

Tabela 7 – Informações da RND

Instalações e equipamentos em serviço		
Linhas AT e MT		83 382km
Redes BT		144 664km
Postos de transformação		69 190
Subestações		431
Clientes da rede de distribuição		
MR + ML	2018	2019
MAT	73	74
AT	309	316
MT	24 719	25 022
BTE	36 453	37 144
BTN	6 103 057	6 152 431
IP	61 032	62 371
<b>TOTAL</b>	<b>6 225 643</b>	<b>6 277 358</b>

### 2.3.2 Tarifas

A ERSE (Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos), é a entidade, em Portugal, responsável pela determinação e fixação das tarifas e preços da electricidade, para cada ano civil. A energia eléctrica, por si só, tem um custo e é-lhe associado um preço, contudo existe um vasto conjunto de actividades relacionadas com a energia que são amortizadas no preço da energia, denominadas de tarifas. [33]

Actividades reguladas	Tarifas reguladas
Gestão técnica global do sistema	-> Tarifa de uso global do sistema
Transporte de energia eléctrica	-> tarifa de uso da rede de transporte em MAT/AT
Distribuição de energia eléctrica em AT	-> tarifa de uso da rede de distribuição em AT
Distribuição de energia eléctrica em MT	-> tarifa de uso da rede de distribuição em MT
Distribuição de energia eléctrica em BT	-> tarifa de uso da rede de distribuição em BT
Operação Logística de Mudança de Comercializador	-> tarifa de operação logística de mudança de comercializador
Compra e venda de energia eléctrica	-> tarifa de energia
Comercialização de energia eléctrica	-> tarifa de comercialização

Existem dois mercados de energia: o regulado, em que a ERSE define todas as tarifas; e o liberalizado em que a ERSE define algumas tarifas e o restante é definido por cada comercializador. [33]

Mercado liberalizado		Mercado regulado
tarifa de acesso às redes	=	tarifa de acesso às redes
energia + comercialização	≠	tarifa de energia + tarifa de comercialização
taxas + impostos	=	taxas + impostos

  valor definido por cada comercializador    
   valor fixado pela ERSE    
   valor fixado pelo estado

O preço da energia, varia ainda de acordo com o período horário, (mesmo entre comercializadores). Actualmente estão definidos quatro períodos ao longo das 24 horas do dia:

**Ponta** – é o período do dia em que a energia é mais cara, e aplica-se a todos os níveis de tensão e a consumidores BTN (que tenham a factura tri-horária);

**Cheias** – é aplicado a todos os níveis de tensão e a consumidores em BTN (que tenham factura tri e bi-horária);

**Vazio normal** – é aplicado nos mesmos moldes das ‘cheias’ e corresponde ao período em que o preço é mais baixo no caso dos consumidores BTN;

**Super vazio** – é aplicado a consumidores MAT, AT, MT e BTE. [33]

Há ainda dois ciclos: **ciclo diário**, onde os períodos horários mantêm-se iguais em todos os dias do ano; e o **ciclo semanal**, onde há diferenças entre os dias úteis e o fim-de-semana.

Dado que na generalidade dos portugueses, o tipo de ligação à rede é em BTN, importa então salientar os três possíveis períodos horários, aplicáveis em BTN:

**Simple** – o dia completo (24h) representa 1 período, não existindo diferenciação do preço ao longo do dia, (o preço é um valor médio das diferentes horas);

**Bi-horário** – tem 2 períodos, um corresponde às horas fora do vazio, (o preço é mais elevado) e o outro às horas de vazio, (o preço é mais reduzido);

**Tri-horário** – tem 3 períodos, um corresponde às horas de ponta, (o preço é mais elevado), outro é nas horas de cheias, (o preço é médio), e o outro é nas horas de vazio, (o preço é mais reduzido). [33]

Para o presente estudo interessa conhecer os períodos horários do **ciclo diário**, como tal, as Figura 21 e Figura 22 [34], ilustram graficamente, a divisão horária ao longo do dia em Portugal continental.

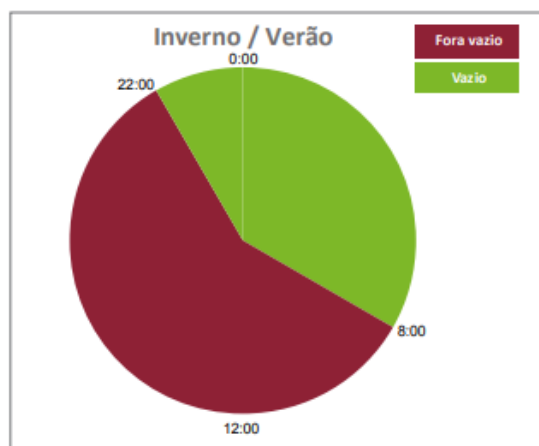


Figura 21 – Período bi-horário (ciclo diário)

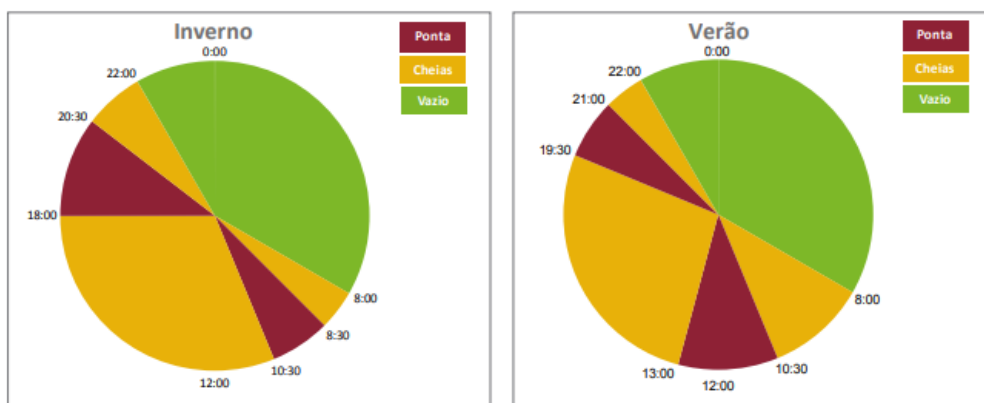


Figura 22 – Período tri-horário (ciclo diário)

## 2.4 Topologia da rede de BT

A rede de BT, que tem início a partir do secundário do transformador, é composta por vários elementos, de entre os quais se pode destacar os mais relevantes:

- Posto de transformação (PT);
- Cabos eléctricos;
- Apoios (postes);
- Caixas de protecção de rede;
- Armários de distribuição;
- Caixas de visitas;
- Valas;
- Portinholas;
- Dispositivos de corte e protecção;

Essencialmente a rede de BT caracteriza-se por rede aérea ou subterrânea, dependendo, em muito, do tipo de PT associado, no entanto, existem circuitos de BT que são mistos, ou seja, parte da sua rede é aérea e a outra parte é subterrânea. De modo a perceber as diferenças que existem dentro da rede de BT são apresentados os quatro tipos de PT existentes na região em estudo.

### 2.4.1 PT AS

Os **PT's AS**, (aéreos com seccionador), são designados por **R100**, ou seja, são PT's destinados a servir redes de serviço público, de potência nominal até 100kVA. Este tipo de PT é constituído por um transformador de potência até 100kVA, alimentado a uma tensão de 10kV, 15kV ou 30kV e é fixo num poste de betão armado. A montante do transformador, (rede MT) está inserido um seccionador, e está protegido contra sobretensões de origem atmosférica, por descarregadores de sobretensões, e do lado da BT está protegido contra sobrecargas e curtos-circuitos, por um interruptor-seccionador tripolar com fusíveis, associado a um sistema de vigilância de carga. O QGBT é fixo ao poste, distanciando do solo, com uma saída trifásica para a rede de distribuição e uma saída monofásica para a iluminação pública.



Figura 23 – PT AS

A Figura 23 mostra uma foto dum PT AS, onde é possível verificar que o QGBT está fixo ao apoio e distanciando do solo. No anexo A, está representada a estrutura construtiva dum PT AS, assim como um exemplo de circuito típico. Por norma estes PT's são inseridos em locais com pouca habitação, ou seja, em zonas mais rurais e na maioria dos casos com habitações dispersas fazendo com que o seu circuito tenha uma grande distância.

## 2.4.2 PT AI

Os PT's AI, (aéreos com interruptor-seccionador), são designados por R250, ou seja, são PT's destinados a servir redes de serviço público, de potência nominal até 250kVA. Este tipo de PT é constituído por um transformador de potência até 250kVA, alimentado a uma tensão de 10kV, 15kV ou 30kV e é fixo num poste de betão armado. A montante do transformador, (rede MT) está inserido um interruptor-seccionador, e está protegido contra sobretensões de origem atmosférica, por descarregadores de sobretensões, e do lado da BT está protegido contra sobrecargas e curtos-circuitos, por um interruptor-seccionador tripolar com fusíveis, associado a um sistema de vigilância de carga. O QGBT fica instalado junto ao poste, sobre o solo, com três saídas trifásicas para a rede de distribuição e uma saída trifásica para a iluminação pública.

A Figura 24, mostra uma foto dum PT AI, novo, pois ainda não tem os cabos a ligar a rede BT, e é possível ver que o QGBT está assente no solo. No anexo B, está representada a estrutura construtiva dum PT AI, assim como um exemplo de circuito típico. Este tipo de PT é semelhante ao PT AS, mas este por norma é instalado em locais onde existe uma maior concentração de habitações, pelo facto de disponibilizar três saídas de BT ele é colocado de forma mais estratégica, de modo a distribuir as saídas pelas ruas.



Figura 24 – PT AI

### 2.4.3 PT Cabine Alta

Os PT's CA (cabine alta), são PT's de interior e o facto de a cabine ser alta deve-se ao facto da chegada da linha de MT ser aérea. Estes PT's são alimentados por tensões até aos 30kV e a sua potência instalada vai até aos 630kVA, no geral as potências dos transformadores destes PT's estão normalizadas para 160, 250, 400, ou 630kVA, podendo haver excepções. O transformador encontra-se instalado no chão em cela de alvenaria própria, a montante do transformador encontra-se o seccionador de linha, os descarregadores de tensão e o interruptor-seccionador-fusível, a jusante do transformador, e fora da sua cela, encontra-se um interruptor-seccionador tripolar, para protecção de sobrecargas e curtos-circuitos, e o QGBT.

A Figura 25, mostra uma foto dum PT cabine alta e a saída dos circuitos aéreos. No anexo C, está representada a estrutura construtiva dum PT CA, assim como um exemplo de circuito típico. Actualmente já não se constrói este tipo de PT, a alternativa pela colocação de um PT tipo aéreo, ou então pela colocação de um apoio, para receber a linha de MT, e é feita uma descida a cabo pelo poste até uma cabine baixa, no entanto ainda hão bastantes PT's deste tipo, em exploração. Este tipo de PT é muito frequente em aldeias e por norma, a sua rede de BT, abrange uma grande área e com muitas cargas associadas.



Figura 25 – PT Cabine Alta

#### 2.4.4 PT Cabine Baixa

Os PT's CB (Cabine Baixa), ou instalados em edifícios, são PT's de interior e a chegada da rede de MT é subterrânea. A cabine pode ser pré-fabricada ou em alvenaria. Em construções mais específicas, como as incorporadas em edifícios, é possível ter dois ou mais transformadores e até várias celas de alvenaria, com os equipamentos de corte e protecção isolados a ar, mas para as cabines normalizadas a estrutura é sempre semelhante, estas têm duas portas de acesso exterior, uma para a cela do transformador e outra com acesso ao QGBT.

A Figura 26 é exemplo de uma cabine normalizada em alvenaria, a porta da direita é de acesso ao transformador e a porta da esquerda dá acesso ao QGBT e às celas modelares ou ao BRA (Bloco de Rede em Anel). As celas modelares ou o BRA, recebem a rede de MT e garantem a protecção do transformador (a montante), por um interruptor-seccionador-fusível com isolamento SF6, e elas permitem ainda a ligação em anel, da rede de MT. A potência dos transformadores é normalizada até 630kVA, no entanto a potência instalada do PT pode ser superior se este possuir mais do que um transformador.



Figura 26 – PT Cabine Baixa

No anexo D, está representada a estrutura construtiva dum PT CB (normalizada), assim como um exemplo de circuito típico. Este tipo de PT é muito frequente em zonas urbanas, onde a rede de MT é subterrânea, e por norma, a sua rede de BT, abrange uma área relativamente pequena e com bastantes cargas associadas.

# 3 Modelização do consumo energético

## 3.1 Percurso diário

A quantidade de energia requerida à rede pelos VE, varia de acordo com as necessidades diárias de deslocamento que o dono do veículo tem. Dependendo do percurso diário e das características do VE pode haver, ou não, a necessidade de efectuar um carregamento diário. Para este estudo foi escolhido dois percursos distintos, um mais curto, (percurso citadino), e outro mais longo (inter-cidades).

Foram escolhidos, para o estudo destes percursos, os três VE mais vendidos em Portugal, *Nissan Leaf*, *Tesla Model 3* e *Renault Zoe*, para comparar as diferentes performances.

### 3.1.1 Percurso longo

Para o percurso longo foi escolhido o trajecto, Amarante – Águas Santas, pela auto estrada A4. A escolha deste percurso deve-se ao facto de haver muita população residente na região em estudo, que diariamente se desloca, em viatura própria, para ir trabalhar para a cidade do Porto e arredores. O concelho de Amarante foi escolhido, por estar mais ou menos centrado geograficamente, na região em estudo.

A Figura 27 mostra um gráfico com o percurso, onde está representado os diferentes máximos e mínimos relativos, da altitude do trajecto. A Tabela 8 apresenta mais detalhadamente os pormenores do trajecto, em que a coluna “Nº do gráfico”, corresponde ao eixo das abcissas do gráfico da Figura 27. Foi necessário recorrer ao *Google Earth*, para determinar os pontos relativos de altitude e a distância entre eles. Com a ajuda do programa AutoCAD, foi possível determinar, mais rapidamente, a inclinação de cada troço.

Para esta viagem foi considerado que o condutor, viaje a uma velocidade média de 100km/h, como tal os valores apresentados na última coluna da Tabela 8 foram obtidos através duma regra-três-simples.

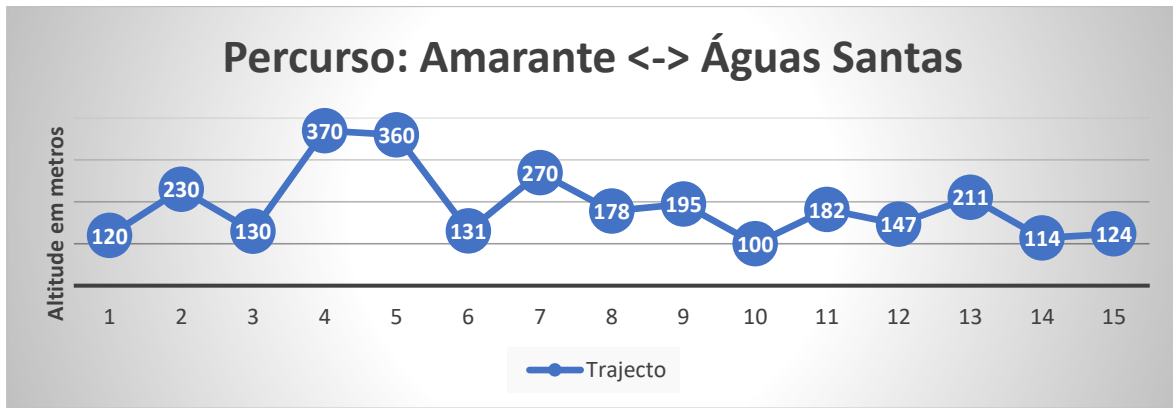


Figura 27 – Percurso Amarante – Águas Santas

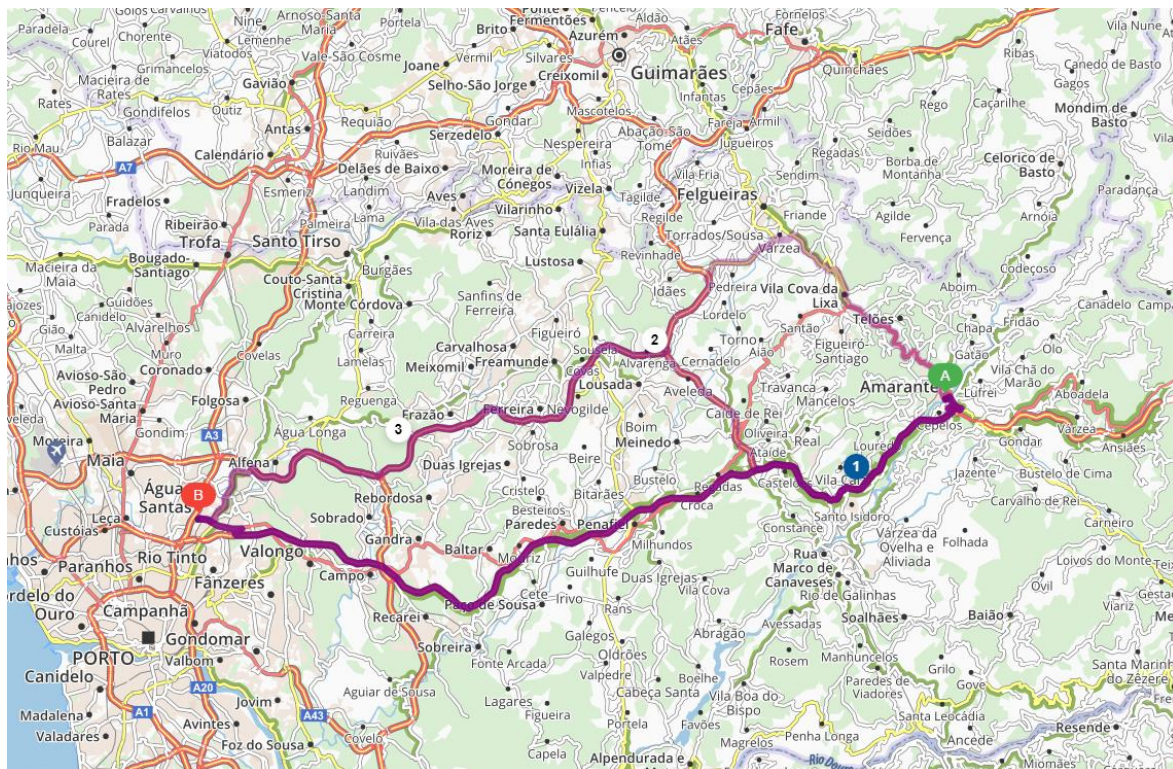


Figura 28 – Trajecto Amarante <-> Águas Santas

Tabela 8 – Características do relevo do percurso longo

Nº do gráfico	Altitude (m)	Ponto relativo altitude	Distância (km)	Inclinação Amarante -> Águas Santas	Inclinação Águas Santas -> Amarante	Tempo (h) (a 100km/h)
1	120	Amarante (41º 15' 31,59"N 8º 5' 44,41"O)	5,15	1º	-1º	0,0515
2	230	Vila Caiz (41º 13' 28,96"N 8º 8' 5,27"O)				
3	130	Constance (41º 13' 15,25"N 8º 9' 33,63"O)	2,444	-2º	2º	0,02444
4	370	S. Martinho (41º 13' 38,52"N 8º 13' 50,58"O)	7,16	2º	-2º	0,0716
5	360	Stª Marta (41º 13' 11,32"N 8º 15' 33,93"O)	2,757	≈ 0º	≈ 0º	0,02757
6	131	Paredes (41º 11' 50,44"N 8º 19' 42,7"O)	6,549	-2º	2º	0,06549
7	270	Cete (41º 11' 0,95"N 8º 22' 19,03"O)	4,313	2º	-2º	0,04313
8	178	Gandra Este (41º 10' 24,64"N 8º 24' 50,55"O)	4,967	-1º	1º	0,04967
9	195	Gandra Oeste (41º 10' 23,05"N 8º 25' 35,05"O)	1,146	1º	-1º	0,01146
10	100	Campo (41º 11' 11,32"N 8º 27' 25,54"O)	3,14	-2º	2º	0,0314
11	182	Valongo Este (41º 11' 35,64"N 8º 29' 00,35"O)	2,487	2º	-2º	0,02487
12	147	Valongo centro (41º 11' 48,6"N 8º 29' 42,87"O)	1,138	-2º	2º	0,01138
13	211	Valongo Oeste (41º 12' 1,24"N 8º 31' 10,21"O)	2,115	2º	-2º	0,02115
14	114	Portagens (41º 12' 4,12"N 8º 33' 7,14"O)	2,847	-2º	2º	0,02847
15	124	Túnel Águas Santas (41º 11' 56"N 8º 34' 28,13"O)	1,967	≈ 0º	≈ 0º	0,01967

Tendo em conta as características do trajecto, segundo a Tabela 8 e as características dos três VE mais vendidos em Portugal, segundo Tabela 3 e Tabela 4, assim como a equação 16 da pág. 30, é possível chegar aos valores de potência requerida, apresentados nas Tabela 9, Tabela 10 e Tabela 11.

Nos cálculos foi desprezada a força de atrito, pois ela existe apenas enquanto há deslizamento da roda, que normalmente acontece por breves instantes no arranque do automóvel, mantendo-se depois apenas a força resistiva de rolamento. Será também

desprezada a sustentação aéreo dinâmica, visto que só tem maior relevância para altas velocidades como é o caso da fórmula 1.

Tabela 9 – Potência do *Nissan Leaf*, por troço, Amarante -> Águas Santas

<b>Nissan Leaf (Amarante -&gt; Águas Santas)</b>						
CD	$\rho$	$f_r$	Peso	Altura	Largura	Área frontal (S)
0,28	1,23	0,013	1520	1,540	1,788	2,754
Troço	$\alpha$	$F_{aero}$ (N)	$F_r$ (N)	$P_x$ (N)	V (m/s)	Potência (W)
1 -> 2	1	365,861	193,609	259,935	27,778	22 761
2 -> 3	-2	365,861	193,532	-519,721	27,778	1 102
3 -> 4	2	365,861	193,532	519,721	27,778	29 975
4 -> 5	0	365,861	193,648	0,000	27,778	15 542
5 -> 6	-2	365,861	193,532	-519,721	27,778	1 102
6 -> 7	2	365,861	193,532	519,721	27,778	29 975
7 -> 8	-1	365,861	193,609	-259,935	27,778	8 320
8 -> 9	1	365,861	193,609	259,935	27,778	22 761
9 -> 10	-2	365,861	193,532	-519,721	27,778	1 102
10 -> 11	2	365,861	193,532	519,721	27,778	29 975
11 -> 12	-2	365,861	193,532	-519,721	27,778	1 102
12 -> 13	2	365,861	193,532	519,721	27,778	29 975
13 -> 14	-2	365,861	193,532	-519,721	27,778	1 102
14 -> 15	0	365,861	193,648	0,000	27,778	15 542

Tabela 10 – Potência do *Tesla Model 3*, por troço, Amarante -> Águas Santas

<b>Tesla Model 3 (Amarante -&gt; Águas Santas)</b>						
CD	$\rho$	$f_r$	Peso	Altura	Largura	Área frontal (S)
0,23	1,23	0,013	1847	1,443	1,933	2,789
Troço	$\alpha$	$F_{aero}$ (N)	$F_r$ (N)	$P_x$ (N)	V (m/s)	Potência (W)
1 -> 2	1	304,436	235,261	315,855	27,778	23 765
2 -> 3	-2	304,436	235,167	-631,530	27,778	2 554
3 -> 4	2	304,436	235,167	631,530	27,778	32 531
4 -> 5	0	304,436	235,308	0,000	27,778	14 993
5 -> 6	-2	304,436	235,167	-631,530	27,778	2 554
6 -> 7	2	304,436	235,167	631,530	27,778	32 531
7 -> 8	-1	304,436	235,261	-315,855	27,778	6 218
8 -> 9	1	304,436	235,261	315,855	27,778	23 765
9 -> 10	-2	304,436	235,167	-631,530	27,778	2 554
10 -> 11	2	304,436	235,167	631,530	27,778	32 531
11 -> 12	-2	304,436	235,167	-631,530	27,778	2 554
12 -> 13	2	304,436	235,167	631,530	27,778	32 531
13 -> 14	-2	304,436	235,167	-631,530	27,778	2 554
14 -> 15	0	304,436	235,308	0,000	27,778	14 993

Tabela 11 – Potência do *Renault Zoe*, por trecho, Amarante -> Águas Santas

<b>Renault Zoe (Amarante -&gt; Águas Santas)</b>						
CD	$\rho$	$f_r$	Peso	Altura	Largura	Área frontal (S)
0,25	1,23	0,013	1480	1,562	1,787	2,791
Troço	$\alpha$	$F_{aero}$ (N)	$F_r$ (N)	$P_x$ (N)	V (m/s)	Potência (W)
1 -> 2	1	331,143	188,514	253,095	27,778	21 465
2 -> 3	-2	331,143	188,439	-506,045	27,778	376
3 -> 4	2	331,143	188,439	506,045	27,778	28 490
4 -> 5	0	331,143	188,552	0,000	27,778	14 436
5 -> 6	-2	331,143	188,439	-506,045	27,778	376
6 -> 7	2	331,143	188,439	506,045	27,778	28 490
7 -> 8	-1	331,143	188,514	-253,095	27,778	7 405
8 -> 9	1	331,143	188,514	253,095	27,778	21 465
9 -> 10	-2	331,143	188,439	-506,045	27,778	376
10 -> 11	2	331,143	188,439	506,045	27,778	28 490
11 -> 12	-2	331,143	188,439	-506,045	27,778	376
12 -> 13	2	331,143	188,439	506,045	27,778	28 490
13 -> 14	-2	331,143	188,439	-506,045	27,778	376
14 -> 15	0	331,143	188,552	0,000	27,778	14 436

Muito embora, a distância Amarante – Águas Santas, seja igual à distância Águas Santas – Amarante, a potência necessária para a viagem é diferente, pois as subidas e descidas não são iguais e essa diferença de inclinação irá originar diferentes potências. As Tabela 12, Tabela 13 e Tabela 14, apresentam esses cálculos para o percurso **Águas santas -> Amarante**.

Tabela 12 – Potência do *Nissan Leaf*, por trecho, Águas Santas -> Amarante

<b>Nissan Leaf (Águas Santas -&gt; Amarante)</b>						
CD	$\rho$	$f_r$	Peso	Altura	Largura	Área frontal (S)
0,28	1,23	0,013	1520	1,540	1,788	2,754
Troço	$\alpha$	$F_{aero}$ (N)	$F_r$ (N)	$P_x$ (N)	V (m/s)	Potência (W)
15 -> 14	0	365,861	193,648	0,000	27,778	15 542
14 -> 13	2	365,861	193,532	519,721	27,778	29 975
13 -> 12	-2	365,861	193,532	-519,721	27,778	1 102
12 -> 11	2	365,861	193,532	519,721	27,778	29 975
11 -> 10	-2	365,861	193,532	-519,721	27,778	1 102
10 -> 9	2	365,861	193,532	519,721	27,778	29 975
9 -> 8	-1	365,861	193,609	-259,935	27,778	8 320
8 -> 7	1	365,861	193,609	259,935	27,778	22 761
7 -> 6	-2	365,861	193,532	-519,721	27,778	1 102
6 -> 5	2	365,861	193,532	519,721	27,778	29 975
5 -> 4	0	365,861	193,648	0,000	27,778	15 542
4 -> 3	-2	365,861	193,532	-519,721	27,778	1 102
3 -> 2	2	365,861	193,532	519,721	27,778	29 975
2 -> 1	-1	365,861	193,609	-259,935	27,778	8 320

Tabela 13 – Potência do *Tesla*, por trecho, Águas Santas -> Amarante

<b>Tesla Model 3 (Águas Santas -&gt; Amarante)</b>						
CD	$\rho$	$f_r$	Peso	Altura	Largura	Área frontal (S)
0,23	1,23	0,013	1847	1,443	1,933	2,789
Troço	$\alpha$	$F_{aero}$ (N)	$F_r$ (N)	$P_x$ (N)	V (m/s)	Potência (W)
15 -> 14	0	304,436	235,308	0,000	27,778	14 993
14 -> 13	2	304,436	235,167	631,530	27,778	32 531
13 -> 12	-2	304,436	235,167	-631,530	27,778	2 554
12 -> 11	2	304,436	235,167	631,530	27,778	32 531
11 -> 10	-2	304,436	235,167	-631,530	27,778	2 554
10 -> 9	2	304,436	235,167	631,530	27,778	32 531
9 -> 8	-1	304,436	235,261	-315,855	27,778	6 218
8 -> 7	1	304,436	235,261	315,855	27,778	23 765
7 -> 6	-2	304,436	235,167	-631,530	27,778	2 554
6 -> 5	2	304,436	235,167	631,530	27,778	32 531
5 -> 4	0	304,436	235,308	0,000	27,778	14 993
4 -> 3	-2	304,436	235,167	-631,530	27,778	2 554
3 -> 2	2	304,436	235,167	631,530	27,778	32 531
2 -> 1	-1	304,436	235,261	-315,855	27,778	6 218

Tabela 14 - Potência do *Renault Zoe*, por troço, Águas Santas -> Amarante

<b>Renault Zoe (Águas Santas -&gt; Amarante)</b>						
<b>CD</b>	<b><math>\rho</math></b>	<b><math>f_r</math></b>	<b>Peso</b>	<b>Altura</b>	<b>Largura</b>	<b>Área frontal (S)</b>
0,25	1,23	0,013	1480	1,562	1,787	2,791
<b>Troço</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b><math>F_{aero}</math> (N)</b>	<b><math>F_r</math> (N)</b>	<b><math>P_x</math> (N)</b>	<b>V (m/s)</b>	<b>Potência (W)</b>
1 -> 2	0	331,143	188,552	0,000	27,778	14 436
2 -> 3	2	331,143	188,439	506,045	27,778	28 490
3 -> 4	-2	331,143	188,439	-506,045	27,778	376
4 -> 5	2	331,143	188,439	506,045	27,778	28 490
5 -> 6	-2	331,143	188,439	-506,045	27,778	376
6 -> 7	2	331,143	188,439	506,045	27,778	28 490
7 -> 8	-1	331,143	188,514	-253,095	27,778	7 405
8 -> 9	1	331,143	188,514	253,095	27,778	21 465
9 -> 10	-2	331,143	188,439	-506,045	27,778	376
10 -> 11	2	331,143	188,439	506,045	27,778	28 490
11 -> 12	0	331,143	188,552	0,000	27,778	14 436
12 -> 13	-2	331,143	188,439	-506,045	27,778	376
13 -> 14	2	331,143	188,439	506,045	27,778	28 490
14 -> 15	-1	331,143	188,514	-253,095	27,778	7 405

### 3.1.2 Percurso Curto

Para o percurso curto, foi escolhido um trajecto aleatório de 15km. Este trajecto representa as pequenas deslocações dentro dos concelhos, tendo em conta que boa parte dos postos de trabalho, se encontram mais próximos dos centros urbanos e que a população se encontra dispersa pelo concelho. Como se trata de um pequeno trajecto e dentro das localidades, é considerada, para efeitos de cálculos, a velocidade média de 50km/h, e é também desprezada a inclinação do percurso, considerando inclinação 0°.

Tendo em conta, as características dos três VE mais vendidos em Portugal, segundo Tabela 3 e Tabela 4, assim como a equação 16 da pág.30, é possível chegar aos valores de potência requerida, apresentados nas Tabela 15, Tabela 16 e Tabela 17.

Tabela 15 – Potência do *Nissan Leaf* por viagem de 15Km

<b>Nissan Leaf (15km)</b>						
CD	$\rho$	$f_r$	Peso	Altura	Largura	Área frontal (S)
0,28	1,23	0,013	1520	1,540	1,788	2,754
Troço	$\alpha$	$F_{aero}$ (N)	$F_r$ (N)	$P_x$ (N)	V (m/s)	Potência (W)
Plano	0	91,465	193,648	0,000	13,889	3 960

Tabela 16 - Potência do *Tesla Model 3* por viagem de 15Km

<b>Tesla Model 3 (15km)</b>						
CD	$\rho$	$f_r$	Peso	Altura	Largura	Área frontal (S)
0,23	1,23	0,013	1847	1,443	1,933	2,789
Troço	$\alpha$	$F_{aero}$ (N)	$F_r$ (N)	$P_x$ (N)	V (m/s)	Potência (W)
Plano	0	76,109	235,308	0,000	13,889	4 325

Tabela 17 - Potência do *Renault Zoe* por viagem de 15Km

<b>Renault Zoe (15km)</b>						
CD	$\rho$	$f_r$	Peso	Altura	Largura	Área frontal (S)
0,25	1,23	0,013	1480	1,562	1,787	2,791
Troço	$\alpha$	$F_{aero}$ (N)	$F_r$ (N)	$P_x$ (N)	V (m/s)	Potência (W)
Plano	0	82,786	188,552	0,000	13,889	3 769

### 3.2 Energia diária requerida à rede por cada VE

Para efeito do presente estudo, é considerada a energia diária por VE, a média da energia do percurso longo com o percurso curto.

A Tabela 18 e Tabela 19 apresentam os valores da energia para o percurso longo, (ida e volta). Para o cálculo da energia foi utilizada a seguinte equação:

$$E = P \times t \quad (17)$$

E – Energia (Wh)

P – Potência (W)

t – Tempo (h)

Tabela 18 – Energia por viagem, Amarante – Águas Santas (a 100km/h)

		Potência (W)			Energia (Wh)		
Troço	Tempo (h)	Leaf	Tesla	Zoe	Leaf	Tesla	Zoe
1 -> 2	0,0515	22 761	23 765	21 465	1 172	1 224	1 105
2 -> 3	0,02444	1 102	2 554	376	27	62	9
3 -> 4	0,0716	29 975	32 531	28 490	2 146	2 329	2 040
4 -> 5	0,02757	15 542	14 993	14 436	428	413	398
5 -> 6	0,06549	1 102	2 554	376	72	167	25
6 -> 7	0,04313	29 975	32 531	28 490	1 293	1 403	1 229
7 -> 8	0,04967	8 320	6 218	7 405	413	309	368
8 -> 9	0,01146	22 761	23 765	21 465	261	272	246
9 -> 10	0,0314	1 102	2 554	376	35	80	12
10 -> 11	0,02487	29 975	32 531	28 490	745	809	709
11 -> 12	0,01138	1 102	2 554	376	13	29	4
12 -> 13	0,02115	29 975	32 531	28 490	634	688	603
13 -> 14	0,02847	1 102	2 554	376	31	73	11
14 -> 15	0,01967	15 542	14 993	14 436	306	295	284
<b>Total de energia para o percurso Amarante - Águas Santas</b>					<b>7 577</b>	<b>8 154</b>	<b>7 042</b>

Tabela 19 – Energia por viagem, Águas Santas - Amarante (a 100km/h)

		Potência (W)			Energia (Wh)		
Troço	Tempo (h)	Leaf	Tesla	Zoe	Leaf	Tesla	Zoe
15 -> 14	0,01967	15 542	14 993	14 436	306	295	284
14 -> 13	0,02847	29 975	32 531	28 490	853	926	811
13 -> 12	0,02115	1 102	2 554	376	23	54	8
12 -> 11	0,01138	29 975	32 531	28 490	341	370	324
11 -> 10	0,02487	1 102	2 554	376	27	64	9
10 -> 9	0,0314	29 975	32 531	28 490	941	1 021	895
9 -> 8	0,01146	8 320	6 218	7 405	95	71	85
8 -> 7	0,04967	22 761	23 765	21 465	1 131	1 180	1 066
7 -> 6	0,04313	1 102	2 554	376	48	110	16
6 -> 5	0,06549	29 975	32 531	28 490	1 963	2 130	1 866
5 -> 4	0,02757	15 542	14 993	14 436	428	413	398
4 -> 3	0,0716	1 102	2 554	376	79	183	27
3 -> 2	0,02444	29 975	32 531	28 490	733	795	696
2 -> 1	0,0515	8 320	6 218	7 405	429	320	381
<b>Total de energia para o percurso Águas Santas - Amarante</b>					<b>7 397</b>	<b>7 934</b>	<b>6 867</b>

Para o **percurso longo**, a energia necessária pelos três veículos mais vendidos em Portugal, está representada na Tabela 20. Em comparação, com os valores da capacidade das baterias representados na Tabela 3, verifica-se que a energia necessária para o *Leaf* é de cerca de 37% da capacidade da bateria, para o *Tesla* é cerca de 22% e para o *Zoe* é cerca de 34%. Tabela 20 – Energia requerida no percurso longo

Tabela 20 – Energia requerida no percurso longo

Energia (Wh) necessária Amarante - Águas Santas ida e volta			
	<i>Leaf</i>	<i>Tesla</i>	<i>Zoe</i>
Amarante -> Águas St <sup>a</sup>	7 577	8 154	7 042
Águas St <sup>a</sup> -> Amarante	7 397	7 934	6 867
<b>Total Energia (Wh)</b>	<b>14 974</b>	<b>16 088</b>	<b>13 908</b>

Pelos resultados das Tabela 15, Tabela 16, Tabela 17 e pela equação 17 da pág.48, é possível determinar a energia gasta pelos três veículos para o **percurso curto**. A Tabela 21 apresenta os valores da energia tendo em consideração uma viagem casa – trabalho, trabalho – casa, (30km).

Tabela 21 – Energia requerida no percurso curto

		Potência (W)			Energia (Wh)		
Troço	Tempo (h)	<i>Leaf</i>	<i>Tesla</i>	<i>Zoe</i>	<i>Leaf</i>	<i>Tesla</i>	<i>Zoe</i>
ida e volta (30km)	0,6	3 960	4 325	3 769	2 376	2 595	2 261

Para o **percurso curto** verifica-se que a autonomia das baterias é bastante razoável, no caso do *Nissan Leaf*, este percurso só representa 6% da capacidade da sua bateria, para o *Tesla* representa 6.5% e para o *Renault Zoe* representa 5.7%.

Para o caso em estudo apenas será considerado um **valor de energia diário**, como tal, será feita uma média dos percursos assim como uma ponderação dos três VE mais vendidos em Portugal. De acordo com os mais vendidos em 2019, conforme Tabela 2 pode-se retirar a representação da cada VE, no grupo dos três mais vendidos, conforme a Tabela 22.

Tabela 22 – Ponderação (%) dos três VE mais vendidos

	<i>Nissan Leaf</i>	<i>Tesla Model 3</i>	<i>Renault Zoe</i>	Total
<b>Vendas</b>	1023	853	547	2423
<b>Representação</b>	42,2%	35,2%	22,6%	100,0%

Conforme resultados apresentados na Tabela 23 verifica-se que em média, diariamente um VE, para a região em estudo, necessitará de **8 776Wh de energia eléctrica**.

Tabela 23 – Energia média que VE requer da rede

Consumo médio de energia diária (Wh)				
	<i>Nissan Leaf</i>	<i>Tesla Model 3</i>	<i>Renault Zoe</i>	Total
<b>Percurso longo</b>	14974	16088	13908	44970
<b>Percurso curto</b>	2 376	2 595	2 261	7232,233
<b>Média percursos</b>	8 675	9 342	8 085	26101,12
<b>Factor ponderação</b>	42,2%	35,2%	22,6%	1
<b>Energia ponderada</b>	3 663	3 289	1 825	<b>8 776</b>

Conhecendo já o valor médio da energia diária, que um veículo da região, necessitará por dia, é agora possível calcular o tempo que o veículo necessita estar ligado à rede. Recorrendo às características da Tabela 3, e com a informação do capítulo 2.1.2, é possível chegar aos valores da Tabela 24, onde está estipulado um tempo mínimo e máximo de carregamento. Os valores da tabela foram obtidos segundo o seguinte raciocínio:

- É aconselhável que a bateria nunca seja descarregada abaixo de 20% da sua carga e não seja carregada ao máximo, ou seja, só até aos 80%. Desta forma considera-se a energia útil da bateria apenas 60% da sua carga;
- O utilizador poderá apenas carregar a bateria quando esta já se encontre no mínimo, como tal, é calculado o número de dias para os quais é possível satisfazer a média de energia diária. O utilizador poderá ainda, optar por fazer um carregamento diário com o valor médio da energia consumida;
- Definiu-se um tempo mínimo e máximo de carregamento, de acordo com a opção de carregar diariamente, ou apenas quando consumida 60% da capacidade da bateria;
- Para o carregamento considera-se, **o modo 3 de carregamento**, em que é utilizada uma *WALLBOX*, com uma potência de 7,4kW (32A), monofásica. Para esta potência é necessário ter uma potência contratada de **10.35kVA (45A)** (só para o carregamento), é o escalão normalizado de potência contratada, que satisfaz a necessidade de 32 A.

Tabela 24 – Tempo de carregamento do VE

<b>Carregamento a 7,4kW - 32A (wallbox)</b>			
	<i>Nissan Leaf</i>	<i>Tesla Model 3</i>	<i>Renault Zoe</i>
Capacidade total da bateria	40kWh	74kWh	41kWh
60% capacidade da bateria	24kWh	44,4kWh	24,6kWh
Nº dias utilização a 8776Wh/dia	2,73 <b>(2 dias)</b>	5,06 <b>(5 dias)</b>	2,8 <b>(2 dias)</b>
Tempo de carregamento (60%)	3h15	6h	3h20
Tempo de carregamento (8776W/h)	1h15	1h15	1h15
<b>Tempo de carregamento mínimo/máximo</b>			
<b>Mínimo</b> (Considerando possíveis perdas no carregamento = +15min)			1h30
<b>Máximo</b> (Considerando possíveis perdas no carregamento = +15min)			6h15

### 3.3 Consumo de energia num dia típico

Para ser possível analisar o comportamento da carga dos VE, no período de vazio e fora do vazio, é necessário conhecer o diagrama de carga dum dia típico, dos concelhos em estudo. Contudo, e como não existe um registo de carga individualizado por concelho, será feita uma analogia entre o diagrama de carga nacional e as características (potência instalada e potência de ponta), de cada concelho.

O gráfico da Figura 29 [30] representa o consumo horário, de energia, do dia 15 de Janeiro de 2019, onde foi registado o maior pico de consumo desse Inverno. Na Tabela 25 [35], estão especificados os valores da potência máxima e mínima registados nesse dia. Com esta informação é possível criar os gráficos do anexo F, com a utilização de uma tabela dinâmica, e recorrendo à relação, potência mínima/potência máxima (0.58), e à potência de ponta dos concelhos em estudo. A potência máxima e mínima é disponibilizada pela REN, no entanto as outras potências horárias que estão na Tabela 26, foram retiradas do gráfico da Figura 29.

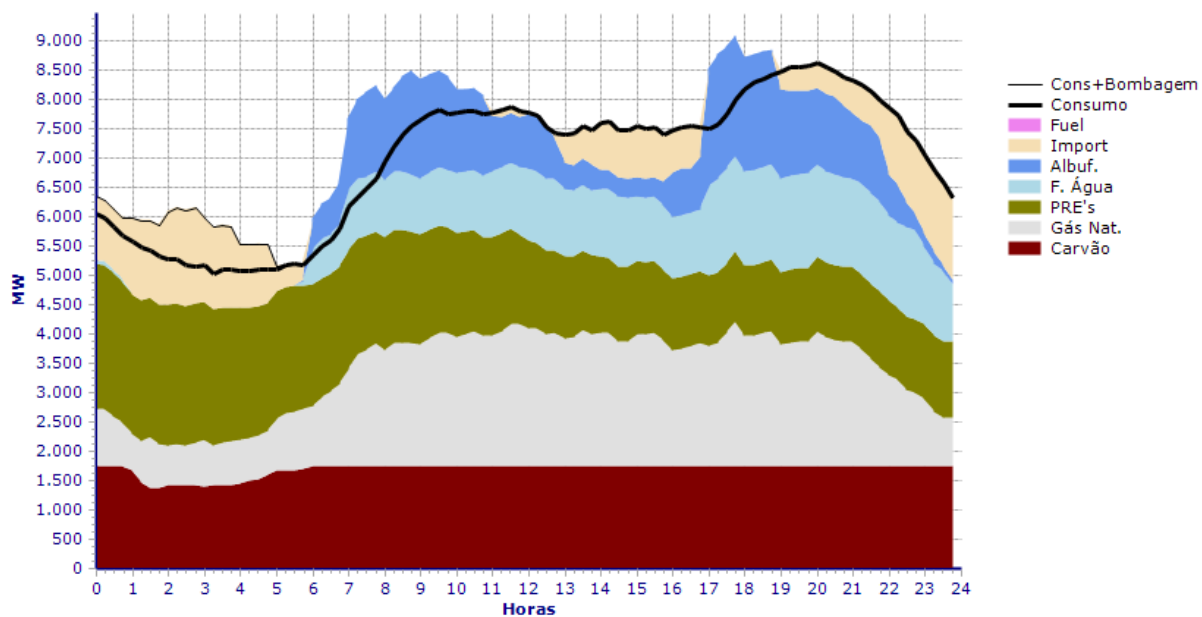


Figura 29 – Diagrama consumo Total – 15 Jan 2019

Tabela 25 – Potência máxima e mínima em 15 Jan 2019, fonte REN

Data	15/01/2019
Potência Máxima	8650 MW
Potência Mínima	5046 MW
Factor de carga	0,81
Pot. Min./Pot. Max	0,58

A Tabela 26, é a tabela dinâmica criada para obter as potências horárias, equivalentes à do dia 15 de Janeiro de 2019, conforme a potência de ponta de cada concelho, de modo a construir os diagramas de carga do anexo F. Na tabela,  $x$  corresponde à hora do dia.

Tabela 26 – Tabela dinâmica para projecção dos diagramas de carga

Horas	MW	$\beta = \text{Pot.}x/8650$	$\text{Pot.}x = \text{Pot.}ponta * \beta$
0	6030	0,70	Pot. 0
1	5530	0,64	Pot. 1
2	5250	0,61	Pot. 2
3	<b>5046</b>	<b>0,58</b>	Pot. 3
4	<b>5046</b>	<b>0,58</b>	Pot. 4
5	5100	0,59	Pot. 5
6	5200	0,60	Pot. 6
7	6030	0,70	Pot. 7
8	7000	0,81	Pot. 8
9	7700	0,89	Pot. 9
10	7850	0,91	Pot. 10
11	7800	0,90	Pot. 11
12	7850	0,91	Pot. 12
13	7370	0,85	Pot. 13
14	7630	0,88	Pot. 14
15	7580	0,88	Pot. 15
16	7400	0,86	Pot. 16
17	7550	0,87	Pot. 17
18	8250	0,95	Pot. 18
19	8550	0,99	Pot. 19
20	<b>8650</b>	1,00	<b>Pot. Ponta</b>
21	8350	0,97	Pot. 21
22	7870	0,91	Pot. 22
23	7130	0,82	Pot. 23
24	6030	0,70	Pot. 24

A extensão a esta tabela dinâmica encontra-se no anexo E. Os valores marcados a azul correspondem aos valores de potência mínima, servirão de base para o cálculo de impacto dos VE nas horas de vazio.

# 4 Metodologia de cálculo das quedas de tensão na rede de BT

Por toda a extensão de um circuito eléctrico que sai do PT, não é possível manter a mesma tensão em todas as instalações, porque em cada uma delas haverá sempre uma queda de tensão, por pequena que seja, desse modo haverá uma diferença entre a tensão no início e no fim do circuito.

Para além das cargas instaladas na rede, outro factor que origina quedas de tensão é a distância, devido à resistência dos cabos, fazendo com que a tensão vá diminuindo progressivamente. Os efeitos das quedas de tensão podem ser prejudiciais para os equipamentos eléctricos e electrónicos nas instalações. Posto isto, e tendo em conta as diferentes características dos diferentes tipos de PT's, já apresentados anteriormente, será feita a análise às quedas de tensão de forma proporcional pelos quatro tipos de PT's, de forma a verificar qual deles está mais susceptível à demanda dos VE e qual está mais reforçado.

Para calcular as quedas de tensão, provocadas pela demanda de VE, este estudo utilizará o *software* que a EDP Distribuição utiliza para efectuar as simulações de novas cargas. Este *software*, o DPLAN, permite receber desenhos de circuitos cadastrados, de outro *software* e SITDM e simular a capacidade da rede, ao nível das quedas de tensão, com a inserção de uma nova carga.

## 4.1 Programas utilizados

### 4.1.1 SIT-DM

SIT-DM (Sistema de Informação Técnica-Design Manager), é um programa utilizado pela EDP Distribuição que permite integrar várias actividades necessárias para o desenvolvimento de um projecto. A base de dados **SIT** guarda o cadastro da rede de distribuição e permite a sua permanente actualização. O **DM** é uma ferramenta para gestão e coordenação de projectos ao nível da rede de eléctrica de distribuição.

Para o estudo das quedas de tensão na rede é necessário recorrer a este programa, pois é nele que se encontra cadastrada a rede BT. Para efectuar a extracção da rede é necessário conhecer alguns comandos de desenho, de modo a obter um ficheiro de leitura compatível com o programa DPLAN, que fará a análise da tensão na rede.

A Figura 30 apresenta a janela de desenho do SIT, numa escala maior é possível ver o mapa de Portugal continental e reduzindo a escala e aproximando do distrito pretendido, é possível ver toda a rede de distribuição.

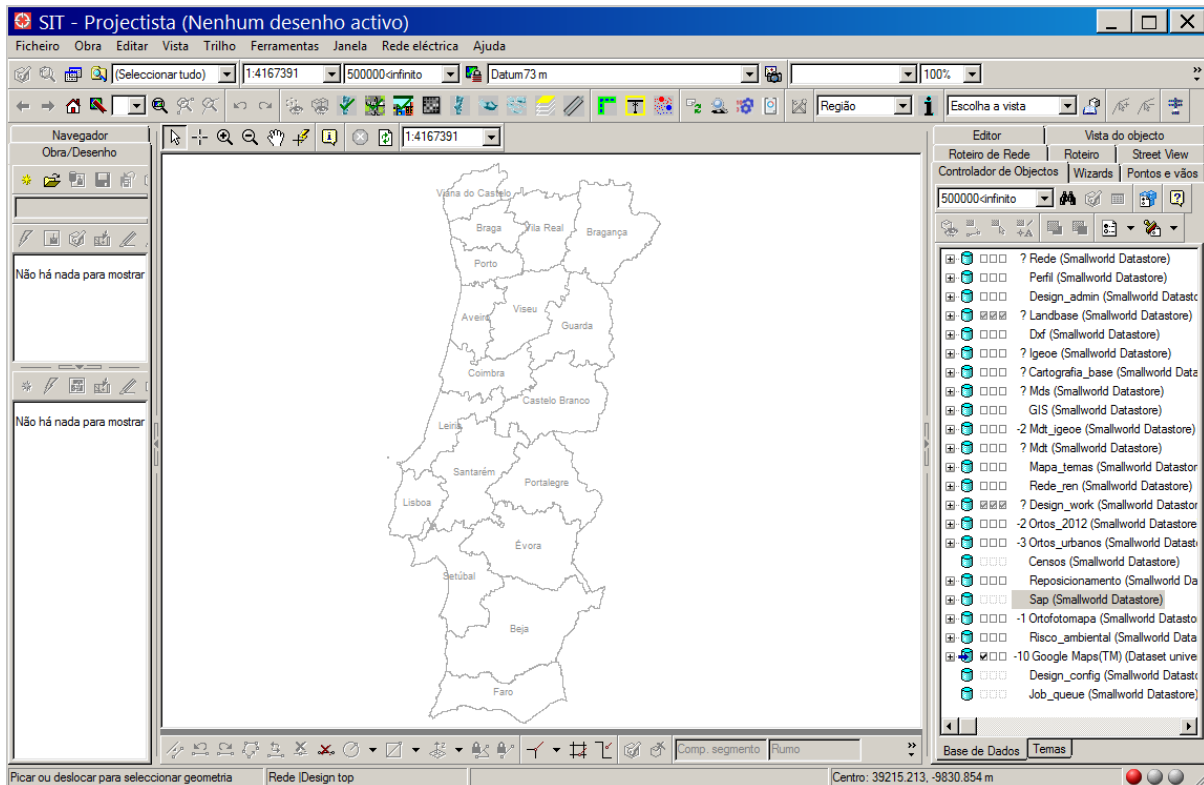


Figura 30 – Janela de desenho SIT

## 4.1.2 DPLAN

Para simular as quedas de tensão na rede BT, provocadas pelos VE, será utilizado um sistema computacional, o DPLAN, que é utilizado pela EDP Distribuição para planeamento e operação de redes de distribuição de energia eléctrica. As simulações realizadas por este programa irão funcionar da seguinte maneira:

1. É necessário carregar a rede do PT, (para tal é feita uma importação do cadastro da rede do PT, extraída do SIT-DM);
2. Activar os filtros pretendidos, neste caso os filtros de tensão e corrente;
3. Inserir nós, a simular as cargas de VE, nas extremidades dos circuitos, pois é o ponto mais débil de tensão;
4. Observar o comportamento da rede, de acordo com a indicação das cores.

O DPLAN permite parametrizar algumas variáveis dos cálculos da análise, na Tabela 27 estão os parâmetros essenciais para a análise pretendida.

Tabela 27 – Parâmetros do DPLAN

Máx desvio de tensão admissível		+ 8,00%
Factor de potência		0,93
	kVA	Factores de ponta
Clientes monofásicos	1,15	0,5
	2,3	0,5
	3,45	0,5
	4,6	0,5
	5,75	0,5
	6,9	0,5
	10,35	0,6
	13,8	0,6
Clientes trifásicos	6,9	0,5
	10,35	0,6
	13,8	0,6
	17,25	0,7
	20,7	0,7
	27,6	0,8
	34,5	0,8
	41,4	0,8

Para ajudar na simulação o programa utiliza 5 cores referenciadas, para que o utilizador possa facilmente identificar, o intervalo de valores da tensão, nas cargas:

- Azul – se a tensão exceder o máximo estipulado para o nó;
- Verde – se a tensão estiver entre 98% do máximo e o máximo estipulado para o nó;
- Verde claro – se a tensão estiver entre 102% do mínimo e 98% do máximo estipulados para o nó;
- Amarelo – se a tensão estiver entre 100% e 102% do mínimo estipulado para o nó;
- Vermelho – se a tensão ficar abaixo do mínimo estipulado para o nó.

Para a análise interessa apenas verificar as cargas a verde, a amarelo e a vermelho. Considera-se que para o normal funcionamento do PT as cargas do circuito estejam na cor verde ou amarela, assim que apareçam cargas a vermelho a simulação termina e é conhecida a capacidade máxima de VE a suportar por essa rede.

Na Figura 31, está ilustrado um exemplo das simulações que serão realizadas. Nessas simulações serão acrescentadas cargas de VE até que uma ou mais cargas cheguem ao vermelho, quando isso ocorrer serão contabilizadas as cargas que foram incrementadas até à última que originou o vermelho, deste modo verificar-se-á a quantidade de cargas que o circuito suporta.

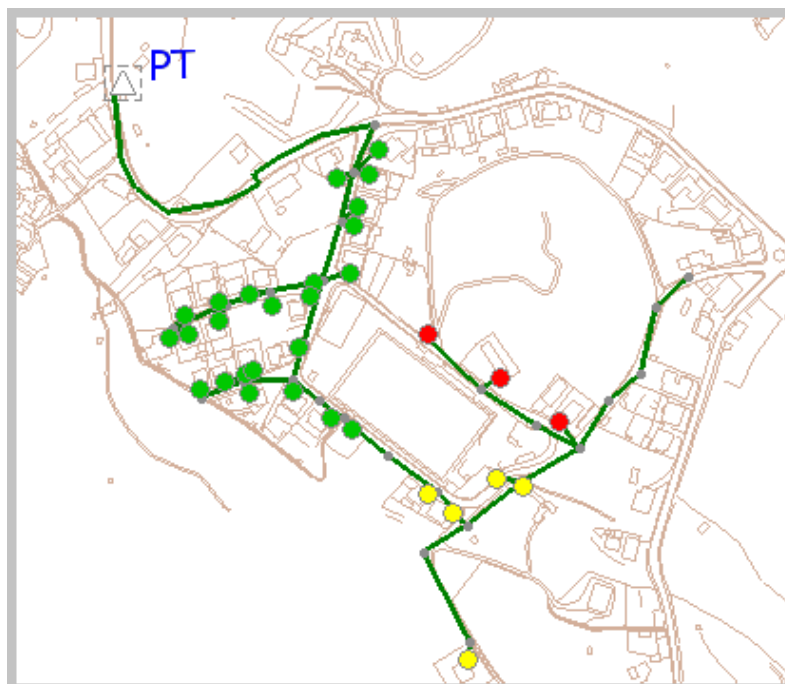


Figura 31 – Representação gráfica das quedas de tensão num circuito

## 4.2 Potência instalada

Para o presente estudo interessa saber a potência instalada dos concelhos em causa, contudo a potência instalada não é dividida por concelhos. Assim como as subestações servem vários concelhos, os PT's também podem alimentar cargas de um, e até dois ou três concelhos diferentes, no entanto a nível de identificação eles são atribuídos ao concelho onde se encontram inseridos geograficamente.

Com recurso ao programa PROGESTE da EDP Distribuição é possível contabilizar os PT e contabilizar a potência associada a cada concelho, conforme o resumo da Tabela 28 e Tabela 29, respectivamente.

Tabela 28 – Quantidade de PT's por concelho

Concelhos	Tipo construtivo				Total
	AS	AI	Cabine alta	Cabine baixa	
Castelo de Paiva	40	27	28	27	<b>122</b>
Cabeceiras de Basto	114	23	31	15	<b>183</b>
Celorico de Basto	132	29	22	22	<b>205</b>
Fafe	89	92	89	80	<b>350</b>
Guimarães	117	201	233	294	<b>845</b>
Póvoa de Lanhoso	55	53	43	26	<b>177</b>
Vieira do Minho	81	32	17	11	<b>141</b>
Vila Nova de Famalicão	40	99	231	271	<b>641</b>
Vizela	5	36	27	34	<b>102</b>
Amarante	120	56	123	82	<b>381</b>
Baião	108	16	30	24	<b>178</b>
Felgueiras	38	64	113	109	<b>324</b>
Lousada	18	49	77	115	<b>259</b>
Marco de Canaveses	108	66	91	81	<b>346</b>
Paços de Ferreira	9	35	92	145	<b>281</b>
Paredes	16	35	138	170	<b>359</b>
Penafiel	81	80	105	122	<b>388</b>
Mondim de Basto	56	11	7	14	<b>88</b>
Cinfães	84	26	38	15	<b>163</b>
Resende	64	6	14	8	<b>92</b>
<b>Total</b>	<b>1375</b>	<b>1036</b>	<b>1549</b>	<b>1665</b>	<b>5625</b>
<b>Representação (tipo construtivo)</b>	<b>24,44%</b>	<b>18,42%</b>	<b>27,54%</b>	<b>29,60%</b>	

Tabela 29 – Potência instalada

<b>Potência instalada (kVA)</b>					
<b>Tipo construtivo dos PT's</b>	<b>AS</b>	<b>AI</b>	<b>Cabine Alta</b>	<b>Cabine Baixa</b>	<b>Total</b>
Castelo de Paiva	3 350	4 860	5 260	10 630	<b>24 100</b>
Cabeceiras de Basto	9 275	3 950	5 478	7 400	<b>26 103</b>
Celorico de Basto	11 500	5 000	3 745	9 730	<b>29 975</b>
Fafe	8 025	17 060	24 841	38 785	<b>88 711</b>
Guimarães	11 150	40 080	68 195	160 870	<b>280 295</b>
Póvoa de Lanhoso	5 350	9 760	8 603	11 405	<b>35 118</b>
Vieira do Minho	7 590	5 840	3 493	6 320	<b>23 243</b>
Vila Nova de Famalicão	3 700	18 180	60 075	117 125	<b>199 080</b>
Vizela	500	7 200	9 310	16 425	<b>33 435</b>
Amarante	11 200	10 040	21 878	30 680	<b>73 798</b>
Baião	10 050	2 740	5 190	7 660	<b>25 640</b>
Felgueiras	3 600	12 490	28 130	43 830	<b>88 050</b>
Lousada	1 750	9 460	20 895	40 730	<b>72 835</b>
Marco de Canaveses	10 000	12 540	22 550	38 510	<b>83 600</b>
Paços de Ferreira	900	6 860	28 865	64 750	<b>101 375</b>
Paredes	1 450	6 500	36 740	65 520	<b>110 210</b>
Penafiel	7 800	15 680	26 615	49 565	<b>99 660</b>
Mondim de Basto	4 650	1 760	1 425	4 650	<b>12 485</b>
Cinfães	7 675	5 640	5 290	5 375	<b>23 980</b>
Resende	5 300	1 320	2 330	3 360	<b>12 310</b>
<b>Total (kVA)</b>	<b>124 815</b>	<b>196 960</b>	<b>388 908</b>	<b>733 320</b>	<b>1 444 003</b>

Tendo em conta que o consumo de energia varia ao longo do dia, e que o carregamento dos VE poderá afectar o normal funcionamento da rede, se não forem observados os horários de carregamento, é então essencial verificar o impacto que poderá ocorrer na potência instalada: quer para o caso em que não existe um controlo no horário de carregamento (horário fora do vazio); quer para o caso de existir um controlo, através do incentivo à tarifa mais baixa, (horário de vazio).

### 4.2.1 Potência disponível durante o ‘horário fora do vazio’

O horário fora do vazio, conforme apresentado na Figura 21, corresponde ao período horário das 8h até às 22h. É neste horário que se verifica o maior consumo de energia durante as 24h do dia, e no qual se verifica a potência de ponta, que ocorre por volta das 20h, conforme mostra o diagrama de cargas da Figura 29. O registo da potência de ponta, é feito nas subestações e PT's e não propriamente por concelho, contudo na Tabela 30 estão apresentadas as potências de ponta por concelho, que correspondem à soma das potências registadas nos contadores dos PT's de cada município. Os valores da Tabela 30 foram obtidos com recurso ao programa PROGEST.

Tabela 30 – Potência de ponta

Potência ponta (kVA)					
Tipo construtivo dos PT's	AS	AI	Cabine Alta	Cabine Baixa	Total
Castelo de Paiva	1 584	2 257	2 852	3 362	10 055
Cabeceiras de Basto	3 738	1 288	3 431	2 511	10 968
Celorico de Basto	5 408	2 111	2 128	2 958	12 605
Fafe	3 857	7 893	13 613	14 659	40 022
Guimarães	7 365	21 345	41 266	45 420	115 396
Póvoa de Lanhoso	3 066	3 946	5 503	3 781	16 296
Vieira do Minho	3 556	2 111	1 475	1 996	9 138
Vila Nova de Famalicão	2 169	8 512	36 330	41 533	88 544
Vizela	312	4 857	6 636	6 226	18 031
Amarante	6 881	4 404	16 244	13 299	40 828
Baião	5 154	1 320	3 440	2 806	12 720
Felgueiras	2 584	6 581	19 871	20 359	49 395
Lousada	1 065	5 011	13 501	15 939	35 516
Marco de Canaveses	6 464	6 508	14 741	12 944	40 657
Paços de Ferreira	740	4 239	19 521	22 345	46 845
Paredes	896	3 701	24 076	25 066	53 739
Penafiel	5 291	9 351	17 740	19 533	51 915
Mondim de Basto	2 406	507	825	1 924	5 662
Cinfães	4 335	2 759	3 387	2 236	12 717
Resende	3 171	544	1 381	1 825	6 921
<b>Total (kVA)</b>	<b>70 042</b>	<b>99 245</b>	<b>247 961</b>	<b>260 722</b>	<b>677 970</b>

A Tabela 31, apresenta os valores da potência disponível para carregamento de VE durante o horário de vazio. Os valores da tabela foram obtidos através dos valores da potência instalada, da Tabela 29, subtraindo os respectivos valores das potências de ponta da Tabela 30.

Tabela 31 – Potência disponível no horário fora do vazio

Potência disponível no horário fora do vazio										
Tipo construtivo dos PT's	AS		AI		Cabine alta		Cabine baixa		Total	
	kVA	%	kVA	%	kVA	%	kVA	%	kVA	%
Castelo de Paiva	1 766	53%	2 603	54%	2 408	46%	7 268	68%	14 045	58%
Cabeceiras de Basto	5 537	60%	2 662	67%	2 047	37%	4 889	66%	15 135	58%
Celorico de Basto	6 092	53%	2 889	58%	1 617	43%	6 772	70%	17 370	58%
Fafe	4 168	52%	9 167	54%	11 228	45%	24 126	62%	48 689	55%
Guimarães	3 785	34%	18 735	47%	26 929	39%	115 450	72%	164 899	59%
Póvoa de Lanhoso	2 284	43%	5 814	60%	3 100	36%	7 624	67%	18 822	54%
Vieira do Minho	4 034	53%	3 729	64%	2 018	58%	4 324	68%	14 105	61%
Vila Nova de Famalicão	1 531	41%	9 668	53%	23 745	40%	75 592	65%	110 536	56%
Vizela	188	38%	2 343	33%	2 674	29%	10 199	62%	15 404	46%
Amarante	4 319	39%	5 636	56%	5 634	26%	17 381	57%	32 970	45%
Baião	4 896	49%	1 420	52%	1 750	34%	4 854	63%	12 920	50%
Felgueiras	1 016	28%	5 909	47%	8 259	29%	23 471	54%	38 655	44%
Lousada	685	39%	4 449	47%	7 394	35%	24 791	61%	37 319	51%
Marco de Canaveses	3 536	35%	6 032	48%	7 809	35%	25 566	66%	42 943	51%
Paços de Ferreira	160	18%	2 621	38%	9 344	32%	42 405	65%	54 530	54%
Paredes	554	38%	2 799	43%	12 664	34%	40 454	62%	56 471	51%
Penafiel	2 509	32%	6 329	40%	8 875	33%	30 032	61%	47 745	48%
Mondim de Basto	2 244	48%	1 253	71%	600	42%	2 726	59%	6 823	55%
Cinfães	3 340	44%	2 881	51%	1 903	36%	3 139	58%	11 263	47%
Resende	2 129	40%	776	59%	949	41%	1 535	46%	5 389	44%
Potência disponível (kVA)	54 773	44%	97 715	50%	140 947	36%	472 598	64%	766 033	53%
Potência instalada (kVA)	124 815		196 960		388 908		733 320		1 444 003	

#### 4.2.2 Potência disponível durante o ‘horário de vazio’

Como ilustra a Figura 21, o horário de vazio vai das 22h até às 8h do dia seguinte, no entanto e tendo em atenção que o tempo máximo previsto para carregamento é de 7h, conforme modelizado na Tabela 24, apenas serão contabilizadas as cargas mais baixas do período de vazio. Com auxílio da tabela do anexo E, as 7 horas mínimas situam-se no período horário das 0h até às 7h, período em que o consumo de energia é mais baixo.

De entre o período das 7h destaca-se as cargas das 0h e 7h, pois são as mais altas desse período, conforme ilustra a Figura 32, em que o bloco a cinza, representa a potência máxima disponível para carregamento no período de vazio.

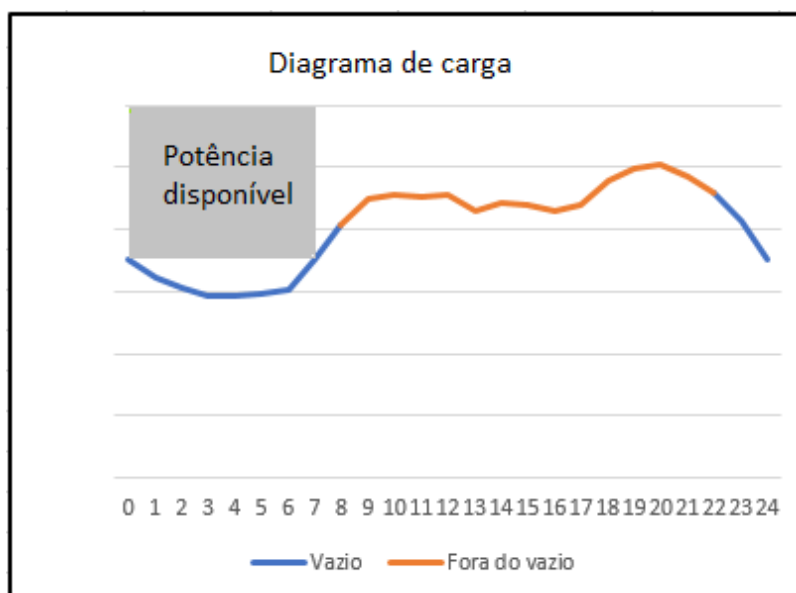


Figura 32 – Potência máxima disponível no horário de vazio

A Tabela 32 apresenta os valores mínimos disponíveis, da potência de vazio, no período das 0h às 7h. Para chegar a estes valores foi utilizado o Beta ( $\beta$ ) da Tabela 26, correspondente às 0h e 7h multiplicado pelo valor da potência de ponta correspondente, da Tabela 30.

Tabela 32 – Potências no horário de vazio

<b>Potência de vazio (kVA)</b>					
<b>Tipo construtivo dos PT's</b>	<b>AS</b>	<b>AI</b>	<b>Cabine Alta</b>	<b>Cabine Baixa</b>	<b>Total</b>
Castelo de Paiva	1 109	1 580	1 996	2 353	<b>7 039</b>
Cabeceiras de Basto	2 617	902	2 402	1 758	<b>7 678</b>
Celorico de Basto	3 786	1 478	1 490	2 071	<b>8 824</b>
Fafe	2 700	5 525	9 529	10 261	<b>28 015</b>
Guimarães	5 156	14 942	28 886	31 794	<b>80 777</b>
Póvoa de Lanhoso	2 146	2 762	3 852	2 647	<b>11 407</b>
Vieira do Minho	2 489	1 478	1 033	1 397	<b>6 397</b>
Vila Nova de Famalicão	1 518	5 958	25 431	29 073	<b>61 981</b>
Vizela	218	3 400	4 645	4 358	<b>12 622</b>
Amarante	4 817	3 083	11 371	9 309	<b>28 580</b>
Baião	3 608	924	2 408	1 964	<b>8 904</b>
Felgueiras	1 809	4 607	13 910	14 251	<b>34 577</b>
Lousada	746	3 508	9 451	11 157	<b>24 861</b>
Marco de Canaveses	4 525	4 556	10 319	9 061	<b>28 460</b>
Paços de Ferreira	518	2 967	13 665	15 642	<b>32 792</b>
Paredes	627	2 591	16 853	17 546	<b>37 617</b>
Penafiel	3 704	6 546	12 418	13 673	<b>36 341</b>
Mondim de Basto	1 684	355	578	1 347	<b>3 963</b>
Cinfães	3 035	1 931	2 371	1 565	<b>8 902</b>
Resende	2 220	381	967	1 278	<b>4 845</b>
<b>Total (kVA)</b>	<b>49 029</b>	<b>69 472</b>	<b>173 573</b>	<b>182 505</b>	<b>474 579</b>

A Tabela 33, apresenta os valores da potência disponível para carregamento de VE durante o horário de vazio, mais concretamente entre as 0h e as 7h da manhã. Os valores da tabela foram obtidos através dos valores da potência instalada, da Tabela 29, subtraindo os respectivos valores das potências de vazio da Tabela 32.

Tabela 33 – Potência disponível para carregamento de VE no horário de vazio

Potência disponível no horário do vazio										
Tipo construtivo dos PT's	AS		AI		Cabine alta		Cabine baixa		Total	
	kVA	%	kVA	%	kVA	%	kVA	%	kVA	%
Castelo de Paiva	2 241	67%	3 280	67%	3 264	62%	8 277	78%	17 062	71%
Cabeceiras de Basto	6 658	72%	3 048	77%	3 076	56%	5 642	76%	18 425	71%
Celorico de Basto	7 714	67%	3 522	70%	2 255	60%	7 659	79%	21 152	71%
Fafe	5 325	66%	11 535	68%	15 312	62%	28 524	74%	60 696	68%
Guimarães	5 995	54%	25 139	63%	39 309	58%	129 076	80%	199 518	71%
Póvoa de Lanhoso	3 204	60%	6 998	72%	4 751	55%	8 758	77%	23 711	68%
Vieira do Minho	5 101	67%	4 362	75%	2 461	70%	4 923	78%	16 846	72%
Vila Nova de Famalicão	2 182	59%	12 222	67%	34 644	58%	88 052	75%	137 099	69%
Vizela	282	56%	3 800	53%	4 665	50%	12 067	73%	20 813	62%
Amarante	6 383	57%	6 957	69%	10 507	48%	21 371	70%	45 218	61%
Baião	6 442	64%	1 816	66%	2 782	54%	5 696	74%	16 736	65%
Felgueiras	1 791	50%	7 883	63%	14 220	51%	29 579	67%	53 474	61%
Lousada	1 005	57%	5 952	63%	11 444	55%	29 573	73%	47 974	66%
Marco de Canaveses	5 475	55%	7 984	64%	12 231	54%	29 449	76%	55 140	66%
Paços de Ferreira	382	42%	3 893	57%	15 200	53%	49 109	76%	68 584	68%
Paredes	823	57%	3 909	60%	19 887	54%	47 974	73%	72 593	66%
Penafiel	4 096	53%	9 134	58%	14 197	53%	35 892	72%	63 320	64%
Mondim de Basto	2 966	64%	1 405	80%	848	59%	3 303	71%	8 522	68%
Cinfães	4 641	60%	3 709	66%	2 919	55%	3 810	71%	15 078	63%
Resende	3 080	58%	939	71%	1 363	59%	2 083	62%	7 465	61%
Potência disponível (kVA)	<b>75 786</b>	<b>61%</b>	<b>127 489</b>	<b>65%</b>	<b>215 335</b>	<b>55%</b>	<b>550 815</b>	<b>75%</b>	<b>969 424</b>	<b>67%</b>
Potência instalada (kVA)	124 815		196 960		388 908		733 320		1 444 003	



# **5 Estudo da previsão do PA de VE**

## **2020-2030: Metodologia desenvolvida**

Para se efectuar o estudo do impacto dos VE na rede BT, é necessário conhecer a quantidade de energia que estes irão requerer à rede. Para tal é necessário saber qual a quantidade de VE que irá existir na área em estudo e qual o seu consumo diário. O facto de existirem muitos factores a influenciarem o crescimento do PA de VE, tais como: a quantidade de veículos já existentes; o preço; a oferta; o crescimento da população; o poder económico; os incentivos à aquisição de VE; a viabilidade quando à autonomia, etc. todos estes factores dificultarão a previsão do PA. Como tal, para este estudo serão apenas consideradas as previsões existente do PNEC e as previsões segundas os dados já existentes.

### **5.1 Estudos de previsão**

Para auxiliar os cálculos, da projecção de VE, é necessário fazer um estudo que indique a quantidade da população que existirá, na região, assim como a previsão da quantidade de veículos ligeiros de passageiros, que serão vendidos e existirão no PA durante os anos 2020-2030.

#### **5.1.1 Previsão do índice populacional até 2030**

Recorrendo à base de dados da PORDATA [36], é possível resumir, na Tabela 34, a informação sobre o índice populacional de cada concelho, no ano de 2001 e 2019, com esta informação, será possível prever o índice populacional da próxima década.

Tabela 34 – Índice populacional da região em estudo

ÍNDICE POPULACIONAL		
Concelho \ Grupo etário	2001	2019
Castelo de Paiva	17 316	15 454
Cabeceiras de Basto	17 778	15 628
Celorico de Basto	20 475	19 040
Fafe	50 736	48 060
Guimarães	159 915	152 309
Póvoa de Lanhoso	22 735	21 499
Vieira do Minho	14 614	11 842
Vila Nova de Famalicão	128 508	131 676
Vizela	22 753	23 897
Amarante	59 513	53 193
Baião	22 210	18 748
Felgueiras	57 813	56 422
Lousada	45 076	46 755
Marco de Canaveses	52 636	51 496
Paços de Ferreira	53 424	56 728
Paredes	86 067	83 853
Penafiel	71 983	69 772
Mondim de Basto	8 518	6 946
Cinfães	22 290	18 244
Resende	12 341	10 137

Para efectuar a previsão da população, da região em estudo, é necessário determinar a taxa de crescimento em cada concelho. Para tal serão utilizadas as seguintes equações, para cada concelho:

$$T_{cres}Pop = \frac{Pop_{2019} - Pop_{2001}}{2019 - 2001} \times Pop_{2001} \quad (18)$$

$$Pop_{(n)} = Pop_{(n-1)} \times (1 + T_{cres}Pop) \quad (19)$$

Pop – População;

n – Ano.

A Tabela 35 resume a previsão do índice populacional da região em estudo, de acordo com os dados da Tabela 34 e as equações 18 e 19 da pág. 68

Tabela 35 -Previsão do crescimento populacional de 2020 até 2030

ÍNDICE POPULACIONAL												
	Taxa cres.	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
CPV	-0,60%	15 362	15 270	15 179	15 088	14 998	14 908	14 819	14 731	14 643	14 555	14 468
CBC	-0,67%	15 523	15 419	15 315	15 212	15 110	15 008	14 908	14 807	14 708	14 609	14 511
CBT	-0,39%	18 966	18 892	18 818	18 745	18 672	18 599	18 527	18 455	18 383	18 312	18 240
FAF	-0,29%	47 919	47 779	47 639	47 499	47 360	47 221	47 083	46 945	46 807	46 670	46 533
GMR	-0,26%	151 907	151 505	151 105	150 706	150 307	149 910	149 514	149 119	148 725	148 332	147 940
PVL	-0,30%	21 434	21 369	21 305	21 240	21 176	21 112	21 049	20 985	20 922	20 858	20 795
VRM	-1,05%	11 717	11 594	11 472	11 351	11 231	11 113	10 996	10 880	10 765	10 652	10 539
VNF	0,14%	131 856	132 037	132 218	132 399	132 580	132 762	132 944	133 126	133 308	133 491	133 673
VIZ	0,28%	23 964	24 031	24 098	24 165	24 233	24 300	24 368	24 436	24 505	24 573	24 642
AMT	-0,59%	52 879	52 567	52 257	51 949	51 642	51 338	51 035	50 734	50 434	50 137	49 841
BAO	-0,87%	18 586	18 425	18 265	18 107	17 950	17 795	17 641	17 488	17 336	17 186	17 037
FLG	-0,13%	56 347	56 271	56 196	56 121	56 046	55 971	55 896	55 821	55 747	55 672	55 598
LSD	0,21%	46 852	46 949	47 046	47 143	47 241	47 339	47 436	47 535	47 633	47 732	47 830
MCN	-0,12%	51 434	51 372	51 310	51 249	51 187	51 125	51 064	51 002	50 941	50 880	50 819
PFR	0,34%	56 923	57 118	57 315	57 512	57 709	57 908	58 106	58 306	58 506	58 707	58 909
PRD	-0,14%	83 733	83 613	83 494	83 375	83 256	83 137	83 018	82 899	82 781	82 662	82 544
PNF	-0,17%	69 653	69 534	69 415	69 297	69 179	69 061	68 943	68 825	68 708	68 590	68 473
MDB	-1,03%	6 875	6 804	6 735	6 665	6 597	6 530	6 463	6 396	6 331	6 266	6 202
CNF	-1,01%	18 060	17 878	17 698	17 519	17 342	17 168	16 994	16 823	16 653	16 486	16 319
RSD	-0,99%	10 036	9 937	9 838	9 741	9 644	9 548	9 454	9 360	9 267	9 175	9 084
<b>Total</b>		<b>910 025</b>	<b>908 364</b>	<b>906 717</b>	<b>905 082</b>	<b>903 461</b>	<b>901 852</b>	<b>900 256</b>	<b>898 673</b>	<b>897 103</b>	<b>895 545</b>	<b>894 000</b>

A Tabela 36 [37] reúne a informação sobre a quantidade populacional residente em Portugal, segundo dados do Instituto Nacional de Estatística (INE).

Tabela 36 – População residente em Portugal 2012 -2019

	Habitantes residentes em Portugal
2012	10 487 289
2013	10 427 301
2014	10 374 822
2015	10 341 330
2016	10 309 573
2017	10 291 027
2018	10 276 617
2019	10 295 909

Através da informação da Tabela 36 e com a aplicação das seguintes equações é possível fazer uma previsão da população residente para a próxima década. Esta informação será útil para encontrar o rácio do número de VE por habitante. A Tabela 37, apresenta essas previsões.

$$T_{cres} Pop = \frac{\sum_{2013}^{2019} \frac{Pop_{(n)}}{Pop_{(n-1)}}}{7} \quad (20)$$

$$Pop_{(n)} = Pop_{(n-1)} \times (1 + T_{cres} Pop) \quad (21)$$

Tabela 37 – Previsão da população residente em Portugal até 2030

	Habitantes residentes em Portugal	Taxa de crescimento
2012	10 487 289	
2013	10 427 301	99,43%
2014	10 374 822	99,50%
2015	10 341 330	99,68%
2016	10 309 573	99,69%
2017	10 291 027	99,82%
2018	10 276 617	99,86%
2019	10 295 909	100,19%
Taxa média de crescimento		<b>99,74%</b>
2020	10 269 140	99,74%
2021	10 242 440	99,74%
2022	10 215 810	99,74%
2023	10 189 248	99,74%
2024	10 162 756	99,74%
2025	10 136 333	99,74%
2026	10 109 979	99,74%
2027	10 083 693	99,74%
2028	10 057 475	99,74%
2029	10 031 326	99,74%
2030	10 005 244	99,74%

### 5.1.2 Previsão de vendas de veículos ligeiros de passageiros

Com recurso à informação do gráfico da Figura 11, é possível criar uma tabela com esses dados e projectá-los para os próximos anos.

Para chegar aos valores projectados, conforme a Tabela 38, é necessário conhecer a taxa média de crescimento dos últimos anos, para tal utilizou-se a seguinte equação:

$$T_{cres}Vendas = \frac{\sum_{n=2011}^{2017} \frac{Vendas(n)}{Vendas(n-1)}}{7} \quad (22)$$

Seguidamente para se obter a quantidade de veículos vendidos a cada ano utilizou-se a seguinte equação:

$$Vendas_n = Vendas_{n-1} \times T_{cres}Vendas \quad (23)$$

Tabela 38 – Previsão de vendas veículos ligeiros passageiros

Projeção das vendas até 2030			
	Ano	Nº automóveis ligeiros	Taxa de crescimento
Valores reais	2010	223 464	
	2011	153 433	68,66%
	2012	95 309	62,12%
	2013	105 898	111,11%
	2014	142 826	134,87%
	2015	178 496	124,97%
	2016	207 330	116,15%
	2017	222 134	107,14%
Taxa média de crescimento			<b>103,58%</b>
Valores projectados	2018	230 077	103,58%
	2019	238 303	103,58%
	2020	246 824	103,58%
	2021	255 649	103,58%
	2022	264 790	103,58%
	2023	274 258	103,58%
	2024	284 064	103,58%
	2025	294 221	103,58%
	2026	304 741	103,58%
	2027	315 637	103,58%
	2028	326 923	103,58%
	2029	338 612	103,58%
	2030	350 719	103,58%

### 5.1.3 Previsão do PA de veículos ligeiros de passageiros

Para chegar à previsão do PA da próxima década, é utilizado o mesmo raciocínio de cálculo das vendas, ou seja, é calculada a taxa média de crescimento dos últimos anos e depois é acrescentada a cada ano. Para chegar aos dados da Tabela 39, foram utilizados os dados do gráfico da Figura 10 e as seguintes equações:

$$T_{cres}PA = \frac{\sum_{2011}^{2018} PA(n)}{8} \quad (24)$$

$$PA_{(n)} = PA_{(n-1)} \times (1 + T_{cres}PA) \quad (25)$$

Tabela 39 - Previsão do PA veículos ligeiros passageiros

Projecção do Parque automóvel até 2030			
	Ano	Nº automóveis ligeiros	Taxa de crescimento
Valores reais	2010	4 692 000	
	2011	4 712 354	100,43%
	2012	4 258 746	90,37%
	2013	4 327 478	101,61%
	2014	4 699 645	108,60%
	2015	4 722 963	100,50%
	2016	4 850 229	102,69%
	2017	5 059 472	104,31%
	2018	5 282 970	104,42%
Taxa média de crescimento			<b>101,62%</b>
Valores projectados	2019	5 368 449	101,62%
	2020	5 455 312	101,62%
	2021	5 543 580	101,62%
	2022	5 633 276	101,62%
	2023	5 724 424	101,62%
	2024	5 817 046	101,62%
	2025	5 911 167	101,62%
	2026	6 006 811	101,62%
	2027	6 104 002	101,62%
	2028	6 202 766	101,62%
	2029	6 303 128	101,62%
	2030	6 405 114	101,62%

## 5.2 Projecção do PA de VE 2020-2030

Em Portugal, o mercado dos VE é recente, com cerca de dez anos, e as informações existentes são escassas e pouco concordantes, de acordo com o que está exposto no capítulo 2.1.4, verificar-se que a informação existente está um pouco dispersa, há alguns artigos de jornais e alguns sites, a lançarem valores, que por vezes se contradizem, contudo é possível reunir um conjunto de números relativamente credíveis, de modo a saber a quantidade de VE nos últimos cinco anos, conforme compilação da Tabela 40.

Tabela 40 – Compilação de dados do capítulo 2.1.4

Ano	VE vendidos	Quantidade VE	Taxa de crescimento PA
até 2015	1900	1900	
2015	1305	3205	168,68%
2016	3870	5175	161,47%
2017	4057	7927	153,18%
2018	7943	12000	151,38%
2019	6985	14928	124,40%

Ainda do capítulo 2.1.4 pode-se retirar duas projecções feitas pelo PENC. Da Figura 17, retira-se a informação que, **em 2030 os VE irão representar 20% do PA em Portugal** e da Figura 18 retira-se a informação que, **em 2030 os VE irão representar das 1/3 vendas de veículos de passageiros.**

Conhecendo já as previsões das vendas e do PA até 2030 (Tabela 38 e Tabela 39), é possível determinar quanto é que valerá (em número de VE), **os 20% do PA em 2030 e 1/3 das vendas em 2030**, segundo as previsões do PNEC. Esses valores estão presentes nas Tabela 41 e Tabela 42 e foram obtidos da seguinte forma: verificou-se a taxa que os VE representam no ano de 2018, através de valores conhecidos, 12000 VE no PA e 4073 VE vendidos. Seguidamente subtraiu-se a taxa de 2030 à taxa de 2018 para saber qual a taxa correspondente aos anos intermédios, conforme a seguinte equação:

$$T_n = \frac{T_{2030} - T_{2018}}{12} + T_{(n-1)} \quad (26)$$

T – Taxa representativa dos VE

n – Ano

Tabela 41 – Projecção do PA de VE segundo previsão do PNEC

Projecção do parque automóvel de VE segundo o PENC 2030				
	Ano	Parque automóvel	VE	Taxa dos VE no parque automóvel
Valores projectados	2018	5 282 970	<b>12000</b>	0,23%
	2019	5 368 449	100 652	1,87%
	2020	5 455 312	192 170	3,52%
	2021	5 543 580	286 623	5,17%
	2022	5 633 276	384 082	6,82%
	2023	5 724 424	484 620	8,47%
	2024	5 817 046	588 311	10,11%
	2025	5 911 167	695 231	11,76%
	2026	6 006 811	805 456	13,41%
	2027	6 104 002	919 067	15,06%
	2028	6 202 766	1 036 143	16,70%
	2029	6 303 128	1 156 767	18,35%
	2030	6 405 114	<b>1 281 023</b>	<b>20,00%</b>

Tabela 42 – Projecção das vendas de VE segundo previsão do PNEC

Projecção das vendas de VE segundo o PENC 2030				
	Ano	Venda automóveis	Venda de VE	Taxa VE na venda de automóveis
Valores projectados	2018	230 077	<b>4 073</b>	1,77%
	2019	238 303	10 486	4,40%
	2020	246 824	17 352	7,03%
	2021	255 649	24 696	9,66%
	2022	264 790	32 543	12,29%
	2023	274 258	40 920	14,92%
	2024	284 064	49 854	17,55%
	2025	294 221	59 374	20,18%
	2026	304 741	69 512	22,81%
	2027	315 637	80 298	25,44%
	2028	326 923	91 767	28,07%
	2029	338 612	103 954	30,70%
	2030	350 719	116 895	<b>33,33%</b>
		<b>Vendidos até 2018</b>		7927
	<b>Total VE vendidos</b>		<b>709 651</b>	

Desta forma é já possível ter duas previsões, muito embora elas pareçam contraditórias, tendo em conta que provem do mesmo estudo, senão vejamos: os **20% do PA correspondem a 1 281 023 VE** e a soma de todas as vendas até 2030 deveria corresponder aproximadamente ao valor do PA, no entanto ficam muito abaixo, em apenas **709 651 VE**.

É ainda possível fazer uma outra projecção, através dos VE já existentes até à data. Utilizando os dados da Tabela 40 é possível traçar um gráfico, conforme a Figura 33 para melhor compreender o comportamento das vendas e do PA português de VE. Pelo gráfico é possível verificar que as vendas têm aumentado ano após ano, à excepção do ano 2019, e consequentemente o PA de VE também tem um comportamento crescente.

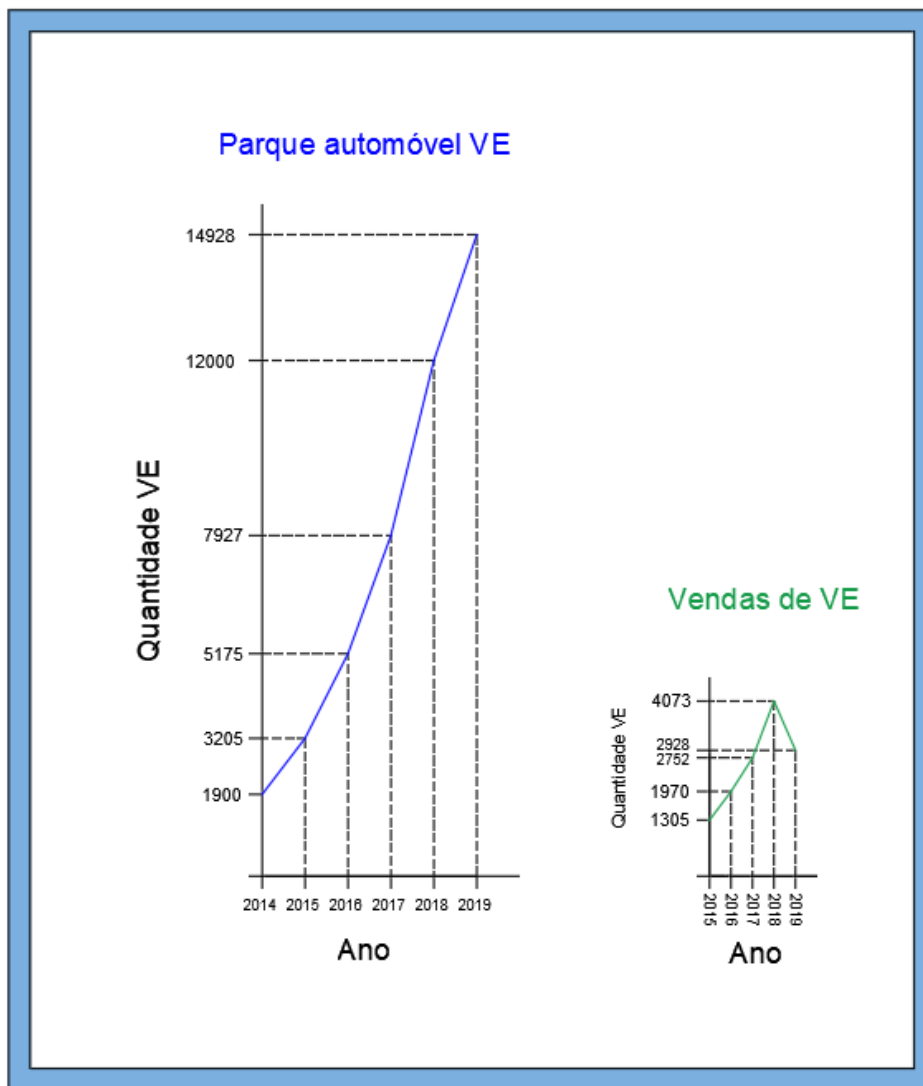


Figura 33 – Parque automóvel de VE e vendas anuais

Pegando então nos dados da Tabela 40, é possível fazer uma projecção dos valores até 2030 conforme a Tabela 43. Os valores do PA a cada ano correspondem à seguinte equação:

$$PA_n = PA_{(n-1)} + Vendas_n \quad (27)$$

Em que, **n** representa o ano.

Por outro lado, os valores das vendas de cada ano correspondem à seguinte equação:

$$Vendas_n = Vendas_{(n-1)} \times T_{cres}Vendas \quad (28)$$

A taxa de crescimento das vendas corresponde à taxa média de vendas dos últimos anos, mas, dado que o ano 2019 se apresenta como um ano atípico e como as perspectivas de vendas para o ano de 2020 já estão a superar as de 2019, então apenas estão consideradas, para a média, as taxas entre 2016 e 2018, conforme a seguinte equação:

$$T_{cres}Vendas = \frac{\sum_{n=2016}^{2018} \frac{Vendas(n)}{Vendas(n-1)}}{3} \quad (29)$$

Tabela 43 – Projecção do PA de VE até 2030

Projecção parque automóvel eléctrico até 2030					
	Ano	VE vendidos	Taxa de crescimento de vendas	Quantidade VE	Taxa de crescimento PA
Valores reais	até 2015			1900	
	2015	1305		3205	168,68%
	2016	1970	150,96%	5175	161,47%
	2017	2752	139,70%	7927	153,18%
	2018	4073	148,00%	12000	151,38%
	2019	2928	71,89%	14928	124,40%
	Taxa média de crescimento		<b>146,22%</b>		
Valores projectados	2020	4 281	146,22%	19 209	128,68%
	2021	6 260	146,22%	25 469	132,59%
	2022	9 154	146,22%	34 623	135,94%
	2023	13 384	146,22%	48 007	138,66%
	2024	19 571	146,22%	67 578	140,77%
	2025	28 616	146,22%	96 194	142,35%
	2026	41 843	146,22%	138 037	143,50%
	2027	61 182	146,22%	199 219	144,32%
	2028	89 461	146,22%	288 680	144,91%
	2029	130 809	146,22%	419 489	145,31%
	2030	191 269	146,22%	610 759	145,60%

Na Tabela 44 estão agrupados os valores das três projecções do PA de VE que servirão de base para o presente estudo, a tabela reúne a informação da Tabela 41, Tabela 42 e Tabela 43. É possível verificar que as projecções diferem bastante umas das outras, principalmente a previsão do PNEC, em relação aos 20% do PA em 2030, contudo esta diferença de valores permitirá criar diferentes cenários de análise, pois como foi dito anteriormente o futuro dos VE em Portugal depende de vários factores e assim poderá haver um estudo para um caso mais optimista, outro mediano e outro mais pessimista.

Tabela 44 – Três projecções do PA de VE para os anos 2020 a 2030

<b>TRÊS projecções do PA de VE entre 2020 e 2030</b>				
	<b>Projecção a partir dos dados existentes</b>	<b>Projecções segundo PNEC</b>		
		<b>20% do PA (2030)</b>	<b>1/3 das Vendas (2030)</b>	
				<b>Vendas</b>
até 2020				22 486
2020	<b>19 209</b>	<b>192 170</b>	<b>39 838</b>	17 352
2021	<b>25 469</b>	<b>286 623</b>	<b>64 534</b>	24 696
2022	<b>34 623</b>	<b>384 082</b>	<b>97 078</b>	32 543
2023	<b>48 007</b>	<b>484 620</b>	<b>137 997</b>	40 920
2024	<b>67 578</b>	<b>588 311</b>	<b>187 851</b>	49 854
2025	<b>96 194</b>	<b>695 231</b>	<b>247 225</b>	59 374
2026	<b>138 037</b>	<b>805 456</b>	<b>316 737</b>	69 512
2027	<b>199 219</b>	<b>919 067</b>	<b>397 035</b>	80 298
2028	<b>288 680</b>	<b>1 036 143</b>	<b>488 802</b>	91 767
2029	<b>419 489</b>	<b>1 156 767</b>	<b>592 756</b>	103 954
2030	<b>610 759</b>	<b>1 281 023</b>	<b>709 651</b>	116 895

O gráfico da Figura 34, ilustra as diferentes previsões de crescimento a serem utilizadas no presente estudo.

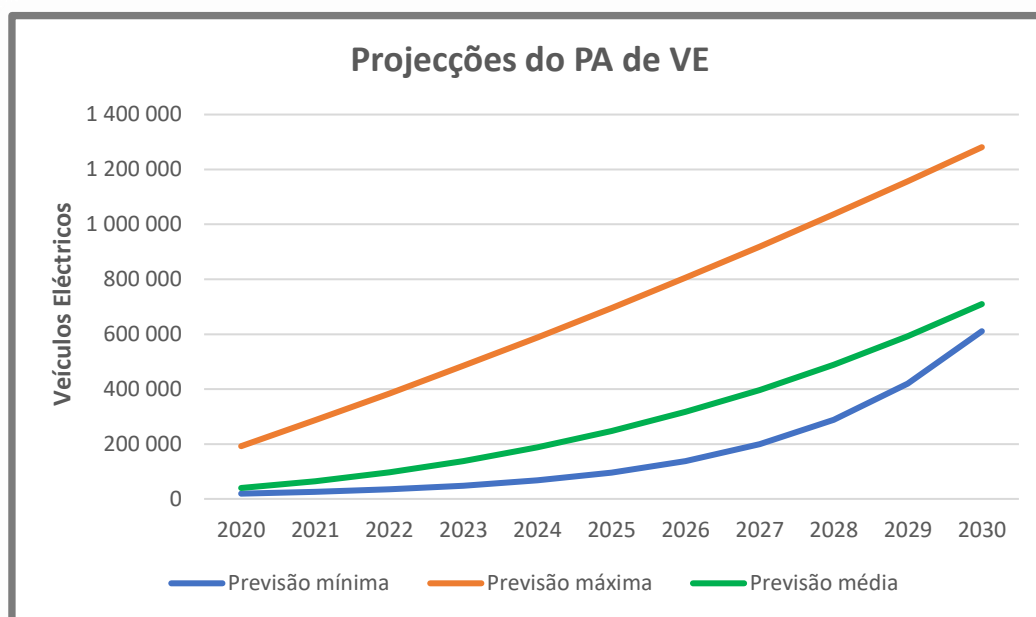


Figura 34 – Gráfico com as três projecções de VE do PA

### 5.3 Casos de estudo: Projeções

A análise de estudo para o impacto na potência instalada, está dividida em três projecções perante as previsões do aumento de VE em Portugal. Cada projecção reflete a quantidade de VE a existir em cada concelho de acordo com a população desse concelho. As principais características, a ter em conta para o caso de estudo do impacto dos VE sobre a potência instalada, são as seguintes:

- Crescimento da população portuguesa, (para determinar o número de VE per capita), Tabela 36;
- As três projecções definidas na Tabela 44
- Crescimento da população em cada concelho da área em estudo, Tabela 35.

Em cada projecção, está apresentada a quantidade prevista de VE por cada concelho durante os próximos dez anos.

### 5.3.1 Projecção mínima

A Tabela 45 apresenta a quantidade de VE que existirá em cada concelho, tendo em conta a projecção mínima obtida. Os valores foram obtidos pelas seguintes equações:

$$Qt_{min}^a(i, j) = \frac{Projecção_{min}(j)}{Pop_{portugal}(j)} \times Pop_{(i,j)} \text{ (Tabela 35)} \quad (30)$$

$Qt_{min}^a$  – Quantidade de VE mínima, por concelho e por ano;

i - Concelho

j – Ano (entre 2020 e 2030).

Tabela 45 – Projecção da quantidade mínima de VE por concelho

Quantidade de VE por concelho, para a PROJECCÃO MÍNIMA											
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Pop. em Portugal	10 269 140	10 242 440	10 215 810	10 189 248	10 162 756	10 136 333	10 109 979	10 083 693	10 057 475	10 031 326	10 005 244
Projecção mínima (VE)	19 209	25 469	34 623	48 007	67 578	96 194	138 037	199 219	288 680	419 489	610 759
CPV	29	38	51	71	100	141	202	291	420	609	883
CBC	29	38	52	72	100	142	204	293	422	611	886
CBT	35	47	64	88	124	177	253	365	528	766	1 113
FAF	90	119	161	224	315	448	643	927	1 344	1 952	2 841
GMR	284	377	512	710	999	1 423	2 041	2 946	4 269	6 203	9 031
PVL	40	53	72	100	141	200	287	415	601	872	1 269
VRM	22	29	39	53	75	105	150	215	309	445	643
VNF	247	328	448	624	882	1 260	1 815	2 630	3 826	5 582	8 160
VIZ	45	60	82	114	161	231	333	483	703	1 028	1 504
AMT	99	131	177	245	343	487	697	1 002	1 448	2 097	3 042
BAO	35	46	62	85	119	169	241	346	498	719	1 040
FLG	105	140	190	264	373	531	763	1 103	1 600	2 328	3 394
LSD	88	117	159	222	314	449	648	939	1 367	1 996	2 920
MCN	96	128	174	241	340	485	697	1 008	1 462	2 128	3 102
PFR	106	142	194	271	384	550	793	1 152	1 679	2 455	3 596
PRD	157	208	283	393	554	789	1 133	1 638	2 376	3 457	5 039
PNF	130	173	235	326	460	655	941	1 360	1 972	2 868	4 180
MDB	13	17	23	31	44	62	88	126	182	262	379
CNF	34	44	60	83	115	163	232	332	478	689	996
RSD	19	25	33	46	64	91	129	185	266	384	555
<b>Total</b>	<b>1 702</b>	<b>2 259</b>	<b>3 073</b>	<b>4 264</b>	<b>6 008</b>	<b>8 559</b>	<b>12 292</b>	<b>17 755</b>	<b>25 750</b>	<b>37 450</b>	<b>54 573</b>

### 5.3.2 Projecção média

A Tabela 46 apresenta a quantidade de VE que existirá em cada concelho, tendo em conta a projecção média obtida. Os valores foram obtidos pelas seguintes equações:

$$Qt^a_{méd}(i,j) = \frac{Projecção_{méd}(j)}{Pop_{Portugal}(j)} \times Pop_{(i,j)} \text{ (Tabela 35)} \quad (31)$$

$Qt^a_{méd}$  – Quantidade de VE média, por concelho e por ano;

i – Concelho;

j – Ano (entre 2020 e 2030).

Tabela 46 – Projecção da quantidade média de VE por concelho

Quantidade de VE por concelho, para a PROJECCÃO MÉDIA											
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Pop. em Portugal	10 269 140	10 242 440	10 215 810	10 189 248	10 162 756	10 136 333	10 109 979	10 083 693	10 057 475	10 031 326	10 005 244
Projecção média (VE)	39 838	64 534	97 078	137 997	187 851	247 225	316 737	397 035	488 802	592 756	709 651
CPV	60	96	144	204	277	364	464	580	712	860	1 026
CBC	60	97	146	206	279	366	467	583	715	863	1 029
CBT	74	119	179	254	345	454	580	727	893	1 082	1 294
FAF	186	301	453	643	875	1 152	1 475	1 848	2 275	2 758	3 301
GMR	589	955	1 436	2 041	2 778	3 656	4 684	5 871	7 228	8 765	10 493
PVL	83	135	202	288	391	515	659	826	1 017	1 233	1 475
VRM	45	73	109	154	208	271	344	428	523	629	748
VNF	512	832	1 256	1 793	2 451	3 238	4 165	5 242	6 479	7 888	9 481
VIZ	93	151	229	327	448	593	763	962	1 191	1 452	1 748
AMT	205	331	497	704	955	1 252	1 599	1 998	2 451	2 963	3 535
BAO	72	116	174	245	332	434	553	689	843	1 016	1 208
FLG	219	355	534	760	1 036	1 365	1 751	2 198	2 709	3 290	3 943
LSD	182	296	447	638	873	1 155	1 486	1 872	2 315	2 820	3 393
MCN	200	324	488	694	946	1 247	1 600	2 008	2 476	3 007	3 604
PFR	221	360	545	779	1 067	1 412	1 820	2 296	2 843	3 469	4 178
PRD	325	527	793	1 129	1 539	2 028	2 601	3 264	4 023	4 885	5 855
PNF	270	438	660	939	1 279	1 684	2 160	2 710	3 339	4 053	4 857
MDB	27	43	64	90	122	159	202	252	308	370	440
CNF	70	113	168	237	321	419	532	662	809	974	1 157
RSD	39	63	93	132	178	233	296	369	450	542	644
<b>Total</b>	<b>3 530</b>	<b>5 723</b>	<b>8 616</b>	<b>12 258</b>	<b>16 700</b>	<b>21 996</b>	<b>28 204</b>	<b>35 384</b>	<b>43 600</b>	<b>52 918</b>	<b>63 410</b>

### 5.3.3 Projecção máxima

A Tabela 47 apresenta a quantidade de VE que existirá em cada concelho, tendo em conta a projecção máxima obtida. Os valores foram obtidos pelas seguintes equações:

$$Qt^a_{m\acute{a}x}(i,j) = \frac{Projec\c{c}\tilde{a}o_{m\acute{a}x}(j)}{Pop_{Portugal}(j)} \times Pop_{(i,j)} \text{ (Tabela 35)} \quad (32)$$

$Qt^a_{m\acute{a}x}$  – Quantidade de VE máxima, por concelho e por ano;

i – Concelho;

j – Ano (entre 2020 e 2030).

Tabela 47 - Projecção da quantidade máxima de VE por concelho

Quantidade de VE por concelho, para a PROJECÇÃO MÁXIMA											
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Pop. em Portugal	10 269 140	10 242 440	10 215 810	10 189 248	10 162 756	10 136 333	10 109 979	10 083 693	10 057 475	10 031 326	10 005 244
Projecção máxima (VE)	192 170	286 623	384 082	484 620	588 311	695 231	805 456	919 067	1 036 143	1 156 767	1 281 023
CPV	287	427	571	718	868	1 023	1 181	1 343	1 509	1 678	1 852
CBC	290	431	576	724	875	1 029	1 188	1 350	1 515	1 685	1 858
CBT	355	529	708	892	1 081	1 276	1 476	1 682	1 894	2 112	2 335
FAF	897	1 337	1 791	2 259	2 742	3 239	3 751	4 279	4 822	5 382	5 958
GMR	2 843	4 240	5 681	7 168	8 701	10 282	11 912	13 591	15 322	17 105	18 942
PVL	401	598	801	1 010	1 226	1 448	1 677	1 913	2 155	2 405	2 663
VRM	219	324	431	540	650	762	876	992	1 109	1 228	1 349
VNF	2 467	3 695	4 971	6 297	7 675	9 106	10 592	12 134	13 734	15 394	17 115
VIZ	448	672	906	1 149	1 403	1 667	1 941	2 227	2 525	2 834	3 155
AMT	990	1 471	1 965	2 471	2 990	3 521	4 066	4 624	5 196	5 782	6 381
BAO	348	516	687	861	1 039	1 221	1 405	1 594	1 786	1 982	2 181
FLG	1 054	1 575	2 113	2 669	3 244	3 839	4 453	5 088	5 743	6 420	7 118
LSD	877	1 314	1 769	2 242	2 735	3 247	3 779	4 332	4 907	5 504	6 124
MCN	963	1 438	1 929	2 437	2 963	3 507	4 068	4 649	5 248	5 867	6 507
PFR	1 065	1 598	2 155	2 735	3 341	3 972	4 629	5 314	6 027	6 770	7 542
PRD	1 567	2 340	3 139	3 965	4 820	5 702	6 614	7 556	8 528	9 532	10 569
PNF	1 303	1 946	2 610	3 296	4 005	4 737	5 493	6 273	7 078	7 910	8 767
MDB	129	190	253	317	382	448	515	583	652	723	794
CNF	338	500	665	833	1 004	1 177	1 354	1 533	1 716	1 901	2 089
RSD	188	278	370	463	558	655	753	853	955	1 058	1 163
<b>Total</b>	<b>17 030</b>	<b>25 420</b>	<b>34 090</b>	<b>43 047</b>	<b>52 300</b>	<b>61 856</b>	<b>71 723</b>	<b>81 909</b>	<b>92 421</b>	<b>103 270</b>	<b>114 463</b>

## 5.4 Caracterização dos cenários de estudo

Para estudar o impacto que os VE representarão na potência instalada da rede BT, são apresentados três cenários possíveis de ocorrer. Os cenários numerados com 1, 2 e 3 correspondem respectivamente às previsões pessimistas, medianas e otimistas. Em cada cenário é apresentada a potência necessária para carregamento dos VE em cada concelho e por cada ano. Para o cálculo da potência necessária de carregamento dos VE, é utilizada a potência contratada de **10.35kVA**, como já foi definido no capítulo 3.2.

## 5.4.1 Cenário 1

O cenário 1 corresponde à análise, (para o período de vazio e para o período fora do vazio), do impacto que a potência mínima necessária, terá na potência instalada disponível. Para verificar esse saldo de potência é necessário conhecer a potência necessária para o carregamento dos VE, a cada ano. A Tabela 48, apresenta essa potência, segundo a projecção mínima de VE. Os valores da tabela foram obtidos da seguinte forma: cada valor de cada célula da tabela, é o resultado da multiplicação da célula correspondente da Tabela 45, com a potência contratada de 10.35kVA.

Tabela 48 – Potência para carregamento dos VE para a projecção mínima

<b>Potência necessária (kVA) para carregamento dos VE (Projecção Mínima)</b>											
	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>	<b>2030</b>
<b>CPV</b>	297	393	532	736	1 032	1 464	2 094	3 012	4 350	6 300	9 141
<b>CBC</b>	301	397	537	742	1 040	1 474	2 107	3 028	4 369	6 323	9 168
<b>CBT</b>	367	486	660	914	1 285	1 827	2 618	3 774	5 461	7 926	11 524
<b>FAF</b>	928	1 230	1 671	2 316	3 259	4 638	6 653	9 599	13 905	20 200	29 400
<b>GMR</b>	2 941	3 899	5 300	7 349	10 345	14 724	21 128	30 492	44 183	64 200	93 469
<b>PVL</b>	415	550	747	1 036	1 457	2 074	2 974	4 291	6 215	9 028	13 139
<b>VRM</b>	227	298	402	554	773	1 092	1 554	2 225	3 198	4 610	6 659
<b>VNF</b>	2 553	3 398	4 638	6 456	9 125	13 040	18 787	27 222	39 603	57 777	84 455
<b>VIZ</b>	464	618	845	1 178	1 668	2 387	3 444	4 997	7 280	10 636	15 569
<b>AMT</b>	1 024	1 353	1 833	2 533	3 554	5 042	7 212	10 374	14 983	21 700	31 490
<b>BAO</b>	360	474	641	883	1 235	1 748	2 493	3 576	5 150	7 438	10 764
<b>FLG</b>	1 091	1 448	1 971	2 737	3 857	5 498	7 899	11 414	16 561	24 096	35 127
<b>LSD</b>	907	1 208	1 650	2 299	3 251	4 650	6 703	9 720	14 151	20 659	30 219
<b>MCN</b>	996	1 322	1 800	2 499	3 523	5 022	7 216	10 429	15 133	22 022	32 107
<b>PFR</b>	1 102	1 470	2 010	2 805	3 972	5 688	8 211	11 922	17 381	25 410	37 219
<b>PRD</b>	1 621	2 152	2 929	4 066	5 730	8 166	11 732	16 951	24 592	35 778	52 152
<b>PNF</b>	1 349	1 790	2 435	3 379	4 761	6 783	9 743	14 073	20 411	29 687	43 262
<b>MDB</b>	133	175	236	325	454	641	913	1 308	1 881	2 712	3 918
<b>CNF</b>	350	460	621	854	1 194	1 686	2 402	3 440	4 947	7 135	10 311
<b>RSD</b>	194	256	345	475	664	938	1 336	1 914	2 753	3 971	5 739
<b>Total</b>	<b>17 619</b>	<b>23 379</b>	<b>31 806</b>	<b>44 136</b>	<b>62 179</b>	<b>88 582</b>	<b>127 219</b>	<b>183 761</b>	<b>266 508</b>	<b>387 606</b>	<b>564 832</b>

## 5.4.2 Cenário 2

O cenário 2 corresponde à análise, (para o período de vazio e para o período fora do vazio), do impacto que a potência média necessária, terá na potência instalada disponível. Para verificar esse saldo de potência é necessário conhecer a potência necessária para o carregamento dos VE, a cada ano. A Tabela 49, apresenta essa potência, segundo a projecção média de VE. Os valores da tabela foram obtidos da seguinte forma: cada valor de cada célula da tabela, é o resultado da multiplicação da célula correspondente da Tabela 46, com a potência contratada de 10.35kVA.

Tabela 49 – Potência para carregamento dos VE para a projecção média

<b>Potência necessária (kVA) para carregamento dos VE (Projecção Média)</b>											
	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>	<b>2030</b>
<b>CPV</b>	617	996	1 493	2 115	2 869	3 763	4 805	6 003	7 366	8 902	10 621
<b>CBC</b>	623	1 005	1 506	2 132	2 891	3 789	4 834	6 034	7 398	8 935	10 653
<b>CBT</b>	762	1 232	1 851	2 628	3 572	4 695	6 008	7 521	9 247	11 199	13 390
<b>FAF</b>	1 924	3 116	4 685	6 658	9 061	11 920	15 267	19 131	23 545	28 543	34 160
<b>GMR</b>	6 099	9 880	14 862	21 125	28 756	37 843	48 481	60 769	74 812	90 718	108 603
<b>PVL</b>	861	1 394	2 095	2 977	4 051	5 330	6 825	8 552	10 524	12 757	15 266
<b>VRM</b>	470	756	1 128	1 591	2 149	2 805	3 565	4 434	5 415	6 514	7 737
<b>VNF</b>	5 294	8 610	13 004	18 559	25 364	33 514	43 108	54 251	67 056	81 641	98 130
<b>VIZ</b>	962	1 567	2 370	3 387	4 636	6 134	7 902	9 958	12 326	15 029	18 089
<b>AMT</b>	2 123	3 428	5 140	7 282	9 880	12 959	16 548	20 675	25 369	30 663	36 588
<b>BAO</b>	746	1 202	1 796	2 538	3 434	4 492	5 720	7 127	8 721	10 511	12 507
<b>FLG</b>	2 262	3 670	5 527	7 867	10 722	14 129	18 125	22 748	28 042	34 048	40 815
<b>LSD</b>	1 881	3 062	4 627	6 608	9 038	11 950	15 382	19 371	23 960	29 192	35 112
<b>MCN</b>	2 065	3 350	5 047	7 184	9 793	12 906	16 558	20 785	25 624	31 117	37 306
<b>PFR</b>	2 286	3 725	5 637	8 062	11 040	14 618	18 841	23 761	29 430	35 905	43 245
<b>PRD</b>	3 362	5 453	8 212	11 687	15 928	20 987	26 919	33 783	41 640	50 555	60 596
<b>PNF</b>	2 797	4 534	6 827	9 714	13 235	17 433	22 355	28 048	34 561	41 949	50 267
<b>MDB</b>	276	444	662	934	1 262	1 648	2 096	2 607	3 184	3 832	4 553
<b>CNF</b>	725	1 166	1 741	2 456	3 318	4 334	5 511	6 856	8 377	10 082	11 980
<b>RSD</b>	403	648	968	1 365	1 845	2 410	3 065	3 814	4 661	5 611	6 669
<b>Total</b>	<b>36 539</b>	<b>59 236</b>	<b>89 178</b>	<b>126 869</b>	<b>172 843</b>	<b>227 660</b>	<b>291 914</b>	<b>366 228</b>	<b>451 260</b>	<b>547 704</b>	<b>656 289</b>

### 5.4.3 Cenário 3

O cenário 3 corresponde à análise, (para o período de vazio e para o período fora do vazio), do impacto que a potência máxima necessária, terá na potência instalada disponível. Para verificar esse saldo de potência é necessário conhecer a potência necessária para o carregamento dos VE, a cada ano. A Tabela 50, apresenta essa potência, segundo a projecção máxima de VE. Os valores da tabela foram obtidos da seguinte forma: cada valor de cada célula da tabela, é o resultado da multiplicação da célula correspondente da Tabela 47, com a potência contratada de 10.35kVA.

Tabela 50 – Potência para carregamento dos VE para a projecção máxima

<b>Potência necessária (kVA) para carregamento dos VE (Projecção Máxima)</b>											
	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>	<b>2030</b>
<b>CPV</b>	2 975	4 423	5 906	7 427	8 986	10 583	12 220	13 896	15 613	17 372	19 173
<b>CBC</b>	3 007	4 466	5 960	7 488	9 053	10 654	12 293	13 968	15 683	17 436	19 229
<b>CBT</b>	3 673	5 472	7 323	9 228	11 187	13 204	15 277	17 409	19 601	21 855	24 171
<b>FAF</b>	9 281	13 838	18 538	23 382	28 376	33 522	38 824	44 285	49 910	55 702	61 664
<b>GMR</b>	29 422	43 881	58 799	74 187	90 057	106 419	123 286	140 670	158 582	177 036	196 045
<b>PVL</b>	4 151	6 189	8 290	10 456	12 688	14 987	17 356	19 796	22 308	24 895	27 557
<b>VRM</b>	2 269	3 358	4 464	5 588	6 729	7 889	9 067	10 263	11 479	12 713	13 966
<b>VNF</b>	25 538	38 242	51 450	65 175	79 435	94 246	109 622	125 583	142 143	159 323	177 139
<b>VIZ</b>	4 641	6 960	9 377	11 896	14 519	17 250	20 093	23 052	26 129	29 328	32 654
<b>AMT</b>	10 242	15 225	20 335	25 573	30 941	36 444	42 082	47 859	53 777	59 839	66 047
<b>BAO</b>	3 600	5 336	7 107	8 913	10 755	12 632	14 546	16 497	18 485	20 512	22 577
<b>FLG</b>	10 913	16 298	21 867	27 626	33 580	39 733	46 091	52 659	59 442	66 446	73 676
<b>LSD</b>	9 074	13 598	18 307	23 207	28 304	33 605	39 115	44 841	50 790	56 968	63 383
<b>MCN</b>	9 962	14 879	19 966	25 228	30 669	36 293	42 106	48 113	54 317	60 726	67 343
<b>PFR</b>	11 025	16 543	22 303	28 311	34 577	41 108	47 913	55 002	62 384	70 068	78 064
<b>PRD</b>	16 218	24 217	32 490	41 043	49 883	59 017	68 455	78 202	88 267	98 659	109 385
<b>PNF</b>	13 491	20 139	27 011	34 113	41 448	49 025	56 849	64 925	73 262	81 864	90 739
<b>MDB</b>	1 332	1 971	2 621	3 281	3 953	4 635	5 329	6 034	6 750	7 478	8 218
<b>CNF</b>	3 498	5 178	6 887	8 624	10 391	12 187	14 013	15 870	17 757	19 676	21 626
<b>RSD</b>	1 944	2 878	3 828	4 795	5 778	6 778	7 795	8 829	9 881	10 950	12 038
<b>Total</b>	<b>176 256</b>	<b>263 092</b>	<b>352 828</b>	<b>445 541</b>	<b>541 309</b>	<b>640 212</b>	<b>742 332</b>	<b>847 753</b>	<b>956 562</b>	<b>1 068 846</b>	<b>1 184 696</b>



# 6 Resultados experimentais

Este capítulo é o desenlace do escopo desta dissertação, é o culminar de todos os pontos dos capítulos anteriores. Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos, para os diferentes pressupostos, alcançando assim valores consistentes do pressuposto nesta análise de estudo.

Para cada um dos três cenários propostos será feita uma análise, aos seguintes pontos:

- potência instalada disponível, versus a potência requerida pelos VE, dentro do período horário, “**fora do vazio**”, por ano e concelho;
- potência instalada disponível, versus a potência requerida pelos VE, dentro do período horário, “**vazio**”, por ano e concelho;

Para a verificação da capacidade da rede BT, ao nível das quedas de tensão, tendo em conta os diferentes tipos construtivos dos PT's, serão analisados 100 PT's dos diferentes concelhos.

## 6.1 Determinação do cenário 1

O cenário 1 mostra o “saldo” da potência instalada, após o incremento das cargas de VE, previstas na projecção mínima. Este “saldo” corresponde à subtracção, da potência de projecção mínima, à potência instalada disponível. É feita a comparação entre a potência disponível no horário do ‘vazio’ e no horário ‘fora do vazio’.

## 6.1.1 Carregamento no período fora do vazio

Os resultados da Tabela 51, foram obtidos através da seguinte equação matricial:

$$\text{Impacto } Pot_{(i,j)} = Pot.\text{total}_{(i)}(\text{Tabela 31}) - Pot_{(i,j)}(\text{Tabela 48}) \quad (33)$$

i – Concelho;

j – Ano;

Tabela 51 – Impacto na potência disponível no horário ‘fora do vazio’ cenário 1

Saldo da potência (kVA) no horário ‘fora do vazio’ (Cenário Mínimo)											
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
CPV	13 748	13 652	13 513	13 309	13 013	12 581	11 951	11 033	9 695	7 745	4 904
CBC	14 834	14 738	14 598	14 393	14 095	13 661	13 028	12 107	10 766	8 812	5 967
CBT	17 003	16 884	16 710	16 456	16 085	15 543	14 752	13 596	11 909	9 444	5 846
FAF	47 761	47 459	47 018	46 373	45 430	44 051	42 036	39 090	34 784	28 489	19 289
GMR	161 958	161 000	159 599	157 550	154 554	150 175	143 771	134 407	120 716	100 699	71 430
PVL	18 407	18 272	18 075	17 786	17 365	16 748	15 848	14 531	12 607	9 794	5 683
VRM	13 878	13 807	13 703	13 551	13 332	13 013	12 551	11 880	10 907	9 495	7 446
VNF	107 983	107 138	105 898	104 080	101 411	97 496	91 749	83 314	70 933	52 759	26 081
VIZ	14 940	14 786	14 559	14 226	13 736	13 017	11 960	10 407	8 124	4 768	-165
AMT	31 946	31 617	31 137	30 437	29 416	27 928	25 758	22 596	17 987	11 270	1 480
BAO	12 560	12 446	12 279	12 037	11 685	11 172	10 427	9 344	7 770	5 482	2 156
FLG	37 564	37 207	36 684	35 918	34 798	33 157	30 756	27 241	22 094	14 559	3 528
LSD	36 412	36 111	35 669	35 020	34 068	32 669	30 616	27 599	23 168	16 660	7 100
MCN	41 947	41 621	41 143	40 444	39 420	37 921	35 727	32 514	27 810	20 921	10 836
PFR	53 428	53 060	52 520	51 725	50 558	48 842	46 319	42 608	37 149	29 120	17 311
PRD	54 850	54 319	53 542	52 405	50 741	48 305	44 739	39 520	31 879	20 693	4 319
PNF	46 396	45 955	45 310	44 366	42 984	40 962	38 002	33 672	27 334	18 058	4 483
MDB	6 690	6 648	6 587	6 498	6 369	6 182	5 910	5 515	4 942	4 111	2 905
CNF	10 913	10 803	10 642	10 409	10 069	9 577	8 861	7 823	6 316	4 128	952
RSD	5 195	5 133	5 044	4 914	4 725	4 451	4 053	3 475	2 636	1 418	-350
<b>Total</b>	<b>748 414</b>	<b>742 654</b>	<b>734 227</b>	<b>721 897</b>	<b>703 854</b>	<b>677 451</b>	<b>638 814</b>	<b>582 272</b>	<b>499 525</b>	<b>378 427</b>	<b>201 201</b>

Da Tabela 51, pode-se observar que, nas condições mais pessimistas do crescimento dos VE, a potência instalada actual tem capacidade para a demanda dos VE nos próximos dez anos, à excepção dos concelhos de Vizela e Resende, que perdem a sua capacidade em 2030.

## 6.1.2 Carregamento no período de vazio

Os resultados da Tabela 52, foram obtidos através da seguinte equação matricial:

$$\text{Impacto } Pot_{(i,j)} = Pot. total_{(i)} (\text{Tabela 33}) - Pot_{(i,j)} (\text{Tabela 48}) \quad (34)$$

i – Concelho;

j – Ano;

Tabela 52 – Impacto na potência disponível no horário do ‘vazio’ cenário 1

Saldo da potência (kVA) no horário do 'vazio' (Cenário Mínimo)											
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
CPV	16 764	16 668	16 529	16 326	16 029	15 597	14 967	14 049	12 712	10 762	7 920
CBC	18 125	18 029	17 888	17 684	17 385	16 951	16 319	15 398	14 056	12 102	9 257
CBT	20 784	20 665	20 491	20 237	19 866	19 325	18 533	17 378	15 690	13 226	9 627
FAF	59 768	59 466	59 025	58 379	57 436	56 057	54 042	51 096	46 790	40 496	31 296
GMR	196 577	195 619	194 217	192 169	189 173	184 793	178 389	169 026	155 335	135 317	106 049
PVL	23 296	23 161	22 963	22 675	22 253	21 637	20 736	19 420	17 495	14 683	10 572
VRM	16 620	16 548	16 444	16 293	16 073	15 755	15 293	14 622	13 648	12 236	10 188
VNF	134 546	133 701	132 461	130 643	127 975	124 059	118 312	109 878	97 497	79 322	52 644
VIZ	20 349	20 195	19 968	19 635	19 146	18 426	17 370	15 817	13 534	10 178	5 245
AMT	44 195	43 865	43 385	42 685	41 664	40 176	38 006	34 844	30 236	23 518	13 729
BAO	16 376	16 262	16 095	15 853	15 501	14 988	14 243	13 160	11 586	9 298	5 972
FLG	52 383	52 025	51 502	50 737	49 616	47 976	45 575	42 059	36 912	29 378	18 347
LSD	47 067	46 765	46 324	45 675	44 723	43 324	41 270	38 254	33 823	27 315	17 754
MCN	54 144	53 818	53 340	52 641	51 617	50 118	47 924	44 711	40 007	33 119	23 033
PFR	67 481	67 113	66 573	65 779	64 612	62 896	60 372	56 661	51 203	43 174	31 364
PRD	70 972	70 441	69 664	68 527	66 863	64 427	60 861	55 641	48 001	36 815	20 441
PNF	61 971	61 530	60 885	59 940	58 558	56 536	53 577	49 246	42 908	33 632	20 058
MDB	8 389	8 346	8 285	8 197	8 068	7 880	7 608	7 214	6 641	5 810	4 603
CNF	14 728	14 618	14 457	14 224	13 885	13 392	12 677	11 638	10 131	7 943	4 768
RSD	7 271	7 210	7 120	6 990	6 802	6 527	6 129	5 551	4 712	3 494	1 726
<b>Total</b>	<b>951 805</b>	<b>946 045</b>	<b>937 618</b>	<b>925 288</b>	<b>907 245</b>	<b>880 842</b>	<b>842 205</b>	<b>785 663</b>	<b>702 916</b>	<b>581 818</b>	<b>404 592</b>

Se houver incentivo ao carregamento no horário de vazio a potência instalada é suficiente para os próximos dez anos, conforme se verifica pela Tabela 52.

## 6.2 Determinação do cenário 2

### 6.2.1 Carregamento no período fora do vazio

Os resultados da Tabela 53, foram obtidos através da seguinte equação matricial:

$$\text{Impacto } Pot_{(i,j)} = Pot.\text{total}_{(i)}(\text{Tabela 31}) - Pot_{(i,j)}(\text{Tabela 49}) \quad (35)$$

i – Concelho;

j – Ano;

Tabela 53 – Impacto na potência disponível no horário ‘fora do vazio’ cenário 2

Saldo da potência (kVA) no horário ‘fora do vazio’ (Cenário Médio)											
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
<b>CPV</b>	13 428	13 049	12 552	11 930	11 176	10 282	9 240	8 042	6 679	5 143	3 424
<b>CBC</b>	14 512	14 130	13 629	13 003	12 244	11 346	10 301	9 101	7 737	6 200	4 482
<b>CBT</b>	16 608	16 138	15 519	14 742	13 798	12 675	11 362	9 849	8 123	6 171	3 980
<b>FAF</b>	46 765	45 573	44 004	42 031	39 628	36 769	33 422	29 558	25 144	20 146	14 529
<b>GMR</b>	158 800	155 019	150 037	143 774	136 143	127 056	116 418	104 130	90 087	74 181	56 296
<b>PVL</b>	17 961	17 428	16 727	15 845	14 771	13 492	11 997	10 270	8 298	6 065	3 556
<b>VRM</b>	13 635	13 349	12 977	12 514	11 956	11 300	10 540	9 671	8 690	7 591	6 368
<b>VNF</b>	105 242	101 926	97 532	91 977	85 172	77 022	67 428	56 285	43 480	28 895	12 406
<b>VIZ</b>	14 442	13 837	13 034	12 017	10 768	9 270	7 502	5 446	3 078	375	-2 685
<b>AMT</b>	30 847	29 542	27 830	25 688	23 090	20 011	16 422	12 295	7 601	2 307	-3 618
<b>BAO</b>	12 174	11 718	11 124	10 382	9 486	8 428	7 200	5 793	4 199	2 409	413
<b>FLG</b>	36 393	34 985	33 128	30 788	27 933	24 526	20 530	15 907	10 613	4 607	-2 160
<b>LSD</b>	35 438	34 257	32 692	30 711	28 281	25 369	21 937	17 948	13 359	8 127	2 207
<b>MCN</b>	40 878	39 593	37 896	35 759	33 150	30 037	26 385	22 158	17 319	11 826	5 637
<b>PFR</b>	52 244	50 805	48 893	46 468	43 490	39 912	35 689	30 769	25 100	18 625	11 285
<b>PRD</b>	53 109	51 018	48 259	44 784	40 543	35 484	29 552	22 688	14 831	5 916	-4 125
<b>PNF</b>	44 948	43 211	40 918	38 031	34 510	30 312	25 390	19 697	13 184	5 796	-2 522
<b>MDB</b>	6 547	6 379	6 161	5 889	5 561	5 175	4 727	4 216	3 639	2 991	2 270
<b>CNF</b>	10 538	10 097	9 522	8 807	7 945	6 929	5 752	4 407	2 886	1 181	-717
<b>RSD</b>	4 986	4 741	4 421	4 024	3 544	2 979	2 324	1 575	728	-222	-1 280
<b>Total</b>	<b>729 494</b>	<b>706 797</b>	<b>676 855</b>	<b>639 164</b>	<b>593 190</b>	<b>538 373</b>	<b>474 119</b>	<b>399 805</b>	<b>314 773</b>	<b>218 329</b>	<b>109 744</b>

Da Tabela 53 pode-se verificar que, nas condições mais medianas do crescimento dos VE, a potência instalada actual começa a perder capacidade em metade dos concelhos, no último ano (2030).

## 6.2.2 Carregamento no período de vazio

Os resultados da Tabela 54, foram obtidos através da seguinte equação matricial:

$$\text{Impacto } Pot_{(i,j)} = Pot.\text{total}_{(i)}(\text{Tabela 33}) - Pot_{(i,j)}(\text{Tabela 49}) \quad (36)$$

i – Concelho;

j – Ano;

Tabela 54 – Impacto na potência disponível no horário do ‘vazio’ cenário 2

Saldo da potência (kVA) no horário do 'vazio' (Cenário Médio)											
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
CPV	16 445	16 066	15 569	14 947	14 192	13 298	12 256	11 058	9 696	8 160	6 440
CBC	17 802	17 420	16 919	16 293	15 535	14 637	13 591	12 391	11 027	9 491	7 773
CBT	20 390	19 920	19 301	18 524	17 579	16 456	15 144	13 631	11 904	9 952	7 761
FAF	58 772	57 580	56 010	54 037	51 635	48 775	45 429	41 565	37 151	32 153	26 535
GMR	193 418	189 638	184 656	178 393	170 762	161 675	151 037	138 749	124 706	108 800	90 914
PVL	22 850	22 317	21 615	20 733	19 660	18 381	16 886	15 159	13 187	10 954	8 445
VRM	16 376	16 090	15 718	15 255	14 698	14 041	13 281	12 413	11 431	10 332	9 109
VNF	131 805	128 489	124 095	118 540	111 735	103 585	93 991	82 848	70 043	55 458	38 969
VIZ	19 851	19 246	18 443	17 426	16 177	14 679	12 912	10 855	8 487	5 785	2 724
AMT	43 095	41 790	40 079	37 937	35 339	32 259	28 670	24 543	19 849	14 555	8 630
BAO	15 990	15 534	14 940	14 198	13 302	12 244	11 016	9 609	8 015	6 225	4 229
FLG	51 211	49 804	47 946	45 607	42 751	39 344	35 349	30 725	25 432	19 425	12 659
LSD	46 093	44 912	43 347	41 366	38 936	36 024	32 592	28 602	24 013	18 782	12 861
MCN	53 075	51 790	50 094	47 956	45 347	42 234	38 582	34 356	29 516	24 023	17 834
PFR	66 298	64 859	62 946	60 522	57 543	53 966	49 742	44 823	39 154	32 679	25 338
PRD	69 231	67 140	64 381	60 906	56 665	51 606	45 674	38 810	30 952	22 037	11 997
PNF	60 523	58 785	56 492	53 606	50 085	45 886	40 964	35 272	28 758	21 370	13 053
MDB	8 246	8 078	7 859	7 587	7 259	6 873	6 426	5 915	5 337	4 690	3 969
CNF	14 353	13 912	13 337	12 622	11 760	10 744	9 568	8 222	6 701	4 996	3 098
RSD	7 062	6 817	6 498	6 100	5 620	5 055	4 400	3 651	2 804	1 854	797
<b>Total</b>	<b>932 885</b>	<b>910 188</b>	<b>880 246</b>	<b>842 555</b>	<b>796 581</b>	<b>741 764</b>	<b>677 510</b>	<b>603 196</b>	<b>518 164</b>	<b>421 720</b>	<b>313 135</b>

Da Tabela 54 verifica-se, que mesmo para a previsão mediana do crescimento dos VE, e havendo incentivo ao carregamento no horário de vazio, a potência instalada continua a ser suficiente, para o período de dez anos.

## 6.3 Determinação do cenário 3

### 6.3.1 Carregamento no período fora do vazio

Os resultados da Tabela 55, foram obtidos através da seguinte equação matricial:

$$\text{Impacto } Pot_{(i,j)} = Pot_{total(i)}(\text{Tabela 31}) - Pot_{(i,j)}(\text{Tabela 50}) \quad (37)$$

i – Concelho;

j – Ano;

Tabela 55 – Impacto na potência disponível no horário ‘fora do vazio’ cenário 3

Saldo da potência (kVA) no horário ‘fora do vazio’ (Cenário Máximo)											
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
CPV	11 070	9 622	8 139	6 618	5 059	3 462	1 825	149	-1 568	-3 327	-5 128
CBC	12 128	10 669	9 175	7 647	6 082	4 481	2 842	1 167	-548	-2 301	-4 094
CBT	13 697	11 898	10 047	8 142	6 183	4 166	2 093	-39	-2 231	-4 485	-6 801
FAF	39 408	34 851	30 151	25 307	20 313	15 167	9 865	4 404	-1 221	-7 013	-12 975
GMR	135 477	121 018	106 100	90 712	74 842	58 480	41 613	24 229	6 317	-12 137	-31 146
PVL	14 671	12 633	10 532	8 366	6 134	3 835	1 466	-974	-3 486	-6 073	-8 735
VRM	11 836	10 747	9 641	8 517	7 376	6 216	5 038	3 842	2 626	1 392	139
VNF	84 998	72 294	59 086	45 361	31 101	16 290	914	-15 047	-31 607	-48 787	-66 603
VIZ	10 763	8 444	6 027	3 508	885	-1 846	-4 689	-7 648	-10 725	-13 924	-17 250
AMT	22 728	17 745	12 635	7 397	2 029	-3 474	-9 112	-14 889	-20 807	-26 869	-33 077
BAO	9 320	7 584	5 813	4 007	2 165	288	-1 626	-3 577	-5 565	-7 592	-9 657
FLG	27 742	22 357	16 788	11 029	5 075	-1 078	-7 436	-14 004	-20 787	-27 791	-35 021
LSD	28 245	23 721	19 012	14 112	9 015	3 714	-1 796	-7 522	-13 471	-19 649	-26 064
MCN	32 981	28 064	22 977	17 715	12 274	6 650	837	-5 170	-11 374	-17 783	-24 400
PFR	43 505	37 987	32 227	26 219	19 953	13 422	6 617	-472	-7 854	-15 538	-23 534
PRD	40 253	32 254	23 981	15 428	6 588	-2 546	-11 984	-21 731	-31 796	-42 188	-52 914
PNF	34 254	27 606	20 734	13 632	6 297	-1 280	-9 104	-17 180	-25 517	-34 119	-42 994
MDB	5 491	4 852	4 202	3 542	2 870	2 188	1 494	789	73	-655	-1 395
CNF	7 765	6 085	4 376	2 639	872	-924	-2 750	-4 607	-6 494	-8 413	-10 363
RSD	3 445	2 511	1 561	594	-389	-1 389	-2 406	-3 440	-4 492	-5 561	-6 649
<b>Total</b>	<b>589 777</b>	<b>502 941</b>	<b>413 205</b>	<b>320 492</b>	<b>224 724</b>	<b>125 821</b>	<b>23 701</b>	<b>-81 720</b>	<b>-190 529</b>	<b>-302 813</b>	<b>-418 663</b>

Se o crescimento dos VE for igual ou próximo do valor projectado máximo, então tornar-se-á necessário fazer um reforço de potência antes do ano 2025, conforme se pode verificar pela Tabela 55.

### 6.3.2 Carregamento no período de vazio

Os resultados da Tabela 56, foram obtidos através da seguinte equação matricial:

$$\text{Impacto } Pot_{(i,j)} = Pot.\text{total}_{(i)}(\text{Tabela 33}) - Pot_{(i,j)}(\text{Tabela 50}) \quad (38)$$

i – Concelho;

j – Ano;

Tabela 56 – Impacto na potência disponível no horário do ‘vazio’ cenário 3

Saldo da potência (kVA) no horário do 'vazio' (Cenário Máximo)											
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
CPV	14 086	12 639	11 155	9 634	8 076	6 478	4 842	3 165	1 448	-310	-2 111
CBC	15 419	13 960	12 466	10 937	9 372	7 771	6 133	4 457	2 743	989	-804
CBT	17 478	15 680	13 829	11 924	9 964	7 948	5 874	3 742	1 550	-704	-3 020
FAF	51 414	46 857	42 158	37 313	32 320	27 174	21 872	16 411	10 786	4 994	-969
GMR	170 096	155 637	140 719	125 331	109 461	93 099	76 232	58 848	40 936	22 481	3 473
PVL	19 559	17 522	15 421	13 255	11 023	8 723	6 355	3 915	1 403	-1 184	-3 847
VRM	14 577	13 488	12 383	11 259	10 117	8 958	7 780	6 583	5 368	4 133	2 880
VNF	111 561	98 857	85 650	71 924	57 664	42 854	27 477	11 517	-5 044	-22 224	-40 040
VIZ	16 172	13 853	11 436	8 918	6 294	3 563	720	-2 238	-5 315	-8 515	-11 841
AMT	34 977	29 993	24 884	19 646	14 277	8 775	3 136	-2 641	-8 559	-14 621	-20 829
BAO	13 136	11 400	9 629	7 823	5 981	4 104	2 190	239	-1 749	-3 776	-5 841
FLG	42 560	37 175	31 606	25 847	19 894	13 740	7 383	815	-5 968	-12 972	-20 203
LSD	38 899	34 376	29 667	24 767	19 669	14 369	8 859	3 133	-2 816	-8 995	-15 409
MCN	45 178	40 261	35 174	29 912	24 471	18 847	13 034	7 028	823	-5 586	-12 203
PFR	57 558	52 040	46 281	40 272	34 007	27 476	20 670	13 581	6 199	-1 485	-9 481
PRD	56 375	48 375	40 103	31 550	22 710	13 575	4 138	-5 609	-15 675	-26 066	-36 792
PNF	49 829	43 180	36 308	29 207	21 871	14 294	6 471	-1 606	-9 942	-18 544	-27 419
MDB	7 190	6 551	5 901	5 240	4 569	3 886	3 193	2 488	1 771	1 043	304
CNF	11 580	9 900	8 191	6 454	4 687	2 891	1 065	-792	-2 679	-4 598	-6 548
RSD	5 521	4 587	3 637	2 670	1 687	687	-330	-1 364	-2 416	-3 485	-4 572
<b>Total</b>	<b>793 168</b>	<b>706 332</b>	<b>616 596</b>	<b>523 883</b>	<b>428 115</b>	<b>329 212</b>	<b>227 092</b>	<b>121 671</b>	<b>12 862</b>	<b>-99 422</b>	<b>-215 272</b>

Pela Tabela 56, pode-se verificar que mesmo com o carregamento no horário de vazio, a potência instalada não será suficiente, caso o crescimento dos VE se aproxime do valor máximo projectado.

## 6.4 Quedas de tensão na rede de BT com o aumento dos VE

Para estudar o comportamento da tensão, com o aumento de cargas dos VE, serão analisados cem circuitos de PT's diferentes. Estes cem circuitos foram escolhidos aleatoriamente, no entanto representaram de forma proporcional os quatro tipos construtivos de PT's. Pela Tabela 28, retira-se uma representação de 24 PT's do tipo AS; 18 do tipo AI; 28 do tipo CA e 30 do tipo CB.

É pretendido verificar qual a capacidade que os actuais circuitos têm para receber cargas de VE sem que os valores da tensão na rede passem os 8% da tensão nominal, para tal será utilizado o programa SIT DM para fazer a extração do cadastro dos circuitos, para posteriormente inseri-los no programa DPLAN. Em DPLAN serão inseridas cargas de forma aleatória pela rede, sempre a par das já existentes e num máximo de duas cargas de VE por uma existente, até que o valor da tensão se aproxime da variação máxima (8%). No final de cada simulação serão guardados os relatórios do estudo e os dados mais relevantes serão apresentados em tabelas, assim como os desenhos da rede estudada que estão apresentados em anexo a este documento. Tendo em conta que os transformadores possuem tomadas, que permitem regular o valor da tensão à saída, então de modo a maximizar o intervalo de tensão disponível para o estudo, será considerado um acréscimo de 2.5% à tensão nominal, ou seja, em DPLAN a tensão à saída do transformador é de 1.025pu.

Será ainda feita uma simulação, de um circuito característico de cada tipo de PT, com clientes micro-produtores, de modo a se poder tirar algumas conclusões a respeito da influência que as unidades micro-produtoras têm sobre a tensão da rede.

### 6.4.1 Circuitos de PT's AS

A Tabela 57 reúne a informação resultante da simulação das cargas de VE na rede de 24 circuitos de PT's AS. Na última linha da tabela estão os valores médios dos 24 circuitos e é possível traçar um modelo deste tipo de circuito, ou seja, são circuitos com um tamanho médio de 2627m de comprimento, apresentam uma variação máxima de tensão na ordem dos 5.41%, e com uma média de 38 clientes por circuito. Verifica-se que em média estes circuitos apenas podem suportar 6 cargas de VE, ou seja, apenas mais 15% das suas cargas. Os desenhos dos respectivos circuitos encontram-se no Anexo G.

Tabela 57 – Quedas de tensão nos circuitos de PT's AS

PT tipo AS								
ID do PT	Tamanho do circuito (m)	Variação da tensão ( $\Delta U$ %)				Qtª clientes	Qtª de VE incrementados	% VE por cargas existentes
		Actual (%)		Com VE (%)				
		$\Delta$ min%	$\Delta$ máx%	$\Delta$ min%	$\Delta$ máx%			
1	2 606	-1,22	3,13	-0,5	7,98	49	10	20%
2	1 036	-2,47	1,99	-2,44	7,49	3	2	67%
3	4 560	-1,91	7,89	-1,88	7,97	69	1	1%
4	3 629	-2,37	6,27	-2,34	7,96	70	4	6%
5	2 118	-2,18	4,47	-1,99	7,48	10	2	20%
6	2 209	-2,38	2,62	-2,25	7,92	28	12	43%
7	2 462	-2,24	3,95	-2,07	7,97	40	13	33%
8	5 308	-0,09	7,97	-----	-----	47	0	0%
9	2 069	-2,27	3,23	-2,15	7,93	42	9	21%
10	2 226	-2,18	7,73	-2,17	7,96	55	1	2%
11	1 246	-2,05	5,28	-1,95	7,87	22	2	9%
12	2 268	-2,36	7,81	-2,36	7,93	42	1	2%
13	3 458	-2,37	6,49	-2,36	7,97	43	2	5%
14	1 354	-2,38	5,1	-2,36	7,98	20	2	10%
15	1 312	-2,28	7,79	-2,26	7,98	7	1	14%
16	3 329	-2,5	7,68	-2,2	7,97	69	1	1%
17	730	-1,12	2,19	0,7	7,92	18	19	106%
18	1 902	-1,84	5,19	-1,75	7,94	16	8	50%
19	3 078	-2,15	7,95	-----	-----	27	0	0%
20	3 326	-2,25	7,65	-2,21	7,98	18	3	17%
21	2 280	-2,25	0,88	-1,84	7,96	28	20	71%
22	5 376	-1,87	7,99	-----	-----	114	0	0%
23	2 249	-1,81	5,29	-1,59	7,97	28	4	14%
24	2 927	-1,84	3,18	-1,68	7,97	45	17	38%
<b>Média</b>	<b>2 627m</b>	<b>-2,02%</b>	<b>5,41%</b>	<b>-1,89%</b>	<b>7,91%</b>	<b>38</b>	<b>6</b>	<b>15%</b>

A Tabela 58 apresenta um resumo da estatística da cablagem existente nos circuitos estudados, dos PT's AS. A tabela apresenta o comprimento por secção, relativa a cabos do tipo: cobre nu; XS; LXS; VV; VAV e LSVAV. Pela estatística apresentada, verifica-se que a maior percentagem de cabo é de secção igual ou inferior a 16mm<sup>2</sup>, contudo esses cabos pertencem na sua maioria às baixadas dos clientes. Em relação ao troço principal do circuito verifica-se que a secção mais predominante é a de 25mm<sup>2</sup>, ou seja, o cabo LXS 4x25+16.

Tabela 58 – Quadro resumo das secções dos circuitos AS, estudados

<b>Cablagem de 24 circuitos de PT's AS</b>		
<b>Secção mm<sup>2</sup></b>	<b>Comprimento dos troços</b>	
	<b>m</b>	<b>%</b>
<b>até 16</b>	28 518	45,2%
<b>4x25</b>	14 389	22,8%
<b>4x50</b>	9 956	15,8%
<b>4x70</b>	6 754	10,7%
<b>4x95</b>	3 413	5,4%
<b>Total</b>	63 030	100%

Tendo em conta os resultados obtidos da Tabela 57 e a informação da Tabela 58 é possível criar um circuito modelo, referente aos circuitos dos PT's AS. A Tabela 59 apresenta as principais características desse circuito. Este modelo representa circuitos, cuja variação de tensão já é relevante, daí que a capacidade para receber novas cargas seja pequena, trata-se, pois, de circuitos com uma grande distância e com secções de cabo relativamente baixas.

Tabela 59 – Características dum modelo de circuito AS

<b>Circuito modelo AS</b>		
<b>Nº médio de clientes</b>	<b>38</b>	
<b>Δ máx tensão%</b>	<b>5,41%</b>	
<b>Comprimento médio</b>	<b>2627 m</b>	
<b>Secção mm<sup>2</sup></b>	<b>Comprimento dos troços</b>	
	<b>%</b>	<b>m</b>
<b>até 16</b>	45,2%	1 187
<b>4x25</b>	22,8%	599
<b>4x50</b>	15,8%	415
<b>4x70</b>	10,7%	281
<b>4x95</b>	5,4%	142
<b>Total</b>	100,0%	2627

A partir do circuito modelo é possível simular o comportamento da rede com micro-produção fotovoltaica, de modo a verificar qual a influência que a micro-produção terá na tensão da rede. Deste modo e mais uma vez recorrendo ao DPLAN foi possível realizar três simulações para este circuito, os resultados obtidos constam na Tabela 60.

Tabela 60 – Quedas de tensão, no circuito modelo AS, com micro-produção

Resultados da simulação com produção fotovoltaica (3.7kW) em 10% dos clientes (circuito modelo AS)				
Simulação	Qtª VE inicial	Micro produtores	Qtª VE incrementados	$\Delta$ máx% (tensão)
1ª	6	0	0	7,92%
2ª	6	4	0	5,38%
3ª	6	4	6	7,69%

Observando os resultados da Tabela 60, pode-se concluir que se 10% dos clientes se tornarem micro-produtores a rede passa a ter capacidade para o dobro dos VE que tinha inicialmente. A Figura 35 mostra o desenho do circuito modelo com as unidades micro-produtoras e com as cargas de VE.

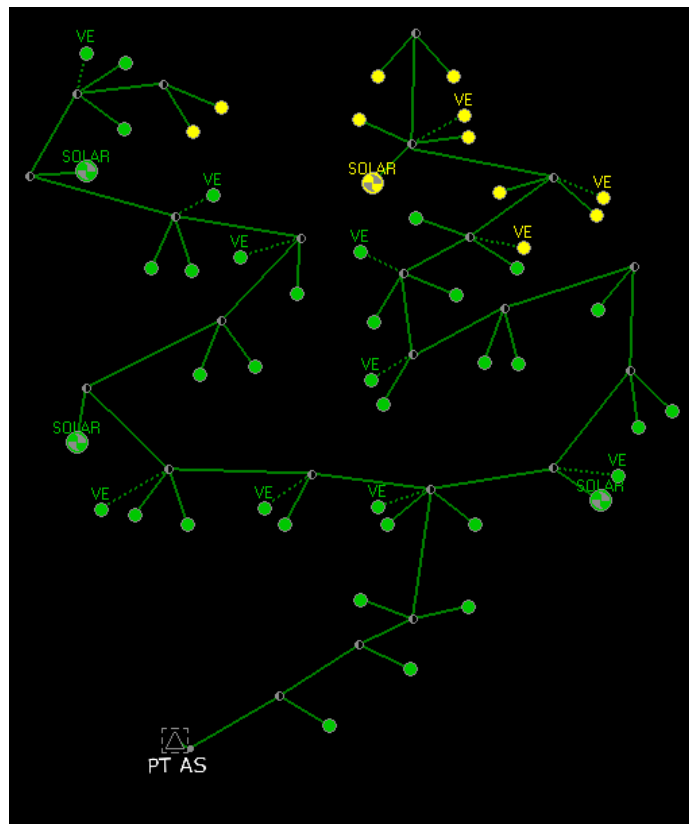


Figura 35 – Simulação da micro-produção no circuito modelo AS

## 6.4.2 Circuitos de PT's AI

A Tabela 61 reúne a informação resultante da simulação das cargas de VE na rede de 18 circuitos de PT's AI. Na última linha da tabela estão os valores médios dos 18 circuitos e é possível traçar um modelo deste tipo de circuito, ou seja, são circuitos com um tamanho médio de 1967m de comprimento, apresentam uma variação máxima de tensão na ordem dos 4.55%, e com uma média de 33 clientes por circuito. Verifica-se que em média estes circuitos apenas podem suportar 6 cargas de VE, ou seja, apenas mais 19% das suas cargas. Os desenhos dos respectivos circuitos encontram-se no Anexo H.

Tabela 61 – Quedas de tensão nos circuitos de PT's AI

PT tipo AI								
ID do PT	Tamanho do circuito (m)	Variação da tensão ( $\Delta U$ %)				Qtª clientes	Qtª de VE incrementados	% VE por cargas existentes
		Actual (%)		Com VE (%)				
		$\Delta$ min%	$\Delta$ máx%	$\Delta$ min%	$\Delta$ máx%			
1	552	-1,14	2,04	0,17	7,73	15	10	67%
2	1 297	-1,3	2,82	-0,24	7,99	13	11	85%
3	1 203	-2,27	4,01	-2,12	6,65	9	2	22%
4	1 519	-2,46	-0,16	-2,32	7,89	14	23	164%
5	2 845	-2,47	7,11	-2,46	7,97	48	3	6%
6	1 752	-2,1	2,96	-1,95	7,98	13	3	23%
7	1 713	-2,35	1,42	-2,14	7,87	25	12	48%
8	801	-2,44	-0,12	-2,3	7,91	5	10	200%
9	2 537	-1,41	8	-----	-----	124	0	0%
10	1 408	-1,95	3,96	-1,67	7,99	34	14	41%
11	1 835	-1,13	7,98	-----	-----	29	0	0%
12	6 058	-2,25	6,9	-2,24	7,81	58	2	3%
13	1 580	-2,47	3,47	-2,45	7,98	29	7	24%
14	2 728	-1,44	7,86	-1,4	7,91	28	1	4%
15	2 155	-2,21	3,9	-2	7,92	35	10	29%
16	1 734	-2,4	7,99	-----	-----	36	0	0%
17	1 249	-2,18	4,31	-2,03	7,91	14	4	29%
18	2 440	-2,37	7,38	-2,36	7,94	57	2	4%
<b>Média</b>	<b>1 967m</b>	<b>-2,02%</b>	<b>4,55%</b>	<b>-1,83%</b>	<b>7,83%</b>	<b>33</b>	<b>6</b>	<b>19%</b>

A Tabela 62 apresenta um resumo da estatística da cablagem existente nos circuitos dos PT's AI estudados. A tabela apresenta o comprimento por secção, relativa a cabos do tipo: cobre nu; XS; XV; LXS; VV; VAV e LSVAV. A secção igual ou inferior a 16mm<sup>2</sup> é referente às baixadas, e como acontece nos PT'AS, o cabo LXS 4x25+16 é o mais predominante no troço principal do circuito.

Tabela 62 – Quadro resumo das secções dos circuitos AI estudados

<b>Cablagem de 18 circuitos de PT's AI</b>		
<b>Secção mm<sup>2</sup></b>	<b>Comprimento dos troços</b>	
	<b>m</b>	<b>%</b>
<b>até 16</b>	12 216	34,5%
<b>4x25</b>	11 471	32,4%
<b>4x35</b>	48	0,1%
<b>4x50</b>	5 025	14,2%
<b>4x70</b>	4 562	12,9%
<b>4x95</b>	2 009	5,7%
<b>3x185+95</b>	77	0,2%
<b>Total</b>	35 407	100,0%

Considerando os resultados obtidos da Tabela 61 e a informação da Tabela 62 é possível criar um circuito modelo, referente aos circuitos dos PT's AI. A Tabela 63 apresenta as principais características desse circuito. Assim como nos PT's AS os circuitos dos PT's AI também apresentam uma variação de tensão relevante.

Tabela 63 – Características dum modelo de circuito AI

<b>Circuito modelo AI</b>		
<b>Nº médio de clientes</b>	<b>33</b>	
<b>Δ máx tensão%</b>	<b>4,55%</b>	
<b>Comprimento médio</b>	<b>1967m</b>	
<b>Secção mm<sup>2</sup></b>	<b>Comprimento dos troços</b>	
	<b>%</b>	<b>m</b>
<b>até 16</b>	34,5%	679
<b>4x25</b>	32,4%	637
<b>4x35</b>	0,1%	3
<b>4x50</b>	14,2%	279
<b>4x70</b>	12,9%	253
<b>4x95</b>	5,7%	112
<b>3x185+95</b>	0,2%	4
<b>Total</b>	100,0%	1967

Partindo do circuito modelo é possível simular o comportamento da rede com micro-produção fotovoltaica. Com recurso ao DPLAN foi possível realizar três simulações para este circuito, os resultados obtidos constam na Tabela 64.

Tabela 64 – Quedas de tensão, no circuito modelo AI, com micro-produção

Resultados da simulação com produção fotovoltaica (3.7kW) em 10% dos clientes (circuito modelo AI)				
Simulação	Qtª VE inicial	Micro produtores	Qtª VE incrementados	$\Delta$ máx% (tensão)
1º	6	0	0	7,98%
2º	6	3	0	5,61%
3º	6	3	6	7,98%

Analisando os resultados da Tabela 64, conclui-se que se 10% dos clientes se tornarem micro-produtores a rede passar a ter capacidade para o dobro dos VE que tinha inicialmente, à semelhança do que acontece nos circuitos dos PT's AS. A Figura 36 mostra o desenho do circuito modelo com as unidades micro-produtoras e com as cargas de VE.

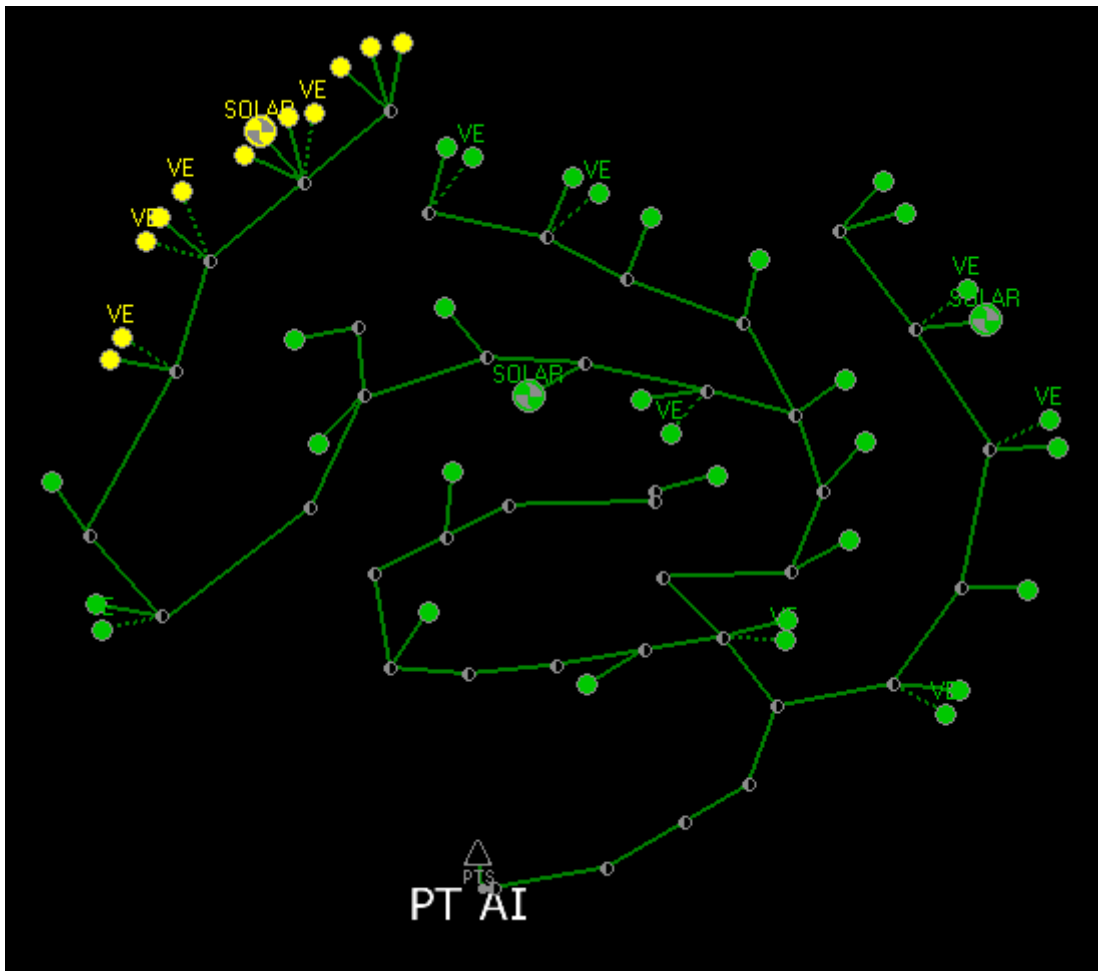


Figura 36 – Simulação da micro-produção no circuito modelo AI

### 6.4.3 Circuitos de PT's Cabine Alta

A Tabela 65 reúne a informação resultante da simulação das cargas de VE na rede de 28 circuitos de PT's de CA. Na última linha da tabela estão os valores médios dos 28 circuitos e é possível traçar um modelo deste tipo de circuito, ou seja, são circuitos com um tamanho médio de 2538m de comprimento, apresentam uma variação máxima de tensão na ordem dos 6.00%, e com uma média de 44 clientes por circuito. Verifica-se que em média estes circuitos apenas podem suportar 4 cargas de VE, ou seja, apenas mais 10% das suas cargas. Os desenhos dos respectivos circuitos encontram-se no Anexo I.

Tabela 65 – Quedas de tensão nos circuitos de PT's CA

PT tipo Cabine Alta								
ID do PT	Tamanho do circuito (m)	Variação da tensão ( $\Delta U$ %)				Qtª clientes	Qtª de VE incrementados	% VE por cargas existentes
		Actual (%)		Com VE (%)				
		$\Delta$ min%	$\Delta$ máx%	$\Delta$ min%	$\Delta$ máx%			
1	3 300	-2,23	7,98	-----	-----	44	0	0%
2	2 678	-1,66	5,36	-1,49	7,98	35	5	14%
3	1 685	-2,4	8	-----	-----	32	0	0%
4	2 811	-1,98	8,06	-----	-----	65	0	0%
5	2 039	-1,17	5,57	-0,98	7,99	37	4	11%
6	3 234	-2,02	8,04	-----	-----	75	0	0%
7	3 363	-2,3	5,57	-2,25	8	71	4	6%
8	3 590	-2,39	8,2	-----	-----	34	0	0%
9	1 668	-2,34	4,52	-2,27	7,98	16	10	63%
10	5 227	-2,1	8,15	-----	-----	102	0	0%
11	2 823	-2,34	7,98	-----	-----	35	0	0%
12	2 004	-1,95	0,74	-1,18	7,86	41	34	83%
13	3 437	-1,99	8,09	-----	-----	34	0	0%
14	2 897	-1,48	7,55	-1,46	7,9	37	1	3%
15	1 521	-1,73	8,13	-----	-----	44	0	0%
16	693	-2,03	1,26	-1,66	7,88	22	23	105%
17	2 135	-2,22	5,49	-2,17	7,95	40	3	8%
18	3 839	-1,86	8,05	-----	-----	58	0	0%
19	985	-2,22	5,88	-2,14	7,98	26	7	27%
20	1 668	-0,17	7,98	-----	-----	55	0	0%
21	1 797	-2,48	5,94	-2,47	7,95	46	7	15%
22	1 437	-1,58	4,09	-1,34	7,84	18	12	67%
23	2 760	-2,33	5,14	-2,29	7,98	61	6	10%
24	1 427	-2,43	3,69	-2,41	7,96	14	3	21%
25	3 586	-2,26	7,02	-2,22	7,95	68	3	4%
26	3 462	-0,61	8,05	-----	-----	67	0	0%
27	4 192	-2,13	8,05	-----	-----	32	0	0%
28	816	-1,67	7,53	-1,64	7,97	21	1	5%
<b>Média</b>	<b>2 538m</b>	<b>-2%</b>	<b>6%</b>	<b>-2%</b>	<b>8%</b>	<b>44</b>	<b>4</b>	<b>10%</b>

A Tabela 66 apresenta um resumo da estatística da cablagem existente nos circuitos dos PT's de CA estudados. A tabela apresenta o comprimento por secção, relativa a cabos do tipo: cobre nu; XS; XV; LXS; VV; VAV; LVAV e LSVAV. Tal como nos PT's AS e AI os cabos mais representativos são os de secção igual ou inferior a 16mm<sup>2</sup>, que são os cabos das baixadas dos clientes, em relação ao troço principal do circuito, também se verifica que é o cabo LXS 4x25+16, que mais representatividade tem.

Tabela 66 – Quadro resumo das secções dos circuitos de CA, estudados

<b>Cablagem de 28 circuitos de PT's CA</b>		
<b>Secção mm<sup>2</sup></b>	<b>Comprimento dos troços</b>	
	<b>m</b>	<b>%</b>
<b>até 16</b>	29 468	41,6%
<b>4x25</b>	15 932	22,5%
<b>4x35</b>	153	0,2%
<b>4x50</b>	9 390	13,3%
<b>4x70</b>	10 502	14,8%
<b>4x95</b>	5 248	7,4%
<b>3x185+95</b>	174	0,2%
<b>Total</b>	70 868	100%

Pelos resultados obtidos da Tabela 65 e a informação da Tabela 66 é possível criar um circuito modelo, referente aos circuitos dos PT's de CA. A Tabela 67 apresenta as principais características desse circuito. Este circuito modelo demonstra que os circuitos dos PT's de CA estão com uma variação de tensão relativamente alta, o que não lhes permite receber muito mais cargas, no geral estes circuitos estão mais fragilizados, devido à sua grande extensão de rede, com cabos de secção baixa e com muitas cargas associadas.

Tabela 67 – Características dum modelo de circuito de CA

<b>Circuito modelo CA</b>		
<b>Nº médio de clientes</b>	<b>44</b>	
<b>Δ máx tensão%</b>	<b>6,00%</b>	
<b>Comprimento médio</b>	<b>2538m</b>	
<b>Secção mm<sup>2</sup></b>	<b>Comprimento dos troços</b>	
	<b>%</b>	<b>m</b>
<b>até 16</b>	41,6%	1 055
<b>4x25</b>	22,5%	571
<b>4x35</b>	0,2%	5
<b>4x50</b>	13,3%	336
<b>4x70</b>	14,8%	376
<b>4x95</b>	7,4%	188
<b>3x185+95</b>	0,2%	6
<b>Total</b>	100,0%	2538

Com as características do circuito modelo é possível simular o comportamento da rede com micro-produção fotovoltaica. Recorrendo ao DPLAN foi possível realizar três simulações para este circuito, os resultados obtidos constam na Tabela 68.

Tabela 68 – Quedas de tensão, no circuito modelo de CA, com micro-produção

Resultados da simulação com produção fotovoltaica (3.7kW) em 10% dos clientes (circuito modelo CA)				
Simulação	Qtª VE inicial	Micro produtores	Qtª VE incrementados	$\Delta$ máx% (tensão)
1º	4	0	0	7,95%
2º	4	4	0	6,00%
3º	4	4	4	7,52%

Analisando os resultados da Tabela 68, conclui-se que tal como acontece para os PT's AS e AI também nos circuitos dos PT's de CA, se 10% dos clientes se tornarem micro-produtores a rede passar a ter capacidade para o dobro dos VE que tinha inicialmente. A Figura 37 mostra o desenho do circuito modelo com as unidades micro-produtoras e com as cargas de VE.

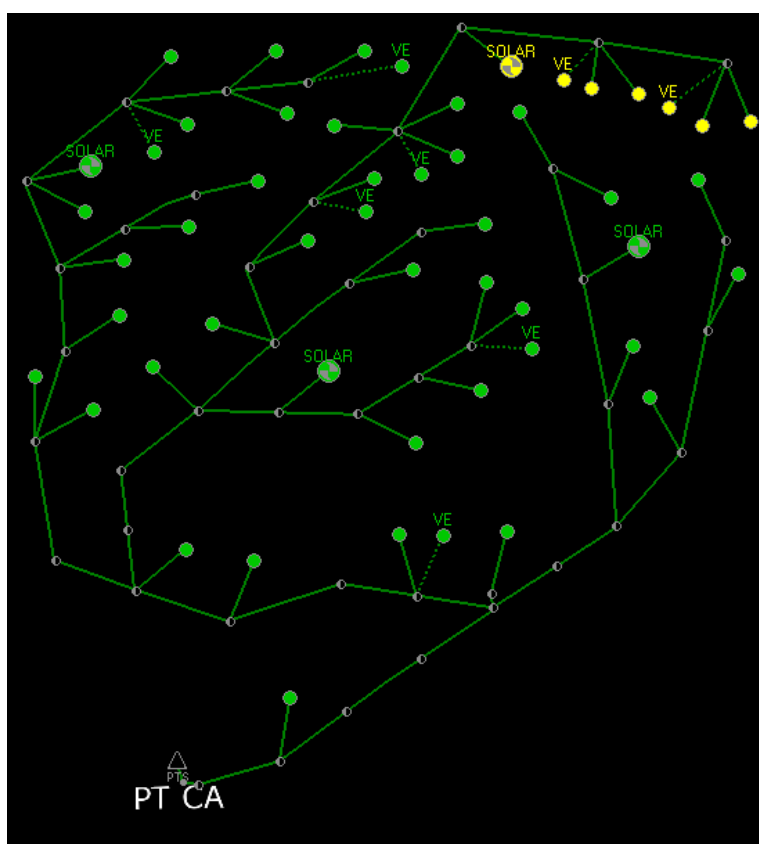


Figura 37 – Simulação da micro-produção no circuito modelo de CA

## 6.4.4 Circuitos de PT's Cabine Baixa

A Tabela 69 reúne a informação resultante da simulação das cargas de VE na rede de 30 circuitos de PT's de CB. Na última linha da tabela estão os valores médios dos 30 circuitos e é possível traçar um modelo deste tipo de circuito, ou seja, são circuitos com um tamanho médio de 912m de comprimento, apresentam uma variação máxima de tensão na ordem dos 2%, e com uma média de 25 clientes por circuito. Verifica-se que em média estes circuitos podem suportar mais de 24 cargas de VE, ou seja, acima de 95% das suas cargas. Os desenhos dos respectivos circuitos encontram-se no Anexo J.

Tabela 69 – Quedas de tensão nos circuitos de PT's CB

PT tipo Cabine Baixa								
ID do PT	Tamanho do circuito (m)	Variação da tensão ( $\Delta U$ %)				Qtª clientes	Qtª de VE incrementados	% VE por cargas existentes
		Actual (%)		Com VE (%)				
		$\Delta$ min%	$\Delta$ máx%	$\Delta$ min%	$\Delta$ máx%			
1	1616	-1,6	6,73	-1,52	7,99	31	7	23%
2	429	-2,18	-1,87	-1,17	0,24	15	30	200%
3	333	-2,41	-1,99	-2,17	-0,89	9	18	200%
4	1187	-2,25	6,3	-2,19	7,97	20	7	35%
5	331	-2,38	-2,09	-1,91	0,03	16	32	200%
6	423	-1,63	-0,6	1,32	5,64	40	75	188%
7	1452	-2,2	1,8	-1,61	6,19	45	68	151%
8	110	-2,42	-2,29	-2,23	-1,49	12	24	200%
9	353	-1,82	-0,75	-1,49	0,02	5	10	200%
10	1986	-0,36	7,9	***	***	31	0	0%
11	513	-1,46	-0,8	2,82	6,16	51	102	200%
12	794	-1,99	3,68	-1,98	8	14	3	21%
13	392	-1,3	-0,85	1,08	2,22	33	66	200%
14	708	-2,45	2,03	-2,39	5,47	8	16	200%
15	184	-2,04	-1,82	-1,61	-0,88	4	8	200%
16	2668	-2,04	6,89	-1,96	7,94	33	3	9%
17	274	-2,03	-1,87	-0,55	0,01	8	16	200%
18	436	-2,33	-1,65	-1,98	-0,78	20	40	200%
19	1448	-1,62	6,79	-1,49	7,96	55	6	11%
20	1351	-2,21	8,01	***	***	26	0	0%
21	1850	-1,95	4,38	-1,66	7,98	60	20	33%
22	637	-1,5	-0,28	-0,32	2,94	17	34	200%
23	1884	-2,33	8	***	***	36	0	0%
24	1446	-2,21	6,68	-2,16	7,98	34	5	15%
25	1804	-2,28	8	***	***	46	0	0%
26	750	-2,03	-1,47	-0,49	2,23	15	30	200%
27	1413	-2,47	2,37	-2,43	7,99	35	18	51%
28	108	-2,44	-2,36	-2,22	-1,78	3	6	200%
29	251	-1,98	-1,15	-1,17	0,59	28	56	200%
30	232	-2,35	-1,62	-2,23	-1,4	11	22	200%
<b>Média</b>	<b>912</b>	<b>-2</b>	<b>2</b>	<b>-1</b>	<b>3</b>	<b>25</b>	<b>&gt;24</b>	<b>&gt;95%</b>

A Tabela 70 apresenta um resumo da estatística da cablagem existente nos circuitos dos PT's de CB estudados. A tabela apresenta o comprimento por secção, relativa a cabos do tipo: cobre nu; XS; XV; LXS; VV; VAV; LVAV e LSVAV. Tal como nos outros PT's os cabos mais representativos são os de secção igual ou inferior a 16mm<sup>2</sup>, que são os cabos das baixadas dos clientes e que neste caso são na sua maioria do tipo LSVAV 4x16, em relação ao troço principal do circuito verifica-se que existe um maior equilíbrio entre as secções de 25, 50, 70, e 95mm<sup>2</sup>, este equilíbrio ajuda a justificar a maior capacidade deste tipo de circuito em receber mais cargas.

Tabela 70 – Quadro resumo das secções dos circuitos de CB estudados

<b>Cablagem de 30 circuitos de PT's CB</b>		
<b>Secção mm2</b>	<b>Comprimento dos troços</b>	
	<b>m</b>	<b>%</b>
<b>até 16</b>	11 711	43,4%
<b>4x25</b>	3 258	12,1%
<b>4x35</b>	602	2,2%
<b>4x50</b>	2 762	10,2%
<b>4x70</b>	3 583	13,3%
<b>4x95</b>	3 523	13,1%
<b>3x150+70</b>	489	1,8%
<b>3x185+95</b>	1 033	3,8%
<b>Total</b>	26 961	100%

Considerando os resultados obtidos da Tabela 69 e a informação da Tabela 70 é possível criar um circuito modelo, referente aos circuitos dos PT's de CB. A Tabela 71 apresenta as principais características desse circuito. Pelo circuito modelo pode-se verificar que os circuitos dos PT's de CB são os mais curtos e com menores quedas de tensão.

Tabela 71 – Características dum modelo de circuito de CB

<b>Circuito modelo CB</b>		
<b>Nº médio de clientes</b>	<b>25</b>	
<b><math>\Delta</math> máx tensão%</b>	<b>2,00%</b>	
<b>Comprimento médio</b>	<b>912m</b>	
<b>Secção mm2</b>	<b>Comprimento dos troços</b>	
	<b>%</b>	<b>m</b>
<b>até 16</b>	43,4%	396
<b>4x25</b>	12,1%	110
<b>4x35</b>	2,2%	20
<b>4x50</b>	10,2%	93
<b>4x70</b>	13,3%	121
<b>4x95</b>	13,1%	119
<b>3x150+70</b>	1,8%	16
<b>3x185+95</b>	3,8%	35
<b>Total</b>	100,0%	912

Tendo em conta os resultados obtidos da Tabela 69 e Tabela 71, não existe a necessidade de testar o circuito modelo com a micro-produção, pois pelos valores médios observados, estes circuitos têm capacidade para suportar o dobro das cargas, e apesar das cargas de VE incrementadas na rede, esta apenas atingiu uma variação máxima de tensão na ordem dos 2%, ficando assim distante dos 8%.

# 7 Conclusões

## 7.1 Análise conclusiva dos cenários apresentados

Dos três cenários propostos verifica-se que a potência instalada na rede consegue aguentar a demanda de VE da previsão pessimista e da previsão mediana, se o carregamento for controlado com o incentivo ao carregamento no período de ‘vazio’, para o caso de o carregamento não ser controlado verifica-se, para ambos os casos, que em 2030 alguns concelhos já não possuem capacidade suficiente de potência instalada.

Tendo em conta o cenário mais optimista, e que apresenta o dobro da previsão do PA de VE em 2030 em relação à previsão mais pessimista, este demonstra que a capacidade de potência instalada não será suficiente até ao final da década, sendo mesmo necessário um reforço da potência até ao final do ano de 2024, isto se o carregamento não for controlado, para o caso do carregamento controlado será possível adiar esse aumento de potência por mais dois anos.

## 7.2 Análise conclusiva das quedas de tensão

Pelo estudo feito, às quedas de tensão nos cem circuitos, é agora possível tirar algumas conclusões relevantes, que ajudam a perceber o impacto que a demanda de VE terá sobre a rede de BT.

Conforme é possível observar pelo estudo realizado, existem características na rede de BT que a torna diferenciável. Verificou-se que existe uma diferença relevante dos circuitos, de acordo com o tipo construtivo dos seus respectivos PT's. Dos quatro tipos de PT's estudados verifica-se que os PT's de CB são os que estão com melhor capacidade para receber a demanda dos VE. Os PT's do tipo de CA são os que estão mais sobrecarregados e consequentemente o aumento dos VE irá provocar mais impacto sobre eles. Quanto aos PT's do tipo AS e AI, este também não apresentam grande capacidade para receber novas cargas.

Foi possível verificar, através das simulações com os circuitos modelos, que as unidades de micro-produção fotovoltaica inseridas no circuito, são uma mais valia para a estrutura do circuito existente, pois ajudam a repor o equilíbrio da tensão na rede e capacitam a rede existente para receber mais VE.

### **7.3 Perspectivas futuras**

O incentivo ao carregamento no horário de ‘vazio’ só compensa até ao ponto em que a energia consumida nesse horário for inferior à energia consumida no horário ‘fora do vazio’. Haverá um tempo em que o período de ‘vazio’ e o período ‘fora do vazio’ terão a mesma potência de ponta e a partir daí não fará mais sentido o incentivo o carregamento no período horário do ‘vazio’.

Foi possível verificar que a micro-produção fotovoltaica é uma óptima coadjuvante da rede para suportar a demanda dos VE, talvez no futuro seja incentivada a instalação de coberturas fotovoltaicas, em parque de estacionamento, nomeadamente em zonas industriais e até mesmo nos parques dos hipermercados, como já acontece em alguns casos. As zonas industriais concentram uma relativa quantidade de veículos durante o dia, tempo do qual, boa parte desses futuros VE, poderão estar em carregamento fotovoltaico sem que isso sobrecarregue a rede. Essa visão do carregamento diurno com recurso à energia fotovoltaica fará ainda mais sentido quando o carregamento no horário de ‘vazio’ se aproximar da energia consumida no horário ‘fora do vazio’.

Actualmente, na área estudada, a EDP Distribuição tem vindo a reforçar a rede, com cabos de secção de 95mm<sup>2</sup> e sempre que possível, os circuitos são reconfigurados distribuindo as cargas pelos PT’s de forma mais equitativa. A continuidade destas acções irá permitir a redução das quedas de tensão na rede.

Este estudo permitiu verificar que é necessário começar já nesta década a preparar a rede de BT para o crescente aumento dos VE, para que num futuro próximo, os VE sejam uma verdadeira realidade no nosso país.

## *Referências Bibliográficas*

### Referências

- [1] L. Fereguetti, “Engenharia 360,” 4 Junho 2019. [Online]. Available: <https://engenharia360.com/carro-eletrico-historia/>.
- [2] “EDP distribuição,” [Online]. Available: <https://www.edpdistribuição.pt/pt-pt/redes-do-futuro/mobilidade-eletrica/veiculos-eletricos>. [Acedido em 06 Abril 2020].
- [3] “UVE,” [Online]. Available: <https://www.uve.pt/page/2334-2/>. [Acedido em 10 Maio 2020].
- [4] A. Goren, C. Costa e S. Lanceros-Méndez, “SPF,” Sociedade Portuguesa da Física, [Online]. Available: <https://www.spf.pt/magazines/GFIS/390/article/1079/pdf>. [Acedido em 14 Maio 2020].
- [5] “Wattson,” [Online]. Available: <https://www.wattson.pt/2018/10/05/os-segredos-para-as-baterias-dos-veiculos-eletricos-terem-uma-vida-longa/>. [Acedido em 18 Maio 2020].
- [6] “Portal Energia,” [Online]. Available: <https://www.portal-energia.com/carros-eletricos-agua-salgada/>. [Acedido em 14 Maio 2020].
- [7] “IMT,” IMT; Estatísticas dos Transportes e Comunicações - INE, [Online]. Available: [http://www.imt-ip.pt/sites/IMTT/Portugues/Observatorio/Estatisticas/OutrasInformacoes/Documents/2019/Parque\\_circ\\_tipo\\_ve%C3%ADculo.pdf](http://www.imt-ip.pt/sites/IMTT/Portugues/Observatorio/Estatisticas/OutrasInformacoes/Documents/2019/Parque_circ_tipo_ve%C3%ADculo.pdf). [Acedido em 14 Abril 2020].
- [8] ARAN, “Associação Nacional do ramo Automóvel,” [Online]. Available: <https://aran.pt/pt/estatisticas/comparativo-anos-anteriores/volume-de-vendas-2000-a-2017>. [Acedido em 2 Julho 2020].

- [9] Associação de Utilizadores de Veículos Eléctricos, “UVE,” [Online]. Available: <https://www.uve.pt/page/vendas-fevereiro-2020/#more-19610>. [Acedido em 15 Abril 2020].
- [10] ACAP, “fleetmagazine,” [Online]. Available: <http://fleetmagazine.pt/wp-content/uploads/2019/02/ACAP-Balan%C3%A7o-2018-Mercado-Autom%C3%B3vel-Portugal-e-Europa.pdf>. [Acedido em 17 Abril 2020].
- [11] C. Byrne e P. Pedro, “Crescimento Sustentável,” [Online]. Available: [https://mail.crescimentosustentavel.org/media/Vencer\\_desafio\\_mobilidade\\_eletrica.pdf](https://mail.crescimentosustentavel.org/media/Vencer_desafio_mobilidade_eletrica.pdf). [Acedido em 17 Abril 2020].
- [12] “MOTOR24 futuro em movimento,” 03 01 2020. [Online]. Available: <https://www.motor24.pt/noticias/mercado-de-automoveis-eletricos-cai-164-em-2019/784388/>. [Acedido em 3 Julho 2020].
- [13] B. Silva, “Dinheiro Vivo,” 20 Maio 2019. [Online]. Available: <https://www.dinheirovivo.pt/economia/portugal-e-campeao-na-venda-de-carros-eletricos-mas-falta-rede-de-carregamento/>. [Acedido em 17 Abril 2020].
- [14] P. Curvelo, 15 Abril 2019. [Online]. Available: <https://www.jornaldenegocios.pt/empresas/automovel/detalhe/portugal-ja-tem-cerca-de-12-mil-carros-eletricos>. [Acedido em 17 Abril 2020].
- [15] DGEG, “Apresentação Plano Nacional Integrado Energia-Clima,” *PNEC 2030*, pp. 21-39, 28 Janeiro 2019.
- [16] “epochtimes,” 22 Maio 2018. [Online]. Available: <https://www.epochtimes.com.br/china-tenta-controlar-suprimento-global-de-litio/>. [Acedido em 11 Julho 2020].
- [17] “Portal energia,” 3 Dezembro 2019. [Online]. Available: <https://www.portal-energia.com/precos-carros-eletricos-chineses-europa-148125/>. [Acedido em 11 Julho 2020].

- [18] “4gnews,” [Online]. Available: <https://4gnews.pt/carros-eletricos-mais-vendidos-portugal/>. [Acedido em 20 Abril 2020].
- [19] “SAPO,” 20 Abril 2020. [Online]. Available: [https://www.sapo.pt/noticias/motores/novo-nissan-leaf-mais-tecnologia-autonomia-e-\\_59b029e0d8f0d58846a4ffa3](https://www.sapo.pt/noticias/motores/novo-nissan-leaf-mais-tecnologia-autonomia-e-_59b029e0d8f0d58846a4ffa3) .
- [20] “Nissan,” [Online]. Available: <https://www.nissan.pt/veiculos/novos-veiculos/leaf/dimensoes-especificacoes.html>. [Acedido em 20 Abril 2020].
- [21] “Tesla,” [Online]. Available: [https://www.tesla.com/pt\\_pt/model3](https://www.tesla.com/pt_pt/model3). [Acedido em 20 Abril 2020].
- [22] “Visao,” [Online]. Available: <https://visao.sapo.pt/exameinformatica/noticias-ei/hardware/2019-12-03-musk-aerodinamica-da-cybertruck-pode-ser-de-loucos/>. [Acedido em 20 Abril 2020].
- [23] “Ultimatepeças,” [Online]. Available: <https://www.ultimatespecs.com/pt/car-specs/Tesla/106026/Tesla-Model-3-Standard.html>. [Acedido em 20 Abril 2020].
- [24] “Wattson,” [Online]. Available: <https://www.wattson.pt/carros/tesla-model-3-long-range-dual-motor/>. [Acedido em 20 Abril 2020].
- [25] “Renault,” [Online]. Available: <https://www.renault.com.br/veiculos/veiculos-eletricos/renault-zoe/ficha-tecnica.html>. [Acedido em 20 Abril 2020].
- [26] “egear,” [Online]. Available: <https://www.egear.pt/renault-zoe/>. [Acedido em 20 Abril 2020].
- [27] “Veículos Eléctricos,” [Online]. Available: <http://www.veiculoseletricospt.com/renault-zoe-zero-emissoes/>. [Acedido em 20 Abril 2020].

- [28] P. Oliveira, “Elementos de Cinemática e Dinâmica Aut móvel,” Março 2018. [Online]. Available: <http://docplayer.com.br/123794590-Elementos-de-cinematica-e-dinamica-aut-movel.html>. [Acedido em 10 Junho 2020].
- [29] N. Gomes, *Forças que actuam nos veículos eléctricos*, Porto: ISEP, 2019.
- [30] “REN,” [Online]. Available: <http://www.mercado.ren.pt/PT/Electr/ActServ/AcessoRedes/CaractRNT//BibRelAno/CaracterizacaoRNT2019.pdf>. [Acedido em 21 Julho 2020].
- [31] “ERSE,” [Online]. Available: <https://www.erse.pt/media/ny2pbr1r/atividades-de-distribui%C3%A7%C3%A3o-e-de-comercializa%C3%A7%C3%A3o-de-eletricidade.pdf>. [Acedido em 22 Julho 2020].
- [32] “EDP Distribuição,” [Online]. Available: <https://www.edpdistribuicao.pt/sites/edd/files/2020-04/EDP%20Distribui%C3%A7%C3%A3o%20em%20N%C3%BAmeros%20PT.pdf>. [Acedido em 22 Julho 2020].
- [33] “ERSE,” [Online]. Available: <https://www.erse.pt/atividade/regulacao/tarifas-e-precos-eletricidade/#periodos-horarios>. [Acedido em 9 Junho 2020].
- [34] “ERSE,” [Online]. Available: <https://www.erse.pt/media/s0wh5zf0/periodoshorariosele.pdf>. [Acedido em 09 06 2020].
- [35] “REn,” Março 2020. [Online]. Available: [https://www.ren.pt/files/2020-03/2020-03-18154245\\_7a820a40-3b49-417f-a962-6c4d7f037353\\$\\$7319a1b4-3b92-4c81-98d7-fea4bfefafcd\\$\\$c420186c-2e35-40f7-b97f-3bed85666f61\\$\\$File\\$\\$pt\\$\\$1.pdf](https://www.ren.pt/files/2020-03/2020-03-18154245_7a820a40-3b49-417f-a962-6c4d7f037353$$7319a1b4-3b92-4c81-98d7-fea4bfefafcd$$c420186c-2e35-40f7-b97f-3bed85666f61$$File$$pt$$1.pdf). [Acedido em 17 Agosto 2020].
- [36] “PORDATA,” [Online]. Available: <https://www.pordata.pt/Municipios/Popula%C3%A7%C3%A3o+residente++estimativas+a+a+31+de+Dezembro+total+e+por+grupo+et%C3%A1rio-137>. [Acedido em 15 Abril 2020].

- [37] “Instituto Nacional de Estatística,” [Online]. Available: [https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_indicadores&indOcorrCod=0008273&xlang=pt](https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0008273&xlang=pt). [Acedido em 13 Agosto 2020].
- [38] LUSA, “Venda de carros eléctricos em queda,” *Expresso*, n° <https://expresso.pt/economia/2020-01-03-Venda-de-carros-eletricos-em-queda,2020>.
- [39] “APREN,” [Online]. Available: <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/producao>. [Acedido em 20 Julho 2020].
- [40] J. P. Silva, “teses.usp.br,” [Online]. Available: [https://teses.usp.br/index.php?option=com\\_jumi&fileid=17&Itemid=160&id=57A76ADF89C5&lang=pt-br](https://teses.usp.br/index.php?option=com_jumi&fileid=17&Itemid=160&id=57A76ADF89C5&lang=pt-br). [Acedido em 23 Julho 2020].
- [41] J. Peças Lopes, F. Soares e P. Almeida, “Integração dos veículos eléctricos no sistema eléctrico de energia,” p. 16, 1 Janeiro 2011.
- [42] “ISE UALG,” [Online]. Available: <https://ise.ualg.pt/sites/ualg.pt/files/ise/Electrica/qenergia.pdf>. [Acedido em 25 Agosto 2020].
- [43] “edpdistribuição,” [Online]. Available: <https://www.edpdistribuicao.pt/sites/edd/files/2019-02/RegulamentoQualidadeServico.pdf>. [Acedido em 25 Agosto 2020].



# Anexos

**Anexo A** – PT AS

**Anexo B** – PT AI

**Anexo C** – PT Cabine Alta

**Anexo D** – PT Cabine Baixa

**Anexo E** – Potência horária de um dia típico (15/01/2019)

**Anexo F** – Diagramas de carga por concelho

**Anexo G** – Circuitos de PT's AS com cargas de VE

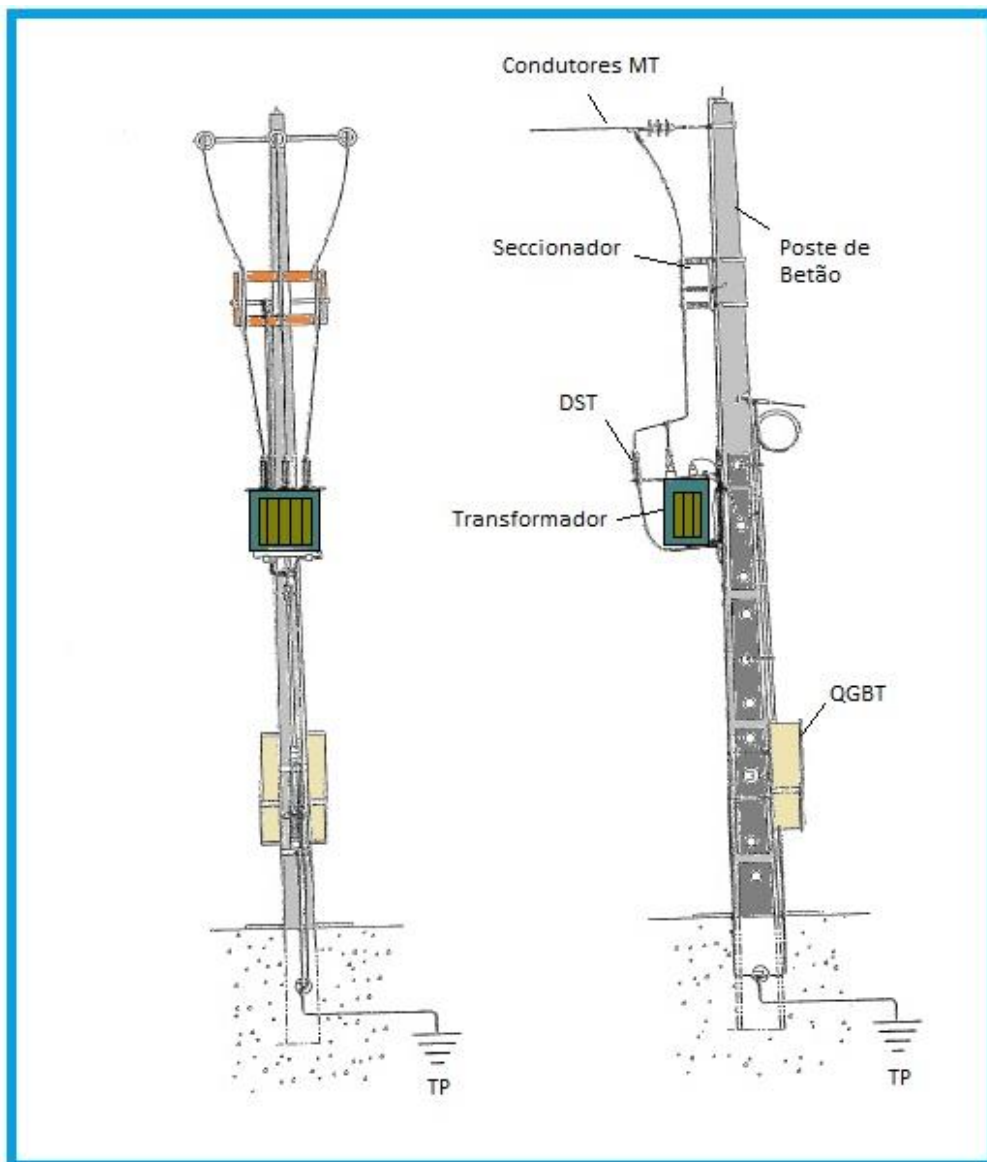
**Anexo H** – Circuitos de PT's AI com cargas de VE

**Anexo I** – Circuitos de PT's de CA com cargas de VE

**Anexo J** – Circuitos de PT's de CB com cargas de VE

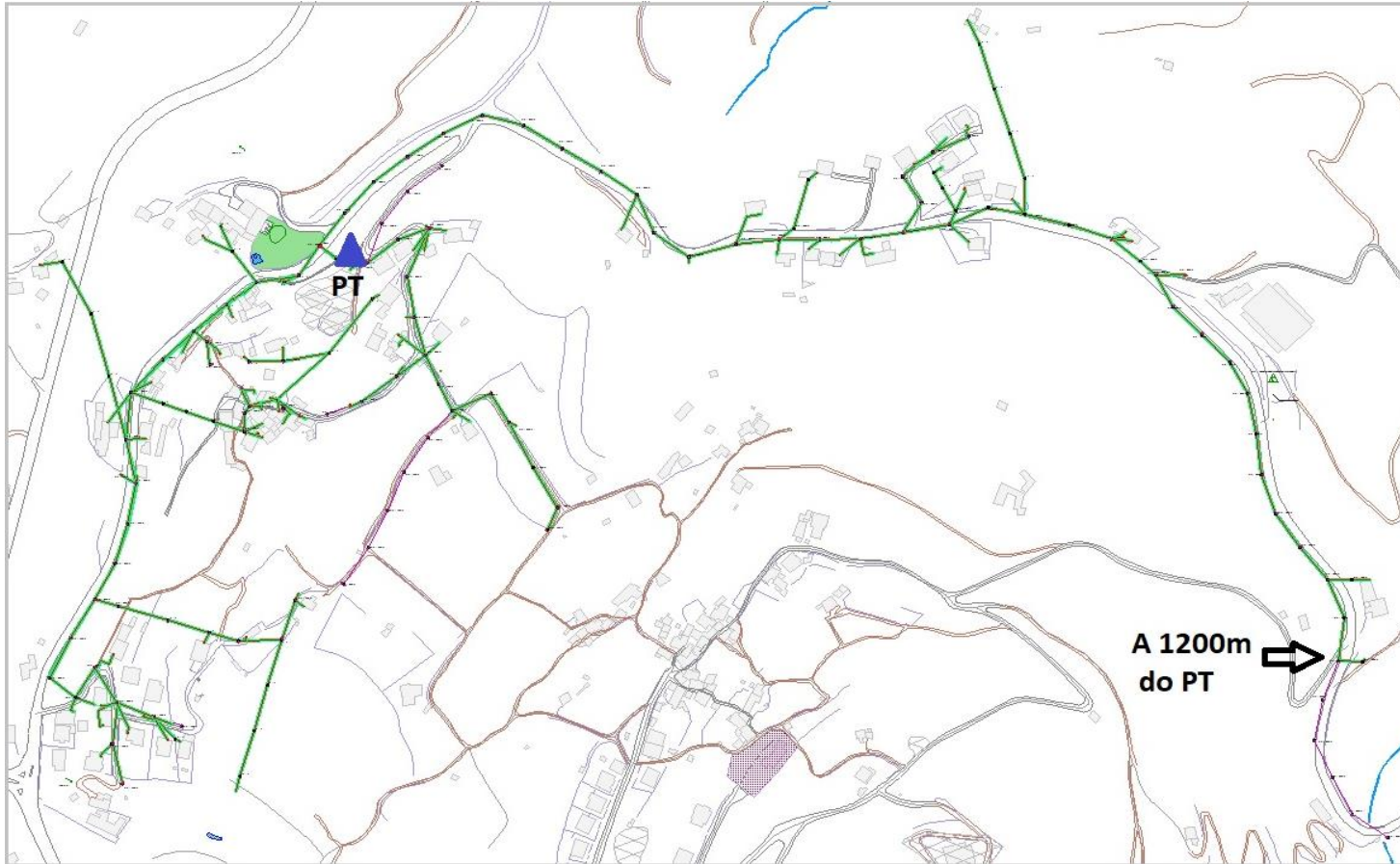
# Anexo A

Esquema dum PT AS



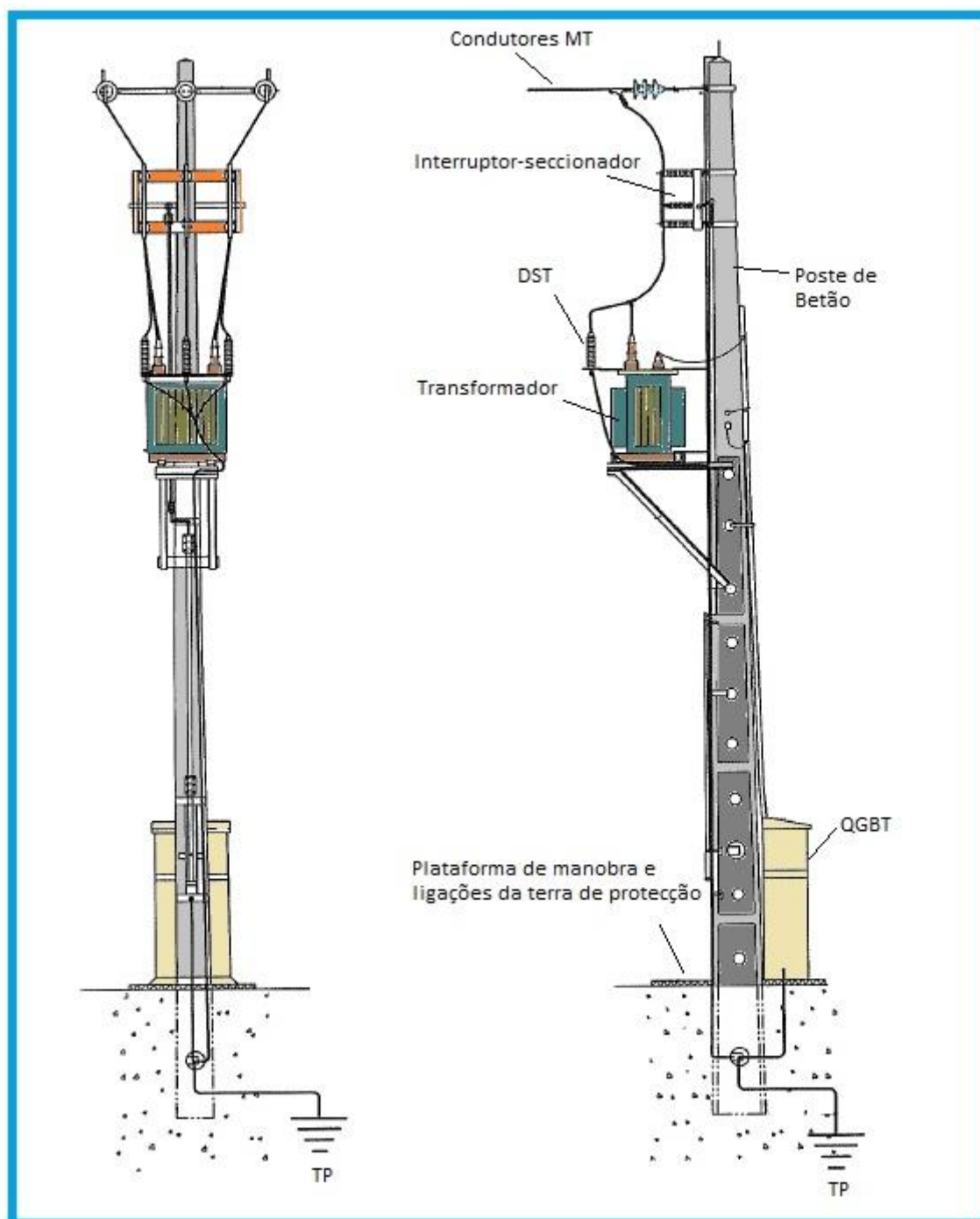
## Anexo A

Exemplo do circuito da rede dum PT AS



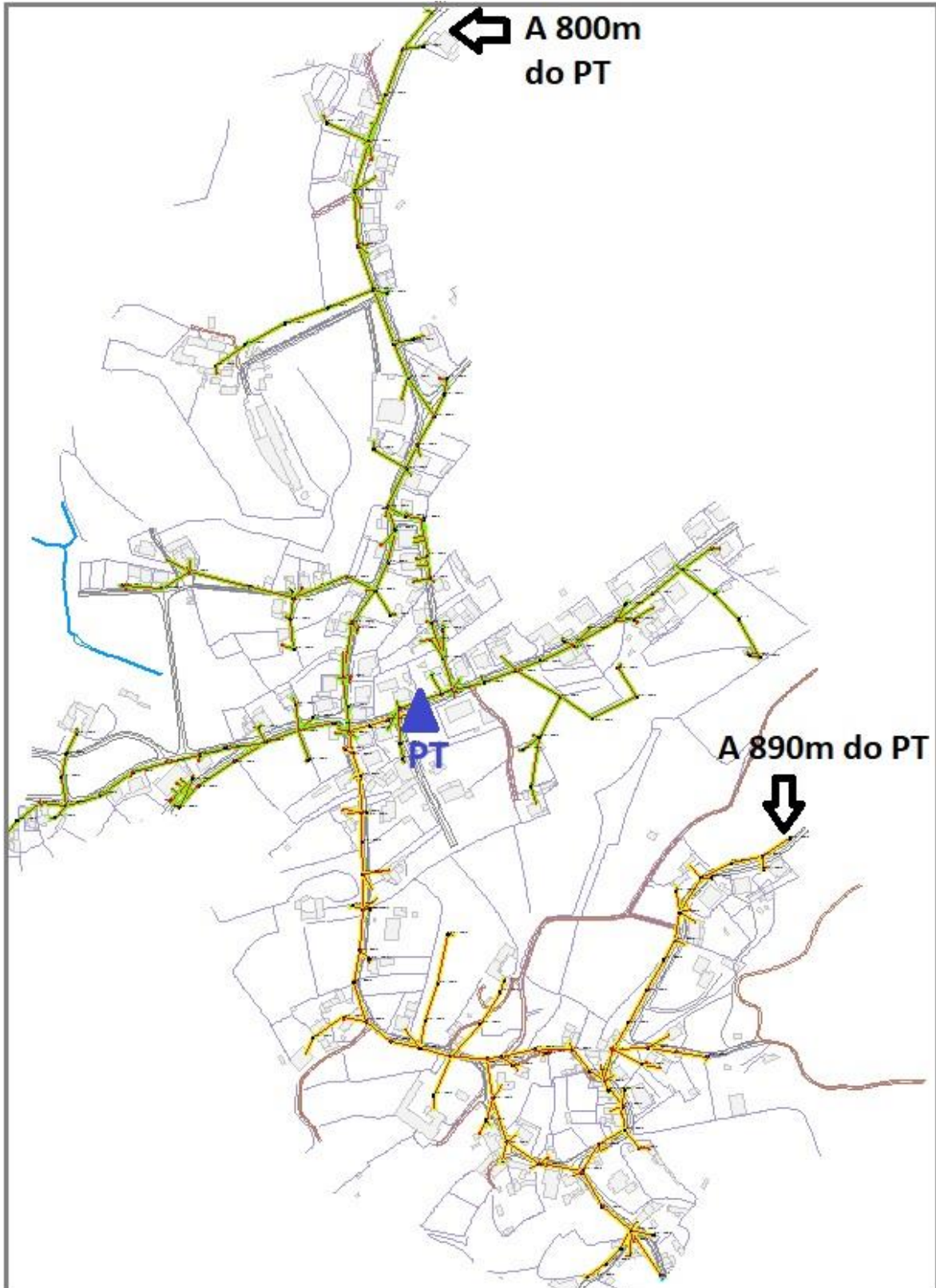
## Anexo B

Esquema dum PT AI



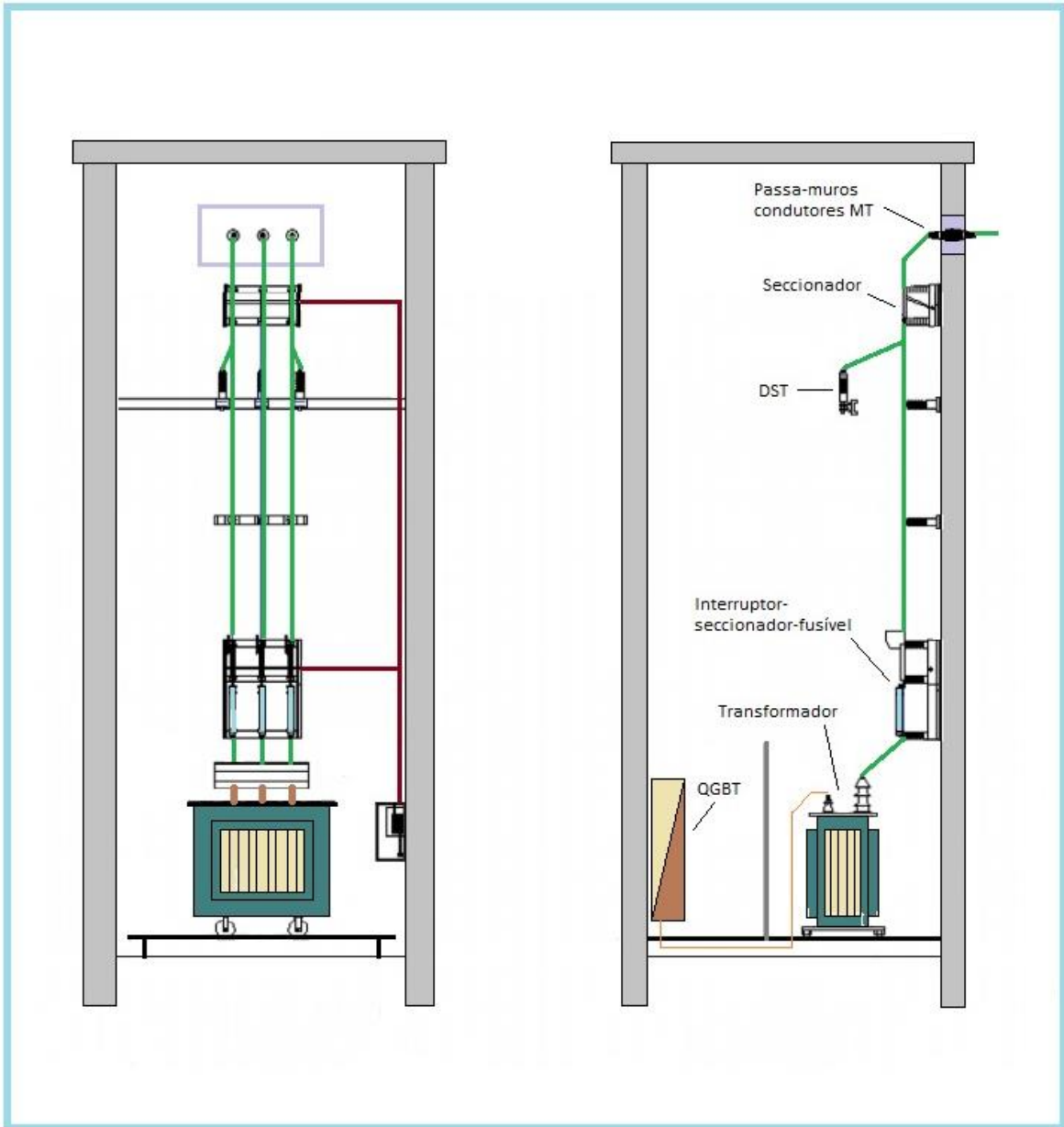
## Anexo B

Exemplo dos circuitos da rede dum PT AI



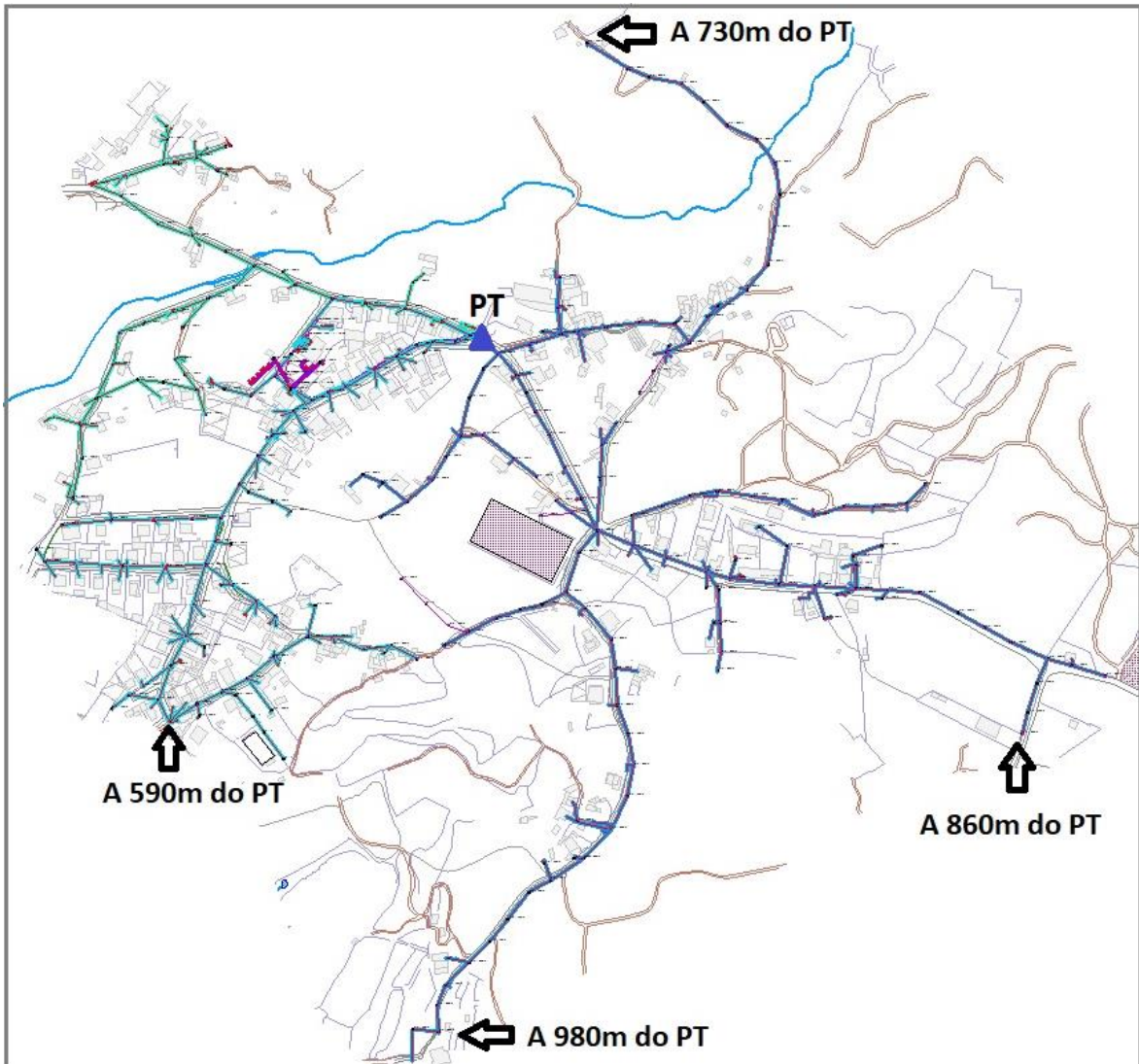
# Anexo C

Esquema dum PT Cabine Alta



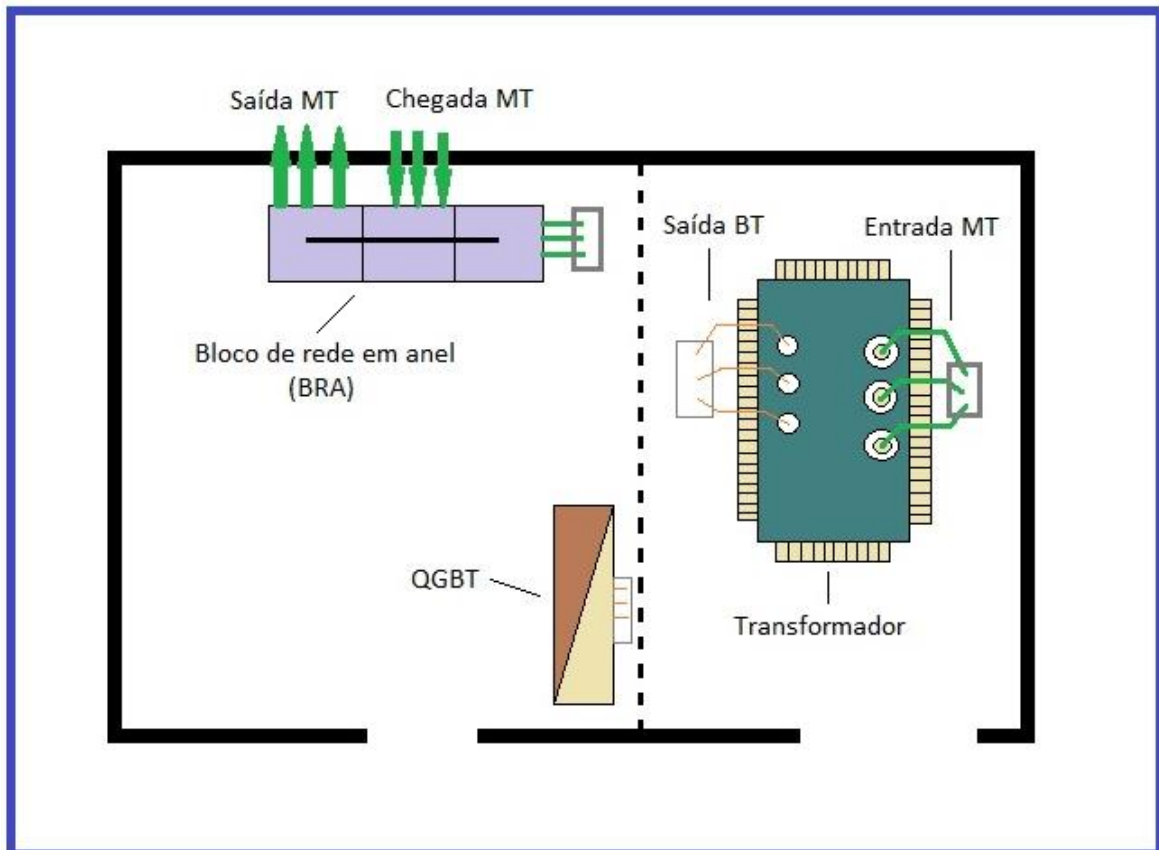
## Anexo C

Exemplo dos circuitos da rede dum PT Cabine Alta



## Anexo D

Vista de cima, dum exemplo de PT Cabine Baixa



## Anexo D

Exemplo dos circuitos da rede dum PT Cabine Baixa



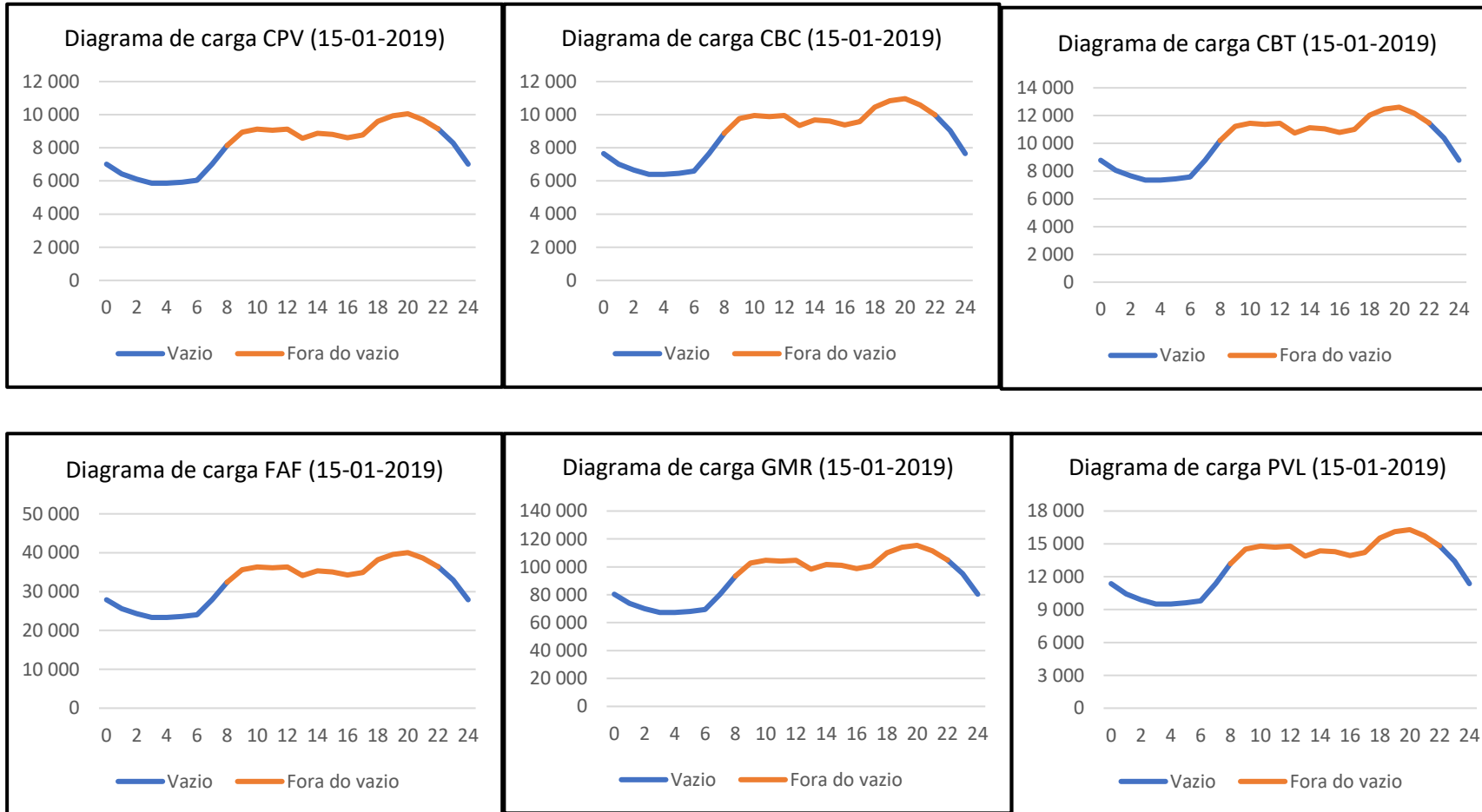
## Anexo E

### Potência horária de um dia típico (15/01/2019)

Potência horária durante as 24h do dia 15/01/2019 (kW) (Pot.x=Pot.ponta*β)																					
		CPV	CBC	CBT	FAF	GMR	PVL	VRM	VNF	VIZ	AMT	BAO	FLG	LSD	MCN	PFR	PRD	PNF	MDB	CNF	RSD
	<b>Pot. Inst.</b>	24 100	26 103	29 975	88 711	280 295	35 118	23 243	199 080	33 435	73 798	25 640	88 050	72 835	83 600	101 375	110 210	99 600	12 485	23 980	12 310
	<b>Pot. Ponta</b>	10 055	10 968	12 605	40 022	115 396	16 296	9 138	88 544	18 031	40 828	12 720	49 395	35 516	40 657	46 845	53 739	51 915	5 662	12 717	6 921
<b>β</b>	<b>Horas</b>																				
<b>0,70</b>	<b>0</b>	7 009	7 646	8 787	27900	80444	11360	6370	61725	12570	28462	8867	34434	24759	28342	32656	37462	36190	3947	8865	4825
<b>0,64</b>	<b>1</b>	6 428	7 012	8 058	25586	73773	10418	5842	56607	11527	26102	8132	31579	22706	25992	29948	34356	33190	3620	8130	4425
<b>0,61</b>	<b>2</b>	6 103	6 657	7 650	24291	70038	9891	5546	53741	10944	24780	7720	29980	21556	24676	28432	32616	31509	3436	7718	4201
<b>0,58</b>	<b>3</b>	5 866	6 398	7 353	23347	67317	9506	5331	51652	10518	23817	7420	28815	20718	23717	27327	31349	30285	3303	7418	4037
<b>0,58</b>	<b>4</b>	5 866	6 398	7 353	23347	67317	9506	5331	51652	10518	23817	7420	28815	20718	23717	27327	31349	30285	3303	7418	4037
<b>0,59</b>	<b>5</b>	5 928	6 467	7 432	23597	68037	9608	5388	52205	10631	24072	7500	29123	20940	23971	27620	31684	30609	3338	7498	4081
<b>0,60</b>	<b>6</b>	6 045	6 593	7 578	24059	69371	9796	5493	53229	10839	24544	7647	29694	21351	24441	28161	32306	31209	3404	7645	4161
<b>0,70</b>	<b>7</b>	7 009	7 646	8 787	27900	80444	11360	6370	61725	12570	28462	8867	34434	24759	28342	32656	37462	36190	3947	8865	4825
<b>0,81</b>	<b>8</b>	8 137	8 876	10 201	32388	93384	13188	7395	71654	14592	33040	10294	39973	28741	32902	37909	43488	42012	4582	10291	5601
<b>0,89</b>	<b>9</b>	8 951	9 763	11 221	35627	102722	14506	8134	78820	16051	36344	11323	43970	31615	36192	41700	47837	46213	5040	11320	6161
<b>0,91</b>	<b>10</b>	9 125	9 954	11 439	36321	104724	14789	8293	80355	16363	37052	11544	44827	32231	36897	42513	48769	47114	5138	11541	6281
<b>0,90</b>	<b>11</b>	9 067	9 890	11 366	36089	104057	14695	8240	79843	16259	36816	11470	44541	32026	36662	42242	48458	46814	5106	11467	6241
<b>0,91</b>	<b>12</b>	9 125	9 954	11 439	36321	104724	14789	8293	80355	16363	37052	11544	44827	32231	36897	42513	48769	47114	5138	11541	6281
<b>0,85</b>	<b>13</b>	8 567	9 345	10 740	34100	98320	13885	7786	75442	15363	34786	10838	42086	30260	34641	39913	45787	44233	4824	10835	5897
<b>0,88</b>	<b>14</b>	8 869	9 675	11 119	35303	101789	14374	8060	78103	15905	36014	11220	43570	31328	35863	41321	47402	45793	4994	11217	6105
<b>0,88</b>	<b>15</b>	8 811	9 611	11 046	35071	101122	14280	8008	77591	15801	35778	11147	43285	31123	35628	41050	47092	45493	4962	11144	6065
<b>0,86</b>	<b>16</b>	8 602	9 383	10 783	34238	98720	13941	7817	75749	15425	34928	10882	42257	30384	34782	40075	45973	44413	4844	10879	5921
<b>0,87</b>	<b>17</b>	8 776	9 573	11 002	34932	100721	14224	7976	77284	15738	35636	11102	43114	31000	35487	40888	46905	45313	4942	11100	6041
<b>0,95</b>	<b>18</b>	9 590	10 461	12 022	38171	110060	15542	8715	84449	17197	38940	12132	47111	33874	38777	44679	51254	49514	5400	12129	6601
<b>0,99</b>	<b>19</b>	9 939	10 841	12 459	39559	114062	16108	9032	87520	17823	40356	12573	48824	35105	40187	46303	53118	51315	5597	12570	6841
<b>1,00</b>	<b>20</b>	10 055	10 968	12 605	40022	115396	16296	9138	88544	18031	40828	12720	49395	35516	40657	46845	53739	51915	5662	12717	6921
<b>0,97</b>	<b>21</b>	9 706	10 588	12 168	38634	111394	15731	8821	85473	17406	39412	12279	47682	34284	39247	45220	51875	50114	5466	12276	6681
<b>0,91</b>	<b>22</b>	9 148	9 979	11 468	36413	104990	14827	8314	80560	16405	37146	11573	44941	32313	36991	42621	48893	47234	5151	11570	6297
<b>0,82</b>	<b>23</b>	8 288	9 041	10 390	32989	95118	13432	7532	72985	14863	33654	10485	40715	29275	33513	38613	44296	42792	4667	10482	5705
<b>0,70</b>	<b>24</b>	7 009	7 646	8 787	27900	80444	11360	6370	61725	12570	28462	8867	34434	24759	28342	32656	37462	36190	3947	8865	4825

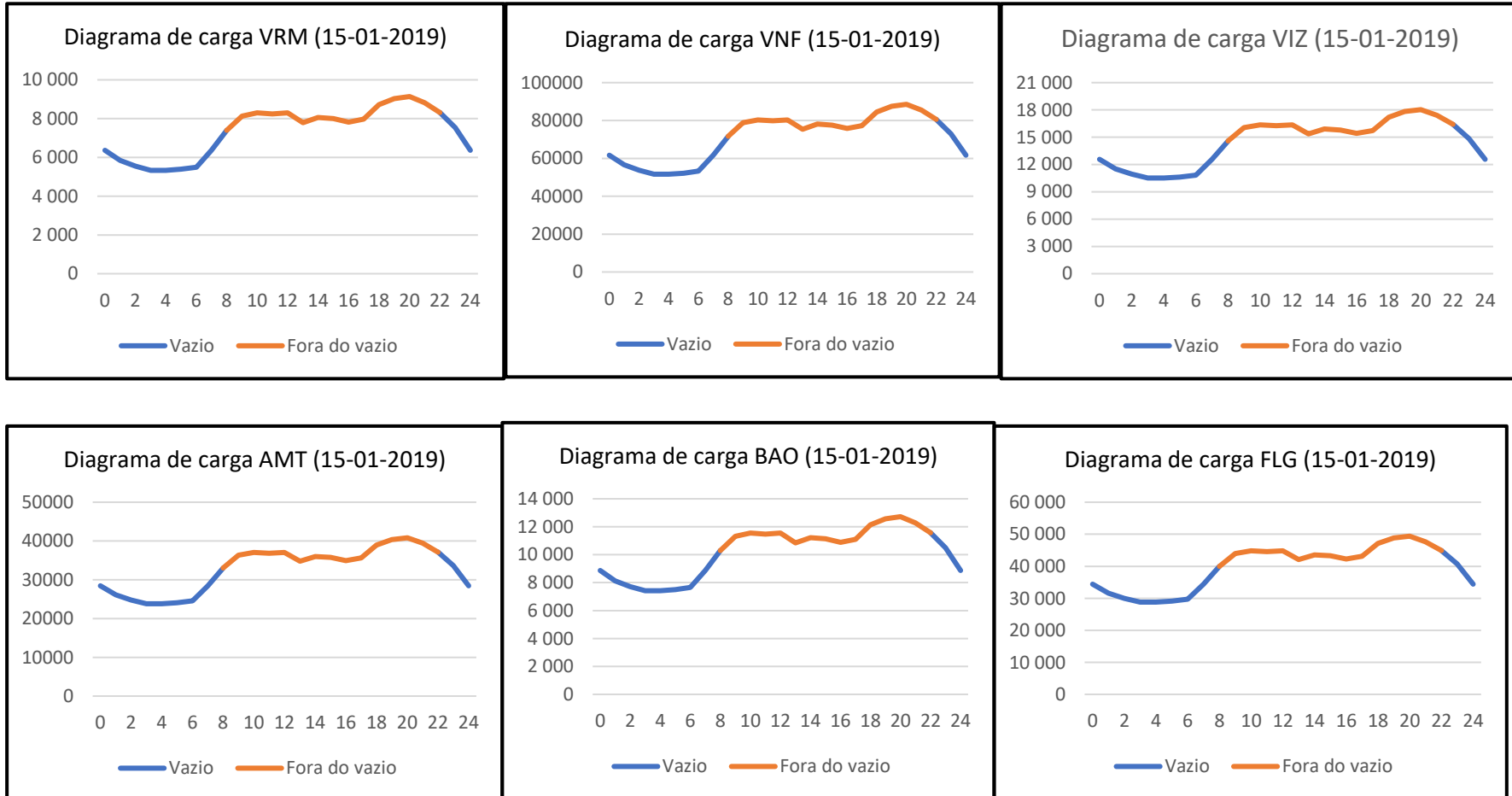
# Anexo F

## Diagramas de carga por concelho



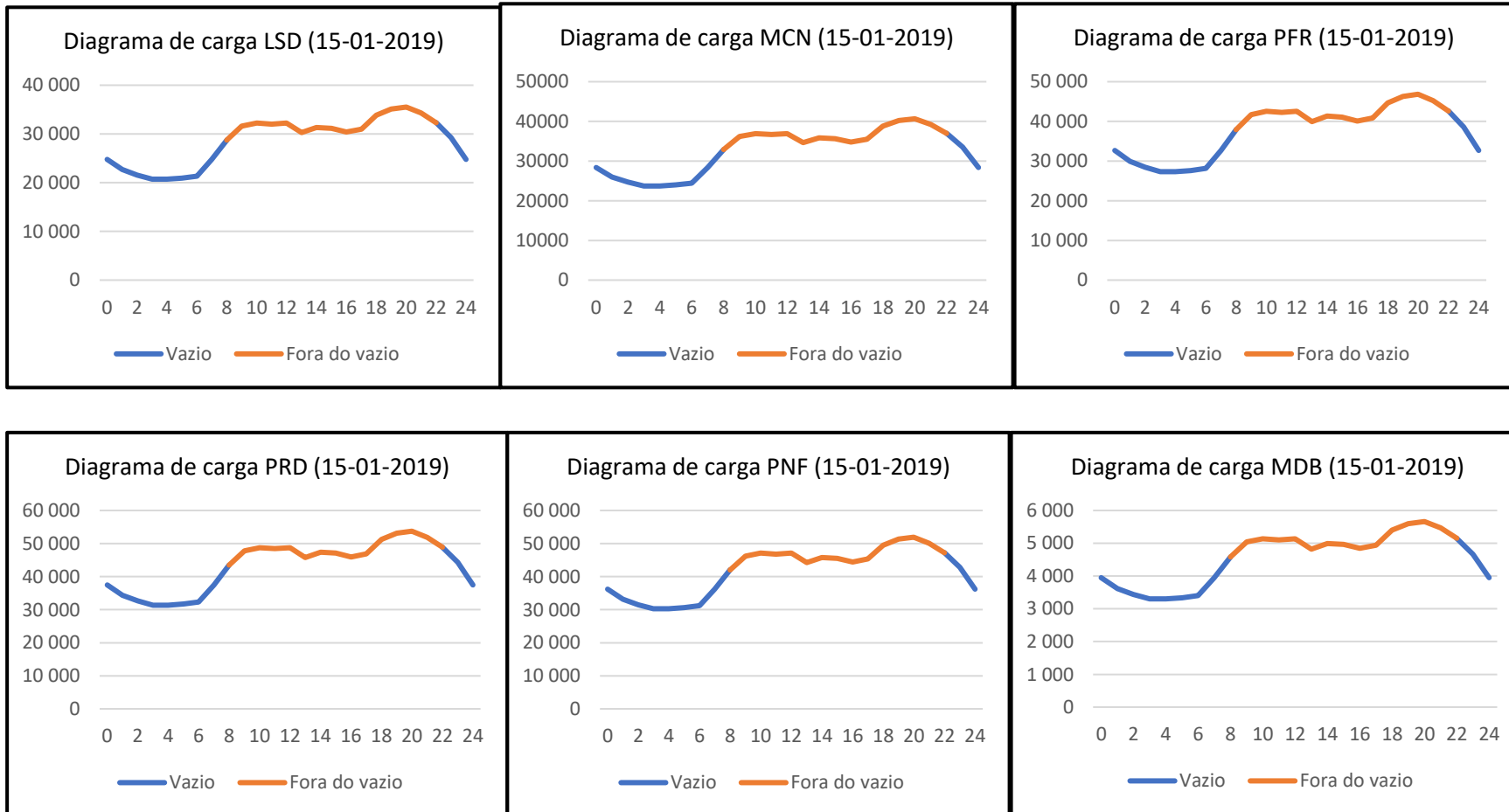
## Anexo F

### Diagramas de carga por concelho



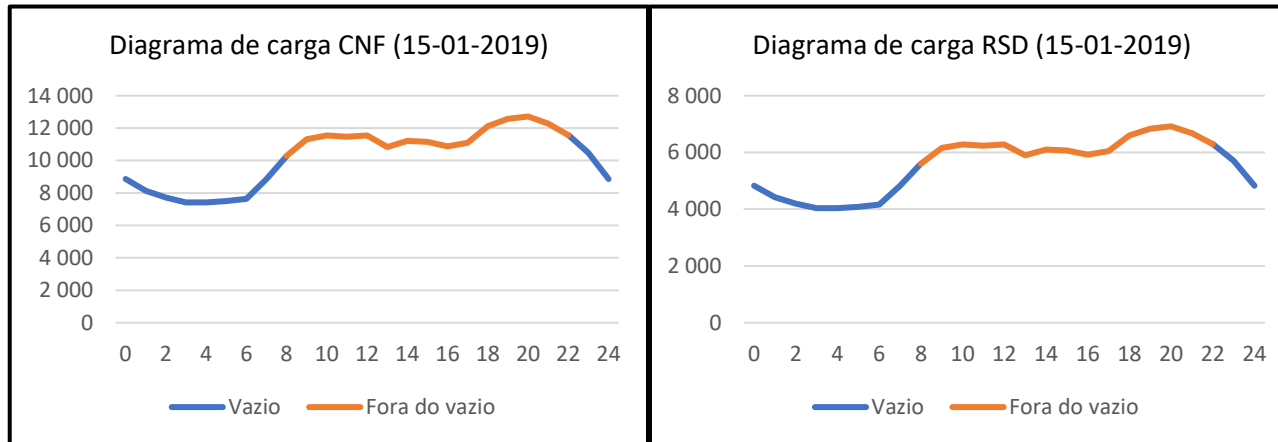
## Anexo F

### Diagramas de carga por concelho



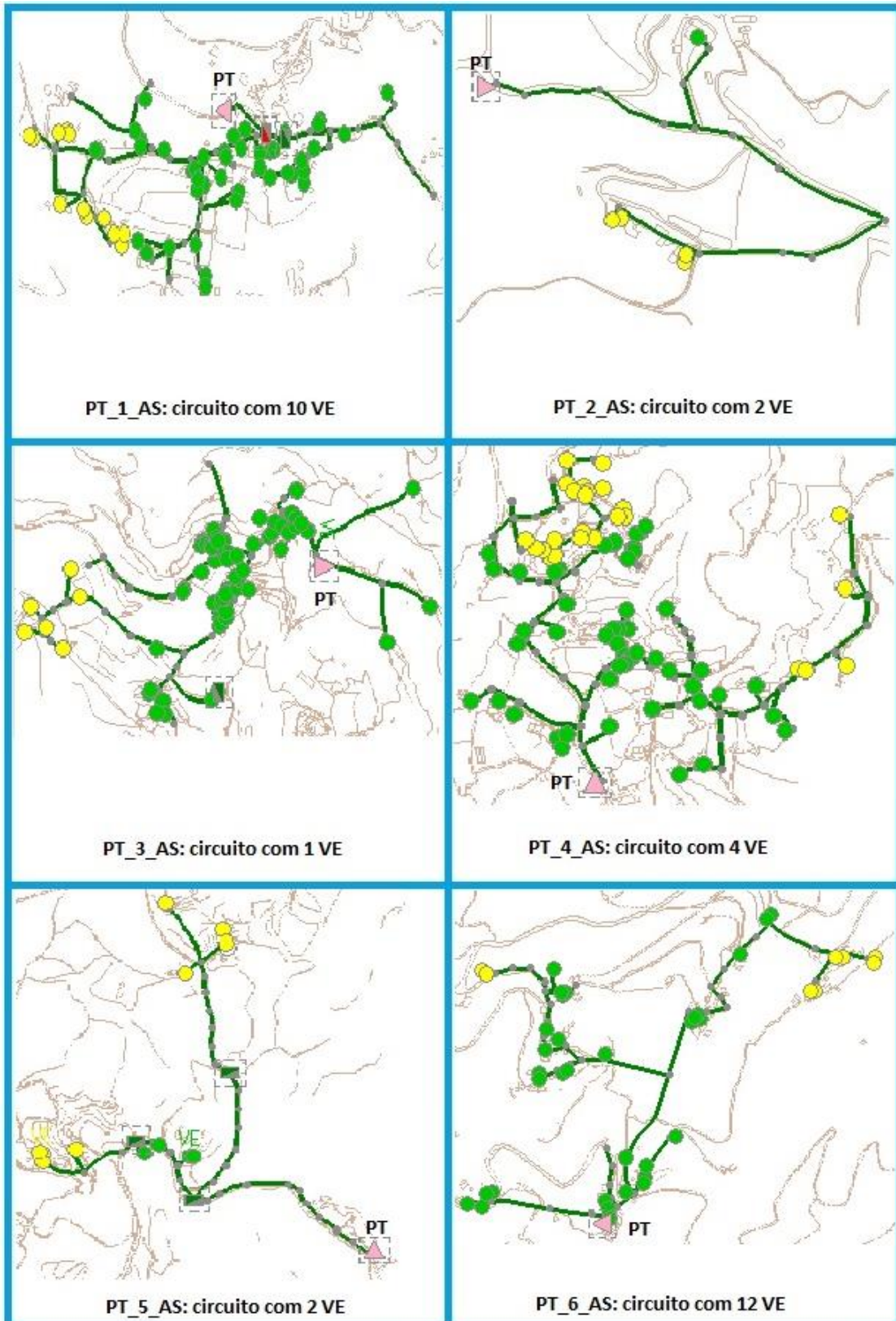
## Anexo F

### Diagramas de carga por concelho

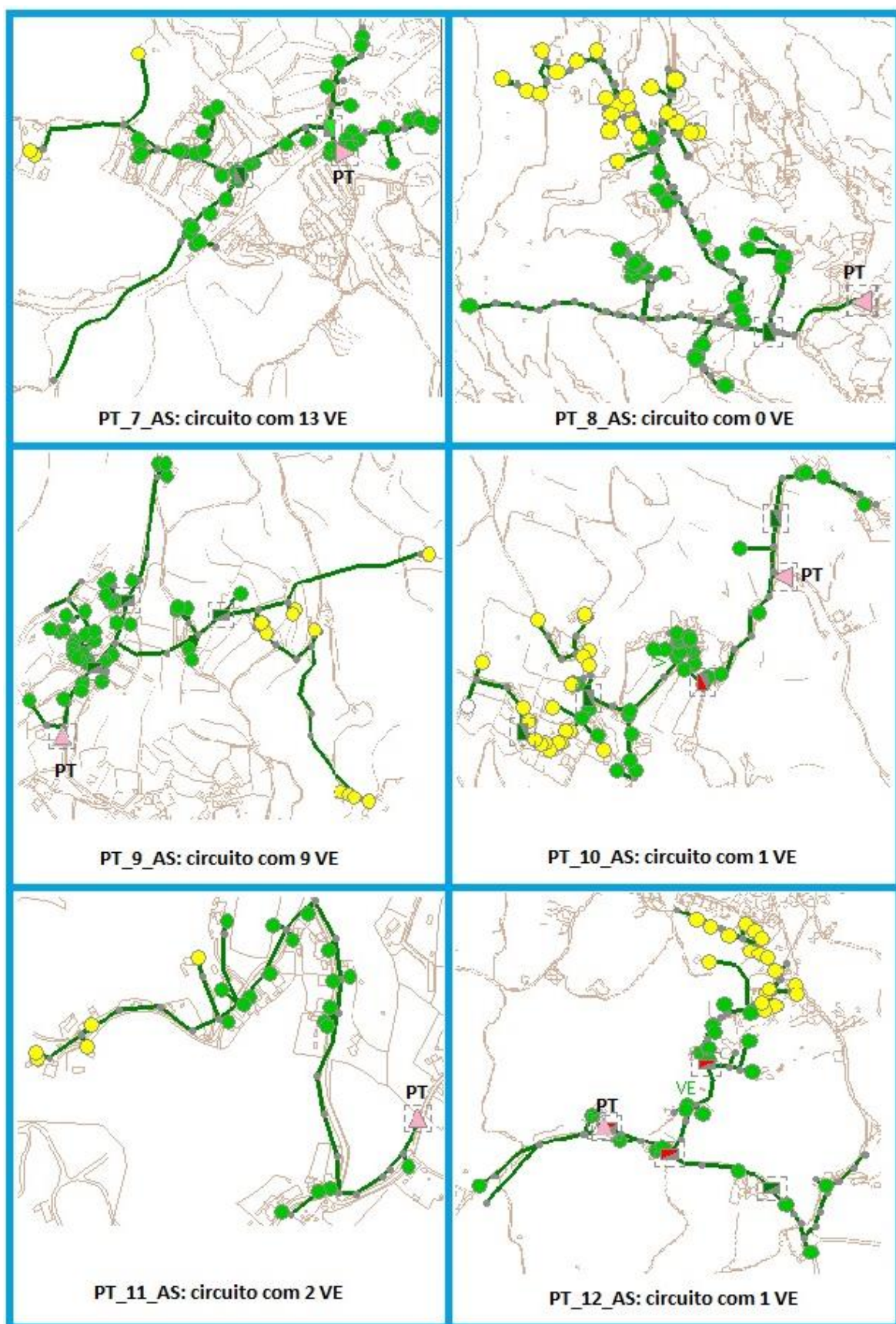


## Anexo G

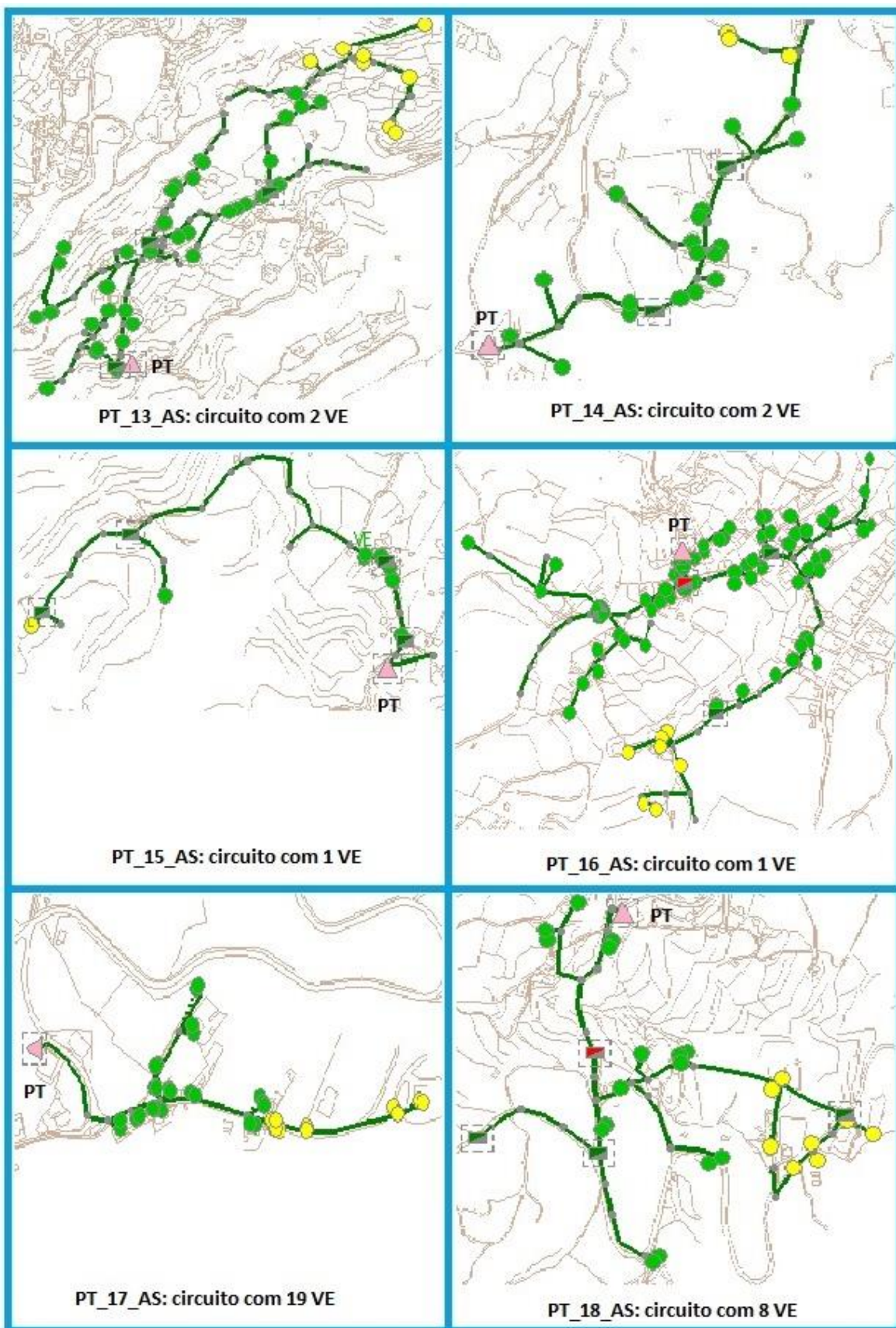
Circuitos de PT's AS com cargas de VE



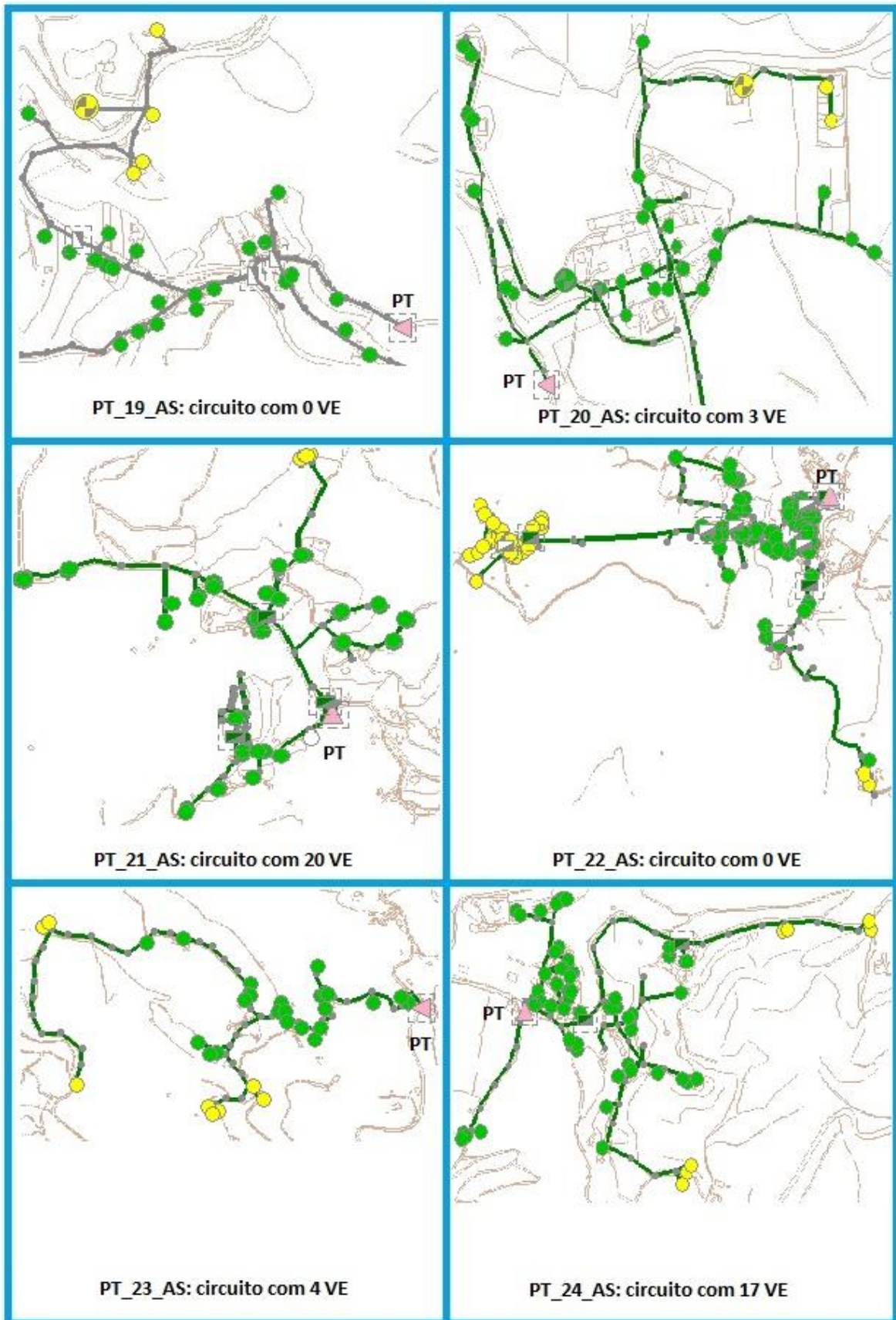
## Anexo G



## Anexo G

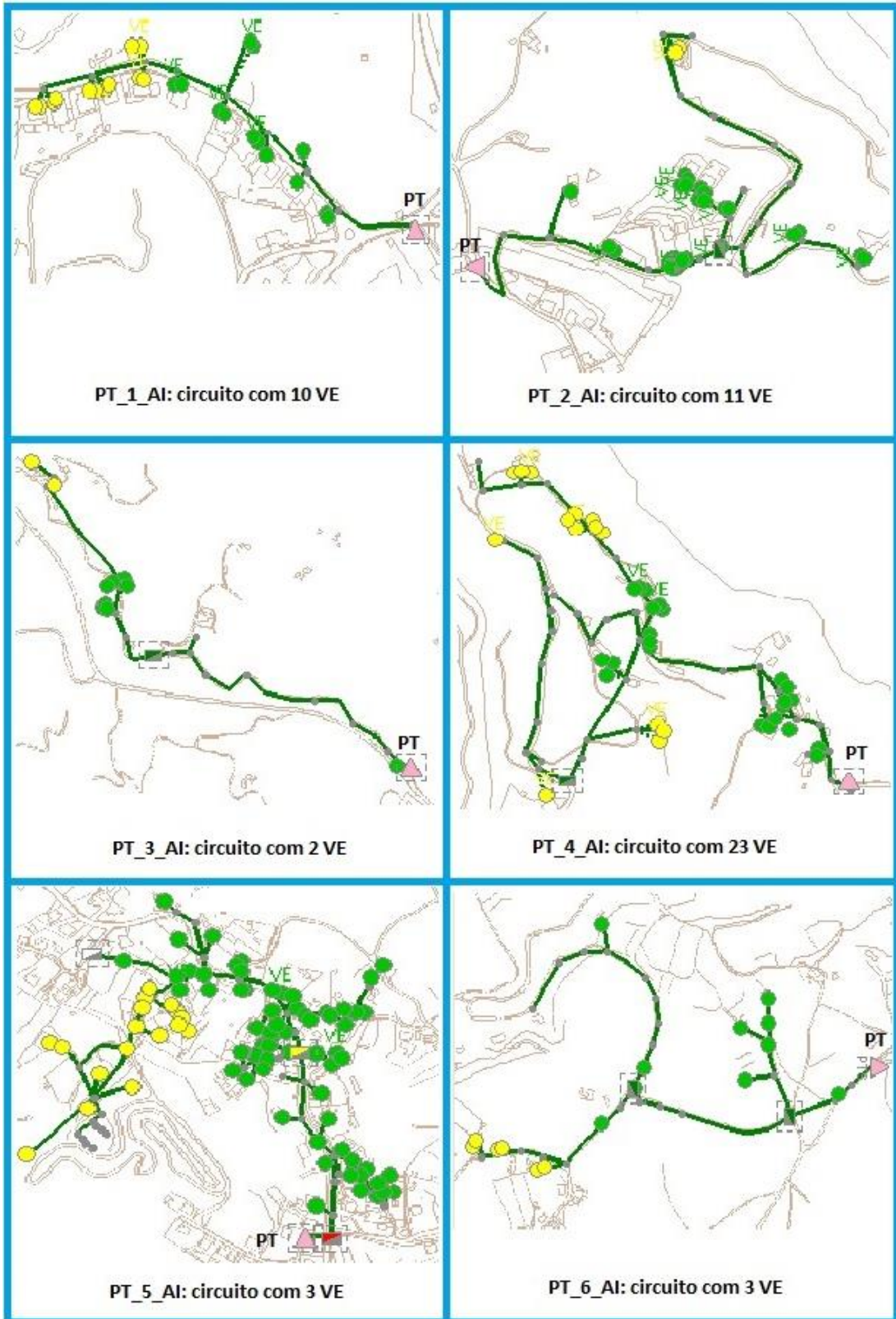


## Anexo G

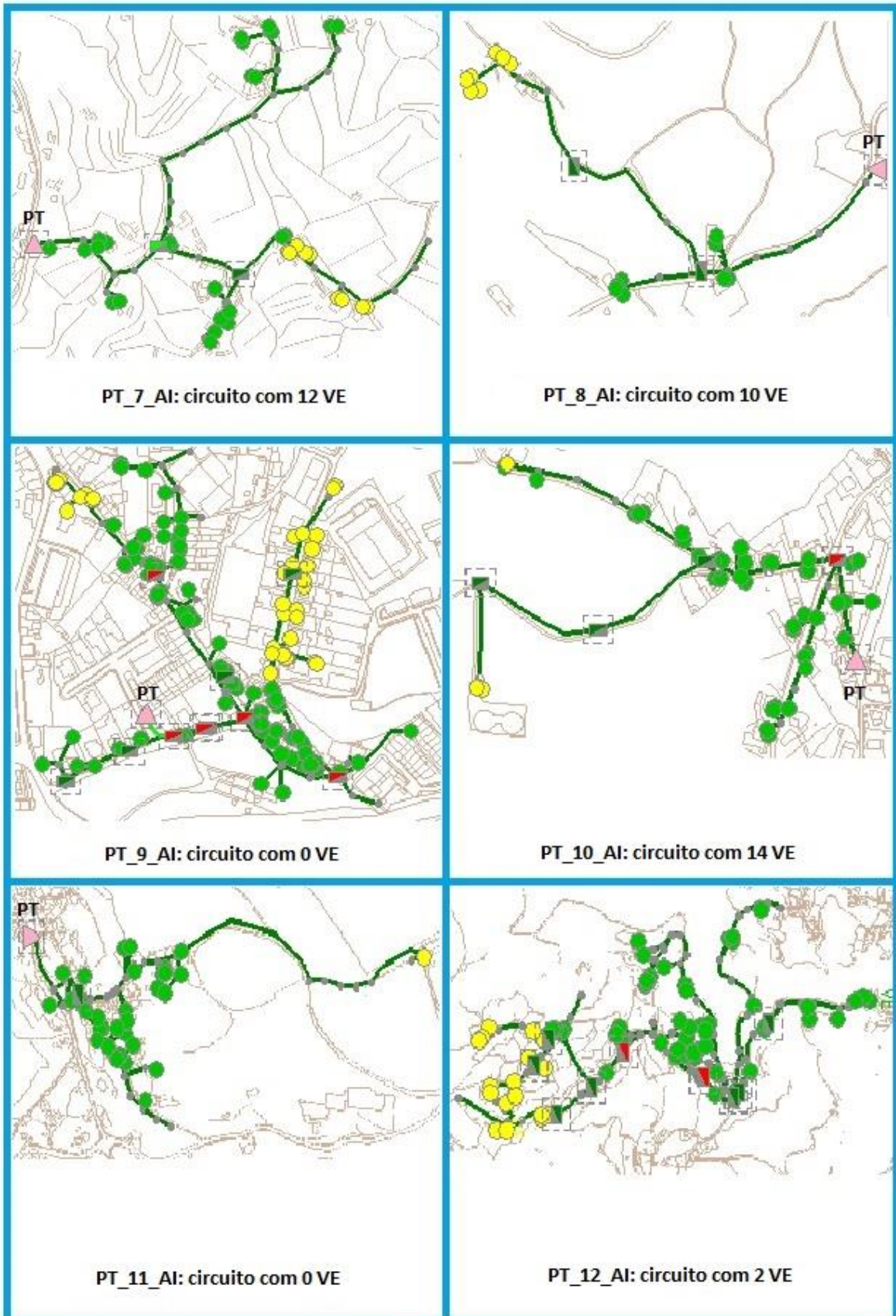


## Anexo H

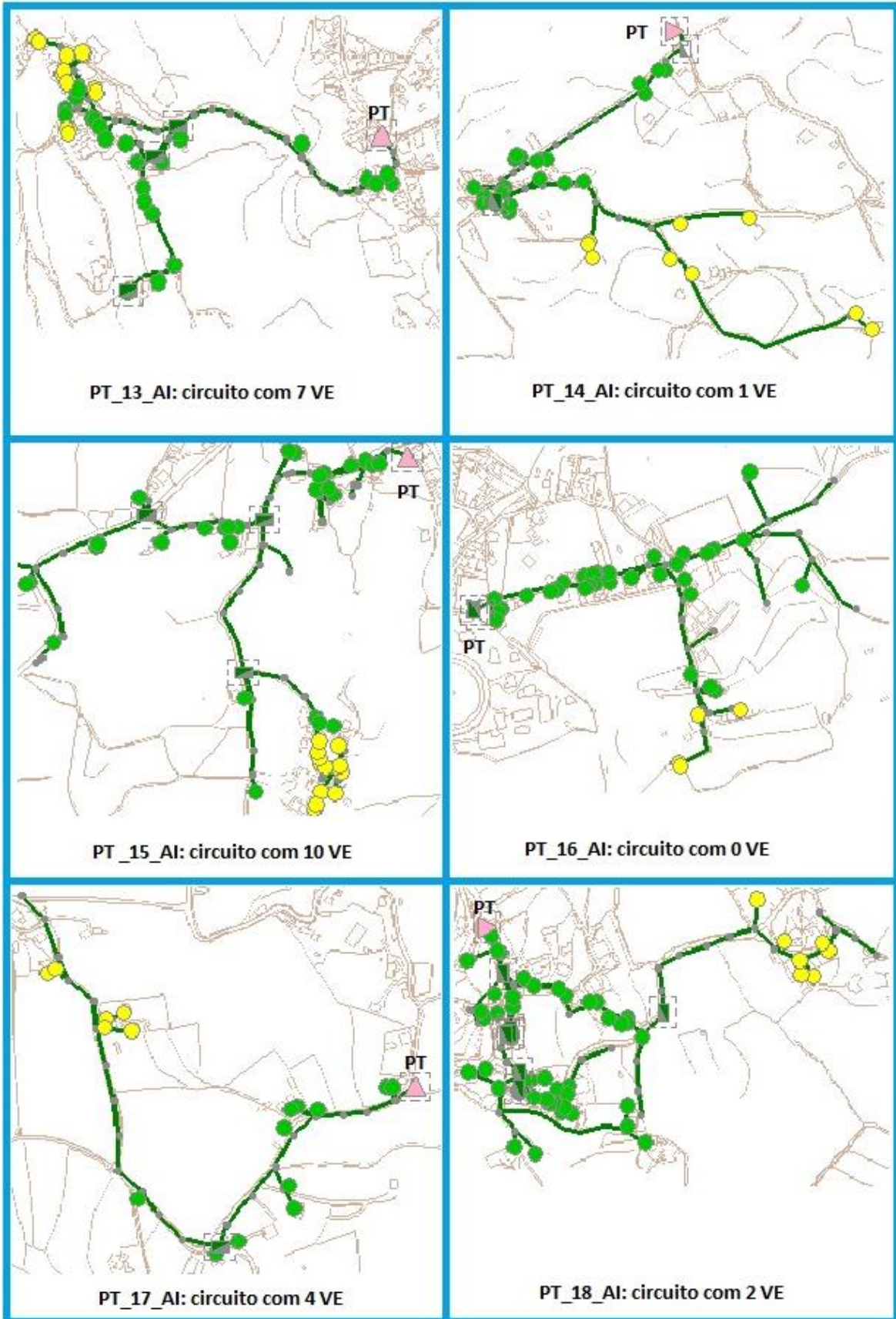
### Circuitos de PT's AI com cargas de VE



## Anexo H

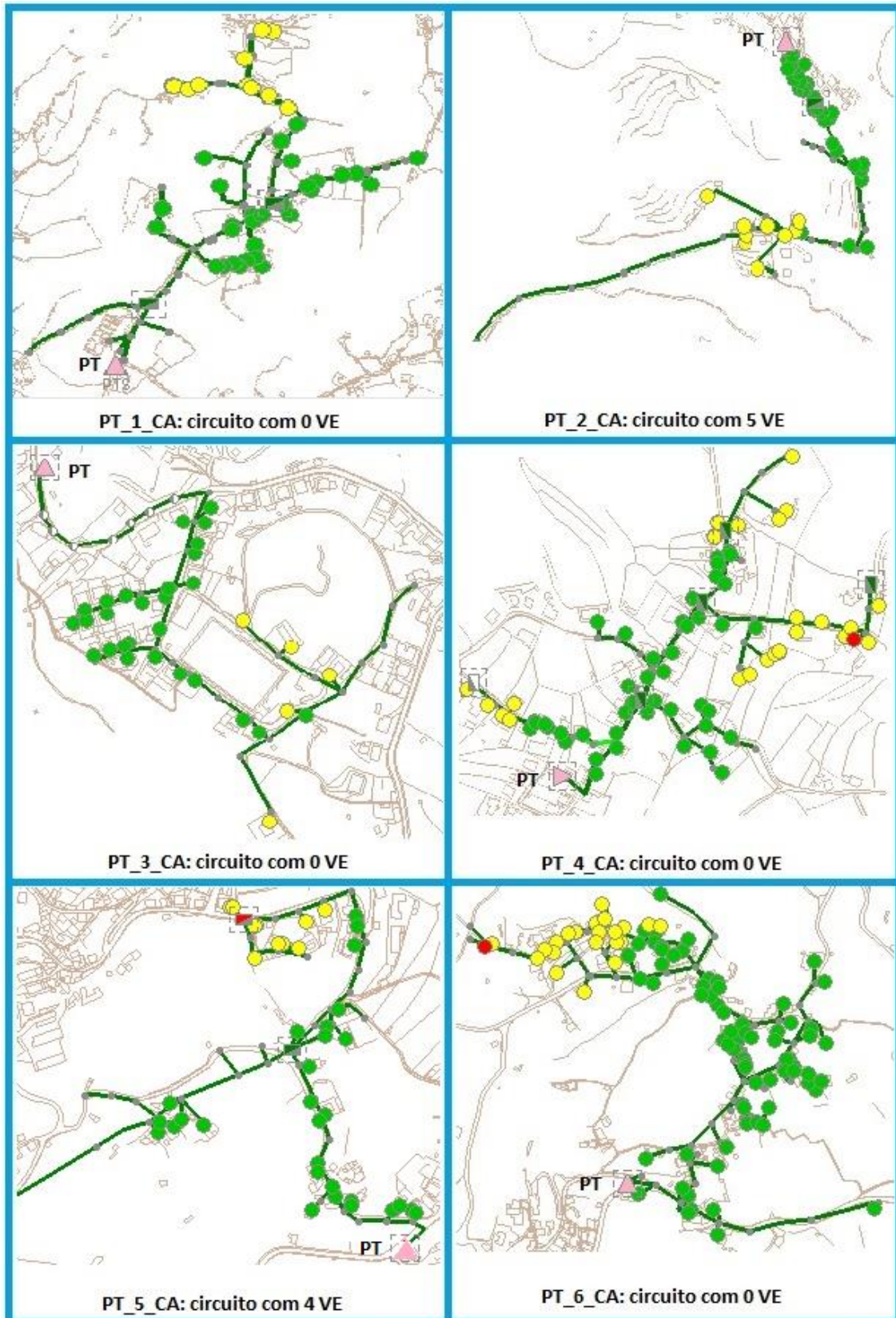


## Anexo H

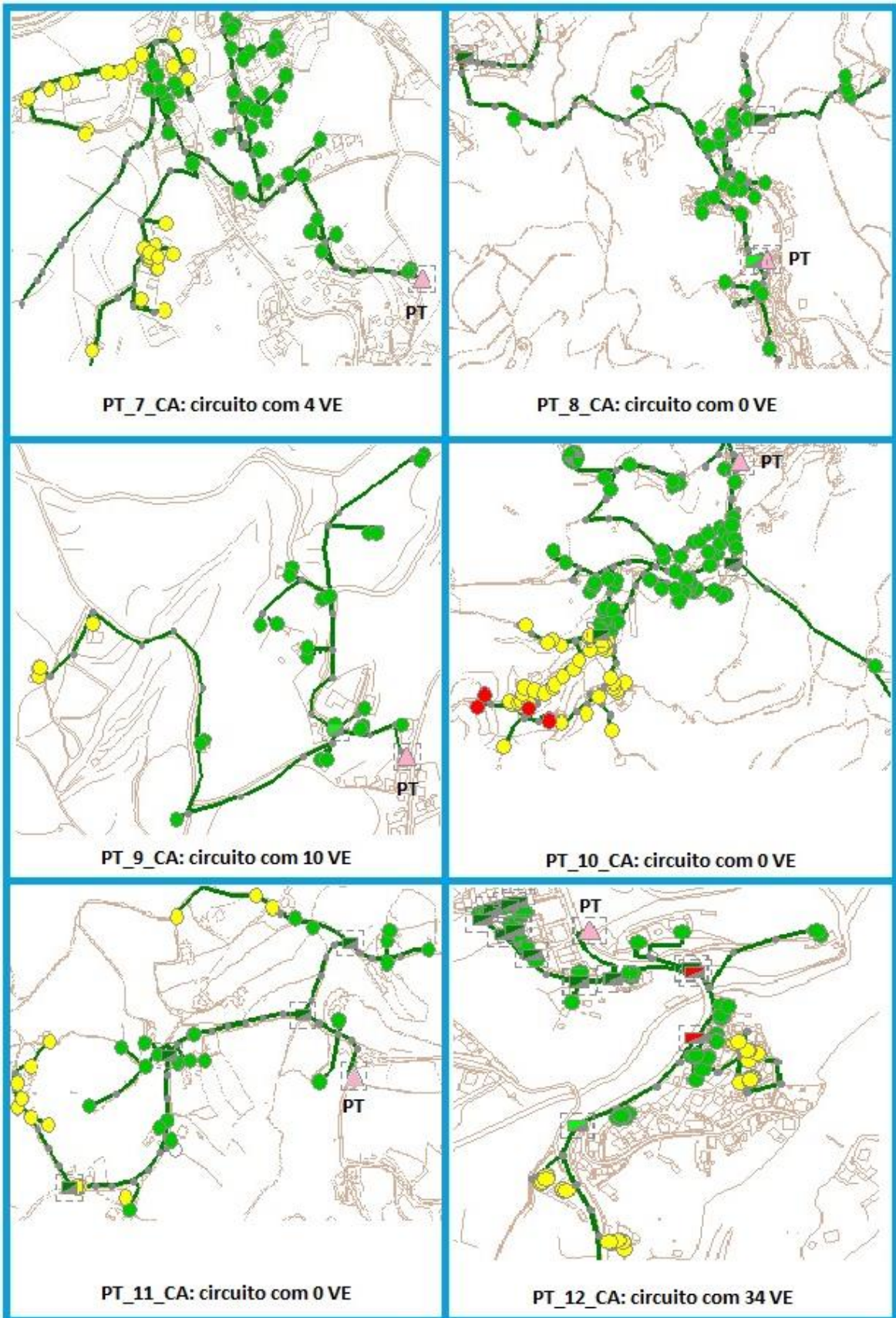


# Anexo I

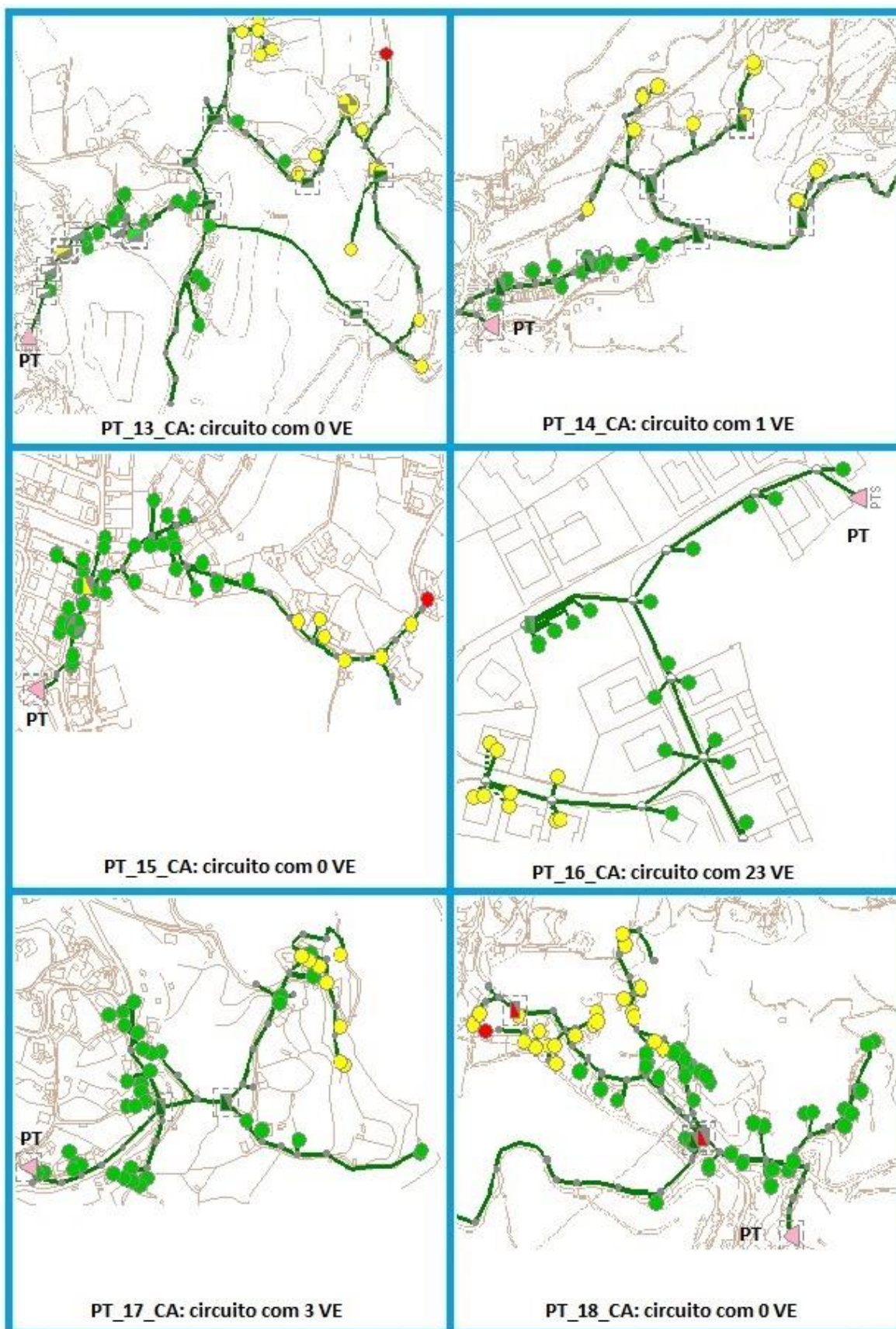
Circuitos de PT's de CA com cargas de VE



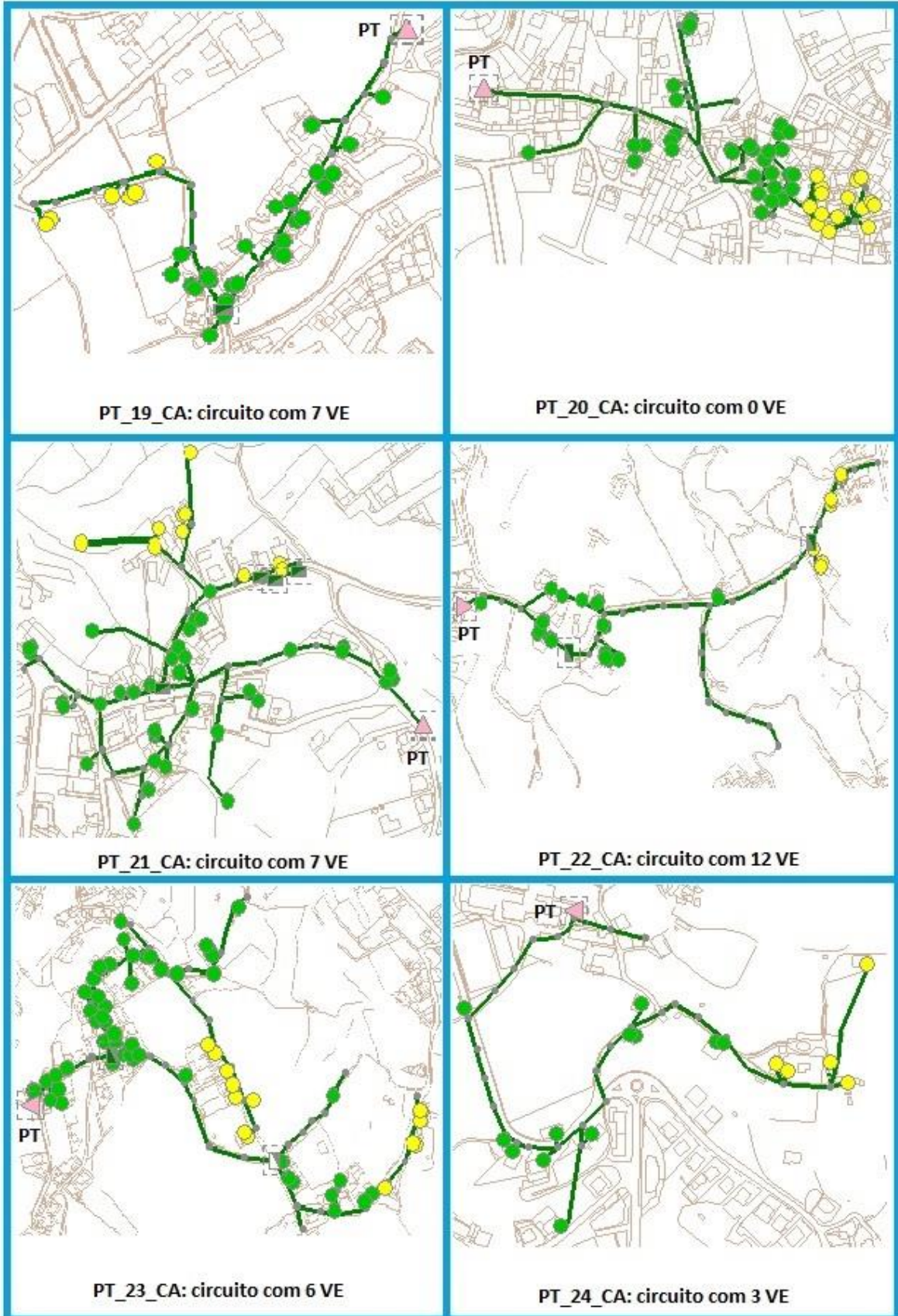
## Anexo I



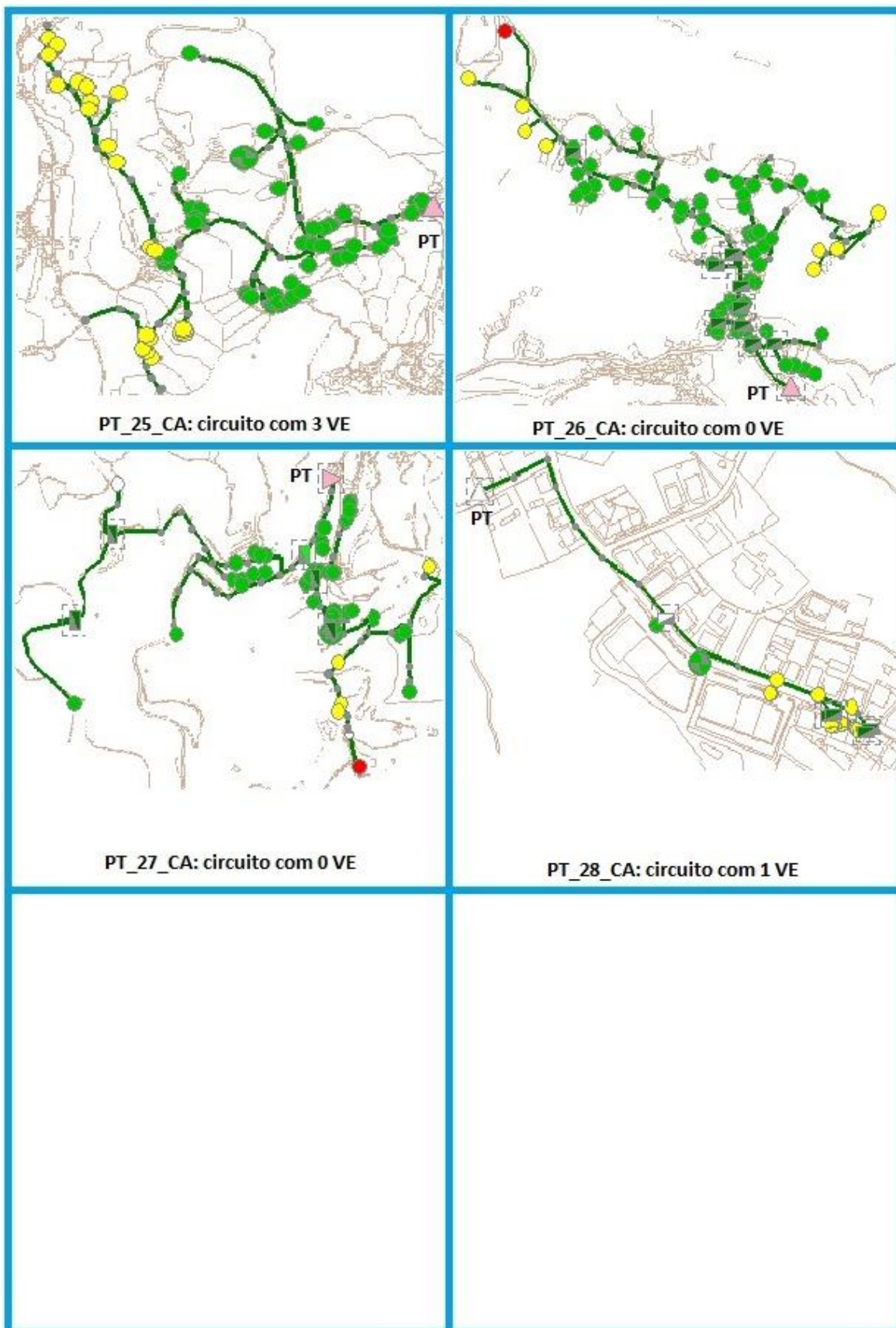
## Anexo I



## Anexo I

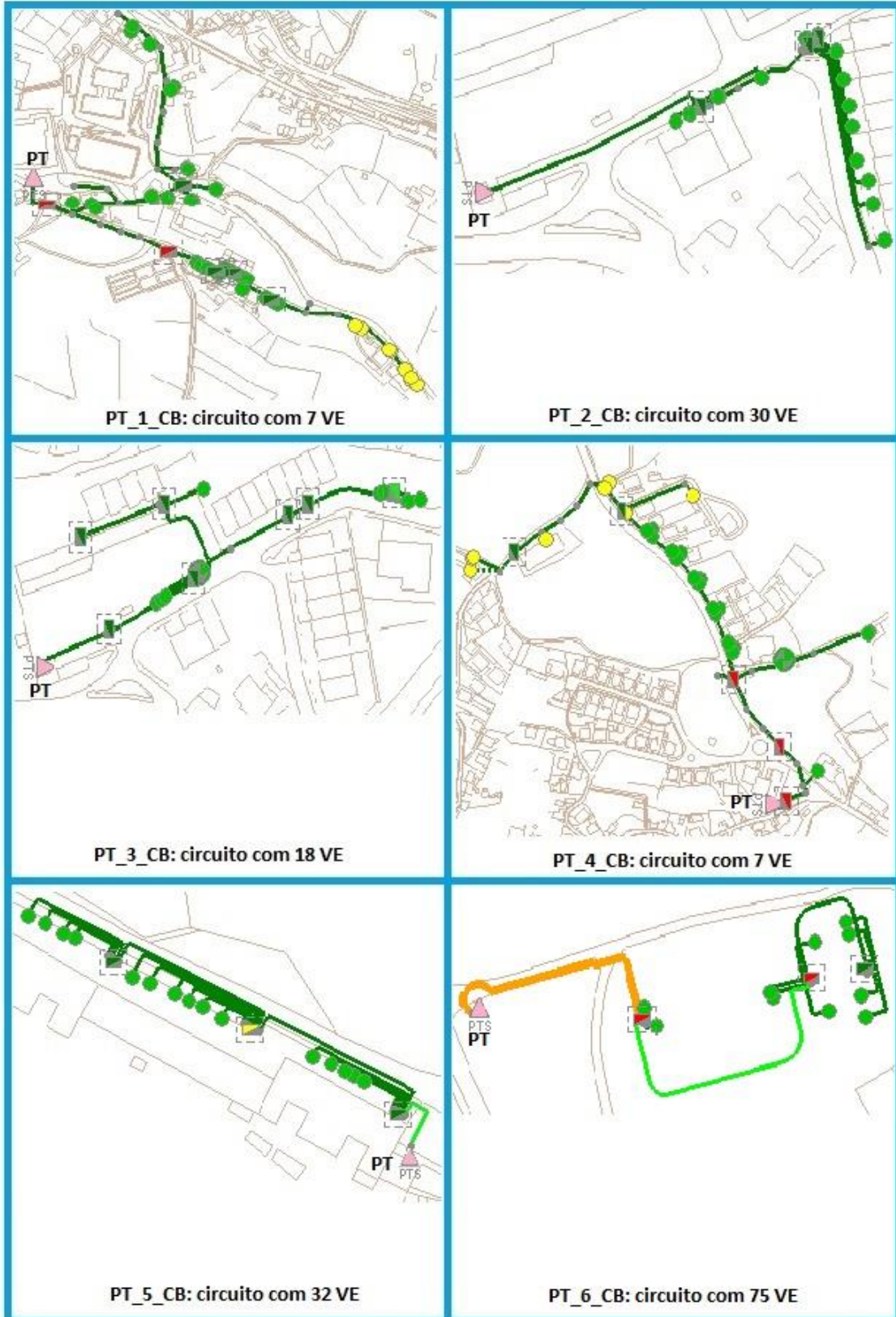


## Anexo I

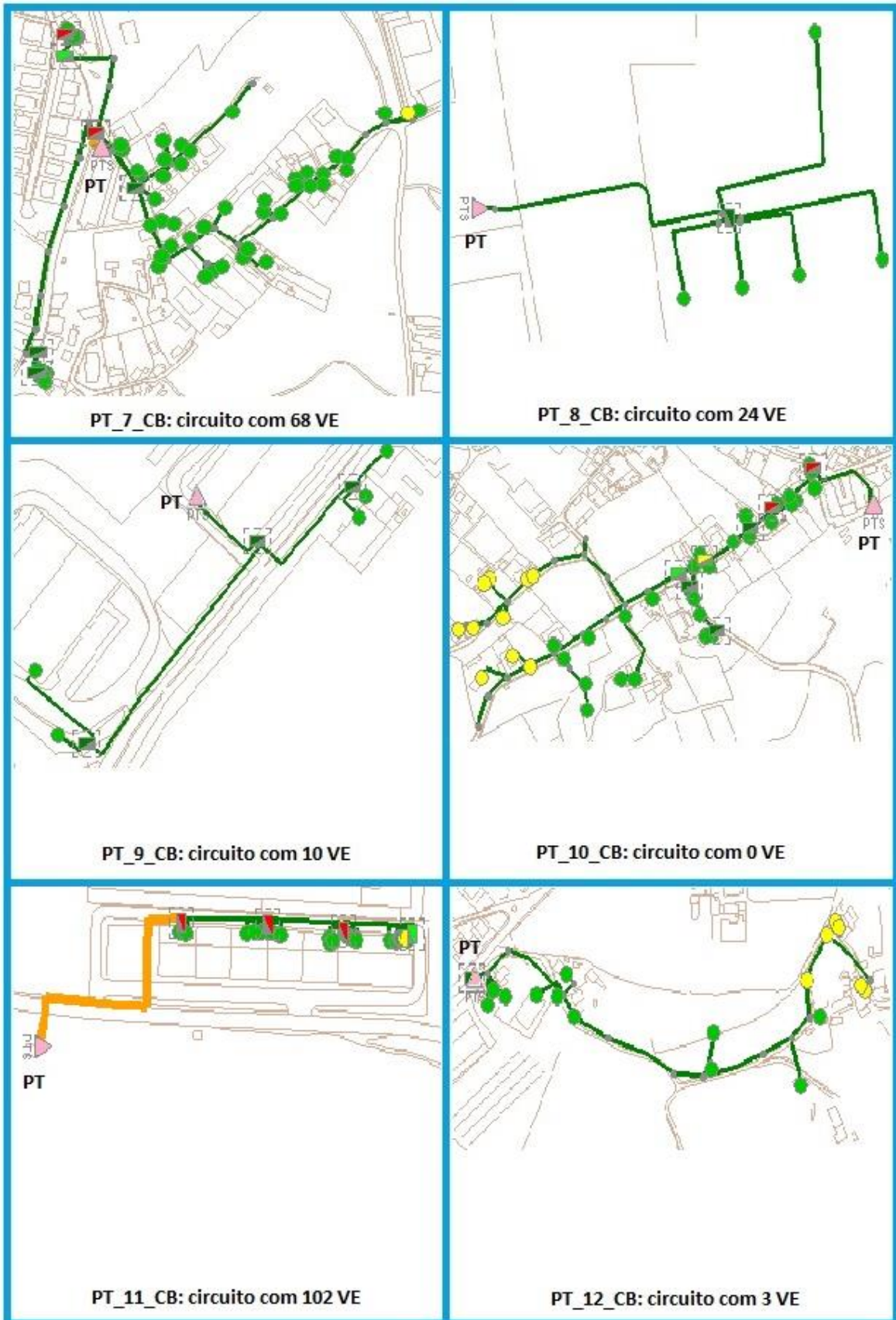


## Anexo J

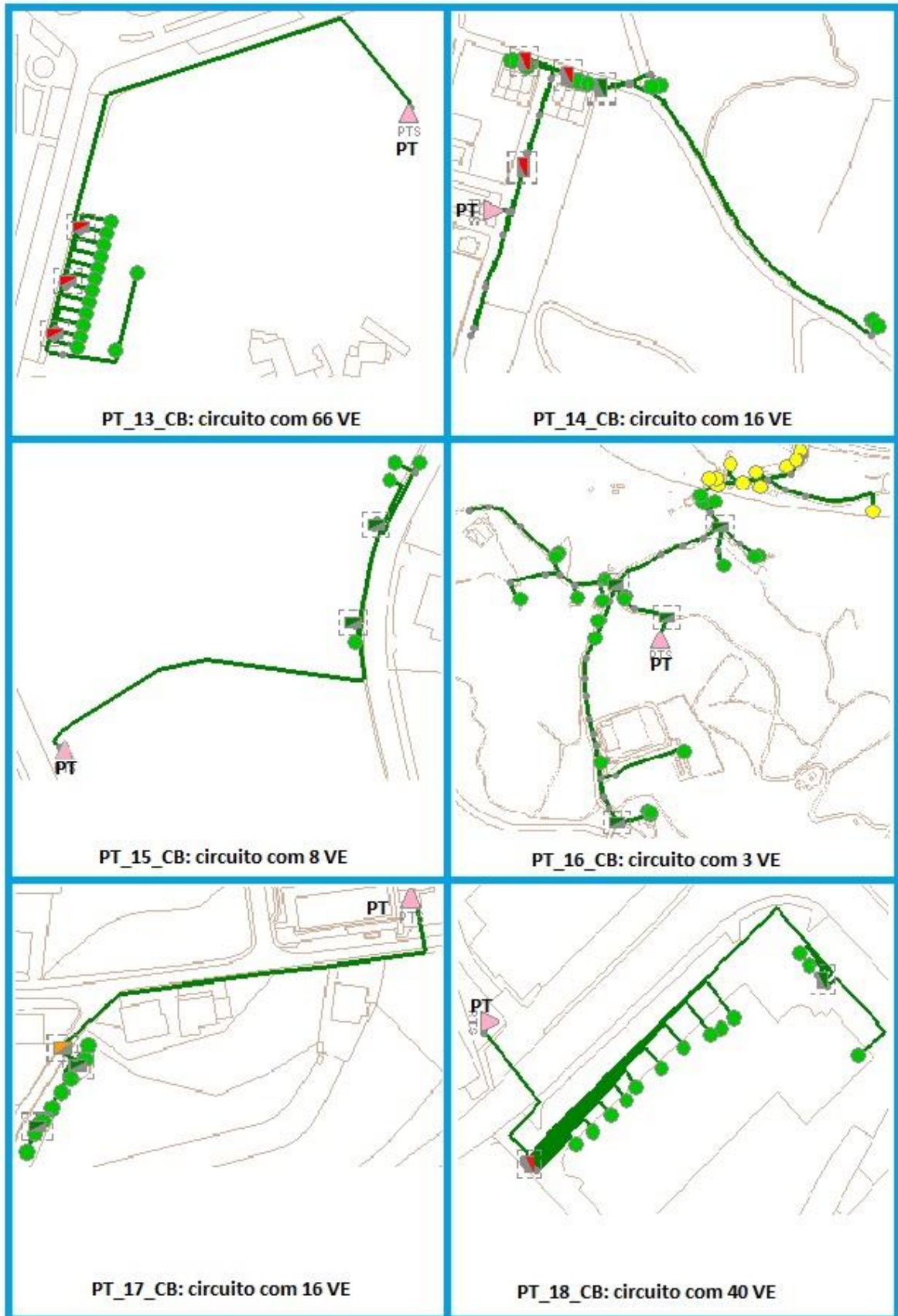
### Circuitos de PT's de CB com cargas de VE



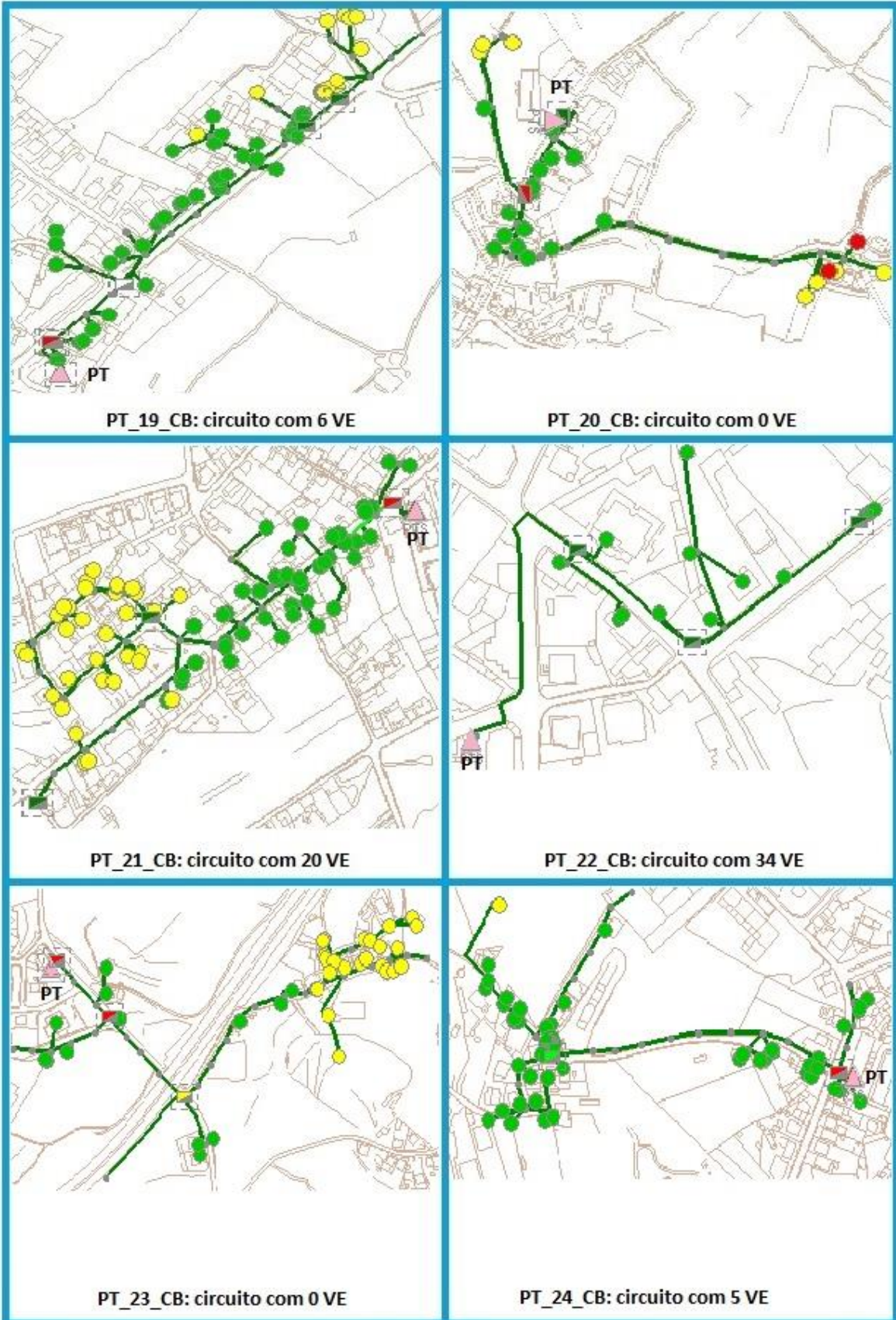
## Anexo J



## Anexo J



## Anexo J



## Anexo J

