

MESTRADO
ECONOMIA E GESTÃO DO AMBIENTE

Sustentabilidade energética holística em regime doméstico, mito ou possibilidade? (Aplicabilidade ao mercado português).

Tiago Francisco Miranda Maciel

M

2018



U. PORTO

FEP FACULDADE DE ECONOMIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Sustentabilidade energética holística em regime doméstico, mito ou possibilidade? (Aplicabilidade ao mercado português).

Tiago Francisco Miranda Maciel

Dissertação

Mestrado em Economia e Gestão do Ambiente

Orientado por

Professora Doutora Susana Maria Almeida da Silva

Ano civil de Entrega

2018

Agradecimentos

A realização desta dissertação de mestrado reúne contributos de várias pessoas. A partilha de experiências, a idealização de sonhos comuns, o debate de inquietações, instigou a vontade de frequentar este mestrado e juntar à paixão pela biologia algum conhecimento em gestão ambiental. A todos aqueles que contribuíram, através da partilha e da discussão de ideias e ideais, para fomentar a minha vontade de procurar soluções, no sentido de encontrar respostas para chegarmos a esse *cliché* de um mundo melhor e mais equilibrado, o meu muito obrigado.

Gostaria de agradecer em particular à minha orientadora, Professora Doutora Susana Silva, pela disponibilidade e sentido prático com que sempre orientou o meu trabalho. Assim como aos meus colegas da faculdade de economia e aos meus colegas da faculdade de ciências que me acompanharam neste percurso.

A todos os meus amigos que apesar das diferentes áreas profissionais trouxeram questões importantes, literalmente, para a mesa. Agradecer pela paciência e companheirismo com que aceitaram a minha ausência durante este período exigente. Não podendo deixar de enumerar estes companheiros Hermes, Castro e Tânia.

Por último, consciente do apoio incondicional, gostaria de agradecer à minha família. Rosa Maria, Dario e Carla obrigado por fazerem parte do meu crescimento e desenvolvimento. Nini, Messi, Zé por me acompanharem diariamente e me motivarem sempre que precisei. Bea por seres o meu pilar.

Resumo

Numa altura de elevadas pressões quer políticas quer ambientais sobre emissões atmosféricas em que a sustentabilidade possui um papel primordial, é imperativo escrutinar novas formas de obtenção energética menos impactantes sobre o meio ambiente, não só pelas grandes *players* energéticas, mas também a nível residencial.

A temática da sustentabilidade energética no geral e em particular de estudos sobre autoconsumo energético doméstico podem variar com diversos fatores como, por exemplo, o preço da eletricidade, inflação, tecnologias usadas em painéis/ baterias, incentivos fiscais, tarifas *feed-in*, etc. Em linha com esta problemática, o objetivo desta dissertação é o de aferir se nas condições atuais de mercado é possível a existência de sistemas em autoconsumo doméstico total (painéis solares fotovoltaicos + baterias) e qual a viabilidade económica destes nas Zonas Norte, Centro e Sul de Portugal.

Para esse fim foram elaboradas 7 simulações (sistemas fotovoltaicos integrados com potência instalada de 0,5 kW, 1 kW, 1,5 kW, 2 kW, 2,5 kW, 3 kW e 6 kW) para cidades representativas de cada zona, Viana do Castelo (zona norte), Leiria (zona centro) e Portimão (zona sul). Foram definidos 3 perfis de consumo para objetivação do *payback* do investimento realizado.

Posteriormente foi estudada qual a poupança efetiva dos carros elétricos face aos automóveis a combustão e qual a possibilidade de integração destes com os sistemas supramencionados.

Para cada um dos perfis de consumo definidos foram efetuadas simulações com *paybacks* compensatórios, no entanto, quase sempre com retorno superior a 10 anos.

Foram obtidas evidências de poupança, (como expectável), de veículos elétricos (VE's) face a automóveis a combustão no que diz respeito a gastos de “combustível”. No entanto, o consumidor deve estar atento à correlação entre a capacidade em kWh da bateria e a respetiva autonomia pois foi verificado que alguns modelos gastam mais o dobro da energia anual que os seu pares de mercado.

Espectavelmente o preço das tecnologias utilizadas nestes sistemas continuará a descer e por consequência, a adesão aos mesmos tornar-se-á maior, fazendo destes uma alternativa menos poluente e viável financeiramente que pode ser opção para o consumidor.

Abstract

At a time of high political and environmental pressures on atmospheric emissions where sustainability plays a key role, it is imperative to scrutinize new forms of energy production less impacting on the environment, not only by large energy players, but also at the residential level.

The subject of energy sustainability in general and of studies on domestic self-consumption in particular may vary with several factors such as the price of electricity, inflation, technologies used in solar panels / batteries, tax incentives such as feed-in tariffs, etc. Within this unpredictability, the objective of this dissertation is to verify if in the current market conditions, it is possible to have total self-consumption systems (solar photovoltaic panels + batteries) and their economic viability in the North, Central and South zones of Portugal.

For this purpose, 7 simulations (integrated photovoltaic systems with installed power of 0,5 kW, 1 kW, 1,5 kW, 2 kW, 2,5 kW, 3 kW and 6 kW) were prepared for the representative cities of each zone, Viana do Castelo (north zone), Leiria (central zone) and Portimão (south zone). Three consumption profiles were defined to objectify the investment payback.

Later, it was studied the effective saving of electric cars versus those that have combustion engines and the possibility of their integration with the above-mentioned systems.

For each of the defined consumption profile that were tested compensatory paybacks were found, however, almost always with a return of more than 10 years.

Evidence of saving, (as expected), of electric vehicles (VEs) in comparison with combustion cars was obtained with respect to "fuel" expenditures. However, the consumer must be aware of the correlation between the kWh capacity of the battery and its autonomy since it has been found that some models spend more than twice the annual energy than their market peers.

Hopefully the price of the technologies used in these systems will continue to fall and as a consequence, adherence to them will become greater, making them a less polluting and financially viable alternative that may be an option for the consumer.

Índice

Agradecimentos	II
Resumo	III
Abstract.....	IV
Índice.....	V
Índice de figuras	VI
Índice de tabelas	VIII
Abreviaturas e Símbolos.....	IX
1.Introdução.....	11
2.Revisão da Literatura.....	16
2.1 - <i>Standards</i> Tecnológicos.....	16
2.1.1 – Tecnologia - PSFs	16
2.1.2 – Tecnologia SAE	17
2.2 - Viabilidade Económica – Estudo de mercado.....	18
3.O Caso Português	21
3.1 – Contextualização Legislativa	22
3.2 – VEs em Portugal.....	24
3.3 – Mercado	26
4.Metodologia e resultados	28
4.1 – Apresentação da metodologia.....	28
4.1.1 - Integração PSFs + SAE.....	28
4.1.2 - VEs.....	28
4.2 – Dados utilizados	29
4.2.1 – Simulação PSFs + SAE.....	29
4.3 – Simulações e estudos / Discussão	32
4.3.1- Simulações PSFs + SAE.....	32
4.3.2 – Estudo VEs	55
5. Conclusões e implicações políticas.....	60
6. Referências.....	63

Índice de figuras

Figura 1- Sistema de PSFs conectados a uma casa com ligação à rede. Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 2 - Histórico e previsão da evolução dos preços de sistemas FVs (2013-2022) em dólar por watt de corrente contínua produzido, em várias localizações do globo. Fonte: (Wesoff, 2017)

Figura 3- Sistema de PSFs ligados a uma casa com ligação à rede e com SAE integrados
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 4- Número de carros elétricos vendidos em Portugal até setembro de 2017 segundo a OCDE e ACAP como noticiado pelo expresso. Fonte (Marques, 2017).

Figura 5- Comparação geral entre carros elétricos e a combustão. Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 6 - Produção do sistema em kWh (20 anos) para VC, L e P.

Figura 7 – Retorno monetário anual em EUR (20 anos) para VC, L e P.

Figura 8 - Retorno monetário cumulativo em EUR (20 anos) para VC, L e P.

Figura 9 - Redução de emissões de CO2 em comparação com a energia comprada à rede.

Figura 10 - Produção do sistema em kWh (20 anos) para VC, L e P.

Figura 11 - Retorno monetário anual em EUR (20 anos) para VC, L e P.

Figura 12 - Retorno monetário cumulativo em EUR (20 anos) para VC, L e P.

Figura 13 - Redução de emissões de CO2 em comparação com a energia comprada à rede.

Figura 14 - Produção do sistema em kWh (20 anos) para VC, L e P

Figura 15 - Retorno monetário anual em EUR (20 anos) para VC, L e P.

Figura 16 - Retorno monetário cumulativo em EUR (20 anos) para VC, L e P.

Figura 17 - Redução de emissões de CO2 em comparação com a energia comprada à rede

Figura 18 - Produção do sistema em kWh (20 anos) para VC, L e P.

Figura 19 - Retorno monetário anual em EUR (20 anos) para VC, L e P.

Figura 20 - Retorno monetário cumulativo em EUR (20 anos) para VC, L e P.

Figura 21 - Redução de emissões de CO2 em comparação com a energia comprada à rede.

Figura 22 - Produção do sistema em kWh (20 anos) para VC, L e P.

Figura 23 - Retorno monetário anual em EUR (20 anos) para VC, L e P.

Figura 24 - Retorno monetário cumulativo em EUR (20 anos) para VC, L e P.

Figura 25 - Redução de emissões de CO2 em comparação com a energia comprada à rede.

Figura 26 - Produção do sistema em kWh (20 anos) para VC, L e P.

Figura 27 - Retorno monetário anual em EUR (20 anos) para VC, L e P.

Figura 28 - Retorno monetário cumulativo em EUR (20 anos) para VC, L e P.

Figura 29 - Redução de emissões de CO2 em comparação com a energia comprada à rede.

Figura 30 - Produção do sistema em kWh (20 anos) para VC, L e P

Figura 31 - Retorno monetário anual em EUR (20 anos) para VC, L e P.

Figura 32 - Retorno monetário cumulativo em EUR (20 anos) para VC, L e P.

Figura 33 - Redução de emissões de CO2 em comparação com a energia comprada à rede.

Figura 34 - Payback anual tendo em conta a potência instalada e respetivas localizações

Figura 35 – Lucro a 20 anos respetivamente a potência instalada e localizações.

Figura 36 - Representação gráfica comparativa dos valores de gasto anual em "combustível".

Figura 37 – Poupança de “combustível” comparativa (anual e a 8 anos) entre VEs e automóveis a combustão.

Índice de tabelas

- Tabela 1 - Perfis de consumo considerados tendo por base dados do INE em kWh
- Tabela 2 - Custos de energia associados aos perfis de consumo selecionados em Euros
- Tabela 3 - Equipamentos considerados nas simulações e valores de revenda no mercado Português.
- Tabela 4 - Custos de instalação e manutenção estimados considerados para as simulações.
- Tabela 5 – Custos associados ao sistema com potência instalada de ~ 0,5 kW.
- Tabela 6 – Custos associados ao sistema com potência instalada de ~ 1 kW.
- Tabela 6 - Custos associados ao sistema com potência instalada de ~ 1,5 kW.
- Tabela 7 - Custos associados ao sistema com potência instalada de ~ 2 kW.
- Tabela 8 - Custos associados ao sistema com potência instalada de ~ 2,5 kW.
- Tabela 9 - Custos associados ao sistema com potência instalada de ~ 3 kW.
- Tabela 10 - Custos associados ao sistema com potência instalada de ~ 6 kW.
- Tabela 12 - Anos de payback dos sistemas utilizados em cada uma das simulações.
- Tabela 13 - Lucro a 20 anos de acordo com a potência instalada e localidades, valores em €.
- Tabela 14 - Algumas características dos VEs mais vendidos em Portugal em 2018 entre os meses de janeiro a abril. Dados retirados dos respetivos sites oficiais, mercado português.
- Tabela 15 - Características essenciais usadas para as simulações executadas
- Tabela 16 - kWh necessários para percorrer a distância de 9000 km dos VEs selecionados
- Tabela 17 - Tabela comparativa de gastos de "combustíveis" de VEs vs Carros a Combustão.
- Tabela 18 - Poupança anual e poupança anual cumulativa em 8 anos (considerando 30% de degradação da bateria).

Abreviaturas e Símbolos

ACAP	Associação Do Comércio Automóvel De Portugal
ACP	Automóvel Club de Portugal
ADENE	Agência para a Energia
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
DL	Decreto de Lei
ER	Energia Renovável
ERs	Energias Renováveis
ESS	<i>Energy Storage Systems</i>
FV	Fotovoltaico
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IHG	Irradiação Horizontal Global
INE	Instituto Nacional de Estatística
kWh	Quilowatt-hora
L	Leiria
OPEP	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
PPC	Paridade do Poder de Compra
PSFs	Painéis Solares Fotovoltaicos
P	Portimão
PCB	Perfil de Consumo Baixo
PCM	Perfil de Consumo Médio
PCE	Perfil de Consumo Elevado
PVP	Preço de Venda ao Público
RESP	Redes do Sistema Elétrico de Serviço Público
SAE	Sistemas de Armazenamento de Energia
SGE	Sistemas de Gestão Energética
TWh	<i>Terawatt-hora</i>
UE	União Europeia

UPAC	Unidades de Produção para Autoconsumo
UPP	Unidades de pequena produção
VEs	Veículos Elétricos
VC	Viana do Castelo
WBG	<i>World Bank Group</i>
ZC	Zona Centro
ZN	Zona Norte
ZS	Zona Sul

1.Introdução

No decorrer das últimas décadas o desenvolvimento económico e industrial relaciona-se intrinsecamente com a degradação crescente do meio ambiente (degradação ambiental antropogénica). De acordo com a Reuters, as emissões de dióxido de carbono que estão associadas aos mercados de energia ascenderam, em 2017, a um novo máximo histórico de 32.5 Giga-toneladas, após um período de 3 anos em que haviam estabilizado (Chestney, 2018). Estas emissões estão, sobretudo, associadas à produção e consumo de energia fóssil (Weitemeyer *et al.*, 2015).

Fatores como as crescentes taxas de poluição, as alterações climáticas e a exacerbada dependência face a países exportadores de petróleo, originaram uma tendência crescente na aposta em energias renováveis (ERs) (Lisserre *et al.*, 2010). Estas permitem produção de energia designada como "limpa" e, conseqüentemente, proporcionam uma diminuição da dependência dos países face ao exterior. Os incentivos fiscais, a diminuição dos custos de produção e a possibilidade de poupança são também fatores apelativos considerados por empresas e particulares.

De facto, com o passar dos anos existe uma tendência cada vez mais forte que gravita em torno das ERs. Segundo a *International Energy Agency* (IEA) a produção global através de ERs em 2013 aumentou face ao ano anterior 240 *terawatt-hora* (TWh), representando nesse ano cerca de 22% da produção energética global. O mesmo estudo salienta, ainda, ser expectável uma taxa de crescimento para valores a rondar 45%, em 2020 (IEA, 2014). Efetivamente, em consultas a relatórios da mesma agência de anos posteriores é possível detetar uma alta propensão de investimento em ERs, mais concretamente nas zonas de Ásia e Pacífico (aumento de 7%), em 2015, comparativamente a 2014, alcançando os 714 TWh (IEA, 2016).

Em consequência, o mercado energético encontra-se atualmente numa fase de mudança extremamente rápida, este sempre foi esmagadoramente dominado pela Rússia, da qual grande parte da Europa é dependente, da América e dos países da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP), (Médio Oriente, África, América do Sul e Indonésia). No entanto, a tendência exponencial gerada nos últimos anos tem como pedra basilar a aposta em ERs onde a produção energética através de painéis solares fotovoltaicos (PSFs) desempenhará um papel essencial. É interessante verificar como a China se posicionou fazendo uso do seu *status* de fábrica do mundo para dominar esmagadoramente

o mercado de manufatura de PSFs (mais de 90%, possui nove empresas no top 10 de produtores mundiais de PSFs (Colville, 2018)). O estado Chinês criou inclusivamente mecanismos de suporte e financiamento agressivo às empresas do setor “empurrando” países concorrentes como os EUA para fora do mercado por não conseguirem preços competitivos (Lacey, 2011). É uma forma estratégica e não convencional de entrar e conseguir definir rumos dentro do mercado energético. Aliás, esta estratégia Chinesa de mercado pode ser uma das justificações para a administração Trump não querer seguir o caminho do investimento feito pela administração Obama nas ERs (Keim, 2015), potenciando os recursos do país (mesmo que signifique utilização de combustíveis fósseis), em detrimento a apostar por exemplo na energia solar já que (tendo em conta o mercado atual) teria de adquirir e dar muito poder ao mercado Chinês numa área, a energia, onde sempre ditaram as regras e onde o petróleo que é transacionado em Dólares ajuda os EUA a regular o seu próprio mercado.

No que ao mercado europeu concerne, de entre a variedade de ERs (biomassa, energia geotérmica, energia das ondas, energia hidráulica, solar, eólica, entre outras), as mais exploradas e com maior aplicabilidade são as solar e eólica [(Jacobson e Delucchi, 2011), (Lisserre *et al.*, 2010)], na medida em que permitem produções energéticas consideráveis.

A Alemanha, um país com uma intensidade energética alta e que possui forte dependência energética da Rússia, teria supridas 50% das suas necessidades se possuísse uma combinação ótima entre fontes solares e eólicas (Weiß e Schulz, 2013).

Relativamente a estes métodos de obtenção energética, existem fortes condicionantes devido à imprevisibilidade das ocorrências naturais (vento e sol), fazendo com que existam oscilações associadas à fase de produção: a curta (segundos, horas) e longa escala (meses, anos). A minimização dos problemas referidos, quer a nível das empresas que asseguram a produção e o transporte de energia na rede pública (solar e eólico), quer a nível doméstico (sobretudo painéis solares fotovoltaicos (PSFs)) é um processo complexo e desafiante.

Devido às preocupações ambientais já mencionadas e, sobretudo, à potencial poupança na fatura energética (foco da maior percentagem dos consumidores), tem-se verificado um crescimento assinalável de investimentos em PSFs (mesmo considerando o avultado custo de investimento inicial) por parte de particulares, mormente, em países desenvolvidos (Lisserre *et al.*, 2010). As famílias que são mais propícias a este tipo de investimento são, por regra, as que possuem um agregado familiar e gasto energético acima

da média do respetivo país, o que faz sentido, uma vez que, conseqüentemente, nestes casos a poupança potencial é também maior.

A produção e distribuição energética centram-se, inevitavelmente, na disponibilidade energética imediata para suprir as exigências da rede. É fundamental a existência de uma reserva disponível (chamada de *back-up*), que deve estar imediatamente preparada a cobrir qualquer eventual necessidade. Essa disponibilidade, quando por qualquer motivo falharem as ERs, é tradicionalmente assegurada por centrais elétricas tradicionais (Weitemeyer *et al.*, 2015) ou por unidades de armazenamento. As unidades de armazenamento podem acumular o excesso de energia que é gerada quando a produção através de ER exceder a procura, o que, por consequência, faz com que não seja necessário um "corte"/desperdício de energia, caso a produção seja superior à procura.

As fontes de ERs e os sistemas de armazenamento de energia, na literatura, *energy storage systems* (ESS), ou Sistemas de Armazenamento de Energia (SAE), são economicamente atrativos quando combinados e podem desempenhar um papel importante, não só em redes e empresas energéticas, mas também em sistemas “domésticos” e *off-grid* (Hurtado *et al.*, 2015). Permitem também estabilização do output de energia na rede.

Apesar de existirem diversas opções, a forma mais usual de “capturar” energia em baterias é o seu armazenamento através de processos químicos. As fontes de energia que podem alimentar este tipo de sistema são variadas, desde combustíveis fósseis, energia fotovoltaica a energia eólica. O uso de baterias químicas é atualmente a opção mais desenvolvida e utilizada no mercado de energia (Escalante Soberanis *et al.*, 2018).

Para um consumidor que possua PSFs e SAE, a compra de um Veículo elétrico (VE, doravante esta a designação será utilizada para em referência a automóveis elétricos) pode revelar-se interessante e um bom investimento potencial, pois é possível usar o excedente da produção dos painéis que foi gerada durante o dia e armazenada nos SAE para carregar o carro elétrico num período posterior como, por exemplo, durante a noite [(Khoucha *et al.*, 2015), (Truong *et al.*, 2016)].

Estes sistemas alternativos “à rede tradicional” podem permitir, eventualmente, uma poupança monetária, que é o foco da maior parte dos consumidores. Simultaneamente, é relevante o facto de estas alternativas, em conjunto ou de forma isolada, iniciarem uma mudança assinalável no futuro dos mercados energéticos, que vai de encontro às novas metas de redução de emissões definidas pelo acordo de Paris (Boffey e Neslen, 2017).

Com as limitações e restrições já em vigor em alguns países e cidades da União Europeia (UE), nomeadamente no que diz respeito aos veículos que usam o *diesel* como combustível [(Carrington, 2017), (Vaughan, 2018)], faz cada vez mais sentido investigar estratégias de sustentabilidade energética holísticas, a nível comunitário (UE), a nível nacional e também, a nível doméstico.

Em Portugal este tipo de estudos deve ser uma prioridade, até porque o consumidor final de energia é extremamente penalizado comparativamente à maior parte dos países da UE, estando entre os países que possuem preços e carga fiscal mais elevados em termos de combustível, eletricidade e gás (Oliveira, 2018). Com a melhoria da tecnologia e aumento da eficiência de células fotovoltaicas e baterias emergiram estudos sobre a temática da integração de painéis solares fotovoltaicos e sistemas de armazenamento de energia e a sua viabilidade económica. Apesar de Portugal apresentar grande potencial para produção fotovoltaica são ainda poucos os estudos sobre a temática do autoconsumo até porque o diploma legal que o viabiliza apenas surgiu em 2014. Assim, o objetivo desta dissertação é o de tentar colmatar esta lacuna ao avaliar de forma concreta qual a viabilidade para o consumidor português relativamente a sistemas em regime de autoconsumo total analisando os custos dos equipamentos componentes dos sistemas e os preços atuais de eletricidade.

Do que foi apurado, ainda nenhum estudo aferiu para Portugal a possibilidade do autoconsumo total através de sistemas integrados de PSFs, SAE e VEs aferindo as condições de mercado atual.

A temática da sustentabilidade energética no geral e em particular de estudos sobre autoconsumo energético doméstico podem variar com diversos fatores como por exemplo o preço da eletricidade, inflação, tecnologias usadas em painéis/ baterias, incentivos fiscais como por exemplo as tarifas de *feed-in*, etc.

Para avaliar se nas condições atuais de mercado existe possibilidade de sistemas em autoconsumo total e qual a sua viabilidade económica em Portugal, foram consideradas três Zonas: Norte, Centro e Sul. Seguidamente foram estabelecidos perfis de consumo de acordo com a média do consumo de energia elétrica portuguesa. Para cada um dos perfis de consumo definidos foram efetuadas simulações de sistemas integrados considerando diversas potências instaladas e diferentes zonas (norte, centro e sul). Foram obtidos valores de *paybacks* compensatórios, no entanto, quase sempre com retorno superior a 10 anos. No caso dos VEs foram obtidas evidências de poupança, (como expectável), destes face a automóveis a combustão no que diz respeito a gastos de “combustível”. No entanto, o consumidor deve

estar atento à correlação entre a capacidade em kWh da bateria e a respetiva autonomia pois foi verificado que alguns modelos gastam mais o dobro da energia anual que os seu pares de mercado.

Esta dissertação é composta por 6 capítulos principais: 1. Introdução; 2. Revisão da Literatura; 3. O Caso Português; 4. Metodologia e Resultados; 5. Conclusão e por fim 6. Referências.

Na Introdução foi realizada uma abordagem geral e enquadramento do tema a abordar.

Na Revisão da Literatura é analisada a existência de estudos semelhantes e o estado da arte geral sobre os tópicos da dissertação, sobretudo PSFs, SAE e VEs

No Caso Português é estudada a aplicabilidade dos sistemas supracitados ao nosso mercado, para isso foi realizado o enquadramento legal e estudado o mercado potencial do país.

Na Metodologia e Resultados são definidas as premissas da investigação, realizados os estudos e simulações e escrutinados os resultados obtidos.

Nas Conclusões são destacados os resultados obtidos com maior relevo, são referidas quais as limitações do estudo e qual o seu possível desenvolvimento futuro.

Por fim, na secção de referências constam todas as entradas usadas como base bibliográfica para este trabalho.

2.Revisão da Literatura

2.1 - *Standards* Tecnológicos

2.1.1 – Tecnologia - PSFs

Acompanhando a crescente importância e crescimento da produção de energia através de PSFs, existem cada vez mais estudos na literatura que incidem, fundamentalmente, e como expectável, na sua eficiência [(Khaligh e Li, 2010), (Green *et al.*, 2015)].

De forma sucinta, um sistema de PSF é composto pelo módulo fotovoltaico, por um inversor e corrente alternada (CA), que foi previamente transformada pelo inversor a partir da corrente contínua (CC) (Fig. 1). Se o sistema for integrado com SAE (Fig. 2) possui, também, uma bateria e respetivo regulador de carga para impedir eventuais sobrecargas e descargas excessivas.



Figura 1- Sistema de PSFs conectados a uma casa com ligação à rede. Fonte: Elaborada pelo autor.

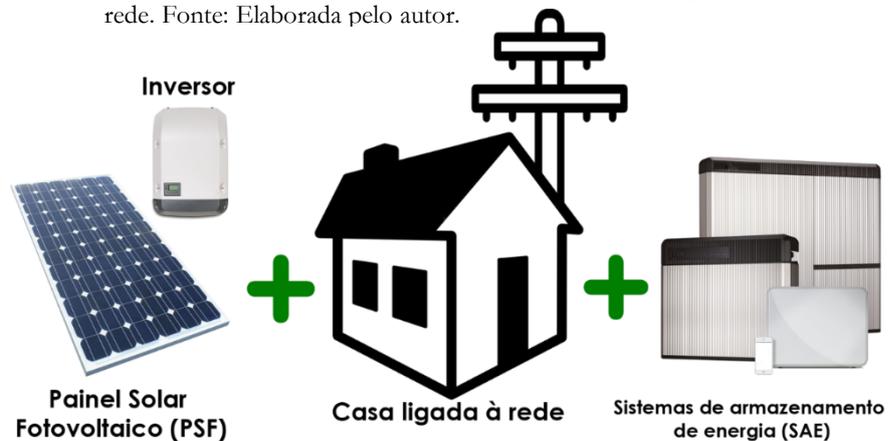


Figura 2 - Sistema de PSFs ligados a uma casa com ligação à rede e com SAE integrados. Fonte: Elaborada pelo autor.

Vários tipos de células foram e são objeto de estudo, no entanto, atualmente a esmagadora maioria dos principais produtores utiliza as células de silício cristalino. Na verdade, as 10 maiores produtoras de componentes para painéis solares utilizam este tipo de material (Hussin *et al.*, 2018) devido a vários fatores como: maior eficiência face a tecnologias estudadas nos anos recentes, diminuição assinalável do custo de manufatura, ubiquidade do elemento [(Parida *et al.*, 2011), (Green *et al.*, 2015)] e contínua diminuição do custo de produção devido às economias de escala (Fig. 3). É, portanto, pelo referido o atual “*sandard*” de mercado.

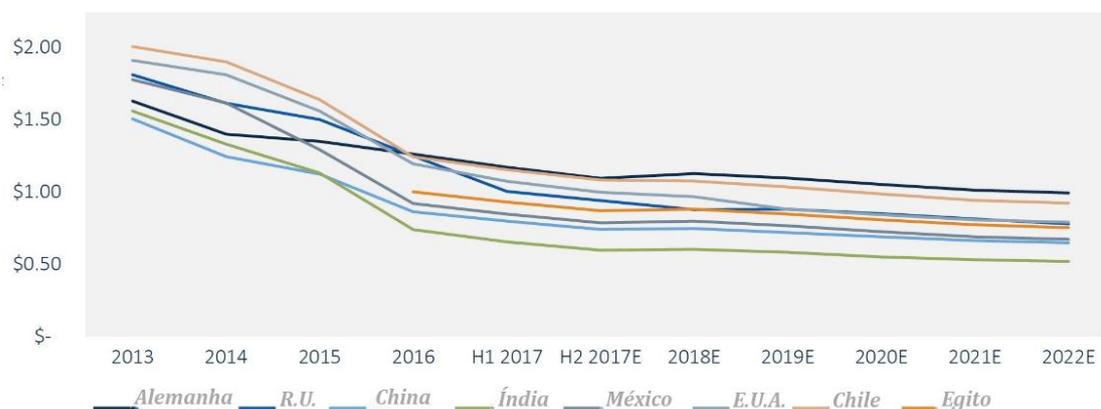


Figura 3 - Histórico e previsão da evolução dos preços de sistemas FVs (2013-2022) em dólar por watt de CC produzida, em várias localizações do globo. Fonte: (Wesoff, 2017)

Das 10 empresas mencionadas apenas uma delas produz em simultâneo componentes para painéis de Telureto de Cádmio (Hussin *et al.*, 2018), o segundo tipo de painel mais usado em todo o mundo e que possui algumas vantagens face ao silício cristalino como: pegada de carbono mais baixa, custo de manufatura mais baixo, menor uso de água, *payback* mais curto [(Parida *et al.*, 2011), (de Wild-Scholten, 2013)]. No entanto, existem adversidades, nomeadamente, ecológicas referentes à toxicidade / carcinogenicidade do Cádmio e à forma de descarte dos painéis em fim de vida [(Gies, 2010), (de Wild-Scholten, 2013)]. Alguns estudos criaram algum ceticismo principalmente nos benefícios assinaláveis que esse material pudesse possuir em relação ao silício, uma vez que a tecnologia é menos eficiente do que a utilizada nos painéis de silício cristalino (Green *et al.*, 2015). Outra adversidade é o facto de o Telureto de Cádmio ser um elemento extremamente raro.

2.1.2 – Tecnologia SAE

Depois de consultada literatura sobre a tecnologia e componentes usados em SAE domésticos foi facilmente apurável que existem sobretudo duas tecnologias que são utilizadas, a bateria de chumbo-ácido e a bateria de íão Lítio. É também notório pela referida consulta que a bateria ácido chumbo é cada vez menos utilizada devido a diversos fatores negativos como o menor ciclo de vida do que as concorrentes de mercado com outras tecnologias, menor capacidade e potencial de melhoria baixo, por ser uma tecnologia já muito explorada. O único aspeto positivo é o facto de em algumas situações possuir um preço mais baixo do que as baterias de íões Lítio [(Divya e Østergaard, 2009), (Mahmoudzadeh Andwari *et al.*, 2017)].

As baterias de íões Lítio, por sua vez, possuem diversas vantagens face à tecnologia mencionada previamente, como: maior eficiência energética e propriedades mantidas durante o desgaste com o passar do tempo, factos reportados por diversos artigos como Braun *et al.* (2009) e Divya e Østergaard (2009). Estes dados aliados à diminuição gradual do preço de manufatura, tal como apurado pela consultora McKinsey & Company (Hodson e Newman, 2009), ao amadurecimento da tecnologia e seu potencial de desenvolvimento, às economias de escala fazem com que esta tecnologia seja, hoje, a mais adotada pelas grandes marcas que fazem produção de SAE para habitações como é o caso da Tesla (grande líder de inovação deste setor) (Wang, 2015) e LG [(Crooks, 2016), (Mahmoudzadeh Andwari *et al.*, 2017)], sendo por isso o *standard* do mercado atual.

2.2 - Viabilidade Económica – Estudo de mercado

Apesar de as tecnologias referidas estarem a mudar de forma muito rápida, nos anos recentes foi alcançada estabilidade de mercado devido ao que se encontra supramencionado sobre as *standardizações*. Foi por isso pesquisada literatura que seja o mais relevante e recente possível.

Diversos estudos exploram a rentabilidade dos PSFs e SAE de forma isolada e combinada. As variáveis consideradas nestes estudos são normalmente a tipologia de PSFs e o dimensionamento dos SAE utilizados [(Askari e Ameri, 2009), (Colmenar-Santos *et al.*, 2012)]. No entanto, existem também estudos que incorporam outros aspetos como por exemplo: os padrões de consumo (relevante pois os consumidores chegam e permanecem na sua habitação em períodos com pouca ou nenhuma incidência solar) (Clastres *et al.*, 2010); o preço da eletricidade (Hoppmann *et al.*, 2014); a localização (relevante para verificar se a

incidência solar compensa o investimento nos sistemas) (Celik *et al.*, 2007); os incentivos fiscais (Truong *et al.*, 2016); o ciclo de vida das baterias (Rodrigues *et al.*, 2016b).

Em Davis e Hiralal (2016) foi escrutinada a hipótese de rentabilidade da aquisição de uma bateria de 7kWh adicionada em regime doméstico no Reino Unido. Neste caso, foi detetado que o investimento só seria compensatório com a adoção de tarifas *feed-in* consideravelmente altas e com a diminuição dos preços das baterias.

No que diz respeito a estudos que consideraram exclusivamente a instalação de painéis de forma isolada realizados noutros países, de acordo com (Holdermann *et al.*, 2014) em 2013 não existia viabilidade económica de investimento em painéis solares para as 63 distribuidoras de rede no Brasil, quer para o setor particular, quer para o empresarial, sendo necessária a introdução de tarifa de *feed-in* ou opções de financiamento.

De acordo com Hoppmann *et al.* (2014), em 2013, seria compensador investir em SAE domésticos apenas para o consumidor que possuísse sistemas de PSFs. Contudo, o dimensionamento ótimo de capacidade, quer dos painéis, quer das baterias aumentaria com o passar dos anos, de acordo com a referida análise realizada no mercado Alemão.

Espectavelmente, a venda de eletricidade a preços mais altos e o acesso limitado à rede elétrica aumentam a rentabilidade dos sistemas e, por essa mesma razão, os incentivos que advém de políticas serão apenas necessários a curto prazo. Os incentivos políticos ou tarifas *feed-in* podem ser apenas necessários para que estas tecnologias ganhem tração de mercado e adesão por parte do consumidor final (Hoppmann *et al.*, 2014).

Segundo os estudos de Truong *et al.* (2016) e Rodrigues *et al.* (2016a), é necessário que exista a conjugação de alguns fatores para que o investidor tenha rentabilidade a longo prazo. Para consumidores que possuam PSFs e queiram integrar um SAE (especificamente a Tesla Powerwall), a perceção por parte destes do que é mais viável é que deve ditar o investimento, quando considerada estritamente a vertente económica. Em (Truong *et al.*, 2016) foi calculado um retorno sobre o investimento superior a 25%, no entanto, para algumas hipóteses testadas, nomeadamente quando considerado preço da eletricidade a manter-se constante, foram obtidos valores de retorno sobre investimento negativos.

O investimento neste tipo de sistemas (PSFs e a sua integração com SAE) pode e deve ser complementado com monitorizações e sistemas de agendamento de tarefas para que o processo de gestão energética seja otimizado e permita uma maior eficiência no gasto de energia e, por consequência, uma maior poupança. Em (Zhou *et al.*, 2016) o estado atual e potencial dos sistemas de gestão energética (SGE) doméstica é abordado. SGE são

qualquer método, técnica ou estratégia de controlo que permita uma gestão eficiente e manobrável da energia (Zhou *et al.*, 2016). Estes sistemas podem fazer a diferença na eficiência energética, cada vez mais procurada sobretudo pelos países desenvolvidos durante as últimas décadas. Neste tipo de sistemas a energia que alimenta os diferentes dispositivos pode ser controlada, regulada, interrompida ou reduzida de acordo com a ideologia do consumidor, tendo por objetivo a poupança financeira [(Shakeri *et al.*, 2017), (Marzband *et al.*, 2017)].

Como supramencionado existem diversos estudos sobre a temática da rentabilidade e sustentabilidade de sistemas PSFs e SAE. No entanto, ainda não é claramente explícito sob quais condições e com qual conjugação de fatores a poupança é viável e superior.

3.O Caso Português

Apesar de na revisão de literatura serem encontrados estudos contraditórios face à rentabilidade dos investimentos, no caso português, devido a diversos fatores (como a elevada incidência solar e os preços energéticos elevados) existe, de facto, a possibilidade de lucratividade no investimento nestes sistemas a médio e longo prazo.

No caso de o investimento ter lucratividade a médio/ longo prazo, quando o consumidor interiorizar o valor percebido destes sistemas, a tendência de investimento será estimulada sem necessidade de qualquer tipo de tarifa *feed-in* que é utilizada, sobretudo, para algumas tecnologias associadas à energia renovável consigam ganhar tração de mercado.

O poder de compra dos Portugueses encontra-se no último terço face aos países europeus e a fatura energética é das mais caras. Há relativamente pouco tempo (maio de 2017) o Eurostat classificava Portugal como o país com a eletricidade mais cara, considerando o preço médio por 100kWh, (preços corrigidos de acordo com a paridade do poder de compra (PPC)) [(Finanças, 2017), (Raíno, 2017)].

Apesar do elevado custo inicial de investimento em SAE em funcionamento isolado ou em parceria com PSFs, estes podem ser uma solução que permita poupanças. É possível perceber, no entanto, através de alguma pesquisa bibliográfica que existe, uma lacuna destes estudos em Portugal. Um estudo solicitado pela ADENE (Agência para a energia) menciona que, em 2017, o agregado familiar em Portugal tem uma despesa mensal média de 112 € com água e energia usada na habitação, sendo que o maior segmento deste gasto corresponde à eletricidade. O mesmo estudo intitulado como “Eficiência Energética na Habitação Particular” salienta, também, que o consumidor tem a perceção correta do gasto, ou seja, em entrevista é considerado por este que a eletricidade representa a maior fatia do bolo face à água e gás natural, por exemplo. É, por isso, expectável que o consumidor português tenha interesse e esteja atento a investimentos que possam trazer poupanças futuras e reduções visíveis nas suas faturas de eletricidade. No entanto, é surpreendente verificar que apenas 3% dos consumidores recorre à produção de energia através de fontes renováveis (Consulmark, 2017). É importante mencionar que apenas 24% dos inquiridos no estudo tem perceção de que a ineficiência energética gera impacte ambiental negativo.

O Banco Mundial e a Corporação Financeira Internacional, que coletivamente se designam por “*World Bank Group - International Development, Poverty, & Sustainability*” (WBG), providenciaram um atlas global, “*Global Solar Atlas*” onde é possível consultar e realizar

alguns cálculos sobre o potencial da energia solar e recursos solares que estão disponíveis numa grande superfície do nosso planeta. De acordo com a irradiação horizontal global (IHG) e com a capacidade de produção fotovoltaica, Portugal é um dos países europeus com maior exposição solar e, conseqüentemente, com maior potencial para produção de energia através de painéis fotovoltaicos (The World Bank Group, 2016). Estes dados são corroborados por alguns artigos científicos como, por exemplo (Perpiña Castillo *et al.*, 2016). Este estudo considera também diversas variáveis como a topografia, proximidade a centros urbanos, fatores socioeconómicos para fazer uma análise de custo de investimento, sendo que todo o território continental foi classificado como território com baixo custo de investimento associado aos PSFs face ao seu potencial espectável.

3.1 – Contextualização Legislativa

É necessária e prudente uma análise legislativa e de contextualização para melhor enquadrar as possibilidades existentes particularmente no mercado de autoconsumo energético através de painéis fotovoltaicos em Portugal.

O Decreto-Lei n.º 363/2007, de 2 de novembro, entretanto já alterado, definiu as regras para a micro produção de energia através de painéis fotovoltaico e estabeleceu, também, normas para o pagamento ao produtor de energia através PSF sem, no entanto, prever a possibilidade de consumo energético *in loco*, a energia produzida seria sempre e invariavelmente injetada na rede (Moreira, 2015). Este DL visava simplificar processos de licenciamento de microprodução energética em baixa tensão com possibilidade de venda à rede prevista pelo Decreto-Lei n.º 68/2002 de 25 de março pois foi verificado que as instalações a trabalhar nas condições de licenciamento previstas no referido DL tinham um número muito reduzido.

Com o passar do tempo, os incentivos fiscais para o investimento em sistemas de PSFs e a venda à rede tornaram-se cada vez menos apelativos. Na realidade, o mercado de produção de energia a partir de PSFs foi-se tornando cada vez menos interessante do ponto de vista do consumidor à medida que as tarifas remuneratórias decresceram com o passar dos anos. Face ao exposto, este mercado foi "obrigado" a reposicionar-se descobrindo no autoconsumo uma possível solução que despoletaria interesse no consumidor. Essa possível alternativa surgiu na forma do Decreto-Lei n.º 153/2014 de 20 de outubro, onde foram vertidos os regimes jurídicos que são aplicáveis à produção de eletricidade para autoconsumo

a partir ERs, através de unidades de pequena produção. Portanto, os consumidores podem reduzir de uma forma efetiva a sua própria fatura energética, uma vez que a energia produzida pode ser efetivamente usada para autoconsumo: "Por sua vez, reconhece o Governo o potencial da atividade de produção em autoconsumo, como forma de promover um maior conhecimento, especialmente pelos consumidores em baixa tensão, do respetivo perfil de consumo, induzindo comportamentos de eficiência energética e contribuindo ainda para a otimização dos recursos endógenos e para a criação de benefícios técnicos para a RESP (redes do Sistema Elétrico de Serviço Público), nomeadamente através da redução de perdas na mesma."

- Como podemos verificar no artigo 1.º os objetos do DL n.º 153/2014 de 20 de outubro preveem e regulam 2 vertentes:

- "1 — O presente decreto-lei estabelece o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade, destinada ao autoconsumo na instalação de utilização associada à respetiva unidade produtora, com ou sem ligação à rede elétrica pública, baseada em tecnologias de produção renováveis ou não renováveis, adiante designadas por «Unidades de Produção para Autoconsumo» (UPAC)."

- "2 — O presente decreto-lei estabelece ainda o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade, vendida na sua totalidade à rede elétrica de serviço público (RESP), por intermédio de instalações de pequena potência, a partir de recursos renováveis, adiante designadas por «Unidades de Pequena Produção» (UPP)."

Enquanto, por um lado, é estabelecido um regime jurídico aplicável ao autoconsumo, por outro é mantida a possibilidade de venda de energia excedente à rede, no entanto, com tarifas remuneratórias pouco apelativas. Assim sendo, cabe ao consumidor optar por uma das duas vertentes mencionadas, ponderando o custo-benefício do seu caso em concreto.

3.2 – VEs em Portugal

Segundo dados da Associação Do Comércio Automóvel De Portugal (ACAP), em 2017 foram vendidos 260 mil automóveis, dos quais apenas de 4000 são elétricos o que significa que a fatia de VEs é ainda muito pequena, menos de 2% dos veículos adquiridos, portanto, a representação nos automóveis em circulação será irrefutavelmente mais baixa (Cabrita-Mendes, 2017). No entanto, de acordo com dados do Automóvel Club de Portugal (ACP) e conforme o noticiado pelo Jornal de Negócios, foram necessários apenas sete meses no ano de 2017 para a venda de mais VEs do que em todo o ano anterior (2016) (Cabrita-Mendes, 2017) (Fig. 4). A tendência parece manter-se, uma vez que nos primeiros 4 meses

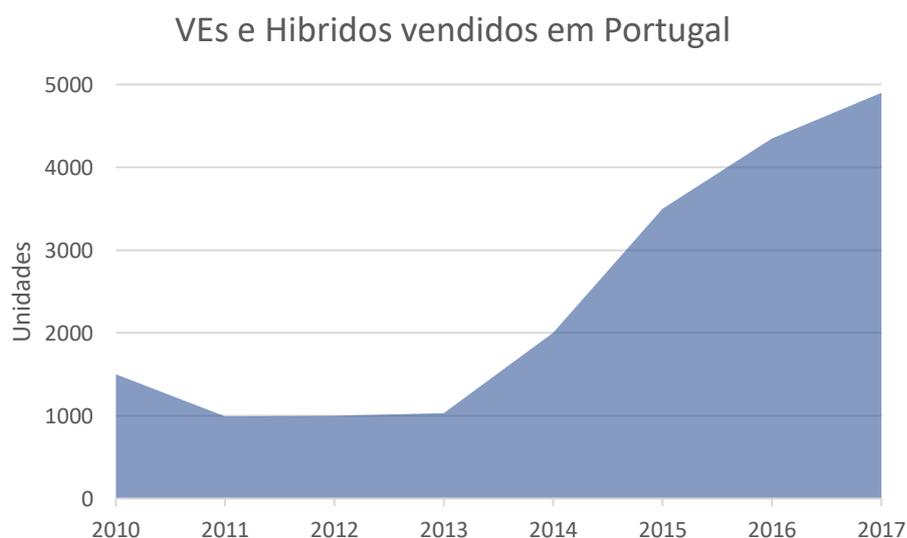


Figura 4- Número de carros elétricos vendidos em Portugal até setembro de 2017 segundo a OCDE e ACAP como noticiado pelo expresso. Fonte (Marques, 2017).

de 2018 foram vendidos cerca de 1184 VEs, representando um aumento de mais de 170% face ao período homólogo do ano transato (Lopes, 2018).

Existem diversos fatores que podem fundamentar o crescente investimento por parte do consumidor em VEs quer seja devido a fatores intangíveis, como por exemplo as preocupações associadas ao filantropismo e a crescente penetração de mercado dos VEs o que despoleta uma maior confiança na tecnologia; quer seja associado a fatores mensuráveis como: custo por km mais baixo, cerca de 2 € por cada 100 km em contraste com médias de 10 € em veículos a gasolina e 7 € em veículos a *diesel*, custos de manutenção mais reduzidos (ausência de mudança de óleo, mudança de filtros de ar, menor frequência de troca de calços devido à regeneração energética que ocorre durante a travagem), aumento da autonomia,

descida dos preços e mais variabilidade de escolha de VEs, incentivos fiscais de aquisição, entre outros (KBB, 2018) (Fig. 5)).

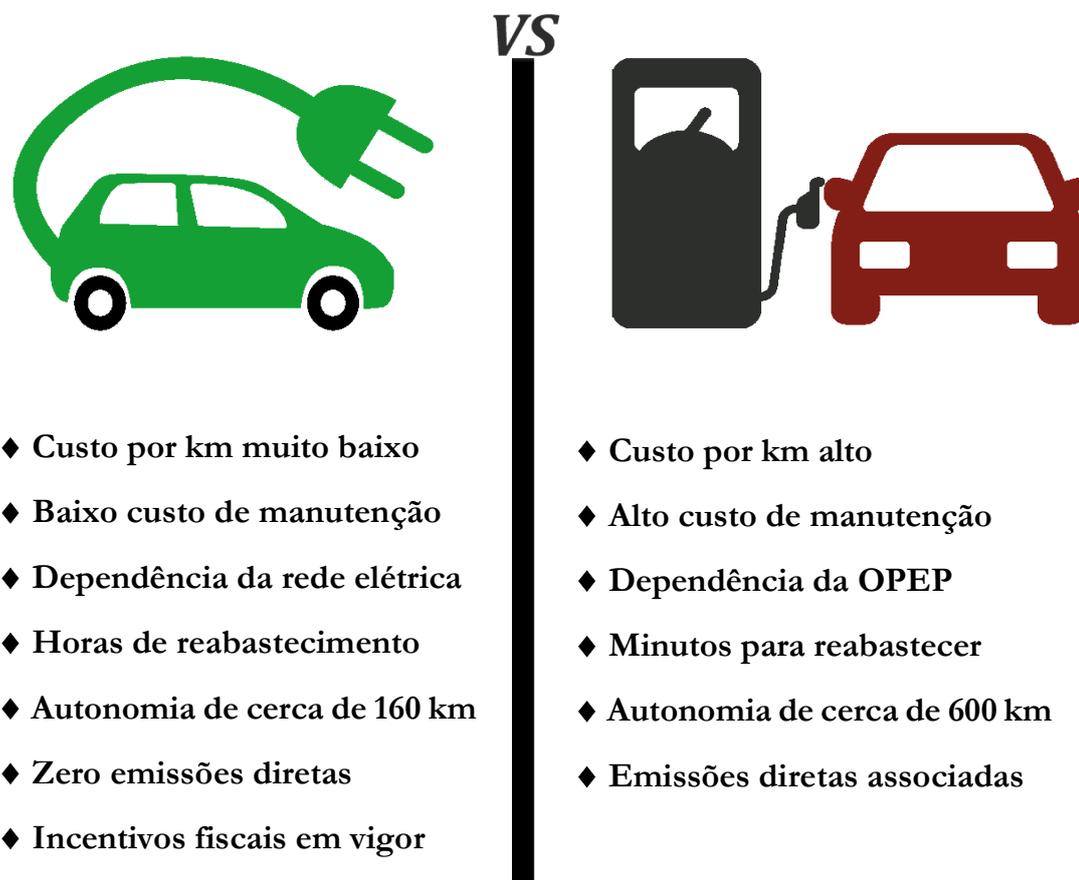


Figura 5- Comparação geral entre carros elétricos e a combustão. Fonte: Elaborada pelo autor.

Postos de carregamento gratuitos e zonas de parque não pago para VEs são também benefícios, no entanto, não parecem ser um fator com relevo decisório para a aquisição deste tipo de automóveis.

No que a empresas concerne, é também notório um crescimento acentuado de aquisição de VEs e que resulta dos incentivos fiscais que são colocados à disposição para aquisição deste tipo de veículos, como o reembolso do valor do IVA, o cheque de 2250 € para os primeiros mil carros elétricos do ano e a isenção do imposto único de circulação (IUC), estes benefícios são os mesmos que estão disponíveis para o consumidor a título particular com a exceção do reembolso do valor do IVA. O investimento em VEs face aos veículos típicos de combustão permite poupanças efetivas em regime de comparação das duas tecnologias, sendo estas ainda mais potenciadas com os incentivos supracitados.

No entanto, como se pode constatar pela percentagem de carros novos adquiridos que é ainda muito baixa, nem tudo é benéfico na aquisição de um VE e existem também diversos obstáculos na perspetiva do consumidor, como, por exemplo, o elevado custo inicial do veículo, a autonomia, tempo de carga, poucos veículos disponíveis no mercado de usados, design pouco apelativo, baixa atratividade (KBB, 2018). Normalmente, os modelos mais apelativos ao consumidor e que são boas opções, também do ponto de vista da autonomia, tem preços muito altos, por exemplo, o Tesla Model S, com um preço de venda ao público base de 91.530 € para o mercado português, segundo o site da empresa (Tesla, 2018).

3.3 – Mercado

Em Portugal, apesar de existirem diversos contextos nos quais pode existir a possibilidade de fazer instalação de PSFs e SAE como em propriedades horizontais (*e.g.* apartamentos) sujeitas a aprovação pelos condóminos, é correto afirmar que a esmagadora maioria destes sistemas se destina ao consumidor que possui e reside em habitação própria com um só alojamento, moradias e moradias geminadas sendo estas o mercado alvo para os sistemas supramencionados.

Para melhor definir o mercado, foram consultadas informações do Eurostat e do Instituto Nacional de Estatística (INE), onde foi possível constatar que, no geral, os europeus tendem a viver mais em habitações com um só alojamento como moradias (34%) e moradias geminadas (24%), perfazendo um valor de 58%, do que em apartamentos (41%). O caso português não é exceção à regra sendo verificada uma taxa de 54.9% para residentes em moradias e moradias geminadas.

Contrariamente ao expectável face à sua posição económica débil, Portugal apresenta valores acima da média da união europeia no que diz respeito à posse dos imóveis. De acordo com os dados da EUROSTAT, em Portugal, 74.9% dos habitantes é proprietário da sua casa (habitação em casa própria), valor que se situa acima da média europeia, 70,1 (European Union, 2014), (Fonseca, 2015). Esta taxa superior à média europeia pode ser eventualmente justificada pela tradição do povo português onde a casa ocupa uma posição muito importante no estabelecimento familiar e nos valores culturais.

Portanto, de um parque habitacional total de 3.991.112 alojamentos, segundo os dados do INE, (Censos2011) 2.891.811 correspondem a alojamentos com proprietário.

A maior porção de mercado para as alternativas que são estudadas nesta dissertação são sobretudo os proprietários de moradias e moradias geminadas, uma vez que possuem melhores características / condições para a instalação de painéis, baterias, inversores e local de carregamento de VEs sem necessidade de aprovação, por exemplo, de uma assembleia de condomínio que necessitará de aprovação maioritária.

Apesar de não existirem dados que façam a diferenciação entre os proprietários de imóveis de moradias, moradias geminadas e apartamentos, pelos números de habitações supramencionados e pela percentagem de proprietários é expectável que exista um vasto mercado para as soluções integradas de PSFs + SAE + VEs.

4. Metodologia e resultados

4.1 – Apresentação da metodologia

4.1.1 - Integração PSFs + SAE

Com o intuito de avaliar a possibilidade da existência de sistemas em autoconsumo total em Portugal foram realizadas diversas simulações, PSFs com diferentes potências instaladas (0,5 kW, 1 kW, 1,5 kW, 2 kW, 2,5 kW, 3 kW e 6 kW), integradas com SAE. As potências selecionadas foram escolhidas tendo em conta o perfil médio do consumidor português.

Para aferição da possível disparidade produtiva dentro do território continental cada simulação foi realizada em 3 cidades diferentes, Viana do Castelo, Leiria e Portimão, com o intuito de que estas representem a zona norte, centro e sul respetivamente.

Para que a simulação seja o mais precisa e fiável possível foram avaliados vários softwares usados no dimensionamento de projetos de produção e integração energética. Neste caso o software escolhido foi o PVSyst versão 6 pela sua precisão e reputação. Em traços gerais permite a modelação e análise precisa dos sistemas fotovoltaicos pretendidos, permitindo ao utilizador a melhor escolha possível de entre as diferentes configurações que este pretenda testar. Já possui integradas bases de dados com as características técnicas dos equipamentos a usar nas simulações (*p.ex* painéis fotovoltaicos e inversores) e efetua os cálculos considerando inúmeras variáveis como: as compatibilidades dos equipamentos, produção em kWh, perdas energéticas, poupança comparativa da pegada de carbono, decréscimo de qualidade das células, variabilidade de condições meteorológicas, variabilidade das horas de luz ao longo do ano, etc...

Diversas variáveis supramencionadas foram objetivamente simuladas no software e usadas para a aferição da possibilidade do autoconsumo entre as várias potências instaladas e localidades testadas.

4.1.2 - VEs

Com o intuito de perceber qual a real poupança entre VEs e os automóveis a combustão em termos de gasto de “combustíveis” foram selecionados os VEs mais vendidos no mercado português e consideradas as suas principais características.

Para que esta comparação se pudesse efetuar tornava-se necessária a obtenção de gastos médios e distâncias percorridas pelo típico usuário português, estes dados foram obtidos em diversos estudos e plataformas estatísticas. Posteriormente foi calculada a poupança comparativa de combustível entre VEs e automóveis a combustão para um, e oito anos (período coberto pela garantia dos veículos selecionados).

4.2 – Dados utilizados

4.2.1 – Simulação PSFs + SAE

Preço da eletricidade

Para análise, foram selecionados dados de 2016 em detrimento de 2017 uma vez que se encontram consolidados.

De acordo com o portal PORDATA, o preço de eletricidade em Portugal (ano de 2016) foi de 0,2350 Euros (€), preços de eletricidade por kWh, contrastando com valor médio da EU, 0,2052 € (PORDATA, 2018). Para a finalidade da dissertação este será o preço fixo considerado nas diferentes simulações efetuadas.

Segundo dados do INE, em 2016, o consumo de energia (eletricidade) “*per capita*” do setor doméstico foi de 2342,9 kWh o que significa que o consumo diário foi de 6,418 kWh por consumidor doméstico (INE, 2018). Este valor (6,4189 kWh) será para o intuito desta dissertação considerado o perfil de consumo médio (PCM), o perfil de consumo elevado (PCE) será considerado um valor duas vezes superior ao PCM e o perfil de consumo baixo (PCB) o que possui metade deste.

Então, (tendo como base dados consolidados de 2016, INE/PORDATA):

Tabela 1 - Perfis de consumo considerados tendo por base dados do INE, em kWh.

Perfis de Consumo	20 Anos (kWh)	Ano (kWh)	Mês (kWh)	Dia (kWh)
Perfil de Consumo Baixo (PCB)	23429	1171,45	97,62	3,2095
Perfil de Consumo Médio (PCM)	46858	2342,9	195,24	6,4189
Perfil de Consumo Elevado (PCE)	93716	4685,8	390,48	12,8378

Consequentemente, os custos de energia tendo em conta os dados consolidados de 2016 mencionados:

Tabela 2 - Custos de energia associados aos perfis de consumo selecionados em diferentes períodos de tempo, em Euros.

Perfis de Consumo	20 Anos (€)	Ano (€)	Mês (€)	Dia (€)
PCB	5506,00	275,30	22,94	0,77
PCM	11011,60	550,58	45,88	1,53
PCE	22023,20	1101,16	91,76	3,06

Serão realizadas simulações em 3 localizações cujo o objetivo é o de representatividade produtiva dos painéis na zona norte, centro e sul.

Localizações selecionadas:

- Zona Norte, (ZN) - **Viana do Castelo, (VC)**
- Zona Centro, (ZC) - **Leiria, (L)**
- Zona Sul, (ZS) - **Portimão, (P)**

- **Em todos os estudos foram considerados 20 anos de utilização dos PSFs.**

Para a realização das simulações foi usado o “software” Pvsyst versão 6.

Este software realiza simulações de sistemas fotovoltaicos e entre outros considera na modelação:

- Condições meteorológicas e variabilidade de horas de incidência solar durante o ano; depois da importação destes dados o *software* obtém o cálculo da melhor orientação e grau de inclinação dos painéis, 38° foi o resultado obtido e considerado nas simulações.
- Compatibilidade entre os diferentes dispositivos usados (por exemplo entre painéis e inversores) e a sua capacidade.
- A poupança em toneladas de CO₂ da pegada energética dos painéis vs energia comprada à rede, usando para a elaboração da comparação dados de Portugal que constam na Agência Internacional de Energia (AIE).
- Perdas que ocorrem no sistema e degradação anual do modelo de painel selecionado são também consideradas nas simulações.

As potências instaladas em PSFs simuladas foram: 0.5 kW, 1 kW, 1.5 kW, 2 kW, 2.5 kW, 3 kW e, finalmente 6 kW, no entanto, estes valores são aproximados e não exatos uma vez que a unidade fundamental unitária usada para simulação é um PSF com capacidade de 265 W. Ou seja, para um sistema com potência instalada de 0.5 kW serão usados 2 painéis de 265W, logo: $265 \times 2 = 530 \text{ W} \sim 0,5 \text{ kW}$.

As simulações de potência instalada foram escolhidas tendo em conta os perfis de consumo e a premissa de verificação da viabilidade de sistemas em autoconsumo total.

Equipamentos: considerados em simulação e preço de revenda disponível no mercado português.

Os equipamentos componentes dos sistemas foram selecionados segundo algumas proposições tais como, disponibilidade no mercado português, preço baixo, alta eficiência e compatibilidade tecnológica e produtiva entre os diversos elementos que constam no sistema a montar.

Cada simulação necessita obrigatoriamente de um painel fotovoltaico, um inversor e uma bateria, tendo em conta as potências instaladas a simular e o seu dimensionamento. Alguns dos equipamentos em baixo serão selecionados por simulação e o seu custo calculado, estes dados encontram-se especificados individualmente em cada uma das simulações.

A listagem de todos os equipamento considerados encontra-se na tabela 3.

Tabela 3 - Equipamentos considerados nas simulações e valores de revenda no mercado Português.

Painel	Capacidade	Custo (€)
Módulo Fotovoltaico “REC265”	265 W	169
Inversores		
Enphase M250 (Micro-inversor)	250 W	150
SMA Sunny Boy 1.5 1VL	1,5 kW	650
Fronius Galvo 2.0-1	2,0 kW	1250
Fronius Galvo 2.5-1	2,5 kW	1281
Baterias		
SO-Lithium 48-S 3,3	3,3 kWh	1625
LG Chem RESU 6.5	6,5 kWh	4060
LG Chem RESU 10.0 LV	10,0 kWh	5370
Tesla Powerwall (2) – 13.5	13,5 kWh	6600
BYD B-Box 13.8	13,8 kWh	11070

Devido à maturação das tecnologias mencionadas ter ocorrido nos últimos anos e ao facto de as empresas que oferecem serviços na área serem por consequência recentes, existem poucos estudos sobre custos de instalação/manutenção, posto isto, para estas simulações foram estimados os custos através da consulta do portfólio de diversas empresas da área que prestam este tipo de serviços, de acordo com a seguinte tabela.

Tabela 4 - Custos de instalação e manutenção estimados considerados para as simulações.

Instalação dos sistemas integrados (PSFs, Inversor + Bateria)	Custo (€)
PSFs até 2 kW + Inversor + SAE até 10 kWh	250
PSFs 2.5 - 6 kW + Inversor + SAE até 40.5 kWh	450
Manutenção	
Plano de manutenção preventiva – 0 - 10 anos (0.5 até 2 kW de potência instalada)	350
Plano de manutenção preventiva – 10 – 20 anos (0.5 até 2 kW de potência instalada)	450
Total	800
Plano de manutenção preventiva – 0 - 10 anos (2 até 6 kW de potência instalada)	450
Plano de manutenção preventiva – 10 – 20 anos (2 até 6 kW de potência instalada)	600
Total	1050

4.3 – Simulações e estudos / Discussão

4.3.1- Simulações PSFs + SAE

Simulação 1 - Potência Instalada ~ 0.5 kW (530W)

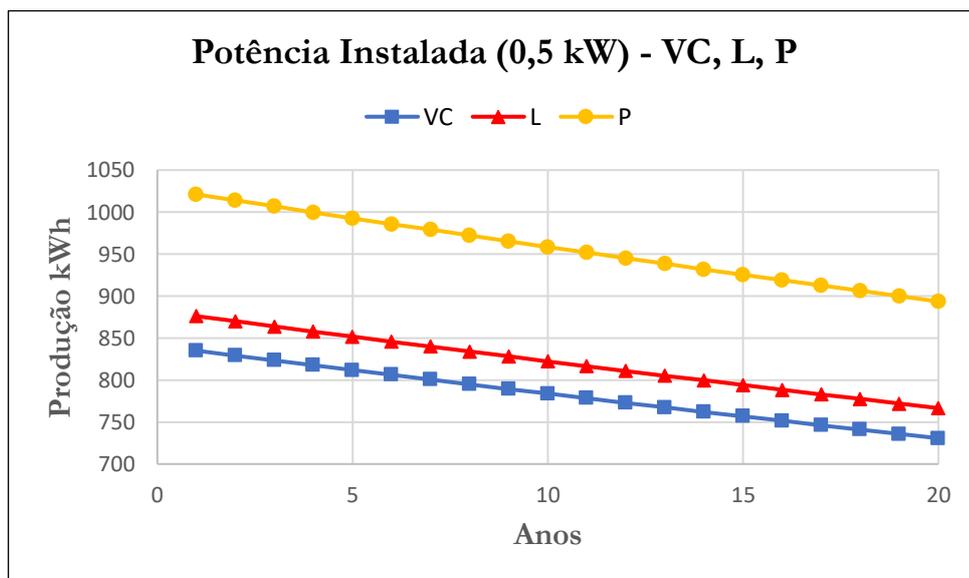


Figura 6 - Produção do sistema em kWh (20 anos) para VC, L e P.

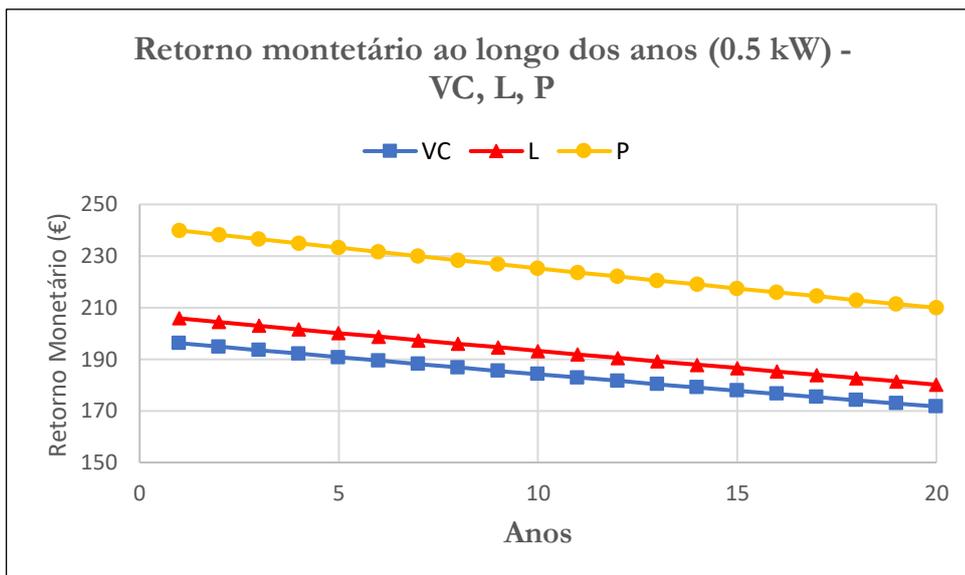


Figura 7 – Retorno monetário anual em EUR (20 anos) para VC, L e P.

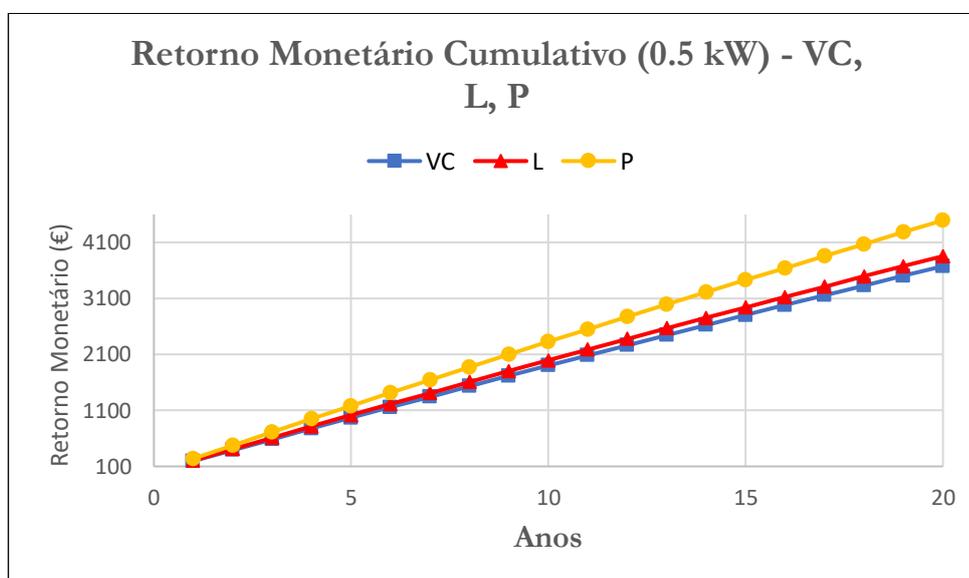


Figura 8 - Retorno monetário cumulativo em EUR (20 anos) para VC, L e P.

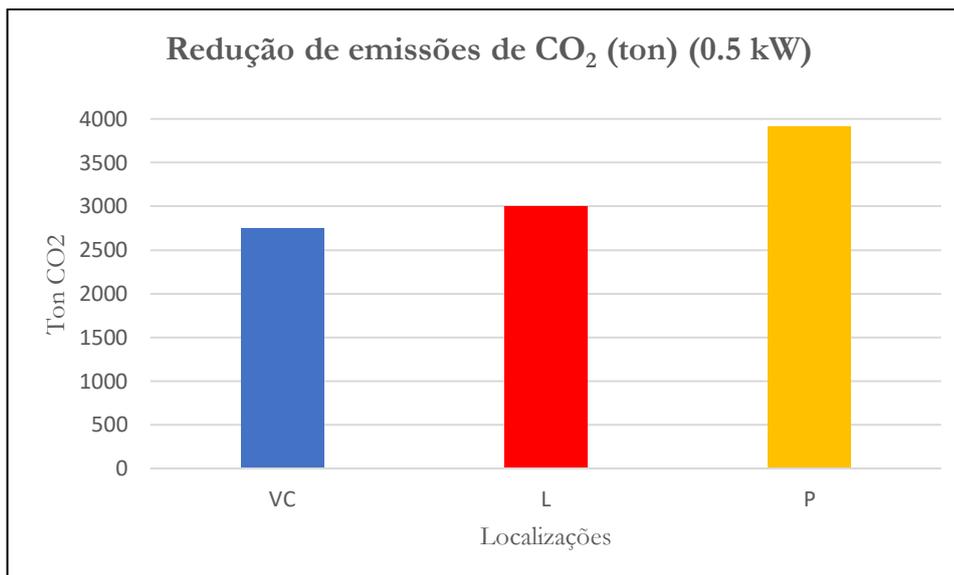


Figura 9 - Redução de emissões de CO₂ em comparação com a energia comprada à rede.

De acordo com a simulação realizada com a potência instalada de cerca de 0.5 kW foram obtidos resultados de 835 kWh para Viana do Castelo, 876 kWh para Leiria e de 1021 kWh para Portimão, referente à capacidade produtiva anual em kWh. Passados 20 anos estes valores situam-se em 731 kWh, 767kWh, 893kWh para VC, L e P, respetivamente (representado na Fig. 6). Este decréscimo é resultante da perda de qualidade das células existentes nos painéis.

É curioso verificar que pela sua localização privilegiada P tem um valor produtivo maior findos 20 anos de utilização do que VC no primeiro ano de produção (Fig. 6).

No que diz respeito à receita cumulativa referente à eletricidade produzida para autoconsumo de acordo com as simulações consideradas ao final de 20 anos haviam sido poupados 3674 € para VC, 3855 € para L e de 4493 € para P (Fig. 8).

Por sua vez e de acordo com os dados sobre Portugal da Agência Internacional de Energia durante os 20 anos de utilização foram poupadas 2748 toneladas de CO₂ para VC, 3000 para L e 3905 para P (Fig. 9).

A média de produção entre os 3 locais é de 911 kWh/ano correspondendo a 2.5 kWh por dia. Como o dimensionamento da bateria deve ser estudado de acordo com a produção diária do painel é aconselhável para sistemas de autoconsumo que a bateria possua capacidade ligeiramente superior à produção média para que esta tenha capacidade de armazenamento para os dias de maior produção, tais como dias de verão com mais horas de incidência solar

e baixa nebulosidade; Para esta potência instalada foi selecionada uma bateria de capacidade 3.3 kWh.

Então, o sistema é composto por:

Tabela 5 – Custos associados ao sistema com potência instalada de ~ 0,5 kW.

Componentes / Necessidades	Unidades	Preço final (€)
Painel - Módulo Fotovoltaico “REC 265” com capacidade de 265W	2	338
Inversor - Enphase M250	2	300
Bateria - SO-Lithium 48-S 3,3	1	1625
Estimativa Instalação + Manutenção (20 anos)	-----	1050
Total		3313

Tendo em conta os custos mencionados na tabela 5, o *payback* para VC é obtido passados 17 anos, para Leiria após 17 e para Portimão após 14.

O lucro obtido entre esse período até ao final dos 20 anos situa-se em 361,16 € para VC, 541,17 € para L e 1179,60 para P (estes resultados (*payback* e lucro) serão abordados mais detalhadamente na discussão tanto para esta simulação como para as seguintes).

Simulação 2 - Potência Instalada ~ 1 kW (1060W)

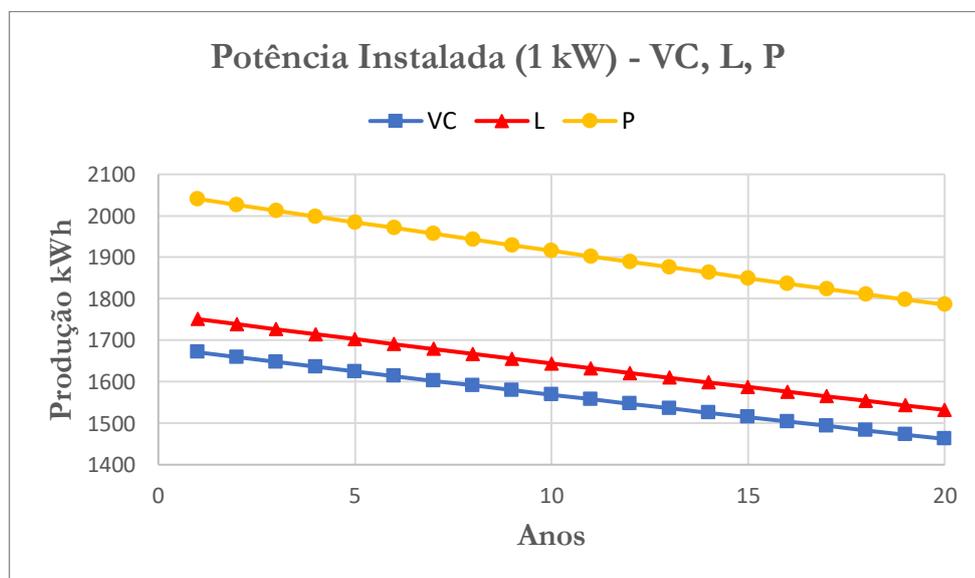


Figura 10 - Produção do sistema em kWh (20 anos) para VC, L e P.

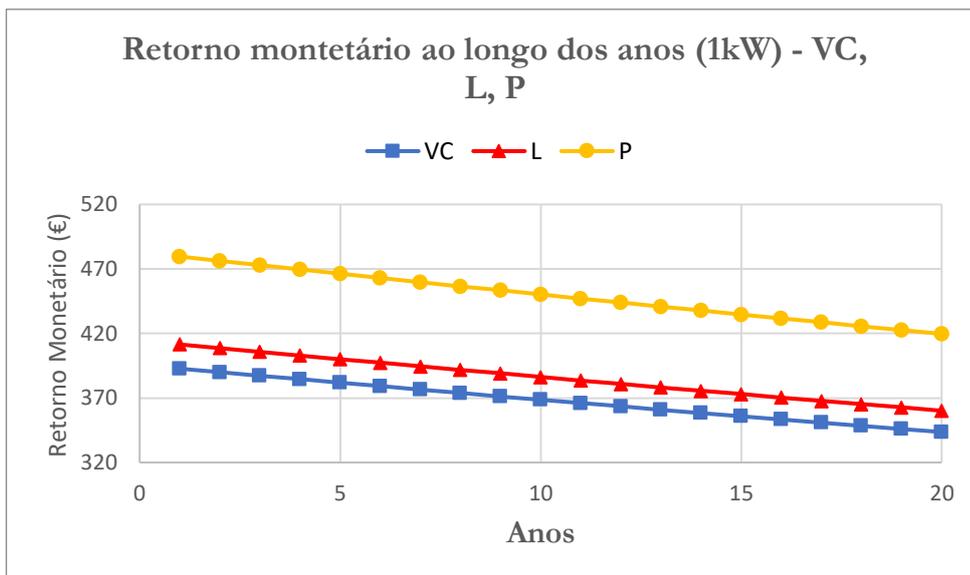


Figura 11 - Retorno monetário anual em EUR (20 anos) para VC, L e P.

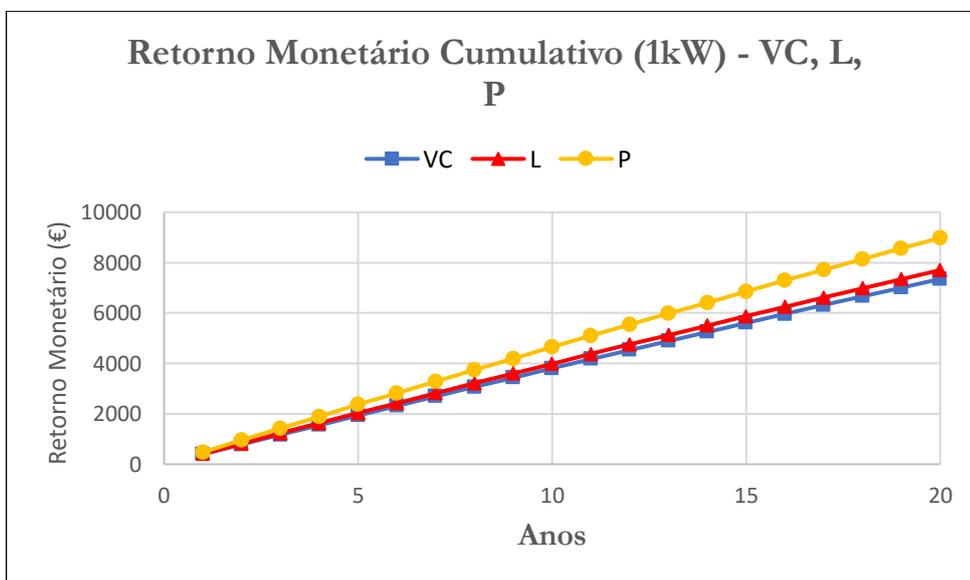


Figura 12 - Retorno monetário cumulativo em EUR (20 anos) para VC, L e P.

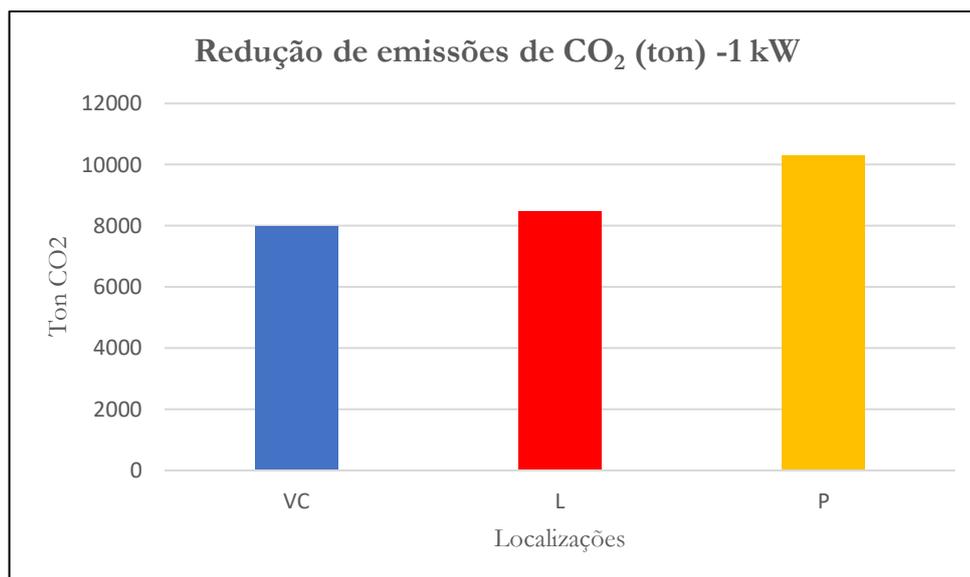


Figura 13 - Redução de emissões de CO₂ em comparação com a energia comprada à rede.

De acordo com a simulação realizada com a potência instalada de cerca de 1kW foram obtidos resultados de 1671 kWh para Viana do Castelo, 1751 kWh para Leiria e de 2041 kWh para Portimão, referente à capacidade produtiva anual em kWh. Passados 20 anos estes valores situam-se em 1462 kWh, 1532 kWh, 1786 kWh para VC, L e P, respetivamente (representado na Fig. 10). Tal como anteriormente, este decréscimo é resultante da perda de qualidade das células existentes nos painéis (Fig. 10).

A média de produção entre os 3 locais é de 1821 kWh/ano correspondendo a 5 kWh por dia; seguindo a linha de raciocínio análoga à simulação anterior foi selecionada uma bateria coma capacidade de 6,5 kWh.

Então, o sistema é composto por:

Tabela 6 – Custos associados ao sistema com potência instalada de ~ 1 kW.

Componentes / Necessidades	Unidades	Preço final (€)
Painel - Módulo Fotovoltaico “REC 265” com capacidade de 265W	4	676
Inversor - Enphase M250	4	600
Bateria - LG Chem RESU 6.5	1	4060
Estimativa Instalação + Manutenção (20 anos)	-----	1050
Total		6386

No que diz respeito à receita cumulativa referente à eletricidade produzida para autoconsumo de acordo com as simulações consideradas ao final de 20 anos haviam sido poupados 7353 € para VC, 7705 € para L e 8981 € para P (representado na Fig.12).

Por sua vez e de acordo com os dados sobre Portugal da Agência Internacional de Energia durante os 20 anos de utilização foram poupadas 7965 toneladas de CO₂ para VC, 8469 para L e 10280 para P (Fig.13).

Tendo em conta os custos mencionados na tabela 6, o “*payback*” para VC é obtido passados 17 anos, 16 para Leiria e após 13 para Portimão.

O lucro obtido entre esse período até ao final dos 20 anos situa-se em 966,73 € para V, 1318,74 para L e 2594,80 para P.

Simulação 3 - Potência Instalada ~ 1,5 kW (1590W)

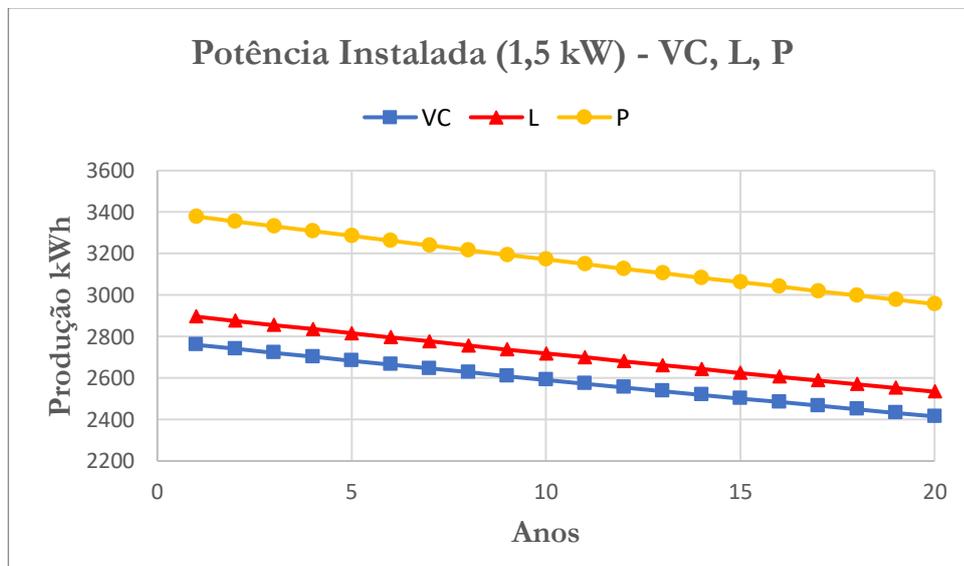


Figura 14 - Produção do sistema em kWh (20 anos) para VC, L e P.

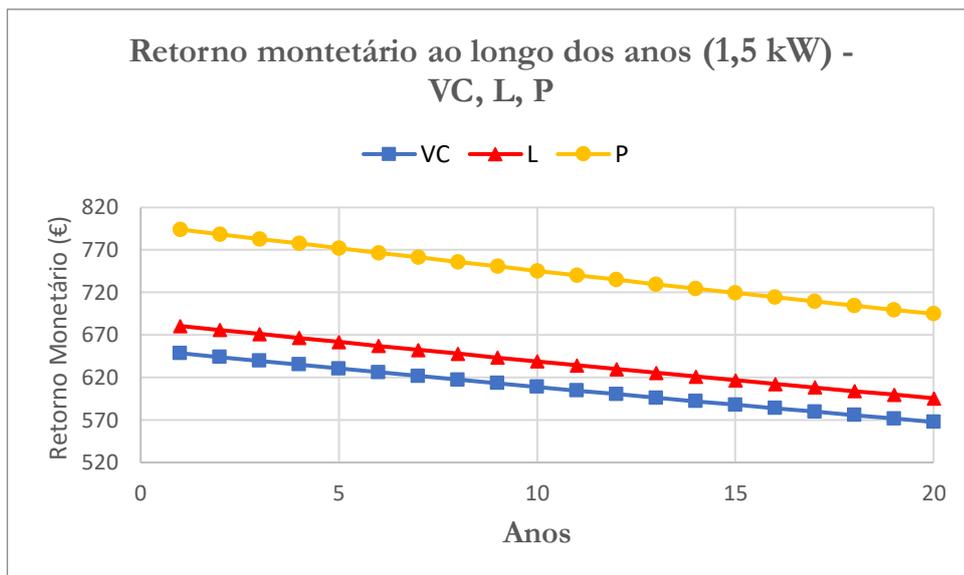


Figura 15 - Retorno monetário anual em EUR (20 anos) para VC, L e P.

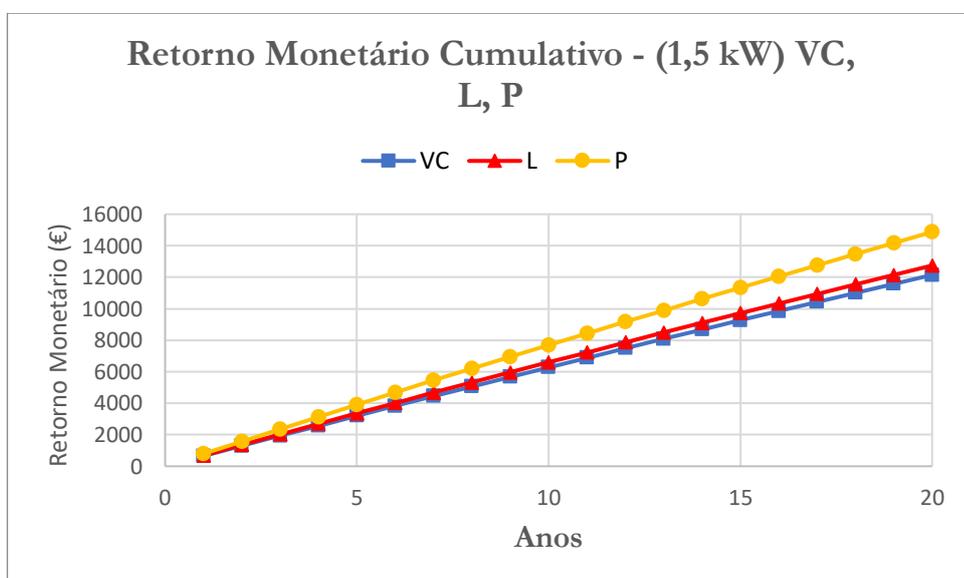


Figura 16 - Retorno monetário cumulativo em EUR (20 anos) para VC, L e P.

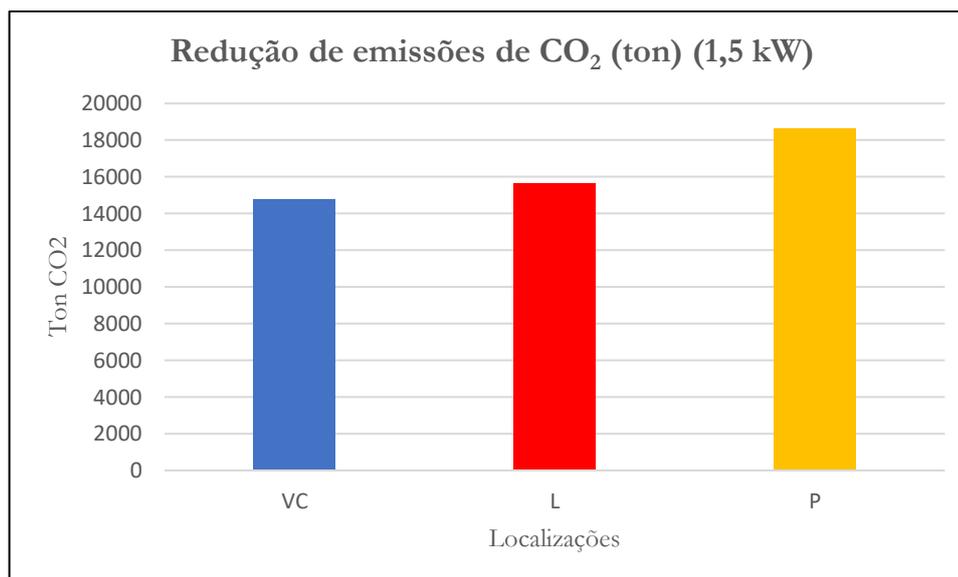


Figura 17 - Redução de emissões de CO₂ em comparação com a energia comprada à rede.

De acordo com a simulação realizada com a potência instalada de cerca de 1.5 kW foram obtidos resultados de 2760 kW para Viana do Castelo, 2896 kW para Leiria e de 3379 kW para Portimão, referente à capacidade produtiva anual em kW. Passados 20 anos estes valores situam-se em 2415 kW, 2534 kW, 2957 kW para VC, L e P, respetivamente (representado na Fig. 14).

No que diz respeito à receita cumulativa referente à eletricidade produzida para autoconsumo de acordo com as simulações consideradas ao final de 20 anos haviam sido poupados 12145 € para VC, 12743 € para L e de 14868 € para P (Fig. 16).

A média de produção entre os 3 locais é de 3012 kWh/ano correspondendo a 8,25 kWh por dia; para esta potência instalada foi selecionada uma bateria de capacidade 10 kWh.

Então, o sistema é composto por:

Tabela 7 - Custos associados ao sistema com potência instalada de ~ 1,5 kW.

Componentes / Necessidades	Unidades	Preço final (€)
Painel - Módulo Fotovoltaico “REC 265” com capacidade de 265W	6	1014
Inversor - SMA Sunny Boy 1.5 1VL-40	1	650
Bateria - LG Chem RESU 10.0 LV	1	5370
Estimativa Instalação + Manutenção (20 anos)	-----	1050
Total		8084

Por sua vez e de acordo com os dados sobre Portugal da Agência Internacional de Energia durante os 20 anos de utilização foram poupadas 14767 toneladas de CO₂ para VC, 15616 para L e 18633 para P (Fig. 17).

Tendo em conta os custos mencionados na tabela 7, o “payback” para VC é obtido passados 12 anos, para Leiria após 12 e para Portimão após 10.

O lucro obtido entre esse período até ao final dos 20 anos situa-se em 4060,54 € para V, 4658,97 para L e 6784,26 para P.

Simulação 4 – Potência Instalada ~ 2 kW (2120W)

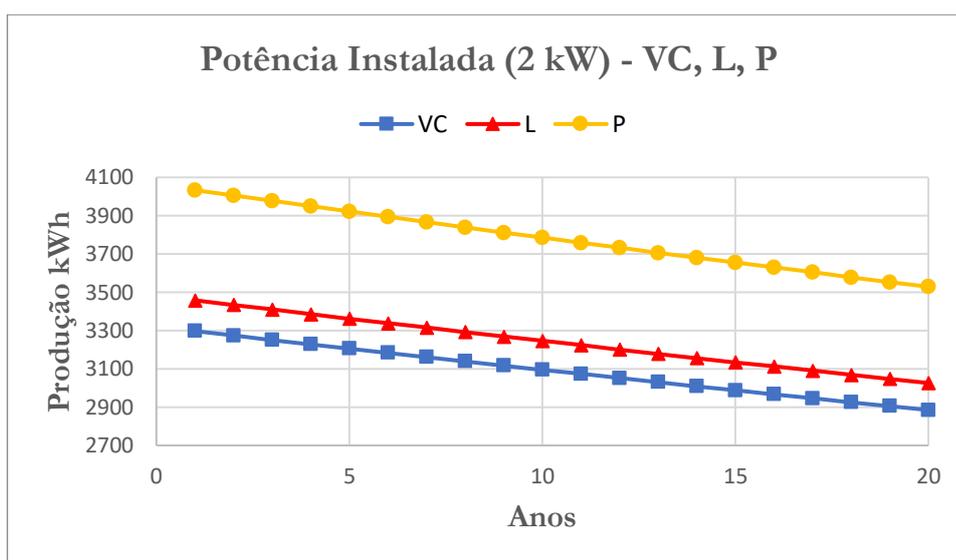


Figura 18 - Produção do sistema em kWh (20 anos) para VC, L e P.

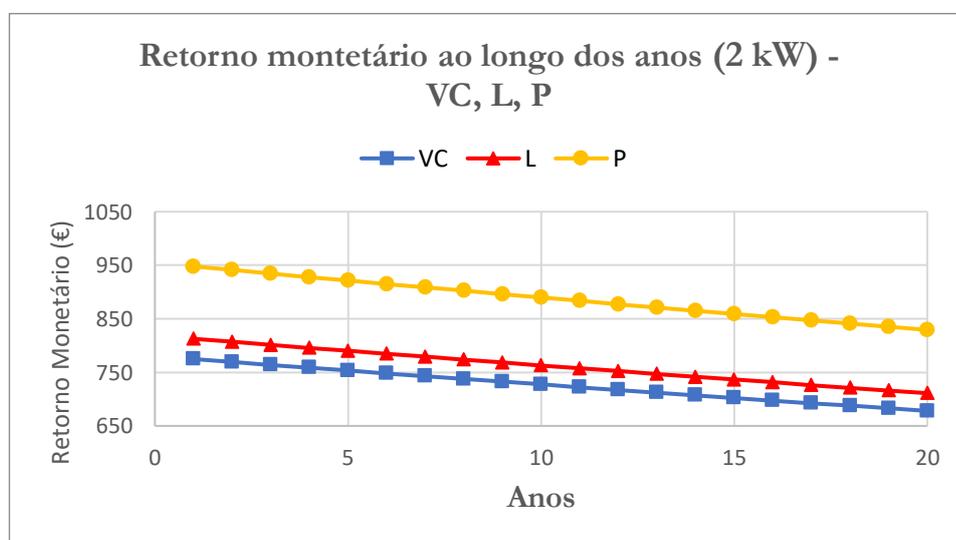


Figura 19 - Retorno monetário anual em EUR (20 anos) para VC, L e P.

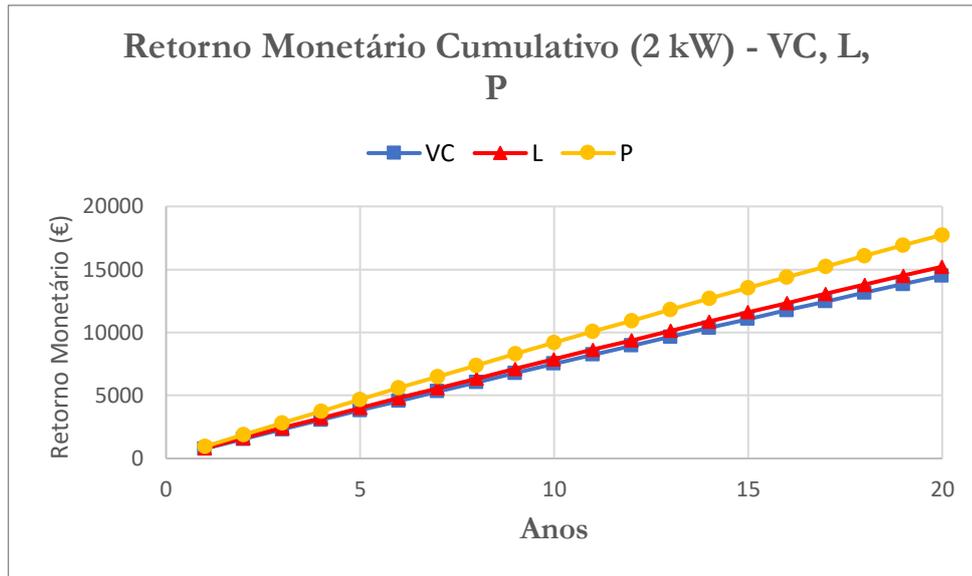


Figura 20 - Retorno monetário cumulativo em EUR (20 anos) para VC, L e P.

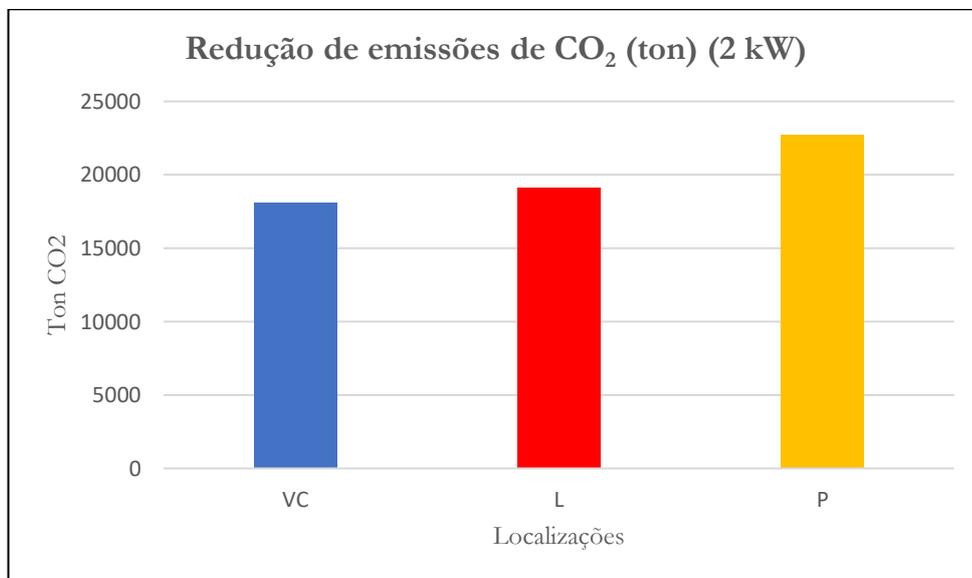


Figura 21 - Redução de emissões de CO₂ em comparação com a energia comprada à rede.

De acordo com a simulação realizada com a potência instalada de cerca de 2 kW foram obtidos resultados de 3297 kW para Viana do Castelo, 3458 kW para Leiria e de 4033 kW para Portimão, referente à capacidade produtiva anual em kW. Passados 20 anos estes valores situam-se em 2885 kW, 3026 kW, 3529 kW para VC, L e P, respetivamente (representado na Fig. 18).

A média de produção entre os 3 locais é de 3596 kWh/ano correspondendo a 9,9 kWh por dia; para esta potência instalada foi selecionada uma bateria de capacidade 10 kWh.

Então, o sistema é composto por:

Tabela 8 - Custos associados ao sistema com potência instalada de ~ 2 kW.

Componentes / Necessidades	Unidades	Preço final (€)
Painel - Módulo Fotovoltaico “REC 265” com capacidade de 265W	8	1352
Inversor – Fronius Galvo 2.0-1	1	1250
Bateria - LG Chem RESU 10.0	1	5370
Estimativa Instalação + Manutenção (20 anos)	-----	1050
Total		9022

No que diz respeito à receita cumulativa referente à eletricidade produzida para autoconsumo de acordo com as simulações consideradas ao final de 20 anos haviam sido poupados 14507 € para VC, 15216 € para L e 17746 € para P (Fig. 20).

Por sua vez e de acordo com os dados sobre Portugal da Agência Internacional de Energia durante os 20 anos de utilização foram poupadas 18126 toneladas de CO₂ para VC, 19127 para L e 22717 para P (Fig. 21).

Tendo em conta os custos mencionados na tabela 8, o “*payback*” para VC é obtido passados 13 anos, para Leiria após 11 e para Portimão após 9.

O lucro obtido entre esse período até ao final dos 20 anos situa-se em 5485,44 € para V, 6193,88 € para L e 8723,99 € para P.

Simulação 5 - Potência Instalada de ~ 2,5 kW (2385 W)

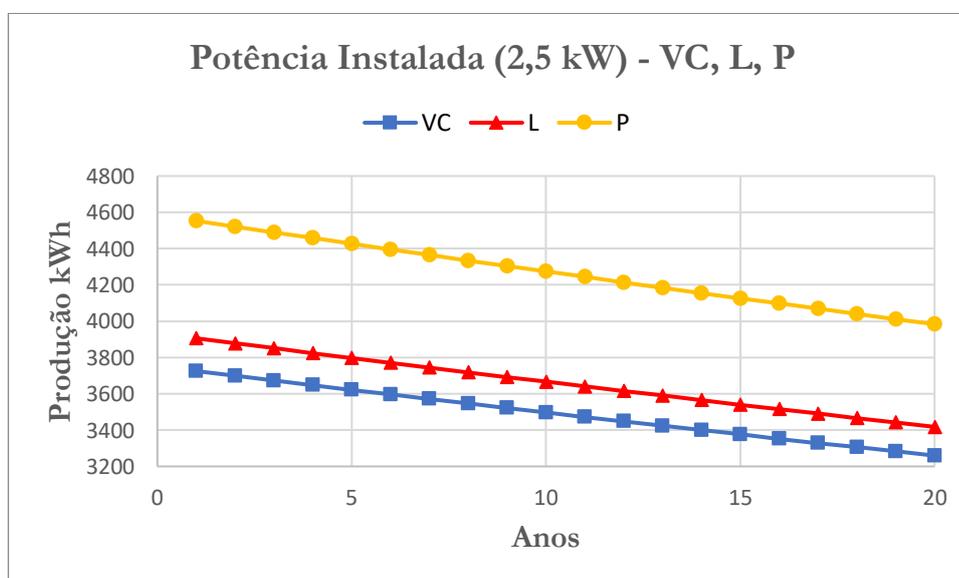


Figura 22 - Produção do sistema em kWh (20 anos) para VC, L e P.

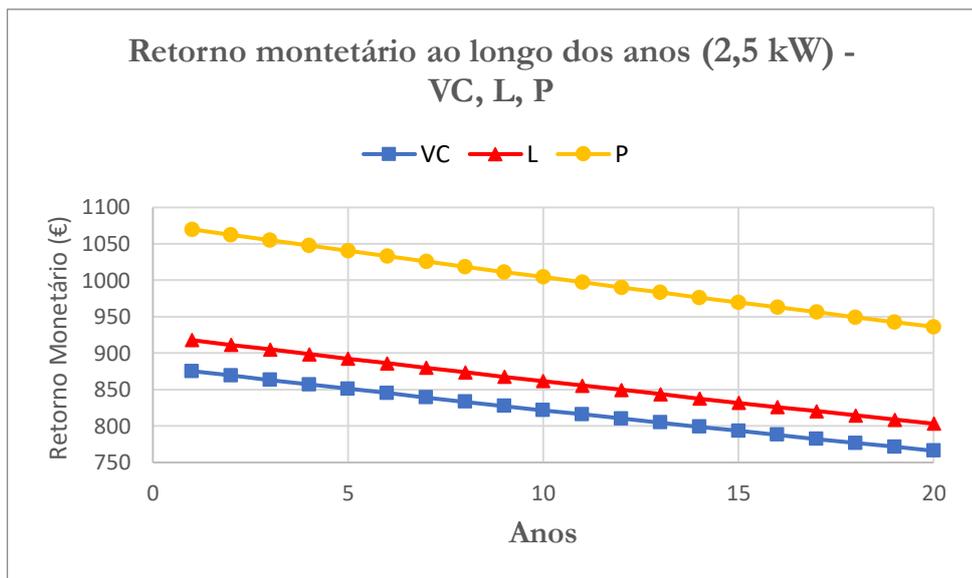


Figura 23 - Retorno monetário anual em EUR (20 anos) para VC, L e P.

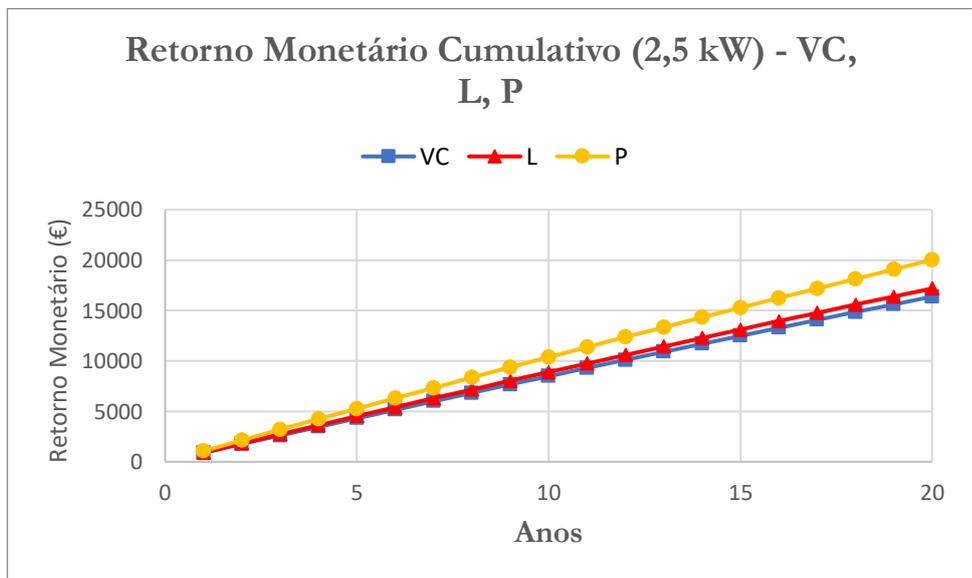


Figura 24 - Retorno monetário cumulativo em EUR (20 anos) para VC, L e P.

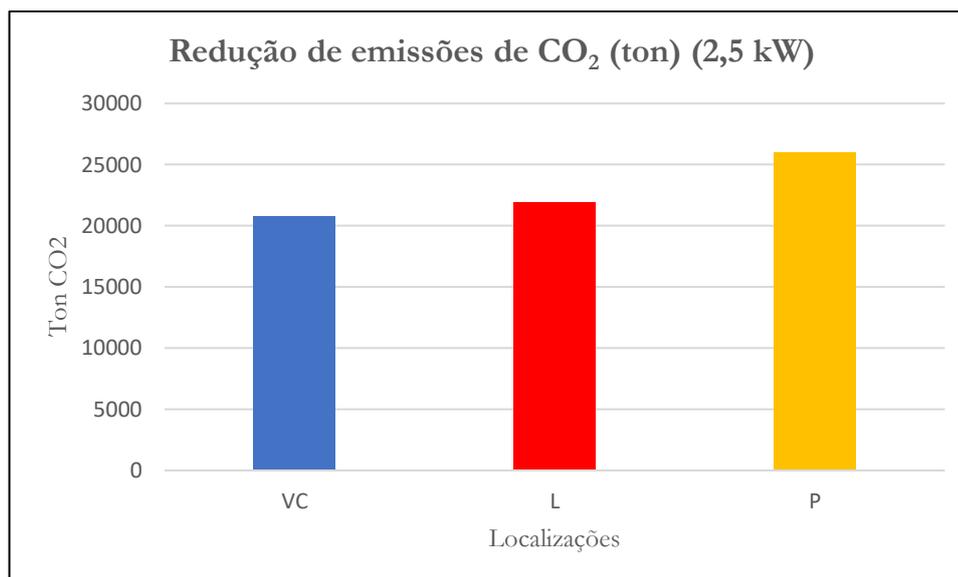


Figura 25 - Redução de emissões de CO₂ em comparação com a energia comprada à rede.

De acordo com a simulação realizada com a potência instalada de cerca de 2.5 kW foram obtidos resultados de 3725 kW para Viana do Castelo, 3906 kW para Leiria e de 4553 kW para Portimão, referente à capacidade produtiva anual em kW. Passados 20 anos estes valores situam-se em 3260 kW, 3418 kW, 3984 kW para VC, L e P, respetivamente (representado na Fig. 22).

A média de produção entre os 3 locais é de 4061 kWh/ano correspondendo a 11,1 kWh por dia; para esta potência instalada foi selecionada uma bateria de capacidade 13,5 kWh.

Então, o sistema é composto por:

Tabela 9 - Custos associados ao sistema com potência instalada de ~ 2,5 kW.

Componentes / Necessidades	Unidades	Preço final (€)
Painel - Módulo Fotovoltaico “REC 265” com capacidade de 265W	9	1512
Inversor - Fronius Galvo 2.0-1	1	1250
Bateria - Tesla Powerwall (2) – 13.5	1	6600
Estimativa Instalação + Manutenção (20 anos)	-----	1500
Total		10862

No que diz respeito à receita cumulativa referente à eletricidade produzida para autoconsumo de acordo com as simulações consideradas ao final de 20 anos haviam sido poupados 16391 € para VC, 17187 € para L e 20034 € para P (Fig.24).

Por sua vez e de acordo com os dados sobre Portugal da Agência Internacional de Energia durante os 20 anos de utilização foram poupadas 20794 toneladas de CO₂ para VC, 21924 para L e 25968 para P (Fig. 25).

Tendo em conta os custos mencionados na tabela 9, o “*payback*” para VC é obtido passados 12 anos, para Leiria após 12 e para Portimão após 10.

O lucro obtido entre esse período até ao final dos 20 anos situa-se em 5528,73 € para V, 6325,16 € para L e 9172,09 € para P.

Simulação 6 - Potência Instalada ~ 3 kW (2915 W)

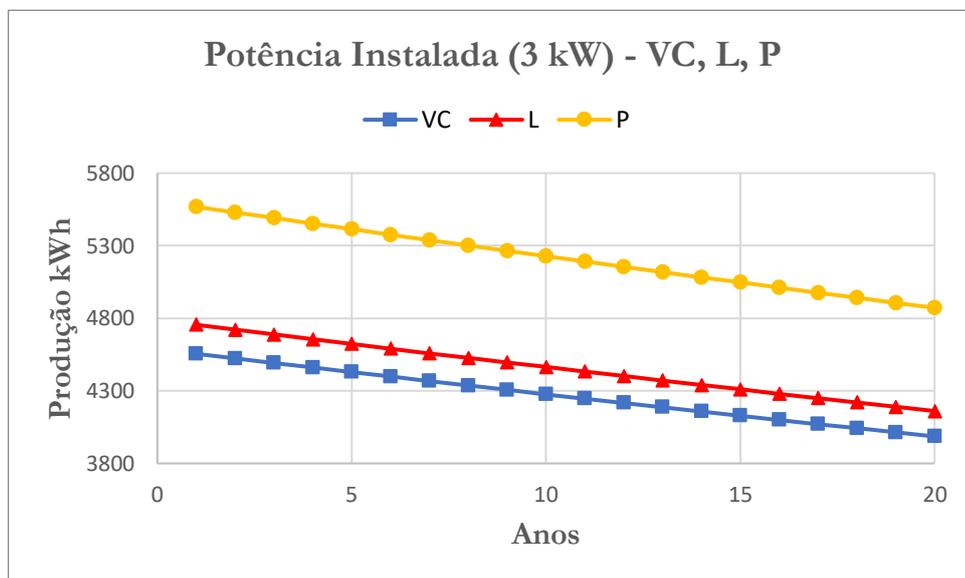


Figura 26 - Produção do sistema em kWh (20 anos) para VC, L e P

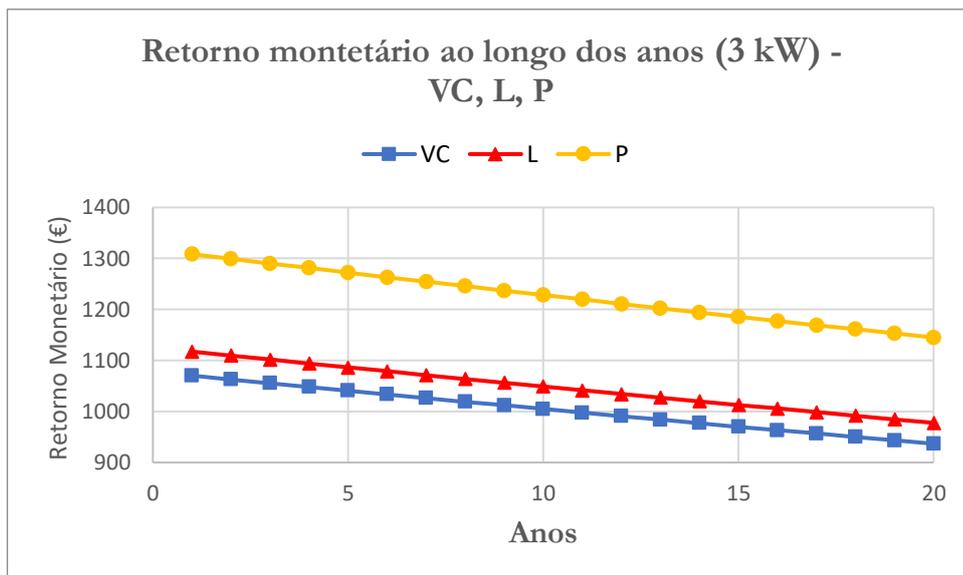


Figura 27 - Retorno monetário anual em EUR (20 anos) para VC, L e P.

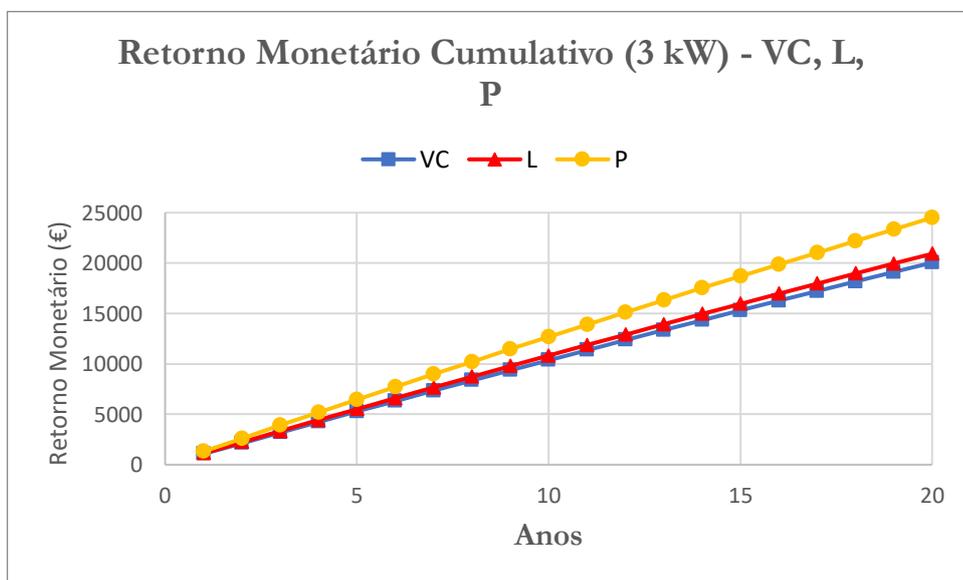


Figura 28 - Retorno monetário cumulativo em EUR (20 anos) para VC, L e P.

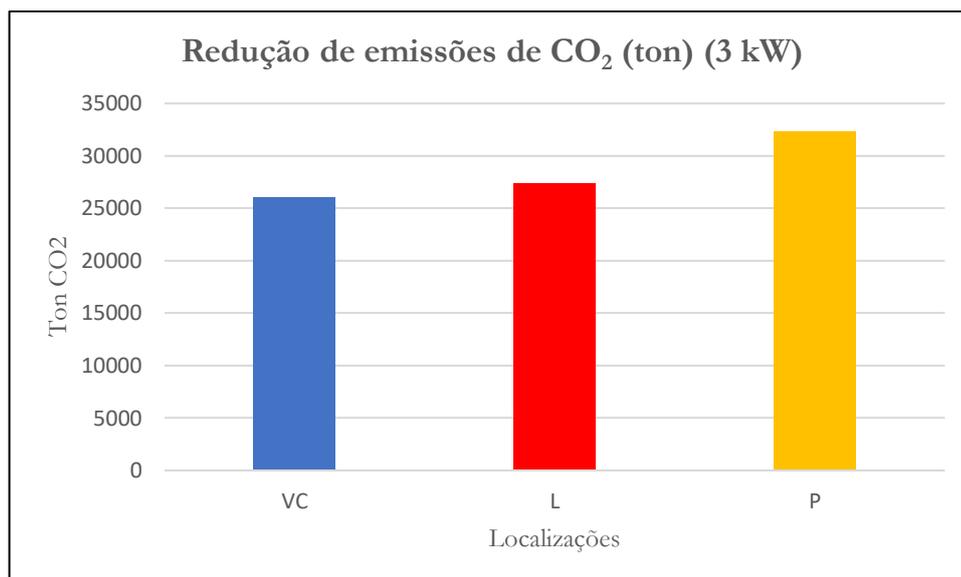


Figura 29 - Redução de emissões de CO₂ em comparação com a energia comprada à rede.

De acordo com a simulação realizada com a potência instalada de cerca de 3 kW foram obtidos resultados de 4555 kW para Viana do Castelo, 4755 kW para Leiria e de 5568 kW para Portimão, referente à capacidade produtiva anual em kW. Passados 20 anos estes valores situam-se em 3986 kW, 4161 kW, 4872 kW para VC, L e P, respetivamente (representado na Fig. 26).

A média de produção entre os 3 locais é de 4959 kWh/ano correspondendo a 13,6 kWh por dia; para esta potência instalada foi seleccionada uma bateria de capacidade 13,8 kWh.

Então, o sistema é composto por:

Tabela 10 - Custos associados ao sistema com potência instalada de ~ 3 kW.

Componentes / Necessidades	Unidades	Preço final (€)
Painel - Módulo Fotovoltaico “REC 265” com capacidade de 265W	11	1859
Inversor - Fronius Galvo 2.5-1	1	1281
Bateria - BYD B-Box 13.8	1	11070
Estimativa Instalação + Manutenção (20 anos)	-----	1500
Total		15710

No que diz respeito à receita cumulativa referente à eletricidade produzida para autoconsumo de acordo com as simulações consideradas ao final de 20 anos haviam sido poupados 20043 € para VC, 20923 € para L e 24500 € para P (Fig. 28).

Por sua vez e de acordo com os dados sobre Portugal da Agência Internacional de Energia durante os 20 anos de utilização foram poupadas 25978 toneladas de CO₂ para VC, 27357 para L e 32307 para P (Fig. 29).

Tendo em conta os custos mencionados na tabela 10, o “*payback*” para VC é obtido passados 15 anos, para Leiria após 14 e para Portimão após 12.

O lucro obtido entre esse período até ao final dos 20 anos situa-se em 4332,89 € para V, 5212,93 € para L e 8790,29 € para P.

Simulação 7 - Potência Instalada ~ 6 kW (6095 W)

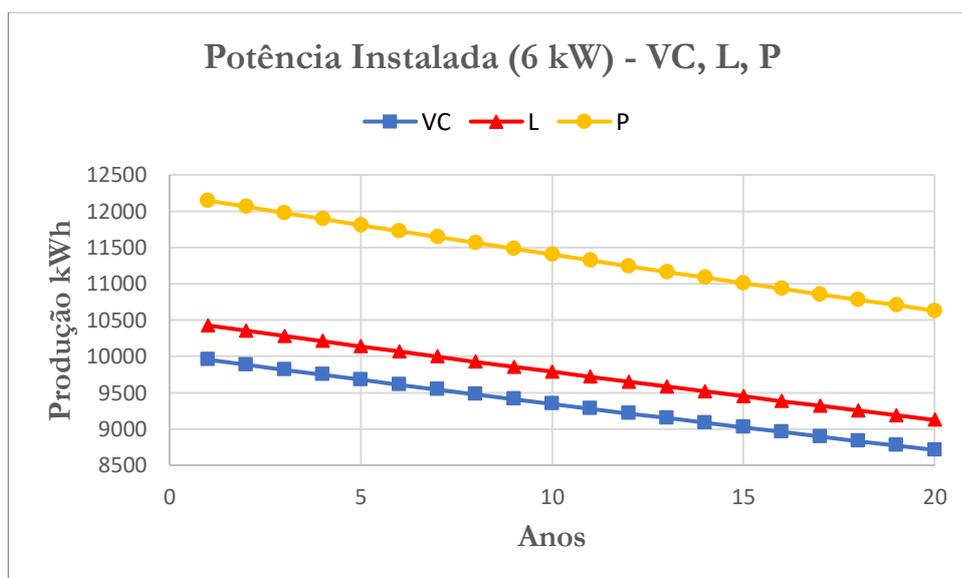


Figura 30 - Produção do sistema em kWh (20 anos) para VC, L e P.

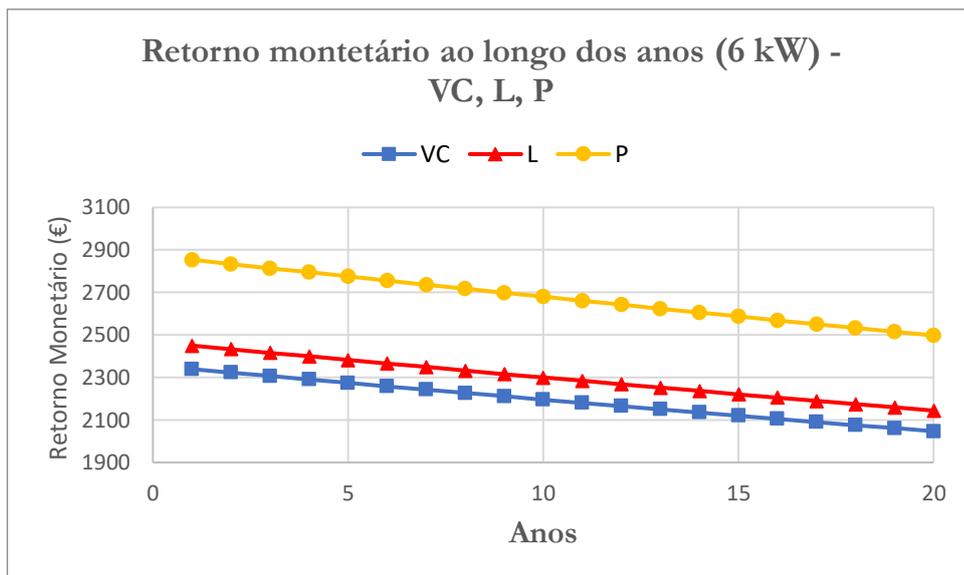


Figura 31 - Retorno monetário anual em EUR (20 anos) para VC, L e P.

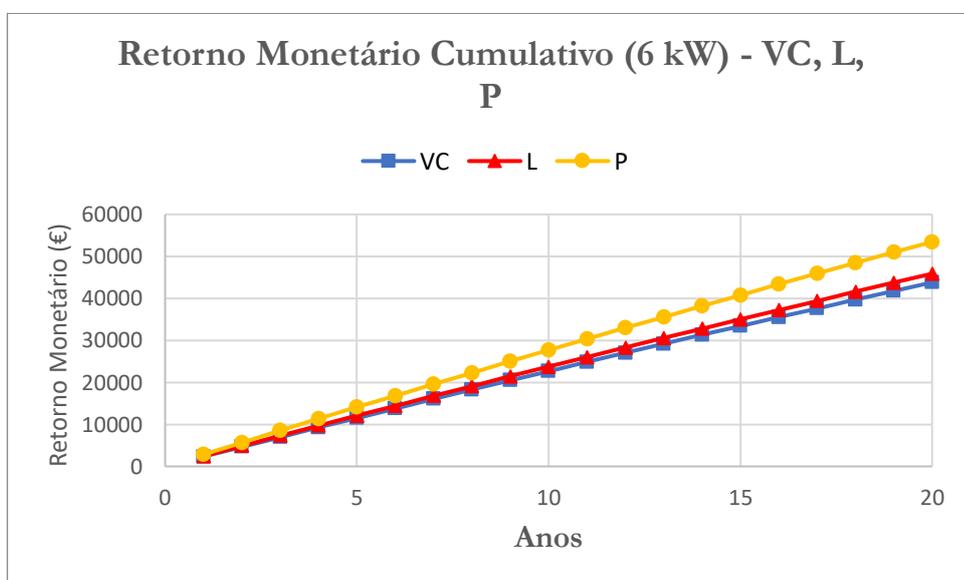


Figura 32 - Retorno monetário cumulativo em EUR (20 anos) para VC, L e P.

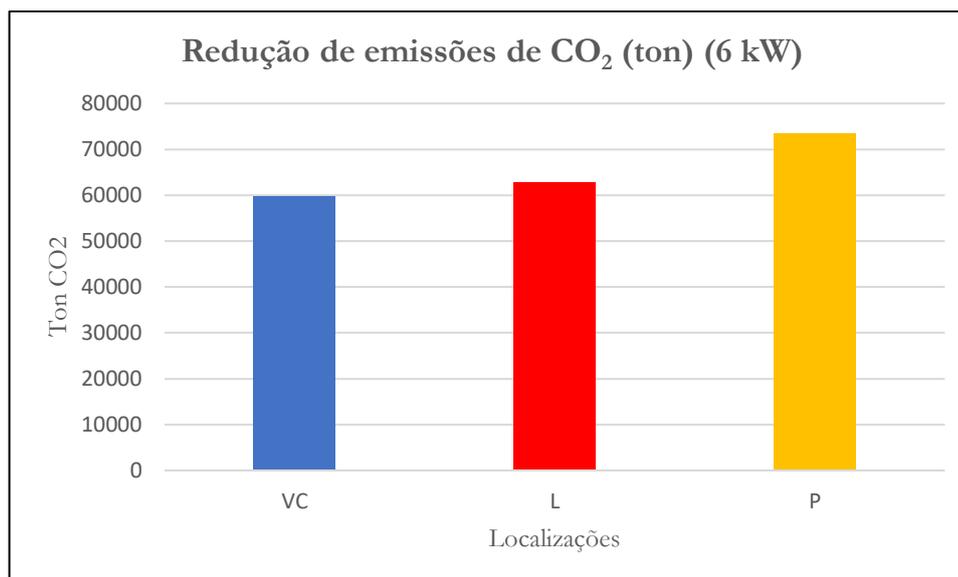


Figura 33 - Redução de emissões de CO₂ em comparação com a energia comprada à rede.

De acordo com a simulação realizada com a potência instalada de cerca de 6 kW foram obtidos resultados de 9954 kW para Viana do Castelo, 10426 kW para Leiria e de 12146 kW para Portimão, referente à capacidade produtiva anual em kW. Passados 20 anos estes valores situam-se em 8710 kW, 9123 kW, 10628 kW para VC, L e P, respetivamente (representado na Fig. 30).

A média de produção entre os 3 locais é de 10842 kWh/ano correspondendo a 29,7 kWh por dia; para esta potência instalada foi selecionada uma bateria de capacidade 40,5 kWh (valor de armazenamento superdimensionado, mas o mais rentável a nível de oferta de mercado – aplicação de 3 baterias Tesla em série).

Então, o sistema é composto por:

Tabela 11 - Custos associados ao sistema com potência instalada de ~ 6 kW.

Componentes / Necessidades	Unidades	Preço final (€)
Painel - Módulo Fotovoltaico “REC 265” com capacidade de 265W	23	3887
Inversor - Fronius Galvo 2.5-1	2	2562
Bateria - Tesla Powerwall (2) – 13.5	3	19800
Estimativa Instalação + Manutenção (20 anos)	-----	1500
Total		27749

No que diz respeito à receita cumulativa referente à eletricidade produzida para autoconsumo de acordo com as simulações consideradas ao final de 20 anos haviam sido poupados 43800 € para VC, 45876 € para L e de 53445 € para P (Fig. 32).

Por sua vez e de acordo com os dados sobre Portugal da Agência Internacional de Energia durante os 20 anos de utilização foram poupadas 59702 toneladas de CO₂ para VC, 62651 para L e 73390 para P (Fig. 33).

Tendo em conta os custos mencionados na tabela 11, o “*payback*” para VC é obtido passados 12 anos, para Leiria após 11 e para Portimão após 10.

O lucro obtido entre esse período até ao final dos 20 anos situa-se em 16050,54 € para V, 18127,43 € para L e 25695,77 € para P.

Discussão

Tabela 12 - Anos de *payback* dos sistemas utilizados em cada uma das simulações.

Payback dos diversos sistemas por localização							
Localidades	Potência Instalada						
	0,5 kW	1 kW	1,5 kW	2 kW	2,5 kW	3 kW	6 kW
VC	17	17	12	13	12	15	12
L	17	16	12	11	12	14	11
P	14	13	10	9	10	12	10

Em todas as simulações efetuadas existe *payback* face ao investimento realizado e ao período temporal considerado (20 anos). Apesar disso o intervalo temporal da sua obtenção ainda é muito alto para o consumidor típico, o retorno mais rápido em Viana do Castelo ocorre ao fim de 12 anos para as simulações 3, 5 e 7, simulações com potência instalada de 1,5 kW, 2,5 kW e 6 kW, respetivamente; no que a Leiria diz respeito o *payback* mais curto ocorre 11 anos após investimento, simulação 4 (2 kW de potência instalada); De entre as cidades consideradas Portimão possui o tempo de *payback* mais curto, 9 anos, obtido na simulação 4, com 2 kW de potência instalada (Tab. 12 e Fig. 34).

No que concerne às diferenças entre as localizações geográficas simuladas Viana do Castelo, Leiria e Portimão que representam a zona norte, centro e sul, foram encontradas diferenças de *payback* consideráveis, Portimão apresenta como expectável maior produção energética e, por consequência maior lucro, em certas situações considerando sistemas exatamente iguais, Portimão possui um *payback* mais curto 4 anos do que Viana do Castelo (simulações 3 e 5 com potência instalada de 1,5 e 2,5 kW respetivamente). Os dados obtidos podem ajudar

fomentar o investimento em sistemas de PSFs + SAE na zona sul e desconstruem o mito de que a produção de PSFs quebra no verão devido às temperaturas altas. De facto, com aumento da temperatura as perdas do sistema instalado também sobem, mas o ganho produtivo do painel suplanta largamente esse valor (Tab. 12 e Fig. 34).

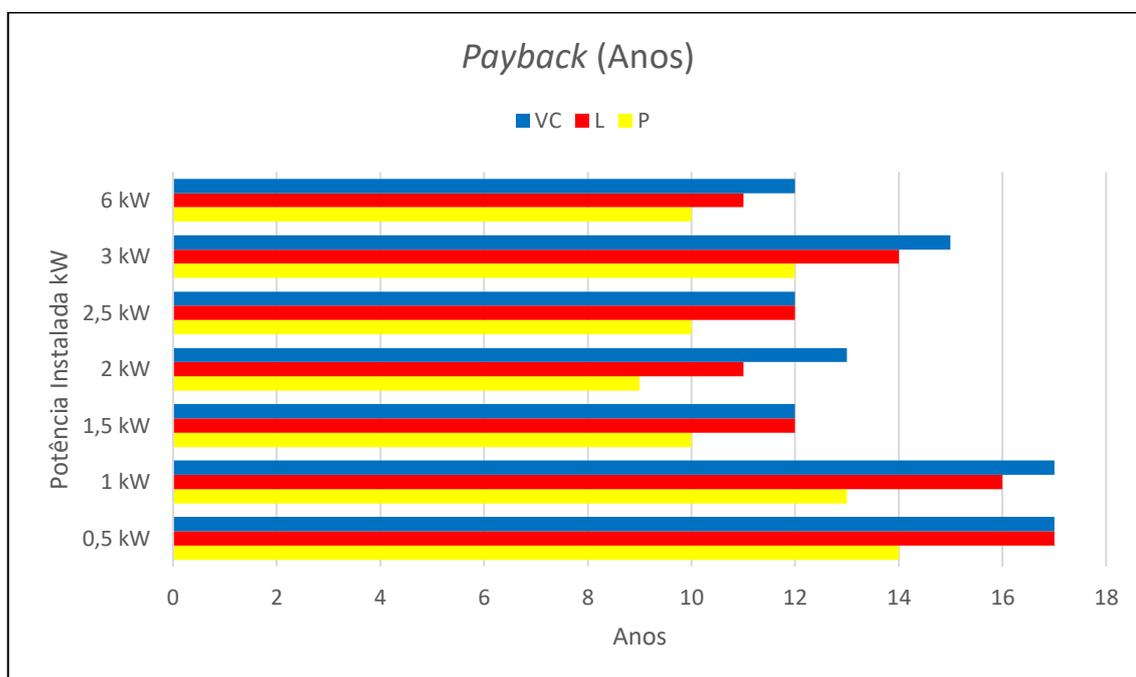


Figura 34 - Payback anual tendo em conta a potência instalada e respetivas localizações

A 20 anos todas as soluções testadas para todas as localizações escolhidas geraram lucro. O lucro verificado em Portimão destaca-se claramente do das restantes cidades testadas. Devido à falta de opções adequadas de mercado para a bateria que foi utilizada na simulação com potência instalada de 3 kW é curioso verificar que o investimento nesse equipamento condicionou o lucro pois a 20 anos este foi menor do que na simulação com a potência instalada de 2,5 kW o que não seria expectável (Tab. 13 e Fig. 35).

Tabela 13 - Lucro a 20 anos de acordo com a potência instalada e localidades, valores em €.

Localidades	Potência Instalada						
	0,5 kW	1 kW	1,5 kW	2 kW	2,5 kW	3 kW	6 kW
VC	361,16	966,73	4060,54	5485,44	5528,73	4332,89	16050,54
L	541,57	1318,74	4658,97	6193,87	6325,16	5212,93	18127,43
P	1179,60	2594,80	6784,26	8723,99	9172,09	8790,29	25695,77

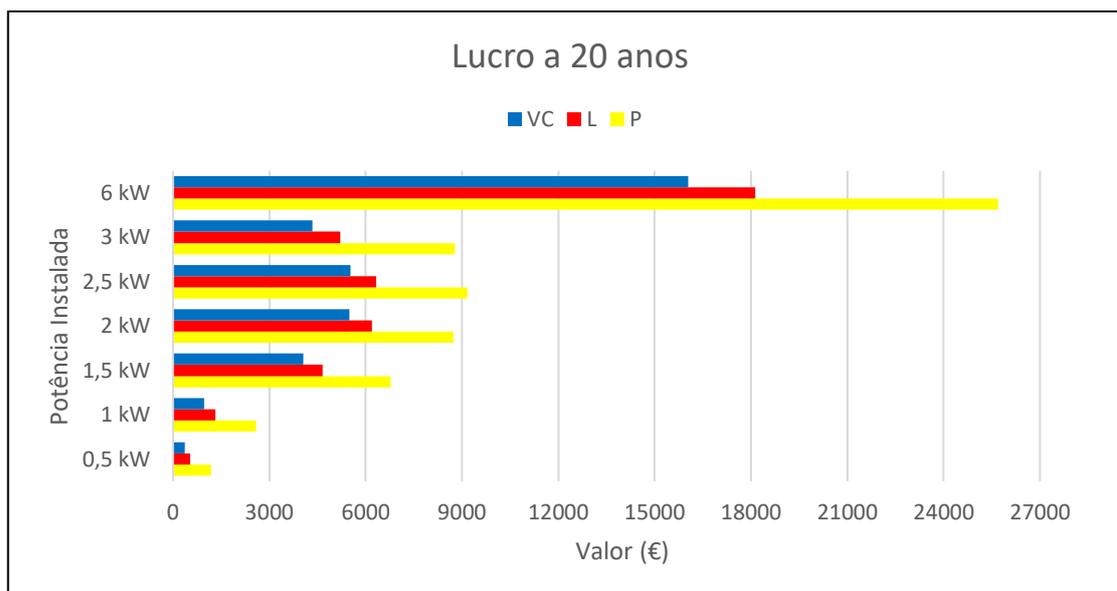


Figura 35 – Lucro a 20 anos respetivamente a potência instalada e localizações.

É extremamente importante assimilar também que todos os sistemas que foram testados têm potencialidade de gerar lucro no intervalo temporal considerado, neste caso 20 anos. No entanto tudo depende do perfil do consumidor, se este consumir pouca energia o investimento pode não compensar. De acordo com o que foi estipulado na secção de dados desta metodologia (4.2), para os perfis definidos, temos:

PCB - O único sistema que será compensador para um **perfil de consumo baixo** seria a simulação 1, ou seja, o sistema com potência instalada de $\sim 500\text{W}$ pois o custo no investimento nos restantes sistemas ultrapassa a quantia monetária gasta em eletricidade ao longo dos 20 anos simulados.

PCM - No que diz respeito ao **perfil de consumo médio** o investimento pode ser compensatório excluindo as duas últimas opções testadas, ou seja, a simulação 6 e 7 com $\sim 3\text{kW}$ e 6kW de potência instalada respetivamente.

PCE - Para o **perfil de consumo elevado** todos os investimentos podem ser compensatórios monetariamente com a exceção do sistema de $\sim 6\text{kW}$ de potência instalada em painéis cujo preço de investimento suplanta o gasto energético de energia comprada à rede ao longo de 20 anos. De qualquer forma é pertinente salientar que para consumidores domésticos com consumos elevados de energia, acima de $12,8\text{ kW/dia}$ (último perfil de consumo considerado) esta opção pode ser viável.

4.3.2 – Estudo VEs

Para aferir a possibilidade de integração de VEs com os sistemas de PSFs e SAE no mercado português foram considerados os 5 modelos mais vendidos de janeiro a abril de 2018 segundo o ranking da ACAP (Lusa, 2018). As características mais relevantes de cada um dos modelos encontram-se na tabela 14 (todos os dados foram retirados das respetivas páginas oficiais das marcas).

Tabela 14 - Algumas características dos VEs mais vendidos em Portugal, em 2018 entre os meses de janeiro a abril. Dados retirados dos respetivos sites oficiais, mercado português.

Modelo	Unidades vendidas	Preço (Versão base) (Eur)	Capacidade da bateria (kWh)	Autonomia (Km)	Potência (cv)	Velocidade Máxima (km/h)
Renault Zoe	485	32910 + 79 (ano) aluguer da bateria	22	300	92	135
Nissan Leaf	230	34900	40	270	150	144
Citroën C-Zero	153	30647	14,5	120	70	130
Smart EQ Fortwo	107	22500	17,6	155	71	130
BMW i3	73	46410	34	200	170	160

Tabela 15 - Características essenciais usadas para as simulações executadas.

Modelo	Preço (Versão base)	Capacidade da bateria (kWh)	Autonomia (km)
Renault Zoe	32910 + aluguer da bateria	22	300
Nissan Leaf	34900	40	270
Citroën C-Zero	30647	14,5	120
Smart EQ Fortwo	22500	17,6	155
BMW i3	46410	34	200

Segundo um relatório do ACP publicado no início de 2018, cerca de 80% dos trabalhadores portugueses desloca-se de carro para o seu local de trabalho, enquanto que mais de 45% dos estudantes usa este meio para chegar ao seu local de estudo.

A distância média percorrida pelo automobilista português é de 9000 km, o que equivale a 750 km por mês. Tendo por base o relatório do ACP é possível estimar quais os kWh necessários e quais os custos de compra de energia que seriam necessários para efetuar a uma média anual de 9000 km em VEs (Tab. 16).

Tabela 16 - kWh necessários para percorrer a distância de 9000 km em cada VEs selecionado.

Modelo	Cargas necessárias para percorrer os 9000 km	kWh anuais necessários	kWh mensais necessário	kWh diários necessários
Renault Zoe	30,00	660,00	55,00	1,83
Nissan Leaf	33,33	1333,33	111,11	3,70
Citroën C-Zero	75,00	1087,50	90,6	2,98
Smart EQ Fortwo	58,06	1021,94	85,16	2,84
BMW i3	45,00	1530,00	127,50	4,25

O encargo mensal dos portugueses relativamente aos seus carros foi estudado em (LeasePlan, 2016), onde se aferiram gastos no valor de 477 € e 525 € referentes a veículos a gasóleo e gasolina respetivamente. Estes valores refletem o custo total de propriedade de um veículo, estando compreendidos por isso valores de seguro, manutenção e combustíveis, estes representam apenas 16 % desse valor, o que significa que os gastos mensais em gasóleo e gasolina se situam em 76,32 € e 84 €, respetivamente.

De acordo com os dados anteriores é possível fazer uma comparação de custos associados ao gasto de “combustível” entre a média dos automóveis movidos a combustão de gasóleo/gasolina e os VEs supramencionados (Tab. 17).

Tabela 17 - Tabela comparativa de gastos de "combustíveis" de VEs vs automóveis a combustão.

Veículos Elétricos						
Modelo	Custo anual energia elétrica €		Custo mensal de energia elétrica €		Custo diário de energia elétrica €	
Renault Zoe	155,10		12,93		0,42	
Nissan Leaf	313,13		26,09		0,86	
Citroën C-Zero	255,56		21,30		0,70	
Smart EQ Fortwo	240,15		20,01		0,66	
BMW i3	359,55		29,96		0,99	
Automóveis a Combustão						
Consumo médio	Ano €		Mês €		Dia €	
	Gasóleo	Gasolina	Gasóleo	Gasolina	Gasóleo	Gasolina
	915,84	1008,00	76,32	84,00	2,51	2,76

Posteriormente à análise comparativa efetuada, (Tab. 18) é de fácil perceção que os VEs são significativamente mais económicos no que diz respeito ao “combustível” gasto, tal como expectável empiricamente. Apesar de ser um resultado prenunciado existem resultados a referenciar como o caso do veículo Renault, que se destaca dos seus pares de mercado de

forma positiva pois o custo de energia (ano) situa-se em ~155 €, em contraste com veículos de outras marcas e da mesma gama que possuem gastos de energéticos 2x superiores para a mesma distância percorrida tais como o Nissan Leaf e o BMW i3 (Tab. 17 e Fig. 36).

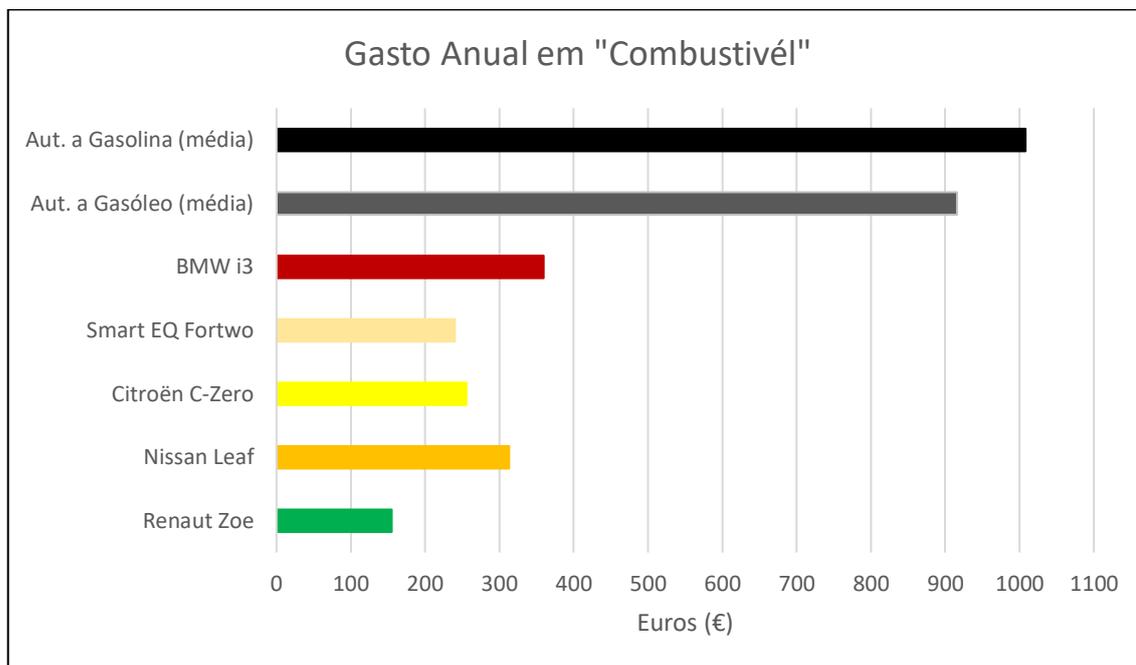


Figura 36 - Representação gráfica comparativa dos valores de gasto anual em "combustível".

Tabela 18 - Poupança anual e poupança anual cumulativa em 8 anos (considerando 30% de degradação da bateria).

Poupança Anual Comparativa	Gasóleo (€)	Gasolina (€)
Renault Zoe	760,74	852,90
Nissan Leaf	602,71	694,87
Citroen C-Zero	660,28	752,44
Smart EQ Fortwo	675,69	767,85
BMW i3	556,29	648,45
Poupança Anual Cumulativa Comparativa (8 anos)		
Renault Zoe	4260,14	4776,24
Nissan Leaf	3375,18	3891,27
Citroen C-Zero	3697,57	4213,66
Smart EQ Fortwo	3783,86	4299,96
BMW i3	3115,22	3631,32

Na Tabela 18, aos valores de gasóleo e gasolina gastos em média por ano foi retirado o valor gasto em energia elétrica em cada um dos modelos de VEs, para desta forma avaliar a poupança efetiva em comparação com automóveis com motores a combustão. Foram

calculados valores anuais e para 8 anos uma vez que este é o período de garantia providenciado para todos os modelos considerados.

Devido aos VEs considerados serem do ano 2018 não é possível aferir realisticamente qual a taxa de degradação das baterias ao longo do tempo. No entanto, de entre os modelos considerados existe um que já faz parte do mercado de CEs desde final de 2010, o Nissan Leaf, para este modelo já foi avaliada a perda de bateria anual por (Myall *et al.*, 2018), onde é referido que a perda de capacidade da bateria passados 8 anos é aproximadamente 30%. Nos cálculos a 8 anos esta percentagem de degradação é aplicada a todos os veículos (Tab. 18).

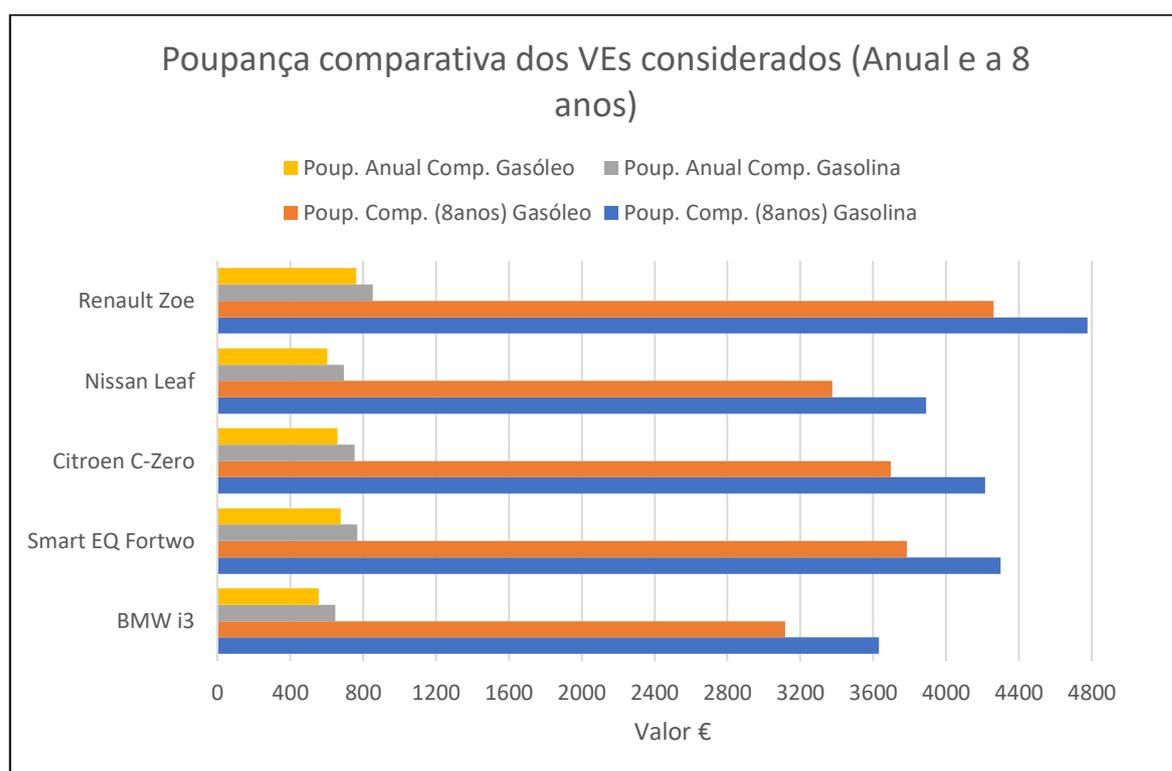


Figura 37 – Poupança de “combustível” comparativa (anual e a 8 anos) entre VEs e automóveis a combustão.

Os valores de poupança obtidos perante a análise comparativa realizada face ao consumo médio de veículos motorizados quer a gasóleo quer a gasolina são apelativos havendo um claro destaque para o Renault Zoe cuja a poupança comparativa a 8 anos ascende a valores superiores a 4250 € no caso do gasóleo e a 4700 € no que diz respeito à poupança comparativa para veículos motorizados a gasolina. Por outro lado, o BMW i3 possui valores de poupança comparativa bem mais baixos, pouco acima de 3100 € (gasóleo) e pouco acima de 3600 (gasolina) (Tab. 18 e Fig. 37).

Integração total – PSF + SAE + VE

Se o proprietário de um VE possuir um sistema de PSFs + SAE + VE, este pode prever o dimensionamento do sistema para que a energia que esteja armazenada consiga suprimir as necessidades energéticas não só das necessidades domésticas como também do seu VE.

Nesse caso a poupança dos VEs em relação aos carros motorizados a gásóleo / gasolina pode ser considerada não só a diferença entre preços dos combustíveis vs a energia gasta em carros elétricos e sim o total do gasto de combustíveis uma vez que toda a energia necessária para carregamento do VE foi gerada em sistema de autoconsumo, não sendo por isso energia paga à rede.

Nesse caso a poupança a 8 anos pode ascender para cada um dos veículos a 7326,72 € e 8064€ comparativamente ao que seria gasto em gásóleo e gasolina respetivamente.

5. Conclusões e implicações políticas

Existe uma clara aposta em ERs na Europa, tomando como exemplo a Alemanha que fez e continua a fazer avultados investimentos nesta área para diminuir a sua exacerbada dependência das importações provenientes da Rússia e da utilização de energia nuclear (Smedley, 2013). Entre as diversas energias renováveis uma das que apresenta maior crescimento e que se estima que assuma um papel cada vez mais fundamental no espectro das ERs é a energia solar (Vaughan, 2017).

Embora na UE cada vez mais se invista em sistemas de PSFs, em Portugal a adoção desta tecnologia é ainda residual apesar do elevado potencial do país relacionado com as elevadas taxas de incidência solar e dos avultados preços da eletricidade e gás e combustíveis (European Union, 2017).

Com a promulgação do Decreto-Lei n.º 153/2014 de 20 de outubro, tornou-se uma possibilidade a utilização da energia produzida em PSFs ser utilizada em regime de autoconsumo. Posto isto, com esta dissertação foi avaliada a possibilidade de existir autoconsumo em regime total aferindo os custos dos equipamentos no mercado atual e tendo em conta preço constante de eletricidade.

Consequentemente foram simuladas em *software* várias potências instaladas e avaliado o retorno financeiro para diferentes zonas do país (norte, centro e sul).

Portimão apresenta como expectável maior produção energética e, por consequência maior lucro, em certas situações considerando sistemas exatamente iguais, Portimão possui um *payback* mais curto 4 anos do que Viana do Castelo (simulações 3 e 5 com potência instalada de 1,5 e 2,5 kW respetivamente. Para a potência instalada de 2kW o *payback* da solução fotovoltaica integrada de Portimão era de apenas 9 anos contrastando com os 13 de Viana do Castelo, estes valores são relevantes para avaliação de investimento por parte do consumidor, uma vez que tem acesso prévio a dados sobre produção esperada e *payback* conjeturado.

Em vários estudos de soluções integradas foi descoberto que seria necessário um conjunto de fatores para que o investimento rentabilizasse, como por exemplo as tarifas de *feed in*, aumento considerável do preço da eletricidade, diminuição do preço da tecnologia, entre outros [(Truong *et al.*, 2016), (Rodrigues *et al.*, 2016a)]. Segundo as premissas definidas na metodologia, no caso das simulações efetuadas nesta dissertação considerando o preço da

eletricidade constante para que o consumidor obtenha retorno para as soluções testadas não existe necessidade que nenhum desses fatores de verifique.

Apesar dos resultados obtidos serem positivos na ótica do consumidor este mercado é ainda muito recente (particularmente o que se gerou após a possibilidade de autoconsumo ser viabilizada em decreto-lei) pois depende de inúmeras variáveis que podem ser consideradas como limitações, por exemplo: a variabilidade do preço da energia, a degradação dos equipamentos considerados, apesar de ter sido utilizada a média do consumo e o dimensionamento das baterias ter sido feito acima deste valor, para meses de inverno existe elevada possibilidade de haver necessidade de recurso à rede (sobretudo em Viana do Castelo e Leiria) o que inevitavelmente levaria a um aumento no prazo de *payback*, etc.

Nesta dissertação foram encontrados dados de poupança, como expectável, de VE's face a automóveis a combustão no que diz respeito a gastos de “combustível”, no entanto, mesmo dentro da mesma gama o consumidor deve estar atento à correlação entre a capacidade em kWh da bateria e a autonomia pois por exemplo a por exemplo o BMW i3 apresenta um custo anual de energia elétrica duas vezes superior ao Renault Zoe.

O ainda elevado preço inicial face à gama percebida pelo consumidor, aliada à descartabilidade dos VEs são também fatores que demovem o consumidor. Embora exista poupança efetiva de “combustível” durante os anos de utilização dos veículos, findos os anos de garantia da bateria o valor comercial do veículo para revenda, o designado como “mercado de segunda-mão”, é extremamente baixo, ou, por vezes, considerado como descartável caso haja necessidade de troca de bateria. Para contrariar a retração do consumidor face ao mencionado a Renault possui já em vigor uma *fee* anual de “aluguer” de bateria o que significa que caso a performance da bateria desça abaixo de 75 % esta é trocada pela marca sem encargos adicionais. Portanto, na revenda não existe a desvalorização que foi mencionada anteriormente pois o proprietário está apenas a vender o veículo.

Na sequência da premissa holística desta dissertação, no futuro será proveitosa a elaboração de um estudo exaustivo similar com o intuito de verificar a potencialidade da integração de PSFs+SAE+VEs em seio empresarial. O maior entrave ao *payback* que foi detetado para regimes domésticos é sobretudo o preço da bateria. No caso das empresas normalmente acontece o oposto do caso doméstico, ou seja, a energia é necessária no período em que o sol está a incidir no painel não sendo provavelmente necessário na maior parte dos casos um dimensionamento muito grande de baterias o que proporciona uma poupança nos custos diminuindo por consequência o *payback*, A utilização de VEs como

frota possui diversas vantagens como baixa manutenção, poupança de combustível, isenção de IUC, comparativamente a carros motorizados a gásóleo e gasolina, entre outros benefícios.

6. Referências

- ASKARI, I. B. & AMERI, M. 2009. Optimal sizing of photovoltaic—battery power systems in a remote region in Kerman, Iran. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 223, 563-570.
- BOFFEY, D. & NESLEN, A. 2017. China and EU strengthen promise to Paris deal with US poised to step away. *The Guardian*.
- BRAUN, M., BÜDENBENDER, K., MAGNOR, D. & JOSSEN, A. 2009. *Photovoltaic self-consumption in Germany - Using lithium-ion storage to increase self-consumed photovoltaic energy*.
- CABRITA-MENDES, A. 2017. Vendas de carros eléctricos batem recorde em sete meses. *Jornal de Negócios*.
- CARRINGTON, D. 2017. Diesel vehicles will disappear sooner than expected, says EU industry chief. *The Guardian*.
- CELIK, A. N., MUNEEER, T. & CLARKE, P. 2007. Optimal sizing and life cycle assessment of residential photovoltaic energy systems with battery storage. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 16, 69-85.
- CHESTNEY, N. 2018. Global carbon emissions hit record high in 2017. *Reuters*.
- CLASTRES, C., HA PHAM, T. T., WURTZ, F. & BACHA, S. 2010. Ancillary services and optimal household energy management with photovoltaic production. *Energy*, 35, 55-64.
- COLMENAR-SANTOS, A., CAMPÍÑEZ-ROMERO, S., PÉREZ-MOLINA, C. & CASTRO-GIL, M. 2012. Profitability analysis of grid-connected photovoltaic facilities for household electricity self-sufficiency. *Energy Policy*, 51, 749-764.
- COLVILLE, F. 2018. *Top 10 module suppliers in 2017* [Online]. PVTECH. Available: <https://www.pv-tech.org/editors-blog/top-10-module-suppliers-in-2017> [Accessed 24-02-2018 2018].
- CONSULMARK 2017. Estudo de opinião no âmbito de uma campanha de sensibilização e promoção da eficiência energética na Habitação Particular. <https://www.adene.pt/aceleracao-da-eficiencia-energetica-na-habitacao-particular/>.
- CROOKS, E. 2016. LG Chem to take on Tesla in home power storage. *Financial Times*.
- DAVIS, M. J. M. & HIRALAL, P. 2016. Batteries as a Service: A New Look at Electricity Peak Demand Management for Houses in the UK. *Procedia Engineering*, 145, 1448-1455.
- DE WILD-SCHOLTEN, M. J. 2013. Energy payback time and carbon footprint of commercial photovoltaic systems. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 119, 296-305.
- DIVYA, K. C. & ØSTERGAARD, J. 2009. Battery energy storage technology for power systems—An overview. *Electric Power Systems Research*, 79, 511-520.
- ESCALANTE SOBERANIS, M. A., MITHRUSH, T., BASSAM, A. & MÉRIDA, W. 2018. A sensitivity analysis to determine technical and economic feasibility of energy storage systems implementation: A flow battery case study. *Renewable Energy*, 115, 547-557.
- EUROPEAN UNION, E. 2014. Living conditions in Europe. eurostat Statistical books.
- EUROPEAN UNION, E. 2017. Price level index for electricity & gas , furniture, household appliances and consumer electronics, 2017, EU-28=100-Table2. Eurostat statistics explained.
- FINANÇAS, E. E. 2017. *Portugal tem a eletricidade e o gás mais caros da Europa – 2016* [Online]. Economia e Finanças. Available: <https://economiafinancas.com/2017/portugal-eletricidade-gas-caros-da-europa/> [Accessed 02/02/2018 2018].

- FONSECA, T. 2015. Portugueses preferem comprar moradias e estão satisfeitos com a sua casa. *Dinhero Vivo*.
- GIES, E. 2010. Are solar panels the next e-waste? *The Guardian*.
- GREEN, M. A., EMERY, K., HISHIKAWA, Y., WARTA, W. & DUNLOP, E. D. 2015. Solar cell efficiency tables (Version 45). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 23, 1-9.
- HODSON, N. & NEWMAN, J. 2009. A new segmentation for electric vehicles. McKinsey & Company.
- HOLDERMANN, C., KISSEL, J. & BEIGEL, J. 2014. Distributed photovoltaic generation in Brazil: An economic viability analysis of small-scale photovoltaic systems in the residential and commercial sectors. *Energy Policy*, 67, 612-617.
- HOPPMANN, J., VOLLAND, J., SCHMIDT, T. S. & HOFFMANN, V. H. 2014. The economic viability of battery storage for residential solar photovoltaic systems – A review and a simulation model. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 1101-1118.
- HURTADO, E., PEÑALVO-LÓPEZ, E., PÉREZ-NAVARRO, Á., VARGAS, C. & ALFONSO, D. 2015. Optimization of a hybrid renewable system for high feasibility application in non-connected zones. *Applied Energy*, 155, 308-314.
- HUSSIN, F., ISSABAYEVA, G. & AROUA MOHAMED, K. 2018. Solar photovoltaic applications: opportunities and challenges. *Reviews in Chemical Engineering*.
- IEA 2014. Renewable Energy: Medium- Term Market Report 2014.
- IEA 2016. Renewable energy. Medium-Term market Report 2016.
- INE 2018. Consumo doméstico de energia elétrica por consumidor (kWh/ cons.) por Localização geográfica (NUTS - 2013); Anual; Período de referência dos dados 2016.
- JACOBSON, M. Z. & DELUCCHI, M. A. 2011. Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part I: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure, and materials. *Energy Policy*, 39, 1154-1169.
- KBB. 2018. *Principais vantagens e desvantagens dos carros elétricos* [Online]. Available: <https://www.kbb.pt/detalhes-noticia/vantagens-desvantagens-carros-eletricos/?ID=60> [Accessed 07/09/2018 2018].
- KEIM, B. 2015. Obama's \$4bn clean-energy initiative: a big number hiding a bigger idea. *The Guardian*.
- KHALIGH, A. & LI, Z. 2010. Battery, Ultracapacitor, Fuel Cell, and Hybrid Energy Storage Systems for Electric, Hybrid Electric, Fuel Cell, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles: State of the Art. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 59, 2806-2814.
- KHOUCHA, F., BENBOUZID, M., AMIRAT, Y. & KHELOUI, A. Integrated energy management of a plug-in electric vehicle in residential distribution systems with renewables. 2015 IEEE 24th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), 3-5 June 2015 2015. 717-722.
- LACEY, S. 2011. How China dominates solar power. *The Guardian*.
- LEASEPLAN 2016. Car Cost Index 2016.
- LISERRE, M., SAUTER, T. & HUNG, J. Y. 2010. Future Energy Systems: Integrating Renewable Energy Sources into the Smart Power Grid Through Industrial Electronics. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 4, 18-37.
- LOPES, R. 2018. Venda de veículos elétricos quase triplica até Abril. *Público*.
- LUSA. 2018. *Vendas de carros elétricos estão a disparar. Estes são os mais vendidos em Portugal*. [Online]. Economia Online. Available: <https://eco.pt/2018/06/17/vendas-de-carros-eletricos-disparam-este-sao-os-preferidos/> [Accessed 2018].
- MAHMOUDZADEH ANDWARI, A., PESIRIDIS, A., RAJOO, S., MARTINEZ-BOTAS, R. & ESFAHANIAN, V. 2017. A review of Battery Electric Vehicle technology and readiness levels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 414-430.

- MARZBAND, M., ALAVI, H., GHAZIMIRSAEID, S. S., UPPAL, H. & FERNANDO, T. 2017. Optimal energy management system based on stochastic approach for a home Microgrid with integrated responsive load demand and energy storage. *Sustainable Cities and Society*, 28, 256-264.
- MOREIRA, R. 2015. *Sabia que já é possível produzir a sua própria energia elétrica?* [Online]. pplware: pplware. Available: <https://pplware.sapo.pt/informacao/sabia-que-ja-e-possivel-produzir-a-sua-propria-energia-eletrica/> [Accessed 2018].
- MYALL, D., IVANOV, D., LARASON, W., NIXON, M. & MOLLER, H. 2018. Accelerated Reported Battery Capacity Loss in 30 kWh Variants of the Nissan Leaf. *Preprints 2018*.
- OLIVEIRA, A. B. 2018. Portugal tem dos preços mais altos da UE no gás e electricidade. *Jornal de Negócios*.
- PARIDA, B., INIYAN, S. & GOIC, R. 2011. A review of solar photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 1625-1636.
- PERPIÑA CASTILLO, C., BATISTA E SILVA, F. & LAVALLE, C. 2016. An assessment of the regional potential for solar power generation in EU-28. *Energy Policy*, 88, 86-99.
- PORDATA 2018. Preços da electricidade para utilizadores domésticos e industriais (Euro/ECU).
- RAÍNHO, P. 2017. *Fact Check/ Pagamos a eletricidade mais cara da Europa?* [Online]. Observador: Observador. Available: <http://observador.pt/factchecks/pagamos-a-eletricidade-mais-cara-da-europa/> [Accessed 20/02/2018 2018].
- RODRIGUES, S., FARIA, F., R. IVAKI, A., CAFÔFO, N., CHEN, X., MATA-LIMA, H. & DIAS, M. 2016a. *Tesla powerwall: Analysis of its use in Portugal and United States*.
- RODRIGUES, S., FARIA, F., R. IVAKI, A., CAFÔFO, N., CHEN, X., MATA-LIMA, H. & MORGADO-DIAS, F. 2016b. *Tesla powerwall: Analysis of its use in Portugal and United States*.
- SHAKERI, M., SHAYESTEGAN, M., ABUNIMA, H., REZA, S. M. S., AKHTARUZZAMAN, M., ALAMOUD, A. R. M., SOPIAN, K. & AMIN, N. 2017. An intelligent system architecture in home energy management systems (HEMS) for efficient demand response in smart grid. *Energy and Buildings*, 138, 154-164.
- SMEDLEY, T. 2013. Goodbye nuclear power: Germany's renewable energy revolution. *The Guardian*.
- TESLA. 2018. *Configuração Model S* [Online]. Available: https://www.tesla.com/pt_PT/models/design [Accessed 25-03.2018 2018].
- TRUONG, C., NAUMANN, M., KARL, R., MÜLLER, M., JOSSEN, A. & HESSE, H. 2016. Economics of Residential Photovoltaic Battery Systems in Germany: The Case of Tesla's Powerwall. *Batteries*, 2, 14.
- VAUGHAN, A. 2017. Time to shine: Solar power is fastest-growing source of new energy. *The Guardian*.
- VAUGHAN, A. 2018. Ban new petrol and diesel cars in 2030, not 2040, says thinktank. *The Guardian*.
- WANG, U. 2015. Tesla's Powerwall to flow batteries: a guide to the energy storage revolution. *The Guardian*.
- WEIß, T. & SCHULZ, D. 2013. Overview of the electricity supply system and an estimation of future energy storage needs *In: PROJECT, S.* (ed.).
- WEITEMEYER, S., KLEINHANS, D., VOGT, T. & AGERT, C. 2015. Integration of Renewable Energy Sources in future power systems: The role of storage. *Renewable Energy*, 75, 14-20.
- WESOFF, E. 2017. Solar Costs Are Hitting Jaw-Dropping Lows in Every Region of the World. *GTM Research*.
- ZHOU, B., LI, W., CHAN, K. W., CAO, Y., KUANG, Y., LIU, X. & WANG, X. 2016. Smart home energy management systems: Concept, configurations, and scheduling strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 61, 30-40.

F
A
C
U
L
D
A
D
E
D
E
E
C
O
N
O
M
I
A

