

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



**As instalações elétricas residenciais da próxima
década**

Flávio José Barbosa Pinto

VERSÃO FINAL

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia
Eletrotécnica e de Computadores
Major Energia

Orientador: Professor Doutor José Eduardo Roque Neves dos Santos
Co-orientador: Engenheiro Marco Duarte

Junho de 2017

© Flávio Pinto, 2017

Resumo

Os edifícios são os maiores consumidores de energia na Europa. Todavia, com a introdução de requisitos de eficiência nos regulamentos de construção, os edifícios da atualidade consomem apenas metade do que na década de 80. No entanto, há ainda uma enorme margem de progressão, no que concerne à utilização racionalizada e “inteligente” da energia elétrica, por parte destas instalações. Os edifícios têm um potencial enorme para ganhos de eficiência energética: cerca de 75% dos complexos habitacionais de hoje é ineficiente e tem um elevado potencial de eficiência energética em termos de redução de custos.

Como tal, há a necessidade de implementar tecnologias capazes de aumentar a eficiência energética da instalação doméstica, diminuir o seu consumo e aumentar ainda o conforto para o utilizador, caminhando assim para os objetivos internacionais de desenvolver edifícios com um balanço energético anual nulo, os NZEB.

O presente documento oferece estudos de várias tecnologias que, no decorrer da próxima década, podem não só ter um índice elevado de penetração no mercado e na instalação, como podem ajudar a atingir as metas energéticas e ecológicas que vão sendo discutidas ao longo do trabalho.

O primeiro aspeto em análise é o da geração distribuída, tendo sido dado uma ênfase especial à tecnologia fotovoltaica, uma vez que é a solução que apresenta uma evolução de custos mais promissora e a sua implementação na instalação já se encontra bem parametrizada. A tecnologia fotovoltaica pode ser encarada como a coluna vertebral da instalação do futuro, visto que fornece energia limpa e barata ao utilizador, diminuindo a necessidade de utilizar energia proveniente da rede em cerca de 20 a 30%.

A segunda tecnologia abordada na dissertação é a acumulação ou armazenamento de energia elétrica com recurso a baterias. Estes equipamentos têm a sua implementação condicionada pela presença ou ausência de painéis fotovoltaicos, uma vez que a utilização de baterias faz mais sentido económico quando estas são carregadas com energia proveniente de painéis fotovoltaicos. Com a utilização destes equipamentos espera-se uma diminuição de consumos de energia proveniente da rede na ordem dos 60 a 70%, quando utilizado em conjunto com equipamento fotovoltaico.

Foi ainda proposta uma solução inovadora, que pretende servir de opção à implementação de armazenamento de energia. A solução passa pela implementação de baterias em eletrodomésticos cujo consumo não possa ser diferido para alturas do dia em que haja produção de energia fotovoltaica. Com a implementação desta tecnologia, o consumidor não tem de fazer um investimento inicial tão avultado, em comparação com uma bateria doméstica de maiores dimensões, e a adição de capacidade de armazenamento pode ser feita paulatinamente.

Equacionou-se ainda a utilização de sistemas inteligentes no seio da instalação doméstica, munidos de sensores capazes de monitorizar os consumos e fazer uma utilização mais eficiente

da energia. Estes elementos da instalação proporcionam ainda um aumento de conforto, uma vez que oferecem a capacidade de automatizar ou simplificar tarefas domésticas. A sua utilização pode ainda potenciar o consumo de energia renovável, já que conseguem calendarizar a entrada de funcionamento de cargas, fazendo que o seu consumo ocorra aquando da produção de energia renovável. A utilização de sistemas inteligentes, como sistemas de domótica, permite uma diminuição de consumos que se expande num intervalo de valores entre os 10 e os 30%, acrescentando a esses valores o aumento de conforto na instalação elétrica residencial.

A evolução do mercado dos veículos elétricos, bem como as alterações a realizar na instalação residencial para acomodar este tipo de veículos, foram alvo de estudo na presente dissertação.

Por fim, foi ainda analisada a evolução da instalação elétrica residencial, da próxima década, em países em desenvolvimento. Em certos locais do globo, a percentagem de população que não possui acesso a energia elétrica é alarmante. No entanto, prevê-se que, durante a próxima década, uma boa parte desses indivíduos, verá a sua habitação eletrificada. Assim, é importante encontrar soluções que ajudem, no presente, a eletrificação dessas áreas de forma sustentada, como pequenos kits solares ou sistemas solares domésticos que colmatem as necessidades básicas de eletrificação, sem nunca comprometer o ambiente. No decorrer da próxima década prevê-se que a eletrificação definitiva dessas áreas seja feita com recurso a tecnologias *off-grid* baseadas em sistemas DC, que conferem ganhos energéticos de cerca de 15 a 20%, quando comparados com instalações semelhantes realizadas em AC.

Palavras-chave:

Armazenamento;

Baterias;

Domótica;

Eficiência energética;

Fotovoltaico;

Sistemas DC;

Veículos elétricos.

Abstract

Buildings are the largest energy consumers in Europe. However, with the introduction of efficiency requirements in building regulations, today's buildings consume only half as much as in the 1980s. However, there is still a large margin of progression, regarding the efficient and "intelligent" use of Electricity from these facilities. Buildings have enormous potential for energy efficiency gains: around 75% of today's housing complexes are inefficient and have a high potential for energy efficiency in terms of cost savings.

As such, there is a need to implement technologies capable of increasing the energy efficiency of the domestic installation, reducing its consumption and increasing comfort for the user, thus moving towards the international objectives of developing buildings with near zero annual energy balance, the NZEB.

This paper offers studies of several technologies that, over the next decade, may not only have a high market penetration and installation penetration, but can also help meet the energy and environmental goals that are being discussed throughout the work.

The first aspect in analysis is distributed generation, with a special emphasis on photovoltaic technology, since it is the solution that presents a more promising cost evolution and its implementation in the installation is already well parameterized. Photovoltaic technology can be seen as the backbone of the future installation as it provides clean and cheap energy to the user, reducing the need to use power from the grid by 20 to 30%.

The second technology addressed in the dissertation is the accumulation or storage of electric energy using batteries. These devices have their implementation conditioned by the presence or absence of photovoltaic panels, since the use of batteries makes more economic sense when they are charged with energy from photovoltaic panels. With the use of these equipments it is expected a decrease of energy consumptions from the grid by 60 to 70%, when used with photovoltaic equipment.

It was also proposed an innovative solution, which intends to serve as an option to the implementation of energy storage. The solution involves the implementation of batteries in household appliances whose consumption cannot be deferred to heights of the day in which there is production of photovoltaic energy. With the implementation of this technology, the consumer does not have to make a high initial investment as compared to a larger domestic battery, and the addition of storage capacity can be done gradually.

The use of intelligent systems within the domestic installation, equipped with sensors capable of monitoring consumption and making a more efficient use of energy, was also considered. These elements of the installation also provide increased comfort since they offer the ability to automate or simplify household tasks. Their use can also boost the consumption of renewable energy, since they can schedule the entry of the operation of loads, causing their consumption to occur when

there is production of renewable energy. The use of intelligent systems, such as domotics, allows a reduction of consumption that expands in a range of values between 10 and 30%, adding to these values the increase of comfort in the installation.

The evolution of the market of electric vehicles, as well as the changes to be made in the residential installation to accommodate this type of vehicles, are also a subject of study in this dissertation.

Finally, the evolution of the residential electrical installation, of the next decade, in developing countries was also analyzed. In some parts of the globe, the percentage of population that does not have access to electricity is alarming. However, it is anticipated that, over the next decade, a good portion of these individuals will see their dwellings electrified. Thus, it is important to find solutions that will help, at present, the electrification of these areas in a sustained way, such as small solar kits or solar home systems that meet the basic needs of electrification without ever compromising the environment. Over the next decade, it is expected that the definitive electrification of these areas will be done using off-grid technologies based on DC systems, which provide energy gains of about 15 to 20%, when compared to similar installations based in AC systems.

Key words:

Batteries;
DC systems;
Electric vehicles;
Energy efficiency;
Home automation;
Photovoltaic;
Storage.

Agradecimentos

A formação acadêmica e pessoal é um caminho longo e árduo, cujas dificuldades apenas são amenizadas através da ajuda dos que caminham ao nosso lado. Por esta razão, gostaria de expressar os meus agradecimentos:

Ao meu orientador, Professor Doutor José Eduardo Roque Neves dos Santos, pela amabilidade e disponibilidade que se sempre me demonstrou, e pelos conhecimentos que me transmitiu ao longo da minha carreira acadêmica.

Ao meu co-orientador, Engenheiro Marco Duarte, pela sua enorme contribuição neste projeto, pelas conversas e trocas de ideias que me alargaram os horizontes e pela sua enorme simpatia e disponibilidade.

À EFAPEL e aos seus colaboradores, por me terem lançado este desafio e pela amabilidade que demonstraram para comigo durante as minhas visitas a Serpins.

A toda a minha família, em particular aos meus pais, por sempre me apoiarem, por me terem dado a oportunidade de realizar os meus sonhos e por me ajudarem a crescer todos os dias.

Aos meus amigos, que sempre me ajudaram a atravessar os maiores desafios, que partilham diariamente comigo as alegrias e tristezas da vida académica e que adoçam os momentos mais difíceis.

Por último, agradeço a Deus por estar sempre presente na minha vida e me guiar todos os dias.

“The best way to predict the future is to create it”

Peter Drucker

Índice

Resumo	iii
Abstract	v
Agradecimentos	vii
Índice	xi
Lista de Figuras	xv
Lista de Tabelas	xix
Abreviaturas, Siglas e Símbolos	xxi
Capítulo 1	1
Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Motivação e Objetivos	2
1.3. Organização da Dissertação	2
Capítulo 2	5
Geração distribuída fotovoltaica na instalação residencial	5
2.1. Comparação entre as duas formas de geração distribuída	6
2.2. Considerações sobre a penetração da geração fotovoltaica no setor doméstico . 10	
2.3. Razões para a penetração do painel fotovoltaico na instalação residencial	11
2.3.1. Evolução de custos da tecnologia fotovoltaica	11
2.3.2. Reforma regulamentar e apoio às políticas públicas	14
2.3.3. Redução de emissões de dióxido de carbono.....	14
2.3.4. Adesão da tecnologia fotovoltaica por parte de empresas globais.....	16
2.3.5. Interação com armazenamento de energia	16
2.4. Penetração atual da tecnologia fotovoltaica	17
2.5. Esquemas elétricos de uma instalação fotovoltaica típica	19
2.6. Regras técnicas aplicáveis à instalação fotovoltaica doméstica (em Portugal) ... 21	
2.7. Conclusões	21
Capítulo 3	23

Armazenamento de energia no setor residencial.....	23
3.1. Armazenamento de energia distribuído.....	23
3.2. A integração do armazenamento de energia e da geração fotovoltaica no setor doméstico.....	24
3.3. Principais metodologias de interligação entre sistemas de armazenamento e sistemas fotovoltaicos.....	25
3.4. Vantagens e desvantagens das duas metodologias de armazenamento de energia em aplicações residenciais.....	27
3.5. Baterias: Conceitos gerais, Tipos e Preços.....	27
3.5.1 Conceitos fundamentais sobre o funcionamento de baterias.....	27
3.5.2. Tipos de baterias.....	28
3.6. Viabilidade económica da utilização de baterias no setor residencial.....	33
3.7. Conclusões.....	36
Capítulo 4.....	37
Os eletrodomésticos na instalação residencial do futuro.....	37
4.1. Eficiência energética nos eletrodomésticos.....	37
4.1.1. Programas Ecodesign directive e Energy Labelling directive.....	37
4.1.2. Programa EnergyGuide.....	39
4.1.3. Programa Energy Star.....	40
4.1.4. Rótulos e escalas energéticas.....	40
4.1.5. Graus de penetração dos equipamentos mais eficientes na União Europeia.....	41
4.2. Introdução de baterias em eletrodomésticos.....	42
4.2.1. Equipamentos não adequados à integração de baterias.....	43
4.2.2. Equipamentos mais adequados à integração de baterias.....	44
4.2.3. Regime de funcionamento das baterias nos eletrodomésticos.....	44
4.2.4. Especificações técnicas e análise económica para frigoríficos.....	45
4.2.5. Especificações técnicas e análise económica para ar-condicionado.....	47
4.2.6. Especificações técnicas e análise económica para iluminação.....	50
4.2.7. Especificações técnicas e análise económica para televisores.....	50
4.3. Conclusões.....	53
Capítulo 5.....	55
Casas Inteligentes.....	55
5.1. Incentivos Legislativos à adoção da Casa Inteligente.....	55
5.1.1. Smart Financing.....	56
5.1.2. Criação de Smartness Indicator ou Indicador de Inteligência.....	56
5.1.3. State Electricity Regulatory Comissions.....	56
5.2. Nível de aceitação de tecnologias inteligentes.....	56
5.2.1. Panorama europeu.....	56
5.2.2. Panorama mundial.....	58

5.3. Protocolos de comunicação sistemas inteligentes	59
5.3.1. Protocolo Zigbee (mais utilizado).....	59
5.3.2. Protocolo Z-Wave	60
5.3.3. Protocolo Wi-Fi	61
5.3.4. Outros protocolos.....	62
5.4. O centro nevrálgico do sistema: Hub	63
5.5. Equipamentos para sistemas inteligentes	63
5.5.1. Equipamentos existentes a trocar na habitação.....	63
5.5.2. Equipamentos a eletrificar de raiz.....	69
5.6. Conclusões	70
Capítulo 6.....	73
Veículos elétricos.....	73
6.1. Evolução do mercado de veículos elétricos	73
6.2. Incentivos financeiros à compra de veículos elétricos	74
6.3. Modos de carga do veículo elétrico.....	76
6.4. Alimentação das instalações para a carga de veículos elétricos.....	78
6.5. Equipamento necessário para modo de carga 3 e custos associados	79
6.6. Proteção contra choques elétricos.....	80
6.7. Esquemas elétricos para as instalações de carregamento de VE	81
6.8. Conclusões.....	81
Capítulo 7.....	83
A evolução da instalação residencial nos países em desenvolvimento	83
7.1. População sem acesso às redes elétricas	83
7.2. Eletrificação de países em desenvolvimento: Soluções temporárias.....	85
7.2.1. Kits solares (Também denominados Pico PV).....	85
7.2.2. Sistemas solares domésticos	87
7.2.3. Eletrodomésticos alimentados em corrente contínua	88
7.3. Eletrificação de países em desenvolvimento: Soluções definitivas.....	90
7.3.1. Metodologia de implementação da instalação	90
7.3.2. Nível de tensão.....	90
7.3.3. Proteções, cablagem e outros componentes	91
7.3.4. Fontes de energia para alimentação de edifícios.....	92
7.3.5. Aspectos económicos.....	93
7.3.6. Protótipos de casas alimentadas em corrente contínua	93
7.3.7. Agregação de múltiplas casas DC.....	95
7.4. Conclusões	95
Capítulo 8.....	97
8.1. Conclusão.....	97

8.2. Trabalho futuro.....	97
Referências.....	99
Anexo A.....	105
Diferentes tipologias de sistemas fotovoltaicos domésticos.....	105
Anexo B.....	109
Kits solares, sistemas solares domésticos e regulamentos para instalações BT em CC	109
B.1. Sistemas solares domésticos.....	109
B.2. Kits Solares.....	110
B.3. Regulamentos para instalações residenciais alimentadas em corrente contínua .	114
Anexo C.....	117
Esquemas elétricos para as instalações de VE.....	117

Lista de Figuras

Figura 2.1 - Topologia de uma UPAC	9
Figura 2.2 - Topologia de uma UPP	9
Figura 2.3 - Curvas de adoção de novas tecnologias nos Estados Unidos da América	10
Figura 2.4- Lei de Swanson	12
Figura 2.5- Desenvolvimento do preço de PV residencial ao longo do tempo	12
Figura 2.6 - Comparação dos preços da eletricidade residencial europeia com a eletricidade gerada por um sistema fotovoltaico	13
Figura 2.7 - Evolução temporal de custos de eletricidade e de custos de geração com fotovoltaico	14
Figura 2.8 - Emissões de CO2 por kWh	15
Figura 2.9 - Consumo de energia elétrica a nível doméstico para o ano 2014 - Portugal	16
Figura 2.10 - Investimento em unidades de produção de energia solar de pequena dimensão (menor que 1 MW).....	17
Figura 2.11 - Investimento em tecnologia fotovoltaica por país, em 2015, em milhares de milhões de dólares, e crescimento em 2014.....	18
Figura 2.12 - Esquema tipo de unidade de produção para autoconsumo, com um grupo PV, associada a uma instalação elétrica alimentada pela RESP, em BTN ou BT	20
Figura 3.1 - Diferentes tipos de arquitetura no acoplamento de sistemas de armazenamento de energia a sistemas PV	25
Figura 3.2 - Possível esquema para implementação de armazenamento doméstico.....	26
Figura 3.3 - Exemplo de bateria de chumbo-ácido	28
Figura 3.4 - Exemplo de bateria de íões de lítio	29
Figura 3.5 - Exemplo de bateria de fluxo.....	30
Figura 3.6 - Projeções do custo de baterias de tecnologia chumbo-ácido na próxima década	31
Figura 3.7 - Projeções do custo de baterias de tecnologia íões de lítio na próxima década..	31
Figura 3.8 - Projeções do custo de baterias de fluxo na próxima década	32
Figura 3.9 - Nível de aceitação previsto para cada tecnologia apresentada.....	33
Figura 3.10 - Previsão dos preços de eletricidade.....	34
Figura 3.11 - Valor atual líquido para o investimento em tecnologia de armazenamento de energia, para diferentes cenários de preços de eletricidade	35
Figura 3.12 - ROI expectável para a tecnologia de armazenamento variando parâmetros determinantes	35
Figura 4.1 - Exemplo de escala energética com informação dos custos de operação.....	39

Figura 4.2 - Rótulo de eficiência energética chines (à esquerda) e rótulo de eficiência energética australiano (à direita)	40
Figura 4.3 - Rótulo <i>energyguide</i> (à esquerda) e rótulo <i>energy star</i> (à direita)	41
Figura 4.4 - Países com rótulos de eficiência energética e o grau de semelhança com as diretivas europeias	41
Figura 4.5 - Evolução de vendas de produtos mais eficientes a nível europeu	42
Figura 4.6 - Consumo de eletricidade para diferentes tipos de equipamento	43
Figura 4.7 - Consumo mensal de frigorífico classe A	45
Figura 4.8 - Custo de operação mensal para frigorífico classe A	45
Figura 4.9 - Período de recuperação de investimento (anos) para baterias em frigoríficos ..	47
Figura 4.10 - Consumo mensal de ar-condicionado de 1800W	48
Figura 4.11 - Custo mensal de uma unidade de ar-condicionado de 1800W	48
Figura 4.12 - Período de recuperação de investimento (anos) para baterias em ar-condicionado	50
Figura 4.13 - Consumo mensal de televisor de 180W	51
Figura 4.14 - Custo mensal de televisor de 180W	51
Figura 4.15 - Período de recuperação de investimento (anos) para televisores	53
Figura 5.1 - Níveis de disponibilidade para integrar soluções inteligentes em países europeus	57
Figura 5.2 - Taxa de penetração de tecnologias inteligentes em residências	58
Figura 5.3 - Vendas de produtos inteligentes no setor residencial norte americano	58
Figura 5.4 - Logotipo do protocolo de comunicação Zigbee	60
Figura 5.5 - Logotipo do protocolo de comunicação Z-Wave	61
Figura 5.6 - Logotipo do protocolo de comunicação WI-FI	62
Figura 5.7 - Exemplo de hub para domótica da marca Wink	63
Figura 5.8 - Exemplo de tomada inteligente de encastrar	64
Figura 5.9 - Exemplo de tomada para encaixe me tomada já existente	64
Figura 5.10 - Exemplo de interruptor inteligente de encastrar	65
Figura 5.11 - Exemplo de iluminação inteligente	66
Figura 5.12 - Exemplo de termostato inteligente	66
Figura 5.13 - Exemplo de detetor de fumo/monóxido de carbono inteligente a pilhas	67
Figura 5.14 - Exemplo de sensor multifunções a pilhas	68
Figura 5.15 - Exemplo de sistema de segurança com câmara a pilhas	68
Figura 5.16 - Exemplo de unidade de controlo para portão de garagem inteligente ou para persianas inteligentes	69
Figura 5.17 - Exemplo de fechadura inteligente	70
Figura 5.18 - Exemplo de controlador de voz da amazon	70
Figura 6.1 - Vendas de carros elétricos e quota de mercado em alguns países	74
Figura 6.2 - Exemplo de modo de carga 1	76
Figura 6.3 - Exemplos de modo de carga 2	77
Figura 6.4 - Exemplo de modo de carga 3, com recurso a tomada específica para alimentação de VE	77
Figura 6.5 - Tomada de tipo 2, específica para alimentação de VE	79
Figura 6.6 - Posto de carregamento com tomada de tipo 2	80

Figura 6.7 - Exemplo de instalações de acesso privativo e uso exclusivo, alimentadas a partir de uma instalação individual em edifício sem instalação coletiva e sem <i>box</i>	81
Figura 7.1 - Percentagem de população sem acesso à rede elétrica.....	84
Figura 7.2 - Evolução da população sem acesso à rede elétrica por região	84
Figura 7.3 - Número de indivíduos sem acesso à rede elétrica ou com acesso pouco fiável por país	85
Figura 7.4 - Tipologia de um kit solar	86
Figura 7.5 - Exemplo de pequeno Kit solar com iluminação e capacidade de carregar telemóvel.....	86
Figura 7.6 - Número de meses até o consumidor reaver o investimento num kit solar	87
Figura 7.7 - Topologia de um sistema solar doméstico	88
Figura 7.8 - Exemplo de sistema solar doméstico	88
Figura 7.9 - Estimativa da evolução do mercado de kits solares (a amarelo) e de sistemas solares domésticos (a laranja) em milhares de milhões de dólares	89
Figura 7.10 - Exemplo de fusíveis a utilizar numa instalação de 48V DC	91
Figura 7.11 - Exemplo de MISO utilizado na casa DC em Cal Poly	92
Figura 7.12 - Parafuso de Arquimedes.....	92
Figura 7.13 - Exemplo de pequena turbina eólica implementada numa zona remota do Peru	93
Figura 7.14 - Protótipo de casa DC construído pela Cal Poly	94
Figura 7.15 - Protótipo de casa DC na Indonésia	94
Figura 7.16 - Protótipo de casa DC nas Filipinas	95
Figura A.1 - Esquema tipo de unidade de produção para autoconsumo, com mais de um grupo PV, associada a uma instalação elétrica alimentada pela RESP, em M, com contagem em BT	106
Figura A.2 - Esquema tipo de unidade de produção para autoconsumo, com mais de um grupo PV, associada a uma instalação elétrica alimentada pela RESP, em M, com contagem em MT	107
Figura B.1 - Compilação de Sistemas Solares Domésticos (parte I)	109
Figura B.2 - Compilação de Sistemas Solares Domésticos (parte II)	110
Figura B.3 - Compilação de Kits Solares (parte I).....	110
Figura B.4 - Compilação de Kits Solares (parte II)	111
Figura B.5 - Compilação de Kits Solares (parte III)	111
Figura B.6 - Compilação de Kits Solares (parte IV).....	112
Figura B.7 - Compilação de Kits Solares (parte V)	113
Figura B.8 - Compilação de Kits Solares (parte VI).....	113
Figura B.9 - Compilação de Kits Solares (parte VII)	114
Figura C.1 - Exemplo de instalação de acesso privativo e uso exclusivo alimentada a partir de uma instalação individual, em edifício sem instalação coletiva e com <i>box</i>	117
Figura C.2 - Exemplo de instalação de acesso privativo e uso exclusivo alimentada a partir da instalação individual de que faz parte, em edifício com instalação coletiva e com <i>box</i>	118

Figura C.3 - Exemplo de instalação de acesso privativo e uso exclusivo alimentada a partir do QC da instalação coletiva e com box	119
Figura C.4 - Exemplo de instalação de acesso privativo e uso exclusivo alimentada a partir do QSC da instalação coletiva e com box	120
Figura C.5 - Exemplo de instalação de acesso privativo e uso exclusivo alimentada a partir do QSC da instalação coletiva e sem box.....	121
Figura C.6 - Exemplo de instalação de acesso privativo e uso compartilhado com zona dedicada ao carregamento de VE alimentada a partir do QC, utilizando PC(P) e PC(S).....	122
Figura C.7 - Exemplo de instalações de acesso privativo e uso compartilhado, alimentada a partir do QC, utilizando tomadas ou PC	123
Figura C.8 - Exemplo de instalação de acesso privativo e de uso compartilhado alimentada a partir do QSC, de uma instalação coletiva, utilizando PC(P) principal e PC(S).....	124
Figura C.9 - Exemplo de instalação de acesso privativo e uso compartilhado alimentada a partir do QSC, de uma instalação coletiva, utilizando tomadas ou PC.....	125

Lista de Tabelas

Tabela 2.1- Comparação entre as duas formas de geração distribuída de energia elétrica (Parte I).....	6
Tabela 2.2 - Comparação entre as duas formas de geração distribuída de energia elétrica (Parte II).....	7
Tabela 2.3 - Comparação entre os dois métodos de licenciamento	8
Tabela 3.1 - Características de bateria chumbo-ácido	28
Tabela 3.2 - Características de bateria de íões de lítio.....	29
Tabela 3.3 - Características de bateria de fluxo.....	30
Tabela 4.1 - Análise econômica da utilização de baterias em frigoríficos.....	46
Tabela 4.2 - Indicadores econômicos de viabilidade de investimento para baterias em frigoríficos.....	46
Tabela 4.3 - Indicadores econômicos para diferentes percentagens de poupança com utilização de baterias em frigoríficos.....	47
Tabela 4.4 - Análise econômica da utilização de baterias em ar-condicionado.....	49
Tabela 4.5 - Indicadores econômicos de viabilidade de investimento para baterias em ar-condicionado	49
Tabela 4.6 - Indicadores econômicos para diferentes percentagens de poupança com utilização de baterias em ar-condicionado.....	50
Tabela 4.7 - Análise econômica da utilização de baterias em televisores.....	52
Tabela 4.8 - Indicadores econômicos de viabilidade de investimento para baterias em televisores.....	52
Tabela 4.9 - Indicadores econômicos para diferentes percentagens de poupança com utilização de baterias em televisores.....	53
Tabela 7.1 - Máxima distância de transmissão de energia para diferentes tolerâncias de queda de tensão, utilizando carga de 500W.....	90

Abreviaturas, Siglas e Símbolos

Lista de abreviaturas e siglas

AC	<i>Alternate Current</i>
ACE	Aparelho de Corte de Entrada
AFCI	<i>Arc Fault Circuit Interrupter</i>
BPIE	<i>Building Performance Institute Europe</i>
BT	Baixa Tensão
BTE	Baixa Tensão Especial
BTN	Baixa Tensão Normal
CAES	<i>Compressed Air Energy Storage</i>
CD	Caixa de Derivação
CUR	Comercializador de Último Recurso
DC	<i>Direct Current</i>
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
DIY	<i>Do It Yourself</i>
DOD	<i>Depth of Discharge</i>
EDD	<i>EcoDesign Directive</i>
EDP	Energias De Portugal
ELP	<i>Energy Labelling Directive</i>
EUA	Estados Unidos da América
FIT	<i>Feed In Tariffs</i>
GD	Geração Distribuída
GEE	Gases de Efeito de Estufa
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IFTTT	<i>If This Then That</i>
IOT	<i>Internet of Things</i>
IPV6	<i>Internet Protocol Version 6</i>
ISU	Imposto Sobre Veículos
IUC	Imposto Único de Circulação
IVA	Imposto sobre o Valor Acrescentado
LE	Lugar de Estacionamento
LED	<i>Light Emiting Diode</i>

MISO	<i>Multiple Input Single Output</i>
MT	Média Tensão
NZEB	<i>Net Zero Energy Building</i>
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
OMIE	Operador do Mercado Ibérico de Energia
PC	Posto de Carregamento
PC(P)	Posto de Carregamento (Principal)
PC(S)	Posto de Carregamento (Secundário)
PV	<i>Photovoltaic</i>
QC	Quadro de Colunas
QE	Quadro de Entrada
QSC	Quadro de Serviços Comuns
RESP	Rede Elétrica de Serviço Público
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
RMS	<i>Root Mean Square</i>
ROI	<i>Return of Investment</i>
RTIEBT	Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão
SAVE	Sistema de Alimentação de Veículos Elétricos
SCC	Sistema de Controlo de Carga
SERC	<i>State Electricity Regulatory Commissions</i>
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
TIP	<i>Technological Institute of Philippines</i>
UE	União Europeia
UK	<i>United Kingdom</i>
UNPAD	<i>Universitas Padjadjaran</i>
UP	Unidade de Produção
UPAC	Unidade de Produção de Autoconsumo
UPP	Unidade de Pequena Produção
UPS	<i>Uninterruptible Power Supply</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
UWB	<i>Ultra Wide Band</i>
VE	Veículo Elétrico
ZEB	<i>Zero Energy Building</i>

Lista de Símbolos

A	Ampere (Unidade de Corrente)
Ah	Ampere-hora (Unidade de Carga Elétrica)
€	Euro (Unidade Monetária)
G	Gramma (Unidade de Medida de Massa)
GHz	Gigahertz (Unidade de Frequência)
GW	Gigawatt (Unidade de Potência Ativa)
H	Hora (Unidade de Tempo)
Mb/s	Megabit por segundo (Unidade de Transmissão de Dados)
MHz	Megahertz (Unidade de Frequência)
MW	Megawatt (Unidade de Potência Ativa)
MWh	Megawatt-hora (Unidade de Energia Ativa)
M	Metro (Unidade de Comprimento)
m²	Metro Quadrado (Unidade de Área)
mm²	Milímetro Quadrado (Unidade de Área)
%	Porcentagem
P_{inst}	Potência Ativa Instalada
Kbit/s	Quilobit por segundo (Unidade de Transmissão de Dados)
Km	Quilometro (Unidade de comprimento)
kW	Quilowatt (Unidade de Potência Ativa)
kWh	Quilowatt-hora (Unidade de Energia Ativa)
V	Volt (Unidade de Tensão)
W	Watt (Unidade de Potência Ativa)
Wh	Watt-hora (Unidade de Energia Ativa)

Capítulo 1

Introdução

O presente capítulo tem por função oferecer uma visão do problema energético que os edifícios atuais enfrentam, enquadrando esta temática com as soluções apresentadas ao longo da dissertação e justificando a necessidade de mudanças estruturais na atual instalação elétrica.

São ainda apresentados, nesta parte do documento, os objetivos que se pretendem atingir e a estrutura detalhada da dissertação.

1.1. Enquadramento

Os edifícios são o maior consumidor de energia na Europa. Com a introdução de requisitos de eficiência nos regulamentos de construção, os edifícios da atualidade consomem apenas metade da energia do que na década de 1980. No entanto, há ainda uma enorme margem de progressão, no que concerne à utilização racionalizada e “inteligente” da energia elétrica, por parte destas instalações. Os edifícios têm um potencial enorme para ganhos de eficiência energética: cerca de 75% dos complexos habitacionais de hoje em dia é ineficiente.

Os imóveis são ativos de longo prazo cuja utilização se poderá estender por períodos de 50 anos ou mais. Mais de dois terços dos edifícios existentes na atualidade deverão continuar a ser utilizados em 2050. A eficiência energética dos edifícios tem vindo a melhorar a um ritmo de cerca de 1,5% por ano desde 2008 [1].

Pelas razões citadas anteriormente, tem havido esforços internacionais para que sejam postos em prática regulamentos que acelerem a adoção de sistemas em edifícios, que aumentem a sua eficiência energética e diminuam o seu consumo. A resposta a este problema é encontrada nos NZEB (Net Zero Energy Building) ou ZEB (Zero Energy Building).

Esta abordagem radical para a mitigação do uso de energia exige que o edifício tenha um balanço energético anual nulo. O edifício não está isento de ser alimentado pela rede, mas a grande parte da energia consumida deve ser produzida localmente, dando preferência a fontes renováveis.

Um considerável número de países já começou a desenvolver iniciativas para fomentar a adoção deste princípio, sendo exemplo disso, os dois casos seguintes.

Os Estados Unidos com a criação do *The Building Technologies Plan Program*, programa esse que faz alusão às tecnologias e medidas necessárias para atingir o objetivo de implementação de NZEB's na sociedade norte americana até 2025 [2].

O Reino Unido, que apresenta propostas de implementação de NZEB's no seu *Energy Efficiency Plan* [3].

Para além destes países, outros, como a Alemanha, a Holanda, o País de Gales, a França, a Hungria, a Irlanda, a Suécia e a Coreia do Norte já possuem diretivas ou planos bem delineados, que visam dar apoio legislativo a esta iniciativa dos edifícios NZEB [4].

1.2. Motivação e Objetivos

A presente dissertação tem por objetivo explorar aquilo que poderá ser o futuro da instalação elétrica residencial da próxima década, tentando enquadrar as soluções apresentadas com as iniciativas governamentais já referidas na subsecção 1.1, nomeadamente os *Net Zero Energy Buildings*.

Como tal, as tecnologias propostas a serem integradas na instalação do futuro pretendem dar resposta a três necessidades distintas:

A primeira necessidade, de cariz energético, é explorada numa perspetiva de diminuição de consumo de energia fóssil e aumento de produção localizada de energia, dando especial destaque à energia renovável. Para além disso, são abordadas tecnologias que permitem potenciar o consumo doméstico de índole renovável.

A segunda necessidade, lida com um conceito menos palpável, o conforto. A adição de tecnologias que aumentem o conforto doméstico, automatizando tarefas de forma inteligente e eficiente é também alvo de reflexão no presente documento.

A terceira necessidade, baseia-se na tentativa de apresentar tecnologias com capacidade de instalação numa perspetiva de *retro-fit*, ou seja, cuja implementação seja de fácil execução, tentando, tanto quanto possível, introduzir o menor número de alterações ao sistema, poupando tempo e dinheiro.

Será importante referir que a elaboração deste trabalho foi proposta pela EFAPEL ao DEEC da FEUP, tendo sido realizado, em parte, nas instalações da empresa, localizada na Lousã, mais especificamente em Serpins, entre janeiro de 2017 e junho do mesmo ano, sob a orientação do Engenheiro Marco Duarte.

1.3. Organização da Dissertação

A dissertação é composta pelos seguintes capítulos:

Capítulo 1, onde se faz uma introdução desta dissertação, enquadrando-a com os problemas atuais verificados e delineando os objetivos que se pretendem atingir com a sua redação.

No Capítulo 2 aborda-se o tema da *geração renovável distribuída*, num contexto doméstico, dando-se primazia à tecnologia fotovoltaica. São apresentadas distinções nas diferentes metodologias de implementação da tecnologia, previsões de evolução de custos, previsões de adoção do equipamento na residência e apresenta-se uma possível tipologia da instalação a implementar.

O Capítulo 3 é dedicado ao *armazenamento de energia com recurso a baterias*. É feita uma análise de diferentes tecnologias que podem ser implementadas a nível doméstico, previsões de adoção e evolução de custos para cada tecnologia, formas de potencialização e interação com a produção de energia renovável a nível local e ainda um exemplo de topologia de instalação que poderá ser adotado para implementar a solução.

No Capítulo 4 é apresentada uma solução inovadora e pouco explorada na literatura atual. Trata-se da *colocação de baterias em grandes eletrodomésticos*, visando diminuir o seu consumo anual. Esta solução faz uso de diferentes tecnologias abordadas ao longo do trabalho e pretende ser uma alternativa à utilização de armazenamento de energia doméstico, que comporta custos elevados. Neste capítulo são ainda realizados vários estudos económicos, que visam atestar a viabilidade da solução apresentada.

No Capítulo 5 aborda-se a temática das *casas inteligentes* e tecnologias necessárias à sua implementação (dando grande destaque à domótica) e como é que a sua adoção contribui para o aumento de eficiência energética no meio doméstico, assim como um aumento generalizado no conforto proporcionado pela instalação. São ainda abordados diferentes protocolos de comunicação entre equipamento e é feita uma listagem de produtos que podem ser utilizados em futuras instalações.

O Capítulo 6 apresenta a evolução do mercado de *veículos elétricos*, e que alterações irá sofrer a instalação residencial para acomodar com segurança este tipo de veículos.

O Capítulo 7 é dedicado a um estudo da *evolução da instalação elétrica em países em desenvolvimento*. O capítulo encontra-se dividido em duas partes distintas, a primeira aborda a tecnologia utilizada nos dias hoje e que pretende suprir as necessidades básicas energéticas sem comprometer a sustentabilidade do meio ambiente. Na segunda parte é proposto um meio de eletrificação alternativo para estes países, baseado em sistemas DC, fazendo alusão às diversas características técnicas do sistema, apresentando as vantagens e desvantagens desta metodologia e mostrando protótipos em funcionamento.

No Capítulo 8 descrevem-se as *conclusões* registadas ao longo desta dissertação. Indicam-se, ainda, algumas *perspetivas futuras* para a continuidade do trabalho desenvolvido.

Na parte final do documento são apresentadas as *referências bibliográficas* utilizadas ao longo do projeto, bem como os *anexos* que oferecem informações complementares referentes a alguns dos capítulos.

Capítulo 2

Geração distribuída fotovoltaica na instalação residencial

A geração distribuída (GD) pode ser definida como a produção de energia elétrica conectada a uma rede de distribuição ou a um cliente local. Os avanços tecnológicos permitem agora que os sistemas de geração de energia sejam construídos em dimensões reduzidas, com alta eficiência, baixo custo e menor impacto ambiental.

A geração distribuída pode funcionar como um incremento à eletricidade gerada pelas grandes centrais. Implementada a nível doméstico, a geração distribuída pode ser usada para diminuir a dependência de energia da rede elétrica, assim como melhorar a qualidade e fiabilidade dos recursos elétricos.

As tecnologias de geração distribuída podem ser divididas em duas categorias diferentes de acordo com a disponibilidade: potência constante e potência intermitente. As tecnologias de potência constante são aquelas que permitem o controlo de potência das unidades GD que podem ser utilizadas em função dos requisitos da carga. As unidades GD de potência constante podem ser utilizadas como backup, sendo apenas utilizadas em situações de indisponibilidade da rede, em períodos de alto consumo (quando a eletricidade é mais cara), trabalhando continuamente ou despachadas para suprir as necessidades da carga, de uma forma adequada.

A maioria das unidades de geração distribuída são recursos renováveis, sem controlo da potência produzida. Esses recursos são intermitentes, tendo um carácter de geração aleatória. Exemplos deste tipo de tecnologia são a energia eólica ou a energia solar que só produzem energia quando o vento ou o sol estão disponíveis.

Neste documento será tratada apenas a geração distribuída renovável integrada no domínio doméstico, mais especificamente a penetração de tecnologias fotovoltaicas e o seu contributo/peso para a instalação elétrica.

Será importante mencionar que a geração distribuída pode ter dois objetivos distintos e não conciliáveis: o primeiro objetivo foca-se no autoconsumo, ou seja, o sistema instalado tem como principal função alimentar a instalação doméstica e injetar os excedentes energéticos na rede elétrica. O segundo objetivo prevê a injeção completa da energia na rede.

2.1. Comparação entre as duas formas de geração distribuída

No início do ano de 2015 entrou em vigor a nova legislação Portuguesa que regula as instalações de produção de energia a partir de recursos renováveis e fixa as condições para a realização de projetos de energia solar fotovoltaica, entre outras tecnologias. De acordo com o Decreto-Lei 153/2014, 20 de outubro “Enquadramento do Regime de produção distribuída” criou-se assim um sistema com duas áreas: as UPAC – Unidades de Produção de Energia de Autoconsumo e as UPP Unidades de Pequena Produção.

As UPAC e as UPP divergem em diversos pontos regulamentares, as tabelas 2.1 e 2.2 abrangem essas diferenças de forma sucinta.

Tabela 2.1- Comparação entre as duas formas de geração distribuída de energia elétrica (Parte I)

	Autoconsumo (UPAC)	Pequena Produção (UPP)
Atividade de produção e fonte	Produção de energia da fonte renovável ou não renovável pela unidade de produção com ou sem ligação à Rede Elétrica de Serviço Público (RESP) com injeção da energia preferencialmente na instalação de consumo. Eventuais excedentes de produção instantânea, podem ser injetados na RESP quando aplicável.	Produção de energia da fonte renovável, baseada em uma só tecnologia de produção, e injeção da totalidade da energia elétrica à Rede Elétrica de Serviço Público (RESP). A Pequena Produção, mantendo os traços gerais estabelecidos pelos antigos diplomas de mini- e microprodução passa a um enquadramento legal único.
Limites da potência	A potência de ligação será menor ou igual a 100% da potência contratada na instalação de consumo. A potência instalada não deve ser superior a duas vezes a potência de ligação.	A potência de ligação será menor ou igual a 100% da potência contratada na instalação de consumo, até uma potência de ligação máxima de 250 kW.
Requisitos da produção	Dimensionamento da UPAC por forma a aproximar a eletricidade produzida com a energia consumida na instalação de consumo. Possível venda do excedente instantâneo ao Comercializador de Último Recurso (CUR).	Energia consumida na instalação de consumo deve ser igual ou superior a 50% da energia produzida. Venda da totalidade da energia ao Comercializador de Último Recurso (CUR).

Tabela 2.2 - Comparação entre as duas formas de geração distribuída de energia elétrica (Parte II)

Produtor e local de instalação	O consumidor (pessoa singular, coletiva ou condomínio) pode instalar uma UPAC por cada instalação elétrica de utilização e consumir a eletricidade gerada nesta, bem como exportar eventuais excedentes para a RESP. A Unidade de Produção (UP) é instalada no mesmo local servido pela instalação de utilização. É permitida a pluralidade de registos de UP em nome do mesmo produtor, desde que cada instalação de utilização só esteja associada a uma única UP.	O consumidor (pessoa singular, coletiva ou condomínio) ou entidade terceira devidamente autorizada pelo titular do contrato de fornecimento de eletricidade à instalação de utilização, pode instalar uma UPP por cada instalação elétrica de utilização. A Unidade de Produção (UP) é instalada no mesmo local servido pela instalação de utilização. É permitida a pluralidade de registos de UP em nome do mesmo produtor, desde que cada instalação de utilização só esteja associada a uma única UP.
Quota	Não existe quota.	Quota anual inferior ou igual a 20 MW.
Remuneração e compensação	<p>A remuneração da UPAC relativa à eletricidade fornecida à RESP é calculada de acordo com a fórmula:</p> $R_{UPAC,m} = E_{fornecida,m} \times OMIE_m \times 0,9$ <p>Onde</p> <p>$R_{UPAC,m}$ - Remuneração no mês m em €</p> <p>$E_{fornecida,m}$ - Energia fornecida no mês m em kWh</p> <p>$OMIE_m$ - Média aritmética simples do preço de fecho do Operador do Mercado Ibérico de Energia (OMIE) para Portugal no mês m em €/kWh</p> <p>O contrato de venda a celebrar com o CUR tem prazo máximo de 10 anos, renováveis por períodos de 5 anos. As UPAC com potência instalada superior a 1,5 kW e ligadas à RESP estão sujeitas ao pagamento de uma compensação mensal fixa nos primeiros 10 anos após a obtenção do certificado de exploração.</p>	Tarifa atribuída com base num modelo de licitação no qual os concorrentes oferecem desconto à tarifa de referência, estabelecida mediante portaria e apurado para cada uma das seguintes categorias: Categoria I: Instalação de apenas uma Unidade de Pequena Produção (UPP). Categoria II: UPP associada no local de consumo com tomada para carregamento de veículos elétricos, ou seja, proprietário ou locatário de veículo elétrico. Categoria III: UPP associada no local de consumo com coletor solar térmico de área mínima útil de 2 m ² . A tarifa a atribuir correspondente ao valor mais alto que resulte das maiores ofertas de desconto à tarifa de referência. A tarifa varia consoante o tipo de energia primária utilizada e vigora por um período de 15 anos desde a data de início de fornecimento de energia elétrica.
Contagem	Contagem obrigatória da eletricidade produzida e da eletricidade injetada na RESP para uma UPAC ligada à RESP com potência instalada superior a 1,5 kW.	Contagem obrigatória da eletricidade injetada na RESP.

No que diz respeito ao licenciamento, quer nas UPAC quer nas UPP, trata-se de um processo gerido pela plataforma SERUP (Sistema Eletrónico de Registo das Unidades de Produção).

Na tabela 2.3 é feita uma breve comparação entre os dois processos de licenciamento.

Tabela 2.3 - Comparação entre os dois métodos de licenciamento

	Isenção de controlo prévio	Mera comunicação prévia	Registo	Certificado de exploração	Licença de produção	Licença de exploração
UPP			x	X		
UPAC $P_{inst} > 200$ W e $P_{inst} \leq 1,5$ kW ligado à RESP	x					
UPAC $P_{inst} > 1,5$ kW e $P_{inst} \leq 1$ MW ligado à RESP		x				
UPAC $P_{inst} \leq 1$ MW quando o produtor pretende fornecer a energia não consumida à RESP			x	X		
UPAC $P_{inst} > 1$ MW					x	X
UPAC sem ligação à RESP		x				
UPAC sem ligação à RESP que utiliza fontes de energia renovável e pretende transacionar garantias de origem			x	X		

Estas duas formas de produção distribuída diferem ainda nas suas topologias, as figuras 2.1 e 2.2 demonstram, de uma forma simples, as diferenças fundamentais entre os dois sistemas.

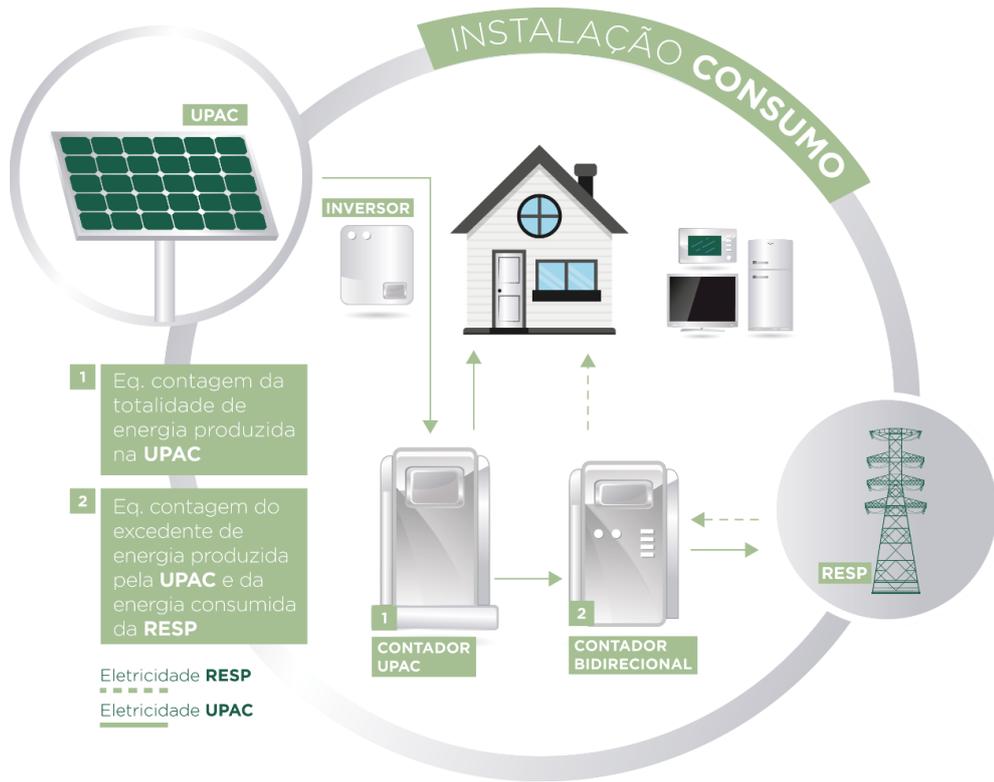


Figura 2.1 - Topologia de uma UPAC (Fonte: Proef Renewables)

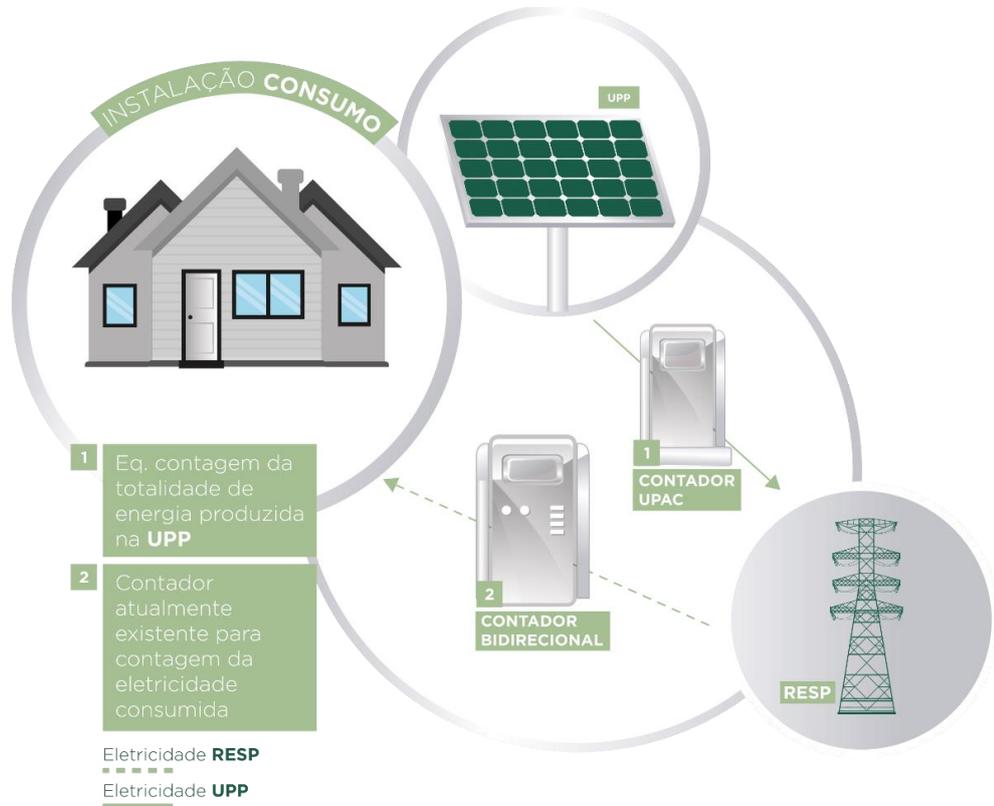


Figura 2.2 - Topologia de uma UPP (Fonte Proef Renewables)

Apesar de ambas as formas de produção de energia terem valências reconhecidas, o presente documento vai dar especial atenção às UPAC e ao autoconsumo, uma vez que este tipo de topologia serve de melhor forma os quesitos a que este trabalho se predispôs a responder.

2.2. Considerações sobre a penetração da geração fotovoltaica no setor doméstico

A utilização de energia solar tem vindo a crescer exponencialmente a nível global há, pelo menos, uma década, e há algumas tendências importantes subjacentes a esse crescimento. Basta termos em consideração a utilização do automóvel, do telemóvel, ou mesmo da eletricidade para encontrar outros exemplos de tecnologias, cujo crescimento seguiu uma progressão exponencial por um longo período de tempo. Em cada um desses casos, os analistas da indústria foram surpreendidos pela rapidez com que essas inovações tornaram obsoletas tecnologias pré-existentes. Como se comprova pela figura 2.3, algumas tecnologias possuem taxas de crescimento e utilização extremamente altas, mesmo em períodos iguais ou inferiores a uma década.

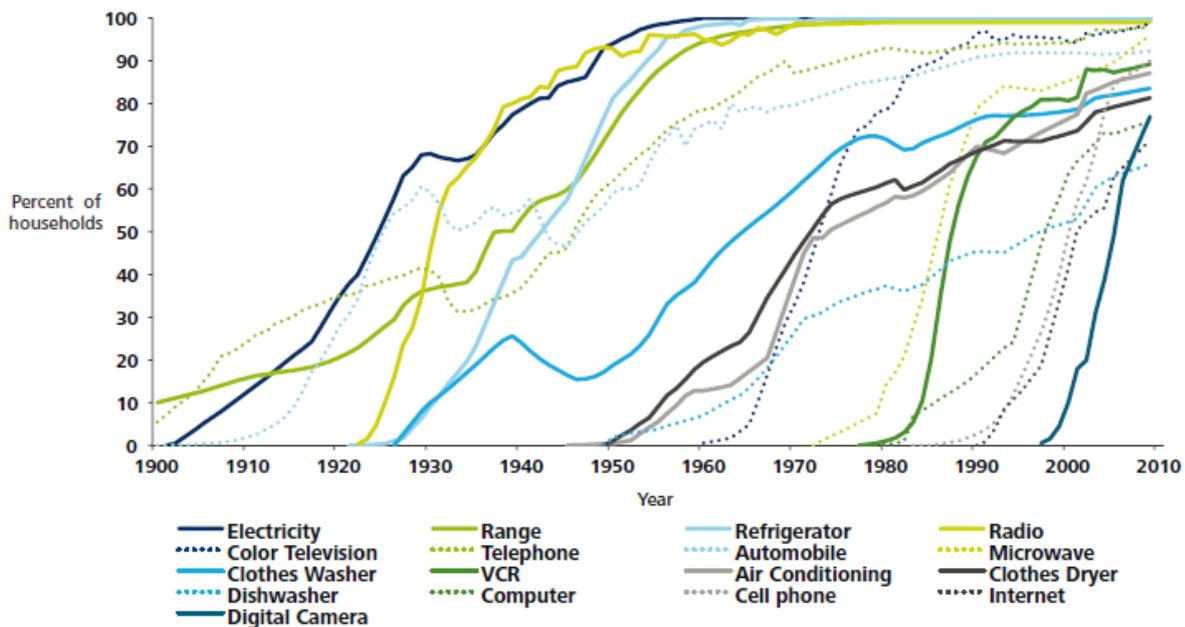


Figura 2.3 - Curvas de utilização de novas tecnologias nos Estados Unidos da América (Fonte: Deloitte)

Quanto à utilização de energia solar, o seu crescimento tem ultrapassado as projeções convencionais, há já algum tempo e provavelmente continuará a fazê-lo, especialmente dada a recente velocidade vertiginosa de novas instalações solares residenciais e comerciais. Como exemplo disso, em 2000, a US Energy Information Administration (EIA) estimava que a geração solar dos EUA totalizaria cerca de 2,6 mil milhões de quilowatts-hora (kWh) em 2015 [5]. Ora, olhando para os dados reais desse mesmo ano vemos que o país gerou mais de 36 mil milhões de kWh, cerca de 15 vezes o montante projetado 15 anos antes [5]. A maioria das outras fontes também não conseguiu antecipar o rápido crescimento observado nos últimos anos.

Apesar deste exemplo caracterizar e quantificar maioritariamente o investimento e o crescimento da tecnologia em meios não exclusivamente residenciais, será importante lembrar que a adoção generalizada da tecnologia (incluindo a nível doméstico) beneficia de baixos custos. Contudo, esses custos podem ser substancialmente diminuídos com avanços tecnológicos dependentes de elevados investimentos. Ou seja, para a tecnologia chegar ao consumidor e à instalação doméstica, é necessário que esteja bem desenvolvida e com preços atrativos.

Para cimentar a ideia de que estamos perante o advento da inserção massificada do painel solar fotovoltaico na instalação elétrica a nível residencial, são apresentados alguns factos relevantes sobre esta tecnologia.

2.3. Razões para a penetração do painel fotovoltaico na instalação residencial

Apesar de persistentes obstáculos, regulamentares e técnicos, ocorreu uma enorme mudança de perceção em relação à energia alternativa: as energias renováveis são agora consideradas, não só como uma solução viável, mas também uma alternativa já validada e bastante difundida. E, cada vez mais, esta tecnologia tem primazia sobre os combustíveis fósseis [6].

De acordo com um relatório publicado pela United Nations Environment Programme [7], 2015 foi um ano recorde para o desenvolvimento das energias renováveis em dois aspetos principais. Primeiro, o investimento global atingiu quase 286 mil milhões de dólares em 2015, um aumento de 5% em relação ao ano anterior [7]. Segundo, um recorde de 134 gigawatts (GW) de capacidade foi instalado (acima de 106GW em 2014) [7].

O que é tão notável sobre este crescimento é que ocorreu, apesar dos preços do gás natural e dos hidrocarbonetos em geral, atingirem valores consistentemente baixos e, subsequentemente, preços de produção baixos nas centrais a gás natural. Esta conjuntura tornou o ambiente mais hostil para as energias renováveis, que, de outra forma, poderiam ter visto o seu crescimento ainda mais acentuado neste período de tempo.

2.3.1. Evolução de custos da tecnologia fotovoltaica

Conforme ilustrado na figura 2.4, os custos de energia solar fotovoltaica caíram acentuadamente à medida que as instalações solares aumentaram. Isto é bem explicado por uma curva de experiência que alguns equiparam com a conhecida "Lei de Moore" na indústria de semicondutores. No entanto, a curva de experiência observada na produção de energia solar fotovoltaica é conhecida como "Lei de Swanson". A Lei de Swanson foi uma observação de Richard Swanson, o fundador da SunPower Corporation, que estimou (desde a década de 70) que a cada duplicação de embarques globais de células fotovoltaicas, o custo do módulo cairia em cerca de 20% [8].

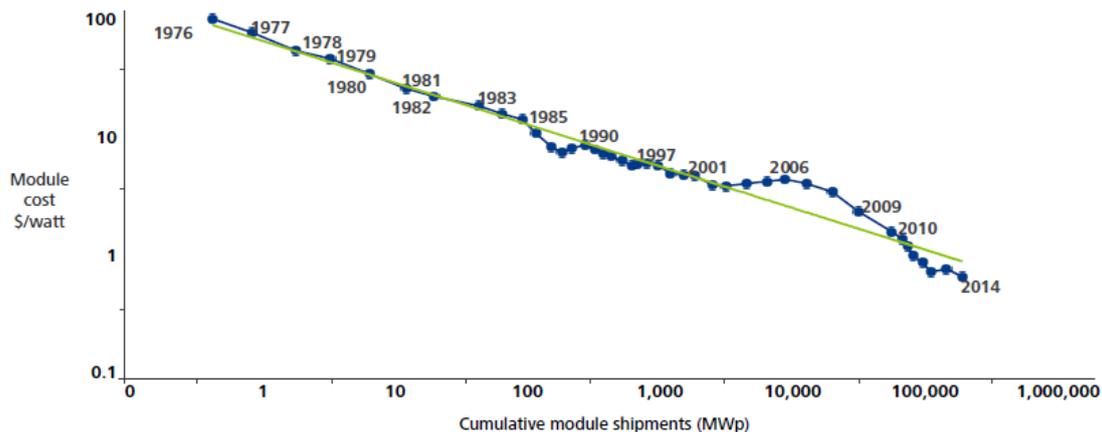


Figura 2.4- Lei de Swanson, à medida que a capacidade aumenta os custos diminuem (Fonte: Deloitte)

Atualmente, o preço dos painéis ronda os 40 centavos por watt, podendo atingir os 30 centavos por watt dependendo da tecnologia empregue [9]. Na próxima década espera-se que este preço seja ainda mais reduzido. No entanto, estes preços não são realistas para o mercado residencial, onde o preço é mais elevado. Seguidamente, apresentam-se preços típicos para os maiores mercados mundiais, para painéis de utilização residencial, ilustrados na figura 2.5.

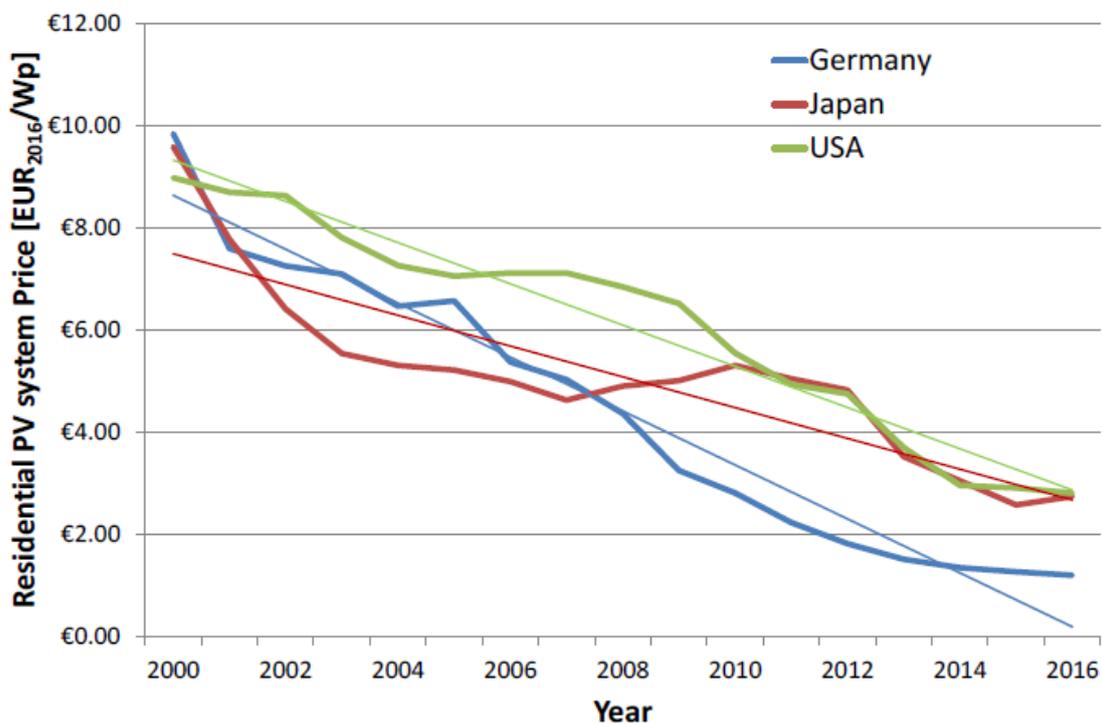


Figura 2.5- Desenvolvimento do preço de PV residencial ao longo do tempo (Fonte: Comissão Europeia)

Em setembro de 2016, o preço médio, a nível mundial, de um sistema fotovoltaico residencial, antes de impostos e taxas era de 1,67 dólares por watt (aproximadamente 1,49 euros por watt), cerca de 25% mais elevado do que na Europa, onde o preço rondava os 1,21 euros por watt [10].

Como mostrado na figura 2.6, a produção de eletricidade a partir de sistemas solares fotovoltaicos residenciais pode ser uma solução mais económica, do que o consumo de energia proveniente da rede.

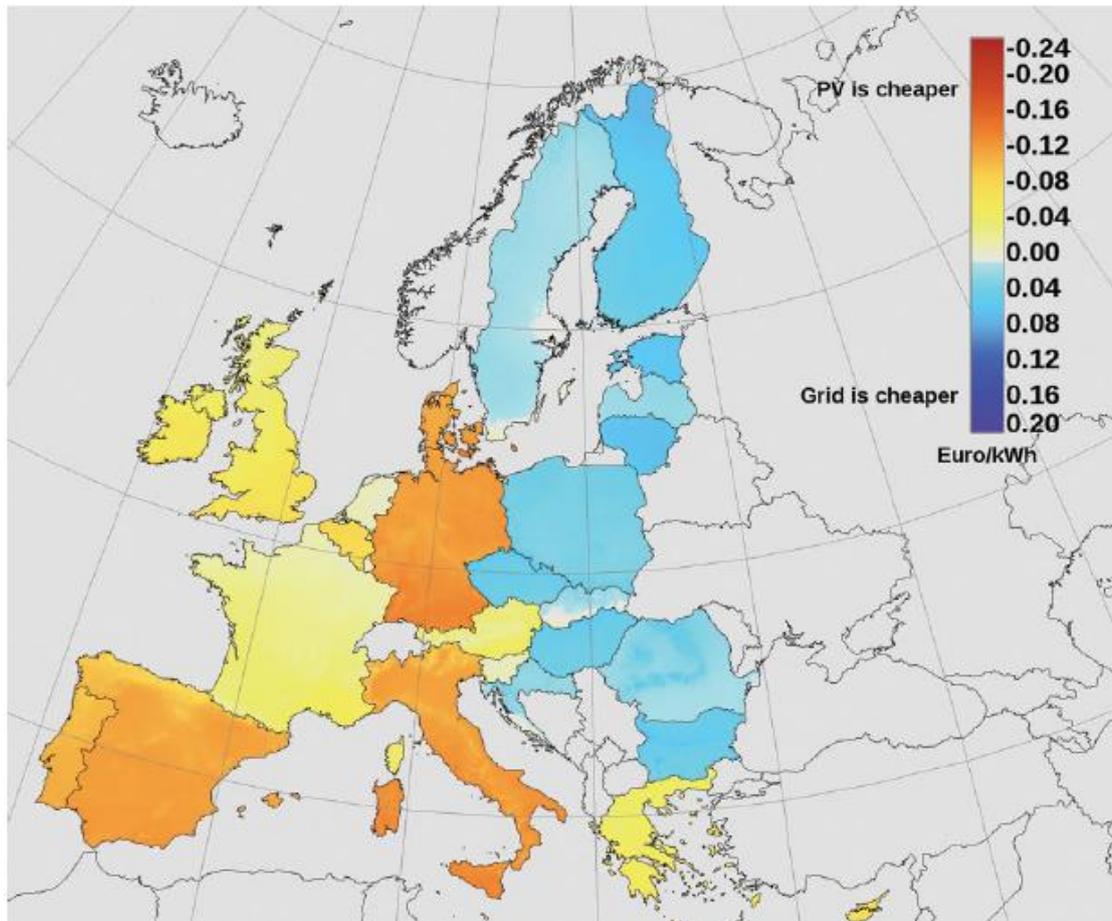


Figura 2.6 - Comparação dos preços da eletricidade residencial europeia com a eletricidade gerada por um sistema fotovoltaico (Fonte: Comissão Europeia)

A situação em que a produção de energia elétrica por meio de painéis fotovoltaicos tem um preço igual à compra de energia à rede é denominada de “paridade de rede”. O custo de produção de energia para autoconsumo já engloba o custo total de todo o equipamento necessário, custos de instalação, custos de manutenção, para além de uma miríade de outros possíveis custos (ver figura 2.7).

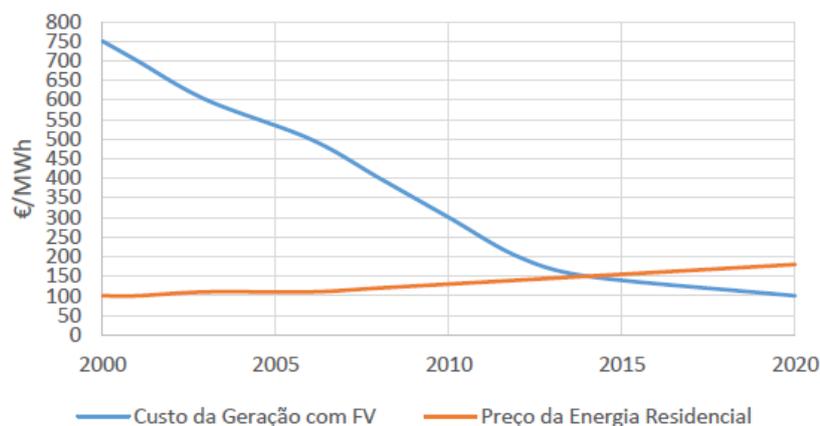


Figura 2.7 – Evolução temporal de custos de eletricidade e de custos de geração com fotovoltaico (Fonte Voltimum)

2.3.2. Reforma regulamentar e apoio às políticas públicas

A Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas de 2015 foi realizada em Paris, França, em dezembro. Mais de 175 países aprovaram o acordo de Paris sobre as alterações Climáticas, estabelecendo assim um recorde para o maior número de países que assinaram um tratado internacional [11].

Por outro lado, nos EUA, o Plano de Energia Limpa da Agência de Proteção Ambiental, tem por objetivo limitar as emissões de carbono das centrais dos EUA, com o objetivo de trazê-los (até 2030) para 32% abaixo dos níveis de 2005 [12]. Enquanto este plano estabelecia diretrizes para reduzir as emissões de carbono provenientes da geração de eletricidade, cabia aos estados estabelecer padrões de desempenho e propor planos de conformidade. O impacto deste plano sobre o setor da energia renovável será determinado por dois tipos de entidades: os Estados, uma vez que cabe a eles decidir quais os recursos renováveis a serem incluídos nas suas estratégias para atingirem as metas estabelecidas; os Tribunais, uma vez que existe ainda alguma oposição de certos estados à utilização de energia proveniente de fontes renováveis. Até o momento, 29 estados e agências estatais opõe-se à medida, enquanto 18 estados e Washington DC revelaram interesse em aderir ao plano [12].

Em março de 2015, a França decretou que todos os novos telhados em zonas comerciais deveriam ser cobertos por painéis solares [13]. Em abril de 2016, San Francisco, na Califórnia, tornou-se a primeira cidade dos EUA a exigir que os novos edifícios tivessem painéis solares instalados no telhado [14].

2.3.3. Redução de emissões de dióxido de carbono

Realizando um pequeno estudo relativo ao que se conseguiria poupar em emissões de dióxido de carbono, facilmente se constata que a adoção massificada da tecnologia fotovoltaica seria um passo fundamental para ajudar a cumprir metas já neste documento anunciadas.

Segundo um estudo da OCDE de 2014 a produção de eletricidade da OCDE gerou 420 gCO₂ / kWh, 2% menos do que em 2013 e quase 20% menos que em 1990, atingindo os níveis mais baixos até à data [15].

Na OCDE Europa, que tem a produção de eletricidade menos dependente de carbono das regiões da OCDE, as reduções de emissões foram impulsionadas principalmente por uma maior participação das energias renováveis no *mix* (2014: 31% vs. 2008: 21%). Em comparação, na

OCDE Américas, o declínio foi causado pelo aumento da contribuição da produção renovável (2014: 20% vs. 2008: 16%) e pelo impacto da troca de combustíveis, como o carvão e gás natural.

Na OCDE Ásia Oceânia, o aumento das emissões deveu-se ao incidente em Fukushima, mas as emissões já se revelaram mais baixas em 2014.

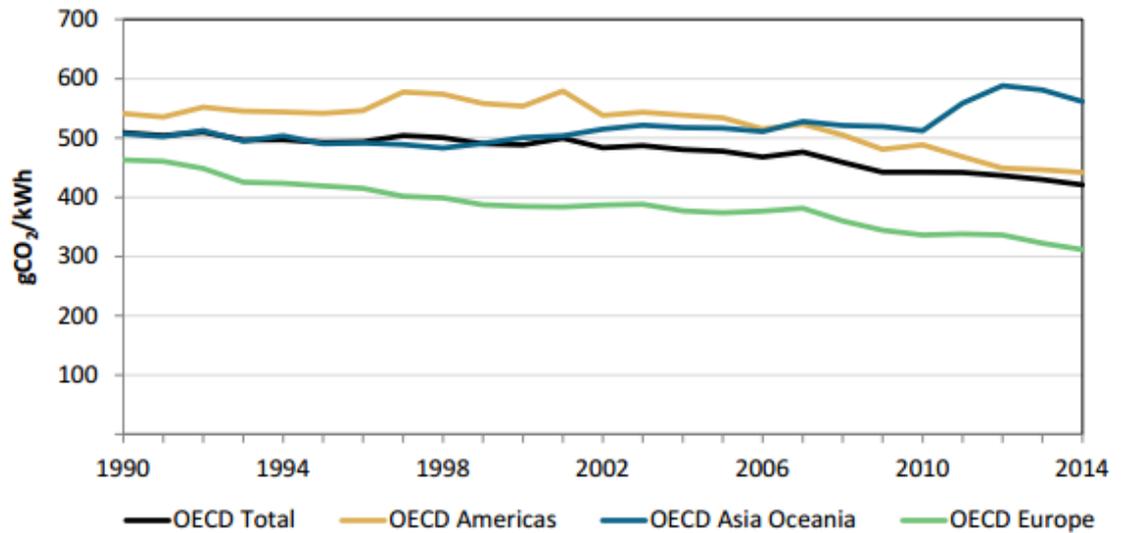


Figura 2.8 - Emissões de CO₂ por kWh (Fonte: OCDE)

Através destes dados fornecidos pela OCDE facilmente se constata que cada kWh de energia produzido recorrendo a um painel fotovoltaico doméstico evita a emissão de cerca de 310g (valor europeu) para a atmosfera - considerando que o painel não produz qualquer tipo de emissões. Se assumirmos um consumo médio anual doméstico de cerca de 2240 kWh [16] (valores provisórios de 2014 e patentes na figura 2.9) e considerarmos que 20% desse consumo é proveniente do painel fotovoltaico, estaremos a evitar a emissão de aproximadamente 139kg de CO₂ por habitação.

Para por em perspetiva o peso desta redução de emissões podemos utilizar o exemplo de um veículo, cujas emissões são, em média, de cerca de 105,7g por km [17]. A redução anual de emissões daria para percorrer cerca de 1314km (ou o percurso realizado em 262 dias, considerando que o percurso médio de um indivíduo é cerca de 5km [18]) sem emissões para a atmosfera de gases de efeito de estufa.

Estas reduções de emissões podem ajudar a cumprir metas estabelecidas a nível europeu ao abrigo do programa 2020.

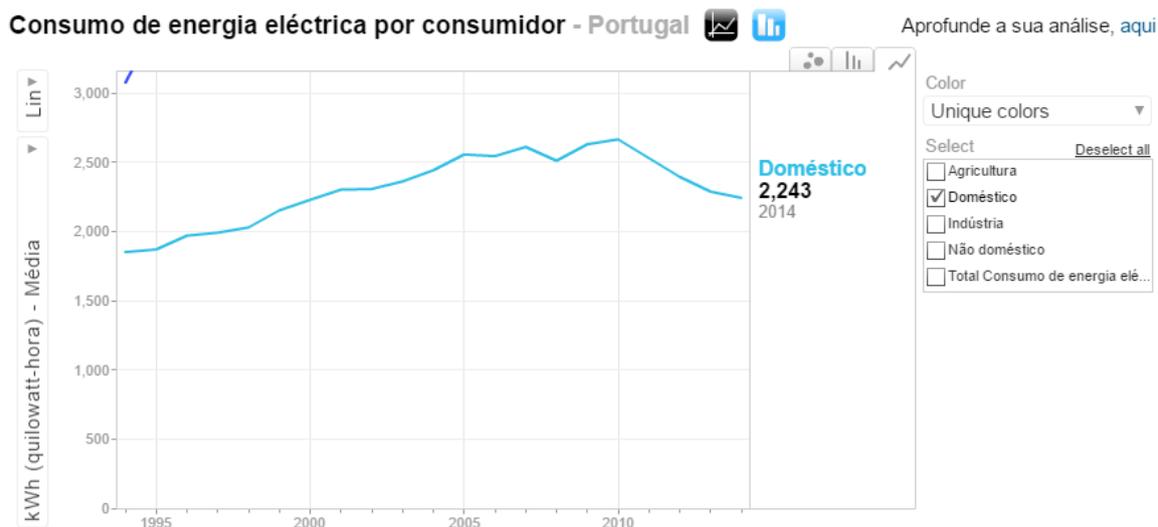


Figura 2.9 - Consumo de energia elétrica a nível doméstico para o ano 2014 - Portugal (Fonte: Pordata)

2.3.4. Adesão da tecnologia fotovoltaica por parte de empresas globais

Mais de 95 empresas multinacionais assumiram o compromisso de serem 100% renováveis através da RE100 - uma iniciativa global e colaborativa de empresas influentes comprometidas com 100% de eletricidade renovável, trabalhando para aumentar massivamente a necessidade corporativa por energia renovável [19]. São várias as empresas que abraçaram este compromisso, estando espalhadas por todo o mundo. Entre os nomes mais sonantes podemos encontrar a *Apple*, o *Facebook*, a *IKEA*, a *General Motors* e o *BMW group*, a *Microsoft*, a *HP*, a *P&G*, a *Coca-Cola*, a *Google*, a *Nike*, etc. [20]. Perante a relevância destas corporações, constata-se que a energia renovável é cada vez mais levada a sério e tida como uma alternativa viável aos tipos de energia convencionais. Para além disso, pela exposição pública que estas empresas recebem, podem ajudar a influenciar a opinião social e facilitar a aceitação destas tecnologias.

Além de obter energia renovável diretamente dos produtores, muitas empresas estão a investir em capacidade de geração nas próprias infraestruturas, visando uma diminuição de custos e apoiar metas de sustentabilidade.

É de esperar que a penetração da auto geração cresça à medida que as soluções apresentadas se fortalecem em termos de redução de custos. Atualmente, a auto geração é particularmente atraente para os grandes utilizadores de energia, comerciais e industriais, que operam em localidades remotas, com poucas infraestruturas, como por exemplo as companhias mineiras. Nestas instalações, painéis solares fotovoltaicos e turbinas eólicas podem ser combinados com mecanismos de armazenamento de energia, como ar comprimido, e ajudar a diminuir a dependência da geração diesel, que é dispendiosa e péssima em termos ambientais. Soluções híbridas como as referidas anteriormente permitem que as empresas evitem a despesa extra de construir linhas de transmissão para se conectar com a rede.

2.3.5. Interação com armazenamento de energia

O armazenamento de energia é um termo amplo que abrange uma vasta gama de tecnologias químicas (principalmente baterias) juntamente com tecnologias mecânicas / térmicas, tais como

ar comprimido, hidrogénio, entre outras. Existe a conceção generalizada e, muitas vezes, errada por parte de muitos empresários, de que as tecnologias de armazenamento de energia não são viáveis nem acessíveis, em particular para aplicações comerciais e industriais de grande escala. Embora a situação varie muito entre as regiões, o armazenamento de energia, em geral, tem-se mostrado um instrumento eficaz para regular fontes de energia intermitentes.

Como dito anteriormente, a utilização de equipamento de armazenamento de energia será abordada mais extensivamente num capítulo posterior.

2.4. Penetração atual da tecnologia fotovoltaica

Em 2015, um total de 244.5 mil milhões de euros foram investidos, a nível global, em instalações de geração de energia renovável. Desta quantia avultada, um quarto, ou 62 mil milhões de euros, foi para projetos de menos de 1MW - tipicamente instalações em telhados e pequenas instalações fotovoltaicas montadas no solo.

Esse aumento foi de 12% em relação aos 55.6 mil milhões investidos no ano anterior e 25% acima do total de 49.6 mil milhões registados em 2013, mas ainda abaixo dos níveis observados em 2011 e 2012 durante o período de pico dos sistemas PV alemães e italianos (ver figura 2.10).

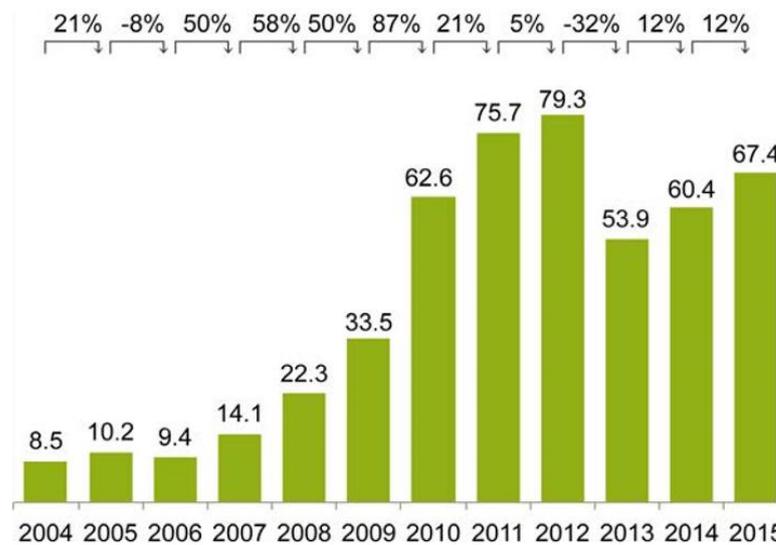


Figura 2.10 - Investimento em unidades de produção de energia solar de pequena dimensão (menor que 1 MW)
(Fonte: Bloomberg)

O Japão foi, de longe, o maior mercado de energia distribuída em 2015. Como se mostra na figura 2.11, o investimento em pequenos projetos na nação asiática aumentou 13% em 2015 (para 29.2 mil milhões de euros), mais de três vezes e meia do que os 8 mil milhões de euros (8,7 mil milhões de dólares) investidos nos EUA.

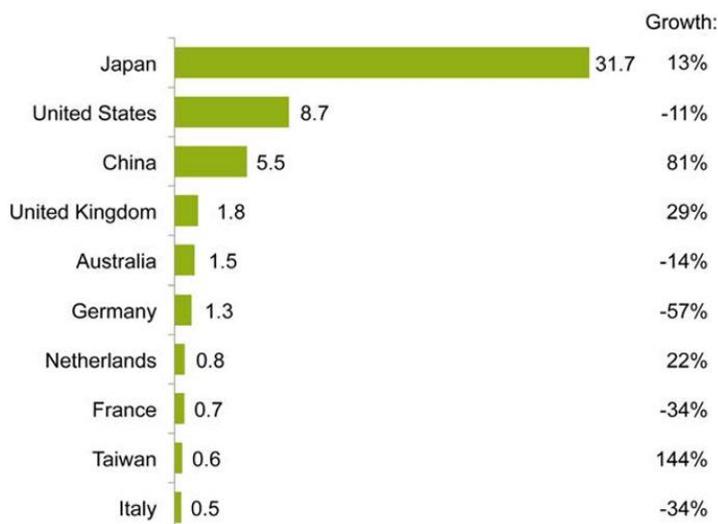


Figura 2.11 - Investimento em tecnologia fotovoltaica por país, em 2015 em milhares de milhões de dólares, e crescimento em 2014 (Fonte: Bloomberg)

Dados de 2016 revelam ainda que no Japão foram adicionados cerca de 9.1GW (sub-1MW PV), para além dos mais de 8 GW já instalados em 2015. No entanto, dados de 2017 revelam que a expansão japonesa se encontra em abrandamento, devido à redução gradual de subsídios por parte do governo japonês.

Nos EUA, o crescimento da tecnologia fotovoltaica residencial parece continuar. Prevê-se que o número de clientes com PV seja mais do que o dobro do atual entre 2015 e 2020. As taxas de construção serão, em média, de 1,7 GW por ano até ao final da década.

Na China, em 2015, o investimento cresceu 81%, para 5,1 mil milhões de euros, embora isso não fosse tanto quanto alguns previram, dado que este é um elemento importante da política do governo chinês. Existe uma série de fatores que vão dificultando a penetração da tecnologia no mercado residencial, incluindo a falta de opções de financiamento para projetos de pequena escala, obstáculos de licenciamento e regulamentação e a falta de telhados adequados.

No Reino Unido, o mercado residencial foi abalado pelo anúncio de cortes drásticos nos subsídios de apoio à instalação de painéis fotovoltaicos residenciais. Novos limites sobre a quantidade de capacidade permitida de instalação, limitaram os projetos de telhado a um total de 350MW a 410MW de capacidade por ano, equivalentes a 54% da média de implantação desde 2011.

No restante continente europeu, a redução contínua dos subsídios continua a fazer-se sentir na Alemanha, que antes era o motor de crescimento das pequenas fontes renováveis distribuídas no continente, contraiu 57% em 2015 para 1,19 mil milhões de euros, enquanto a França caiu 34% para apenas 688 milhões de euros. Os Países Baixos foram uma exceção a esta tendência, com o investimento de capacidade distribuída, de pequena dimensão, a subir 22% para 70 milhões de euros [21].

Em Portugal, a implantação de unidades fotovoltaicas a nível residencial tem vindo a crescer. Exemplo disso são os dados que apontam para que em 2015 tenham sido instaladas cerca de 3500 unidades de produção de eletricidade para autoconsumo. Ao longo de 2016 este número subiu para 6067 instalações, aproximando-se agora das dez mil no conjunto dos dois anos, com uma potência instalada total de 50.393 kW. [22]

À semelhança do que ocorreu em 2015, no ano de 2016 a grande maioria das instalações necessitou apenas de uma comunicação prévia à DGE por se tratar de sistemas entre os 200

Watt a 1500 Watt e sem injeção na rede elétrica, que variam entre um e seis painéis (investimento na ordem dos 3000 euros).

2.5. Esquemas elétricos de uma instalação fotovoltaica típica

Os esquemas elétricos de uma instalação fotovoltaica residencial tipo podem ser consultados no anexo A do presente documento, sendo que são provenientes do documento “ESQUEMAS TIPO DE UNIDADES DE PRODUÇÃO PARA AUTOCONSUMO (UPAC) COM TECNOLOGIA SOLAR FOTOVOLTAICA” que foi redigido sobre a alçada da comissão técnica de normalização eletrotécnica – CTE 64 Instalações elétricas em edifícios [23]. A figura 2.12 pretende ser exemplificativa de um desses esquemas.

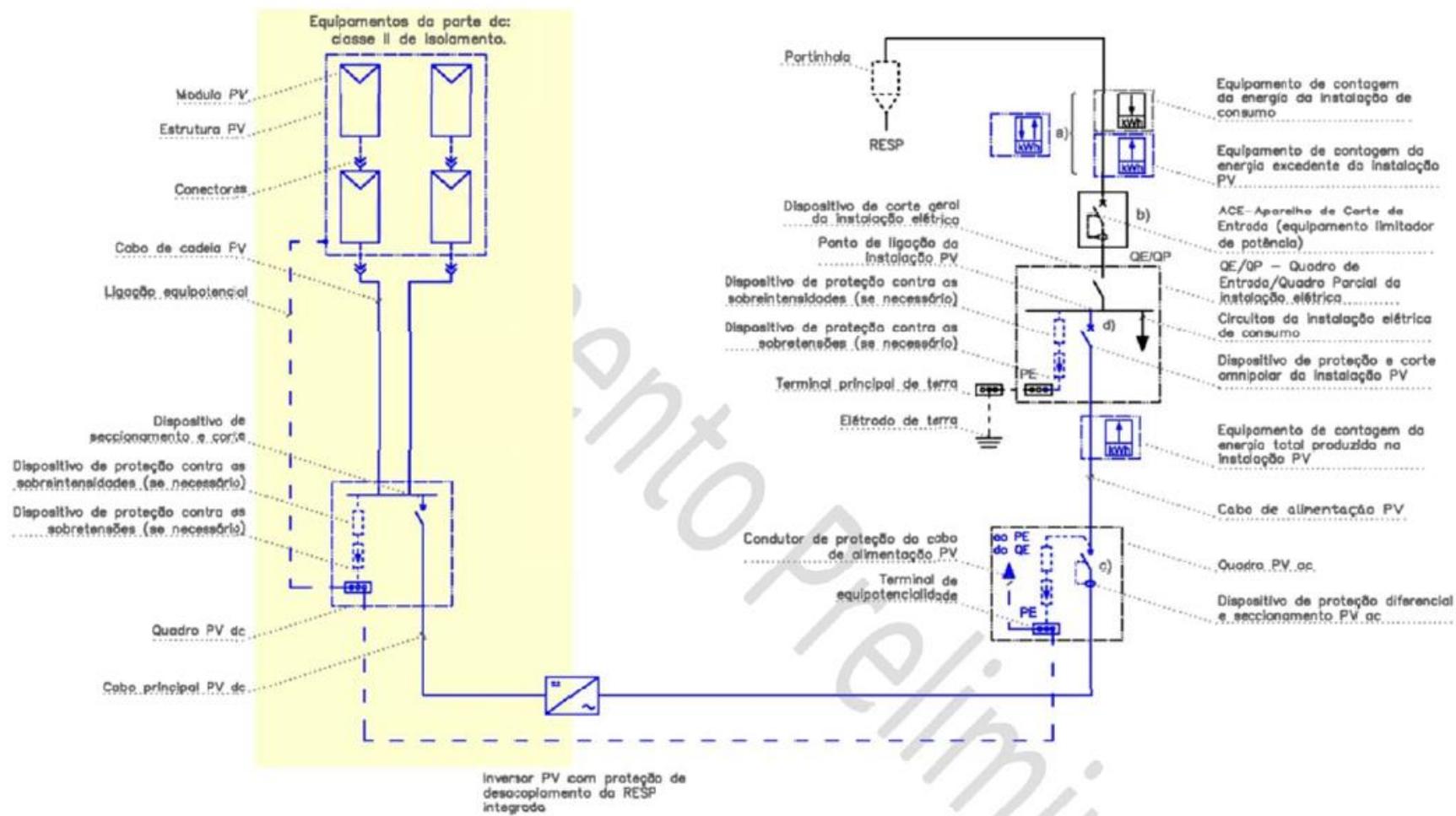


Figura 2.12 - Esquema tipo de unidade de produção para autoconsumo, com um grupo PV, associada a uma instalação elétrica alimentada pela RESP, em BTN ou BTE (Fonte: Direção Geral de Energia e Geologia)

Algumas notas relativas à figura 2.12 [23]:

1. O equipamento de contagem da energia elétrica pode ser um único, desde que permita a contagem nos dois sentidos.
2. No caso de o produtor não pretender injetar energia na RESP, deve ser instalado um sistema que o impeça e, nesse caso, é dispensável a colocação do equipamento de contagem da energia excedente da instalação PV.
3. O aparelho de corte de entrada (ACE) é utilizado nas instalações de consumo em BTN. Se o ACE não for dotado de proteção diferencial, esta proteção deve ser garantida pela instalação, elétrica e no caso de:
 - 3.1. O dispositivo de proteção diferencial ser colocado no interior do quadro de entrada (QE), a instalação a montante deste dispositivo deve ser da classe II de isolamento;
 - 3.2. O dispositivo de proteção diferencial ser colocado entre o ACE e o QE, este dispositivo deve ser instalado num invólucro da classe II de isolamento.
4. A proteção contra os contactos indiretos deve ser garantida por dispositivos de proteção diferencial. Devem ser do tipo B quando o inversor PV puder introduzir, por construção, correntes de defeito DC na instalação elétrica.
5. O cabo de alimentação PV deve ser ligado de forma fixa, em regra, ao quadro de entrada (QE). Quando questões técnicas/económicas o justificarem pode ser ligado a um quadro parcial (QP) da instalação elétrica.
6. O QGBT e o QE podem constituir um único quadro.

2.6. Regras técnicas aplicáveis à instalação fotovoltaica doméstica (em Portugal)

Os regulamentos aplicáveis a este tipo de instalação podem ser consultados na secção 712: Instalações Solares Fotovoltaicas (PV) das Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão (RTIEBT), aprovadas pela Portaria n.º 252/2015, que altera a Portaria n.º 949-A/2006, de 11 de setembro, fixando assim as regras específicas aplicáveis às instalações elétricas alimentadas por sistemas PV, em complemento das restantes especificações estabelecidas nas RTIEBT.

2.7. Conclusões

Existe uma série de fatores que estão a promover uma adoção mais acelerada da tecnologia fotovoltaica, como a diminuição do preço e apoios regulamentares, entre outros.

A utilização do painel fotovoltaico na instalação residencial tem vindo a aumentar a nível global, havendo mercados mais desenvolvidos (a Alemanha e o Japão são exemplo disso).

A nível nacional a adoção tem sido mais tímida, mas tem vindo a aumentar nos últimos anos.

A presença de esquemas elétricos e de regras técnicas bem definidas quer a nível nacional, quer a nível global, indicam que a tecnologia já é encarada de forma séria pelas entidades reguladoras e que o seu estado de maturação já pode ser considerado avançado.

Capítulo 3

Armazenamento de energia no setor residencial

A utilização eficaz dos recursos energéticos do mundo depende da flexibilidade para dispor da energia aquando da sua necessidade por parte do utilizador final, que é o conceito fundamental por trás das tecnologias de armazenamento de energia.

A flexibilidade temporal oferecida pelo armazenamento pode ajudar o setor de energia a acomodar períodos de incompatibilidade entre oferta e procura (de breves flutuações a interrupções prolongadas) e, assim, melhorar a fiabilidade da rede, a qualidade da sua eletricidade e a rentabilidade dos investimentos em infraestrutura.

Do ponto de vista social, o armazenamento pode responder de forma eficaz à procura energética emergente das áreas rurais, munir os consumidores com uma capacidade extra para gerir o seu consumo de energia e tornar ainda mais apelativa a adesão a recursos renováveis.

Os potenciais benefícios do armazenamento de energia, chamaram a atenção de muitas partes interessadas no setor, levando a um crescimento significativo da tecnologia. O armazenamento de energia entre consumidores finais (comercial e residencial) deverá crescer, na ordem de 70 vezes nos anos vindouros (172 MW em 2014 para 12.147 MW em 2024) devido, em grande parte, à tecnologia das *smart grids* [24].

O presente capítulo procura focar-se no armazenamento de energia em consumidores finais, mais especificamente no setor residencial, visto ser a vertente que se adequa ao tema em desenvolvimento. A nível residencial, o armazenamento de energia adquire um carácter de tecnologia distribuída, a par do que acontece com a geração distribuída – tema explorado no capítulo anterior – pelo que será importante clarificar e definir este conceito.

3.1. Armazenamento de energia distribuído

O armazenamento de energia não é um conceito novo no sistema de energia elétrica. Tecnologias de armazenamento de energia como baterias de chumbo-ácida, sistemas de bombagem nas grandes centrais hídricas e armazenamento de energia através de ar comprimido (CAES) já se encontram espalhadas, e em utilização, há largos anos.

A grande novidade da atualidade reside na necessidade de dispor do armazenamento de energia longe da produção. O sistema elétrico continua a evoluir, um pouco como um organismo

vivo, em constante procura de se adaptar ao meio envolvente, numa espécie de batalha Darwiniana, à medida que novas tecnologias se acoplam à rede, como geração distribuída intermitente, veículos elétricos, entre outros. Originalmente, a variabilidade do sistema encontrava-se na carga e no seu consumo, mas o paradigma está a mudar, havendo agora variabilidade na própria geração de energia. Este facto torna o sistema mais imprevisível e faz com que a manutenção de níveis de fiabilidade, qualidade e segurança do sistema se tornem tarefas mais desafiadoras. A complexidade e distribuição de geração e novas cargas emergentes no sistema, como os veículos elétricos, requer soluções que estejam localizadas perto de ativos do sistema de distribuição, podendo mesmo ser inseridas no seio da instalação doméstica.

O armazenamento de energia, tanto centralizado como distribuído, pode desempenhar um papel importante para ajudar a equilibrar o sistema e garantir a fiabilidade e estabilidade. O *portfolio* energético a nível mundial irá, com certeza, incluir produção e armazenamento de energia num nível centralizado na próxima década, no entanto a inclusão de sistemas descentralizados tornar-se-á cada vez mais valiosa, e até mesmo fundamental, para atingir as metas ambientais pré-estabelecidas assim como para saciar as necessidades energéticas dos consumidores.

Pode-se definir o “armazenamento de energia distribuído” como aquele em que um grupo de unidades de armazenamento de energia, tipicamente de tamanho reduzido, localizadas ao longo do sistema de distribuição da rede ou no interior da instalação elétrica doméstica. Estas unidades, a nível doméstico, possuem potências na ordem dos quilowatts, alinhando-se com as potências dos sistemas fotovoltaicos.

3.2. A integração do armazenamento de energia e da geração fotovoltaica no setor doméstico

As baterias projetadas para armazenar a eletricidade excedente gerada por um sistema fotovoltaico solar permitem o armazenamento de eletricidade solar para uma utilização em períodos nos quais não existe produção de energia, normalmente em períodos crepusculares.

Potencialmente as baterias podem aumentar o uso da eletricidade gerada pelo sistema fotovoltaico em edifícios residenciais de um máximo de 30% sem armazenamento para cerca de 70%, otimizando a eficiência e reduzindo a quantidade de energia adicional necessária da rede [25].

Para tal acontecer, o armazenamento de energia deve funcionar segundo os seguintes princípios:

Durante o dia:

- O sistema de armazenamento verifica se toda a geração está a ser utilizada para alimentar as cargas;
- Caso isto não aconteça, o sistema garante que a energia em excesso será utilizada para carregar a bateria;
- Uma vez que a bateria esteja carregada na totalidade, os excedentes de energia são injetados na RESP.

Durante os períodos noturnos ou de baixa intensidade solar:

- Os painéis solares possuem um output energético baixo ou nulo;
- O sistema de baterias pode descarregar a eletricidade armazenada, fornecendo energia elétrica renovável sem custos adicionais;

- Depois de descarregada a bateria, as necessidades suplementares de energia terão de ser supridas pela rede.

3.3. Principais metodologias de interligação entre sistemas de armazenamento e sistemas fotovoltaicos

Existem duas metodologias distintas na ligação de um sistema de armazenamento de energia a um sistema PV. A primeira forma é denominada por acoplamento DC.

Nesta vertente, as baterias são carregadas diretamente pelos painéis, como se pode ver pelo esquema da figura 3.1. Quando há necessidade de utilizar a energia armazenada, existe um estágio de conversão DC-DC que pode ser realizado no interior da bateria (com elevados níveis de eficiência, normalmente acima de 95%) e em seguida dá-se uma conversão DC-AC para que a energia possa ser consumida pelas cargas domésticas.

A segunda arquitetura, referida na figura 3.1, propõe que as baterias sejam instaladas no lado da rede, onde a corrente contínua proveniente do painel solar já foi convertida em AC. Um outro inversor converte a corrente alternada de volta para DC para armazenar na bateria. Quando a bateria descarrega, o mesmo inversor converte a corrente contínua de volta para AC.

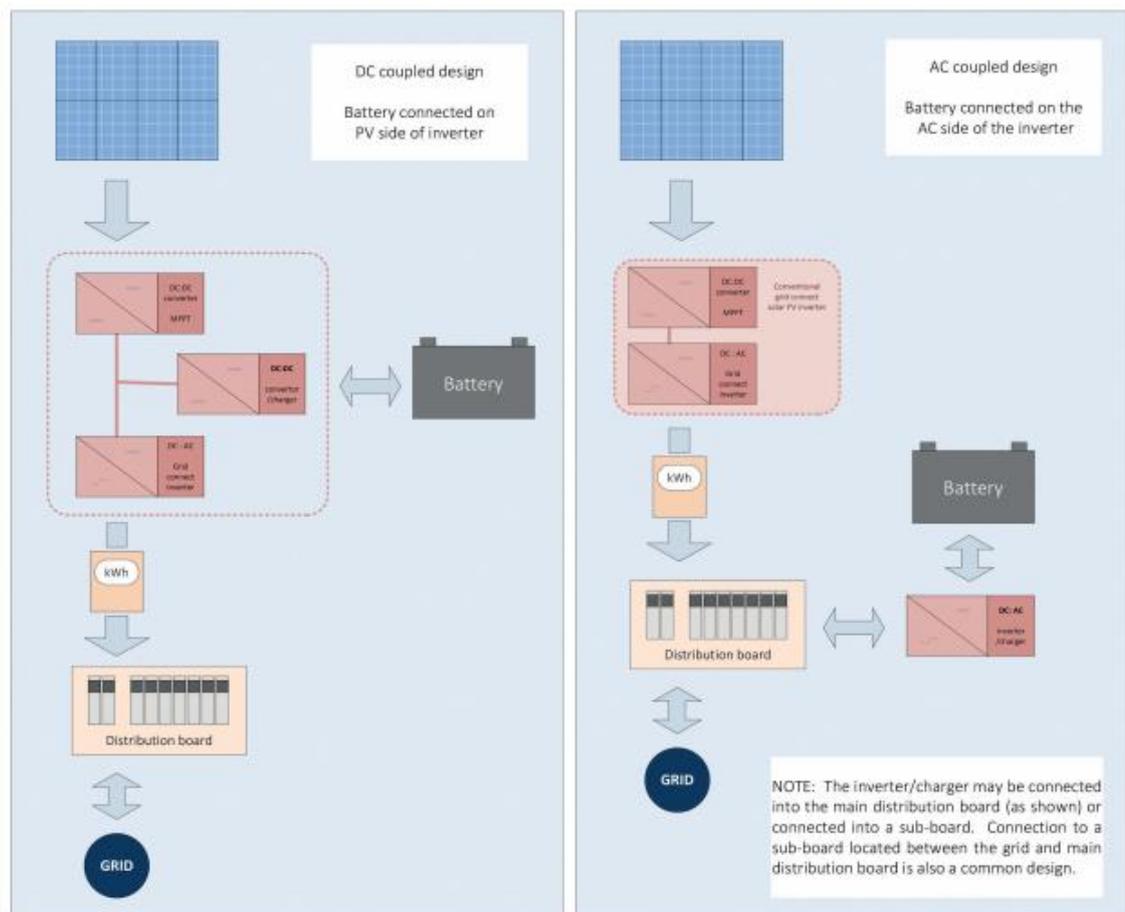


Figura 3.1 - Diferentes tipos de arquitetura no acoplamento de sistemas de armazenamento de energia a sistemas PV
(Fonte: Code of Practice for Grid Connected Solar PV Systems)

Há uma maior probabilidade de o consumidor possuir um sistema com acoplamento AC caso pretenda adicionar a bateria a um sistema solar já existente, naquilo a que a literatura anglo-saxónica denomina de aplicação “retrofit”. Nestes casos o instalador deve assegurar-se que todos os novos componentes são compatíveis e adequados ao sistema previamente existente.

Por oposição, os sistemas de acoplamento DC são mais comuns em residências que pretendem implementar um sistema PV com acumulação de raiz. O acoplamento DC também pode ser feito numa lógica de retrofit.

A figura 3.2 representa uma possível topologia de um sistema com acoplamento AC. Os esquemas elétricos apresentados são baseados em tecnologia SMA, pelo que diferentes topologias podem ser encontradas ou implementadas em diferentes instalações.

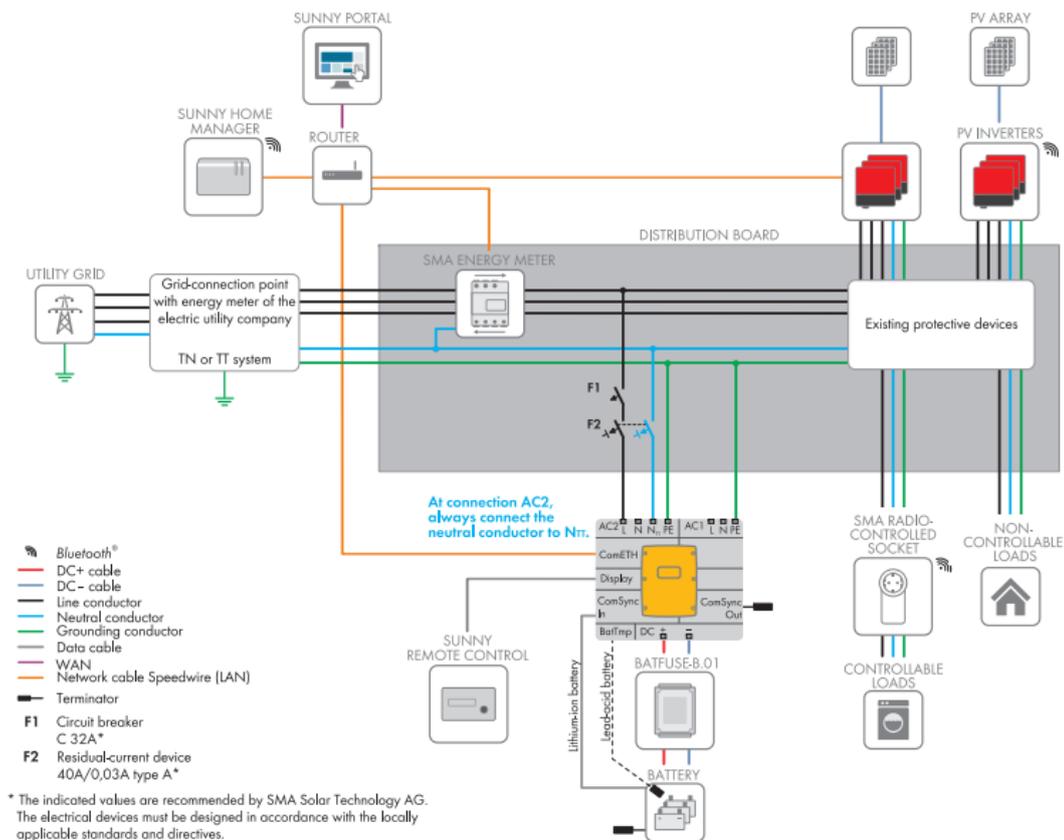


Figura 3.2 - Possível esquema para implementação de armazenamento doméstico (Fonte: SMA)

O equipamento de cor amarela é o inversor da bateria, que evita que o painel carregue em demasia a bateria, que haja um fluxo de corrente da bateria para o painel e que a bateria descarregue em demasia.

Existe ainda equipamento de proteção entre o controlador solar e a bateria, essa proteção pode ser realizada com recurso a fusíveis, dimensionados de acordo com as características da instalação.

O disjuntor F1 e o diferencial F2 devem ser dimensionados de acordo com as regras técnicas locais de cada país, sendo que em Portugal devem ser aplicadas as regras técnicas de instalações elétricas em baixa tensão (RTIEBT).

3.4. Vantagens e desvantagens das duas metodologias de armazenamento de energia em aplicações residenciais

O armazenamento com acoplamento AC é bidirecional e pode armazenar energia da rede. O acoplamento com tecnologia DC só pode armazenar energia a partir dos painéis solares. O armazenamento DC é mais barato (especialmente para *retrofits*), pois alavanca a tecnologia de inversores PV existente - não há necessidade de instalar um inversor especializado e pronto para armazenamento.

Um sistema AC poderá incluir um modo UPS, que pode fornecer corrente alternada das baterias na eventualidade de haver uma quebra de serviço. Os sistemas DC, por outro lado, exigem que a rede esteja sempre disponível para alimentar a instalação, como é o caso de um inversor fotovoltaico típico. Na ocorrência de uma falha de serviço na rede, o sistema deve desligar por razões de segurança.

3.5. Baterias: Conceitos gerais, Tipos e Preços

Atualmente existem vários tipos de baterias que se encontram em fase de desenvolvimento ou já prontas a serem integradas no mercado de energia. Esta subsecção pretende abordar de forma sucinta as tecnologias mais adequadas ao consumo residencial, as vantagens e as desvantagens associadas a cada equipamento, as perspectivas de adoção das diversas tecnologias e fazer uma previsão do seu custo no futuro.

No entanto, antes de fazer uma análise à miríade de produtos existentes, será fundamental ter uma noção global das principais características que afetam o funcionamento destes equipamentos.

3.5.1 Conceitos fundamentais sobre o funcionamento de baterias

3.5.1.1. Capacidade da bateria

Define a quantidade de energia elétrica que a bateria pode fornecer e é medida em Ampere hora (Ah) quando descarregada uniformemente durante um determinado período de tempo, por exemplo, uma bateria de 120Ah será descarregada em 100 horas, ao fornecer 1,2 A.

Se descarregada a uma taxa mais elevada (por uma corrente mais elevada) então a capacidade da bateria é reduzida consideravelmente. A corrente de carga/descarga máxima deve ser inferior a 10% da capacidade da bateria.

Fatores que afetam a capacidade da bateria:

- Temperatura - Temperaturas baixas reduzem significativamente a capacidade da bateria;
- Idade do equipamento – A capacidade da bateria decresce com o envelhecimento do sistema.

3.5.1.2. Eficiência da bateria

Nenhuma bateria é 100% eficiente. Existe sempre uma parte de energia que é perdida quando a carga e/ou descarga do equipamento. Atualmente há tecnologias que possuem eficiências na ordem dos 90%, sendo que a eficiência degrada-se com a idade do equipamento, assim como a ocorrência de sulfatação dos terminais ou estratificação do eletrólito.

3.5.1.3. Duração da bateria (tempo médio de vida do equipamento)

Define o número de ciclos de carga/descarga a que o equipamento pode ser submetido. Quanto mais profundamente a bateria for descarregada, menor será o número de ciclos que conseguirá resistir.

A percentagem de profundidade de descarga (DOD) de uma bateria refere-se à quantidade de energia utilizável até à recarga. Embora as baterias com tecnologia *deep cycle* (ou ciclo profundo) possam ser descarregadas até 20% da sua capacidade nominal (80% DOD), como é o caso das baterias de lítio, uma utilização em que apenas 50% da DOD seja utilizada confere ao equipamento uma maior longevidade.

3.5.2. Tipos de baterias

3.5.2.1. Baterias de chumbo

As baterias de chumbo (especialmente de chumbo-ácido) têm um uso comercial mais vasto do que qualquer outro tipo de baterias no mercado e, portanto, são as mais baratas.

Apesar de não terem características atrativas em termos de desempenho (por exemplo, têm uma vida útil relativamente curta, e não podem ser descarregadas tão profundamente quanto outros tipos de baterias sem prejudicar a sua capacidade de suportar uma carga), o desempenho de baterias de chumbo em condições reais está bem documentado sendo, portanto, previsível. Além disso, são relativamente seguras de usar e existem procedimentos bem estabelecidos para a sua eliminação e reciclagem [26].

Este tipo de equipamento é o mais indicado para residências que pretendem adquirir um sistema de armazenamento de energia com custos iniciais relativamente baixos, para uma tecnologia que é amplamente utilizada e bem compreendida.

Resumo de características principais:

Tabela 3.1 -Caraterísticas de bateria chumbo-ácido (Fonte: Solar Choice)

DOD	30 a 70% (dependendo do tipo de tecnologia e fabricante)
Nº de ciclos	800-5600 com DOD de 30% (dependendo do tipo de tecnologia)
Duração do equipamento (em anos)	Até 12 anos



Figura 3.3 - Exemplo de bateria de chumbo-ácido (Fonte: Thunderbolt)

3.5.2.2. Baterias de lítio

As baterias de lítio são a tecnologia que tem sofrido maiores desenvolvimentos tecnológicos, sendo consideradas a maior promessa na substituição das baterias de chumbo-ácido, como padrão para as aplicações residenciais.

Em geral, as baterias de íons de lítio são mais robustas do que as de chumbo-ácido, tolerando descargas mais profundas sem incorrer no mesmo desgaste (principalmente a sua capacidade de manter uma carga). As baterias de íons de lítio possuem ainda a capacidade de efetuar descargas muito rapidamente, o que abona na sua aceitação a nível doméstico.

Existem inúmeras variedades de composições químicas de baterias de lítio, mas uma das mais comuns e com maior aceitação é o fosfato de lítio-ferro (LiFePO₄). Uma das desvantagens das baterias de lítio é inerente à combustibilidade do eletrólito, embora muitas empresas tenham investido muito tempo e capital em encontrar formas de melhorar a segurança.

Este tipo de tecnologia pode ser a melhor solução para residências que procurem um sistema de armazenamento de energia capaz de fornecer quantidades relativamente grandes de energia num curto intervalo de tempo. Este tipo de equipamento requer um investimento inicial mais avultado, relativamente às baterias de chumbo. No entanto, a sua capacidade mais alargada de descarga (DOD de 80% na maioria dos casos), não afetando a sua capacidade de manter uma carga, pode revelar-se um fator decisivo [26].

Tabela 3.2 - Características de bateria de íons de lítio (Fonte: Solar Choice)

DOD	Até 80% (dependendo do tipo de tecnologia)
Nº de ciclos	Até 8000 com DOD de 80% ou 6000 com DOD de 90%
Duração do equipamento (em anos)	Até 12 anos



Figura 3.4 - Exemplo de bateria de íons de lítio (Fonte: Tesla)

3.5.2.3. Baterias de fluxo

As baterias de fluxo são baterias de reação constituídas por um ou mais eletrólitos contidos em tanques de armazenamento externos. As baterias de fluxo têm características únicas em termos de potência e de energia que fornecem. A potência (em kW) é uma função do número de células

em que são empilhadas, enquanto a energia (kWh) é uma função do volume de eletrólito, que é circulado por bombas. As baterias de fluxo são geralmente menos afetadas por sobrecarga ou descarga. Isso significa que podem ser usadas sem degradação significativa de desempenho [27].

Este tipo de equipamento é uma das tecnologias mais recentes no mercado. Ao contrário das baterias listadas acima, as baterias de fluxo contêm partes móveis que bombeiam um eletrólito através de uma membrana. Em contraste com as baterias de chumbo e lítio, nas baterias de fluxo o eletrólito em si não é o elemento causador da avaria, trazendo o fim da vida da bateria. Em vez disso, são os outros componentes que irão desgastar-se ao longo do tempo. As baterias de fluxo são geralmente seguras e não corrosivas, mas podem ser extremamente pesadas, tornando-as mais adequadas para aplicações em larga escala, em oposição ao uso doméstico. No entanto, há já produtos no mercado que adequam esta tecnologia a aplicações residenciais.

Uma vez que este tipo de equipamento possui grandes dimensões e peso, a sua integração a nível residencial pode ainda estar numa fase inicial, pelo que esta tecnologia só será adequada a consumidores que desejam soluções no topo da eficiência tecnológica [26].

Tabela 3.3 - Características de bateria de fluxo (Fonte: Solar Choice)

DOD	Até 100%
Nº de ciclos	Ilimitado, pode apenas ser restringido pelas limitações físicas do material não eletrolítico
Duração do equipamento (em anos)	Entre 10 e 12 anos

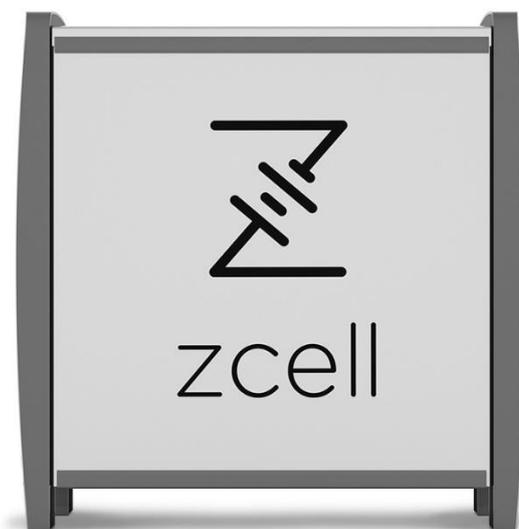


Figura 3.5 - Exemplo de bateria de fluxo (Fonte Redflow)

Nas figuras 3.6, 3.7 e 3.8 é apresentada uma previsão para a evolução dos preços das diferentes tecnologias ao longo da próxima década.

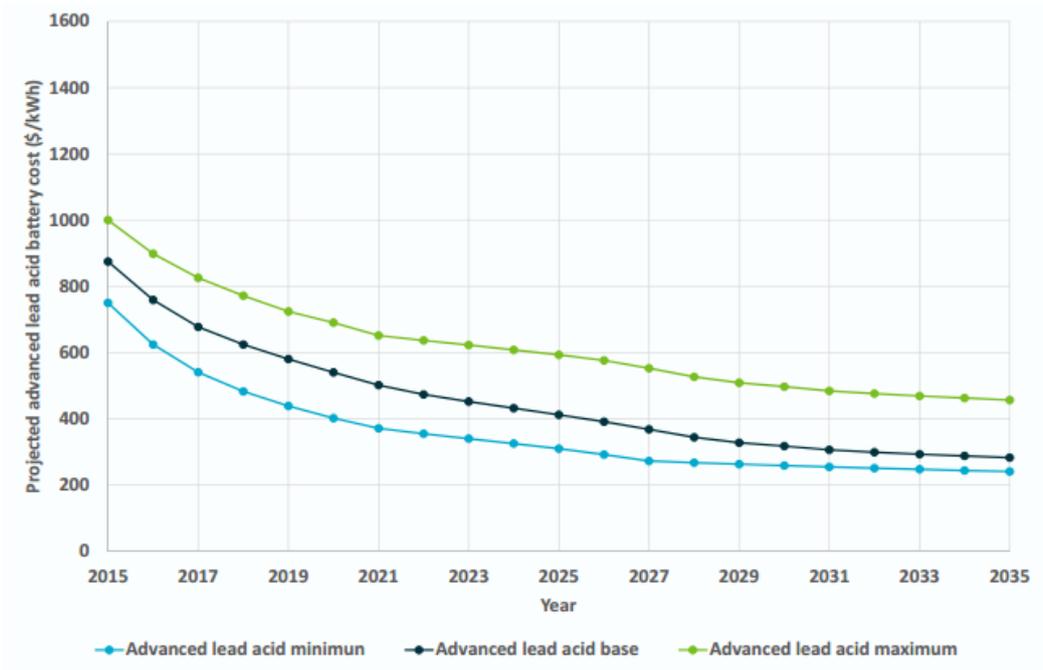


Figura 3.6 - Projeções do custo de baterias de tecnologia chumbo-ácido na próxima década (Fonte: CSIRO)

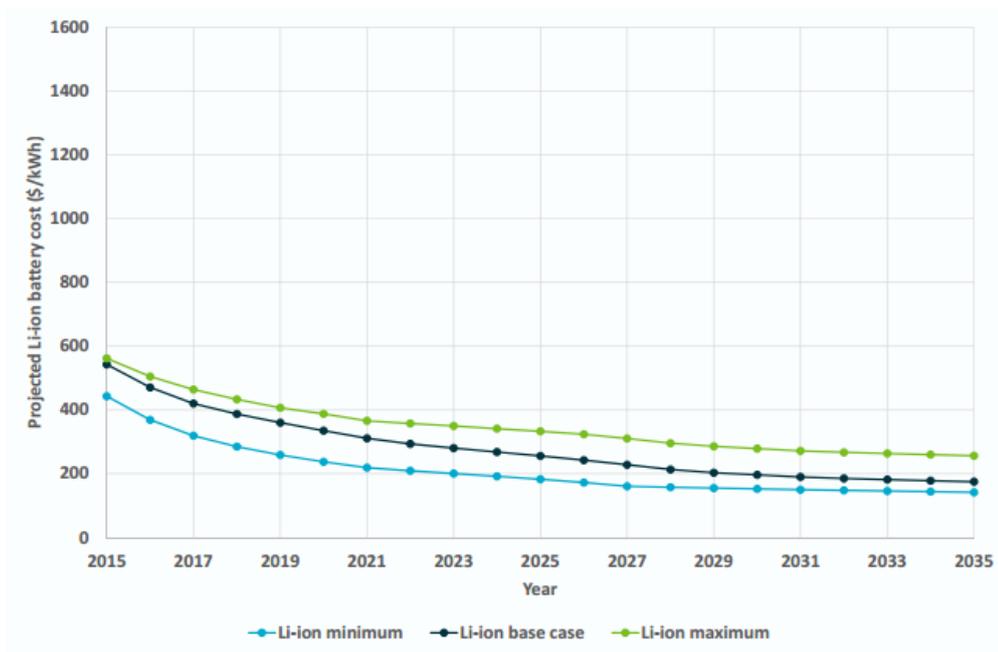


Figura 3.7 - Projeções do custo de baterias de tecnologia íões de lítio na próxima década (Fonte: CSIRO)

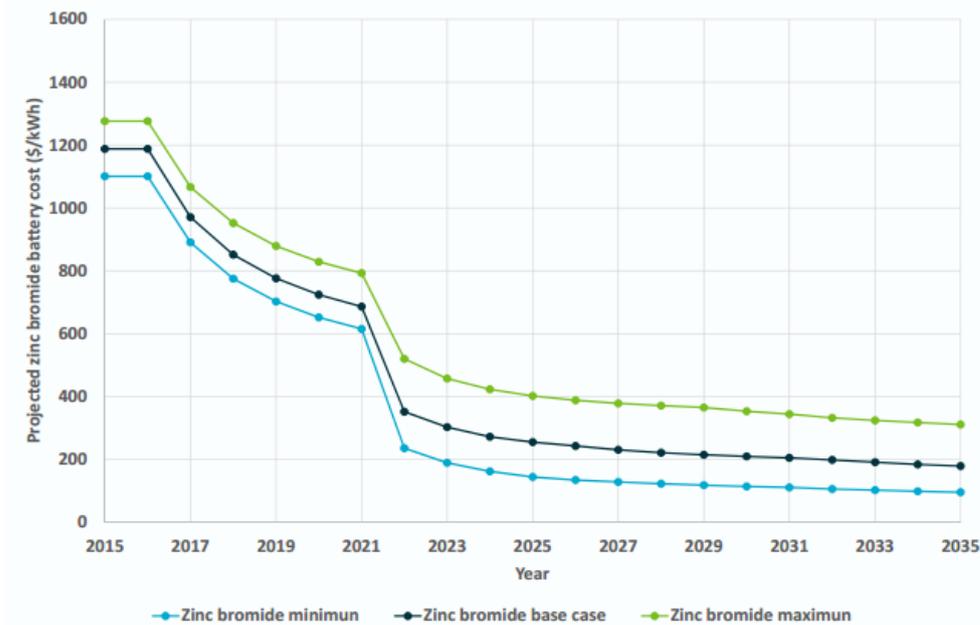


Figura 3.8 - Projeções do custo de baterias de fluxo na próxima década (Fonte: CSIRO)

A forma das trajetórias difere entre as tecnologias mais maduras (Li-ion e ácido de chumbo) e a tecnologia menos madura (baterias de fluxo). A tecnologia menos madura tem uma taxa de aprendizagem mais alta e, portanto, um declínio mais acentuado no custo de capital após o ano de 2016, que então nivela para fora no ano 2022. O declínio de 2021 para 2022 é particularmente íngreme. Isso reflete o facto de que a capacidade instalada cumulativa inicial dessa tecnologia ser baixa. Assim, à medida que as baterias vão sendo instaladas, a capacidade acumulada aumenta rapidamente, do que resultam reduções rápidas de custos. Contudo, à medida que mais capacidade é acumulada, ainda mais capacidade precisa de ser instalada para que ocorram reduções adicionais de custos. Eventualmente, todas as oportunidades de baixo custo para este tipo de baterias são usadas, e a curva de aprendizagem satura. Após este ponto, o custo reduz-se lentamente, e a tecnologia pode ser considerada como madura. As tecnologias mais maduras têm uma trajetória de custo muito mais plana. Os custos já são baixos e há mais capacidade cumulativa para começar, porque há também a inclusão da capacidade das baterias presentes nos automóveis.

Analisando as trajetórias de aceitação patentes na figura 3.9, percebe-se que a tecnologia com menor grau de incidência a nível doméstico será a bateria de chumbo. Para as baterias de fluxo e de lítio o grau de aceitação revela-se maior, no entanto as baterias de lítio começam a deixar a sua marca no mercado muito mais cedo.

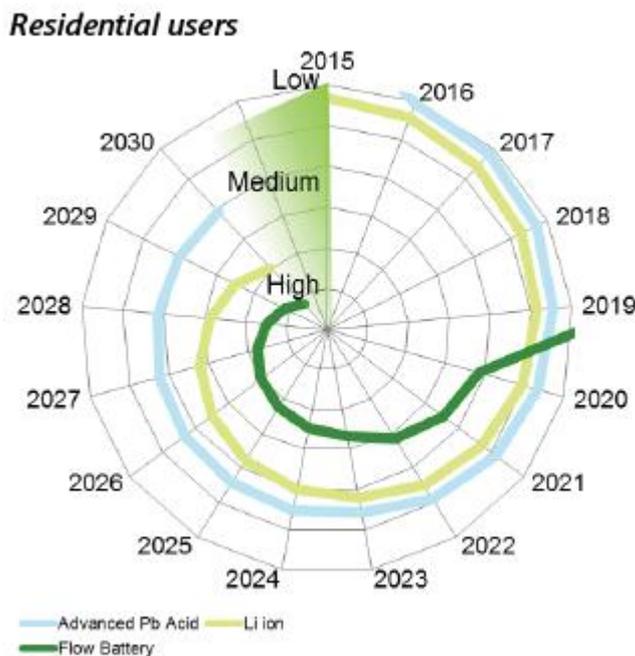


Figura 3.9 - Nível de aceitação previsto para cada tecnologia apresentada (Fonte: Deloitte)

3.6. Viabilidade económica da utilização de baterias no setor residencial

Existe um grande número de estudos recentes que analisam a viabilidade económica da introdução de armazenamento de energia no meio doméstico. As conclusões a que os diversos estudos chegam são muito diversas, podendo mesmo ser completamente opostas. Existem exemplos que atestam a viabilidade económica do armazenamento não só num futuro próximo, mas também na atualidade o que, a serem confirmadas tais previsões, revela um cenário muito abonatório à adoção das unidades de armazenamento de energia.

O primeiro estudo a ser usado como referência neste documento foi redigido em 2014 ao abrigo do instituto federal de tecnologia de Zurique e engloba várias variáveis que normalmente não são consideradas por outros estudos - que apenas abordam a temática de uma forma quase leviana - a saber:

- O peso das FIT ou a inexistência das mesmas num futuro próximo;
- A capacidade de a residência ter acesso ao mercado grossista de eletricidade;
- Variação da capacidade do sistema fotovoltaico e do sistema de armazenamento com o intuito de encontrar a melhor combinação de sistemas;
- O peso que a variação dos preços da eletricidade poderá introduzir no período de retorno de investimento (variação do preço de eletricidade presente na figura 3.10);
- Para além disso, o estudo não só faz uma análise da evolução percentual dos custos da tecnologia em destaque, como dos custos da tecnologia auxiliar (inversores, custos de instalação e de engenharia) [28].

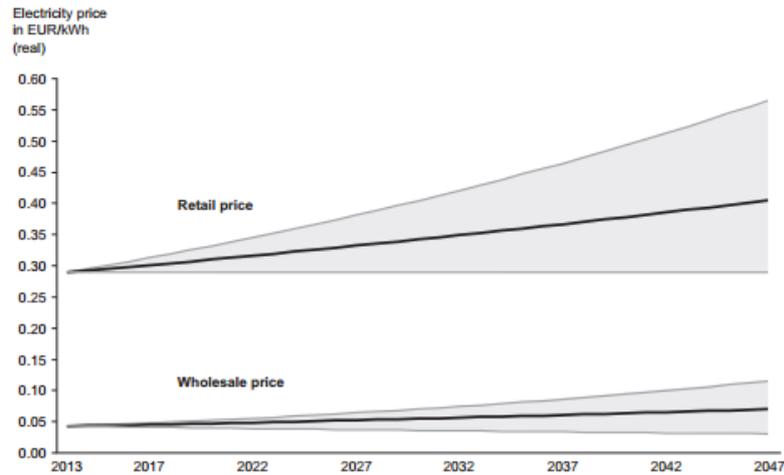


Figura 3.10 - Previsão dos preços de eletricidade (Fonte: J. Hoppmann et al. / *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (2014)). Nota: As áreas a cinza representam o intervalo de valores em que o preço da eletricidade pode variar, enquanto que a linha a preto representa a média entre o valor máximo estimado e o valor mínimo estimado do preço da eletricidade.

Será importante ressaltar que o estudo apenas faz projeções e análises para o mercado alemão, contudo, e como já tivemos a oportunidade de constatar no capítulo anterior, este mercado é considerado líder europeu na tecnologia solar fotovoltaica, pelo que, os resultados obtidos podem ser utilizados como referência para o restante espaço europeu.

Outra nota importante relativa ao estudo recai no facto de apenas serem equacionadas soluções que utilizam baterias de chumbo, uma vez que são aquelas que apresentam um menor preço.

Os resultados apresentados no estudo (ver figura 3.11) demonstram que o armazenamento de baterias já é economicamente viável para pequenos sistemas fotovoltaicos em todos os cenários de preços de eletricidade. Em especial, os cenários que, de acordo com as tendências atuais na Alemanha, pressupõem uma diminuição dos preços grossistas da eletricidade e um aumento simultâneo dos preços de retalho da eletricidade conduzindo a uma elevada viabilidade económica dos investimentos em armazenamento [28].

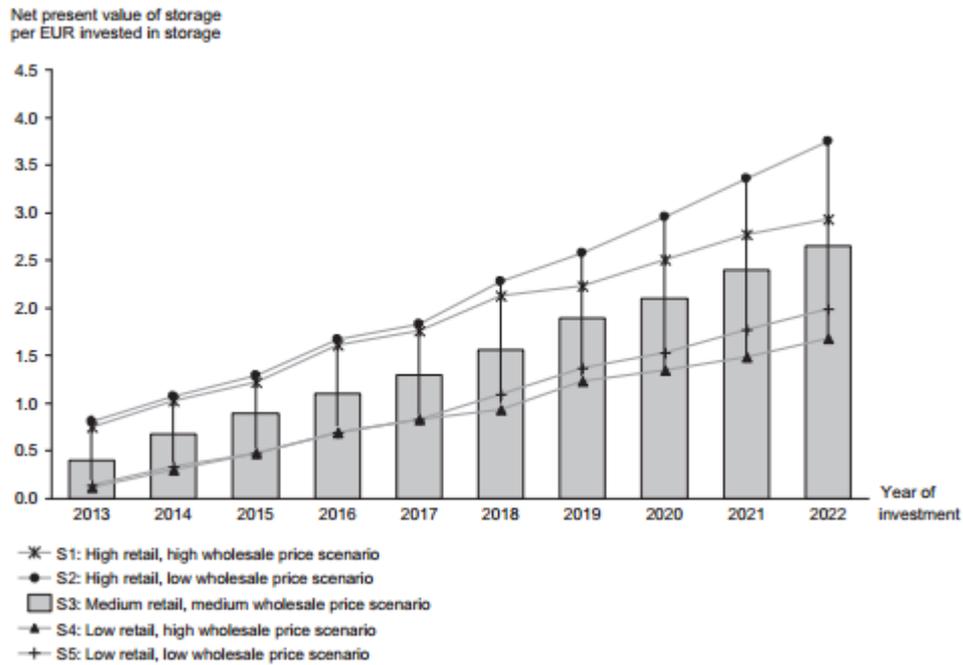


Figura 3.11 – Valor atual líquido para o investimento em tecnologia de armazenamento de energia, para diferentes cenários de preços de eletricidade. (Fonte: J. Hoppmann et al. / Renewable and Sustainable Energy Reviews (2014)).
 Nota: um valor atual líquido superior a zero viabiliza o investimento.

Existe ainda um outro estudo realizado pela universidade de Munique, muito semelhante ao primeiro estudo apresentado, tendo em atenção as mesmas variáveis já citadas, no entanto focando-se na utilização de baterias de lítio, mais especificamente na *Powerwall* fabricada pela *Tesla*. O estudo toma ainda em consideração diferentes tipos de acoplamento da tecnologia de armazenamento (AC e DC).

Segundo o estudo, a viabilidade do investimento está dependente de vários fatores, sendo o mais decisivo a evolução dos custos de eletricidade (ver figura 3.12) [29].

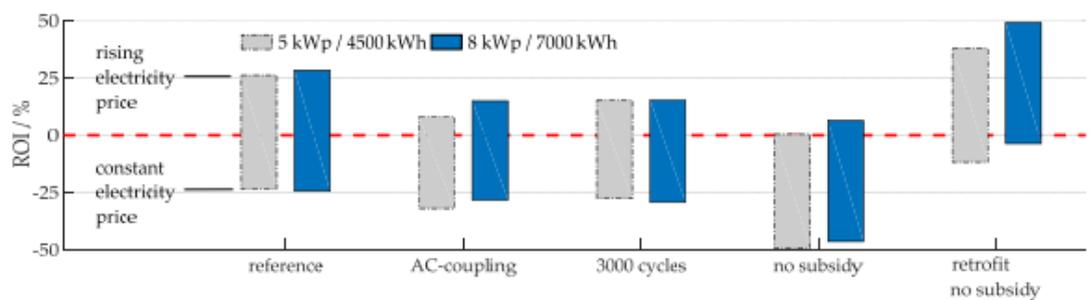


Figura 3.12 - ROI expectável para a tecnologia de armazenamento variando parâmetros determinantes (Fonte: MDPI)

Analisando a figura 3.12, constata-se que existe um largo espetro variáveis que influenciam a viabilidade do investimento em sistemas de diferentes capacidades como o tipo de acoplamento, o tempo de vida das baterias, a subsídio da tecnologia entre outros.

Após a análise de diversos estudos presentes na literatura atual, incluindo dois aqui apresentados, pode-se afirmar que a viabilidade da tecnologia (no plano económico) está

dependente de fatores alheios ao seu desenvolvimento, nomeadamente a evolução dos custos da eletricidade. Apesar de nem todos os estudos apresentarem esta tecnologia como uma solução viável para a atualidade, existe algum consenso no que diz respeito à viabilidade num futuro próximo, nomeadamente na próxima década, onde a maioria dos autores aponta como viável a adoção da tecnologia na instalação residencial.

3.7. Conclusões

A tecnologia de armazenamento doméstico possibilita um maior aproveitamento da tecnologia fotovoltaica. Existem diversas tecnologias a competir no mercado, sendo que foram apresentadas as possuem maior hipótese de adoção. Segundo alguns estudos, o armazenamento doméstico já é uma solução economicamente viável para alguns países, mas a evolução do preço da eletricidade será um fator decisivo na viabilização definitiva da tecnologia.

Capítulo 4

Os eletrodomésticos na instalação residencial do futuro

Os eletrodomésticos são uma parte integrante da instalação residencial, podendo afirmar-se que a conceção da instalação elétrica gira em torno das suas necessidades energéticas e da proteção destes aparelhos.

No entanto, pode levantar-se uma questão pertinente no que diz respeito a estes equipamentos. Poderão os eletrodomésticos assumir um papel mais decisivo e ativo no futuro das instalações domésticas?

Este capítulo pretende dar resposta a esta pergunta, apresentando soluções que estão ainda em desenvolvimento na literatura internacional e que podem criar novos mercados e novas metodologias na forma como estes equipamentos são encarados.

4.1. Eficiência energética nos eletrodomésticos

4.1.1. Programas Ecodesign directive e Energy Labelling directive

Os padrões e rótulos energéticos, quando cuidadosamente concebidos e amplamente reconhecidos, podem ajudar os utilizadores finais a selecionar os equipamentos mais eficientes do ponto de vista energético. Este tipo de iniciativas ajuda a desenvolver e a fomentar mercados globais e a harmonizar as políticas internacionais, permitindo uma melhor transparência para os clientes e aumentando a concorrência.

Na UE, as normas energéticas e os rótulos energéticos dos produtos relacionados com o consumo de energia são promovidos pela *Ecodesign directive* (EDD) [30] e pela *Energy labelling directive* (ELD) [30], respetivamente:

A EDD prevê regras a nível da UE para melhorar o desempenho ambiental dos produtos relacionados com a energia, estabelecendo normas obrigatórias de desempenho energético mínimo, que retiram do mercado os produtos com pior desempenho (lado da oferta). Trata-se de uma ferramenta de política orientada para os produtos, que procura integrar os aspetos ambientais na sua fase de conceção, com o objetivo de melhorar o seu desempenho ambiental ao longo de todo o ciclo de vida do produto. É geralmente aceite que a maioria dos impactos ambientais e de custos de um produto são determinados durante a fase de conceção, muitas vezes muito antes de estes impactos realmente se manifestarem. Por exemplo, a escolha da fibra de carbono sobre o

aço para um componente na fase de projeto resulta num produto mais leve (menos energia necessária para transportá-lo), mas torna-o menos adequado para reciclagem (maior impacto no final da vida útil).

A diretiva relativa à rotulagem energética (ELD) complementa estes requisitos com uma rotulagem energética obrigatória para determinados produtos relacionados com a energia (por exemplo, para aparelhos de ar condicionado, televisões, etc.), conduzindo a procura para produtos mais eficientes (lado da procura).

Estima-se que estas duas diretivas já tenham um impacto positivo global na redução da poupança de energia (175 Mtep por ano até 2020 [31]). Isso equivale a ganhos na economia de 19% em comparação com o uso de energia sem a implementação destas medidas. Ao estabelecerem normas cada vez mais rigorosas e, conseqüentemente, ao permitir reduzir o consumo de energia dos principais aparelhos, estas medidas de política assegurarão quase metade do objetivo de 20% de eficiência energética até 2020.

No entanto, existem ainda algumas oportunidades significativas para economias de energia adicionais: a Comissão solicita regularmente a criação de um plano de trabalho para incluir produtos adicionais na lista de grupos de produtos que são considerados prioritários para a adoção de medidas de execução ao abrigo destas duas diretivas.

Atualmente, existem vários grupos de produtos abrangidos pelas diretivas mencionadas, a saber:

- 11 grupos de produtos abrangidos pelas regras de eficiência energética e de rotulagem: máquinas de lavar louça, máquinas de lavar roupa, secadores de roupa, frigoríficos, aspiradores, lâmpadas, luminárias, televisores, aparelhos de ar condicionado, aparelhos domésticos de cozinha e unidades de ventilação;
- 8 grupos de produtos abrangidos por requisitos de eficiência (e não por rotulagem): box televisiva, fontes de alimentação externas, motores elétricos, bombas, ventiladores, bombas de água, computadores, transformadores de potência.

Segundo a União Europeia, os consumidores que em 2020 utilizem apenas equipamento eficiente podem atingir poupanças anuais médias na ordem dos 465 euros. As medidas introduzidas no ano de 2015, relativas ao consumo em standby de diversos aparelhos, nomeadamente as boxes televisivas, podem introduzir poupanças na ordem dos 40 euros anuais, sem interferência na performance do aparelho [31].

Apesar dos seus impactos positivos, estas duas diretivas ainda têm uma série de desafios a ultrapassar, a saber:

- A tendência de aumento da dimensão dos aparelhos: por exemplo, a média da superfície visível de uma televisão passou de uma diagonal de 19 polegadas em 1990 para 32 polegadas em 2010. Para 2030 espera-se que atinja as 51 polegadas, segundo dados da União Europeia;
- Processos de regulamentação longos, que conduzem a trabalhos técnicos e preparatórios ultrapassados. O processo jurídico, desde o estudo preparatório até à publicação do regulamento do produto, tem uma duração média superior a quatro anos. Este período corresponde ou excede o ciclo de vida de vários grupos de produtos (especialmente nas TIC);

- Incumprimento devido a uma fraca aplicação das diretivas nos países em que as medidas pretendem ser implementadas: estima-se que cerca de 10% dos potenciais ganhos energéticos provenientes do *Ecodesign* e da Etiquetagem Energética são perdidos como consequência de uma aplicação incorreta [32].

No que se refere à melhoria da integração das diretivas, existe um número variado de escalas energéticas, pelo que seria benéfico uma uniformização e simplificação dessa informação, facilitando a sua utilização pelo consumidor. Uma medida interessante, proposta pelos agentes reguladores, equaciona o lançamento de uma escala de A a G, em oposição às atuais tabelas (A+++ a D). Este tipo de diferenciação energética faz mais sentido no mercado atual, uma vez que a maioria dos produtos com fraco desempenho está banido do mercado, concentrando as vendas nos produtos com etiqueta A, A+, A++ e A+++. Desta forma, o impacto da eficiência energética acaba por ser diluído, fazendo com que o consumidor não se aperceba, pelo menos de uma forma evidente, das diferenças entre os produtos.

Uma outra medida interessante passa pela inserção de estimativas de custo de operação do equipamento ao longo do ano ou a poupança que deste se poderá extrair, em comparação com um equipamento menos eficiente. Na etiqueta de eficiência poderia estar presente o custo médio da eletricidade, o qual, aliado ao consumo anual do eletrodoméstico, permitiria calcular encargo energético anual. A etiqueta poderia até mesmo ter presente a fórmula de cálculo do encargo anual, facilitando a decisão do consumidor.

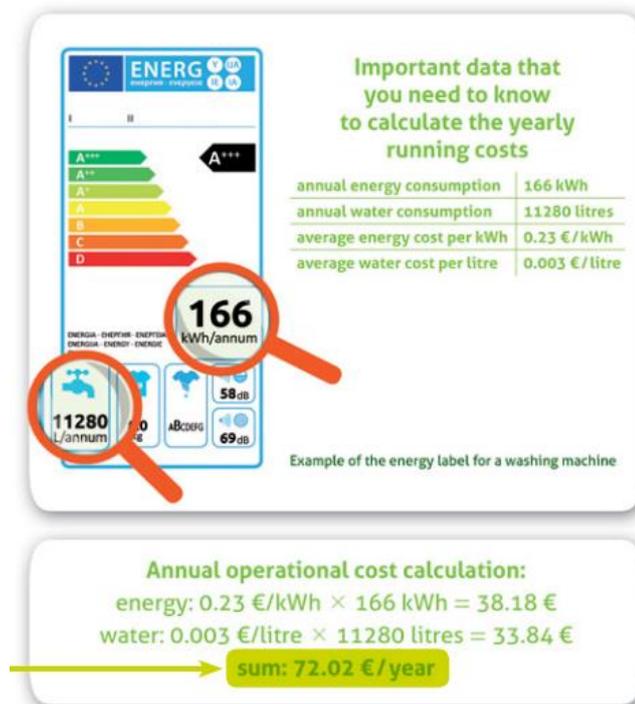


Figura 4.1 - Exemplo de escala energética com informação dos custos de operação (Fonte: Deloitte)

4.1.2. Programa EnergyGuide

O *EnergyGuide* fornece aos consumidores nos Estados Unidos informações sobre o consumo de energia, eficiência e custos operacionais de eletrodomésticos tais como, máquinas de lavar e secar, frigoríficos, ares-condicionados, televisores entre outros aparelhos. Este rótulo é obrigatório para todos os equipamentos citados e deve conter o número de modelo do

equipamento, as suas principais características e exibir um gráfico que mostre o custo operacional anual estimado do modelo e o consumo anual estimado [33].

4.1.3. Programa Energy Star

O programa *Energy Star* é um padrão internacional para produtos de consumo, eficientes, cuja gênese teve lugar nos Estados Unidos. Foi criado em 1992 pela Agência de Proteção Ambiental e pelo Departamento de Energia, mas a sua adoção pode ser encontrada em países como a Austrália, Canadá, Japão, Nova Zelândia e países da União Europeia.

Este programa de eficiência energética abrange um elevado número de grupos de produtos, incluindo, produtos computacionais e relativos periféricos, eletrodomésticos, iluminação, entre outros.

A sua missão pode ser equiparada às diretivas europeias supracitadas, mas mais vocacionado para o mercado norte americano. No entanto, este programa não atribui uma espécie de rating ao equipamento, sendo o selo da *Energy Star* apenas uma garantia de que o produto obedece a um conjunto de regras de eficiência energética desenvolvidas pelo programa e que possui uma eficiência superior a um produto que não seja dotado desta “etiqueta” energética [34].

4.1.4. Rótulos e escalas energéticas

Pela observação das figuras 4.2 e 4.3 é possível constatar que existem algumas diferenças entre os rótulos empregues em diferentes países, em comparação com os rótulos utilizados na União Europeia (ver figura 4.1). No mapa da figura 4.4, encontram-se representados os países com rótulos de eficiência e o grau de semelhança com as diretivas europeias.

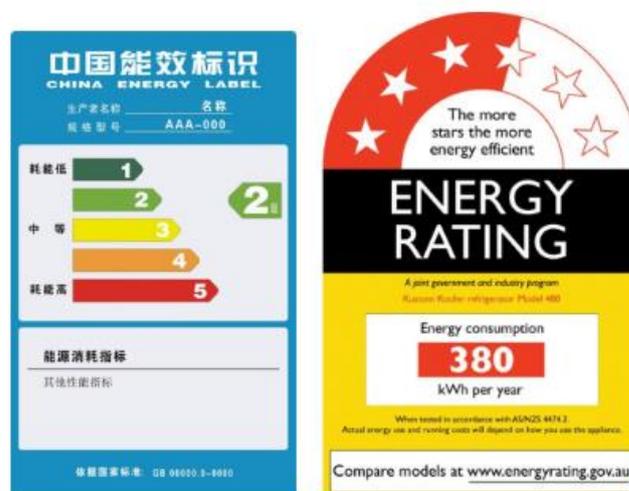


Figura 4.2: Rótulo de eficiência energética chines (à esquerda) e rótulo de eficiência energética australiano (à direita) (Fonte: EUR-Lex)

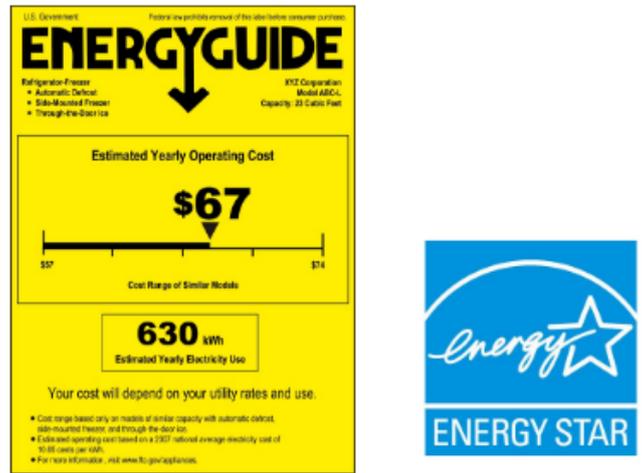


Figura 4.3: Rótulo *energyguide* (à esquerda) e rótulo *energy star* (à direita) (Fonte: EUR-Lex)

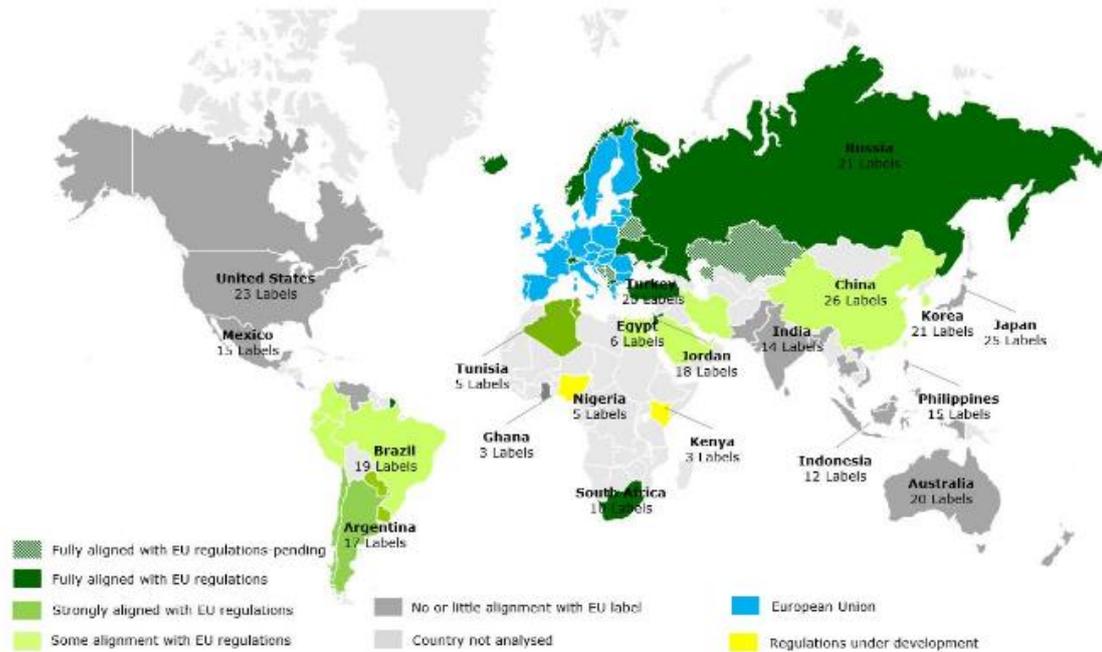


Figura 4.4 - Países com rótulos de eficiência energética e o grau de semelhança com as diretivas europeias (Fonte: EUR-Lex)

4.1.5. Graus de penetração dos equipamentos mais eficientes na União Europeia

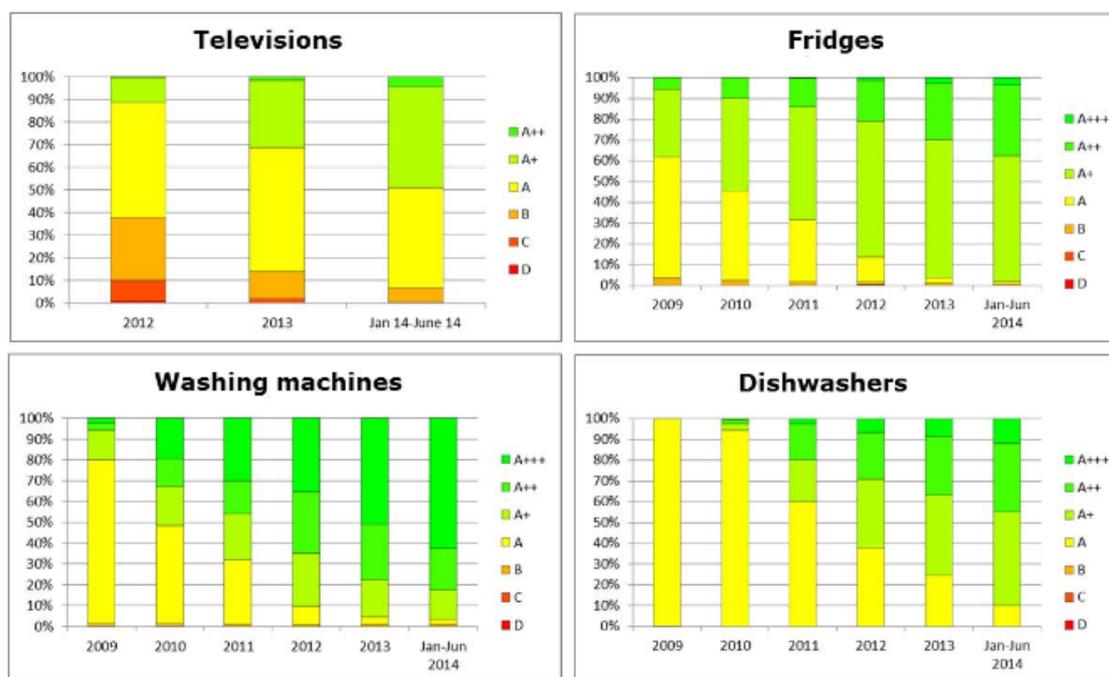


Figura 4.5 - Evolução de vendas de produtos mais eficientes a nível europeu (Fonte: EUR-Lex)

A figura 4.5 mostra o grau de penetração de diferentes eficiências energéticas, para diferentes eletrodomésticos, no mercado europeu. O maior grau de aceitação de produtos mais eficientes a nível energético é proveniente de 3 fatores:

- O primeiro reside no facto de produtos com baixa eficiência terem sido banidos ao longo do tempo;
- O segundo fator assenta em desenvolvimentos tecnológicos que permitem reduções de custo, possibilitando o acesso dos produtos a um maior número de consumidores;
- O terceiro fator consiste numa maior consciencialização do consumidor perante os desafios ambientais do presente e futuro, procurando soluções mais ecológicas, sem claro esquecer o ponto de vista financeiro.

Após uma breve análise das políticas energéticas e da evolução de eficiência neste setor da instalação residencial é possível retirar algumas ilações. É notório o esforço a nível europeu para diminuir o consumo energético e aumentar a eficiência energética dos diferentes tipos de eletrodomésticos e equipamentos domésticos, sendo que estas medidas podem representar cerca de metade do objetivo de crescimento de 20% de eficiência energética para o ano de 2020, caso continuem a ser implementadas e cumpridas pelos diferentes países [32].

4.2. Introdução de baterias em eletrodomésticos

A ideia de introduzir de baterias em equipamento de uso doméstico não é completamente nova, mas o seu objetivo sempre foi visto numa perspetiva de conferir portabilidade ao produto. Talvez o exemplo mais flagrante seja o dos computadores portáteis, ou o dos telemóveis. Neste capítulo, pretende analisar-se a possibilidade de equipar diferentes eletrodomésticos com baterias, para potenciar a utilização de recursos solares fotovoltaicos na instalação.

Primeiramente, devem ser identificados os equipamentos que mais se adequam a este tipo de solução. Para esse efeito, devemos analisar os consumos de diferentes aparelhos ao longo do dia, para adquirir um perfil de consumo de cada grupo de equipamento.

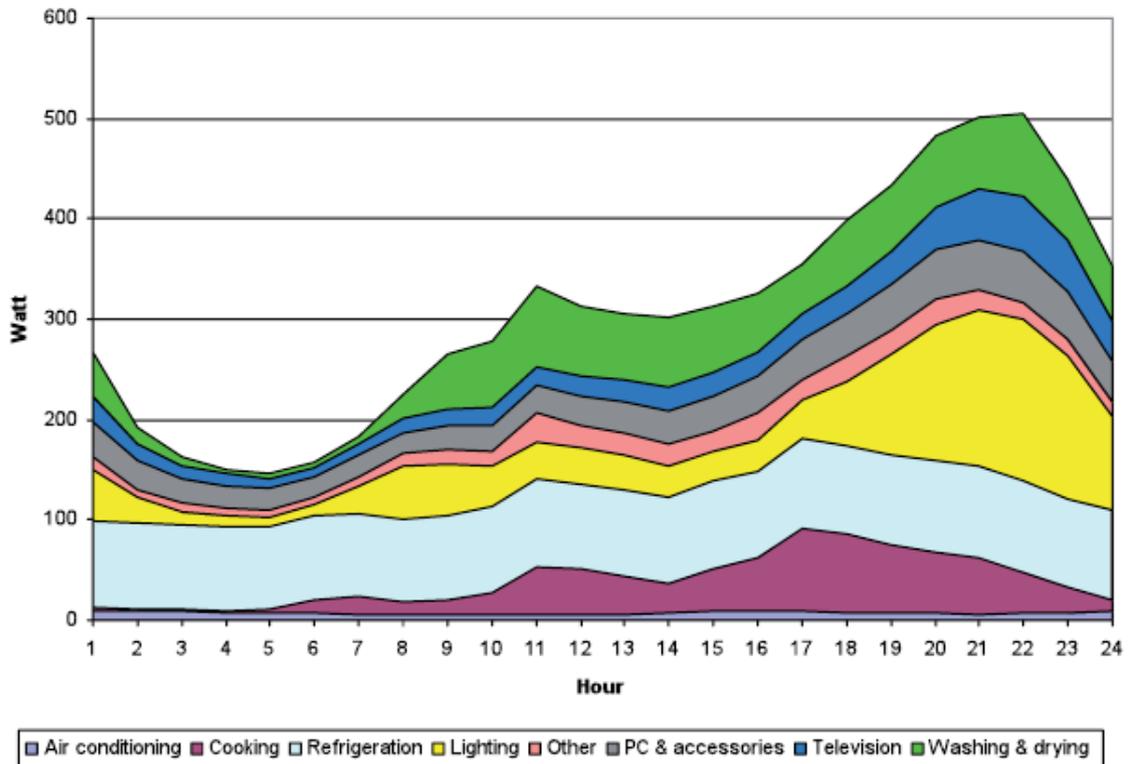


Figura 4.6 - Consumo de eletricidade para diferentes tipos de equipamento (Fonte: ECEEE 2009 SUMMER STUDY)

Analisando o consumo típico de energia de diversos equipamentos (ver figura 4.6) algo se torna evidente, há uma utilização de energia mais concentrada a partir do fim do dia, o que é atribuída à chegada a casa da grande maioria dos consumidores. Este perfil de consumo impossibilita que, na existência de painéis fotovoltaicos, as cargas possam ser alimentadas maioritariamente por produção de origem solar. No entanto, como discutido no capítulo 3, a existência de acumulação de energia poderá ajudar a mitigar este facto, mas acarreta custos iniciais avultados que podem ainda não ser acessíveis para uma fatia considerável dos consumidores. Desta forma, uma solução que localize a acumulação de energia em eletrodomésticos, pode ajudar a diminuir o consumo do equipamento ou elimina-lo por completo.

4.2.1. Equipamentos não adequados à integração de baterias

Para seleccionar os equipamentos que possam ter um melhor aproveitamento desta solução teremos que identificar os aparelhos cujos consumos não podem ser deslocados para uma altura do dia em que a sua utilização possa coincidir diretamente com a produção de energia fotovoltaica.

Recorrendo à figura 4.6 constata-se que as máquinas de lavar e secar têm uma utilização preferencial em períodos mais tardios do dia, mas o seu consumo pode ser relegado para horas mais convenientes, recorrendo a programações de lavagem ou a sistemas de domótica (tema que irá ser alvo de discussão num capítulo posterior) possibilitando que o seu consumo seja

proveniente de fontes de energia intermitentes. O mesmo se pode dizer para máquinas de lavar a loiça, cujo padrão de consumo pode ser equiparado ao do equipamento de lavagem e secagem de roupa, por esse motivo todos estes equipamentos não se qualificam como adequados para a inserção de baterias.

4.2.2. Equipamentos mais adequados à integração de baterias

Frigorífico

Como se constata na figura 4.6, o consumo diário do frigorífico é quase constante, salvo nos períodos noturnos, onde um abrir mais regular das portas do equipamento aumenta a temperatura interna e faz com que o compressor tenha de entrar em funcionamento mais vezes.

O facto do frigorífico ter um consumo relativamente padronizado e uma utilização de energia contínua ao longo de todo o dia, faz dele um bom candidato à integração de baterias.

Iluminação

As luminárias são outro forte candidato à integração de baterias. O seu consumo dá-se quase exclusivamente em períodos noturnos, pelo que não é possível mitigar o mesmo com recurso a produção de energia fotovoltaica.

Ar-condicionado

A implementação de baterias neste tipo de equipamentos também poderá fazer sentido, uma vez que não é possível migrar o seu consumo noturno para horas de produção de energia fotovoltaica.

Televisores

Os televisores são mais um equipamento candidato, uma vez que têm um maior consumo em períodos noturnos, para além disso o constante aumento do tamanho médio do ecrã, que comporta maiores consumos, permite albergar uma bateria de maior capacidade.

4.2.3. Regime de funcionamento das baterias nos eletrodomésticos

O funcionamento das baterias dos eletrodomésticos pode ser equiparado a um sistema de armazenamento doméstico no que toca ao regime de funcionamento.

Nos períodos em que existe produção de energia fotovoltaica, essa energia deve ser utilizada para alimentar as cargas que não possuem bateria e que estão a utilizar energia, os excedentes de produção devem ser armazenados nos equipamentos dotados de acumulação, para que a energia seja utilizada em períodos de não produção.

Quando a produção renovável local se extingue, em períodos noturnos, ou períodos de fraca intensidade solar, as baterias descarregam a energia fazendo com que não haja necessidade de comprar energia à rede pública e diminuindo assim os custos com a eletricidade.

O controlo dos períodos de carga e descarga pode ser feito com recurso a um microcontrolador inserido no interior do eletrodoméstico, que determina quando a bateria já está completamente carregada, definindo o período de descarga de forma inteligente, evitando assim que o

equipamento se conecte a rede e efetue consumos em períodos desnecessários. Outra solução poderá passar por um sistema de domótica, onde neste caso existe uma *smart socket*, conectada a um *hub* central, que controla o sistema e que define o regime de funcionamento de forma inteligente ou programada pelo consumidor.

4.2.4. Especificações técnicas e análise económica para frigoríficos

4.2.4.1. Especificações técnicas

Recorrendo ao simulador de consumos da EDP, é possível estimar o consumo mensal de um frigorífico de classe energética A, assim como o custo de operação do equipamento. Os resultados encontram-se patentes nas figuras 4.7 e 4.8.

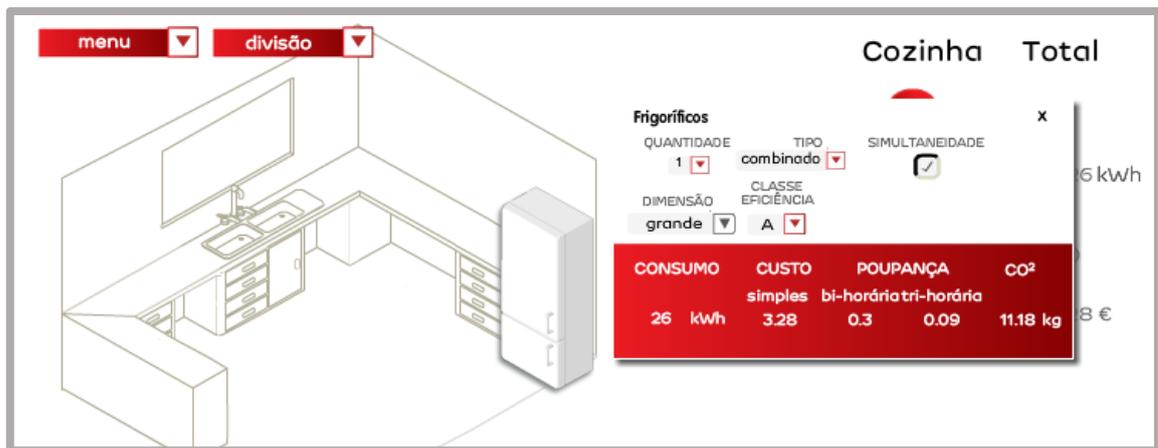


Figura 4.7 - Consumo mensal de frigorífico classe A (Fonte: EDP)



Figura 4.8 - Custo de operação mensal para frigorífico classe A (Fonte: EDP)

Para este tipo de utilização a capacidade da bateria de lítio mais adequada seria de 1kwh, uma vez que o consumo diário do frigorífico é, em média, de 1kwh. O preço da bateria pode ser considerado de cerca de 200 euros, com um tempo de vida de 12 anos.

4.2.4.2. Análise económica

Realizou-se uma análise económica, com o intuito de verificar a viabilidade da incorporação de baterias em frigoríficos. O custo mensal de operação de um frigorífico classe A é de 3.28 euros (ver figura 4.8), o que equivale a um custo anual de 39.36 euros.

Caso a bateria consiga alimentar na totalidade as necessidades energéticas do frigorífico, a poupança anual será de 39.36 euros, no entanto, este poderá nem sempre ser o caso, uma vez que as baterias são carregadas a partir de painéis fotovoltaicos, cuja produção pode variar. Uma vez que a poupança pode variar, tentou-se encontrar um valor de poupança mínimo, que continue a justificar o investimento. As tabelas 4.1 e 4.2 representam os valores obtidos para uma poupança de 60% (poupança anual de 23.62 euros), que representa o valor mínimo para o qual o investimento ainda é viável. Foi utilizada uma taxa de interesse de 5 %.

Tabela 4.1 - Análise económica da utilização de baterias em frigoríficos

Taxa de Interesse		5,00%		Ano			
Ano	Custos	Benefícios	TA	Custos Actualizados	Benefícios Actualizados	Fluxos de Caixa	Fluxos de Caixa Acumulados e Actualizados
0	200		1,00	200,00	0,00	-200,00	-200,00
1	0	23,62	0,95	0,00	22,50	23,62	-177,50
2	0	23,62	0,91	0,00	21,42	23,62	-156,08
3	0	23,62	0,86	0,00	20,40	23,62	-135,68
4	0	23,62	0,82	0,00	19,43	23,62	-116,24
5	0	23,62	0,78	0,00	18,51	23,62	-97,74
6	0	23,62	0,75	0,00	17,63	23,62	-80,11
7	0	23,62	0,71	0,00	16,79	23,62	-63,33
8	0	23,62	0,68	0,00	15,99	23,62	-47,34
9	0	23,62	0,64	0,00	15,23	23,62	-32,11
10	0	23,62	0,61	0,00	14,50	23,62	-17,61
11	0	23,62	0,58	0,00	13,81	23,62	-3,80
12	0	23,62	0,56	0,00	13,15	23,62	9,35
Total	200	283		200	209		
Lucro		83 (Benefícios - Custos)					

Tabela 4.2 - Indicadores económicos de viabilidade de investimento para baterias em frigoríficos

Valor Actual Líquido	9
Taxa Interna de Rentabilidade	6%
Rentabilidade Exta	1%
Taxa Interna de Rentabilidade Modificada	5%
Rácio Benéfico/Custo	1,05
Período de Recuperação de Investimento	135,47

Meses

Com recurso às tabelas 4.1 e 4.2 é possível comprovar que todos os indicadores económicos viabilizam este tipo de solução para os valores que foram equacionados. O retorno do investimento ocorre por volta do décimo primeiro ano (ver figura 4.9), ou seja, dá-se antes do fim de vida útil da bateria que, para baterias de iões de lítio, é cerca de doze anos, assim como antes do fim de vida do frigorífico, que possui um período de vida útil superior a uma década.

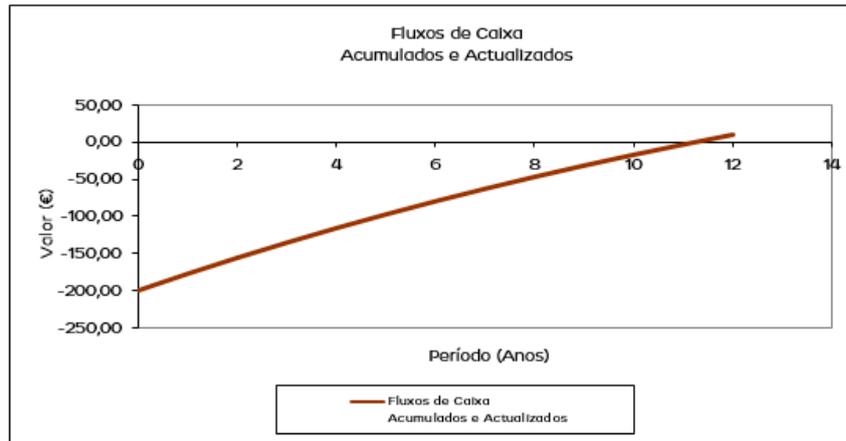


Figura 4.9 - Período de recuperação de investimento (anos) para baterias em frigoríficos

A tabela 4.3 mostra valores de período de retorno de investimento, valor atual líquido e taxa interna de rentabilidade para outras percentagens de poupança, quando se utilizam baterias nos frigoríficos.

Tabela 4.3- Indicadores económicos para diferentes percentagens de poupança com utilização de baterias em frigoríficos

Poupança anual(€)	Poupança (%)	VAL (€)	TIR (%)	PRI (meses)
39,36	100%	149	17	72
35,424	90%	114	14	82
31,488	80%	79	11	94
27,552	70%	44	9	111
23,616	60%	9	6	136

Será importante lembrar que o compressor do frigorífico possui uma corrente de arranque, cujo valor poderá ser várias vezes superior à corrente nominal do equipamento. Normalmente, o descarregamento de uma bateria a correntes elevadas pode causar envelhecimento precoce ou mesmo avaria do equipamento, para contornar esta solução é possível adicionar uma segunda forma de armazenamento de energia, sob a forma de um condensador. A função do condensador seria apenas a de suportar as correntes de arranque elevadas do compressor, cuja duração é extremamente baixa, fazendo com que o condensador se descarregue rapidamente. Outra solução seria alimentar o eletrodoméstico através da rede nos períodos de maior exigência energética, que mais uma vez representariam um curto espaço de tempo. O controlo desta função poderia ser feito, como já previamente indicado, recorrendo a um microcontrolador no interior do equipamento ou através de uma *smart socket* dotada dessa capacidade.

4.2.5. Especificações técnicas e análise económica para ar-condicionado

4.2.5.1. Especificações técnicas

Mais uma vez recorreu-se ao simulador de consumos residenciais da EDP para estimar o consumo mensal de uma unidade de ar-condicionado e o custo mensal que a utilização deste equipamento acarreta (para uma utilização de 8 horas por dia). Os resultados obtidos estão

patentes nas figuras 4.10 e 4.11, sendo que a potência considerada para a unidade em análise foi de 1800W.



Figura 4.10 - Consumo mensal de ar-condicionado de 1800W (Fonte: EDP)



Figura 4.11 - Custo mensal de uma unidade de ar-condicionado de 1800W (Fonte: EDP)

Para este tipo de utilização a capacidade da bateria de lítio mais adequada seria de 2kwh, uma vez que o consumo diário do ar-condicionado é, em média, de cerca de 2kwh. O preço da bateria pode ser considerado de cerca de 400 euros, com um tempo de vida de 12 anos.

4.2.5.2. Análise económica

Realizou-se novamente uma análise económica, para verificar a viabilidade da incorporação de baterias no ar-condicionado. O custo mensal de operação de um ar-condicionado de 1800 Watt é de 8.78 euros (ver figura 4.11), o que equivale a um custo anual de 105.36 euros.

Caso a bateria consiga alimentar na totalidade as necessidades energéticas do ar-condicionado, a poupança anual será de 105.36 euros. Uma vez que a poupança pode variar,

tentou-se encontrar um valor de poupança mínimo, que continue a justificar o investimento. As tabelas 4.4 e 4.5 representam os valores obtidos para uma poupança de 50% (poupança anual de 52.68 euros), que representa o valor mínimo para o qual o investimento ainda é viável. Foi utilizada uma taxa de interesse de 5 %.

Tabela 4.4 - Análise económica da utilização de baterias em ar-condicionado

Taxa de Interesse		5,00%		Ano			
Ano	Custos	Benefícios	TA	Custos Actualizados	Benefícios Actualizados	Fluxos de Caixa	Fluxos de Caixa Acumulados e Actualizados
0	400		1,00	400,00	0,00	-400,00	-400,00
1	0	52,68	0,95	0,00	50,17	52,68	-349,83
2	0	52,68	0,91	0,00	47,78	52,68	-302,05
3	0	52,68	0,86	0,00	45,51	52,68	-256,54
4	0	52,68	0,82	0,00	43,34	52,68	-213,20
5	0	52,68	0,78	0,00	41,28	52,68	-171,92
6	0	52,68	0,75	0,00	39,31	52,68	-132,61
7	0	52,68	0,71	0,00	37,44	52,68	-95,17
8	0	52,68	0,68	0,00	35,66	52,68	-59,52
9	0	52,68	0,64	0,00	33,96	52,68	-25,56
10	0	52,68	0,61	0,00	32,34	52,68	6,78
11	0	52,68	0,58	0,00	30,80	52,68	37,58
12	0	52,68	0,56	0,00	29,33	52,68	66,92
Total	400	632		400	467		
Lucro	232 (Benefícios - Custos)						

Tabela 4.5 - Indicadores económicos de viabilidade de investimento para baterias em ar-condicionado

Valor Actual Líquido	67
Taxa Interna de Rentabilidade	8%
Rentabilidade Exta	3%
Taxa Interna de Rentabilidade Modificada	6%
Rácio Benéfico/Custo	1,17
Período de Recuperação de Investimento	117,48

Meses

As tabelas 4.4 e 4.5 mostram que todos os indicadores económicos viabilizam este tipo de solução para os valores que foram equacionados. O retorno do investimento ocorre por volta do fim do nono ano (ver figura 4.12), ou seja, dá-se antes do fim de vida útil da bateria (cerca de doze anos), assim como antes do fim de vida do ar-condicionado.

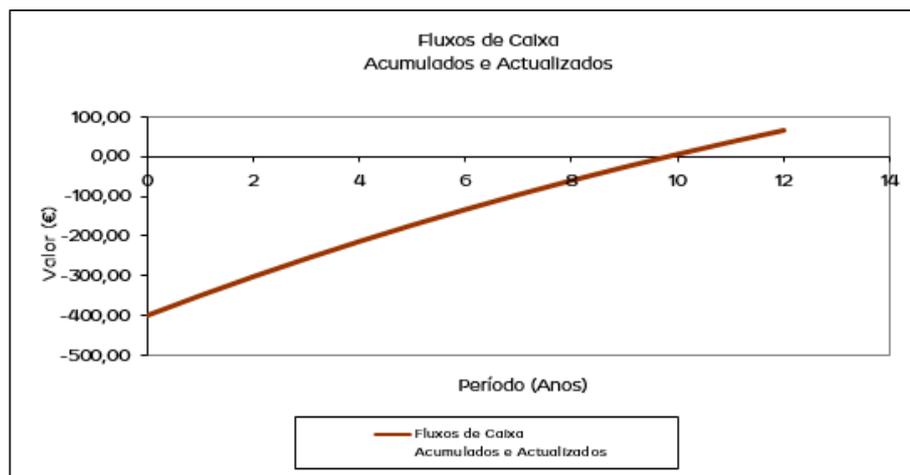


Figura 4.12 - Período de recuperação de investimento (anos) para baterias em ar-condicionado

A tabela 4.6 mostra valores de período de retorno de investimento, valor atual líquido e taxa interna de rentabilidade para outras percentagens de poupança, quando se utilizam baterias no ar-condicionado.

Tabela 4.6 - Indicadores económicos para diferentes percentagens de poupança com utilização de baterias em ar-condicionado

Poupança anual(€)	Poupança (%)	VAL (€)	TIR (%)	PRI (meses)
105,36	100%	414	23	52
94,824	90%	332	20	58
84,288	80%	251	16	67
73,752	70%	169	13	78
63,216	60%	88	9	94
52,68	50%	7	5	117

4.2.6. Especificações técnicas e análise económica para iluminação

A iluminação residencial, apesar de apresentar um bom perfil para a adoção desta metodologia, não se revela economicamente viável. Esta análise baseia-se na utilização de luminárias LED, que podem apresentar potências na ordem dos 5W, sendo comercializadas a preço de retalho entre 5 e 6 euros. A inclusão de uma pilha no equipamento iria adicionar um custo de cerca de 4 euros ao produto, quase duplicando o investimento necessário, que não seria justificado, uma vez que o custo anual de operação de uma lâmpada torna-se irrisório para este tipo de potências. Para outras aplicações, como iluminação industrial, esta solução poderá fazer sentido a nível económico, no entanto esse tipo de instalações não é alvo de análise no presente documento.

4.2.7. Especificações técnicas e análise económica para televisores

4.2.7.1. Especificações técnicas

Recorrendo ao simulador de consumos da EDP é possível estimar o consumo e custo mensais de utilização de um televisor de 180W (quando utilizado diariamente, em média, por 6

horas). Apesar de este consumo parecer demasiado elevado para um televisor normal, foi tido em conta que o tamanho médio da diagonal do equipamento tem revelado uma tendência de crescimento num futuro próximo, como já havia sido referido numa secção anterior do presente documento. Os resultados obtidos encontram-se nas figuras 4.13 e 4.14.



Figura 4.13 - Consumo mensal de televisor de 180W (Fonte: EDP)



Figura 4.14 - Custo mensal de televisor de 180W (Fonte: EDP)

Para este tipo de utilização a capacidade da bateria de lítio mais adequada seria de 1kwh, uma vez que o consumo diário do televisor é, em média, de 1kwh. O preço da bateria pode ser considerado de cerca de 200 euros, com um tempo de vida de 12 anos. Uma vez que os televisores são equipamentos de pequena dimensão (ao contrário dos frigoríficos e ares-condicionados) devem ser utilizadas baterias de lítio em forma de bolsa, para que não haja um aumento excessivo do volume do televisor.

4.2.7.2. Análise económica

Realizou-se, mais uma vez, uma análise económica, para verificar a viabilidade da incorporação de baterias nos televisores. O custo mensal de operação de um televisor de 180 Watt é de 5.28 euros (ver figura 4.14), o que equivale a um custo anual de 63.36 euros.

Caso a bateria consiga alimentar na totalidade as necessidades energéticas do televisor, a poupança anual será de 63.36 euros. Uma vez que a poupança pode variar, tentou-se encontrar um valor de poupança mínimo, que continue a justificar o investimento. As tabelas 4.7 e 4.8 representam os valores obtidos para uma poupança de 60% (poupança anual de 38.016 euros). O valor de poupança de 60% não é valor mínimo para a viabilidade do investimento, mas sim aquele que representa um retorno de investimento no prazo de vida útil do televisor (foi considerado que um televisor tem uma vida útil inferior a sete anos). Mais uma vez, foi utilizada uma taxa de interesse de 5%.

Tabela 4.7 - Análise económica da utilização de baterias em televisores

Taxa de Interesse		5,00%		Ano			
Ano	Custos	Benéficos	TA	Custos Actualizados	Benéficos Actualizados	Fluxos de Caixa	Fluxos de Caixa Acumulados e Actualizados
0	200		1,00	200,00	0,00	-200,00	-200,00
1	0	38,02	0,95	0,00	36,21	38,02	-163,79
2	0	38,02	0,91	0,00	34,48	38,02	-129,31
3	0	38,02	0,86	0,00	32,84	38,02	-96,47
4	0	38,02	0,82	0,00	31,28	38,02	-65,20
5	0	38,02	0,78	0,00	29,79	38,02	-35,41
6	0	38,02	0,75	0,00	28,37	38,02	-7,04
7	0	38,02	0,71	0,00	27,02	38,02	19,97
8	0	38,02	0,68	0,00	25,73	38,02	45,71
9	0	38,02	0,64	0,00	24,51	38,02	70,21
10	0	38,02	0,61	0,00	23,34	38,02	93,55
11	0	38,02	0,58	0,00	22,23	38,02	115,78
12	0	38,02	0,56	0,00	21,17	38,02	136,95
Total	200	456		200	337		
Lucro	256 (Benéficos - Custos)						

Tabela 4.8 - Indicadores económicos de viabilidade de investimento para baterias em televisores

Valor Actual Líquido	137
Taxa Interna de Rentabilidade	16%
Rentabilidade Exta	11%
Taxa Interna de Rentabilidade Modificada	10%
Rácio Benéfico/Custo	1,68
Periodo de Recuperação de Investimento	75,13

Meses

As tabelas 4.7 e 4.8 mostram que todos os indicadores económicos viabilizam este tipo de solução para os valores que foram equacionados. O retorno do investimento ocorre por volta do fim do sexto ano (ver figura 4.15), ou seja, dá-se antes do fim de vida útil da bateria (cerca de doze anos), assim como antes do fim de vida do televisor.

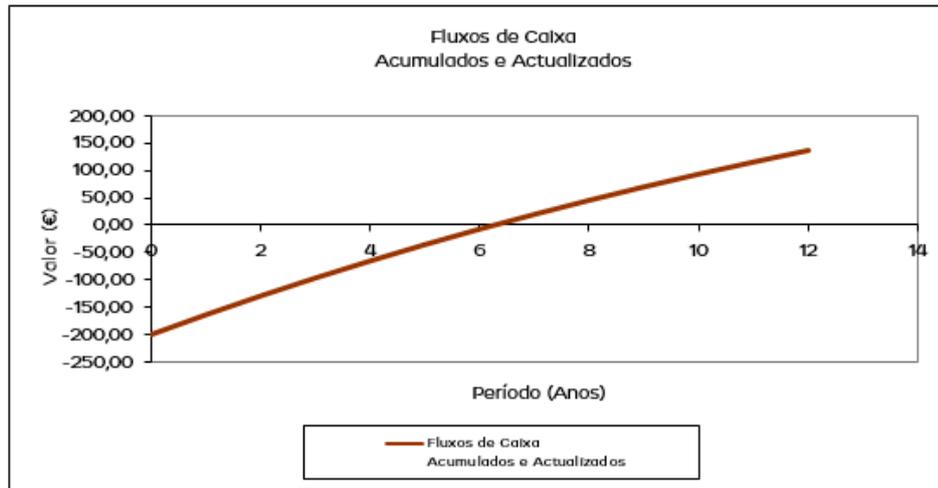


Figura 4.15 - Período de recuperação de investimento (anos) para televisores

A tabela 4.9 mostra valores de período de retorno de investimento, valor atual líquido e taxa interna de rentabilidade para outras percentagens de poupança, quando se utilizam baterias em televisores.

Tabela 4.9 - Indicadores económicos para diferentes percentagens de poupança com utilização de baterias em televisores

Poupança anual(€)	Poupança (%)	VAL (€)	TIR (%)	PRI (meses)
63,36	100%	362	30	42
57,024	90%	305	24	47
50,688	80%	249	23	54
44,352	70%	193	20	63
38,016	60%	137	16	75

4.3. Conclusões

A introdução de baterias em eletrodomésticos (a nível residencial) tem algumas potenciais vantagens, a saber:

- Como o consumo dos diversos eletrodomésticos está bem definido, as baterias utilizadas podem ser concebidas à medida de cada tipo de equipamento, fazendo com que o seu rendimento seja mais elevado e o seu tempo de vida aumentado. Esta “personalização” da bateria pode levar também à diminuição da capacidade necessária para alimentar o aparelho, levando a uma ainda maior descida de preço da implementação da solução;
- A aplicação de baterias em equipamentos de refrigeração tem ainda uma vantagem suplementar, visto que estes possuem alguma capacidade de regulação de temperatura, essa característica poderá ser aplicada à própria bateria, controlando assim a temperatura de carga e descarga e, por conseguinte, aumentando o rendimento e longevidade do equipamento;

- Na eventualidade de uma avaria num sistema de armazenamento centralizado, por exemplo a saída de funcionamento da bateria, o consumidor perde a capacidade total de armazenamento na residência, ao passo que com a utilização desta solução, a avaria de um equipamento apenas representa uma perda parcial de capacidade de armazenamento;
- Em caso de avaria da bateria o investimento necessário para o consumidor repor essa mesma capacidade é muito menos elevado do que num sistema normal, uma vez que a capacidade se encontra distribuída;

Capítulo 5

Casas Inteligentes

É expectável que num futuro próximo, todas as casas possam ter a capacidade de incorporar sistemas que ofereçam poder computacional, capacidade de comunicação, capacidade de monitorização e controlo para melhorar as atividades quotidianas. Uma interação mais eficiente entre as pessoas e os eletrodomésticos será dedicada a melhorar o conforto, a saúde, a segurança e a poupança de energia [35]. As casas tornar-se-ão “inteligentes”.

O objetivo principal de uma casa inteligente é aumentar o conforto dos ocupantes e tornar a vida diária mais fácil. Esse objetivo pode ser alcançado de duas maneiras:

- Identificando as atividades humanas relevantes e aumentando a sua automação em ambientes domésticos;
- Usando o controlo domiciliário remoto para proporcionar altos níveis de conforto, melhorar a segurança, facilitar o controlo de energia, reduzir as emissões ambientais e economizar energia.

Numa casa inteligente, os utilizadores e os dispositivos estarão ligados por uma rede de comunicação, que transferirá sinais digitais de acordo com um dado protocolo de comunicação. A maioria das casas inteligentes terá um dispositivo de comunicação central, que permite que os ocupantes controlem funções da casa remotamente.

Para uma habitação ser rotulada de casa inteligente é necessário que as seguintes 5 características estejam presentes [36]:

- Automação: capacidade de acomodar dispositivos automáticos ou executar funções automáticas;
- Multifuncionalidade: capacidade de desempenhar várias funções ou gerar resultados diferentes;
- Adaptabilidade: capacidade de aprender, prever e satisfazer as necessidades dos utilizadores;
- Interatividade: capacidade de permitir a interação entre os utilizadores;
- Eficiência: capacidade de executar funções de uma maneira conveniente que economiza tempo e dinheiro.

5.1. Incentivos Legislativos à adoção da Casa Inteligente

A Norma Europeia EN 15232 [37] e a Diretiva 2010/31/UE relativa à eficiência energética da construção [38], em conformidade com a Diretiva 2009/72/CE, bem como com o Guião

Energético 2050 [39], promovem a adoção de tecnologias de casa inteligente para reduzir o uso de energia no setor residencial. Na era atual, da Internet das Coisas (IOT), o desenvolvimento de tecnologias de casa inteligente tem sido reconhecido como tendo potencial significativo para criar um sistema interativo de monitorização de energia para casas. As novas tecnologias da informação e da comunicação (TIC) estão, por conseguinte, cada vez mais integradas na sociedade, permitindo uma interação mais rápida e eficiente entre os utilizadores e os ambientes públicos e privados.

5.1.1. Smart Financing

A iniciativa “*smart financing for smart buildings*” [1] pretende facilitar o acesso a fundos europeus, promovendo a adoção de sistemas inteligentes para edifícios, incluindo edificações de cariz residencial, almejando reduzir as emissões de gases de efeito de estufa. Este projeto ainda se encontra em fase inicial de desenvolvimento. No entanto, a sua criação poderá ajudar uma maior divulgação e aceitação deste tipo de tecnologia.

5.1.2. Criação de *Smartness Indicator* ou Indicador de Inteligência

A Comissão Europeia propôs um indicador de inteligência, a ser desenvolvido nos próximos anos, para avaliar a disponibilidade tecnológica de um edifício para interagir com os seus ocupantes e a rede e ainda gerir o seu desempenho de forma eficiente. Segundo a Comissão, o indicador deve abranger:

“Recursos que aumentem a capacidade dos ocupantes do prédio e do próprio edifício para aumentar o conforto, participar em atividades energéticas de procura-resposta e contribuir para o funcionamento seguro de vários sistemas de energia e infraestruturas às quais o prédio está conectado” [38].

Este indicador irá permitir aos consumidores avaliar a capacidade que o edifício que habitam possui de responder às necessidades de forma automatizada, podendo ser incorporado em certificados energéticos.

5.1.3. State Electricity Regulatory Comissions

Nos Estados Unidos, as *State Electricity Regulatory Comissions* (SERC) incentivam a implementação de tecnologia inteligente, ao mesmo tempo que as regulam para proteger o interesse público [40].

As *State electricity regulatory commissions* são agências governamentais responsáveis pela administração e regulação da indústria de eletricidade e energia.

5.2. Nível de aceitação de tecnologias inteligentes

5.2.1. Panorama europeu

Um estudo realizado pelo *Building Performance Institute Europe* (BPIE) [41] propôs-se a descobrir os níveis de integração de tecnologias inteligentes em edifícios a nível europeu. Os resultados, patentes na figura 5.1, demonstram que a grande maioria dos países europeus não

possui uma infraestrutura capaz de tomar partido das capacidades fornecidas por sistemas inteligentes. Portugal, segundo o estudo, é um dos países com maior necessidade de criação de soluções que apoiem este tipo de tecnologias e a sua integração.

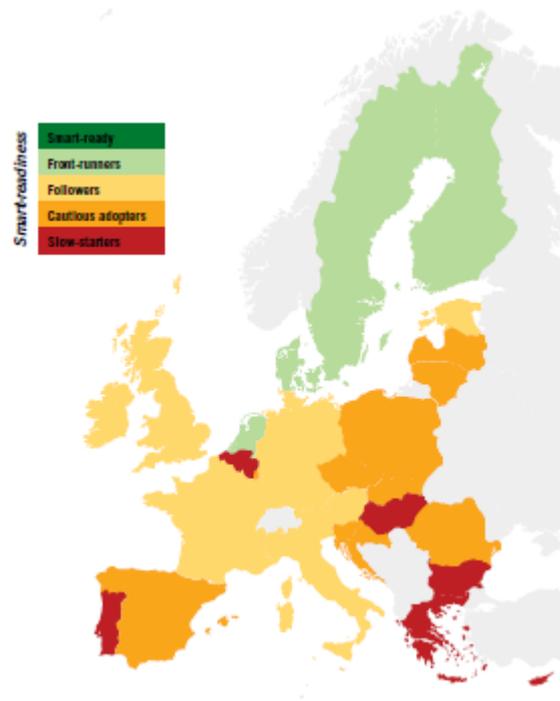


Figura 5.1 - Níveis de disponibilidade para integrar soluções inteligentes em países europeus¹ (Fonte: BPIE)

A grande diferença entre os diversos países pode ser explicada pela implementação, ou falta dela, de isolamento e sistemas passivos nos edifícios, melhor infraestrutura inteligente (medidores inteligentes e conectividade) e estruturas regulatórias melhor preparadas.

A pontuação geral modesta ilustra que a UE tem um grande desafio para garantir que os seus edifícios se tornem mais eficientes e contribuam para a mitigação e adaptação às alterações climáticas.

¹ A verde, os países com as melhores infraestruturas nacionais e com mais medidas governamentais para a adoção de tecnologias inteligentes, a amarelo, países que estão a desenvolver medidas e que pretendem adaptar as infraestruturas existentes para a adoção de tecnologias existentes, a laranja, países que revelam algum interesse em desenvolver medidas para facilitar a adoção de equipamento inteligente, a vermelho, países que revelam os maiores défices estruturais para a adoção de tecnologias inteligentes.

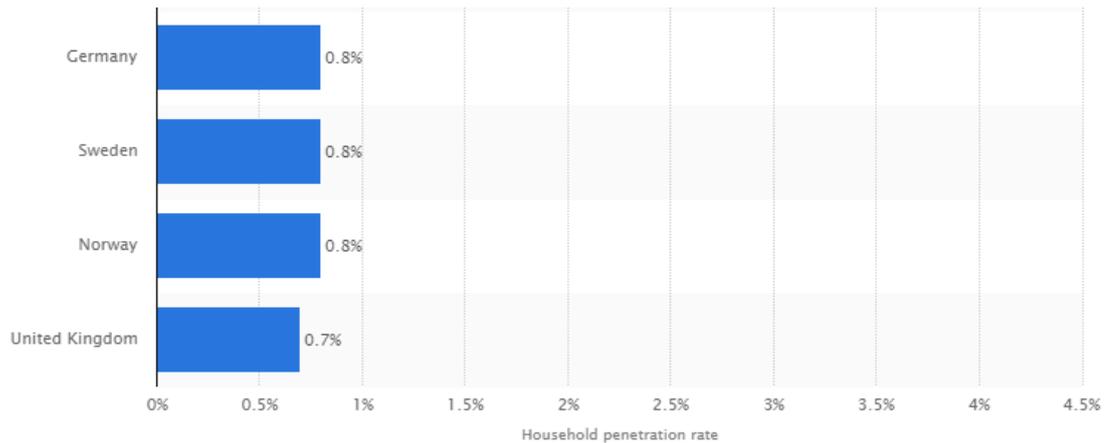


Figura 5.2 - Taxa de penetração de tecnologias inteligentes em residências (Fonte: Statista)

Os países com maior penetração de tecnologias inteligentes não industriais (a nível residencial) estão listados na figura 5.2 (valores do ano 2015). Apesar de os valores apenas rondarem 1% de penetração em residências é esperado que o mercado continua a evoluir de forma sustentada e que cada vez mais consumidores adiram a produtos desta natureza.

5.2.2. Panorama mundial

O mercado americano é sem dúvida o mais desenvolvido a nível mundial no que concerne a adoção de sistemas inteligentes domésticos. A penetração desta tecnologia atinge cerca de 3,7% das residências americanas, sendo o segundo maior mercado encontrado no Japão (0,8% das residências) [42].

As projeções indicam ainda que o mercado vai sofrer uma expansão significativa a nível internacional, liderado pelos Estados Unidos, podendo atingir valores na ordem dos 40 mil milhões de dólares até 2020 [43].

A figura 5.3 revela o crescimento do mercado norte americano nos últimos anos.

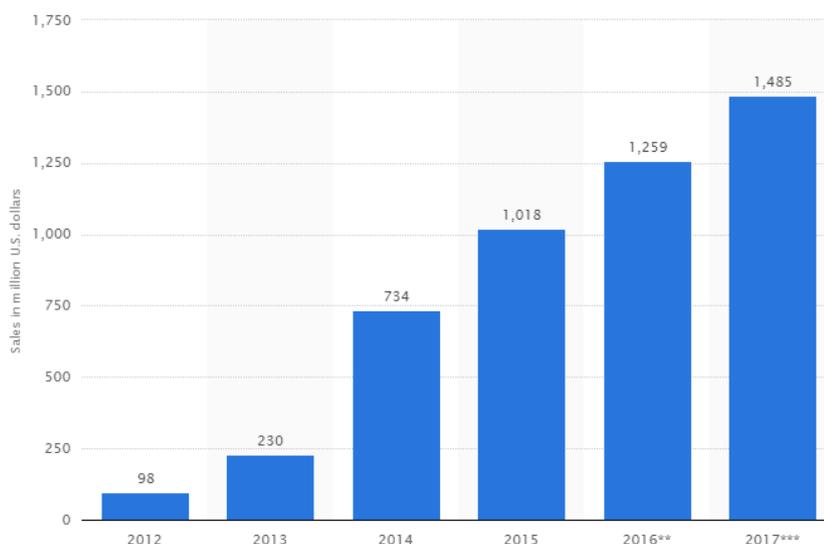


Figura 5.3 - Vendas de produtos inteligentes no setor residencial norte americano (Fonte: Statista)

5.3. Protocolos de comunicação sistemas inteligentes

O número de equipamentos que possibilitam a automação de diferentes funções na residência é muito elevado. No entanto, cada equipamento deve obedecer a um protocolo de linguagem para comunicar com outros aparelhos da habitação. Nesta subsecção serão abordados os principais protocolos, as suas diferenças, vantagens, desvantagens e qual o tipo de protocolo que poderá ter maiores níveis de adoção.

No entanto, os protocolos baseados em comunicação que necessitem maioritariamente de um meio físico, por exemplo um par de cabos para transportar a informação, como é o caso do KNX [44], não serão abordados, porque esta solução, apesar de ser mais robusta tecnicamente, torna-se mais cara para o utilizador e a sua instalação no âmbito residencial não pode ser aplicada de forma rápida numa perspectiva de retrofit, ou seja, é uma solução mais aconselhada a grandes e dispendiosas renovações de edifícios ou construções novas, nomeadamente no setor hoteleiro. Uma vez que a grande maioria da infraestrutura residencial dos países desenvolvidos já se encontra bem estabelecida, esta solução poderá enfrentar grandes obstáculos à sua adoção, dando-se primazia a protocolos que possam ser instalados mais rapidamente. Outra desvantagem recai no nível da complexidade de instalação do sistema, que requer sempre a presença de colaboradores altamente qualificados e treinados pela empresa detentora do protocolo, ao passo que soluções mais simples permitem instalações por parte de indivíduos menos qualificados, ou mesmo pelos consumidores mais leigos, uma vez que a instalação da grande maioria do material não difere dos produtos já existentes no mercado (tomadas, interruptores, etc.) podendo a instalação ser realizada quase numa perspectiva de DIY (Faça você mesmo).

Sendo assim, será interessante dar um destaque mais aprofundado aos protocolos *wireless*, explorando as suas particularidades.

5.3.1. Protocolo Zigbee (mais utilizado)

O Zigbee (ver logotipo identificado na figura 5.4) é um protocolo de comunicação baseado em *mesh networks* (redes em malha) sem fios, de baixo custo, voltado para o amplo desenvolvimento de dispositivos de longa duração em aplicações de controlo e monitorização sem fios. Uma vez que funciona em malha, os dados podem ser repetidos entre os nós, aumentando assim o alcance desta tecnologia, que pode ter valores entre 10 e 75 metros.

O Zigbee opera em várias larguras de banda, a saber: 2,4 GHz em alguns países, 784 MHz na China, 868 MHz na Europa e 915 MHz nos EUA e Austrália. As taxas de dados variam de 20 kbit/s (banda de 868 MHz) a 250 kbit/s (banda de 2,4 GHz) [45].

Cada rede deve ter um dispositivo coordenador, encarregado da sua criação, controlo dos parâmetros e manutenção básica.

Este protocolo de comunicação é tratado na norma do IEEE 802.15.4.

Em suma, esta tecnologia pode ser usada amplamente no controlo de dispositivos, envio de informação de forma fiável, automação residencial, monitorização remota, cuidados de saúde e muitas outras áreas [46].



Figura 5.4 - Logotipo do protocolo de comunicação Zigbee (Fonte: Zigbee alliance)

As vantagens do protocolo Zigbee podem ser sumarizadas nos seguintes pontos:

- Baixo custo;
- Baixo consumo energético;
- Alcance aumenta com o número de nós do sistema;
- Grande largura de banda para efetuar comunicações;
- Possibilidade de integração de aparelhos a bateria, podendo estes funcionar por largos anos;
- Possibilidade de aumentar o tamanho e a complexidade do sistema de forma fácil, ou seja, a adição de novos produtos à instalação pode ser feita sem grandes complicações.

As principais desvantagens deste protocolo são:

- Baixo número de equipamentos que suportam esta tecnologia (ainda que de qualidade elevada);
- Incapacidade de alguns equipamentos com o mesmo protocolo de comunicação Zigbee comunicarem entre si [47].

5.3.2. Protocolo Z-Wave

O Z-Wave (ver logotipo identificado na figura 5.5) usa uma arquitetura de rede de malha. Os dispositivos podem comunicar entre si usando os nós intermediários para aumentar o alcance de cada unidade do sistema. Uma mensagem, do nó A ao nó C, pode ser entregue com êxito, mesmo se os dois nós não estiverem dentro do alcance, desde que um terceiro nó B possa comunicar com os nós A e C. Se a rota preferida não estiver disponível, outras rotas podem ser utilizadas. Contudo, com vários destes saltos pode ser introduzido um ligeiro atraso entre o comando de controlo e o resultado desejado [48].

A rede mais simples consiste num único dispositivo controlável e um controlador primário. Dispositivos adicionais podem ser adicionados a qualquer momento, assim como controladores secundários, incluindo controladores portáteis tradicionais, interruptores, entre outros. Uma rede Z-Wave pode ser constituída por até 232 dispositivos, com a opção de estabelecer ligação entre redes se forem necessários mais dispositivos [49].

Um dispositivo deve ser "incluído" para a rede Z-Wave antes de poder ser controlado. Esse processo (também conhecido como "emparelhamento") geralmente é conseguido pressionando uma sequência de botões no controlador e no dispositivo que está a ser adicionado à rede. Esta sequência só precisa de ser realizada uma vez. Os dispositivos podem ser removidos da rede Z-Wave por um processo similar. O controlador adquire a intensidade do sinal entre os dispositivos durante o processo de inclusão, assim a arquitetura espera que os dispositivos estejam no local final pretendido antes de serem adicionados ao sistema. Normalmente, o controlador tem um pequeno backup de bateria interna, permitindo que ele seja desconectado temporariamente e

levado para o local de um novo dispositivo para emparelhamento. O controlador é então retornado à sua localização original e volta a ser conectado.

Cada rede Z-Wave é identificada por um *ID* de rede e cada dispositivo é ainda identificado por um *ID* de nó. Os nós com *IDs* de rede diferentes não podem comunicar entre si [52].



Figura 5.5 - Logotipo do protocolo de comunicação Z-Wave (Fonte: Z-Wave)

As vantagens da tecnologia Z-Wave podem ser equiparadas à tecnologia Zigbee, tendo ainda pontos positivos adicionais:

- Baixo consumo energético;
- Alcance crescente com o número de nós;
- Possibilidade de integração de aparelhos a bateria, podendo estes funcionar por largos anos;
- Possibilidade de aumentar o tamanho e complexidade do sistema de forma fácil, ou seja, a adição de novos produtos à instalação pode ser feita sem grandes complicações;
- Uma vez que utiliza frequências de comunicação bem definidas, não há o risco de interferência proveniente de outros equipamentos do meio doméstico, por exemplo routers;
- Existência de um elevado número de equipamentos de domótica que utilizam este protocolo.

A principal desvantagem é possuir uma largura de banda pequena, suficiente para operações simples, mas que pode ser impeditiva de operações mais complexas.

5.3.3. Protocolo Wi-Fi

A tecnologia WI-FI (ver logotipo identificado na figura 5.6) é um dos protocolos de comunicação mais adotados no mundo. Como tal, esta tecnologia tem sido aplicada ao conceito de *smart homes*.

A sua principal característica é o amplo suporte existente, quase todos os novos dispositivos eletrónicos, sejam eles um computador pessoal, consola de jogos ou um dispositivo periférico, possui tecnologia Wi-Fi integrada, o que pode ajudar na comunicação entre diversos dispositivos da *smart home*.

Esta tecnologia possui uma largura de banda muito superior à dos protocolos apresentados anteriormente, cerca de 300Mb/s, podendo esta velocidade aumentar, graças a sucessivos investimentos e avanços científicos [50].

O alcance da transmissão de dados do WI-FI poderá atingir cem metros, mas no interior da residência este valor poderá ser afetado, dependendo da arquitetura do espaço.

O WI-FI utiliza o protocolo IPV6 para comunicar com a internet, sendo uma das tecnologias mais rápidas a comunicar com a rede, uma vez que não necessita de um “tradutor” para realizar esta operação [46].



Figura 5.6 - Logotipo do protocolo de comunicação WI-FI (Fonte: WI-FI Alliance)

As principais vantagens deste protocolo são:

- Elevado número de equipamentos, quer para domótica, quer para outro tipo de tecnologias, que utilizam este protocolo;
- Tecnologia já madura, mas com grandes perspetivas de evolução no futuro;
- Possibilidade de aumentar o tamanho e complexidade do sistema de forma fácil, ou seja, a adição de novos produtos à instalação pode ser feita sem grandes complicações;
- Largura de banda muito elevada;
- Bom alcance de transmissão.

As maiores desvantagens do protocolo são:

- Elevado consumo energético da tecnologia, em comparação com o Zigbee e Z-Wave;
- Elevada interferência nas comunicações, provenientes de outras tecnologias, ou seja, há a possibilidade de diversos equipamentos competirem pelos recursos interferindo com o correto funcionamento uns dos outros;
- Maior exigência energética, drenando com elevada rapidez as baterias de equipamentos que utilizem este protocolo, pelo que inviabiliza a utilização de equipamentos a pilhas.

5.3.4. Outros protocolos

Como já foi referido, o número de protocolos de comunicação é bastante extenso, mesmo quando restringimos a procura a tecnologias sem fios. Neste documento ficam alguns protocolos por abordar, no entanto, a forma como estes são implementados não varia de forma muito significativa daqueles a que foi feita alusão no presente texto. Eis mais alguns exemplos de protocolos de comunicação que podem ser implementados em domótica [51]:

- Bluetooth;
- UWB (Ultra-Wide-Band);
- RFID (Radio Frequency identification);
- Thread;
- Insteon (também possui capacidade de efetuar comunicações recorrendo a ligações físicas).

5.4. O centro nevrálgico do sistema: Hub

Todos os sistemas de domótica *wireless* necessitam de um *hub*.

O *hub*, pode ser equiparado a um router, possibilitando a comunicação entre todos os equipamentos pertencentes à mesma marca, ou de marcas diferentes, e fazendo ainda a ponte entre o sistema e o utilizador. Os sistemas de domótica atuais são, normalmente, acompanhados por uma aplicação móvel, que permite ao utilizador ter acesso aos diversos dados fornecidos pelo sistema, permitindo também programar diversos parâmetros de funcionamento, competindo ao *hub* mediar todas estas interações.

Este aparelho requer ainda uma conexão à internet para poder comunicar com a aplicação móvel e o utilizador.



Figura 5.7 - Exemplo de hub para domótica da marca Wink (Fonte: Z-Wave)

5.5. Equipamentos para sistemas inteligentes

A introdução de sistemas de automação que visem a criação de uma casa “inteligente”, pretende remodelar e trocar elementos da habitação que já se encontram eletrificados, e a eletrificação de raiz de outros equipamentos.

5.5.1. Equipamentos existentes a trocar na habitação

5.5.1.1. Tomadas inteligentes

As tomadas inteligentes (smart outlets) permitem realizar as seguintes operações:

- Verificar o consumo de energia do equipamento a que se encontram ligadas;
- Ligar e desligar o equipamento de forma remota ou através de programação;
- Limitar a potência, ou seja, na eventualidade da carga acoplada à tomada exceder um limite pré-estabelecido pelo utilizador, é possível desligar o equipamento;
- Diferenciação de circuitos, ou seja, na eventualidade de falha de energia por parte da rede e caso o consumidor possua um sistema de armazenamento de energia, é possível definir quais as tomadas que continuarão a alimentar cargas selecionadas, por forma a garantir que apenas o equipamento prioritário é alimentado;

- Capacidade de deteção de equipamento defeituoso, uma vez que o consumidor tem acesso ao consumo detalhado de diversos equipamentos é possível detetar avarias que originem excessos de consumo;
- Implementação de rotinas pré-estabelecidas, conhecidas como IFTTT (If this than that); estas rotinas baseadas na tecnologia IFTTT permitem ligar equipamentos como resposta a determinados eventos;
- Programação de uma carga para entrar em funcionamento a uma determinada hora, permitindo realizar *load shifting* e melhorar aproveitamento da energia produzida por painéis solares;
- Capacidade de desligar equipamento quando o seu consumo passa para níveis baixos, nomeadamente quando entra em modo de standby.

As tomadas inteligentes possuem ainda uma grande vantagem, a sua fácil instalação. Existem atualmente duas formas de conectar este equipamento à instalação residencial, a primeira passa pela ligação da tomada inteligente a uma tomada normal, a outra pressupõe a troca do equipamento, mantendo as ligações já existentes. Em ambos os casos a instalação requer apenas conhecimentos básicos de eletricidade.



Figura 5.8 - Exemplo de tomada inteligente de encastrar (Fonte: Lifesmart)



Figura 5.9 - Exemplo de tomada para encaixe me tomada já existente (Fonte: Edimax)

5.5.1.2. Interruptores inteligentes

A utilização de interruptores inteligentes permite alargar o espectro de funções executadas pelos equipamentos residenciais. Estes permitem controlar o estado (On/Off) de uma ou várias lâmpadas/luminárias, o que deixa uma enorme margem para o aumento significativo de economia energética e conforto para o utilizador.

Os interruptores inteligentes (*smart switches*) podem realizar as seguintes tarefas:

- Visualizar o consumo do equipamento a que está ligado;

- Controlar vários equipamentos em simultâneo, para além de poder controlar diferentes tipos de equipamentos;
- Ligar e desligar equipamentos de forma remota, manualmente ou de forma programada;
- Limitar a potência;
- Implementar IFTTT's;

Tal como nas tomadas, a instalação deste equipamento é muito simples e utiliza apenas as ligações já existentes na habitação. Para além disso, é possível atribuir a um interruptor, a qualquer altura, a capacidade de ligar/desligar todas as luminárias, desde que estas sejam controladas por outro interruptor inteligente.



Figura 5.10 - Exemplo de interruptor inteligente de encastrar (Fonte: Z-Wave)

5.5.1.3. Lâmpadas inteligentes

As lâmpadas inteligentes (smart bulbs) permitem realizar as seguintes operações:

- Detecção do utilizador, não necessitando de interruptor para ligar/desligar;
- Capacidade de mudança de temperatura de cor;
- Capacidade de mudança de cor;
- Criação de cenários de luz, ou seja, o consumidor pode definir a tonalidade e a intensidade luminosa de uma ou várias lâmpadas, recorrendo a um interruptor, ou a uma aplicação móvel que controle o sistema;
- Ajuste de intensidade luminosa, mediante a quantidade de luz natural presente na divisão;
- Alerta de atividades através de impulsos luminosos (presença de indivíduos no exterior, notificações das redes sociais, ...);
- Aumento de segurança contra intrusão, uma vez que o utilizador, mesmo distante da habitação, pode controlar a iluminação, afastando assim possíveis invasores.



Figura 5.11 - Exemplo de iluminação inteligente (Fonte: Philips)

5.5.1.4. Termostatos inteligentes

A climatização residencial é uma das áreas com maior influência no consumo da habitação, pelo que encontrar formas de utilizar a energia de forma mais ecológica e racional neste setor de consumo é da maior importância. A domótica oferece resposta a este problema com os termostatos inteligentes [52].

Os termostatos inteligentes permitem realizar as seguintes tarefas:

- Programar remotamente a temperatura desejada;
- Estabelecer um horário de funcionamento;
- Ligação e corte de equipamento de forma remota;
- Ajuste da temperatura, mediante alterações atmosféricas, de forma autónoma.



Figura 5.12 - Exemplo de termostato inteligente (Fonte: Nest)

5.5.1.5. Detetores de fumo/monóxido de carbono inteligentes

Os detetores de fumo e monóxido de carbono inteligentes são de fácil implementação na instalação, uma vez que não exigem conexão ao sistema elétrico. A sua alimentação provém de duas pilhas e o detetor apenas carece de fixação no teto da divisão em que se pretende implementar esta medida de segurança.

Este equipamento permite desempenhar as seguintes funções:

- Emitir um aviso sonoro aquando da deteção de níveis tóxicos de monóxido de carbono ou de fumo na habitação;
- Enviar uma notificação para uma aplicação móvel, de alerta aquando da deteção de níveis tóxicos de monóxido de carbono ou de fumo na habitação;
- Este equipamento pode beneficiar de rotinas IFTTT; por exemplo, aquando a deteção de elementos tóxicos o equipamento pode comunicar com uma fechadura inteligente (ainda não abordada no presente capítulo) permitindo que este destranque as portas da habitação, facilitando a saída dos ocupantes ou que o sistema envie um alerta, pedindo auxílio a uma entidade (Bombeiros, polícia, etc.).



Figura 5.13 - Exemplo de detetor de fumo/monóxido de carbono inteligente a pilhas (Fonte: Z-Wave)

5.5.1.6. Sistemas de segurança inteligentes

A introdução de sistemas de segurança inteligentes é um dos maiores impulsionadores das tecnologias inteligentes. Num estudo realizado na América do Norte, 65 % dos inquiridos revelou interesse num sistema de segurança com recurso a vídeo [53].

A instalação de câmaras de vídeo na instalação é simples, uma vez que a maioria destes equipamentos é alimentada com pilhas e só necessita de entrar em funcionamento por ordem do utilizador ou quando um sensor é ativado. Os sensores inteligentes podem combinar uma série de funções, incluindo, a deteção de movimento, temperatura, vibração, luminosidade, entre outros. Com todas estas funções o sensor pode ser parte integrante de vários sistemas, como por exemplo, iluminação, segurança, controlo de temperatura, etc.

Os sistemas de segurança inteligentes oferecem as seguintes possibilidades:

- Monitorizar a habitação, remotamente, através de uma aplicação móvel;
- Enviar alertas ao proprietário de forma autónoma;
- Possibilidade de integração com rotinas IFTTT; na eventualidade de intrusão o sistema pode enviar uma mensagem para as autoridades, pode trancar as portas da habitação, pode acionar elementos sonoros e pode realizar uma gravação da ocorrência.



Figura 5.14 - Exemplo de sensor multifunções a pilhas (Fonte: Z-Wave)



Figura 5.15 - Exemplo de sistema de segurança com câmara a pilhas (Fonte: Z-Wave)

5.5.1.7. Portas de garagem e Persianas inteligentes

A utilização de sistemas inteligentes permite ainda controlar de forma autónoma os motores das persianas e portões de garagem. Este tipo de equipamento pode ser implementado de raiz ou numa perspetiva de retrofit, ou seja, instalando uma peça de equipamento que torne inteligente os aparelhos já existentes.

Esta solução permite:

- Estabelecer horários para a abertura e fecho das persianas de forma automática;
- Abrir o portão da garagem com recurso a uma aplicação móvel, aumentando assim o raio de controlo do equipamento;
- Possibilitar a garantia de que o portão se encontra realmente fechado remotamente;
- Implementar IFTTT's; por exemplo, se nenhum ocupante se encontrar na habitação fechar as persianas e o portão da garagem.



Figura 5.16 - Exemplo de unidade de controlo para portão de garagem inteligente ou para persianas inteligentes (Fonte: Z-Wave)

5.5.2. Equipamentos a eletrificar de raiz

5.5.2.1. Portas

Atualmente as entradas das residências não possuem, na sua maioria, qualquer tipo de elemento eletrificado; no entanto, no futuro essa condição pode sofrer alterações.

Num estudo realizado na América do Norte [53], 71% dos inquiridos revelam interesse em adquirir um dispositivo que permita trancar as portas remotamente. A tecnologia de fechaduras inteligentes vem dar resposta a essa necessidade.

As fechaduras inteligentes (*smart locks*) permitem ao utilizador realizar as seguintes operações:

- Trancar/destrancar remotamente a habitação;
- Destancar a habitação com recurso a uma aplicação móvel na eventualidade de se esquecer das chaves;
- Oferecer acesso temporário a outras pessoas à habitação (familiares, prestadores de serviços, entre outros);
- Todas as outras funções já listadas anteriormente, quando este sistema é emparelhado com outros;
- Monitorizar a entrada e saída de diferentes utilizadores, uma vez que a mesma fechadura pode reconhecer vários códigos de entrada.

Este tipo de dispositivos é de fácil instalação, podendo ser inserido na porta por um serralheiro e configurado pelo utilizador, uma vez que é alimentado com recurso a pilhas.



Figura 5.17 - Exemplo de fechadura inteligente (Fonte: Z-Wave)

5.5.2.2. Controlo da habitação por voz

As casas inteligentes permitem ainda implementar sistemas de reconhecimento de voz que acatam ordens simples por parte do utilizador.

Este tipo de sistemas permite controlar várias ações da casa, tais como: a iluminação, o portão da garagem, as portas de entrada, os sistemas de vídeo e áudio, entre muitas outras funcionalidades.



Figura 5.18 - Exemplo de controlador de voz da amazon (Fonte: Z-Wave)

5.6. Conclusões

Segundo um estudo realizado recentemente [46], a poupança de energia com a utilização de tecnologias inteligentes é superior a 10% do consumo energético anual. No entanto, há estudos que afirmam que a poupança pode atingir valores perto dos 30% [54]. Esta disparidade de valores pode ser explicada por diversos fatores: Quantidade de automação instalada na residência, hábitos de consumo, aproveitamento geral da tecnologia e qualidade do equipamento.

No que concerne a custos, é expectável que a instalação encareça entre 20 a 30%. Para o caso nacional, a instalação passaria de 8 a 10 mil euros para 12 ou 13 mil. Estes valores foram obtidos inquirindo profissionais da área, que proporcionaram estas estimativas. A realização de um estudo

económico para a implementação deste tipo de sistemas é um pouco ingrata, uma vez que existe um fator presente que não pode ser quantificável, o conforto.

Capítulo 6

Veículos elétricos

Atualmente, os veículos elétricos (VE) de quatro rodas representam uma pequena fração do número total de veículos existentes de quatro rodas (cerca de 0.2%), enquanto que os veículos elétricos de 2 rodas representam cerca de um quinto do número total de veículos de duas rodas [55].

O setor de transportes representa cerca de um quarto (23%) das emissões globais de gases de efeito de estufa (GEE). É improvável que a redução de emissões de GEE, necessária para limitar o aquecimento global, seja possível sem uma contribuição importante do setor de transportes.

O número atual de veículos elétricos ainda não permite diminuir de forma significativa o consumo de combustíveis fósseis e a emissão de gases de efeito de estufa. No entanto, importantes sinais de mudança têm vindo a surgir recentemente.

O presente capítulo pretende dar a conhecer a evolução do mercado de veículos elétricos², e os efeitos que esta evolução poderá ter na instalação elétrica residencial, da próxima década.

6.1. Evolução do mercado de veículos elétricos

Em 2016, globalmente, foram comprados mais de 750 mil carros elétricos (mais 200 mil carros elétricos do que em 2015). No entanto, as vendas em 2016 mostraram uma desaceleração da taxa de crescimento do mercado em relação a anos anteriores, sendo 2016 o primeiro ano em que esta taxa ficou abaixo de 50%.

² Quando, no texto, do presente capítulo, forem referidos “veículos elétricos”, “automóveis elétricos” ou “VE”, nesta referência incluem-se também os veículos híbridos recarregáveis.

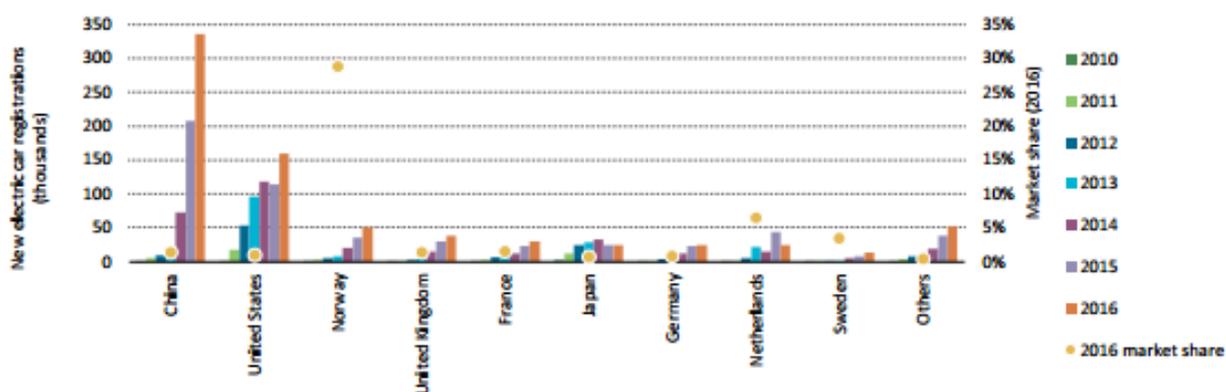


Figura 6.1 - Vendas de carros elétricos e quota de mercado em alguns países (Fonte: IEA)

A China foi o maior mercado de automóveis elétricos em 2016 (ver figura 6.1) com 336 mil novos carros elétricos registados. Nos Estados Unidos da América, registou-se a compra de 160 mil novos carros elétricos. Os países europeus representaram 215 mil vendas deste tipo de viaturas. Na Europa, a maioria dos carros elétricos vendidos em 2016 foram registados em apenas seis países: na Noruega, no Reino Unido, na França, na Alemanha, na Holanda e na Suécia. Globalmente, 95% das vendas de carros elétricos ocorreram em apenas dez países: na China, nos Estados Unidos, no Japão, no Canadá e nos seis países europeus já citados.

Em 2016, seis países alcançaram uma quota de mercado de carros elétricos acima de 1% das vendas totais de automóveis. Entre estes, a Noruega foi líder internacional, com uma participação de mercado de 29%. A Noruega foi seguida pelos Países Baixos, com uma quota de mercado de carros elétricos de 6,4% e pela Suécia, com uma participação de 3,4%. A China, a França e o Reino Unido tiveram quotas de mercado de carros elétricos próximas de 1,5% (ver figura 6.1). Em Portugal, estima-se que a quota de mercado de veículos elétricos seja de 0,7% (valores do ano de 2015) [56].

No que concerne os veículos elétricos de duas rodas, estima-se que existam cerca de 200 a 230 milhões de veículos deste tipo, a nível global.

Até ao ano de 2030, espera-se que cerca de 20% de todos os veículos sejam veículos elétricos, assumindo que as taxas de crescimento do mercado deste tipo de transportes se mantenham constantes (o mercado tem vindo a crescer anualmente entre 50% a 40%).

Caso esta estimativa se confirme, é possível manter o aumento da temperatura global abaixo de 2°C [57].

6.2. Incentivos financeiros à compra de veículos elétricos

Os incentivos financeiros dirigidos aos consumidores são essenciais para reduzir o custo da compra de um veículo elétrico e reduzir a diferença de preços entre veículos elétricos e veículos convencionais. Atualmente, os custos relacionados com a compra e manutenção de veículos elétricos são superiores aos dos veículos convencionais, pelo que os incentivos assumem ainda maior importância. No entanto, prevê-se que os veículos elétricos sejam competitivos em termos de custos em 2030.

As baterias dos veículos elétricos representam uma fração elevada do custo do automóvel, apesar da redução dos custos das baterias, nomeadamente baterias de iões de lítio, (cuja evolução do preço foi discutida no capítulo 3). Os incentivos financeiros são importantes na fase atual da

penetração do carro elétrico no mercado, uma vez que através do aumento de vendas e criação de uma economia de escala, será possível suportar reduções de custos para as baterias do veículo. Esta redução de custos das baterias pode ter um impacto noutras áreas, como o armazenamento de energia elétrico doméstico.

Os incentivos financeiros à compra de VE's podem assumir a forma de descontos diretos, isenções fiscais ou impostos diferenciados em termos de tecnologia que favoreçam os veículos de baixas emissões de GEE. Seguidamente, são apresentados alguns incentivos praticados por diversos países:

- Na China, os veículos elétricos gozam de uma isenção do imposto sobre veículos³ (ISV) e do imposto especial de consumo⁴ [58]. Para além disso, existem incentivos financeiros à compra de veículos elétricos, cujos valores podem chegar aos 7 000 euros [58];
- Na França, existem incentivos de compra de 6 300 euros (para veículos que emitam menos de 20 gramas de CO₂/km) e incentivos de compra de 1 000 euros (para veículos que emitam entre 20 gramas de CO₂/km e 60 gramas de CO₂/km [59];
- Na Noruega, os carros elétricos estão isentos do ISV, representando cerca de 10 400 euros. Os veículos elétricos estão isentos do imposto sobre o valor acrescentado de 25% (IVA) nas compras de automóveis [55];
- No Reino Unido, os veículos elétricos (com emissões até 100 gramas de CO₂/km) estão isentos do imposto único de circulação⁵ (IUC) [59];
- Na Alemanha, os veículos elétricos estão isentos do IUC por um período de dez anos, a contar desde o primeiro registo; e existe a atribuição de incentivos financeiros à compra de veículos elétricos entre os 3 e os 4 mil euros [59];
- Na Holanda, os veículos elétricos com zero emissões de CO₂ estão isentos do imposto sobre veículos automóveis até 2020 [59];
- Na Suécia, existem incentivos de compra de 4 000 euros (para veículos sem emissões de CO₂/km) e incentivos de compra de 2 000 euros (para veículos que emitam entre 1 grama de CO₂/km e 50 gramas de CO₂/km. Os veículos elétricos encontram-se isentos do imposto único de circulação, durante os primeiros cinco anos após o registo [59];
- Nos Estados Unidos, existem incentivos de compra, com um limite máximo de cerca de 7 000 euros [56];
- Em Portugal, veículos 100% elétricos estão isentos do ISV, enquanto veículos híbridos recarregáveis pagam 25% do imposto sobre veículos [59].

³ Este imposto pretende onerar os contribuintes na medida dos custos que estes provocam nos domínios do ambiente, infraestruturas viárias e sinistralidade rodoviária (pago uma única vez, aquando a primeira matriculação do veículo).

⁴ O imposto especial sobre o consumo está previsto no Código dos Impostos Especiais Sobre o Consumo e inclui a tributação do álcool e bebidas alcoólicas, do tabaco e dos produtos petrolíferos e energéticos.

⁵ Tributo contributivo e disciplinador a que estão sujeitos os proprietários de veículos em Portugal, em função do custo ambiental e viário por eles provocado (pago anualmente).

6.3. Modos de carga do veículo elétrico

A ligação do VE à instalação residencial pode ser feita utilizando um dos seguintes modos de carga do veículo elétrico [60]:

Modo de carga 1

No modo de carga 1 (ver figura 6.2), a ligação do veículo elétrico à instalação de alimentação é realizada por meio de tomadas normalizadas de corrente estipulada não superior a 16 A e de tensão estipulada não superior a 250 V, em circuitos monofásicos, ou a 480 V, em circuitos trifásicos. O circuito de alimentação é constituído por condutores de fase, neutro e de proteção.

Este modo de carregamento apresenta dois tipos de limitações:

1. A primeira limitação é a potência disponível, para evitar riscos de:
 - Aquecimento da tomada e dos cabos após o uso intensivo durante várias horas;
 - O risco de incêndio ou ferimento elétrico, caso a instalação elétrica estiver obsoleta ou se determinados dispositivos de proteção estiverem ausentes.

2. A segunda limitação está relacionada com a gestão de potência da instalação.
 - Uma vez que a alimentação do VE não é feita com recurso a um circuito dedicado, caso a soma dos consumos exceda o limite de proteção (em geral, 16 A), o disjuntor dispara, interrompendo a alimentação do veículo.

Este modo de carga é o mais barato, mas apresenta o maior número de limitações à alimentação do veículo elétrico, para além de apresentar um maior risco de segurança para os utilizadores.



Figura 6.2 – Exemplo de modo de carga 1 (Adaptado de Fonte: MOBI.E)

Modo de carga 2

No segundo modo de carga (ver figura 6.3), a ligação do VE à instalação de alimentação é realizada com recurso a tomadas normalizadas⁶ (tomadas de uso doméstico ou uso industrial) de corrente estipulada não superior a 32 A e de tensão estipulada não superior a 250 V, em circuitos monofásicos, ou a 480 V, em circuitos trifásicos. O circuito de alimentação é constituído por condutores de fase, neutro e de proteção, e com um sistema de proteção das pessoas contra os

⁶ Quando, para os modos de carga 1 ou 2, forem utilizadas tomadas para usos domésticos e análogos, estas não devem ser usadas quando a corrente de carga dos VE for superior a 10 A. Esta regra não se aplica quando as tomadas forem adequadas ao carregamento de VE.

As tomadas para usos domésticos e análogos devem apenas ser usadas em instalações existentes. Quando houver necessidade de remodelação da instalação elétrica que as alimenta, devem ser instaladas tomadas adequadas ao carregamento de VE.

choques elétricos por meio de um dispositivo diferencial (DR) localizado entre o VE e a ficha ou na caixa de controlo⁷ integrada no cabo.

Este modo de carregamento é mais dispendioso do que o modo 1, uma vez que o cabo de alimentação do veículo elétrico possui um dispositivo diferencial, encarecendo a instalação.

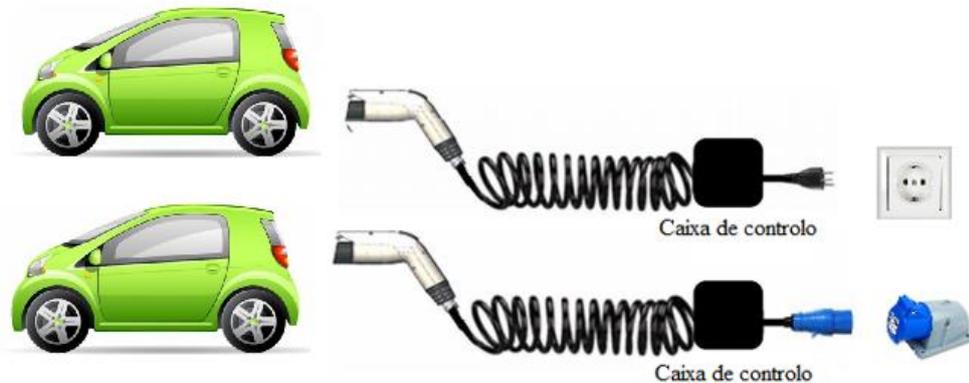


Figura 6.3 - Exemplos de modo de carga 2 (Adaptado de Fonte: MOBI.E)

Modo de carga 3

O terceiro modo de carga (patente na figura 6.4), prevê a ligação direta do VE à instalação elétrica por meio de um sistema de alimentação de veículos elétricos (SAVE) dedicado. Este sistema de alimentação possui um circuito dedicado.

Será importante referir que os proprietários de veículos elétricos que pretendam utilizar o modo de carga 3, num edifício existente, deverão informar a administração de condomínio da sua intenção, de acordo com o *Decreto Lei n.º90/2014* [61].

Será dado ênfase especial a este modo de carga, uma vez que apresenta as melhores condições de segurança para o utilizador e equipamento.



Figura 6.4 - Exemplo de modo de carga 3, com recurso a tomada específica para alimentação de VE (Adaptado de Fonte: MOBI.E)

Modo de carga 4

O quarto modo de carga, permite a ligação do VE à instalação de alimentação em corrente alternada por meio de um carregador externo.

⁷ Dispositivo integrado no cabo de carga que garante funções de controlo, de comando e de segurança.

6.4. Alimentação das instalações para a carga de veículos elétricos

O carregamento dos VE deve ser feito em zonas dedicadas para o efeito. Uma vez que o presente documento se debruça sobre a temática das instalações elétricas residenciais, só serão analisadas instalações com acesso privativo, a saber [60]:

1. Instalações de carregamento de VE de acesso privativo e uso exclusivo
 - 1.1. Alimentadas a partir de uma instalação individual com ramal próprio:
 - 1.1.1. sem *box*⁸;
 - 1.1.2. com *box*;
 - 1.2. Alimentadas a partir de uma instalação coletiva de edifícios de habitação multifamiliar:
 - 1.2.1. com *box* alimentada da instalação individual de que faz parte;
 - 1.2.2. com *box* alimentada pelo quadro de colunas (QC) da instalação coletiva;
 - 1.2.3. com *box* alimentada pelo Quadro de Serviços Comuns (QSC);
 - 1.2.4. sem *box*, em lugar de estacionamento marcado no pavimento, alimentado pelo Quadro de Serviços Comuns (QSC);
2. Instalações de carregamento de VE de acesso privativo e uso partilhado, em zonas dedicadas de parques de estacionamento alimentadas a partir de:
 - 2.1. Uma instalação coletiva:
 - 2.1.1. do Quadro de Colunas (QC);
 - 2.1.2. do Quadro de Serviços Comuns (QSC);

Para garantir uma maior racionalização das instalações, uma maior economia e uma maior flexibilidade na execução das instalações de acesso privativo, onde possa existir um elevado número de veículos elétricos, nomeadamente, parques de estacionamento de edifícios de habitação multifamiliar, é possível aplicar um fator de simultaneidade (K_s), obtido pela seguinte expressão:

$$K_s = 0.2 + \frac{0.8}{n} \quad (6.1)$$

Onde n é o número de lugares de estacionamento

Na falta de informações precisas sobre a potência necessária para o carregamento de VE, as regras técnicas recomendam que a potência mínima a disponibilizar para os parques de estacionamento destes prédios seja a que resulta da multiplicação do número de lugares de estacionamento previstos, deduzido do número de boxes alimentadas diretamente da fração, pela potência unitária considerada para o carregamento do VE (3 680 VA, por ponto de conexão de VE), onde pode ser aplicado o fator de simultaneidade da expressão 6.1.

Para as instalações de carregamento de VE, para as quais seja utilizado um fator de simultaneidade inferior a 1, deve ser previsto um sistema de controlo da carga (SCC) da instalação elétrica (de utilização) que alimenta as instalações de carregamento de VE.

O SCC deve possibilitar o desligar das cargas (por meio de um contactor ou sistema equivalente) ou, no caso de serem utilizados os modos de carga 3 e 4, a regulação da intensidade da corrente destinada ao carregamento dos VE.

⁸ Entende-se por *box* o espaço situado num parque de estacionamento coberto, destinado exclusivamente à recolha de um ou dois veículos, delimitado por paredes com a altura do piso e sem aberturas, possuindo acesso direto aberto ou fechado.

6.5. Equipamento necessário para modo de carga 3 e custos associados

A tomada utilizada no modo de carga 3 deve ser específica para a carga de VE, em conformidade com as normas EN 62196-1 e EN 62196-2 (tipo2).

Este tipo de tomadas pode ter as seguintes características: 70 A - 200/250 V ~ (2P+T+2 contactos piloto) para circuitos monofásicos; 63 A - 380/480 V ~ (3P+N+T+2 contactos piloto) para circuitos trifásicos. Os contactos pilotos permitem a troca de dados entre o veículo e o SAVE.

As tomadas utilizadas devem possuir um sistema elétrico ou mecânico que impeça a inserção/desinserção da ficha, exceto se a tomada ou o conector tiverem sido previamente desligados da fonte de alimentação, esta medida previne o aparecimento de arcos elétricos, que podem danificar o equipamento.

Uma vez que as tomadas, utilizadas no modo 3, possuem correntes estipuladas acima de 16 amperes, devem ser dotadas de uma tampa, para proteger o utilizador (ver figura 6.5) [60].



Figura 6.5 – Tomada de tipo 2, específica para alimentação de VE (Fonte: Elinta)

As tomadas de tipo 2, normalmente, fazem parte de um posto de carregamento (ver figura 6.6). Os postos de carregamento devem satisfazer às normas da série EN 61851. O preço deste equipamento, em média, é de 600 euros, no entanto, este preço pode variar, mediante as características do equipamento. Este preço não inclui custos de instalação.

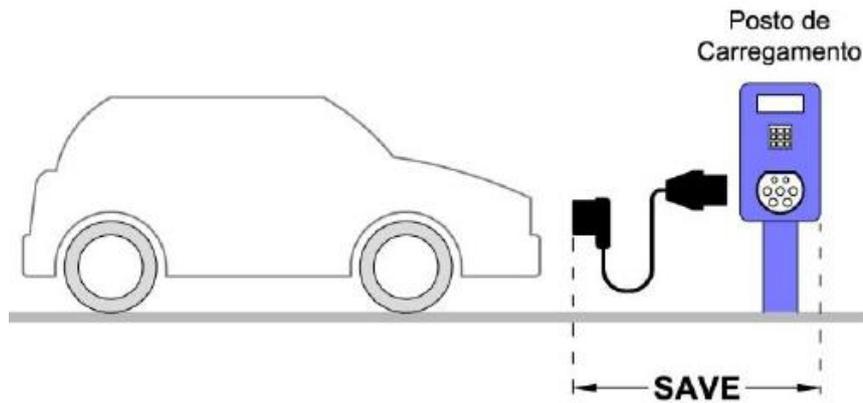


Figura 6.6 – Posto de carregamento com tomada de tipo 2 (Fonte: DGEG)

O cabo de carga (presente na figura 6.6) já vem incluído com o veículo.

6.6. Proteção contra choques elétricos

A presente subsecção pretende dar a conhecer os elementos de proteção contra os choques elétricos a implementar numa situação de modo de carga 3, onde existe um circuito dedicado para a alimentação do veículo elétrico [60].

Proteções contra contactos diretos

Cada ponto de conexão de VE (realizado com recurso a tomadas ou posto de carregamento) deve ser protegido individualmente por meio de um dispositivo diferencial, com uma corrente diferencial-residual, $I_{\Delta n}$, não superior a 30 mA.

Proteções contra sobreintensidades

Na proteção contra sobreintensidades, devem ser utilizados disjuntores com características adequadas ao tipo de carga do VE (corrente de serviço, “picos” de ligação, etc.), nomeadamente quanto à seleção do tipo de curva do disparador magnético (C ou D) a utilizar.

Proteções contra sobretensões de origem atmosférica

Os circuitos de alimentação de VE devem ser protegidos por meio de descarregadores de sobretensões, para evitar danos no VE.

Corte e seccionamento

Na origem de cada instalação de carregamento de VE e de cada circuito final deve ser colocado um dispositivo que garanta as funções de corte e de seccionamento, nomeadamente, um interruptor diferencial.

6.7. Esquemas elétricos para as instalações de carregamento de VE

No presente capítulo, apenas será apresentado o esquema tipo de uma instalação de acesso privativo e uso exclusivo, alimentada a partir de uma instalação individual em edifício sem instalação coletiva e sem *box*.

Os restantes esquemas elétricos, referentes a instalações com acesso privativo, podem ser encontrados no Anexo C.

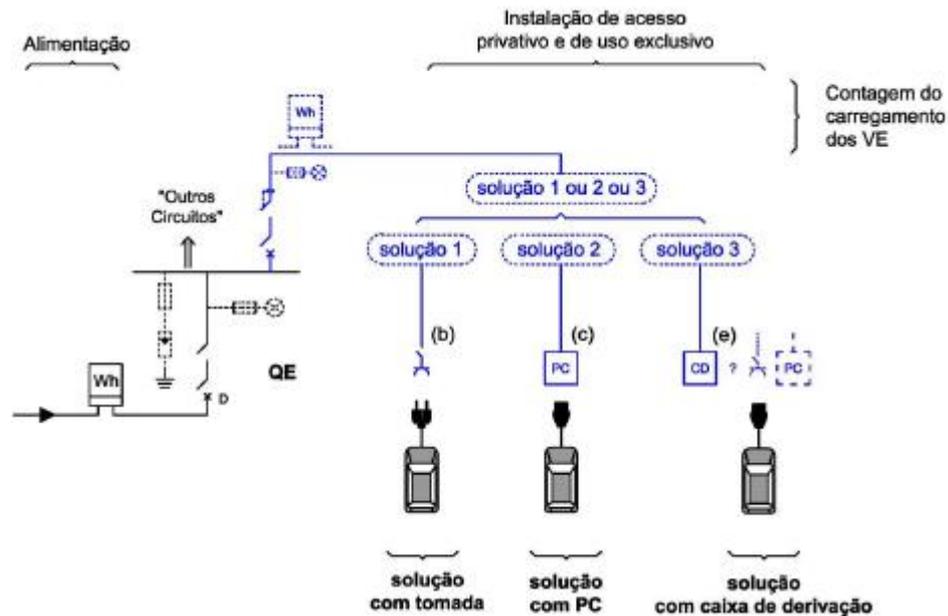


Figura 6.7 - Exemplo de instalações de acesso privativo e uso exclusivo, alimentadas a partir de uma instalação individual em edifício sem instalação coletiva e sem *box* (Fonte: DGEG) Legenda: a) tomada com dispositivo de corte; b) posto de carregamento; c) caixa de derivação, para futuras ligações (tomada ou posto de carregamento)

6.8. Conclusões

No decorrer da próxima década espera-se um aumento do número de veículos elétricos, globalmente. A aquisição de um veículo elétrico requer algumas alterações na instalação residencial, podendo ser necessário um aumento do escalão de potência contratada da habitação.

A presença do veículo elétrico pode aumentar substancialmente a fatura energética, podendo chegar a representar mais de 20% do consumo energético da habitação [62]. Para mitigar o consumo de energia proveniente da rede de distribuição, podem ser utilizados painéis fotovoltaicos para carregar as baterias do veículo durante o dia.

No futuro, o fluxo energético entre o veículo elétrico e a habitação poderá ser bidirecional, ou seja, o veículo poderá alimentar a instalação elétrica residencial. O veículo elétrico assumirá assim a tarefa de uma unidade de armazenamento de bateria, podendo aumentar a capacidade de armazenamento da habitação (o concito de armazenamento de energia foi explorado no capítulo 3). No entanto, os postos de carregamento bidirecionais ainda estão em fase de desenvolvimento.

Capítulo 7

A evolução da instalação residencial nos países em desenvolvimento

Atualmente, cerca de 1,2 mil milhões de indivíduos, espalhados por diversos países em desenvolvimento não possuem acesso a uma rede elétrica de energia [63]. Esta percentagem da população mundial (cerca de 17%) acaba por gastar mais de 27 mil milhões de dólares anuais em iluminação residencial e alimentação de pequenos dispositivos, como telemóveis, que utilizam combustíveis fósseis (querosene), altamente poluentes para a atmosfera do planeta.

O presente capítulo pretende analisar as soluções fornecidas pelo mercado na atualidade para contrariar este consumo de combustíveis de génese fóssil, permitindo que a população tenha acesso a equipamento elétrico menos poluente, mais eficiente e economicamente mais atrativo.

Numa fase posterior, será apresentada uma proposta do que poderá ser a instalação elétrica residencial da próxima década nestes países, tendo em conta todas as variáveis atuais e como estas podem influenciar e moldar a instalação, bem como potenciar a adoção de tecnologia pouco usual, em países cujo setor elétrico já se encontra totalmente desenvolvido.

7.1. População sem acesso às redes elétricas

Cerca de 95% da população sem acesso às redes de energia elétrica reside na África subsariana, no sul e este asiáticos, no Médio Oriente, Ásia Central e América Latina. Os países africanos são os mais afetados por esta condição de baixas taxas de eletrificação. Em países como o Chade, Libéria ou Burundi, apenas 20% da população possui acesso às redes de energia. Em países asiáticos, a percentagem de eletrificação é superior, no entanto, em valores absolutos o número de indivíduos sem acesso a redes de energia elétrica é equivalente ao dos países africanos. A figura 7.1 ilustra a situação global referente à taxa de eletrificação por país e a figura 7.2 ilustra a evolução do número de indivíduos sem acesso a redes de energia elétrica [63].

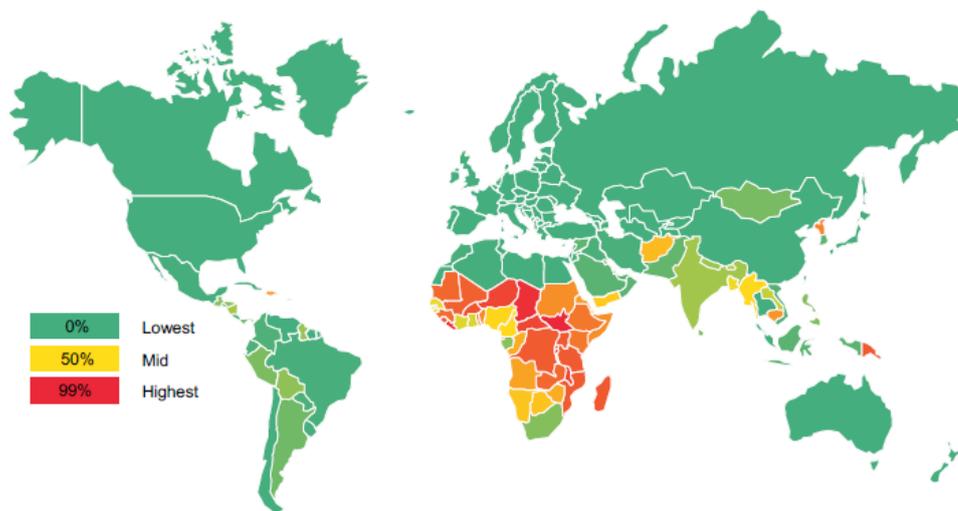


Figura 7.1 - Percentagem de população sem acesso à rede elétrica (Fonte: Bloomberg)

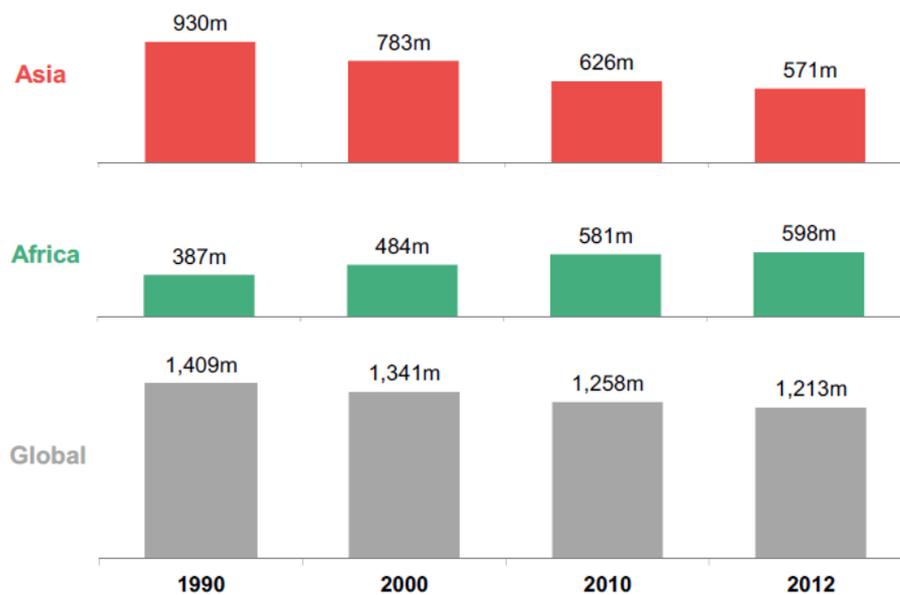


Figura 7.2 - Evolução da população sem acesso à rede elétrica por região⁹ (Fonte: Bloomberg)

Desde 2000, o número de indivíduos sem acesso às redes elétricas aumentou em 144 milhões de pessoas no continente Africano [66]. Em 2040 estima-se que mais de 500 milhões de indivíduos não tenham acesso às redes elétricas em países africanos, mas que cerca de mil milhões sejam integrados na eletrificação do continente.

Note-se que o custo de energia de uma rede já construída, nos países em desenvolvimento, ronda os 100 dólares por MWh, ao passo que para redes que necessitem de construção de infraestrutura, este custo ascende para cerca de 450 dólares por MWh [63].

⁹ Valores em milhões (exemplo: 387m representa 387 milhões de indivíduos sem acesso à rede elétrica)

Por outro lado, há uma outra necessidade que deve ser caracterizada. Trata-se da população com acesso às redes elétricas com baixas taxas de fiabilidade. Estimativas apontam que cerca de mil milhões de pessoas possuam acesso à rede de energia com índices de fiabilidade extremamente baixos. Esta situação é mais preocupante em países pertencentes à África subsariana, onde a rede não se encontra disponível, em média, 540 horas por ano (6% do tempo total).

As falhas da rede são normalmente colmatadas por geradores a diesel, cujo custo de operação é elevado e cuja utilização não é contabilizada para fins estatísticos. Este fator é mais um dos contribuintes para a carbonização atmosférica [63].

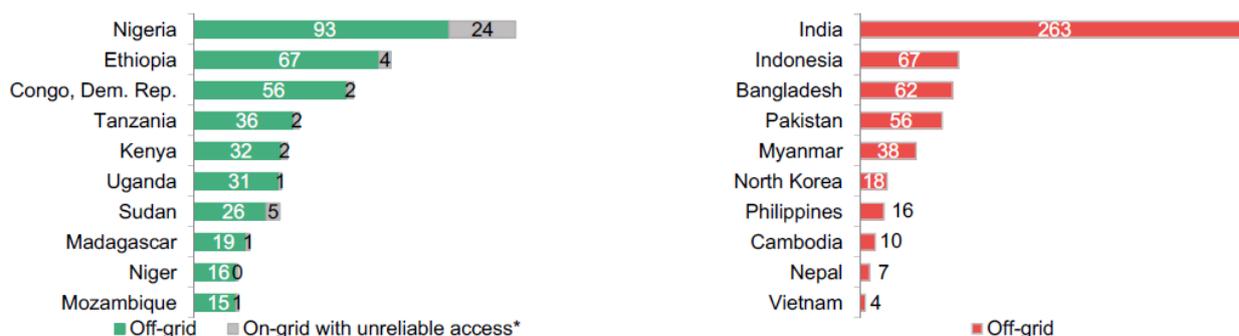


Figura 7.3 - Número de indivíduos sem acesso à rede elétrica ou com acesso pouco fiável por país (Fonte: Bloomberg)

Perante esta realidade, podemos encarar o problema de eletrificação em duas fases. A primeira visa oferecer uma solução de rápida adoção e de simples utilização, permitindo eletrificar de forma temporária, para mitigar o problema, as zonas sem acesso a energia. A segunda fase pode focar-se numa solução que permita que a eletrificação definitiva seja feita da forma mais eficiente possível.

7.2. Eletrificação de países em desenvolvimento: Soluções temporárias

7.2.1. Kits solares (Também denominados Pico PV)

Como referido anteriormente, a fase um de eletrificação dos países em desenvolvimento deve oferecer soluções temporárias de eletrificação à população, sem comprometer o ecossistema. Uma das respostas apresentadas pelo mercado vem sob a forma de kits solares portáteis (ver figuras 7.4 e 7.5¹⁰). Estes kits são normalmente constituídos por:

- Um pequeno painel fotovoltaico, cuja potência é normalmente igual ou inferior a 10W;
- Um ou vários elementos de iluminação, nomeadamente luminárias ou lanternas carregáveis a partir do sistema fotovoltaico. Estes elementos de iluminação são normalmente de tecnologia LED, devido ao baixo consumo e elevado tempo de vida;
- Porta USB para carregamento de telemóveis.

¹⁰ Mais exemplos de kits solares podem ser encontrados no Anexo B

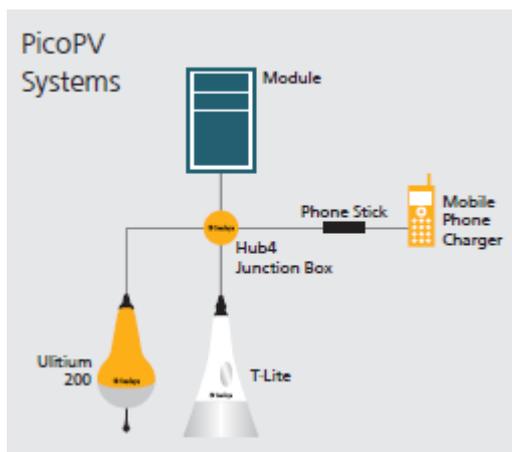


Figura 7.4 - Tipologia de um kit solar (Fonte: Phaesun)



Figura 7.5 - Exemplo de pequeno Kit solar com iluminação e capacidade de carregar telemóvel (Fonte: Schneider Electric)

Este tipo de kits solares são bastante rudimentares e visam apenas suprir as necessidades energéticas mais básicas, como é o caso da iluminação.

O custo da iluminação recorrendo a estes equipamentos é muito inferior ao custo de uma lâmpada alimentada a querosene (normalmente o preço de um kit com uma unidade de iluminação varia entre os 5 e os 15 euros), que pode ter custos anuais que variam entre 15 a 50 euros, dependendo do país em que está a ser utilizada [63].

Na figura 7.6 são referidos tempos de retorno de investimento espetável (meses) para este tipo de equipamento, num conjunto de países.

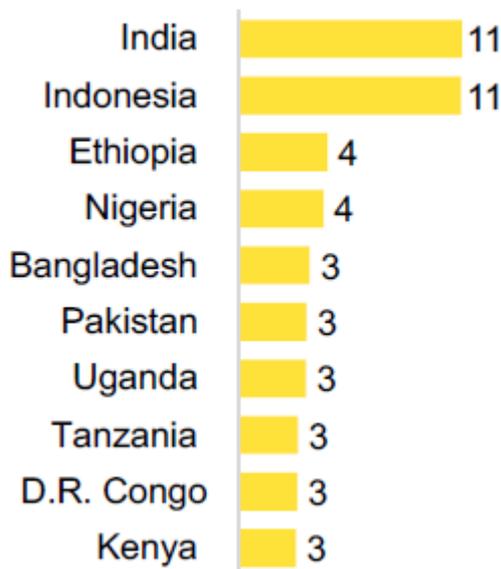


Figura 7.6 - Número de meses até o consumidor reaver o investimento num kit solar (Fonte: Bloomberg)

Face ao tempo de vida útil do kit (cerca de 3 anos) verifica-se pois que o investimento é rentável.

Uma vertente do kit prende-se com o carregamento de telemóveis, o que à partida pode parecer uma necessidade de baixa prioridade. No entanto, nos países com baixas taxas de eletrificação este serviço é um dos mais requisitados.

Neste tipo de países existem cerca de 240 milhões de indivíduos que possuem telemóvel, mas não têm acesso à rede elétrica. Para carregar o equipamento (telemóvel), a população serve-se de estabelecimentos criados especificamente para esta necessidade, onde o custo de um carregamento pode ser da ordem dos 15-30 cêntimos, o que equivale a um custo por kWh de 30 a 50 euros. O investimento nos kits faz ainda mais sentido se considerarmos que, por vezes, estas lojas de carregamento estão a horas de viagem a pé [63].

7.2.2. Sistemas solares domésticos

Os sistemas solares domésticos partilham semelhanças com os kits solares. No entanto, são sistemas com maior potência, permitindo acoplar mais equipamento ao painel fotovoltaico (ver figuras 7.7 e 7.8).¹¹

Este equipamento pode ser constituído pelos seguintes elementos:

- Um painel fotovoltaico para alimentar as cargas existentes, cuja potência pode estender-se até 200W;
- Vários elementos de iluminação, nomeadamente luminárias;
- Várias portas USB para carregamento de telemóveis;
- Pequenos eletrodomésticos incluídos (disponível apenas em alguns dos sistemas), por exemplo: Televisores, frigoríficos, ventoinhas, rádios, entre outros;
- Possível existência de bateria de acumulação para os sistemas mais caros (Baterias de chumbo-ácido ou iões de lítio);

¹¹ Mais exemplos de sistemas solares podem ser encontrados no Anexo B

- Um controlador solar (para evitar que o painel carregue em demasia a bateria, que haja um fluxo de corrente da bateria para o painel ou que a bateria descarregue em demasia) [64].

Ao contrário dos kits solares, os sistemas solares domésticos permitem dar resposta a necessidades para além das básicas, no entanto, estão restringidos a consumidores com maior poder económico. Esta solução permite colmatar as necessidades energéticas em zonas ainda não eletrificadas, podendo alimentar uma televisão durante algumas horas por dia ou mesmo um pequeno frigorífico.

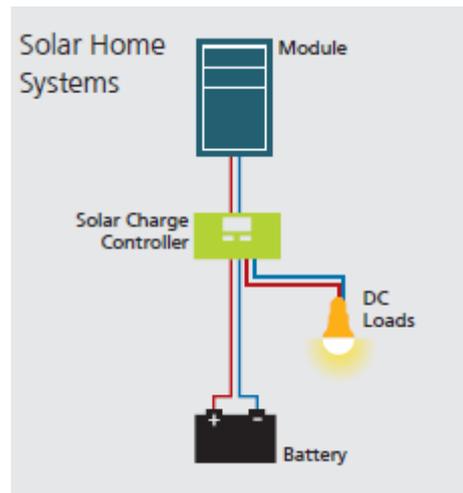


Figura 7.7 - Topologia de um sistema solar doméstico (Fonte: Phaesun)



Figura 7.8 - Exemplo de sistema solar doméstico (Fonte: Mobisol)

7.2.3. Eletrodomésticos alimentados em corrente contínua

Os sistemas solares domésticos podem potenciar a criação de um mercado para eletrodomésticos alimentados em corrente contínua (“Eletrodomésticos DC”). Como visto anteriormente, estes sistemas podem alimentar algumas cargas um pouco mais exigentes a nível energético. Uma vez que os painéis produzem corrente contínua, a utilização de cargas deste tipo não só elimina a necessidade da presença de um inversor, que é um elemento caro e complexo, como melhora a eficiência global do sistema.

O mercado de eletrodomésticos DC está ainda pouco desenvolvido. No entanto, a crescente eletrificação residencial a nível rural em países em desenvolvimento, ainda que desconectada de uma rede no presente, começa a fazer com que o mercado cresça.

Segundo um estudo realizado pela Bloomberg [63], em 2020 mais de 21 milhões de residências estarão equipadas com sistemas solares domésticos, tendo a maioria delas adquirido, pelo menos, um eletrodoméstico DC. Esta evolução futura do mercado (ver figura 7.9) fará com que a tecnologia se torne mais barata, devido ao estabelecimento de uma economia de escala, promovendo ainda mais a adoção deste tipo de equipamentos em países em desenvolvimento.

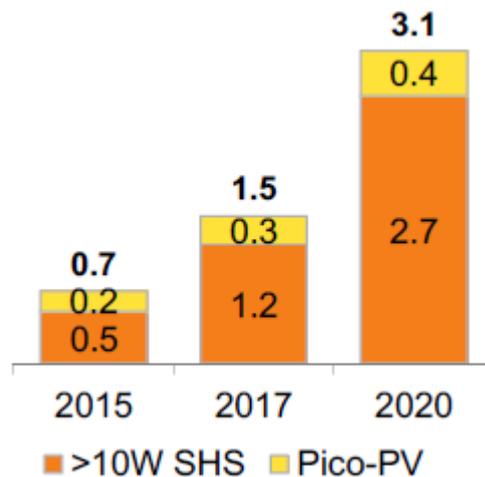


Figura 7.9 - Estimativa da evolução do mercado de kits solares (a amarelo) e de sistemas solares domésticos (a laranja) em milhares de milhões de dólares (Fonte: Bloomberg)

A grande vantagem de um equipamento alimentado a corrente contínua reside na sua eficiência energética. Uma vez que a génese deste equipamento ocorreu no seio de aplicações destinadas a serem móveis. Nas autocaravanas, onde a energia é parca, foi sempre dado grande ênfase aos baixos consumos energéticos. Num estudo realizado pelo *Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory* [65] foram comparados diversos equipamentos DC com equipamentos alimentados em corrente alternada (“Equipamentos AC”) e os resultados demonstraram que a eficiência energética do equipamento DC era muito superior à do equipamento AC; em alguns casos a poupança de consumo energético atingia os 50% (caso dos frigoríficos).

Esta poupança energética é devida a incorporação de tecnologia mais eficiente como compressores DC sem escovas (no caso dos frigoríficos) no interior do equipamento, ou pela subtração de elementos de retificação do sistema.

A principal desvantagem de um equipamento DC é o seu preço mais elevado. Um exemplo disso é o frigorífico DC, de pequenas dimensões, que pode custar cerca de 300 euros, enquanto que um frigorífico AC, com características semelhantes, custa menos 100 euros [63].

No entanto, e como já referido anteriormente, com o aumento do número de consumidores desta tecnologia, e com o estabelecimento de uma economia de escala, o fosso existente entre estes dois preços pode ser reduzido significativamente.

7.3. Eletrificação de países em desenvolvimento: Soluções definitivas

7.3.1. Metodologia de implementação da instalação

Ao contrário do que acontece nos países mais desenvolvidos a nível tecnológico, a implementação de uma estrutura elétrica residencial em zonas completamente desprovidas de elementos elétricos provenientes da rede pode tomar uma direção mais autónoma.

O sistema elétrico sugerido neste capítulo não necessita de uma ligação física à rede que, como visto anteriormente, pode ter custos elevados e só fará sentido economicamente se albergar um grande número de consumidores. A instalação residencial proposta será:

- Independente da rede de distribuição, permitindo uma intervenção mais localizada e mais barata;
- Baseada em tecnologia DC, aumentando a eficiência energética da instalação e permitindo poupanças energéticas mais significativas;
- Alimentada por fontes de energia renováveis, diminuindo assim as emissões de dióxido de carbono para a atmosfera e a dependência de tecnologias mais poluentes, como os geradores a diesel ou a queima de querosene (nocivos para o ambiente e para os utilizadores);
- Fácil de implementar, requerendo baixos investimentos, uma vez que é direcionada para a população, na sua maioria, empobrecida e sem acesso aos meios técnicos necessários para implementar soluções tecnologicamente mais desafiadoras.

7.3.2. Nível de tensão

O valor de tensão que provavelmente mais se adequa a esta solução será de 48V DC [66]. De facto, os 48V DC permitem alimentar a grande maioria de cargas DC atualmente comercializadas no mercado, sem levantar quaisquer riscos de segurança para a instalação ou para o utilizador (nomeadamente, torna-se desnecessário prever um sistema de ligações à terra [68]).

Este nível de tensão oferece, no entanto, alguns desafios relacionados com quedas de tensão, dado o seu baixo potencial. Este problema pode ser mitigado reduzindo o tamanho dos circuitos e é amenizado pelo pequeno tamanho das infraestruturas onde a instalação é inserida. Normalmente é possível transmitir energia num intervalo de 10 a 16 metros de distância (dependendo da tolerância aplicada à queda de tensão, ver tabela 7.1) [67].

Tabela 7.1 -Máxima distância de transmissão de energia para diferentes tolerâncias de queda de tensão, utilizando carga de 500W (Fonte: Schneider Electric)

Max length (m)	1%	3%	5%
Cu 2.5mm ²	3.37	10.12	16.87
Cu 1.5mm ²	2.02	6.07	10.12
Cu 0.75mm ²	1.01	3.04	5.06

Se a instalação for bem concebida, ou seja, havendo um arranjo cuidado da colocação das tomadas e dos pontos de luz da instalação, evitando a utilização de circuitos desnecessariamente

longos, as quedas de tensão podem ser facilmente controladas e mantidas em intervalos que permitam o correto funcionamento dos aparelhos a alimentar, fomentando ainda uma cultura elétrica de racionalização do material (nomeadamente o cobre). Esta medida poderá baixar os custos da instalação e diminuir a utilização de material.

7.3.3. Proteções, cablagem e outros componentes

Para assegurar a proteção dos equipamentos utilizados, bem como a segurança dos utilizadores, será necessária a utilização de dispositivos de proteção adequados ao funcionamento em DC (fusíveis ou disjuntores) [69].

Note-se que enquanto o arco é extinto naturalmente em sistemas AC (pela primeira passagem da corrente por zero) em sistemas DC a sua extinção revela-se um desafio, uma vez que a corrente tem um valor constante. A ocorrência de arco apresenta uma condição perigosa não só do ponto de vista da segurança, mas também provoca erosão nos contactos dos disjuntores, tendo por consequência tempos de vida mais curtos, maior necessidade de manutenção preventiva e maiores custos de manutenção do sistema.

Para impedir o aparecimento do arco elétrico estão ainda a ser desenvolvidos AFCI (*arc fault circuit interrupters*) a baixos preços [69].



Figura 7.10 - Exemplo de fusíveis a utilizar numa instalação de 48V DC (modelo:CHM1DI-48U) (Fonte: Bussmann)

No que se refere à cablagem a utilizar nestes tipos de utilização, esta não difere da utilizada atualmente nos edifícios com alimentação AC.

A secção dos condutores a utilizar pode ser a mesma, ou seja, $2,5 \text{ mm}^2$ (para as tomadas e circuitos de iluminação) uma vez que a tensão é mais reduzida.

O código de cores a ser implementado deve ser definido de acordo com o regulamento elétrico adotado por cada país.

Por fim, verifica-se que a instalação residencial alimentada a corrente contínua irá necessitar de um conversor DC-DC. Este conversor deve poder receber vários inputs energéticos com diferentes valores de tensão, convertendo-os para uma única tensão, neste caso de 48V DC. Existem protótipos de baixo custo em desenvolvimento e já empregues em instalações modelo, como é o caso do MISO (*multiple input single output*) aplicado na casa DC, a ser desenvolvida na *Cal Poly State University* [70].

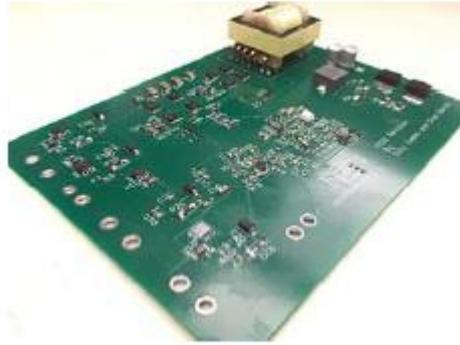


Figura 7.11 - Exemplo de MISO utilizado na casa DC em Cal Poly (Fonte: Cal Poly State University)

7.3.4. Fontes de energia para alimentação de edifícios

Como se referiu inicialmente, estamos a falar de instalações residenciais sem acesso às redes de distribuição. Como tal, a sua alimentação terá de ser feita à custa de fontes de energia locais e alternativas, a saber:

- Produção hidroelétrica através de pequenos corpos de águas. Há algumas soluções baseadas no parafuso de Arquimedes que podem ser interessantes para o futuro [71];



Figura 7.12 - Parafuso de Arquimedes (Fonte: Youtube)

- Painéis fotovoltaicos com potências de algumas centenas de Watt;
- Pequenas turbinas eólicas (até 300W), esta solução apesar de não ser indicada para apenas uma habitação (devido a elevados custos, cerca de 400 euros por turbina) pode ser uma solução interessante para alimentar um conjunto de casas [72].



Figura 7.13 - Exemplo de pequena turbina eólica implementada numa zona remota do Peru (Fonte: Wisions)

7.3.5. Aspetos económicos

O uso de sistema elétrico DC pode ajudar a eliminar o desperdício de energia introduzido na conversão AC-DC. Com uma instalação residencial DC estima-se uma melhoria de eficiência total de 15% relativamente a um sistema AC [73].

O custo de uma habitação rural com eletrificação DC depende da quantidade de cargas que se pretendem alimentar, da fiabilidade do sistema que se pretende assegurar, entre outros fatores, como a região onde vai decorrer a implementação. Estima-se, no entanto, que para uma casa de 150W o preço da instalação será inferior a 1000 euros. Este valor pode estar acima das possibilidades de inúmeros indivíduos, mas a instalação DC possui um carácter quase modular, pelo que diferentes equipamentos podem ser adicionados à posteriori, permitindo que o consumidor faça um investimento de forma faseada, diluindo o seu esforço financeiro [69].

7.3.6. Protótipos de casas alimentadas em corrente contínua

Eis alguns exemplos de protótipos em funcionamento:

Cal Poly's DC House

Nos Estados Unidos foi construído um protótipo pela Cal Poly (ver figura 7.14). A habitação tem como principal material de construção uma espécie de palha e atualmente opera com várias fontes de energia renovável (painel solar de algumas centenas de Watt), pequenas turbinas eólicas e geradores humanos [74].



Figura 7.14 - Protótipo de casa DC construído pela Cal Poly (Fonte: Cal Poly)

Protótipo na Indonésia apoiado pela UNPAD (Universitas Padjadjaran)

O protótipo da UNPAD localiza-se na Indonésia e é uma casa de tijolos que opera com duas fontes de energia: painel solar de 150W e uma turbina eólica de 300W (ver figura 7.15). Esta habitação foi desenvolvida em conjunto com engenheiros da Cal Poly [75].



Figura 7.15 - Protótipo de casa DC na Indonésia (Fonte: Cal Poly)

Protótipo nas Filipinas desenvolvido pelo TIP (Technological Institute of the Philippines)

Esta habitação localiza-se nas Filipinas e, como as anteriores, foi construída numa colaboração com a Cal Poly University (ver figura 7.16). A construção baseia-se em técnicas locais e utiliza matérias endógenas como o bambu. É alimentada por energia fotovoltaica [76].



Figura 7.16 - Protótipo de casa DC nas Filipinas (Fonte: Cal Poly)

7.3.7. Agregação de múltiplas casas DC

Existem alguns projetos que visam a agregação de múltiplas casas com instalação em DC. A implementação de uma solução deste tipo iria permitir aumentar a fiabilidade de cada habitação, uma vez que poderia haver partilha de recursos energéticos entre as diversas casas. Esta estratégia vai também ao encontro da estrutura social existente em alguns dos países mais carenciados, que vivem em tribos ou pequenos agregados populacionais pertencentes a uma casta específica [69].

Uma estrutura energética deste tipo já havia sido equacionada por autores, como Jeremy Rifkin [77], que equacionam uma sociedade comunitária onde os recursos são partilhados abertamente pelos indivíduos. Seria interessante testemunhar esta visão futurista, apontada como uma possível evolução do sistema elétrico dos países desenvolvidos, a ter o seu berço em locais considerados como terceiro mundo.

7.4. Conclusões

O presente capítulo teve por objetivo oferecer uma visão do que poderá ser a evolução da instalação elétrica residencial em países em desenvolvimento.

Atualmente, existe um grande défice de eletrificação em diversas localizações do globo que é colmatado com recurso a tecnologias extremamente poluentes, no entanto, existem soluções, como os kits solares, que começam a penetrar no mercado e possuem perspectivas animadoras de adoção num futuro próximo.

A próxima fase de eletrificação, que terá um carácter mais permanente, deve ser feita tendo em conta os desafios tecnológicos e ambientais do futuro. A solução proposta nesta secção do documento equaciona a penetração da tecnologia DC na instalação residencial, numa perspectiva *off-grid*. Esta solução aumenta a eficiência energética da instalação, quando comparada com instalação AC.

Existe ainda um grande desafio a nível regulamentar, pelo que é extremamente necessário criar especificações técnicas que assegurem a definição de protocolos de instalação dos diversos componentes, contemplando a segurança da instalação e dos seus utilizadores.

Capítulo 8

8.1. Conclusão

O presente documento oferece uma visão possível do que poderá ser a instalação residencial da próxima década, tema que é pouco explorado na literatura atual. Foram analisadas diferentes tecnologias, ao longo de sete capítulos distintos, e a forma como estas podem interagir entre si, com o intuito de diminuir os consumos e aumentar a eficiência energética da habitação.

O estudo revelou que os painéis fotovoltaicos possuem elevadas hipóteses de ser um elemento presente na instalação da próxima década, desempenhando um papel fundamental na diminuição de consumo de combustíveis fósseis. A presença de baterias, para armazenar a energia proveniente dos painéis, poderá ser uma realidade na próxima década, no entanto, o elevado preço destes equipamentos poderá ser um entrave à sua penetração na instalação. Os eletrodomésticos presentes na instalação poderão desempenhar funções de armazenamento de energia, caso venham a possuir baterias incorporadas no seu interior. Prevê-se que sistemas inteligentes, nomeadamente sistemas de domótica sejam incorporados no seio da instalação residencial, na próxima década, com a perspectiva de diminuir os consumos de equipamentos domésticos e aumentar o conforto da habitação. A utilização de veículos elétricos implicará, forçosamente, alterações à instalação residencial da próxima década, aumentando o consumo de energia da habitação, no entanto, esta desvantagem pode ser mitigada com recurso aos painéis fotovoltaicos.

Em países em desenvolvimento as instalações residenciais da próxima década poderão ser alimentadas em corrente contínua, uma vez que a inexistência de uma infraestrutura (rede de distribuição) permite a implementação de tecnologias alternativas.

Com as alterações propostas à instalação residencial, é possível diminuir os consumos energéticos e a dependência de combustíveis fósseis, resultando numa diminuição de emissões de gases de efeitos de estufa. Estas medidas aproximam os edifícios residências de um balanço energético anual quase nulo (tornando-os NZEB's).

8.2. Trabalho futuro

Apesar das diversas tecnologias propostas melhorarem significativamente o aproveitamento energético de uma habitação, existem arestas que necessitam de ser limadas, nomeadamente:

A criação de um protocolo de comunicação estandardizado para domótica, caso nenhuma tecnologia se revele dominante no mercado. Esta medida pode promover uma adoção mais alargada de sistemas de domótica e aumentar o número de equipamento disponível para inserir na instalação.

Seria vantajoso a criação de uma solução que emparelhasse sistemas de domótica com os eletrodomésticos que possuem baterias embutidas, uma vez que aumentaria a eficiência dos mesmos. Há ainda a necessidade de prever como estas soluções vão evoluir em conjunto, se será criado um protocolo para cada marca de eletrodomésticos que torne necessário a adoção de equipamento todo da mesma marca ou se será adotado um protocolo universal que permita equipamentos de marcas distintas.

Quanto aos países em desenvolvimento, é imperativo a criação de normas técnicas bem definidas, que estejam adaptadas à implementação de instalações de baixa tensão em corrente contínua, para garantir a segurança dos utilizadores e do equipamento.

Referências

- [1] Comissão Europeia, “*Review of the Energy Performance of Buildings Directive, including the 'Smart Financing for Smart Buildings' initiative*”, 2015
- [2] The Building Technologies Plan Program, Disponível em: <https://energy.gov/eere/buildings/building-technologies-office>. Acesso em 30/05/2017
- [3] Department of energy and climate change, “*UK National Energy Efficiency Action Plan*”, 2014
- [4] Maria Kapsalaki, “*ECONOMIC-EFFICIENT DESIGN OF RESIDENTIAL NET ZERO ENERGY BUILDINGS WITH RESPECT TO LOCAL CONTEXT*”, junho de 2012, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto-Portugal
- [5] Energy Information Administration (EIA), Annual Energy Outlook 2000. Disponível em: <http://www.eia.gov/forecasts/aeo/archive.cfm>. Acesso a 30/05/2017
- [6] “International Energy Outlook 2016,” US Energy Information Administration, May 11, 2016. Disponível em: <http://www.eia.gov/forecasts/ieo/electricity.cfm>. Acesso em 30/05/2017
- [7] Bloomberg New Energy Finance, “*Global Trends in Renewable Energy Investment 2016*”, 24 de março, 2016. Disponível em: <http://about.bnef.com/press-releases/global-trends-in-renewable-energy-investment-2016/>. Acesso a 30/05/2017
- [8] Philip Gura, “*Swanson’s Law – Exponential Trends of Solar Power*”, Exponential Trends, 11 de setembro, 2014. Disponível em: <http://www.exponentialtrends.com/swansons-law-exponential-trends-of-solar-power>, Acesso em 30/05/2017
- [9] Preço da tecnologia fotovoltaica, 1 de setembro, 2017. Disponível em: <http://www.pveurope.eu/News/Markets-Money/Further-drop-in-prices-for-solar-modules-expected-in-2017>. Acesso a 30/05/2017
- [10] Arnulf Jäger-Waldau, “*Costs and Economics of Electricity from Residential PV Systems in Europe*”, 16 de dezembro ,2016.
- [11] Acordos de Paris, Comissão Europeia, dezembro, 2016. Disponível em: https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_en. Acesso a 30/05/2017
- [12] “States’ Reactions to EPA Greenhouse Gas Emissions Standards: Final Rule for Future and Existing Power Plants,” National Conference of State Legislatures, 18 de abril, 2016. Disponível em: <http://www.ncsl.org/research/energy/states-reactions-to-proposed-epa-greenhouse-gas-emissions-standards635333237.aspx>. Acesso a 30/05/2017
- [13] “France Decrees New Rooftops Must Be Covered in Plants or Solar Panels,” The Guardian, 19 de março, 2015. Disponível em: <http://www.theguardian.com/world/2015/mar/20/france-decrees-new-rooftops-must-be-covered-in-plants-or-solar-panels>. Acesso a 30/05/2017

- [14] Camila Domonoske, “San Francisco Requires New Building To Install Solar Panels,” National Public Radio, 20 de abril, 2016. Disponível em: <http://www.npr.org/sections/thetwo-way/2016/04/20/474969107/san-francisco-requires-new-buildings-to-install-solarpanels>. Acesso a 30/05/2017
- [15] OCDE, “*Recent trends in the OECD: energy and CO2 emissions*”, maio, 2016
- [16] Consumo médio anual de residência, 10 de janeiro, 2017. Disponível em: <http://www.pordata.pt/Portugal/Consumo+de+energia+el%C3%A9ctrica+por+consumidor+total+e+por+tipo+de+consumo-1231>. Acesso a 30/05/2017
- [17] “Portugal é o segundo melhor país europeu nas emissões de CO2 de carros novos”, Observador, 14 de abril, 2016. Disponível em: <http://observador.pt/2016/04/14/portugal-segundo-melhor-pais-europeu-nas-emissoes-co2-carros-novos/>. Acesso a 30/05/2017
- [18] Instituto Nacional de estatística, “Transporte Terrestre de Passageiros”, 19 de dezembro, 2014. Disponível em: [file:///C:/Users/User/Downloads/19TranspRodPassageiros2013%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/19TranspRodPassageiros2013%20(1).pdf). Acesso a 30/05/2017
- [19] RE 100 Web Site. Disponível em: <http://there100.org/>. Acesso a 30/05/2017
- [20] Empresas aderentes ao RE 100. Disponível em: <http://there100.org/companies>. Acesso a 30/05/2017
- [21] Bloomberg New Energy Finance, “*GLOBAL TRENDS IN RENEWABLE ENERGY INVESTMENT 2016*”, 2016
- [22] Ana Brito, “Mais de oito mil portugueses produzem luz para autoconsumo”, Público, 20 de fevereiro, 2017. Disponível em: <https://www.publico.pt/2017/02/20/economia/noticia/mais-de-oito-mil-portugueses-produzem-luz-para-autoconsumo-1762590>. Acesso a 30/05/2017
- [23] Direção Geral de Energia e Geologia, “*ESQUEMAS TIPO DE UNIDADES DE PRODUÇÃO PARA AUTOCONSUMO (UPAC) COM TECNOLOGIA SOLAR FOTOVOLTAICA*”, 2015
- [24] Deloitte, “*Energy storage: Tracking the technologies that will transform the power sector*”, 2015
- [25] EUROBAT, “*Battery Energy Storage for Smart Grid Applications*”, 2013
- [26] Solar Choice, “Battery chemistry types for home energy storage”, 6 de julho, 2016. Disponível em: https://www.solarchoice.net.au/blog/battery-types-home-energy-storage?nabe=5824973356924928:0&utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.pt%2F. Acesso a 30/05/2017
- [27] IRENA, “*BATTERY STORAGE FOR RENEWABLES: MARKET STATUS AND TECHNOLOGY OUTLOOK*”, janeiro, 2015
- [28] Joern Hoppmann, Jonas Volland, Tobias S. Schmidt, Volker H. Hoffmann, “*The economic viability of battery storage for residential solar photovoltaic systems – A review and a simulation model*”, 7 de julho, 2014, Zurique – Suíça
- [29] Cong Nam Truong, Maik Naumann, Ralph Ch. Karl, Marcus Müller, Andreas Jossen and Holger C. Hesse, “*Economics of Residential Photovoltaic Battery Systems in Germany: The Case of Tesla’s Powerwall*”, 11 de maio, 2016, Institute for Electrical Energy Storage Technology, Technical University of Munich (TUM), Arcisstr. 21, 80333 Munich, Germany
- [30] Alex Wilson, “*Framework for energy efficiency labelling*”, 14 de março, 2016, Parlamento Europeu, Bruxelas – Bélgica
- [31] Parlamento Europeu, “*DIRECTIVE 2012/27/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL*”, 25 de outubro, 2012
- [32] Deloitte, “*Energy Efficiency in Europe, the levers to deliver the potential*”, 2016

- [33] Federal Trade Commission, “*Rule Concerning Disclosures Regarding Energy Consumption and Water Use of Certain Home Appliances and other Products Required Under the Energy Policy and Conservation Act (“Appliance Labeling Rule”); Final Rule*”, 29 de Agosto, 2007
- [34] Web Site Energy Star. Disponível em: <https://www.energystar.gov/>. Acesso a 30/05/2017
- [35] Alam, M.R., Alauddin, M.A. “*A review of smart homes-past, present, and future*”, IEEE. 2012
- [36] Le, Q., Nguyen, H., Barnett, T. “*Smart homes for older people: Positive aging in a digital world*”. Future Internet. 2012
- [37] Comité Européen de Normalisation. “*Energy Performance of Buildings—Impact of Building Automation, Control, and Building Management*”. European Technical Standard EN 15232; CEN: Bruxelas, Bélgica, 2012.
- [38] European Parliament. “*Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the Energy Performance of Buildings; Directive 2010/31/EU*”. The European Parliament and the Council of the European Union: Bruxelas, Bélgica. 2010.
- [39] European Climate Foundation. Roadmap 2050. Disponível em: <http://www.roadmap2050.eu/>. Acesso a 30/05/2017
- [40] David Balmert, Dr. Konstantin Petrov, “*Regulatory aspects of smart metering*”, KEMA International, dezembro, 2010
- [41] Maarten De Groote, Jonathan Volt, Frances Bean, “*MAPPING SMART-READINESS AND INNOVATIVE CASE STUDIES*”, fevereiro, 2017
- [42] Adoção de sistemas inteligentes pelo mundo, Disponível em: <https://www.statista.com/forecasts/483757/global-comparison-smart-home-household-penetration-digital-market-outlook>, Acesso a 30/05/2017
- [43] Projeções de crescimento do mercado de tecnologias inteligentes, Disponível em: <https://www.statista.com/topics/2430/smart-homes/>, Acesso a 30/05/2017
- [44] Site oficial do protocolo KNX, Disponível em: <https://www.knx.org/knx-en/index.php>, Acesso a 30/05/2017
- [45] Site oficial do protocolo Zigbee, Disponível em: <http://www.zigbee.org/>, Acesso a 30/05/2017
- [46] Gabriele Lobaccaro, Salvatore Carlucci, Erica Löfström, “*A Review of Systems and Technologies for Smart Homes and Smart Grids*”, maio, 2016
- [47] Vantagens e desvantagens dos diferentes protocolos de comunicação sem fios, Disponível em: <https://www.quora.com/What-is-the-difference-between-KNX-ZigBee-and-Z-wave>, Acesso a 30/05/2017
- [48] Thomas Loughlin, “*Z-Wave Christmas Lights*”, dezembro, 2012
- [49] Princípios de funcionamento do Z-Wave, Disponível em: <http://www.vesternet.com/resources/technology-indepth/understanding-z-wave-networks>, Acesso a 30/05/2017
- [50] Largura de banda WI-FI, Disponível em: <https://www.lifewire.com/how-fast-is-a-wifi-network-816543>, Acesso a 30/05/2017
- [51] Outros protocolos de comunicação para domótica, Disponível em: <https://www.electronichouse.com/smart-home/home-automation-protocols-what-technology-is-right-for-you/>, Acesso a 30/05/2017

- [52] Exemplo de termostato inteligente, Disponível em: <https://nest.com/>, Acesso a 30/05/2017
- [53] Icontrol Networks, “2015 State of the StateOfTheSmartHome.com Smart Home Report”, 2015
- [54] Poupança expectável com domótica, Disponível em: <https://www.quora.com/How-much-energy-can-you-save-with-a-home-automation-system>, Acesso a 30/05/2017
- [55] International Energy Agency, “Global EV outlook”, junho de 2017
- [56] International Energy Agency, “Global EV outlook”, maio de 2016
- [57] UN Climate Change Conference, “Paris Declaration on Electro-Mobility and Climate Change & Call to Action”, 2015
- [58] Peter Mock, Zifei Yang, “A GLOBAL COMPARISON OF FISCAL INCENTIVE POLICY FOR ELECTRIC VEHICLES”, maio de 2014
- [59] European Automobile Manufacturers Association, “OVERVIEW ON TAX INCENTIVES FOR ELECTRIC VEHICLES IN THE EU”, 2017
- [60] Direção Geral de Energia e Geologia, “GUIA TÉCNICO DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS PARA A ALIMENTAÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS”, março de 2015
- [61] Instalação de posto de carregamento num condomínio, 2016. Disponível em: <https://www.uve.pt/page/instalacao-de-posto-de-carregamento-num-condominio/>. Acesso a 30/05/2017
- [62] Consumo do veículo elétrico. Disponível em: <https://energia.edp.pt/particulares/apoio-cliente/dicas/>. Acesso a 30/05/2017
- [63] Bloomberg, “OFF-GRID SOLAR MARKET TRENDS REPORT 2016”, fevereiro, 2016
- [64] Controlador solar, Disponível em: <https://www.photonicuniverse.com/en/how-to-choose/solar-charge-controller/>, Acesso a 30/05/2017
- [65] Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, “Catalog of DC Appliances and Power Systems”, outubro, 2011
- [66] Taufik Taufik, Maxwell Muscarella, “Development of DC House Prototypes as Demonstration Sites for An Alternate Solution to Rural Electrification”, 2016
- [67] Simon Willems, Wouter Aerts, Stijn De Jongen, Dries Haeseldonckx, Pepijn van Willigenburg, Johan Woudstra, Harry Stokman, “Sustainable Impact and Standardization of a DC Micro Grid”, 2013
- [68] Thiago R. de Oliveira, Aécio S. Bolzon, Pedro Francisco Donoso-Garcia, “Grounding and safety considerations for residential DC microgrids”, 2014
- [69] Taufik Taufik, “The DC House Project: An Alternate Solution for Rural Electrification”, 2014
- [70] Casa DC protótipo, Disponível em: <http://www.calpoly.edu/~taufik/dchouse/>, Acesso a 30/05/2017
- [71] Vídeo de parafuso de Arquimedes em funcionamento, Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=t3AF_eawtGE, Acesso a 30/05/2017
- [72] Pequenas turbinas eólicas, Disponível em: <http://www.wisions.net/projects/small-wind-power-generation-systems-to-provide-clean-energy-in-poor-rural-a>, Acesso a 30/05/2017
- [73] Casa DC (mais um protótipo) Disponível em: <http://dchouse.calpoly.edu/>, Acesso a 30/05/2017
- [74] Casa DC, Disponível em: <http://www.calpoly.edu/~taufik/dchouse/gallery.html>, Acesso a 30/05/2017

- [75] Casa DC na indonésia, Disponível em: <http://www.unpad.ac.id/en/2015/12/dc-house-alternatif-pasokan-listrik-untuk-wilayah-pelosok/>, Acesso a 30/05/2017
- [76] Casa DC nas Filipinas, Disponível em: <http://www.tip.edu.ph/node/266> , Acesso a 30/05/2017
- [77] Jeremy Rifkin, “*The Zero Marginal Cost Society*”, 1 de abril, 2014
- [78] Comité de regras para sistemas DC do IEC, Disponível em: http://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:79:6895593127584:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:3228,25_, Acesso a 30/05/2017
- [79] IEEE e a sua iniciativa em sistemas DC residenciais, Disponível em: https://standards.ieee.org/email/2013_10_cfp_dchome_web.html, Acesso a 30/05/2017
- [80] Código de conduta para instalações DC, Disponível em: http://www.theiet.org/resources/standards/lvdc-cop.cfm?utm_source=redirect&utm_medium=any&utm_campaign=dc-cop, Acesso a 30/05/2017

Anexo A

Diferentes tipologias de sistemas fotovoltaicos domésticos

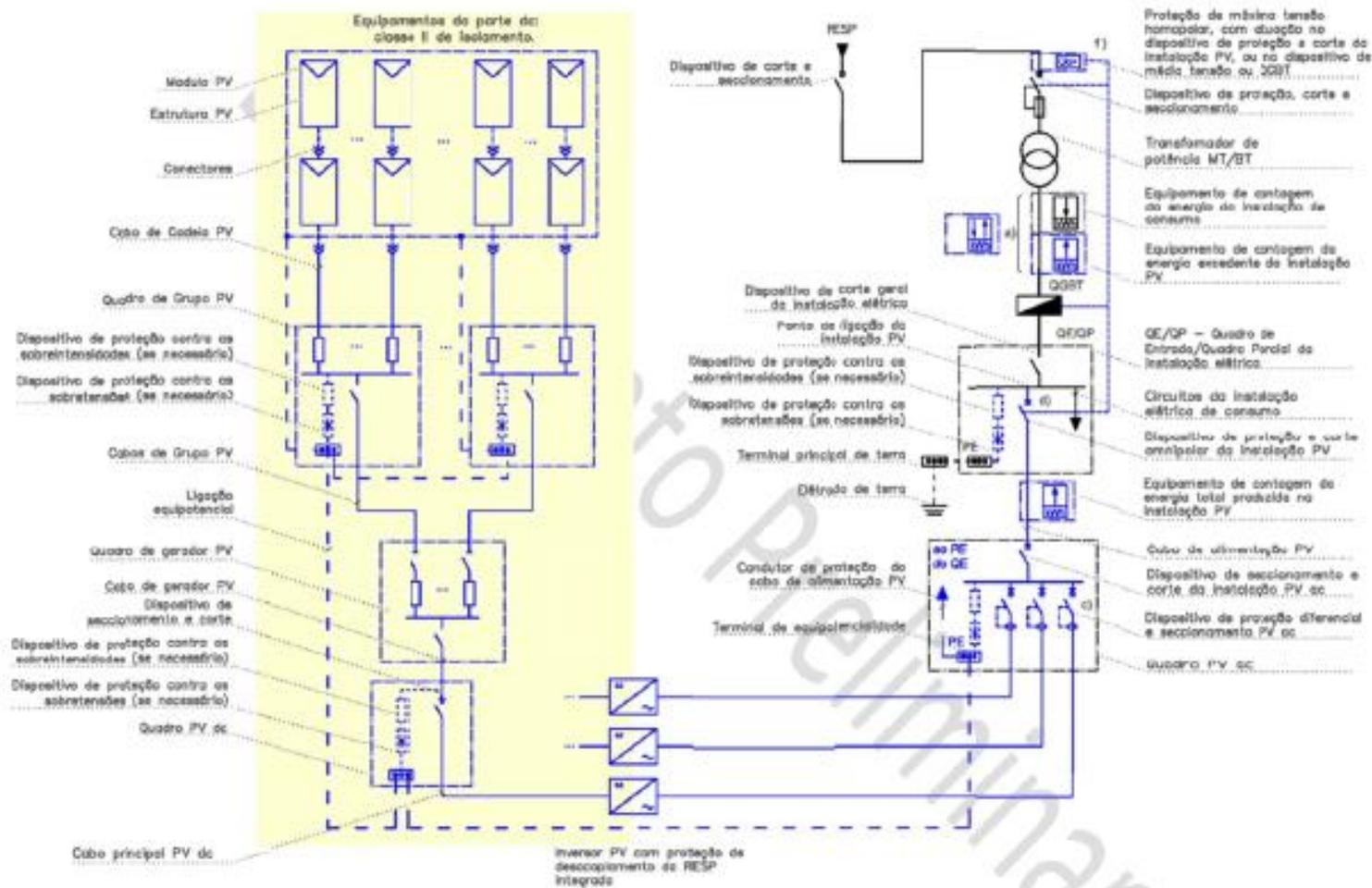


Figura A.1 - Esquema tipo de unidade de produção para autoconsumo, com mais de um grupo PV, associada a uma instalação elétrica alimentada pela RESP, em M, com contagem em BT (Fonte: Direção Geral de Energia e Geologia)

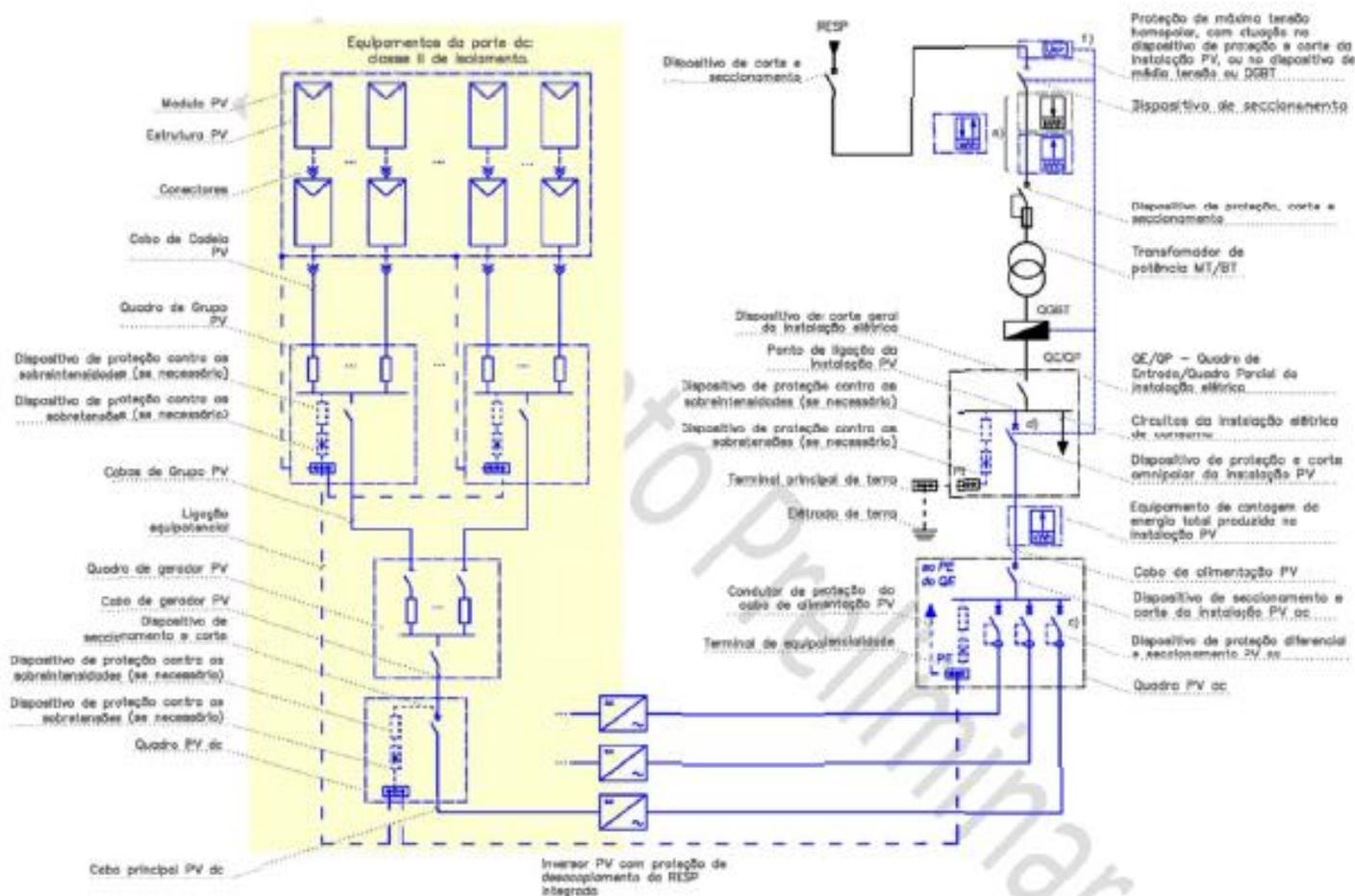


Figura A.2 - Esquema tipo de unidade de produção para autoconsumo, com mais de um grupo PV, associada a uma instalação elétrica alimentada pela RESP, em M, com contagem em MT (Fonte: Direção Geral de Energia e Geologia)

Anexo B

Kits solares, sistemas solares domésticos e regulamentos para instalações BT em CC

As seguintes imagens pretendem dar a conhecer mais opções para a eletrificação de países em desenvolvimento.

B.1. Sistemas solares domésticos



Figura B.1 - Compilação de Sistemas Solares Domésticos (parte I) (Fonte: Bloomberg)



Figura B.2 - Compilação de Sistemas Solares Domésticos (parte II) (Fonte: Bloomberg)

B.2. Kits Solares



Figura B.3- Compilação de Kits Solares (parte I) (Fonte: Bloomberg)



Figura B.4 - Compilação de Kits Solares (parte II) (Fonte: Bloomberg)



Figura B.5 - Compilação de Kits Solares (parte III) (Fonte: Bloomberg)



Figura B.6 - Compilação de Kits Solares (parte IV) (Fonte: Bloomberg)

NIWA NEXT ENERGY PRODUCTS LTD.

Home Run 400 X3



Multi 300 XL



MSS-Modular Solar Systems (Family)



Office 200 X2



Multi 100 Plus



Uno 50



ORB ENERGY

Solectric 10



Solectric 15



Solectric 30



PANASONIC CORPORATION

Solar Lantern



NURU ENERGY

NL3-800



NL3-1000/Laerdal Light



OFF-GRID SOLUTIONS B.V.

WakaWaka



Figura B.7 - Compilação de Kits Solares (parte V) (Fonte: Bloomberg)

OMNIVOLTAIC POWER CO. LTD.

MB2-090



MB2-380



MB2-200



OvCamp HS1-36_LB1122



MB2-290



OvPilot X



RENEWIT SOLAR LIMITED

Solarway G1 Solar Power Lantern/
Solarway G1 Lantern



Solar Homework Light



SCHNEIDER ELECTRIC

Mobiya TS120S/Awango TS120



Figura B.8 - Compilação de Kits Solares (parte VI) (Fonte: Bloomberg)



Figura B.9 - Compilação de Kits Solares (parte VII) (Fonte: Bloomberg)

B.3. Regulamentos para instalações residenciais alimentadas em corrente contínua

Regulamentos e regras técnicas

Embora a utilização de sistemas DC tenha sido intensamente estudado nos últimos anos, ainda é uma tecnologia emergente com a necessidade de desenvolver regulamentos que uniformizem todos os aspetos da instalação. Para além das questões de proteção discutidas numa secção anterior, a normalização é outra barreira à proliferação de sistemas DC. Para promover a tecnologia DC, várias organizações encontram-se a desenvolver padrões práticos. Na presente subsecção, as normas existentes mais relevantes e as em desenvolvimento são revistas e discutidas.

IEC SG4

A IEC SG4 criou um comité técnico responsável pela criação de padrões para sistemas de distribuição DC de até 1500 V. O objetivo é coordenar a normalização de diferentes áreas onde são utilizados sistemas de distribuição DC. O IEC SG4 também se concentra nas necessidades do mercado para promover eficazmente sistemas DC em aplicações práticas. A eficiência energética, a redução das emissões de dióxido de carbono e a redução do uso de recursos naturais são levadas em conta. São ainda abordadas questões relacionadas com métodos de medição, proteção e

sistemas de terra. Foi ainda proposto uma casa ecológica alimentada a corrente contínua onde a energia fotovoltaica ou eólica são tidas em consideração e o sistema de ar condicionado é também energizado por corrente contínua [78].

IEEE DC@Home

O IEEE criou um comité, reunindo alguns dos principais especialistas da área de instalações residenciais para cooperar no desenvolvimento de padrões técnicos relacionados com tecnologia DC e realizar pesquisa que resulte na mais rápida comercialização deste tipo de sistemas [79].

Os objetivos do comité podem ser sumarizados nos seguintes passos:

- Criar um *business case* para tecnologia, determinando as perdas de energia que podem ser evitadas com a adoção desta tecnologia;
- Identificar a pesquisa necessária a realizar para avançar o estado da arte;
- Fazer recomendações preliminares sobre como implementar a tecnologia DC na residência;
- Determinar as normas e regulamentos que devem ser seguidos.

IET's Code of practice for low an extra low voltage direct current power distribution in buildings

Este documento está a ser desenvolvido por uma comissão que inclui especialistas do setor e técnicos que representam grupos-chave de utilizadores nos setores de eletricidade, telecomunicações e construção do Reino Unido [80].

O compêndio, que pode ser equiparado às regras técnicas, visa assegurar a aplicação segura, eficaz e competente das instalações de baixa tensão em DC nos edifícios residenciais.

O documento inclui:

- Requisitos para o *design*, especificação, seleção, instalação, comissionamento, operação e manutenção de sistemas DC;
- Cablagem a utilizar em diversos pontos da instalação.

Anexo C

Esquemas elétricos para as instalações de VE

Neste anexo são apresentados os esquemas tipo de instalações de acesso privativo.

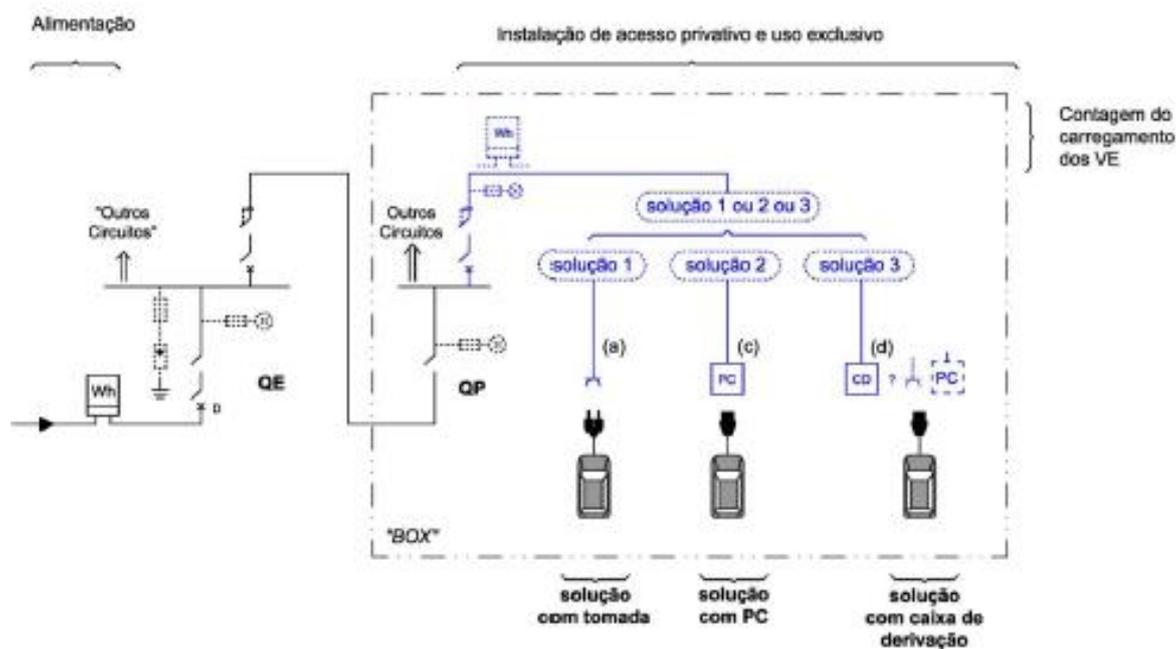


Figura C.1 - Exemplo de instalação de acesso privativo e uso exclusivo alimentada a partir de uma instalação individual, em edifício sem instalação coletiva e com box (Fonte: DGEG)

Legenda:

- (a) Tomada;
- (c) Posto de carregamento;
- (d) Caixa de derivação (para futura ligação de um posto de carregamento ou de uma tomada com o dispositivo de corte instalado no quadro local).

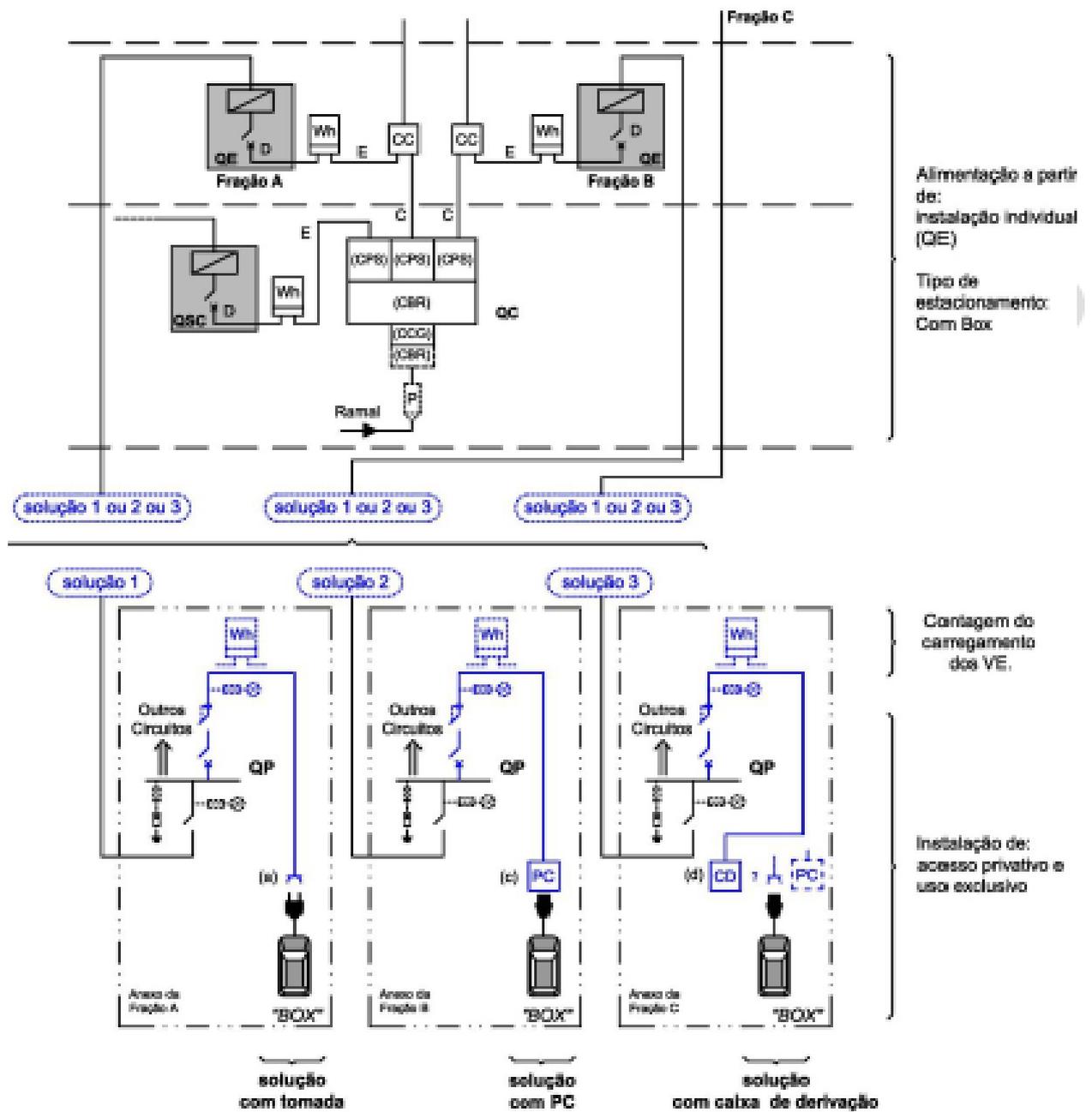


Figura C.2 - Exemplo de instalação de acesso privado e uso exclusivo alimentada a partir da instalação individual de que faz parte, em edifício com instalação coletiva e com box (Fonte: DGEG)

Legenda:

- (a) Tomada (com o dispositivo de corte instalado no quadro local);
- (c) Posto de carregamento;
- (d) Caixa de derivação (para futura ligação de um posto de carregamento ou de uma tomada com o dispositivo de corte instalado no quadro local).

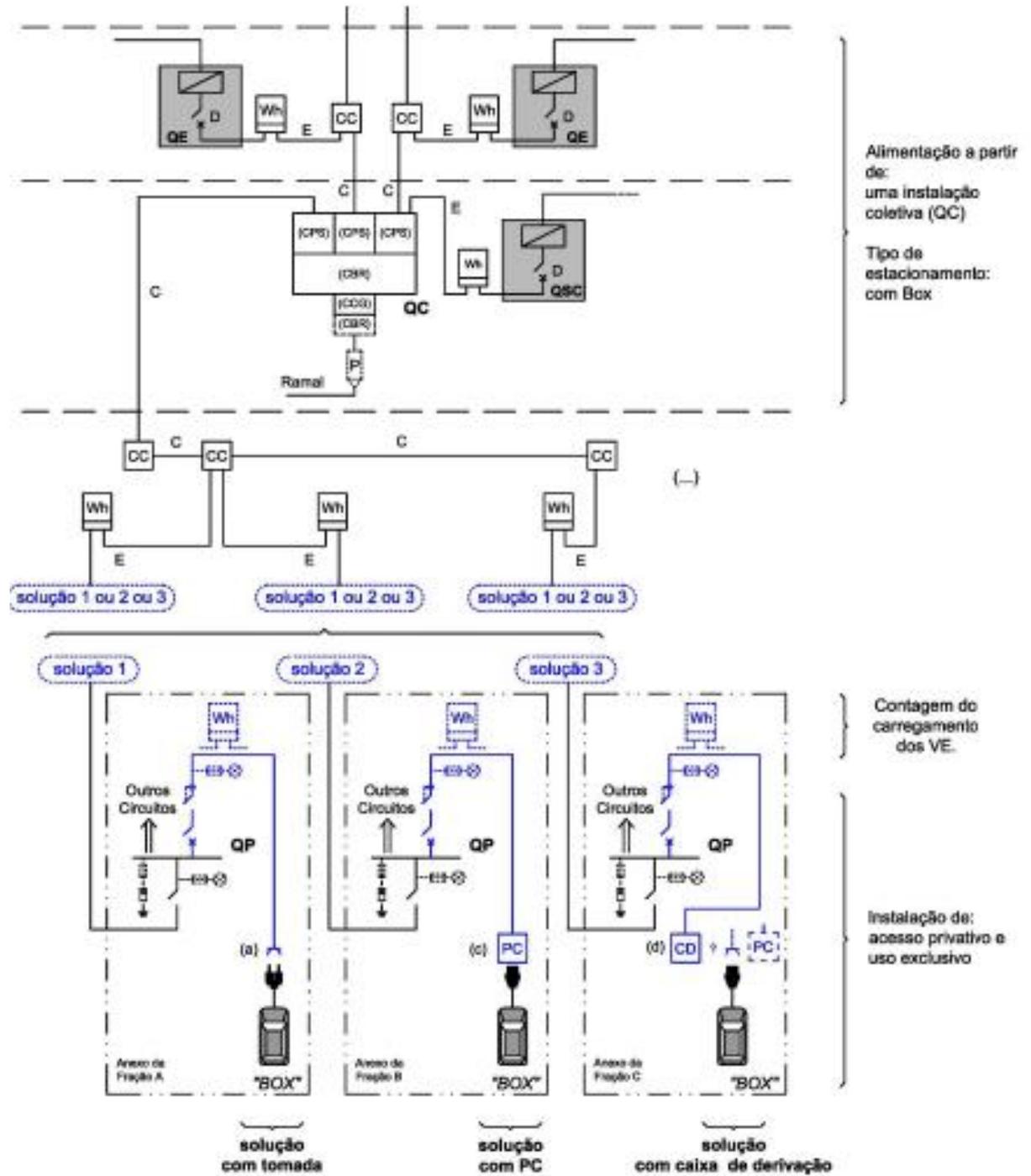


Figura C.3 - Exemplo de instalação de acesso privado e uso exclusivo alimentada a partir do QC da instalação coletiva e com box (Fonte: DGEG)

Legenda:

- (a) Tomada (com o dispositivo de corte instalado no quadro local);
- (c) Posto de carregamento;
- (d) Caixa de derivação (para futura ligação de um posto de carregamento ou de uma tomada com o dispositivo de corte instalado no quadro local).

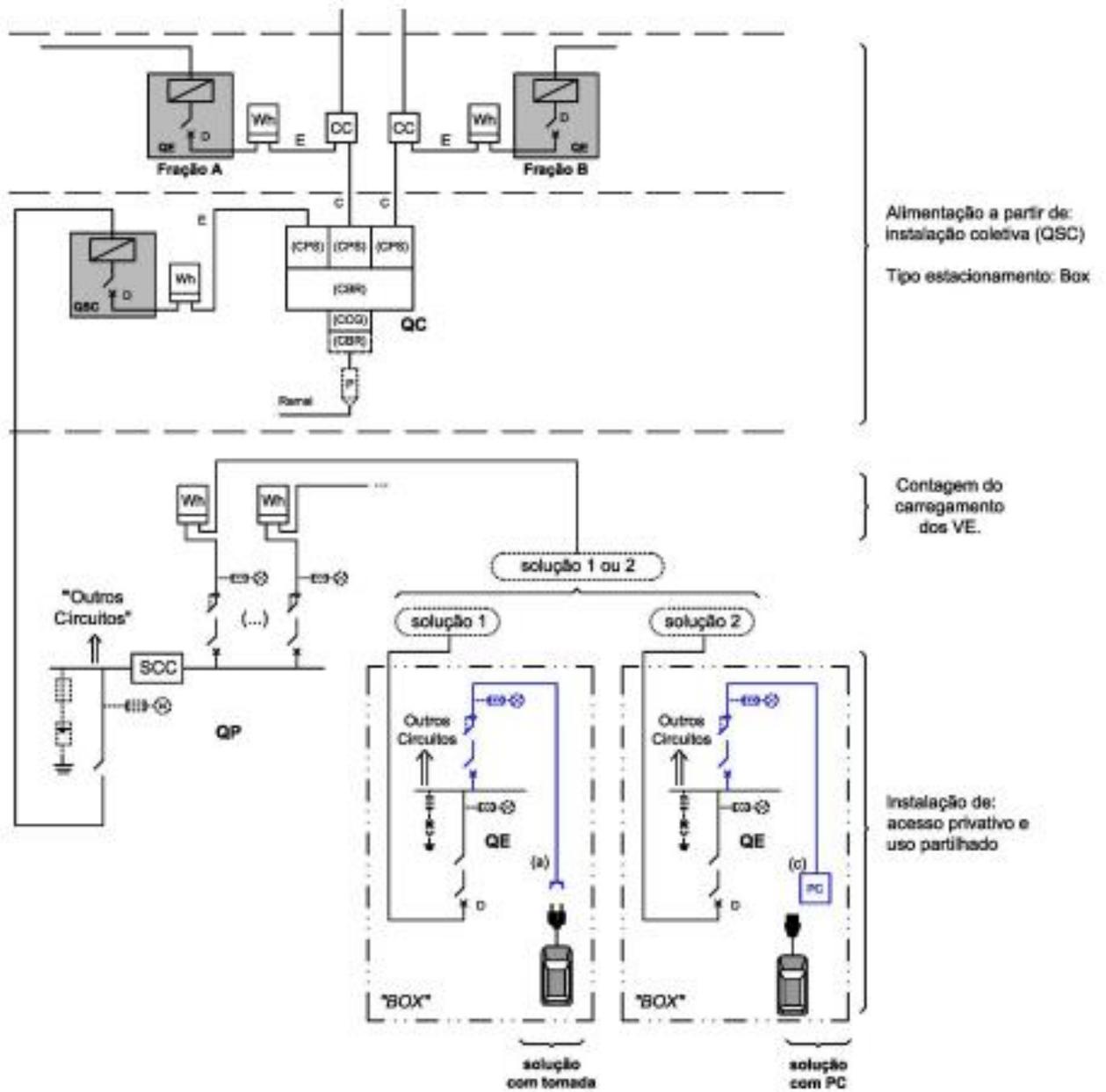


Figura C.4 - Exemplo de instalação de acesso privativo e uso exclusivo alimentada a partir do QSC da instalação coletiva e com box (Fonte: DGEG)

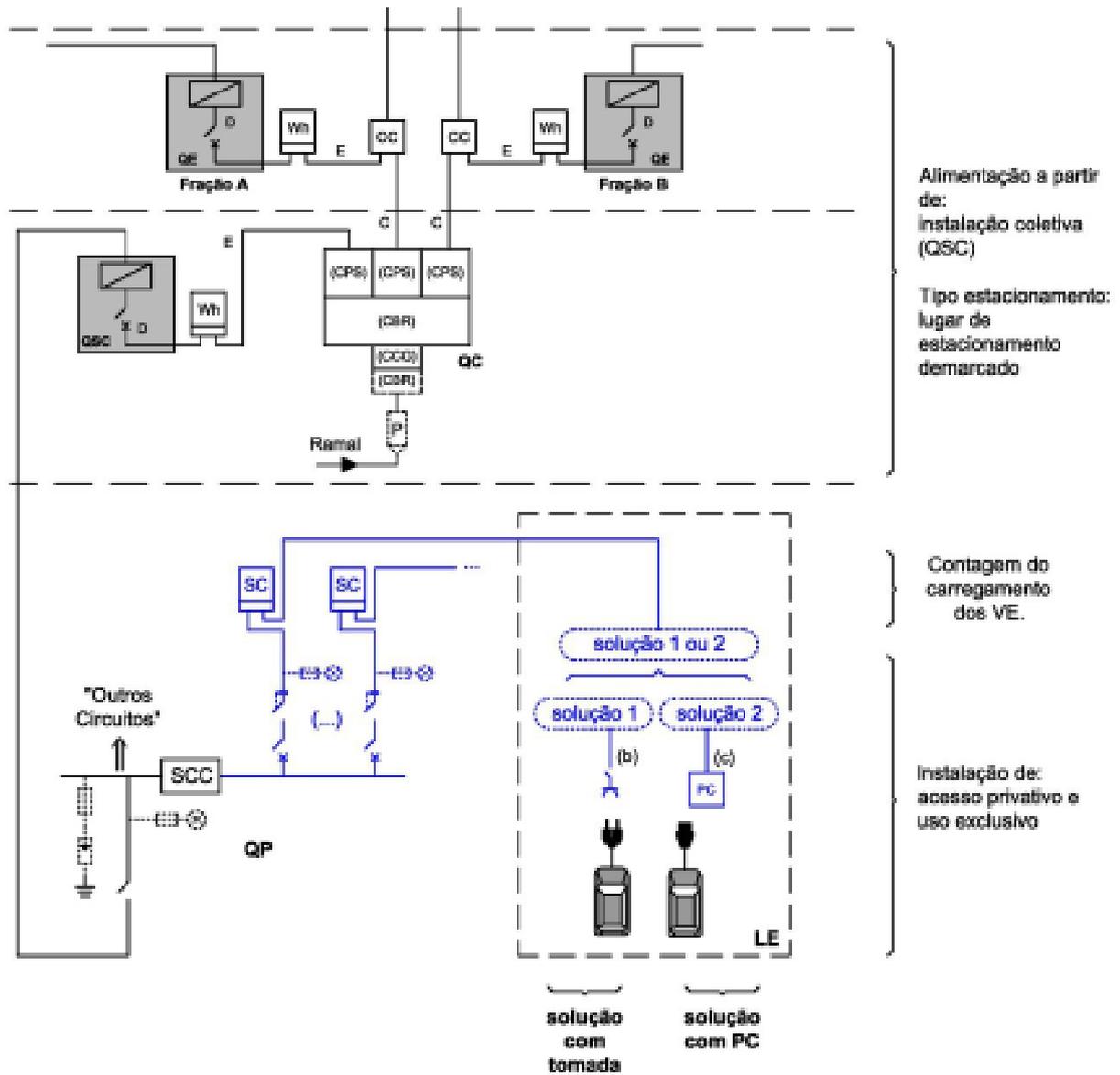


Figura C.5 - Exemplo de instalação de acesso privativo e uso exclusivo alimentada a partir do QSC da instalação coletiva e sem box (Fonte: DGEG)

Legenda:

LE - Lugar de estacionamento de VE (marcado no pavimento);

(b) Tomada com dispositivo de corte instalado na proximidade imediata;

(c) Posto de carregamento

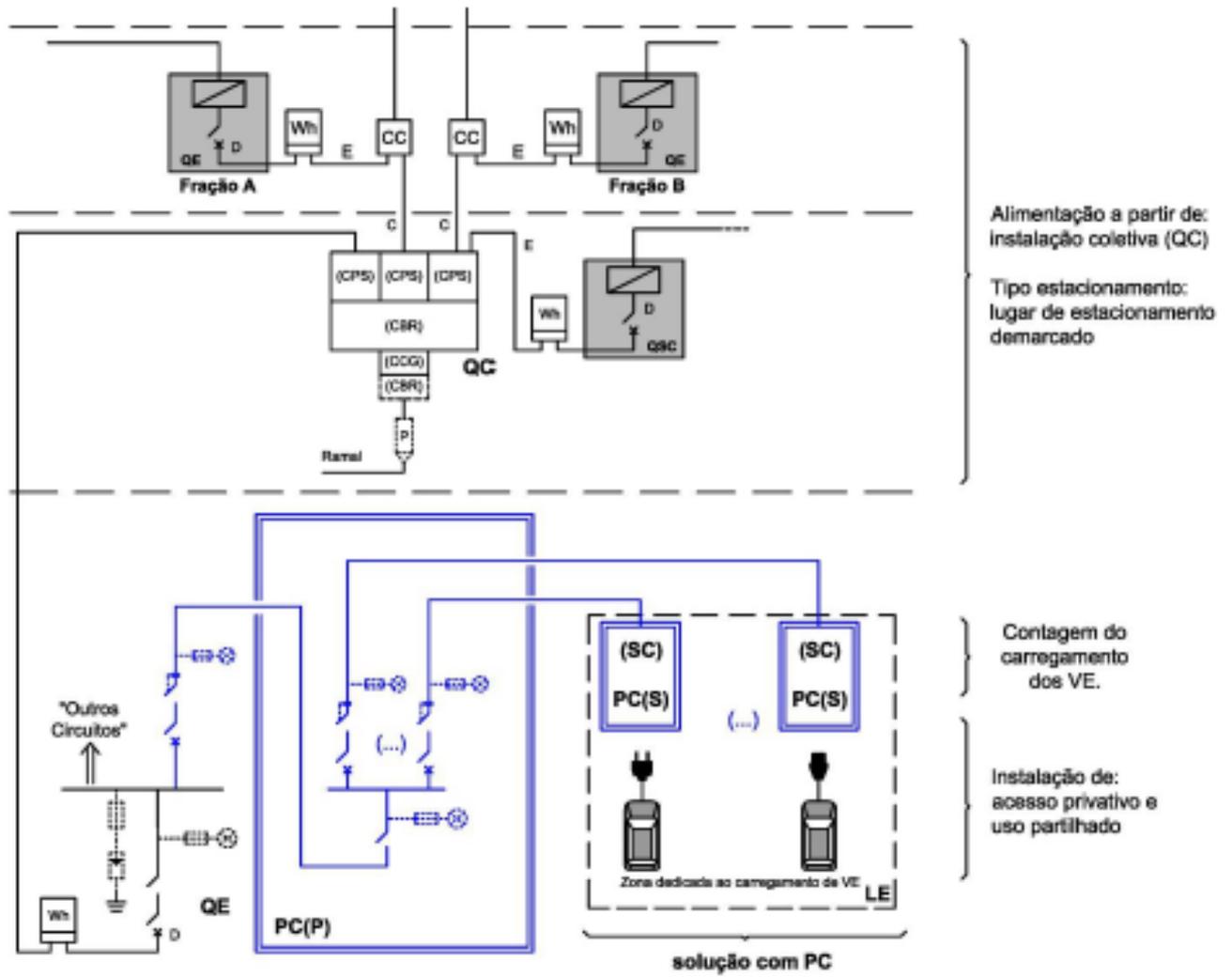


Figura C.6 - Exemplo de instalação de acesso privativo e uso partilhado com zona dedicada ao carregamento de VE alimentada a partir do QC, utilizando PC(P) e PC(S) (Fonte: DGEG)

Legenda:

LE - Lugar de estacionamento de VE (partilhado);

PC(P) - Posto de carregamento principal;

PC(S) - Posto de carregamento secundário;

SC - Sistema de contagem de energia elétrica, autenticação e pagamento;

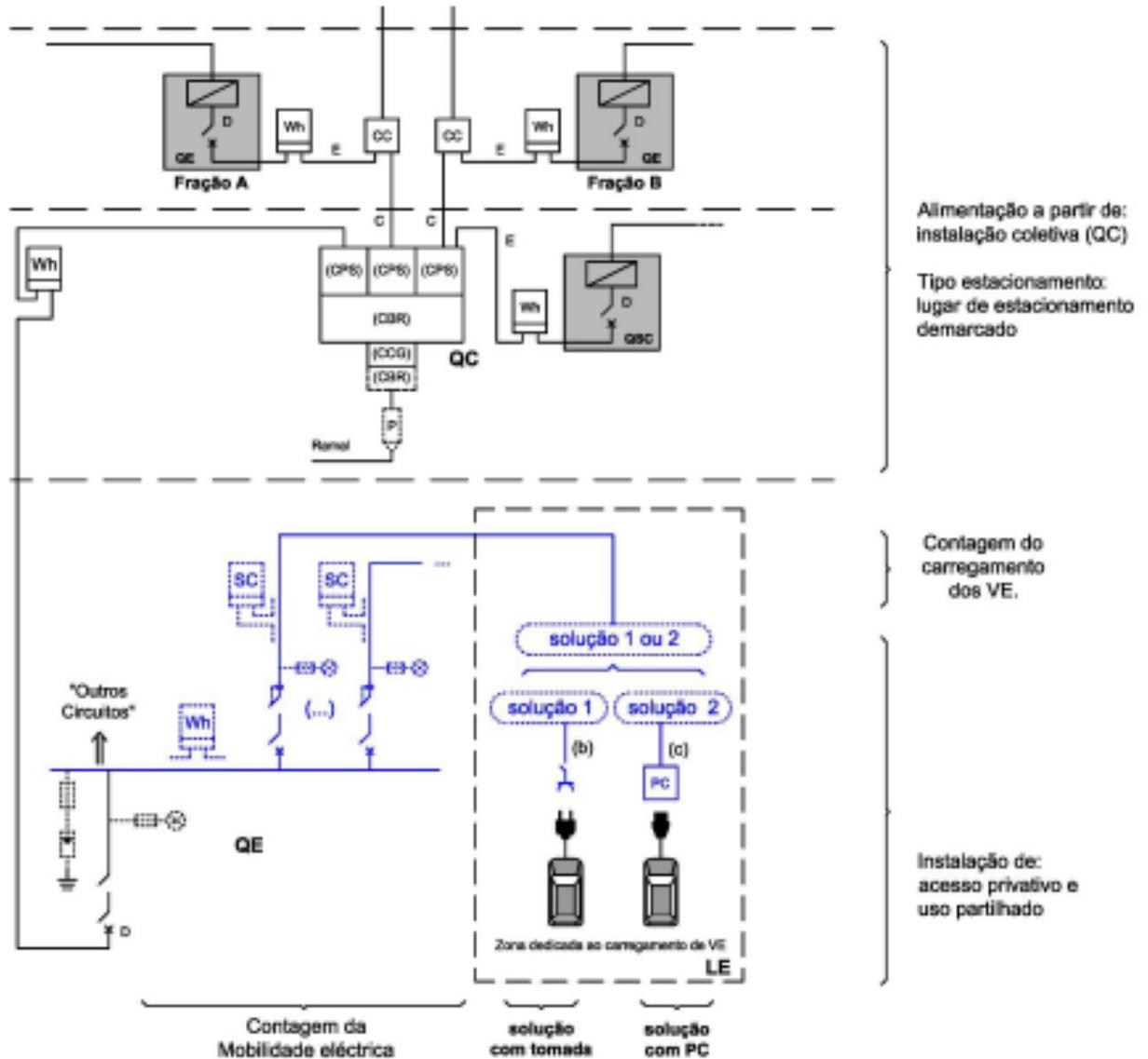


Figura C.7 - Exemplo de instalações de acesso privado e uso partilhado, alimentada a partir do QC, utilizando tomadas ou PC (Fonte: DGEG)

Legenda:

- (b) Tomada com dispositivo de corte instalado na proximidade imediata;
- (c) Posto de carregamento.

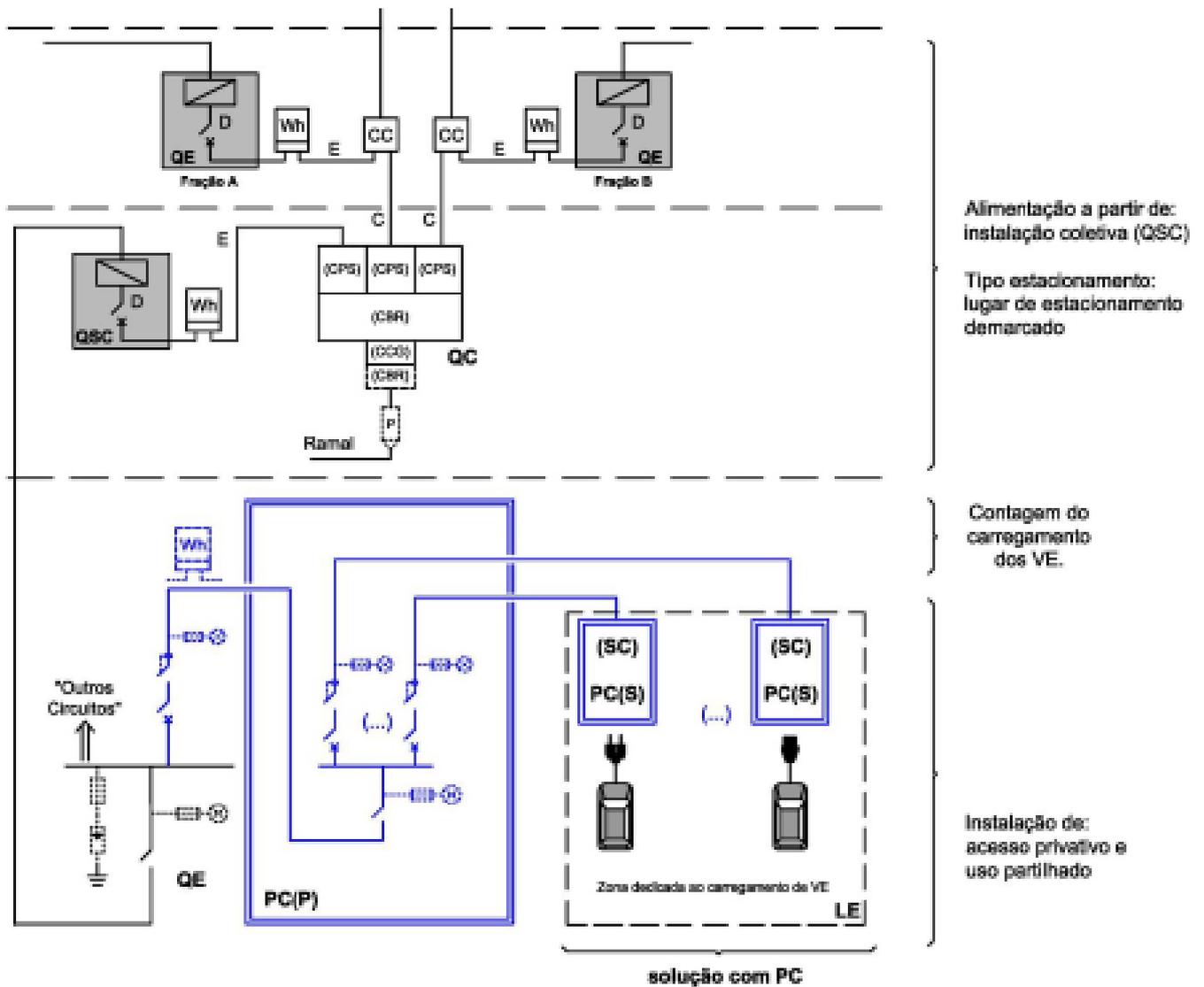


Figura C.8 - Exemplo de instalação de acesso privativo e de uso partilhado alimentada a partir do QSC, de uma instalação coletiva, utilizando PC(P) principal e PC(S) secundários (Fonte: DGEG)

Legenda:

LE - Lugar de estacionamento de VE (partilhado);

PC(P) - Posto de carregamento principal;

PC(S) - Posto de carregamento secundário.

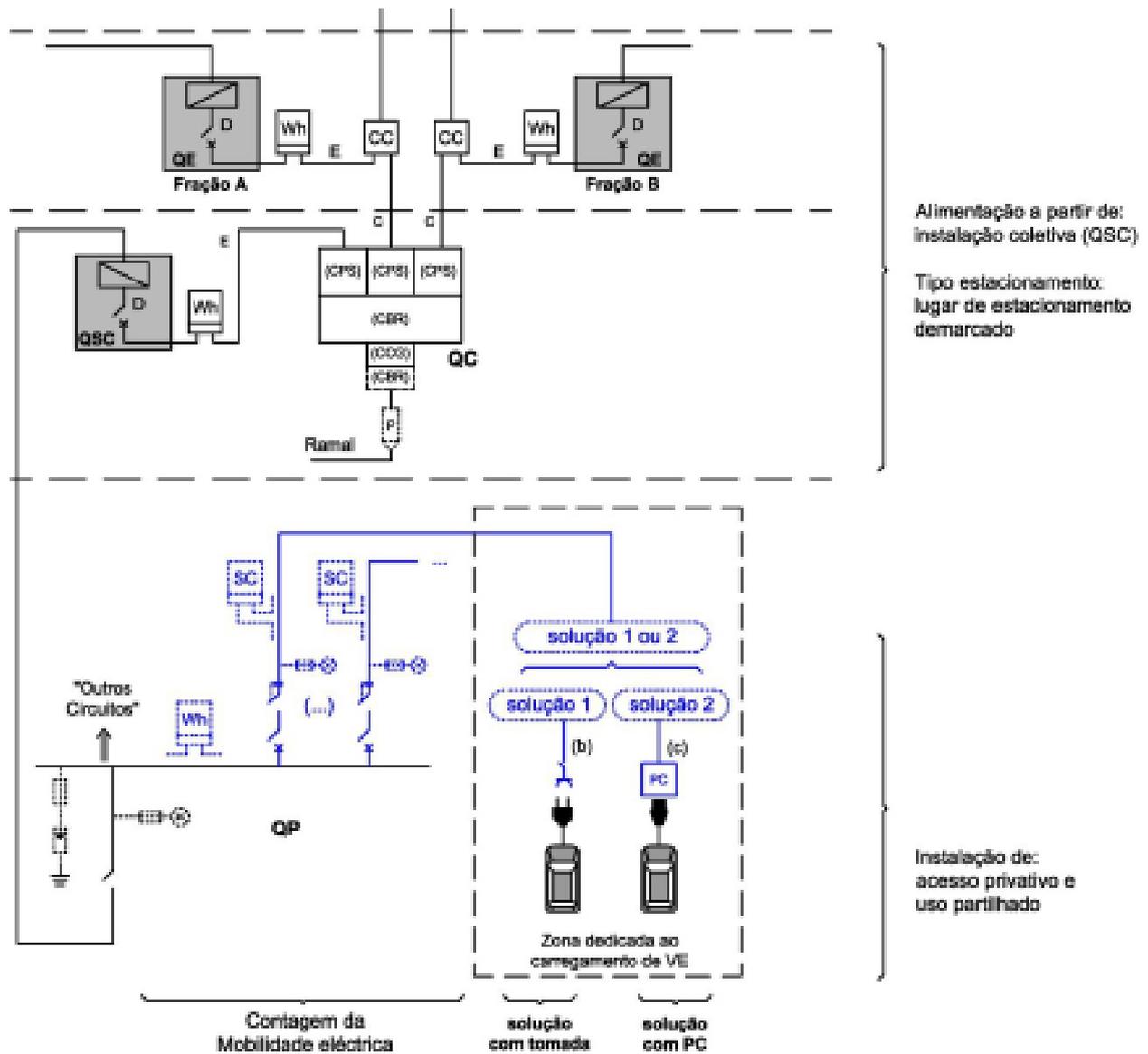


Figura C.9 - Exemplo de instalação de acesso privado e uso partilhado alimentada a partir do QSC, de uma instalação coletiva, utilizando tomadas ou PC (Fonte: DGEG)

Legenda:

- (b) Tomada com dispositivo de corte instalado na proximidade;
- (c) Posto de carregamento.