



UNIVERSIDADE D
COIMBRA



António Manuel Videira Abrantes

**DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO COM
ARMAZENAMENTO PARA AUTOCONSUMO**

METODOLOGIA COM APLICAÇÃO A ESTUDO DE CASO

VOLUME 1

Dissertação no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, área de especialização em Energia, orientada pelo Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge e apresentada ao Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Maio de 2019

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO COM ARMAZENAMENTO PARA AUTOCONSUMO

METODOLOGIA COM APLICAÇÃO A ESTUDO DE CASO

António Manuel Videira Abrantes

VOLUME 1

Dissertação no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, área de especialização em Energia, orientada pelo Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge e apresentada ao Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Maio de 2019



UNIVERSIDADE D
COIMBRA



AGRADECIMENTOS

Chega assim ao fim mais uma etapa de vida, a qual foi alcançada com algum sacrifício, mas sempre sem baixar os braços.

Começo assim, por agradecer ao atual Diretor do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge, pela orientação, compreensão e apoio na realização desta dissertação.

Quero também agradecer a todos os colegas e amigos que me acompanharam ao longo desta etapa, com quem tive a oportunidade de partilhar várias experiências inesquecíveis e únicas.

Por último, agradeço aos meus pais, irmãs e a todos os familiares em geral, as palavras de incentivo, sempre necessárias à realização de uma etapa desta natureza.

A vontade e o esforço são meio caminho para alcançar os objetivos!

RESUMO

Esta dissertação começa com uma abordagem sobre a dependência atual dos combustíveis fósseis para a produção de energia elétrica e das problemáticas a que os mesmos estão associados, fazendo uma interligação às energias renováveis, destacando as vantagens das mesmas, para o meio ambiente e para a economia. É demonstrado como as energias renováveis têm evoluído em Portugal, mais concretamente a energia solar, destacando que Portugal é um país com benefícios acrescidos em relação aos demais países da Europa, devido ao seu número elevado de horas de sol anuais, em média 2200 a 3000 horas. Posto isto, é abordada a legislação referente à produção distribuída que atualmente vigora em Portugal, a qual incentiva de algum modo o autoconsumo.

Segue-se o estado da arte, o qual é dividido em dois capítulos, um correspondente ao autoconsumo fotovoltaico e outro onde é aprofundado o conhecimento das tecnologias de armazenamento as quais permitem o aumento do autoconsumo.

Por conseguinte, é feita a caracterização do consumidor usado no estudo de caso, referente essencialmente às características do seu consumo energético, o qual apresenta uma forte sazonalidade, com consumo excessivo de eletricidade no inverno em comparação com o consumo no verão. A forte sazonalidade deve-se ao facto de usar energia elétrica tanto para aquecimento ambiente, como para apoio elétrico ao sistema solar térmico para aquecimento de águas sanitárias que é sobretudo usado no inverno.

Posteriormente, são descritas duas metodologias para dimensionamento de sistema fotovoltaico residencial com armazenamento para autoconsumo, as quais diferem na quantidade de dados a que têm acesso, uma com dados de consumo e um período temporal longo (um ano) com resolução de 15 min, designada por metodologia 1, e a outra requer simplesmente o acesso a faturas mensais de energia, de um ano, a qual se designa por metodologia 2. A construção destas metodologias baseia-se no cálculo de alguns indicadores específicos, com os quais é possível chegar a soluções de potência de produção e capacidade de armazenamento indicadas para o consumidor em estudo.

O que se pretende com este trabalho é que as duas metodologias apresentem resultados semelhantes de modo a validar a segunda metodologia, a mais promissora de poder ser usada devido ao facto de usar dados mais fáceis de obter.

Com o uso das duas metodologias, os resultados encontrados foram equivalentes, o que é possível afirmar que a segunda metodologia, a qual pretende ser um método mais simples de análise, é uma boa alternativa à metodologia 1.

Palavras-Chave: Energias Renováveis, Energia Solar, Produção Distribuída, Autoconsumo Fotovoltaico, Tecnologias de Armazenamento.

ABSTRACT

This dissertation begins with an approach to the current dependence on fossil fuels to produce electrical energy and the associated problems and, make a link with renewable energies, highlighting their advantages for both the environment and the economy. How renewable energies, more specifically solar energy, have evolved in Portugal is discussed, while noting that Portugal is a country with greater benefits compared to other countries in Europe, due to the high number of annual sun hours, on average 2200 to 3000. This is followed by comment the legislation regarding distributed production of energy that currently operates in Portugal, which in some ways encourages self-consumption.

Then the state of the art is described, which is divided into two chapters, one corresponds to self-consumption of photovoltaic energy and the other, where a more profound discussion of the knowledge relating to storage technologies occurs and which has allowed an increase in self-consumption.

Following this, the consumer used in the case study is characterised, referring essentially to the characteristics of its energy consumption, which presents a strong seasonality with excessive consumption of electricity in the winter compared to the summer. This significant seasonality is due to the fact of using electrical energy for both ambient heating and for electrical support to the solar thermal system for heating sanitary waters, mainly used in winter.

Afterwards, two methodologies for designing a residential photovoltaic system with storage for self-consumption are described, which differ in the amount of data used, one with consumption data and over a long time period (one year) with 15 minutes resolution, designated as methodology 1, and the other simply requires access to monthly energy bills over one year, which is designated as methodology 2. The construction of these methodologies is based on the calculation of some specific indicators, with which it is possible to arrive at solutions for the amount of energy produced and the storage capacity indicated for the consumer under study.

The goal of this work is to demonstrate that the two methodologies present similar results in order to validate the second methodology, which is the more promising, as it is easier to obtain the necessary data.

With the use of these two methodologies, the results were essentially equivalent, which make it possible to affirm that the second methodology, which is pretends a simpler method of analysis, is a good alternative to methodology 1.

Keywords: Renewable Energy, Solar Energy, Distributed Production, Self-Consumption Photovoltaic, Storage Technologies.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE	VII
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS	XI
LISTA DE SIGLAS	XIII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 ENQUADRAMENTO	1
1.2 OBJETIVOS.....	4
1.3 ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO	4
2. ESTADO DA ARTE: AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO	7
2.1 VANTAGENS E BARREIRAS.....	7
2.2 COMPONENTES DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO	8
2.3 UNIDADES DE PRODUÇÃO PARA AUTOCONSUMO (UPAC).....	9
2.3.1 <i>UPAC sem Ligação à Rede</i>	9
2.3.2 <i>UPAC com Ligação à Rede</i>	10
2.3.2.1 Remuneração da Energia Excedente.....	12
2.4 CONDIÇÕES NORMATIVAS LIGAÇÃO UPAC.....	13
3. ESTADO DA ARTE: TECNOLOGIAS DE ARMAZENAMENTO	15
3.1 SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO	15
3.2 BATERIAS	16
3.2.1 <i>Características Fundamentais das Baterias</i>	16
3.2.2 <i>Tipos de Baterias</i>	17
3.3 TECNOLOGIAS DE GESTÃO E ARMAZENAMENTO NO MERCADO	18
3.3.1 <i>ABB React</i>	19
3.3.2 <i>LG Chem RESU</i>	20
4. CARATERIZAÇÃO DA INSTALAÇÃO E DO CONSUMIDOR	21
4.1 LOCALIZAÇÃO E CARATERÍSTICAS DA INSTALAÇÃO	21
4.2 PERFIL DE CONSUMO	23

4.3	PERFIL DE PRODUÇÃO.....	24
5.	METODOLOGIAS DESENVOLVIDAS	27
5.1	METODOLOGIA 1	27
5.2	METODOLOGIA 2	29
6.	ANÁLISE DE RESULTADOS.....	33
6.1	CASO 1 - USANDO A METODOLOGIA 1	33
6.1.1	<i>Sistema para Autoconsumo sem Armazenamento</i>	<i>33</i>
6.1.2	<i>Sistema para Autoconsumo com Armazenamento</i>	<i>35</i>
6.2	CASO 2 - USANDO A METODOLOGIA 2	39
6.2.1	<i>Sistema para Autoconsumo sem Armazenamento</i>	<i>39</i>
6.2.2	<i>Sistema para Autoconsumo com Armazenamento</i>	<i>41</i>
6.3	CONCLUSÕES	45
7.	CONCLUSÕES.....	49
7.1	TRABALHOS FUTUROS.....	50
	REFERÊNCIAS	51
	ANEXO A – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DAS TECNOLOGIAS DE ARMAZENAMENTO	53
	ANEXO B – DADOS MENSIS REFERENTES AO USO DA METODOLOGIA 1	55
	ANEXO C – DADOS MENSIS REFERENTES AO USO DA METODOLOGIA 2	57

LISTA DE FIGURAS

FIG. 1.1 – REPARTIÇÃO DAS FONTES NA PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE EM PORTUGAL CONTINENTAL [3].	1
FIG. 1.2 – EVOLUÇÃO DA POTÊNCIA INSTALADA DO PARQUE ELECTROPRODUTOR PORTUGUÊS [4].	2
FIG. 1.3 – POTENCIAL DE ENERGIA FOTOVOLTAICA [8].	2
FIG. 1.4 – EVOLUÇÃO DA POTÊNCIA FOTOVOLTAICA INSTALADA EM PORTUGAL [10].	3
FIG. 2.1 – SISTEMA DE AUTOCONSUMO ISOLADO DA RESP [15].	10
FIG. 2.2 – SISTEMA DE AUTOCONSUMO LIGADO À RESP [15].	11
FIG. 2.3 – PERFIL TÍPICO DIÁRIO DE AUTOCONSUMO SEM ARMAZENAMENTO [7].	11
FIG. 2.4 – PERFIL TÍPICO DIÁRIO DE AUTOCONSUMO COM ARMAZENAMENTO [7].	12
FIG. 2.5 – ESQUEMA DE LIGAÇÃO DE UMA UPAC COM E SEM VENDA DE ELETRICIDADE À RESP [16].	14
FIG. 3.1 – PRODUÇÃO/PROCURA DE ENERGIA [2].	15
FIG. 3.2 – ABB REACT 2 [24].	19
FIG. 3.3 – LG CHEM RESU [25].	20
FIG. 4.1 – CICLO SEMANAL (HORÁRIO DE VERÃO)[26].	22
FIG. 4.2 – CICLO SEMANAL (HORÁRIO DE INVERNO)[26].	22
FIG. 4.3 – CONSUMOS (A) E ENCARGOS ENERGÉTICOS (B) MENSIS DO ANO 2018.	23
FIG. 4.4 – PRODUÇÃO FOTOVOLTAICA EM JANEIRO E AGOSTO.	25
FIG. 5.1 – EXEMPLO AMBIENTE INTERATIVO METODOLOGIA 1.	28
FIG. 5.2 – DADOS RELATIVOS AO AUTOCONSUMO, COM UMA POTÊNCIA DE PRODUÇÃO DE 250 W E UMA CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DE 1000 WH (A) E COM UMA POTÊNCIA DE PRODUÇÃO DE 1500 W E UMA CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DE 10000 WH (B).	31
FIG. 5.3 – EXEMPLO AMBIENTE INTERATIVO METODOLOGIA 2.	32
FIG. 6.1 – DADOS REFERENTES A UM SISTEMA SEM ARMAZENAMENTO INTEGRADO.	34
FIG. 6.2 – DADOS RELATIVOS À CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE 750 W.	36
FIG. 6.3 – DADOS RELATIVOS À CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE 1000 W.	37
FIG. 6.4 – DADOS RELATIVOS À CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE 1250 W.	38
FIG. 6.5 – DADOS RELATIVOS À CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE 1500 W.	39
FIG. 6.6 – DADOS REFERENTES A UM SISTEMA SEM ARMAZENAMENTO INTEGRADO.	40
FIG. 6.7 – DADOS RELATIVOS À CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE 750 W.	42
FIG. 6.8 – DADOS RELATIVOS À CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE 1000 W.	43
FIG. 6.9 – DADOS RELATIVOS À CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE 1250 W.	44
FIG. 6.10 – DADOS RELATIVOS À CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE 1500 W.	45
FIG. 6.11 – DADOS REFERENTES ÀS SOLUÇÕES APRESENTADAS AO CONSUMIDOR (METODOLOGIA 1).	46
FIG. 6.12 – DADOS REFERENTES ÀS SOLUÇÕES APRESENTADAS AO CONSUMIDOR (METODOLOGIA 2).	47

FIG. A 1 – CARATERÍSTICAS TÉCNICAS DO REACT 2 DA ABB [24].	53
FIG. A 2 – CARATERÍSTICAS TÉCNICAS DAS BATERIAS DA LG [25].....	53
FIG. B 1 – DADOS REFERENTES: POTÊNCIA DE PRODUÇÃO DE 750 W E CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DE 3000 WH. ..	55
FIG. B 2 – DADOS REFERENTES: POTÊNCIA DE PRODUÇÃO DE 1000 W E CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DE 4000 WH. 55	
FIG. B 3 – DADOS REFERENTES: POTÊNCIA DE PRODUÇÃO DE 1250 W E CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DE 5000 WH. 55	
FIG. B 4 – DADOS REFERENTES: POTÊNCIA DE PRODUÇÃO DE 1500 W E CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DE 6000 WH. 56	
FIG. C 1 – DADOS REFERENTES: POTÊNCIA DE PRODUÇÃO DE 750 W E CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DE 3000 WH. ..	57
FIG. C 2 – DADOS REFERENTES: POTÊNCIA DE PRODUÇÃO DE 1000 W E CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DE 4000 WH. 57	
FIG. C 3 – DADOS REFERENTES: POTÊNCIA DE PRODUÇÃO DE 1250 W E CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DE 5000 WH. 57	
FIG. C 4 – DADOS REFERENTES: POTÊNCIA DE PRODUÇÃO DE 1500 W E CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DE 6000 WH. 58	

LISTA DE TABELAS

TABELA 4.1 – CARACTERÍSTICAS DA INSTALAÇÃO.	21
TABELA 4.2 – PREÇÁRIO DA TARIFA BI-HORÁRIA.....	22
TABELA 4.3 – CONSUMOS E ENCARGOS ENERGÉTICOS MENSAIS DO ANO 2018.....	23
TABELA 4.4 – PRODUÇÃO MENSAL DAS VÁRIAS POTÊNCIAS INSTALADAS, PARA A REGIÃO DE COIMBRA.....	24
TABELA 5.1 – DESAGREGAÇÃO DE CONSUMO POR PERÍODO DE HORAS.	30
TABELA 5.2 – NÚMERO DE HORAS COM PRODUÇÃO ANUAL.	30
TABELA 6.1 – DADOS REFERENTES A UM SISTEMA SEM ARMAZENAMENTO INTEGRADO.	33
TABELA 6.2 – DADOS RELATIVOS À CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE 750 W.....	35
TABELA 6.3 – DADOS RELATIVOS À CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE 1000 W.....	36
TABELA 6.4 – DADOS RELATIVOS À CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE 1250 W.....	37
TABELA 6.5 – DADOS RELATIVOS À CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE 1500 W.....	38
TABELA 6.6 – DADOS REFERENTES A UM SISTEMA SEM ARMAZENAMENTO INTEGRADO.	40
TABELA 6.7 – DADOS RELATIVOS À CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE 750 W.....	41
TABELA 6.8 – DADOS RELATIVOS À CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE 1000 W.....	42
TABELA 6.9 – DADOS RELATIVOS À CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE 1250 W.....	43
TABELA 6.10 – DADOS RELATIVOS À CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE 1500 W.....	44
TABELA 6.11 – DADOS REFERENTES ÀS SOLUÇÕES APRESENTADAS AO CONSUMIDOR (METODOLOGIA 1).	46
TABELA 6.12 – DADOS REFERENTES ÀS SOLUÇÕES APRESENTADAS AO CONSUMIDOR (METODOLOGIA 2).	47

LISTA DE SIGLAS

AC	Corrente Alternada
CO ₂	Dióxido de Carbono
DC	Corrente Contínua
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
DL	Decreto-Lei
EDP	Energias de Portugal
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
FER	Fontes de Energia Renovável
GEE	Gases com Efeito de Estufa
IEC	Imposto Especial de Consumo
LiFePO ₄	Fosfato de Lítio-Ferro
Li-Ion	Iões de Lítio
OMIE	Operador Médio do Mercado Ibérico de Energia
Pb-Acid	Chumbo Ácido
RESP	Rede Elétrica de Serviço Público
SERUP	Sistema Eletrónico de Registo de Unidades de Produção
TAR	Tarifa de Acesso às Redes
UPAC	Unidades de Produção para Autoconsumo
UPP	Unidades de Pequena Produção

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Ao longo dos anos tem-se verificado uma crescente dependência do ser humano no uso de energia elétrica, o que hoje em dia, ainda recorre a um uso excessivo de combustíveis fósseis para a sua produção, resultando, por sua vez em emissões de gases poluentes derivados da sua combustão, como é o caso do dióxido de carbono, e à conseqüente subida da temperatura média na Terra [1].

Surge assim, a necessidade de apostar em fontes de energia limpas e inesgotáveis, como sejam, as energias renováveis. Estas são caracterizadas pela sua dispersão e pelo facto de que praticamente todas as formas de energia primária disponíveis na natureza possam ser convertidas em energia elétrica [2].

No ano de 2018, Portugal registou uma taxa aceitável de incorporação de fontes de energia renovável (FER), na produção de eletricidade, cerca de 53,1% (29,30 TWh), num total de produção elétrica anual de 55,13 TWh. Os restantes 46,9% (25,83 TWh) foram de origem fóssil como se mostra na Fig. 1.1. Desta maneira, a produção renovável representou um aumento de 26% face a 2017 [3].

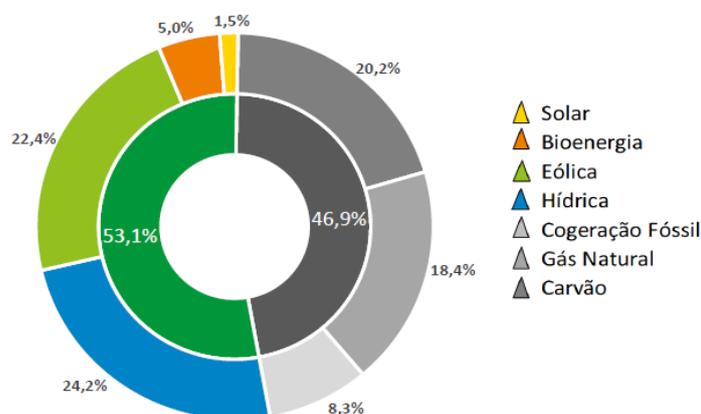


Fig. 1.1 – Repartição das fontes na produção de eletricidade em Portugal Continental [3].

A Fig. 1.2 mostra em maior detalhe a evolução das energias renováveis em Portugal desde o ano 2000 até 2017 onde, a potência instalada nos centros electroprodutores renováveis aumentou de 3,9 GW para 13,7 GW, com um crescimento médio anual que ronda os 8% [4].

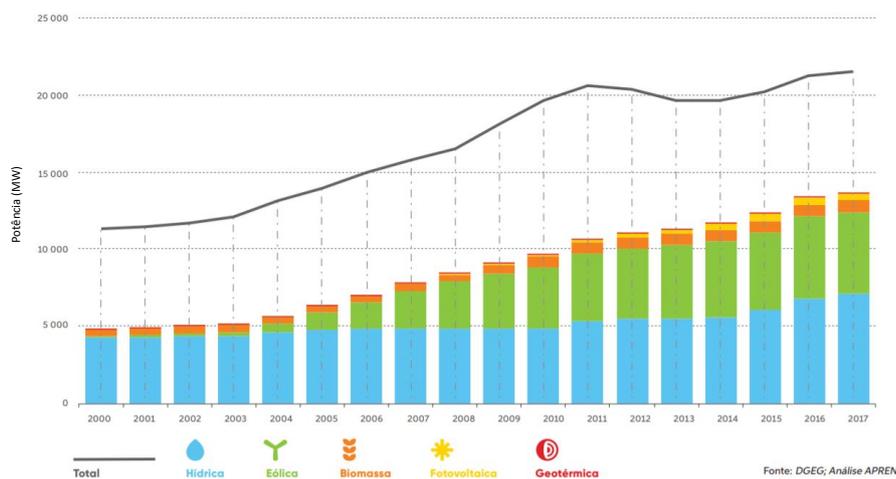


Fig. 1.2 – Evolução da potência instalada do Parque Electroprodutor Português [4].

Dentro das fontes de energia renovável, a energia solar é a fonte de energia mais disponível da terra. Portugal embora seja um país com escassos recursos energéticos fósseis, no que diz respeito ao recurso solar, é considerado um dos países europeus com maior potencial de investimento. Este excelente potencial de investimento, deve-se à sua localização, ou seja, Portugal tem boas condições de radiação solar, como se mostra na Fig. 1.3, possibilitando assim uma maior produção de energia elétrica com o recurso à energia solar fotovoltaica¹ [5]. Apresentando, desta forma, um número médio de 2200 a 3000 horas de sol anuais [6], com índices de produção entre 1,4 e 1,7 kWh por ano para cada Wp instalado, com painéis virados a Sul com inclinação igual à latitude² [7].

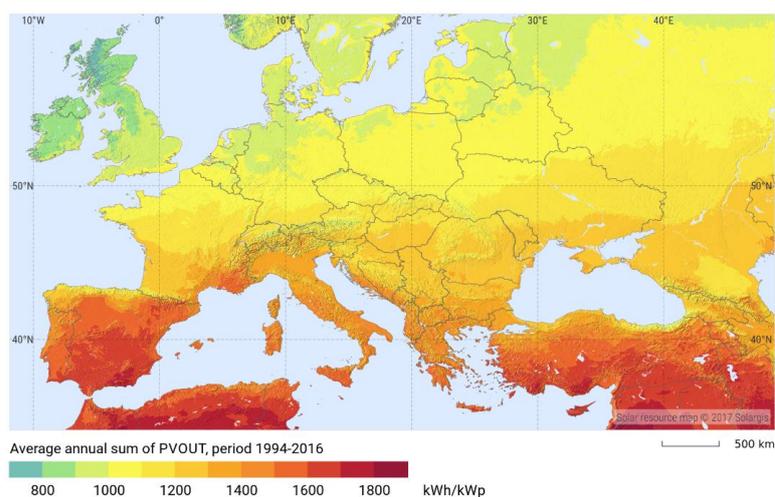


Fig. 1.3 – Potencial de energia fotovoltaica [8].

¹ Esta surge da conversão da energia incidente em materiais semicondutores, proveniente da radiação solar, em eletricidade, através do efeito fotoelétrico.

² No caso particular de Coimbra, apresenta uma latitude de aproximadamente $40,2111^\circ$ N.

Como se pode constatar pela figura anterior, no caso específico de Portugal, apresenta índices altos de radiação solar por todo o país, encontrando-se assim disponível a todos os consumidores. Assim, o acentuado crescimento da tecnologia fotovoltaica, e os incentivos pelo estado levou a que a produção fotovoltaica descentralizada se tornasse uma realidade. Passando, desta forma, muitos portugueses a tornarem-se produtores de energia elétrica nos últimos anos.

Com a última alteração da legislação ligada à produção fotovoltaica³ [9], em 2014, o paradigma da produção fotovoltaica descentralizada em Portugal mudou, passando de um quadro em que se visava vender toda a produção à rede elétrica de serviço público (RESP), para um cenário onde se estimula o autoconsumo. Desta forma procura-se adequar a produção às necessidades energéticas de cada produtor, exportando o excedente para a RESP pago a um preço pouco atraente, estimulando os consumidores ligados à rede a tornarem-se consumidores-produtores (*prosumers*) e a consumirem grande parte do que produzem.

Esta opção tem vindo a ser suportada pela crescente oferta de soluções por parte do mercado, que tem crescido de forma abrupta, e conseqüentemente o seu custo diminuído.

Como se constata na Fig. 1.4, a produção fotovoltaica tem vindo a aumentar de forma significativa, principalmente desde 2007 a 2017, tendo um pico significativo a partir de 2014, o qual se deve porventura à mudança da legislação que atualmente vigora.

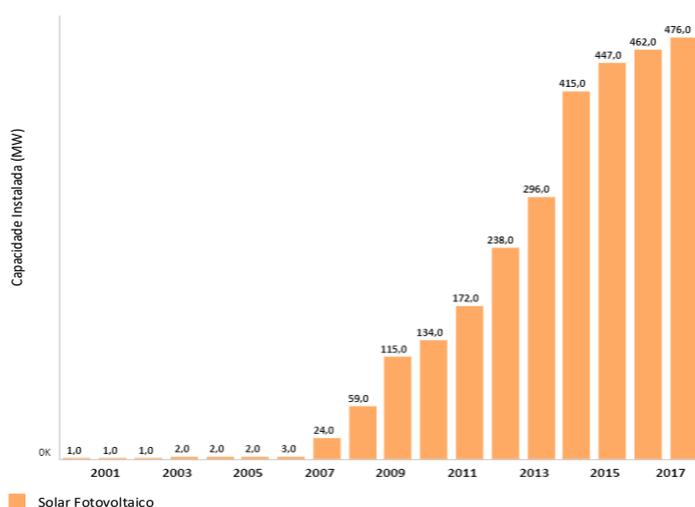


Fig. 1.4 – Evolução da potência fotovoltaica instalada em Portugal [10].

A grande desvantagem da produção elétrica a partir de fontes renováveis é, em geral, a sua grande variabilidade temporal, tornando difícil a adaptação da produção a uma dada necessidade de consumo. A utilização de armazenamento é uma forma eficaz de combater este problema, armazenando assim, a energia em horas com pouca procura, para ser usada em horas de maior procura, sendo este armazenamento feito através de baterias [11].

³ Decreto Lei nº 153/2014, de 20 de outubro.

A tecnologia das baterias, tem evoluído de forma significativamente com predominância para a tecnologia de íões de lítio. O preço destas embora elevado, tem revelado um decréscimo acentuado, devido principalmente à evolução do mercado dos veículos elétricos [12].

1.2 Objetivos

O presente trabalho envolve o desenvolvimento de duas metodologias, com o intuito de dimensionar um sistema fotovoltaico para autoconsumo residencial com armazenamento.

As metodologias diferenciam-se pela quantidade de dados a que têm acesso, ou seja, uma requer aparelhos específicos para a obtenção de dados de consumo com um período de um ano com uma resolução temporal de 15 min, enquanto que a segunda metodologia requer simplesmente o acesso a faturas energéticas do consumidor.

O desenvolvimento destas duas metodologias, pretende obter uma forma de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos de produção para autoconsumo com armazenamento, de modo a que sejam mais adequados às necessidades do consumidor.

A ferramenta de cálculo Excel, é a escolhida para este estudo, onde de forma tabular e gráfica é feita uma análise da melhor opção do sistema a instalar ao consumidor, e ainda é feita uma comparação entre as duas metodologias para instigar a sua fiabilidade perante o consumidor em estudo.

1.3 Estrutura e Organização

Como visto neste presente capítulo, este trabalho inicia-se com uma introdução às energias renováveis e à sua posição nos dias de hoje, onde é avaliado o seu contributo para a produção de energia elétrica atualmente, seguidamente, de forma mais detalhada, é analisada a energia solar e a consequente produção fotovoltaica em Portugal, bem como o seu uso para o autoconsumo com armazenamento. São também apresentados os objetivos que se pretendem com este trabalho.

Posto isto, surge o capítulo 2, onde de uma forma simplista é analisada a definição de autoconsumo e as várias tipologias originárias do autoconsumo, tendo em conta a legislação em vigor em Portugal, surgindo, por último, como é expectável uma descrição dos componentes constituintes de um sistema solar fotovoltaico para autoconsumo com armazenamento integrado.

Segue-se o capítulo 3, onde é feita uma análise às tecnologias de armazenamento e quais as predominantes no mercado de hoje em dia.

No capítulo 4, é feita a caracterização do consumidor e da instalação a qual é um ponto importante de estudo, de forma a conhecer o perfil energético do consumidor, e assim fazer um dimensionamento do sistema fotovoltaico, o mais adequado possível ao consumidor em causa.

No capítulo 5 apresentam-se as duas metodologias desenvolvidas, as quais têm como objetivo o dimensionamento de um sistema para autoconsumo, onde são apresentados e justificados os vários aspetos que se tiveram em conta.

Segue-se o capítulo 6, onde é feita uma análise usando as duas metodologias, tendo como destinatário o consumidor descrito no capítulo 4, de forma a poder chegar a soluções de potência de produção e de capacidade de armazenamento indicadas para esse consumidor, finalizando com uma comparação entre as duas metodologias, onde se mostra a fiabilidade de cada método.

Posto isto, finalmente surge o capítulo 7, onde é elaborada uma conclusão acerca do estudo efetuado, não deixando de ser, neste mesmo capítulo, sugeridos alguns possíveis trabalhos futuros que possam dar seguimento ao atual trabalho desenvolvido.

2. ESTADO DA ARTE: AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO

Como referido no capítulo anterior a procura por uma redução da dependência de fontes de energia não renováveis e de emissões de CO₂ são atualmente um objetivo a nível mundial. Este tem sido um assunto em destaque desde há vários anos, especialmente nos países mais desenvolvidos.

A evolução das tecnologias e a ciência proporcionaram soluções que podem fazer a diferença a nível económico e ambiental, de forma a ser possível a integração em maior número de energias renováveis e assim consequentemente, diminuir a dependência dos combustíveis fósseis.

Posto isto, Portugal, não tem ficado atrás, pelo que tem reunido capacidades de modo a criar incentivos, na aposta da produção de energias renováveis, prova disto é a legislação atualmente em vigor, Lei n.º 153/2014, aprovada em conselho de ministros em outubro de 2014 [9], dedicada a unidades de produção distribuída, revolucionando a legislação que antecedia, a qual incentivava o consumidor para produzir e vender à rede toda a produção. A legislação atualmente em vigor estimula o autoconsumo, em que a produção deve ser usada essencialmente para colmatar o consumo energético. Com esta legislação foram assim criados dois regimes jurídicos, o de autoconsumo (UPAC), o qual é o âmbito de análise neste trabalho e o de unidades de pequena produção (UPP), no qual tudo o que é produzido é entregue à rede [9].

De seguida é feita uma análise detalhada às vantagens do autoconsumo, bem como às arquiteturas possíveis deste conceito revolucionário.

2.1 Vantagens e Barreiras

Como visto anteriormente, os consumidores com a lei atualmente em vigor podem produzir e consumir a própria energia, a qual deu origem ao conceito de autoconsumo, conseguindo desta forma atenuar os efeitos das oscilações dos preços da energia elétrica. Este modelo de autoconsumo apresenta inúmeras vantagens, das quais se destacam as seguintes [7, 13]:

- Diminuição dos encargos energéticos numa instalação;
- Redução das perdas de energia na rede de distribuição;
- Promove o aparecimento de novas tecnologias, criando assim desta maneira, expansão e crescimento da indústria fotovoltaica e consequentemente da economia;
- Contribui para a diminuição da não dependência dos combustíveis fósseis, reduzindo assim consequentemente, as emissões de gases com efeito de estufa (GEE);

- Rentabilização de ativos parados, ou seja, os consumidores com coberturas nos seus edifícios ou parcelas de terreno não utilizado podem aproveitar esses locais para instalar o sistema de autoconsumo, rentabilizando ativos que de outra forma não teriam utilização.

Embora o autoconsumo apresente um vasto leque de vantagens, ainda assim, existem algumas barreiras ao seu uso por parte dos consumidores, devido a, falta de informação dada aos consumidores das vantagens do autoconsumo e principalmente devido ao preço elevado dos sistemas de armazenamento.

Uma outra grande desvantagem é o não controlo da produção devido às condições climáticas. Nuvens, fumos, chuva, excrementos de pássaros, todos estes causam problemas a nível da produção no sistema fotovoltaico, os quais diminuem em grande parcela a produção.

Um outro obstáculo, mas que tem vindo a ser ultrapassado é, as horas de produção, nem sempre coincidem com as horas de mais procura de energia, provocando em geral produção excedente nos períodos de produção, sendo assim necessário a associação de armazenamento ao sistema, por forma a poder aproveitar a energia produzida nessas horas para ser usada num período posterior, onde a produção não consiga colmatar o consumo.

2.2 Componentes de um Sistema Solar Fotovoltaico

A composição de um sistema solar fotovoltaico muda, consoante este é ligado à rede ou não. Quando é ligado à rede e o mesmo injeta energia na rede, energia esta proveniente do excesso de produção, é englobado no sistema um contador bidirecional, de modo a fazer a contagem de energia nos dois sentidos. De seguida são descritos alguns dos componentes existentes num sistema solar fotovoltaico [7, 13, 14]:

- **Painéis fotovoltaicos:** estes captam a energia solar e convertem-na em energia elétrica (corrente DC). O número de painéis a instalar, depende do consumo da habitação, de modo a maximizar o autoconsumo, minimizando a injeção para a rede;
- **Sistema de armazenamento:** tem como principal objetivo o de armazenar energia nas horas onde a produção é mais elevada do que o consumo, para a mesma ser aproveitada em horas sem produção, sempre com o objetivo de minimizar as trocas com a rede;
- **Regulador de carga:** tem como função fazer a gestão do sistema de armazenamento, controlar o nível deste, tentando preservar ao máximo a vida útil das baterias;
- **Conversor de potência:** este tem a função de converter a corrente contínua vinda dos painéis para corrente alternada, de modo a alimentar a instalação elétrica;

- **Controlador:** este tem a função de fazer a gestão da produção e do armazenamento, com o objetivo de minimizar as trocas com a rede;
- **Contador de produção:** contabiliza a energia produzida pelo sistema solar;
- **Contador bidirecional:** contabiliza a energia trocada com a rede.

2.3 Unidades de Produção para Autoconsumo (UPAC)

O sistema de produção de energia elétrica em regime de autoconsumo, destina-se predominantemente a ser instalado no local de consumo. Este conceito de autoconsumo pode ter várias vertentes:

- Pode-se apresentar como um sistema isolado, onde normalmente surge tecnologia de armazenamento incluída;
- Ou como um sistema ligado à RESP, onde o excesso de produção é injetado na rede.
 - Sem armazenamento;
 - Com armazenamento.

Este tipo de produção pode ainda ser baseado em tecnologias de produção renováveis ou não renováveis.

Nos subcapítulos seguintes, é feita uma análise em mais detalhe a cada um destes tipos de UPAC e do cálculo da remuneração referente à energia excedente injetada na rede.

2.3.1 UPAC sem Ligação à Rede

Um sistema de autoconsumo isolado da rede, toda a energia consumida é produzida localmente. Este sistema normalmente requer tecnologia de armazenamento, isto devido a que, a energia que é produzida e fique em excesso seja armazenada e possa ser usada em horas em que a produção é nula, e assim, este sistema isolado possa funcionar autonomamente, sem paragens de funcionamento.

Na Fig. 2.1 é apresentado um exemplo de uma UPAC isolada da RESP, no qual podemos ver a inclusão das baterias para armazenamento.



Fig. 2.1 – Sistema de autoconsumo isolado da RESP [15].

Os sistemas autónomos são ideais para regiões onde o acesso à RESP não é possível, ou seja, em áreas onde a RESP não foi desenvolvida devido a custos económicos e onde seria pouco rentável o investimento, especialmente em áreas consideradas remotas. De seguida são apresentados alguns exemplos de aplicação deste tipo de sistema [7]:

- Sinalização rodoviária;
- Torres de telecomunicações;
- Sistemas de vigilância;
- Casas de campo;
- Barcos;
- Caravanas.

Postos os exemplos anteriores, é possível concluir que estes sistemas são habitualmente aplicados a cargas de baixa potência.

2.3.2 UPAC com Ligação à Rede

A UPAC com ligação à RESP é o sistema mais usado atualmente, devido à facilidade de permitir ao consumidor colmatar as suas necessidades energéticas, quando a energia produzida pela UPAC não seja a suficiente e de permitir injetar energia na rede, em caso de excesso de produção. Para que isto seja possível a instalação deverá incluir um contador bidirecional que contabilize a energia que circula nos dois sentidos.

Para ser possível injetar o excedente de energia na rede, é preciso respeitar certas condições, tais como, limites de tensão, potência, produção, entre outros, as quais podem ser, de forma mais detalhada analisadas no Manual de Ligações à Rede Elétrica de Serviço Público, publicado pela EDP [16].

Na figura seguinte é possível visualizar um exemplo de uma UPAC com ligação à RESP.

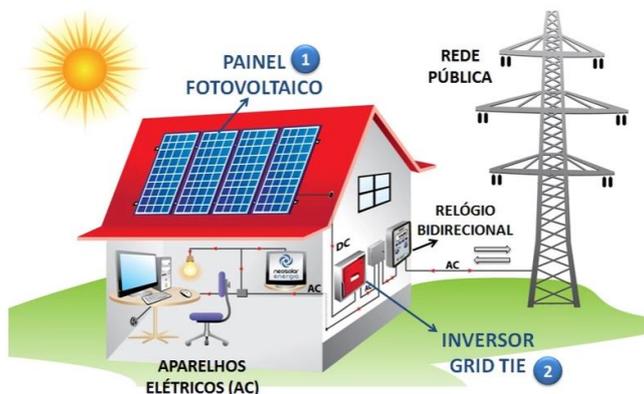


Fig. 2.2 – Sistema de autoconsumo ligado à RESP [15].

Estes sistemas com ligação à rede elétrica dividem-se em sistemas sem e com a predominância de tecnologia de armazenamento.

A Fig. 2.3 representa o perfil típico diário de uma instalação fotovoltaica, do seu consumo e do autoconsumo instantâneo num sistema de autoconsumo com ligação à RESP sem armazenamento integrado.

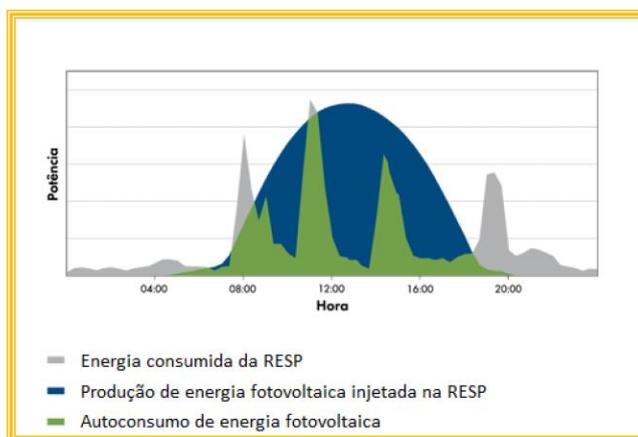


Fig. 2.3 – Perfil típico diário de autoconsumo sem armazenamento [7].

Da análise da figura anterior é possível afirmar que, entre as 8h00 e as 18h00, a energia produzida pelo sistema fotovoltaico é praticamente suficiente para alimentar a instalação de consumo, verificando que a energia em excesso é injetada na RESP. É de destacar também que nas horas onde não existe produção, a energia é toda proveniente da RESP.

Na Fig. 2.4 é apresentado o perfil típico diário de um sistema com armazenamento. O autoconsumo com armazenamento permite acumular o excedente de energia para ser usada em horas onde a produção é inexistente, como por exemplo, em baterias. Neste caso, quando a produção instantânea não é suficiente ou é inexistente, a energia consumida vem prioritariamente das baterias, e só após estas atingirem o seu limite inferior programado, se recorre à energia da RESP.

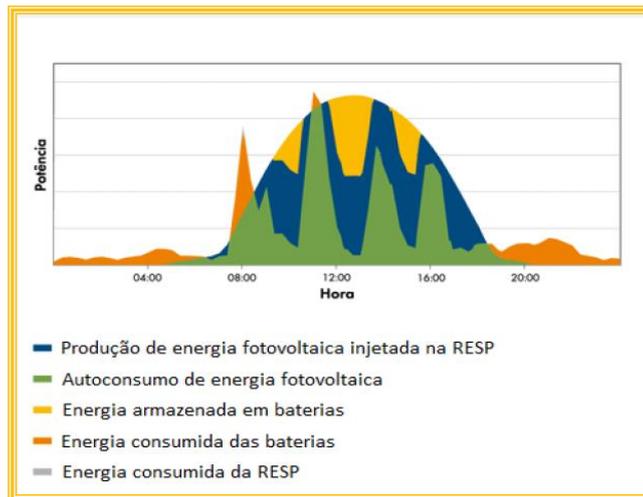


Fig. 2.4 – Perfil típico diário de autoconsumo com armazenamento [7].

Da análise da figura é possível destacar que, a energia consumida da RESP é praticamente nula, dado que grande parte do excedente durante as horas de produção é armazenado em baterias, para posteriormente ser consumida nas horas onde a produção não existe. É de notar ainda que algum do excedente é injetado na rede.

Relativamente aos dois sistemas, sem armazenamento e com armazenamento, é possível concluir que sem armazenamento existe mais energia excedente injetada na rede, o que se torna menos vantajoso, porque a mesma pode ser aproveitada para uso posterior, ficando com um sistema mais eficiente. Por outro lado, um sistema com armazenamento associado, embora mais eficiente, maximizando o aproveitamento da energia fotovoltaica, torna-se mais dispendioso economicamente para o consumidor, devido ao preço elevado das baterias.

2.3.2.1 Remuneração da Energia Excedente

O valor da energia fornecida à RESP devido ao excesso de produção, no caso da capacidade de armazenamento ter sido excedida ou mesmo quando não existe armazenamento e a produção é maior do que o consumo [9].

$$R_{UPAC,m} = E_{fornecida,m} \times OMIE_m \times 0,9 \quad (2.1)$$

Sendo:

- I. $R_{UPAC,m}$ – A remuneração da eletricidade fornecida à RESP no mês “m” em €;
- II. $E_{fornecida,m}$ – A energia fornecida no mês “m”, em kWh;
- III. $OMIE_m$ – O valor resultante da média aritmética simples dos preços de fecho do Operador de Mercado Ibérico de Energia (OMIE) para Portugal (mercado diário), relativos ao mês “m” em €/kWh⁴ [3, 17];
- IV. m – O mês a que se refere a contagem da eletricidade fornecida à RESP.

2.4 Condições Normativas Ligação UPAC

Para que um sistema de autoconsumo seja validado é necessário que se cumpram alguns requisitos [16]:

- **Sem venda à rede:**
 - Potência instalada ≤ 200 W, está isenta de controlo prévio;
 - Potência instalada > 200 W e $\leq 1,5$ kW está sujeita a mera comunicação prévia de exploração;
 - Para qualquer potência de uma instalação elétrica de utilização não ligada à RESP está sujeita a mera comunicação prévia de exploração;
- **Com venda à rede:**
 - Potência instalada $\leq 1,5$ kW e o titular da UPAC pretenda entregar à rede o excedente de energia elétrica não consumida na instalação de utilização, está sujeita a registo prévio e à obtenção de certificado de exploração;
- **Com ou sem venda à rede:**
 - Potência instalada $\geq 1,5$ kW e ≤ 1 MW, está sujeito a registo prévio e à obtenção de certificado de exploração;
 - Potência instalada > 1 MW, a sua instalação e entrada em exploração carecem de licença de produção e de exploração, de acordo com a legislação vigente;
- A UPAC não ligada à RESP independentemente da potência instalada que utiliza fontes de energia renovável e pretenda transacionar garantias de origem, está sujeita a registo prévio e à obtenção de certificado de exploração, bem como a outra legislação aplicável aos produtores, com as devidas adaptações;
- A potência de ligação (injeção) da UPAC tem de ser $\leq 100\%$ da potência contratada na instalação de utilização;

⁴ Como exemplo, o preço médio anual do mercado diário em Portugal no ano de 2018, registou um valor de 57,5 €/MWh, representando um aumento de 9,6% relativamente ao ano de 2017.

- A potência instalada na UPAC não pode ser superior a duas vezes a potência de ligação;
- O licenciamento da UPAC tem de ser efetuado através do Sistema Eletrónico de Registo da UPAC e da UPP (SERUP);
- Celebração de contrato de venda de energia, proveniente da UPAC e não consumida na instalação elétrica de utilização, nos termos da legislação em vigor.

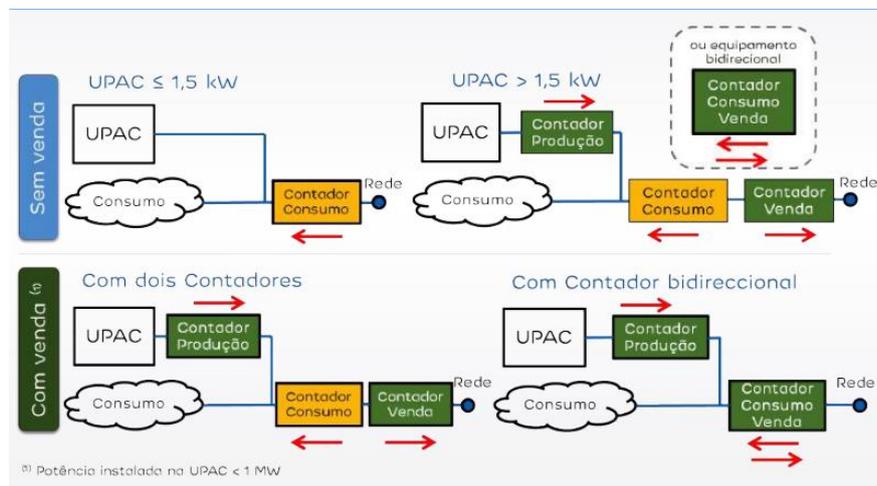


Fig. 2.5 – Esquema de ligação de uma UPAC com e sem venda de eletricidade à RESP [16].

3. ESTADO DA ARTE: TECNOLOGIAS DE ARMAZENAMENTO

O armazenamento de energia é cada vez mais considerado como uma importante alternativa, complementar ao aumento do uso de energias renováveis, ao considerar investimentos de forma a melhorar a fiabilidade do sistema de energia e a sua flexibilidade e assim, reduzir custos operacionais [18]. Assim, estas tecnologias de armazenamento são usadas para armazenar energia durante períodos com pouca procura, para ser usada em momentos onde a procura é mais elevada.

Daqui assiste-se a uma redução líquida da capacidade de produção necessária para assegurar um nível de pico de carga em particular, permitindo assim, menores investimentos em termos económicos com a aquisição de geração.

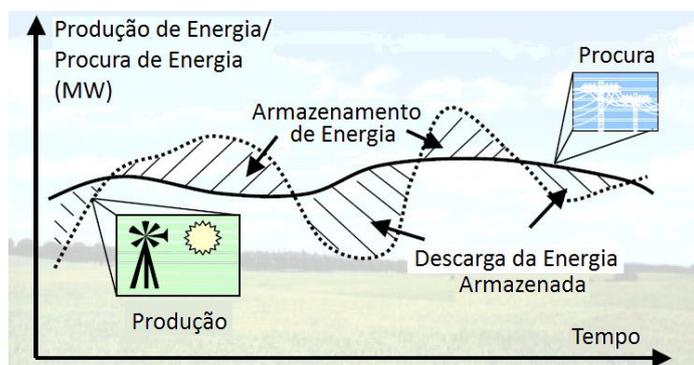


Fig. 3.1 – Produção/Procura de energia [2].

3.1 Sistemas de Armazenamento

O armazenamento de energia elétrica pode ser feito de determinadas formas. É comum classificar os meios utilizados para este fim, tendo em conta a forma de energia utilizada. São cinco as formas possíveis de armazenar energia como se pode mostrar de seguida [2, 12, 19]:

- **Mecânica:** sistemas de armazenamento hidroelétricos (bombagem), sistemas de ar comprimido⁵, volantes de inércia⁶;
- **Térmica:** produção de gelo, sal fundido, produção de água quente e armazenamento do calor em materiais cerâmicos;
- **Elétrica:** condensadores, supercondensadores, bobinas supercondutoras⁷;
- **Eletroquímica:** baterias secundárias, baterias de fluxo;

Do inglês:

⁵ CAES – Compressed Air Energy Storage;

⁶ FES – Flywheel Energy Storage;

⁷ SMES – Superconducting Magnetic Energy Storage.

- **Química:** hidrogénio, células de combustível, biocombustíveis.

De forma a poderem ser incluídos em instalações de geração fotovoltaica residenciais, os sistemas de armazenamento devem ter, uma boa eficiência, durabilidade, simplicidade de operação, baixo custo, uma reduzida manutenção e boa capacidade de armazenamento. Posto isto, a forma de armazenamento mais indicada e mais madura no âmbito das energias renováveis, passa pelo uso de baterias.

3.2 Baterias

Este tipo de armazenamento (baterias secundárias) é composto por três componentes essenciais que formam uma célula [12]: o eléctrodo positivo (cátodo), o eléctrodo negativo (ânodo) e o eletrólito, onde os eléctrodos estão imersos. Uma série de reações químicas de oxidação-redução ocorrem durante a descarga, com corrente eléctrica a fluir no circuito externo à bateria, no sentido ânodo-cátodo. Sendo estas reações reversíveis, podendo assim a bateria ser carregada, aplicando uma tensão aos eléctrodos. O eletrólito tem um separador que varia consoante a tecnologia da bateria a usar, que evita o contato entre eléctrodos e o consequente curto-circuito.

Podendo assim desta forma resumir-se que o princípio de funcionamento de uma bateria, baseia-se na conversão de energia química em energia eléctrica através de reações eletroquímicas.

3.2.1 Características Fundamentais das Baterias

Cada bateria é caracterizada por parâmetros específicos, os quais são normalmente obtidos em condições normais de funcionamento e disponibilizados pelo fabricante [13, 20]:

- **Capacidade (Ah)** – identifica a energia armazenada na bateria;
- **Capacidade nominal (C_N)** – representa a capacidade máxima que a bateria é capaz de armazenar;
- **Tensão nominal** – valor médio da tensão que se espera observar em toda a descarga da bateria;
- **Energia específica** – medida que identifica a quantidade de energia (Wh) por unidade de peso (kg).
- **Densidade energética** – tem a mesma função que a “energia específica”, mas quantifica a energia por unidade de volume (m^3);
- **Eficiência da bateria (%)** – relação entre a energia fornecida durante o processo de carga e a descarga;
- **Ciclos de vida** – número de ciclos de carga e descarga;

- **Temperatura de operação** – temperatura a que a bateria deve estar, para apresentar as características ideais;
- **Profundidade de descarga (%)** – normalmente referido pelo acrónimo DOD⁸, a profundidade de descarga representa a percentagem de capacidade retirada à bateria face à capacidade nominal;
- **Taxa de autodescarga (%)** – quantidade de energia perdida pela bateria quando a mesma não se encontra em funcionamento.

As baterias são disponibilizadas, tendo em conta determinadas condições de funcionamento, ditas pelo fabricante, quando estas não são respeitadas, o tempo de vida das baterias é consideravelmente reduzido.

As condições que mais afetam e são mais comuns no ambiente de funcionamento das baterias são [20]:

- **Temperatura** – a exposição das baterias a temperaturas que não sejam as estipuladas pelo fabricante pode levar à redução do seu tempo de vida;
- **Envelhecimento** – o envelhecimento nas baterias é notado pela perda de capacidade de armazenamento, tornando assim impossível o bom funcionamento das aplicações dependentes deste sistema de armazenamento;
- **Extremos de carga** – os extremos de carga podem proporcionar um aumento da temperatura e pressão na bateria, podendo causar o inchaço da mesma, curto-circuitos ou mesmo em casos extremos, explosão;
- **Profundidade de descarga usada** – quando a bateria é sujeita a elevado DOD de forma frequente, o seu tempo de vida diminui consideravelmente.

3.2.2 Tipos de Baterias

Existe uma gama bastante vasta de baterias, que permitem o carregamento e descarregamento [21]. Desta gama, destacam-se que, as mais comuns para armazenamento de energia fotovoltaica são as baterias de chumbo-ácido (Pb-Acid) e as baterias de iões de lítio (Li-Ion).

Dentro destas duas tecnologias, as baterias de iões de lítio, são as mais usadas atualmente [22], tendo um conjunto vasto de vantagens em relação às baterias de chumbo-ácido [12]:

- Maior tensão por célula;
- Elevada densidade energética e potência;
- Maior número de ciclos de vida;
- Menor espaço de armazenamento por cada kWh (baterias mais pequenas e leves);

⁸ Do inglês *Depth of Discharge*.

- Eficiência elevada;
- Rápidos carregamentos;
- Baixo autodescarregamento;
- Baixo efeito de memória;
- Reciclável.

Ainda é de destacar dentro da tecnologia das baterias de lítio, que o fosfato de lítio-ferro (LiFePO₄) é a tecnologia mais indicada para sistemas renováveis, caracterizados por carregamentos variáveis e descargas profundas, sendo também muito mais estável e seguro que os outros, não dando origem a explosões ou combustão, devido ao não uso de materiais tóxicos e de metais pesados como o chumbo, sendo assim o ideal para ter dentro de casa [21].

As células desta tecnologia têm uma tensão de 3,6 V aproximadamente enquanto que as de chumbo de ácido apresentam uma tensão por célula de cerca 2 V. Significando assim que serão precisas menos células desta tecnologia para atingir uma dada tensão de operação.

Esta tecnologia de íões de lítio apesar das vantagens referidas anteriormente em relação à de chumbo de ácido, apresenta, a desvantagem de ter um custo elevado, o que tem levado a um atraso na adoção deste tipo de baterias [20, 23]. Este custo elevado prevê-se que venha a diminuir com a evolução do desenvolvimento dos veículos elétricos.

3.3 Tecnologias de Gestão e Armazenamento no Mercado

O crescimento do autoconsumo é uma das tendências mais empolgantes das energias renováveis, o que impulsiona uma maior procura pelo armazenamento mais integrado e eficiente.

Com este intuito e com o avanço da tecnologia, várias empresas, têm progredido no desenvolvimento de produtos que façam este armazenamento gerido, de forma eficiente e o mais compacto possível.

Hoje em dia, já existe uma grande variedade de produtos no mercado, que oferecem níveis de desempenho, eficiência, fiabilidade e estéticos cada vez mais elevados. Embora estas vantagens todas sejam satisfatórias, os preços altos são uma grande barreira.

De seguida serão apresentados alguns dos exemplos de sistemas de armazenamento com e sem inversor integrado, capazes de fazer um armazenamento eficiente da energia produzida.

3.3.1 ABB React

É um inversor desenvolvido pela ABB com capacidade de armazenamento de energia integrado. Engloba uma bateria onde predomina a tecnologia iões de lítio, com uma capacidade de descarga de 95 %. É possuidor de uma ampla capacidade de armazenamento, podendo esta ser expandida dos 4 kWh aos 12 kWh, dependendo do número de baterias usadas, e pode atingir cerca de 90 % de poupanças energéticas.

A adição de outras capacidades de bateria pode ocorrer a qualquer momento durante a vida útil do sistema de forma a responder às necessidades de mudança de qualquer casa, adaptando-se à medida que cresce.

Ainda se destaca por ser um produto com uma flexibilidade na instalação, podendo ser instalado nos lados CA ou CC, sendo assim, a solução ideal para novos sistemas ou para a readaptação de sistemas fotovoltaicos existentes.

Este produto permite ainda uma gestão inteligente da eletricidade na casa, pois os clientes podem monitorizar e manter o seu sistema sob controle através de um aplicativo móvel, que permite ao cliente poder utilizar do melhor modo a eletricidade gerada pelo seu sistema fotovoltaico, evitando os picos de consumo através da disseminação da carga elétrica e mantendo a utilização dentro da capacidade da energia gerada.

Para áreas com alimentação pouco fiável, o React oferece igualmente uma função de apoio para garantir a alimentação em caso de corte.



Fig. 3.2 – ABB React 2 [24].

3.3.2 LG Chem RESU

A LG apresenta uma variedade de baterias de armazenamento, que usam a tecnologia de íons de lítio, com uma capacidade de descarga de 90 %, e uma eficiência de carga e descarga de 95 %. Estas baterias estão disponíveis com diferentes níveis de capacidade de armazenamento, tais como: 3,3 kWh, 6,5 kWh, 9,8 kWh e 13,1 kWh.

Nesta tecnologia o inversor é separado do módulo de armazenamento, sendo que a monitorização da bateria é feita a partir do inversor a instalar. Sendo que, estas baterias são compatíveis com uma gama vasta de inversores. A natureza compacta e leve da RESU permite uma instalação fácil, no chão ou na parede, tanto para aplicações internas como externas.

Como a tecnologia anterior da ABB esta também proporciona uma função de apoio em caso de corte da energia por parte da rede.



Fig. 3.3 – LG Chem RESU [25].

Informação mais concisa e detalhada acerca das características técnicas destas tecnologias enunciadas anteriormente, pode ser encontrada no ANEXO A.

4. CARATERIZAÇÃO DA INSTALAÇÃO E DO CONSUMIDOR

Antes de se proceder ao desenvolvimento de um projeto de um sistema fotovoltaico com armazenamento residencial é primordial fazer uma análise ao local da montagem, bem como fazer uma análise ao tipo de instalação que o cliente possui. Posto isto, também é deveras importante analisar o consumidor, em termos de cargas usadas e o número de horas de uso, de forma a conhecer os seus hábitos e assim, fazer uma melhor gestão das mesmas, de forma a que, o sistema a ser instalado, seja o mais indicado possível para o consumidor, e tirar assim a melhor rentabilidade e eficiência do mesmo.

4.1 Localização e Caraterísticas da Instalação

O consumidor em estudo localiza-se na zona de Coimbra e a sua instalação apresenta as seguintes caraterísticas:

Tabela 4.1 – Caraterísticas da instalação.

Potência Contratada	Tipo Tarifa	Nº Fases
6,9 kVA	Bi-Horária (Ciclo Semanal)	Monofásico

Para uma análise mais detalhada é essencial conhecer o regime tarifário do cliente. Assim, para uma potência contratada de 6,9 kVA e uma opção tarifária em bi-horária, em ciclo semanal, o consumidor tem diferentes preços para diferentes períodos do dia, sendo estes destacados por horas em vazio e horas fora de vazio. As horas de vazio representam as horas onde a procura na rede é normalmente mais reduzida, sendo o preço cobrado mais barato. Já nas horas fora de vazio, o consumo é superior, e por isso, mais caro. A Fig. 4.1 e Fig. 4.2 representam de forma detalhada o ciclo semanal em função das horas de vazio, fora de vazio e como as mesmas variam em função da época do ano.

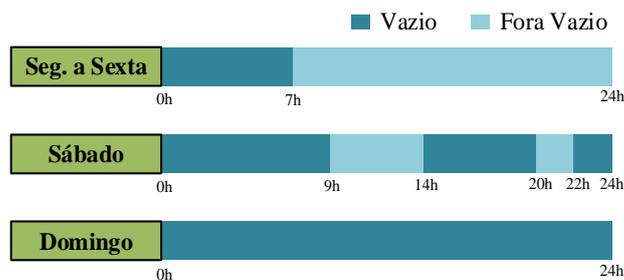


Fig. 4.1 – Ciclo semanal (Horário de verão⁹)[26].

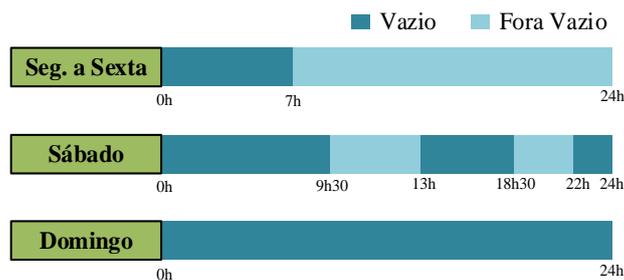


Fig. 4.2 – Ciclo semanal (Horário de inverno¹⁰)[26].

Da análise das figuras referentes ao ciclo semanal, é possível afirmar que existe uma ligeira diferença nas duas épocas do ano, referente ao sábado, no período horário.

As tarifas aplicadas para cada período horário são as apresentadas na Tabela 4.2. Estas tarifas incluem a parcela referida à energia ativa da tarifa de acesso às redes (TAR), regulada e publicada todos os anos pela ERSE [27]. No entanto neste estudo, não é considerado o imposto especial de consumo (IEC), a taxa de exploração da Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) bem como o valor mensal referente à potência contratada, porque estes valores são fixos e não vão influenciar de alguma forma no fator de decisão do melhor sistema para o consumidor.

Tabela 4.2 – Preçário da tarifa bi-horária.

Horário	Tarifa, €/kWh	IVA (%)	Tarifa, €/kWh + IVA
Vazio	0,093075	23%	0,1145
Fora Vazio	0,185767		0,2285

⁹ O horário de verão é representado pelos meses de abril a outubro inclusive.

¹⁰ O horário de inverno é representado pelos meses de novembro a março inclusive.

4.2 Perfil de Consumo

Como já foi visto anteriormente para um correto dimensionamento de um sistema de autoconsumo, todos os pormenores acerca do consumidor são importantes, a análise dos consumos é um dos mais relevantes, pois permite fazer um estudo aos hábitos de consumo do cliente.

Os dados utilizados neste estudo foram adquiridos na habitação do consumidor através de aparelhos específicos para o mesmo. É de notar que quanto mais detalhados forem os dados, maior probabilidade existe de a solução ser mais próxima do ideal, sendo assim, foram adquiridos dados com um período temporal de 15 min, que representam o consumo energético de janeiro a dezembro de 2018.

Na tabela seguinte são apresentados os valores de consumo mensal em kWh, bem como o custo mensal.

Tabela 4.3 – Consumos e encargos energéticos mensais do ano 2018.

	Consumo (kWh)		Custo Total (€)	
	V	FV	V	FV
Janeiro	254,31	274,20	29,12	62,66
Fevereiro	224,31	275,81	25,68	63,02
Março	219,50	279,29	25,13	63,82
Abril	145,39	190,38	16,65	43,50
Maió	123,57	199,12	14,15	45,50
Junho	114,61	171,14	13,12	39,11
Julho	103,33	181,14	11,83	41,39
Agosto	91,72	119,27	10,50	27,25
Setembro	105,72	117,83	12,11	26,92
Outubro	131,67	168,18	15,08	38,43
Novembro	162,57	247,04	18,61	56,45
Dezembro	262,21	276,71	30,02	63,23
Total Desagregado	1938,93	2500,11	222,01	571,27
Total Agregado	4439,04		793,28	

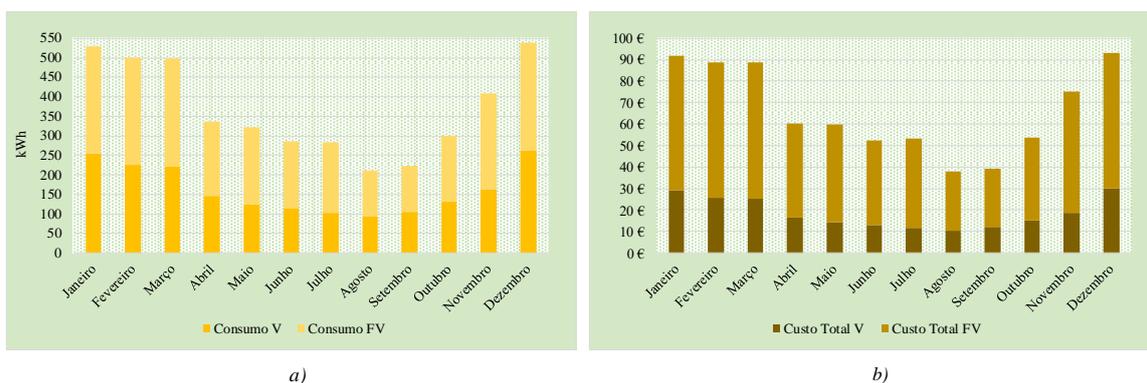


Fig. 4.3 – Consumos (a) e encargos energéticos (b) mensais do ano 2018.

É possível verificar através dos dados de consumo referidos na Tabela 4.3 e na Fig. 4.3 que os meses de verão apresentam consumos bastante inferiores comparativamente aos meses de

inverno. Isto deve-se ao facto de o consumidor usar aquecimento elétrico, tanto ambiental como de águas quentes sanitárias, aumentando assim drasticamente o consumo no inverno. Por exemplo, no mês de janeiro o consumo é cerca de duas vezes maior que o consumo em agosto.

4.3 Perfil de Produção

Após o conhecimento do perfil do consumidor em termos energéticos, é necessário analisar o perfil de produção para a região em questão. Como tal foram usadas neste estudo, uma gama de potências, de 250 em 250 W, até um total de 1500 W. Com dados de produção com um período temporal de 15 minutos, obtidos na região de Coimbra e correspondem a um ano completo.

Na Tabela 4.4 é possível visualizar a produção mensal e anual, de uma forma desagregada, das diferentes potências de instalação.

Tabela 4.4 – Produção mensal das várias potências instaladas, para a região de Coimbra.

	Produção Mensal (kWh)											
	250 W		500 W		750 W		1000 W		1250 W		1500 W	
	V	FV	V	FV	V	FV	V	FV	V	FV	V	FV
Janeiro	2,63	12,20	5,25	24,41	7,88	36,61	10,50	48,81	13,13	61,02	15,75	73,22
Fevereiro	5,82	20,68	11,64	41,37	17,47	62,05	23,29	82,74	29,11	103,42	34,93	124,10
Março	7,67	26,94	15,35	53,88	23,02	80,81	30,70	107,75	38,37	134,69	46,05	161,63
Abril	6,86	21,55	13,73	43,10	20,59	64,64	27,45	86,19	34,32	107,74	41,18	129,29
Maio	7,89	30,73	15,78	61,46	23,68	92,19	31,57	122,92	39,46	153,65	47,35	184,38
Junho	7,38	28,35	14,76	56,71	22,13	85,06	29,51	113,41	36,89	141,77	44,27	170,12
Julho	9,18	34,10	18,35	68,19	27,53	102,29	36,71	136,39	45,88	170,48	55,06	204,58
Agosto	8,14	34,55	16,27	69,10	24,41	103,65	32,55	138,19	40,68	172,74	48,82	207,29
Setembro	9,35	31,94	18,70	63,88	28,05	95,83	37,40	127,77	46,75	159,71	56,10	191,65
Outubro	4,69	24,82	9,38	49,64	14,08	74,45	18,77	99,27	23,46	124,09	28,15	148,91
Novembro	2,45	18,80	4,90	37,60	7,35	56,40	9,80	75,19	12,25	93,99	14,70	112,79
Dezembro	4,90	12,85	9,80	25,70	14,70	38,55	19,60	51,40	24,50	64,25	29,41	77,10
Total Desagregado	76,96	297,51	153,92	595,02	230,89	892,54	307,85	1190,05	384,81	1487,56	461,77	1785,07
Total Agregado	374,47	748,95	1123,42	1497,90	1872,37	2246,85						

Da análise feita à Tabela 4.4, é possível verificar que nos meses de verão a produção fotovoltaica é consideravelmente superior, comparativamente aos meses de inverno, o que é de esperar, pois nos meses de verão o número de horas de sol diárias é superior¹¹[28]. Também é de considerar que a produção em horas fora de vazio é superior às horas vazio, isto deve-se às horas onde existe produção ser maioritariamente no período fora de vazio à exceção do domingo, onde todas as horas de produção são no período de vazio.

Por forma a evidenciar a diferença de produção entre meses de verão e de inverno, na figura seguinte, é apresentada uma comparação entre a produção fotovoltaica, para diferentes níveis de potência, num mês considerado inverno e num mês considerado verão.

¹¹ Em média, janeiro tem 4,8 horas de sol diárias e julho 10,2 horas de sol diárias.

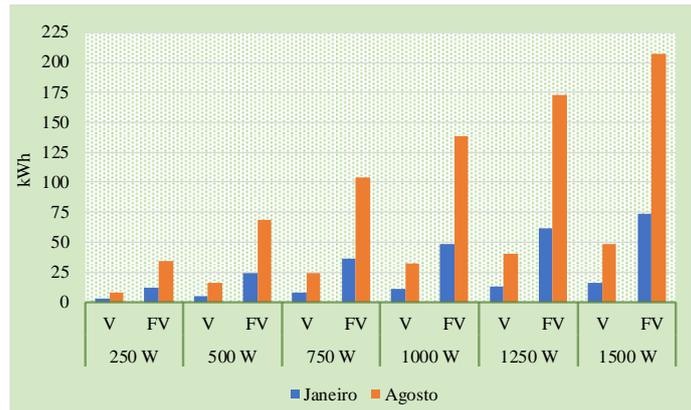


Fig. 4.4 – Produção fotovoltaica em janeiro e agosto.

Analisando a Fig. 4.4 constata-se que, por exemplo, uma potência instalada de 500 W, no mês de agosto produz praticamente o mesmo do que uma potência de 1500 W em janeiro.

Com isto, podemos concluir que a sazonalidade tem grande influência na produção fotovoltaica devido ao número de horas diárias de sol serem menores nos meses considerados inverno, afetando a produção em grande escala em comparação com os meses de verão.

5. METODOLOGIAS DESENVOLVIDAS

O projeto de um sistema de autoconsumo fotovoltaico com armazenamento residencial, começa pela análise dos consumos energéticos de uma determinada instalação, essa análise para ser o mais rigorosa possível deve ser efetuada, tendo em conta como base um ano de consumos, para o estudo ser o mais real possível, englobando as várias estações do ano, as quais afetam diretamente o consumo.

Pretende-se então neste estudo proceder ao desenvolvimento de duas metodologias, uma mais detalhada que requer aparelhos apropriados para a obtenção de dados referentes ao consumo e uma outra que requer simplesmente acesso a faturas de energia elétrica e a uma auditoria sintética às instalações do consumidor, baseando-se as duas num regime de tarifa bi-horária.

As duas metodologias requerem o uso da ferramenta informática Excel, a qual nos permite efetuar o cálculo de alguns indicadores específicos da instalação usados no dimensionamento do sistema de autoconsumo com e sem armazenamento, mais viável para o consumidor.

Nas duas metodologias é considerada uma profundidade de descarga das baterias de 70%, ou seja, um intervalo de utilização entre 20% e 90% da capacidade máxima da bateria, isto para se salvaguardar ao máximo a vida útil das baterias. É ainda tido em conta 5% de perdas referentes a trocas de energia.

5.1 Metodologia 1

Com esta metodologia pretende-se fazer uma análise com dados de consumo e produção com uma resolução temporal de 15 minutos ao longo de um ano, obtidos como foi referenciado anteriormente.

Através destes dados é possível calcular alguns indicadores específicos para o estudo, tais como:

- **Trocas com a rede:**
 - **Energia comprada** – energia proveniente da rede sempre que a produção e a energia armazenada não conseguem satisfazer o consumo;
 - **Energia injetada** – sempre que a produção é maior do que o consumo e a bateria esteja no estado de carga máxima, haverá energia injetada na rede;
- **Trocas com a bateria:**
 - **Energia de descarga** – representa a energia que é retirada da bateria sempre que a produção não consegue satisfazer o consumo da habitação, é dada prioridade à

energia armazenada na bateria para satisfazer o consumo em relação à energia que se possa comprar da rede;

- **Energia de carga** – se a produção for maior do que o consumo e a capacidade da bateria não esteja no seu valor máximo, é carregada na bateria;
- **Horas carga à máxima da bateria** – são as horas a que a bateria permanece com carga máxima durante um período de tempo;
- **Horas carga à mínima da bateria** – são as horas a que a bateria permanece com carga mínima durante um período de tempo;
- **Energia autoconsumida** – representa a energia produzida que é consumida instantaneamente mais a que é retirada da bateria;
- **Encargos energéticos com a compra de energia** – são os encargos que o consumidor ainda tem com a compra da energia vinda da rede;
- **Custo médio por kWh evitado** – custo médio por kWh correspondente à eletricidade que o consumidor deixou de comprar devido à energia usada em autoconsumo.

Valor Produção Fotovoltaica W		Capacidade Bateria Wh
250		1000
Energia Consumida (kWh)		4439,04
Energia Produzida (kWh)		374,47
Energia Comprada	kWh	4066,73
	%	91,61
Energia Injetada	kWh	0,00
	%	0,00
Horas Carga Min Bateria	Horas	7911,75
	%	90,32
Horas Carga Máx Bateria	Horas	0,00
	%	0,00
Energia Autoconsumida	kWh	372,31
	% (Consumo)	8,39
	% (Produção)	99,42
Encargos Energéticos Sem Autoconsumo (€)		793,28
Encargos Energéticos Com Autoconsumo (€)		717,04
Custo Evitado/kWh (€)		0,2048
Poupança	%	9,61
	€	76,24

Fig. 5.1 – Exemplo ambiente interativo metodologia 1.

Todos estes indicadores são calculados e analisados baseando-se no pressuposto, que se o consumo for superior à produção, a habitação consome a energia produzida e a energia restante é suprida pelas baterias ou importada da rede caso o sistema de armazenamento esteja à carga mínima. Enquanto que se o consumo for inferior à produção, todo o consumo é satisfeito por

energia proveniente da produção fotovoltaica, sendo o excesso armazenado na bateria até à sua capacidade máxima e só depois de atingida a carga máxima será injetada na rede.

A Fig. 5.1 apresenta o ambiente interativo desenvolvido em Excel, o qual permite a análise dos indicadores referidos anteriormente, dependentes do valor de produção e capacidade da bateria selecionados, permitindo assim chegar a conclusões sobre o valor da produção e da capacidade de bateria mais indicado para o cliente. É de referir que os valores da figura são meramente exemplificativos.

5.2 Metodologia 2

Este método tem também como objetivo o dimensionamento de um sistema fotovoltaico para autoconsumo com armazenamento residencial como a metodologia anterior, mas usando menos dados, apenas os dados disponíveis na fatura de eletricidade no período de um ano.

Esta ferramenta requer:

- O acesso a faturas energéticas mensais, de um ano antecedente;
- Valor da produção fotovoltaica mensal, correspondente a um ano, para o local exato da instalação;
- Auditoria sintética às instalações do cliente.

Através do acesso às faturas mensais de energia, preferencialmente de um ano de consumos, é possível retirar dados como, custo mensal e o consumo mensal em kWh. Como referido no método anterior através do acesso aos dados de produção fotovoltaica, preferencialmente também de um ano, referentes a cada mês, os quais podem ser adquiridos por simulação num software para o local exato da instalação.

Desta forma, é possível calcular os valores médios, de consumo e produção de cada dia de cada mês.

Como resultado da auditoria sintética à instalação do consumidor, foi possível chegar aos dados da Tabela 5.1. Esta auditoria tem como objetivo perceber o perfil de consumo do cliente, diferenciando as horas onde há produção das horas onde não existe produção, destacando ainda as duas épocas do ano, referentes aos meses considerados inverno e aos meses considerados verão, que como se viu anteriormente na análise dos consumos mensais do cliente em estudo, existe uma grande sazonalidade entre consumos nas duas épocas do ano. Assim, foi possível chegar a valores desagregados de percentagem referentes ao total do consumo.

Tabela 5.1 – Desagregação de consumo por período de horas.

	Horas	Consumo
Verão	C/ Produção	35%
	S/ Produção	75%
Inverno	C/ Produção	45%
	S/ Produção	55%

Posto isto, é possível efetuar o cálculo da energia excedente, ou seja, sempre que a produção é maior que o consumo em horas de produção, surge uma energia excedente, a qual será armazenada na bateria para ser usada em horas onde não há produção.

Através deste indicador de energia excedente é possível estimar o estado de carga da bateria, considerando os limites máximo e mínimo de carga e descarga da bateria. Se a energia excedente é maior do que a capacidade de armazenamento, a bateria carrega até à sua capacidade máxima e o restante é injetado na rede. Caso contrário, ou seja, se a energia excedente é menor que a capacidade da bateria, ao valor mínimo de descarga da bateria é somada essa energia excedente.

Posto isto, é possível então calcular alguns indicadores, como na metodologia 1, tais como, energia trocada com a rede, energia autoconsumida e poupanças energéticas (kWh).

Também nesta metodologia é dado sempre prioridade à energia armazenada na bateria para colmatar o consumo, caso esta não seja suficiente, importa-se energia da rede.

Com estes dados simplificados é também possível chegar a valores de poupança (€). Considerando então, em particular o perfil do consumidor destacado no capítulo anterior o qual tem uma tarifa bi-horária, e considerando que anualmente, cada dia, em média, tem produção fotovoltaica durante 9h¹². No ciclo semanal durante os dias da semana essas 9 horas são em horário de fora de vazio. Ao sábado, 5 dessas horas são em horário de fora de vazio e 4 em vazio. Ao domingo são todas em vazio. Sendo assim, considerando que o ano tem 52 semanas, 52 sábados e 52 domingos, chega-se ao total de horas em vazio e fora de vazio com produção, ao ano, como se representa na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Número de horas com produção anual.

	Horas com Produção ao Ano	
	Vazio	Fora Vazio
Seg. a Sexta	-	2340
Sábado	208	260
Domingo	468	-
Total	676	2600

Surge então que, 20,63% das horas com produção são em vazio e 79,37% são em fora vazio.

¹² Considera-se que em média existe produção fotovoltaica das 9h às 18h.

Esta desagregação do número de horas com produção serve para que se possa aplicar o valor da tarifa correspondente a cada período horário, usando o indicador referente ao autoconsumo para o cálculo da poupança.

No desenvolvimento deste parâmetro, foi deparado que à medida que a potência de produção e a capacidade de armazenamento aumentam, o total de energia autoconsumida em horas de vazio também aumenta. Este facto pode ser justificado, devido à maior capacidade de produção e de armazenamento, que por sua vez originam, mais energia produzida e consequentemente mais energia em excesso, a qual será armazenada na bateria. Esta energia armazenada é usada normalmente em horas onde não existe produção, para satisfazer o consumo. Como as horas onde não há produção, maioritariamente são no período horário designado por vazio, é nesse mesmo que a energia armazenada vai ser usada, aumentando assim por sua vez o indicador referente à energia autoconsumida nesse período horário.

O valor do aumento médio da energia autoconsumida em horário de vazio, devido ao aumento da potência de produção e à capacidade de armazenamento, foi obtido recorrendo aos dados da metodologia 1, onde se deparou que, para este cliente em estudo, para uma potência de produção de 250 W e uma capacidade de armazenamento de 1000 Wh e para um caso máximo de 1500 W de produção e uma capacidade de armazenamento de 10000 Wh, o mesmo valor referente ao autoconsumo em horas de vazio aumenta, aproximadamente 10%.

A Fig. 5.2, apresenta os dois extremos da análise ao cliente a partir da metodologia 1, no qual de uma forma mensal pode ser analisado de uma forma generalizada o aumento do autoconsumo em vazio.

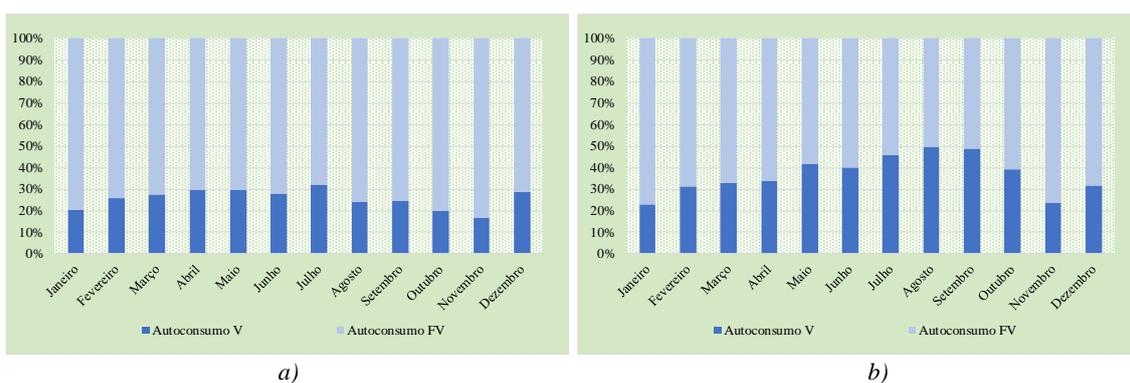


Fig. 5.2 – Dados relativos ao autoconsumo, com uma potência de produção de 250 W e uma capacidade de armazenamento de 1000 Wh (a) e com uma potência de produção de 1500 W e uma capacidade de armazenamento de 10000 Wh (b).

Optou-se então por se fazer a média do valor referente à percentagem de horas em vazio sem considerar o aumento de 10% (20,63%) e com o aumento (20,63% +10% = 30,63%), chegando assim a valores médios de horas com autoconsumo em vazio, cerca de 25,63% e consequentemente, cerca de 74,37% em horas fora de vazio.

Desta forma foi então possível chegar a valores coerentes de poupanças anuais e do custo médio evitado por kWh.

Na Fig. 5.3 é possível ver o ambiente interativo desenvolvido como o anterior, mas neste caso para a metodologia 2. É de destacar que o número de indicadores aqui é mais reduzido do que no método anterior, o qual se deve aos dados disponíveis não os permitir calcular, e à análise ter uma abordagem diferente.

Valor Produção W		Capacidade Bateria kWh
250		1000
Energia Consumida (kWh)		4439,04
Energia Produzida (kWh)		374,47
Energia Comprada	kWh	4064,57
	%	91,56
Energia Injetada	kWh	0,00
	%	0,00%
Energia Autoconsumida	kWh	374,47
	% (Consumo)	8,44
	% (Produção)	100,00
Encargos Energéticos Sem Autoconsumo (€)		793,28
Encargos Energéticos Com Autoconsumo (€)		718,77
Custo Evitado/kWh (€)		0,1990
Poupança	%	9,39
	€	74,51

Fig. 5.3 – Exemplo ambiente interativo metodologia 2.

6. ANÁLISE DE RESULTADOS

Considerando as características do consumidor e da sua instalação descritas no capítulo 4, bem como da produção fotovoltaica para o local da sua residência, neste ponto, pretende-se fazer uma análise detalhada das possíveis soluções de autoconsumo, em termos de capacidade de produção e de armazenamento.

Esta análise passa pelas duas abordagens à metodologia de dimensionamento de um sistema fotovoltaico com armazenamento, anteriormente descritas, as quais, permitem chegar a um conjunto de soluções, com o objetivo de se conseguir minimizar as trocas com a rede e assim aumentar o autoconsumo. Cada um dos casos, por sua vez, é dividido em duas vertentes, uma onde é analisada a opção de não existir armazenamento integrado, permitindo assim, justificar a partir de que potência de produção, o armazenamento é vantajoso para o cliente, e uma outra, que passa por uma análise do sistema com armazenamento integrado, no qual são abordados vários cenários de potências de produção com a junção de capacidades de armazenamento.

Desta forma, pretende-se apresentar ao cliente um conjunto de soluções viáveis para a sua instalação.

6.1 Caso 1 - Usando a Metodologia 1

6.1.1 Sistema para Autoconsumo sem Armazenamento

A Tabela 6.1 apresenta vários indicadores, calculados tendo em conta um sistema para autoconsumo sem armazenamento integrado, onde é possível fazer uma comparação da viabilidade para o caso de não haver armazenamento integrado no sistema para autoconsumo, de um conjunto de potências de produção que vão desde os 250 W, até aos 1500 W, com um intervalo de 250 W.

Tabela 6.1 – Dados referentes a um sistema sem armazenamento integrado.

Produção Fotovoltaica (W)	250	500	750	1000	1250	1500	
Energia Consumida (kWh)	4439,04						
Energia Produzida (kWh)	374,47	748,95	1123,42	1497,90	1872,37	2246,85	
Energia Comprada	kWh	4089,67	3882,89	3734,20	3607,52	3493,98	3394,73
	%	92,13	87,47	84,12	81,27	78,71	76,47
Energia Injetada	kWh	25,11	192,81	418,58	666,38	927,32	1202,54
	%	6,70	25,74	37,26	44,49	49,53	53,52
Energia Autoconsumida	kWh	349,37	556,14	704,84	831,51	945,06	1044,31
	% (Consumo)	7,87	12,53	15,88	18,73	21,29	23,53
	% (Produção)	93,30	74,26	62,74	55,51	50,47	46,48
Encargos Energéticos Sem Autoconsumo (€)	793,28						
Encargos Energéticos Com Autoconsumo (€)	721,91	680,73	651,27	626,24	603,80	584,20	
Custo Evitado/kWh (€)	0,2043	0,2024	0,2015	0,2009	0,2005	0,2002	
Poupança	%	9,00	14,19	17,90	21,06	23,89	26,36
	€	71,37	112,55	142,01	167,04	189,49	209,08

Dos indicadores apresentados na tabela anterior, foram selecionados os mais relevantes para a análise, dando assim, origem a uma construção gráfica, como se pode constatar pela Fig. 6.1.

Desta forma permite-se mostrar ao consumidor de uma forma detalhada e genérica, o impacto na sua instalação de um sistema para autoconsumo sem armazenamento de uma variedade de potências de produção, por forma a chegar a conclusões sobre qual a mais indicada a ser usada sem armazenamento integrado no seu sistema para autoconsumo.

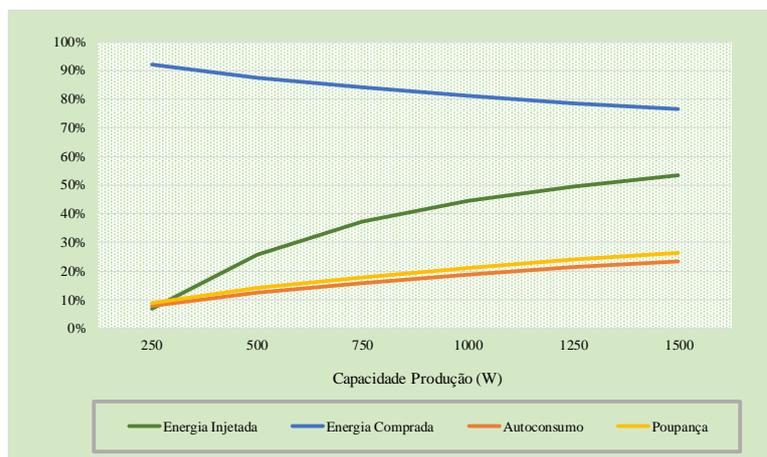


Fig. 6.1 – Dados referentes a um sistema sem armazenamento integrado.

Referindo como exemplo a potência de produção de 250 W, da energia total consumida, 92,13% é comprada à RESP, sendo o restante colmatado pela produção fotovoltaica (cerca de 7,87%). Já o valor referente à energia injetada, ou seja, a energia que é vendida para a RESP, devido à produção ser maior do que o consumo em determinados momentos, apresenta cerca de 6,70% do total da energia produzida. Pode-se constatar que, com o aumento da capacidade de produção, como por exemplo, para 500 W, o valor da energia comprada decresce cerca de 4,66%, mas por sua vez a energia injetada na rede passa de 6,70% para 25,74%, ou seja, à medida que a capacidade instalada aumenta, a percentagem da energia comprada referente ao consumo decresce e a percentagem da energia injetada referente à produção aumenta. A percentagem do consumo suportado pelo autoconsumo aumenta, mas tende a saturar com o aumento da capacidade de produção, o mesmo é refletido nas poupanças, já que menos energia comprada, menos custos.

Pode-se concluir que, para este consumidor, para potências instaladas acima dos 500 W, a associação de uma capacidade de armazenamento, é uma mais valia, isto devido não só à quantidade de energia que é injetada na rede, a qual pode ser aproveitada e ser usada em horas onde não há produção, mas também devido ao valor de energia comprada, não ter uma diferença muito significativa para potências superiores.

6.1.2 Sistema para Autoconsumo com Armazenamento

Nesta secção são apresentados e discutidos, os resultados obtidos no estudo de um sistema para autoconsumo com armazenamento. São tidos em conta vários cenários, os quais englobam diversas combinações de produção e armazenamento. Perante o que foi mostrado para um cenário onde não existe armazenamento, foi concluído que para este consumidor, é relevante o uso de armazenamento acima de uma capacidade de produção de 500 W, tendo em conta que a energia injetada na rede passa a ter um valor preponderante para valores de potência instalada superior a 500 W.

Deste modo, faz-se a análise de um sistema com armazenamento, para potências a partir de 750 W, até um total de 1500 W, com um intervalo de 250 W. Já no que diz respeito às capacidades de armazenamento a incluir neste estudo, estas estão compreendidas entre os 1000 Wh e os 10000 Wh, considerando-se escalonamentos de 1000 Wh.

Como anteriormente apresentado, para o caso onde não havia armazenamento incluído, os resultados para este caso, também são mostrados em forma de tabela e conseqüentemente de forma gráfica. Neste caso para a construção gráfica foram escolhidos três indicadores para melhor mostrar a conjugação das potências de produção com as capacidades de armazenamento.

Seguidamente, são então analisados os vários cenários, sendo os mesmos estruturados por apresentação de uma tabela, gráfico e por fim uma análise onde se justifica qual a capacidade de armazenamento mais indicada para cada potência de produção.

Cenário 750 W

Tabela 6.2 – Dados relativos à capacidade de produção de 750 W.

Produção Fotovoltaica (W)		750									
Capacidade Bateria (Wh)		1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
Energia Consumida (kWh)		4439,04									
Energia Produzida (kWh)		1123,42									
Energia Comprada	kWh	3492,17	3403,87	3361,81	3355,29	3355,00	3354,72	3354,43	3354,15	3353,86	3353,58
	%	78,67	76,68	75,73	75,59	75,58	75,57	75,57	75,56	75,55	75,55
Energia Injetada	kWh	150,72	53,20	6,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	%	13,42	4,74	0,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Horas Carga Min Bateria	Horas	6250,75	6016,75	5930,50	5918,50	5917,00	5916,75	5914,00	5913,50	5913,00	5913,00
	%	71,36	68,68	67,70	67,56	67,55	67,54	67,51	67,51	67,50	67,50
Horas Carga Máx Bateria	Horas	573,25	240,00	42,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	%	6,54	2,74	0,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Energia Autoconsumida	kWh	946,87	1035,16	1077,23	1083,75	1084,04	1084,32	1084,61	1084,89	1085,18	1085,46
	% (Consumo)	21,33	23,32	24,27	24,41	24,42	24,43	24,43	24,44	24,45	24,45
	% (Produção)	84,28	92,14	95,89	96,47	96,49	96,52	96,54	96,57	96,60	96,62
Encargos Energéticos Sem Autoconsumo (€)		793,28									
Encargos Energéticos Com Autoconsumo (€)		601,48	582,99	575,20	574,21	574,15	574,08	574,02	573,95	573,89	573,82
Custo Evitado/kWh (€)		0,2026	0,2032	0,2024	0,2021	0,2021	0,2022	0,2022	0,2022	0,2022	0,2022
Poupança	%	24,18	26,51	27,49	27,62	27,62	27,63	27,64	27,65	27,66	27,66
	€	191,80	210,30	218,08	219,07	219,13	219,20	219,26	219,33	219,39	219,46

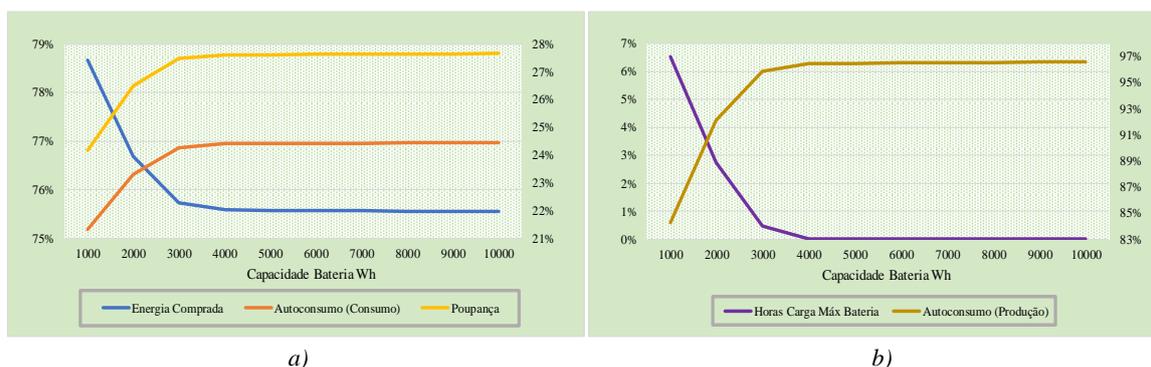


Fig. 6.2 – Dados relativos à capacidade de produção de 750 W.

Para este nível de potência de produção de 750 W, a capacidade de armazenamento que melhor se adequa é a de 3000 Wh.

Da análise à Fig. 6.2, constata-se que as curvas representadas, praticamente se mantêm constantes a partir de uma capacidade de armazenamento de 3000 Wh, o que leva a afirmar que a instalação de uma bateria superior a esta capacidade de armazenamento não traz quase nenhum benefício ao cliente, devido à ligeira diferença existente entre valores dos indicadores, não sendo assim, esses valores justificativos de um investimento numa capacidade de armazenamento superior. A energia injetada é um outro indicador que leva à justificação anteriormente afirmada, como se pode ver nos dados representados na Tabela 6.2, a energia injetada na RESP, do total de energia produzida, para uma capacidade de 3000 Wh, é cerca de 0,61% e a de uma capacidade de 4000 Wh é de 0%. Da análise ao número de horas carga máxima da bateria, chega-se à mesma conclusão, ou seja, uma capacidade superior à de 3000 Wh, não se justifica.

Cenário 1000 W

Tabela 6.3 – Dados relativos à capacidade de produção de 1000 W.

Produção Fotovoltaica (W)		1000									
Capacidade Bateria (Wh)		1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
Energia Consumida (kWh)		4439,04									
Energia Produzida (kWh)		1497,90									
Energia Comprada	kWh	3318,59	3188,46	3096,94	3036,78	3010,38	3006,05	3005,10	3004,15	3003,55	3003,26
	%	74,76	71,83	69,77	68,41	67,82	67,72	67,70	67,68	67,66	67,66
Energia Injetada	kWh	346,55	202,67	101,59	35,25	6,31	1,82	1,08	0,35	0,00	0,00
	%	23,14	13,53	6,78	2,35	0,42	0,12	0,07	0,02	0,00	0,00
Horas Carga Min Bateria	Horas	5958,75	5643,25	5453,75	5301,25	5199,25	5184,25	5178,75	5175,75	5174,50	5174,25
	%	68,02	64,42	62,26	60,52	59,35	59,18	59,12	59,08	59,07	59,07
Horas Carga Máx Bateria	Horas	900,50	559,00	318,75	135,00	28,25	6,50	3,75	2,25	0,00	0,00
	%	10,28	6,38	3,64	1,54	0,32	0,07	0,04	0,03	0,00	0,00
Energia Autoconsumida	kWh	1120,45	1250,58	1342,10	1402,25	1428,66	1432,99	1433,94	1434,89	1435,49	1435,78
	% (Consumo)	25,24	28,17	30,23	31,59	32,18	32,28	32,30	32,32	32,34	32,34
	% (Produção)	74,80	83,49	89,60	93,61	95,38	95,67	95,73	95,79	95,83	95,85
Encargos Energéticos Sem Autoconsumo (€)		793,28									
Encargos Energéticos Com Autoconsumo (€)		567,51	540,95	523,93	514,07	510,18	509,51	509,36	509,19	509,09	509,02
Custo Evitado/kWh (€)		0,2015	0,2018	0,2007	0,1991	0,1982	0,1980	0,1980	0,1980	0,1980	0,1980
Poupança	%	28,46	31,81	33,95	35,20	35,69	35,77	35,79	35,81	35,83	35,83
	€	225,77	252,34	269,36	279,21	283,11	283,78	283,92	284,10	284,20	284,26

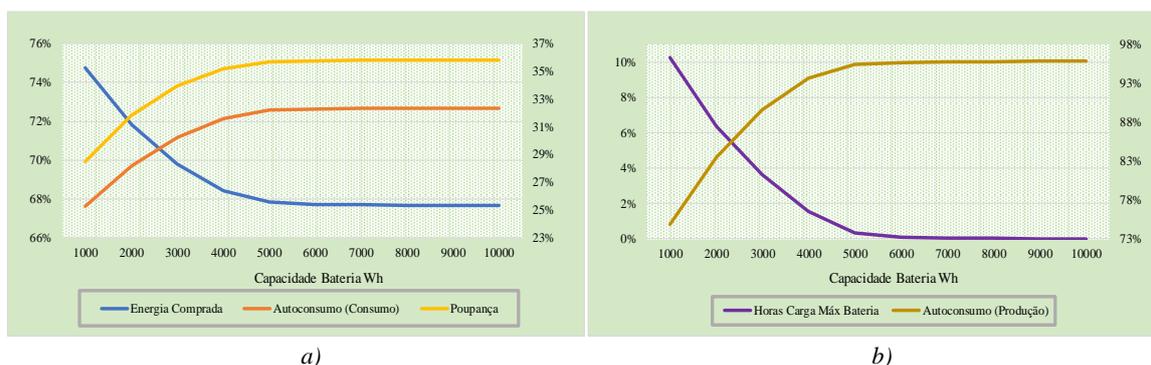


Fig. 6.3 – Dados relativos à capacidade de produção de 1000 W.

Neste cenário representativo de uma potência instalada de produção de 1000 W a capacidade de armazenamento que melhor se adapta ao consumidor é a correspondente a 4000 Wh.

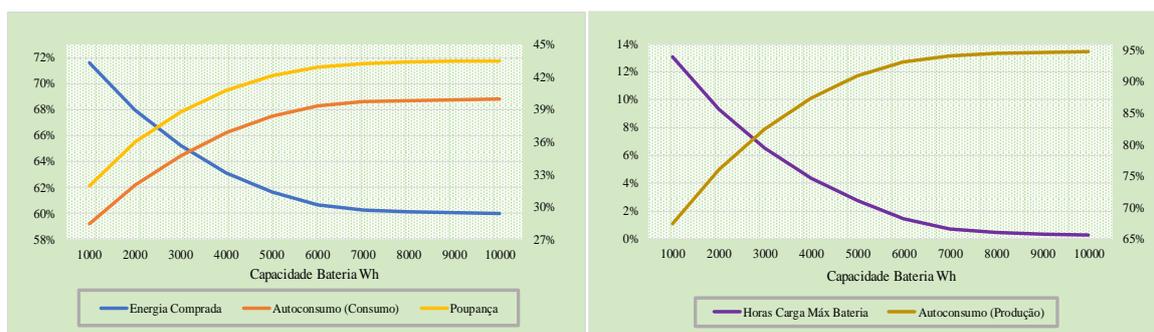
Através da análise da Fig. 6.3, verifica-se que a partir de uma capacidade de 4000 Wh, o valor dos indicadores representados, praticamente se mantêm constantes, não tornando assim eficiente do ponto de vista energético a escolha de uma capacidade de armazenamento acima dos 4000 Wh.

Relativamente à energia injetada, como se pode ver na Tabela 6.3, esta mantém-se de acordo com os indicadores representados graficamente, ou seja, acima de uma capacidade de 4000 Wh, a mesma toma valores pouco interessantes, sendo assim, uma capacidade acima dos 4000 Wh, não é indicada. Por outro lado analisando o número de horas de carga máxima anuais a que a bateria se encontra (Tabela 6.3), que de forma ideal deve ser o mais baixo possível, isto porque, quanto mais elevado o número de horas de carga máxima da bateria, mais energia se vai injetar na rede. Para uma capacidade de 4000 Wh, apenas em 1,54% das horas anuais a bateria se encontra à carga máxima, e para uma capacidade de 5000 Wh, esse valor reduz-se para 0,32%. Pela diferença de horas anuais à carga máxima que as duas capacidades apresentam, não se justifica usar a de maior capacidade.

Cenário 1250 W

Tabela 6.4 – Dados relativos à capacidade de produção de 1250 W.

Produção Fotovoltaica (W)		1250									
Capacidade Bateria (Wh)		1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
Energia Consumida (kWh)		4439,04									
Energia Produzida (kWh)		1872,37									
Energia Comprada	kWh	3178,41	3016,68	2896,07	2802,29	2735,36	2693,73	2675,70	2669,40	2665,86	2663,18
	%	71,60	67,96	65,24	63,13	61,62	60,68	60,28	60,13	60,05	59,99
Energia Injetada	kWh	577,96	399,08	265,76	162,16	88,32	42,50	22,84	16,17	12,57	9,91
	%	30,87	21,31	14,19	8,66	4,72	2,27	1,22	0,86	0,67	0,53
Horas Carga Min Bateria	Horas	5731,25	5354,00	5104,75	4860,75	4633,00	4520,00	4454,25	4436,25	4422,25	4418,25
	%	65,43	61,12	58,27	55,49	52,89	51,60	50,85	50,64	50,48	50,44
Horas Carga Máx Bateria	Horas	1145,00	814,25	569,75	384,25	238,75	128,50	63,75	42,25	32,00	25,75
	%	13,07	9,30	6,50	4,39	2,73	1,47	0,73	0,48	0,37	0,29
Energia Autoconsumida	kWh	1260,63	1422,36	1542,97	1636,75	1703,68	1745,31	1763,34	1769,64	1773,18	1775,86
	% (Consumo)	28,40	32,04	34,76	36,87	38,38	39,32	39,72	39,87	39,95	40,01
	% (Produção)	67,33	75,97	82,41	87,42	90,99	93,21	94,18	94,51	94,70	94,85
Encargos Energéticos Sem Autoconsumo (€)		793,28									
Encargos Energéticos Com Autoconsumo (€)		540,12	507,52	485,22	469,51	459,15	452,83	450,06	449,00	448,35	447,92
Custo Evitado/kWh (€)		0,2008	0,2009	0,1997	0,1978	0,1961	0,1951	0,1946	0,1945	0,1945	0,1945
Poupança	%	31,91	36,02	38,83	40,81	42,12	42,92	43,27	43,40	43,48	43,54
	€	253,17	285,76	308,06	323,77	334,13	340,45	343,22	344,28	344,93	345,37



a)

b)

Fig. 6.4 – Dados relativos à capacidade de produção de 1250 W.

Neste cenário a bateria que melhor se adequa a esta capacidade de produção para este consumidor em estudo, é uma bateria com uma capacidade de 5000 Wh.

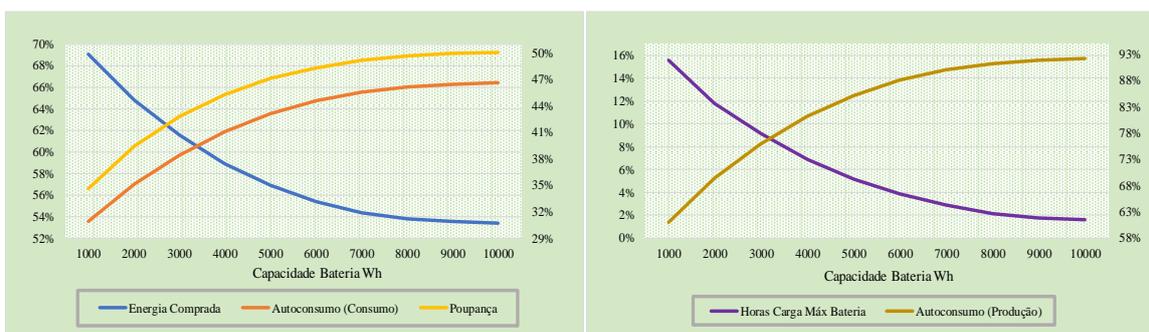
Neste caso, nota-se que a partir de uma capacidade de 5000 Wh, a escolha de uma capacidade superior tem um reduzido impacto nos indicadores.

No que à energia injetada e às horas de carga máxima diz respeito, para esta capacidade escolhida, as mesmas apresentam, 4,72% e 2,73%, respetivamente, estes valores estão dentro de níveis aceitáveis, pelos quais se justifica a escolha desta capacidade. O valor de poupança anual é um outro indicador justificativo desta escolha, para uma capacidade de 5000 Wh é cerca de 42,12% dos encargos energéticos sem autoconsumo, enquanto que para uma capacidade de 6000 Wh o incremento do mesmo tem pouca relevância, sendo apenas de 0,8%, o qual não justifica o aumento da capacidade de armazenamento.

Cenário 1500 W

Tabela 6.5 – Dados relativos à capacidade de produção de 1500 W.

Produção Fotovoltaica (W)		1500									
Capacidade Bateria (Wh)		1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
Energia Consumida (kWh)		4439,04									
Energia Produzida (kWh)		2246,85									
Energia Comprada	kWh	3067,04	2878,76	2733,38	2616,31	2525,32	2458,59	2413,99	2388,15	2376,43	2368,99
	%	69,09	64,85	61,58	58,94	56,89	55,39	54,38	53,80	53,53	53,37
Energia Injetada	kWh	839,77	631,46	470,69	341,29	240,79	167,16	118,06	89,74	77,07	69,15
	%	37,38	28,10	20,95	15,19	10,72	7,44	5,25	3,99	3,43	3,08
Horas Carga Min Bateria	Horas	5530,50	5107,00	4817,75	4518,50	4235,25	4043,00	3922,50	3838,00	3808,50	3789,75
	%	63,13	58,30	55,00	51,58	48,35	46,15	44,78	43,81	43,48	43,26
Horas Carga Máx Bateria	Horas	1366,50	1033,00	799,25	600,75	453,50	338,25	251,75	188,25	155,75	141,00
	%	15,60	11,79	9,12	6,86	5,18	3,86	2,87	2,15	1,78	1,61
Energia Autoconsumida	kWh	1371,99	1560,27	1705,65	1822,72	1913,72	1980,44	2025,04	2050,89	2062,60	2070,04
	% (Consumo)	30,91	35,15	38,42	41,06	43,11	44,61	45,62	46,20	46,47	46,63
	% (Produção)	61,06	69,44	75,91	81,12	85,17	88,14	90,13	91,28	91,80	92,13
Encargos Energéticos Sem Autoconsumo (€)		793,28									
Encargos Energéticos Com Autoconsumo (€)		518,35	480,65	453,74	434,05	419,72	409,71	403,01	399,16	397,26	396,07
Custo Evitado/kWh (€)		0,2004	0,2004	0,1991	0,1971	0,1952	0,1937	0,1927	0,1922	0,1920	0,1919
Poupança	%	34,66	39,41	42,80	45,28	47,09	48,35	49,20	49,68	49,92	50,07
	€	274,93	312,63	339,54	359,23	373,56	383,57	390,27	394,13	396,02	397,21



a) b)
 Fig. 6.5 – Dados relativos à capacidade de produção de 1500 W.

Para uma potência instalada de 1500 W o valor de capacidade de armazenamento escolhido, como opção mais favorável ao consumidor, é uma capacidade de 6000 Wh.

Claramente se depara na evolução dos indicadores uma diferença no alongamento das curvas representadas, em relação a uma potência de produção de 750 W, podendo assim afirmar que à medida que a potência de produção aumenta a capacidade de armazenamento aumenta conjuntamente. Pela análise gráfica, consegue-se perceber que até uma capacidade de armazenamento de 6000 Wh, a diferença entre valores dos indicadores para cada nível de capacidade, têm alguma significância, passando a partir desse valor a não serem justificativos da escolha de uma capacidade superior, trazendo reduzidos benefícios acrescidos ao consumidor, e um aumento do tempo de retorno do investimento na capacidade de armazenamento.

O número de horas à carga máxima, a que a bateria de 6000 Wh se prevê que esteja anualmente é cerca de 5,18%, sendo de cerca 3,86%, para uma capacidade de 7000 Wh. Esta diferença não justifica o aumento da capacidade de armazenamento para além dos 6000 Wh. O mesmo se reflete pela poupança anual em relação aos encargos energéticos sem autoconsumo, pelo uso de por exemplo, uma bateria de 6000 Wh ser de aproximadamente 48,35%, enquanto que para uma capacidade de 7000 Wh a mesma representa uma poupança de 49,20%, tendo uma diferença inferior a 1%, não compensando o aumento do investimento.

6.2 Caso 2 - Usando a Metodologia 2

6.2.1 Sistema para Autoconsumo sem Armazenamento

Desta forma, como já indicado no caso anterior, na Tabela 6.6 apresentam-se dados referentes a um sistema para autoconsumo sem armazenamento integrado, igualmente com várias opções de potências de produção, desde os 250 W aos 1500 W, com um período de 250 W.

É de destacar neste caso que os valores apresentados, têm a consequência das aproximações efetuadas na elaboração deste método, pelo que, alguns indicadores são afetados dessas

aproximações e consequentemente a sua previsão torna-se mais difícil em relação à metodologia 1, como é de referir mais propriamente o caso da energia injetada.

Tabela 6.6 – Dados referentes a um sistema sem armazenamento integrado.

Produção Fotovoltaica (W)		250	500	750	1000	1250	1500
Energia Consumida (kWh)		4439,04					
Energia Produzida (kWh)		374,47	748,95	1123,42	1497,90	1872,37	2246,85
Energia Comprada	kWh	4064,57	3766,57	3640,97	3468,10	3387,89	3272,94
	%	91,56	84,85	82,02	78,13	76,32	73,73
Energia Injetada	kWh	0,00	15,07	133,19	324,71	551,53	798,08
	%	0,00	2,01	11,86	21,68	29,46	35,52
Energia Autoconsumida	kWh	374,47	672,48	798,08	970,95	1051,15	1166,10
	% (Consumo)	8,44	15,15	17,98	21,87	23,68	26,27
	% (Produção)	100,00	89,79	71,04	64,82	56,14	51,90
Encargos Energéticos Sem Autoconsumo (€)		793,28					
Encargos Energéticos Com Autoconsumo (€)		718,77	659,48	634,49	600,09	584,13	561,26
Custo Evitado/kWh (€)		0,1990	0,1990	0,1990	0,1990	0,1990	0,1990
Poupança	%	9,39	16,87	20,02	24,35	26,37	29,25
	€	74,51	133,81	158,80	193,19	209,15	232,02

De forma gráfica foram escolhidos quatro indicadores, relevantes para a decisão, os quais estão representados na Fig. 6.6.

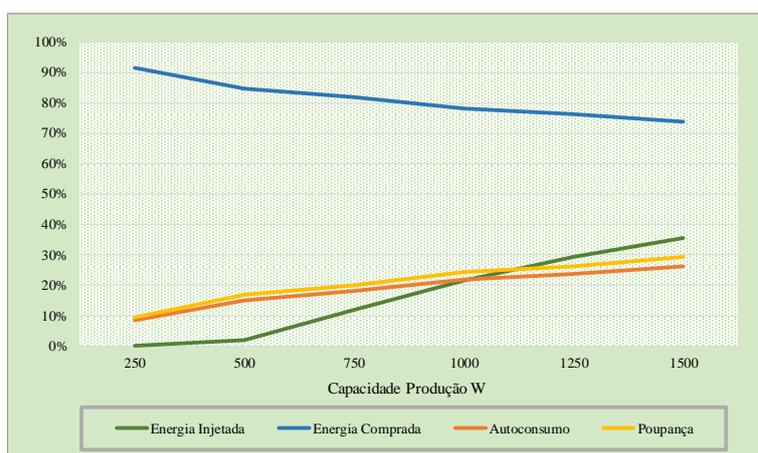


Fig. 6.6 – Dados referentes a um sistema sem armazenamento integrado.

Pela análise gráfica, constata-se que, para uma potência de produção de 250 W, 91,56% da energia consumida é comprada à rede. Quando aumentamos o valor da capacidade de produção, por exemplo, para os 500 W, o valor da energia a comprar à rede passa a representar cerca de 84,85% do total da energia consumida. Constata-se assim que, a redução não toma um valor muito significativo sendo de apenas 6,71%. Também é possível verificar que ao aumentar a potência de produção, o rácio da diferença entre potências de produção de energia comprada à rede cada vez é menor. É de notar também que a partir de uma potência de produção de 500 W, começa a existir injeção de energia na rede, pelo que seria vantajoso adquirir capacidade de armazenamento, de modo a utilizar essa energia injetada para aumentar o autoconsumo.

Olhando agora para a parte referente à poupança na fatura anual, é possível observar que entre uma potência de produção de 250 W e uma de 500 W a poupança na fatura de energia aumenta

cerca de 7,48%, e de 500 W para 750 W, já só aumenta 3,15%, observando-se assim uma diminuição da taxa de poupança por cada 250 W adicionais na potência de produção.

Por conseguinte dos factos constatados anteriormente, é levado a concluir que para este consumidor, é vantajoso ter uma capacidade de armazenamento integrada no seu sistema para autoconsumo para potências acima de 500 W de produção.

6.2.2 Sistema para Autoconsumo com Armazenamento

Neste ponto são apresentados e discutidos, os resultados obtidos no estudo englobando a metodologia 2, de um sistema com armazenamento. Como para o caso 1, a análise aqui torna-se semelhante, são apresentados também vários cenários, com diversas combinações de potências de produção e capacidades de armazenamento.

Como visto anteriormente para a análise de um sistema para autoconsumo sem armazenamento, verificou-se que para este consumidor em estudo, é relevante integrar armazenamento para potências de produção acima dos 500 W, de modo a aproveitar a energia produzida que seria injetada na rede, e assim consequentemente aumentar o autoconsumo. Surge assim, a opção de se fazer o estudo do sistema com armazenamento, para um conjunto de potências a partir de 750 W, até um total de 1500 W, com um intervalo de 250 W. Já no que diz respeito às capacidades de armazenamento a incluir neste estudo, são compreendidas entre os 1000 Wh e os 10000 Wh, em escalonamentos de 1000 Wh. Esta análise é em tudo semelhante à anterior, por forma a permitir uma possível comparação dos dois métodos posteriormente.

De seguida são então mostrados e analisados os vários cenários e feita a escolha de qual a capacidade de armazenamento que melhor se adequa a cada potência de produção.

Cenário 750 W

Tabela 6.7 – Dados relativos à capacidade de produção de 750 W.

Produção Fotovoltaica (W)		750									
Capacidade Bateria (Wh)		1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
Energia Consumida (kWh)		4439,04									
Energia Produzida (kWh)		1123,42									
Energia Comprada	kWh	3565,93	3513,08	3493,39	3493,39	3493,39	3493,39	3493,39	3493,39	3493,39	3493,39
	%	80,33	79,14	78,70	78,70	78,70	78,70	78,70	78,70	78,70	78,70
Energia Injetada	kWh	59,19	9,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	%	5,27	0,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Energia Autoconsumida	kWh	873,11	925,96	945,65	945,65	945,65	945,65	945,65	945,65	945,65	945,65
	% (Consumo)	19,67	20,86	21,30	21,30	21,30	21,30	21,30	21,30	21,30	21,30
	% (Produção)	77,72	82,42	84,18	84,18	84,18	84,18	84,18	84,18	84,18	84,18
Encargos Energéticos Sem Autoconsumo (€)		793,28									
Encargos Energéticos Com Autoconsumo (€)		619,56	609,04	605,12	605,12	605,12	605,12	605,12	605,12	605,12	605,12
Custo Evitado/kWh (€)		0,1990	0,1990	0,1990	0,1990	0,1990	0,1990	0,1990	0,1990	0,1990	0,1990
Poupança	%	21,90	23,23	23,72	23,72	23,72	23,72	23,72	23,72	23,72	23,72
	€	173,73	184,24	188,16	188,16	188,16	188,16	188,16	188,16	188,16	188,16

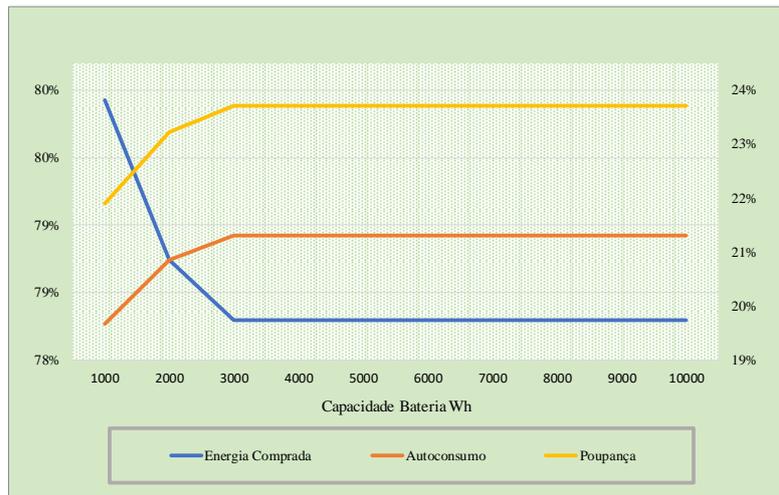


Fig. 6.7 – Dados relativos à capacidade de produção de 750 W.

Perante a análise, da Tabela 6.7 e conseqüentemente da Fig. 6.7, chega-se facilmente à conclusão que a bateria escolhida neste caso é uma bateria com uma capacidade de armazenamento de 3000 Wh.

De acordo com o gráfico da Fig. 6.7, para uma capacidade de armazenamento acima dos 3000 Wh, os valores dos indicadores representados mantêm-se constantes, ou seja, o aumento da capacidade de armazenamento não traz benefícios ao consumidor. A escolha desta capacidade de bateria acarreta o benefício de que o valor médio anual de energia produzida injetada na rede é aproximadamente zero.

Com esta escolha o consumidor fica a poupar em média anualmente 23,72% dos encargos energéticos sem autoconsumo.

Cenário 1000 W

Tabela 6.8 – Dados relativos à capacidade de produção de 1000 W.

Produção Fotovoltaica (W)		1000									
Capacidade Bateria (Wh)		1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
Energia Consumida (kWh)		4439,04									
Energia Produzida (kWh)		1497,90									
Energia Comprada	kWh	3361,00	3250,39	3185,99	3123,50	3108,30	3108,30	3108,30	3108,30	3108,30	3108,30
	%	75,71	73,22	71,77	70,36	70,02	70,02	70,02	70,02	70,02	70,02
Energia Injetada	kWh	217,61	115,68	51,28	5,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	%	14,53	7,72	3,42	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Energia Autoconsumida	kWh	1078,05	1188,65	1253,05	1315,55	1330,74	1330,74	1330,74	1330,74	1330,74	1330,74
	% (Consumo)	24,29	26,78	28,23	29,64	29,98	29,98	29,98	29,98	29,98	29,98
	% (Produção)	71,97	79,35	83,65	87,83	88,84	88,84	88,84	88,84	88,84	88,84
Encargos Energéticos Sem Autoconsumo (€)		793,28									
Encargos Energéticos Com Autoconsumo (€)		578,78	556,77	543,96	531,52	528,50	528,50	528,50	528,50	528,50	528,50
Custo Evitado/kWh (€)		0,1990	0,1990	0,1990	0,1990	0,1990	0,1990	0,1990	0,1990	0,1990	0,1990
Poupança	%	27,04	29,81	31,43	33,00	33,38	33,38	33,38	33,38	33,38	33,38
	€	214,50	236,51	249,32	261,76	264,78	264,78	264,78	264,78	264,78	264,78

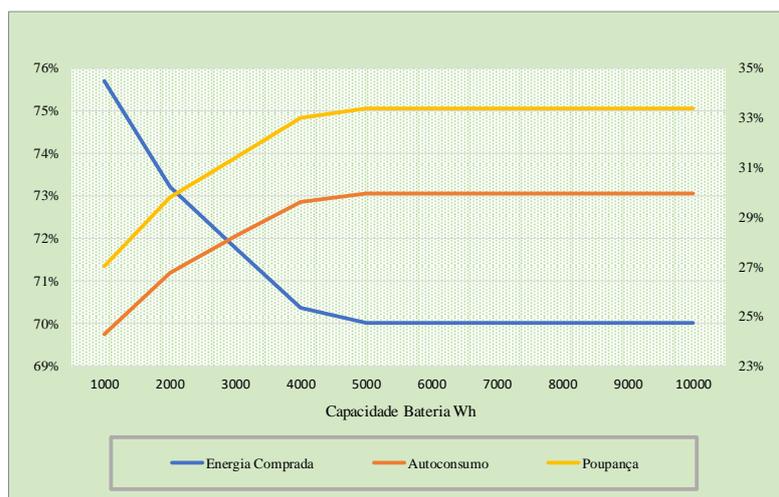


Fig. 6.8 – Dados relativos à capacidade de produção de 1000 W.

Para esta potência de produção, a bateria selecionada como uma situação benéfica em termos energéticos para o cliente, é uma bateria correspondente a uma capacidade de 4000 Wh.

O valor anteriormente referido é facilmente justificável pela Fig. 6.8, como se pode observar, para uma capacidade acima dos 4000 Wh as curvas praticamente se mantêm constantes, não sendo relevante a escolha de um valor acima de capacidade de armazenamento. Pelo indicador referente à energia injetada na rede, referenciado na Tabela 6.8, também é possível justificar esta escolha, ou seja, para uma capacidade de 4000 Wh apenas 0,35% da energia produzida em média é injetada na rede. Escolher uma capacidade de armazenamento acima de 4000 Wh apresenta uma diferença do valor da energia injetada na rede, o qual não é justificativo para esse aumento. O valor de poupança energética associado à capacidade de 4000 Wh é em média cerca de 33% dos encargos energéticos sem autoconsumo.

Cenário 1250 W

Tabela 6.9 – Dados relativos à capacidade de produção de 1250 W

Produção Fotovoltaica (W)		1250									
Capacidade Bateria (Wh)		1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
Energia Consumida (kWh)		4439,04									
Energia Produzida (kWh)		1872,37									
Energia Comprada	kWh	3246,51	3134,58	3027,48	2924,01	2859,61	2793,50	2776,77	2776,77	2776,77	2776,77
	%	73,14	70,61	68,20	65,87	64,42	62,93	62,55	62,55	62,55	62,55
Energia Injetada	kWh	411,45	302,04	194,94	107,77	43,37	2,40	0,00	0,00	0,00	0,00
	%	21,97	16,13	10,41	5,76	2,32	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00
Energia Autoconsumida	kWh	1192,53	1304,46	1411,56	1515,03	1579,43	1645,54	1662,27	1662,27	1662,27	1662,27
	% (Consumo)	26,86	29,39	31,80	34,13	35,58	37,07	37,45	37,45	37,45	37,45
	% (Produção)	63,69	69,67	75,39	80,92	84,35	87,89	88,78	88,78	88,78	88,78
Encargos Energéticos Sem Autoconsumo (€)		793,28									
Encargos Energéticos Com Autoconsumo (€)		556,00	533,73	512,42	491,83	479,02	465,86	462,53	462,53	462,53	462,53
Custo Evitado/kWh (€)		0,1990	0,1990	0,1990	0,1990	0,1990	0,1990	0,1990	0,1990	0,1990	0,1990
Poupança	%	29,91	32,72	35,41	38,00	39,62	41,27	41,69	41,69	41,69	41,69
	€	237,28	259,55	280,86	301,45	314,27	327,42	330,75	330,75	330,75	330,75

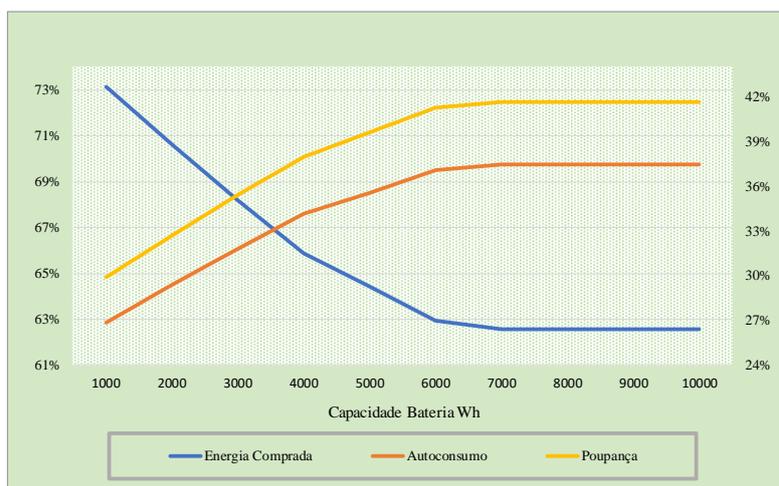


Fig. 6.9 – Dados relativos à capacidade de produção de 1250 W.

A capacidade de armazenamento da bateria para este cenário de produção proposta ao cliente é uma bateria de 5000 Wh.

Esta capacidade pode ser justificada pela análise da Fig. 6.9, onde se constata que a partir de uma capacidade acima dos 6000 Wh, os indicadores praticamente se mantêm constantes. Por outro lado analisando o valor da energia produzida que é injetada em média na rede no caso de uma bateria de 5000 Wh e no caso de uma bateria de 6000 Wh, o mesmo não justifica uma capacidade acima dos 5000 Wh, visto que, o valor de energia injetado na rede passar de apenas 2,32% para um valor residual de 0,13%. Outro fator decisor neste caso é o indicador referente à poupança energética que, para uma bateria com uma capacidade de 6000 Wh a poupança em relação aos encargos energéticos sem autoconsumo aumenta apenas cerca de 1,65%, em relação a uma capacidade de 5000 Wh.

Cenário 1500 W

Tabela 6.10 – Dados relativos à capacidade de produção de 1500 W.

Produção Fotovoltaica (W)		1500									
Capacidade Bateria (Wh)		1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
Energia Consumida (kWh)		4439,04									
Energia Produzida (kWh)		2246,85									
Energia Comprada	kWh	3123,14	2972,40	2851,56	2744,46	2637,36	2541,03	2476,63	2415,86	2415,86	2415,86
	%	70,36	66,96	64,24	61,83	59,41	57,24	55,79	54,42	54,42	54,42
Energia Injetada	kWh	648,28	501,87	386,46	279,36	172,26	99,85	35,45	0,00	0,00	0,00
	%	28,85	22,34	17,20	12,43	7,67	4,44	1,58	0,00	0,00	0,00
Energia Autoconsumida	kWh	1315,90	1466,64	1587,48	1694,58	1801,68	1898,02	1962,42	2023,18	2023,18	2023,18
	% (Consumo)	29,64	33,04	35,76	38,17	40,59	42,76	44,21	45,58	45,58	45,58
	% (Produção)	58,57	65,28	70,65	75,42	80,19	84,47	87,34	90,05	90,05	90,05
Encargos Energéticos Sem Autoconsumo (€)		793,28									
Encargos Energéticos Com Autoconsumo (€)		531,45	501,46	477,41	456,10	434,79	415,63	402,81	390,72	390,72	390,72
Custo Evitado/kWh (€)		0,1990	0,1990	0,1990	0,1990	0,1990	0,1990	0,1990	0,1990	0,1990	0,1990
Poupança	%	33,01	36,79	39,82	42,50	45,19	47,61	49,22	50,75	50,75	50,75
	€	261,83	291,82	315,87	337,18	358,49	377,66	390,47	402,56	402,56	402,56

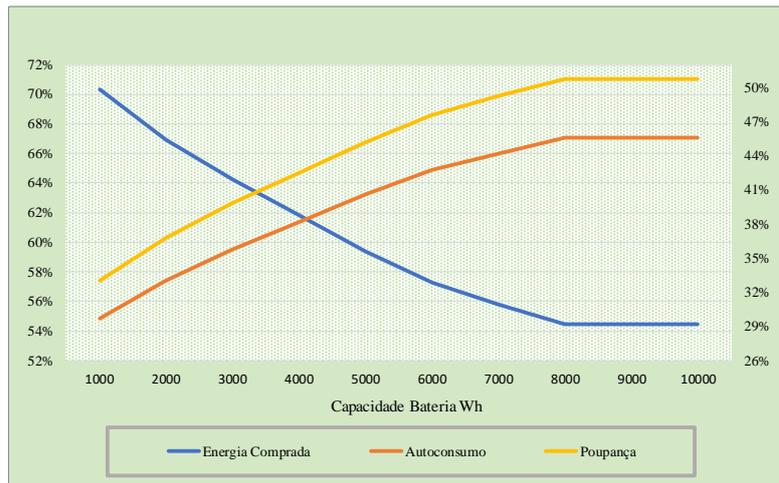


Fig. 6.10 – Dados relativos à capacidade de produção de 1500 W.

Nesta etapa o valor de capacidade de armazenamento escolhida como proposta ao consumidor, corresponde a um valor de capacidade de armazenamento de 6000 Wh.

Neste cenário é refletido que, a partir de uma capacidade de armazenamento de 6000 Wh, para uma potência de 1500 W, como se pode comprovar pela Fig. 6.10, o decréscimo em média da energia comprada e conseqüentemente o aumento do autoconsumo e da poupança, para capacidades de armazenamento superior não se torna muito relevante em relação aos valores indicados com uma capacidade de 6000 Wh. A energia injetada é um outro indicador que justifica esta escolha, pois para uma capacidade de armazenamento de 6000 Wh apresenta em média cerca de 4,44% da energia produzida injetada na rede, e para uma capacidade de 7000 Wh apresenta em média cerca de 1,58% energia produzida injetada na rede, esta diferença, não é justificável para se adquirir uma capacidade superior. O valor da poupança em relação aos encargos energéticos sem autoconsumo é outro fator que justifica esta escolha, sendo o aumento de cerca de 1,61%, o que não é relevante para considerar uma capacidade de armazenamento superior à escolhida.

6.3 Conclusões

Posta a análise dos vários cenários para os dois casos, são apresentadas de seguida a Tabela 6.11 e 6.12 e conseqüentemente a Fig. 6.11 e Fig. 6.12, representativas da conjugação das potências de produção para as capacidades de armazenamento, mais indicadas para este consumidor de forma a aumentar o autoconsumo, onde foi usada a metodologia 1 e a metodologia 2, respetivamente.

Tabela 6.11 – Dados referentes às soluções apresentadas ao consumidor (metodologia 1).

Produção Fotovoltaica (W)		750	1000	1250	1500
Capacidade Bateria (Wh)		3000	4000	5000	6000
Energia Consumida (kWh)		4439,04			
Energia Produzida (kWh)		1123,42	1497,90	1872,37	2246,85
Energia Comprada	kWh	3361,81	3036,78	2735,36	2458,59
	%	75,73	68,41	61,62	55,39
Energia Injetada	kWh	6,91	35,25	88,32	167,16
	%	0,61	2,35	4,72	7,44
Horas Carga Min Bateria	Horas	5930,50	5301,25	4633,00	4043,00
	%	67,70	60,52	52,89	46,15
Horas Carga Máx Bateria	Horas	42,75	135,00	238,75	338,25
	%	0,49	1,54	2,73	3,86
Energia Autoconsumida	kWh	1077,23	1402,25	1703,68	1980,44
	% (Consumo)	24,27	31,59	38,38	44,61
	% (Produção)	95,89	93,61	90,99	88,14
Encargos Energéticos Sem Autoconsumo (€)		793,28			
Encargos Energéticos Com Autoconsumo (€)		575,20	514,07	459,15	409,71
Custo Evitado/kWh (€)		0,2024	0,1991	0,1961	0,1937
Poupança	%	27,49	35,20	42,12	48,35
	€	218,08	279,21	334,13	383,57

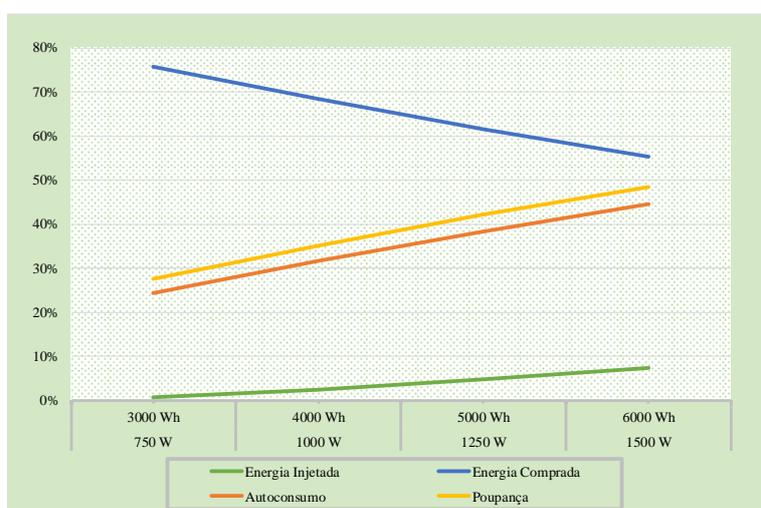


Fig. 6.11 – Dados referentes às soluções apresentadas ao consumidor (metodologia 1).

Da análise à Tabela 6.11 e com uma outra perspetiva de análise através da Fig. 6.11 é de destacar algumas características das soluções a apresentar ao cliente, destacando assim as seguintes: relativamente à energia comprada, por exemplo, para uma produção de 750 W e uma bateria de 3000 Wh, a rede contribui com cerca de 75,73% da energia total consumida, passando para um ponto extremo, onde para uma potência de produção de 1500 W e uma bateria de 6000 Wh, a rede contribui apenas com 55,39%, o que conduz uma redução significativa nos custos com a compra de energia, embora o custo da obtenção de um sistema com estas características seja mais elevado do que um sistema de 750 W e uma bateria de 3000 Wh.

A energia que é injetada na rede, em todos os cenários escolhidos, não vai acima dos 7,5% relativamente à energia produzida.

No que diz respeito ao valor de poupança o mesmo toma valores crescentes dependente da potência de produção escolhida e da bateria associada, como se pode constatar na Fig. 6.11, passando de um extremo ao outro de um valor de 218,08 € para 383,57 €.

É de concluir que as escolhas apresentadas são as mais viáveis em termos energéticos para este consumidor, embora tenham características diferentes no que ao investimento dizem respeito, as quais ficam ao encargo do investidor a decisão.

Tabela 6.12 – Dados referentes às soluções apresentadas ao consumidor (metodologia 2).

Produção Fotovoltaica (W)		750	1000	1250	1500	
Capacidade Bateria (Wh)		3000	4000	5000	6000	
Energia Consumida (kWh)		4439,04				
Energia Produzida (kWh)		1123,42	1497,90	1872,37	2246,85	
Energia Comprada	kWh	3493,39	3123,50	2859,61	2541,03	
	%	78,70	70,36	64,42	57,24	
Energia Injetada	kWh	0,00	5,25	43,37	99,85	
	%	0,00	0,35	2,32	4,44	
Energia Autoconsumida	kWh	945,65	1315,55	1579,43	1898,02	
	% (Consumo)	21,30	29,64	35,58	42,76	
		% (Produção)	84,18	87,83	84,35	84,47
Encargos Energéticos Sem Autoconsumo (€)		793,28				
Encargos Energéticos Com Autoconsumo (€)		605,12	531,52	479,02	415,63	
Custo Evitado/kWh (€)		0,1990	0,1990	0,1990	0,1990	
Poupança	%	23,72	33,00	39,62	47,61	
	€	188,16	261,76	314,27	377,66	

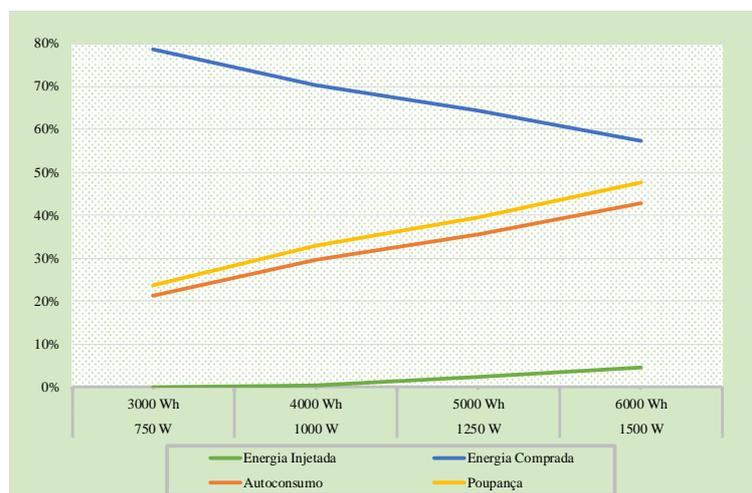


Fig. 6.12 – Dados referentes às soluções apresentadas ao consumidor (metodologia 2).

Numa análise semelhante ao caso anterior onde a metodologia 1 desenvolvida predominou, aqui, neste caso, com uma análise usando a metodologia 2, as conclusões a que se chegam relativamente às escolhas a apresentar ao cliente são em tudo idênticas. É de referir que a energia comprada para colmatar o consumo diminui à medida que a potência de produção e a capacidade associada aumentam, chegando a valores próximos dos 57,24%, para um caso extremo, onde é considerada uma potência de produção de 1500 W com a junção de uma bateria de 6000 Wh. Neste caso, é possível afirmar que em média os valores de energia injetada das escolhas efetuadas não vão acima dos 4,5%, sendo este valor de 4,5% considerado para o caso extremo máximo. Relativamente aos valores de poupança anuais, os mesmos tomam valores crescentes consoante o aumento da potência de produção a instalar. Passando de um extremo ao outro de um valor de 188,16 € para 377,66 €.

Posto isto, como concluído no caso anterior, o cliente tem quatro casos vantajosos para a sua instalação de modo a aumentar o autoconsumo com o sistema a instalar, dos quais pode escolher de forma a ter em consideração o seu investimento.

Passando agora a uma análise comparativa dos dois métodos, é possível afirmar que, efetuando o mesmo raciocínio de escolhas mais adequadas para o cliente com os vários cenários que foram expostos com a junção das capacidades de armazenamento, a escolha conclusiva apresentou os mesmos resultados. Pela análise detalhada dos valores referentes aos indicadores que os dois métodos apresentam, apresentam valores aproximados, não deixar de enunciar que o primeiro método tem dados detalhados durante um ano com um período temporal de 15 min e o segundo método tem apenas dados mensais identificados nas faturas de energia, nos quais foram feitas aproximações e médias para o desenvolvimento do método.

Sendo assim, é possível afirmar que o segundo caso, embora use valores médios associados aos seus cálculos, por exemplo, o indicador representante da poupança de energia anual apresenta em todos os cenários escolhidos valores mais baixos do que para o primeiro caso, o que leva a afirmar que, em comparação com o primeiro caso, onde os dados detalhados permitem um aumento de fiabilidade dos resultados em relação a dados médios, neste caso, ao se ter um valor mais baixo, não leva em engano o consumidor, em valores de poupanças, as quais poderiam não ser atingidas.

Estas justificações levam a concluir que a metodologia 1 é mais fiável, mas em geral não é exequível por falta de dados. Já o que à segunda metodologia diz respeito, esta apresentou ser um método mais simples, mas fidedigno e mais exequível, o qual pode ser usado para se fazer o estudo de um sistema para autoconsumo sem e com armazenamento integrado. Este mostrou grande capacidade de análise para se poder efetuar a escolha mais adequada do nível de potência e da capacidade de armazenamento indicada para o consumidor em estudo.

7. CONCLUSÕES

O trabalho desenvolvido na presente dissertação, teve como objetivo o desenvolvimento de duas metodologias, as quais permitem fazer o dimensionamento de um sistema para autoconsumo sem e com armazenamento residencial. Estas duas metodologias diferem nos dados que estão disponíveis para caracterizar os consumos de um consumidor doméstico. A metodologia 1 tem o acesso a dados anuais de consumo com uma resolução temporal de 15 min, enquanto a metodologia 2, é um método que usa apenas dados de faturas energéticas mensais, durante um ano e a uma auditoria energética simplificada com o consumidor, de forma a conhecer os seus hábitos de consumo.

O primeiro método acarreta a desvantagem de ser menos exequível pela necessidade de dados que é preciso recolher, que em geral não estão disponíveis, sendo necessário aparelhos específicos instalados na residência do consumidor o que torna mais dispendioso e moroso o processo de dimensionamento. No entanto, esta metodologia serviu para validar a metodologia 2 que requer apenas dados em geral disponíveis na faturação da eletricidade.

Após o desenvolvimento destas metodologias, as mesmas foram postas à prova, perante a análise de um consumidor que apresenta características específicas, tal como, a existência de uma grande sazonalidade, devido ao seu consumo de energia excessivo no inverno em comparação com o consumo no período de verão, devido ao uso de aquecimento elétrico quer de água quentes sanitárias quer de ambiente.

Ao efetuar a análise, do consumidor, usando as duas metodologias foram tidas em conta algumas considerações, de forma a poder-se fazer uma comparação conclusiva das duas. Foi então, executada uma análise sem consideração de armazenamento e uma outra análise com a inclusão de armazenamento elétrico. A análise sem armazenamento permitiu mostrar a partir de que potência de produção fazia sentido o uso de armazenamento integrado no sistema para autoconsumo para o consumidor em causa. Fazendo de seguida a análise com armazenamento, a partir desse nível de potência considerado anteriormente. Desta forma foi possível chegar a valores de potência de produção e capacidade de armazenamento para o cliente.

Perante a análise efetuada usando os dois métodos, chegou-se a soluções equivalentes de potência de produção e armazenamento para o cliente em estudo, embora os valores referentes aos indicadores dos dois métodos não fossem exatamente iguais, o que era esperado, devido à metodologia 2 usar um procedimento menos preciso por utilizar dados não tão detalhados como a metodologia 1. A metodologia 1 serviu aqui neste trabalho para validação da metodologia 2.

Conclui-se assim, que a segunda metodologia revelou ser uma boa alternativa a propor-se à metodologia 1, metodologia de referência, devido à fiabilidade apresentada nos resultados obtidos por comparação com os resultados da primeira metodologia.

7.1 Trabalhos Futuros

Dando seguimento ao trabalho aqui efetuado seria interessante usar estas metodologias desenvolvidas e fazer uma análise usando outros consumidores, de forma a afirmar a fiabilidade da segunda metodologia para casos gerais.

De modo a dar seguimento à segunda metodologia desenvolvida, a qual como se viu é um método simples para análise de sistemas para autoconsumo, era ter como base essa metodologia, e desenvolver uma plataforma à qual o cliente tivesse acesso e o próprio inserisse os dados relativos às características da sua instalação, de modo a que lhe fossem apresentadas várias soluções de dimensionamento para o seu sistema de autoconsumo.

Uma outra proposta interessante era de acordo com as soluções encontradas, para o cliente, fazer uma análise do mercado, em termos de sistemas para autoconsumo e fazer um estudo sobre o investimento e o tempo de retorno, ao escolher uma das soluções de potência e armazenamento propostas.

Outra ideia de trabalho, era acrescentar aos métodos desenvolvidos a opção de se ter uma outra fonte de energia renovável, como por exemplo a energia eólica, e fazer uma análise semelhante ao elaborado nesta dissertação.

REFERÊNCIAS

- [1] I. Almas, "Sistemas de autoconsumo de pequena e média dimensão-metodologias de avaliação técnica e económica de projetos," Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Universidade de Lisboa, 2017.
- [2] F. Santos, "Armazenamento de Energia Associado à Produção com Origem em Fontes Renováveis," Tese Doutorado, Departamento Engenharia Electrotécnica e Computadores, Universidade de Coimbra, 2016.
- [3] APREN. (2018). Boletim de Energias Renováveis. Available: www.apren.pt
- [4] APREN. (2017). Eletricidade Renovável em Revista. Available: www.apren.pt/contents/files/2017-eletricidade-renovavel-em-revista.pdf
- [5] Eco-ap. (2019). Energias Renováveis. Available: ecoap.pnaee.pt/wp-content/uploads/2019/01/Guia-6-ENERGIAS-RENOVAVEIS.pdf
- [6] ADENE. (2017). Sistemas Solares Fotovoltaicos Available: www.sce.pt/wp-content/uploads/2017/11/10see-10-sist-fotovoltaico-1.pdf
- [7] L. Santos, "Desenvolvimento de Ferramentas de Apoio ao Dimensionamento de Sistemas de Autoconsumo Fotovoltaico em Ambiente Doméstico," Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2015.
- [8] SOLARGIS. Solar resource maps and GIS data for 180+ countries | Solargis. Available: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/europe>
- [9] Decreto-Lei 153/2014, 2014-10-20 - DRE. Available: https://dre.pt/home/-/dre/58406974/details/maximized?p_auth=IDAA6wA0
- [10] IRENA. (2017). Solar energy. Available: www.irena.org/en/solar
- [11] S. Almazrouei, A. Hamid, and M. Shamsuzzaman, "Predictive energy management in large-scale grid connected PV-batteries system," in 2018 5th International Conference on Renewable Energy: Generation and Applications (ICREGA), 2018, pp. 315-318.
- [12] P. Costa, "Simulação de Soluções de Autoconsumo Fotovoltaico - Viabilidade do Armazenamento no Sector Residencial," Dissertação Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2016.
- [13] R. Perdigão, "Metodologia para Dimensionamento de Sistema Fotovoltaico Residencial para Autoconsumo com Armazenamento," Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Electrotécnica e Computadores, Universidade de Coimbra, 2018.
- [14] EDP. ENERGIA SOLAR EDP A ENERGIA DO SOL CHEGOU A SUA CASA. Available: www.edp.pt/media/1537551/manual-utilizador-sistemas-ate-6-paineis-ligacao-quadro.pdf
- [15] R. Abreu. (2017). Energia Solar. Available: <http://blogravprojects.wixsite.com/ravprojects/single-post/2017/01/26/Energia-Solar>
- [16] EDP. (2018). Manual de Ligações à rede elétrica de serviço público. Available: <https://www.edpdistribuicao.pt>
- [17] OMIE. (2018). Relatório Anual | OMIE. Available: <http://www.omie.es/pt/principal/publicacoes/relatorio-anual>

- [18] J. W. C. A. Silva-Monroy, "Integrating Energy Storage Devices Into Market Management Systems," *Proceedings of the IEEE*, vol. 102, pp. 1084-1093, 2014.
- [19] B. M. C. Akbari H., Ortega Anita Huang, Ming Jun Hewitt, Neil J. Norton, Brian McCormack, Sarah J., "Efficient energy storage technologies for photovoltaic systems," *Solar Energy*, 2018.
- [20] L. Pereira, "Sistema de Gestão de Baterias de Iões de Li Orientado ao Modelo da Bateria," *Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto*, 2013.
- [21] M. A. Hannan, M. M. Hoque, A. Hussain, Y. Yusof, and P. J. Ker, "State-of-the-Art and Energy Management System of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicle Applications: Issues and Recommendations," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 19362-19378, 2018.
- [22] D. S. Shafiullah, T. H. Vo, and P. H. Nguyen, "A Heuristic Search Approach for Sizing Battery Storage of a Neighbourhood including nearly Zero Energy Buildings (nZEB)," in *2018 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe)*, 2018, pp. 1-6.
- [23] A. Silva, "Desenvolvimento de Materiais de Cátodo para Baterias de Ião Lítio à base de Polímeros Condutores com Dopagem Pseudo-Catiónica," *Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Universidade de Lisboa*, 2015.
- [24] ABB. Photovoltaic energy storage solutions - Solar inverters (Power Converters and Inverters) | ABB. Available: <https://new.abb.com/power-converters-inverters/solar/photovoltaic-energy-storage>
- [25] LG. LG Chem. Available: www.lgesspartner.com
- [26] EDP. (2019). OPÇÃO HORÁRIA. Available: <https://www.edp.pt/negocios/apoio-cliente/opcao-horaria.aspx>
- [27] ERSE. (2018). Portal ERSE - Tarifas Reguladas em 2018. Available: <http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/2018/Paginas/default.aspx>
- [28] W. Ltd. (2018). Horas de sol diárias - Coimbra - calculador do clima Portugal. Available: <https://www.weatheronline.pt/weather/maps/city>

ANEXO A – CARATERÍSTICAS TÉCNICAS DAS TECNOLOGIAS DE ARMAZENAMENTO

Technical data and types

Battery unit	REACT2-BATT
Modules manufacturer	Samsung
Battery type	Li-Ion
Total energy	4 kWh
Operating DC voltage range	170-575 V
Absolute maximum DC voltage	575 V
Module voltage	200 V
Deep of discharge (DoD)	95%
Charge power	1.6 kW
Discharge power	2 kW

Fig. A 1 – Caraterísticas técnicas do React 2 da ABB [24].

Residential ESS



48V



Models	RESU3.3	RESU6.5	RESU10	RESU13
Total Energy [kWh] ¹⁾	3.3	6.5	9.8	13.1
Usable Energy [kWh] ²⁾	2.9	5.9	8.8	12.4
Capacity [Ah]	63	126	189	252
Nominal Voltage [V]	51.8			
Voltage Range [V]	42.0-58.8			
Dimension [W x H x D, mm]	452 x 403 x 120	452 x 656 x 120	452 x 484 x 227	452 x 626 x 227
Weight [kg]	31	52	75	99
Enclosure Protection Rating	IP55			
Communication	CAN2.0B			
Certificatões	Cell	UL1642		
	Product	UL1973 / TUV (IEC 62619) / CE / FCC / RCM		TUV(IEC 62619)/CE/FCC/ROM

1) Total Energy is measured at the initial stage of battery life under the condition as follows : Temperature 25°C

2) Usable Energy is based on battery cell only

Compatible Inverter Brands : SMA, SolaX, Ingeteam, GoodWe, Sungrow, Victron Energy, Selectronic - More brands to be added

Fig. A 2 – Caraterísticas técnicas das baterias da LG [25].

ANEXO B – DADOS MENSAIS REFERENTES AO USO DA METODOLOGIA 1

Neste anexo são apresentados graficamente dados mensais de forma desagregada, do impacto de cada uma das soluções chegadas para o cliente em estudo.

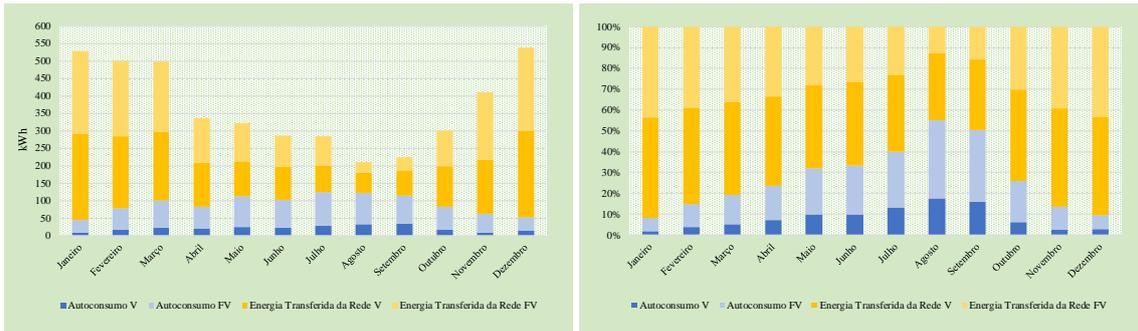


Fig. B 1 – Dados referentes: potência de produção de 750 W e capacidade de armazenamento de 3000 Wh.

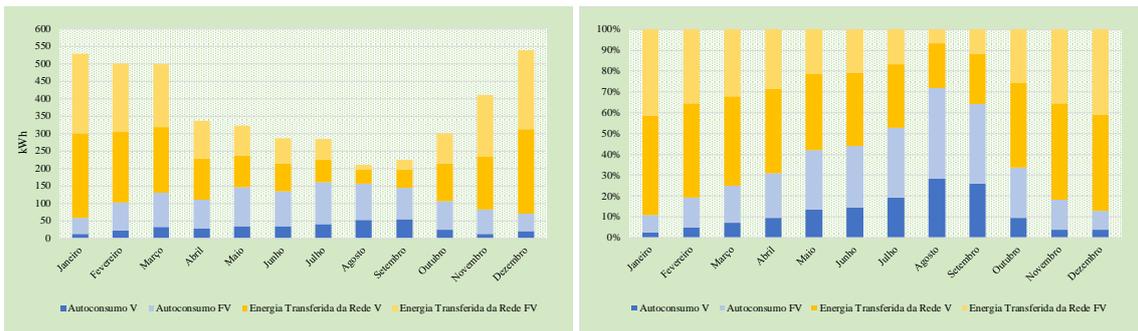


Fig. B 2 – Dados referentes: potência de produção de 1000 W e capacidade de armazenamento de 4000 Wh.

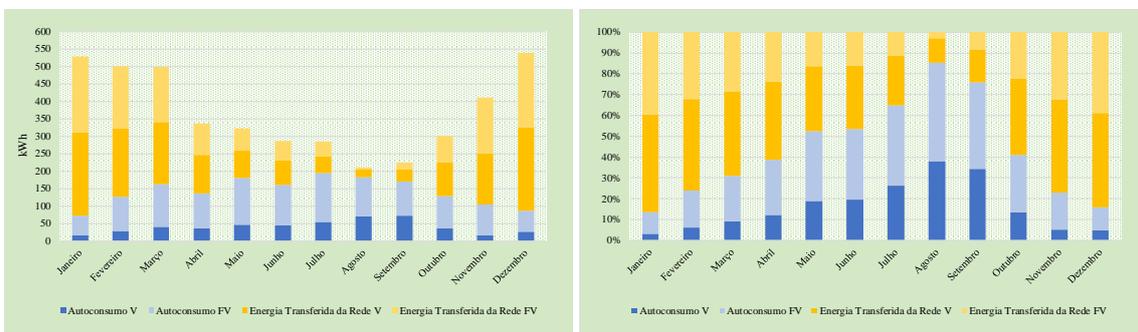


Fig. B 3 – Dados referentes: potência de produção de 1250 W e capacidade de armazenamento de 5000 Wh.

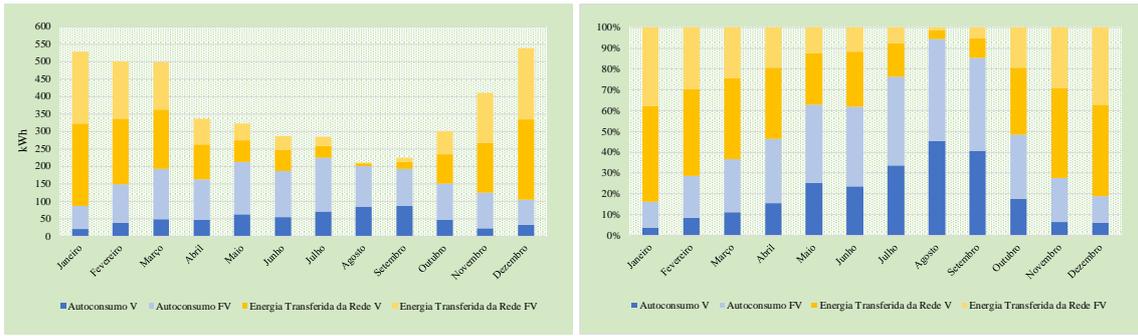


Fig. B 4 – Dados referentes: potência de produção de 1500 W e capacidade de armazenamento de 6000 Wh.

ANEXO C – DADOS MENSAIS REFERENTES AO USO DA METODOLOGIA 2

Neste anexo por sua vez, são apresentados os dados mensais relativos às soluções propostas ao cliente em termos de potência de produção e capacidade de armazenamento a instalar.

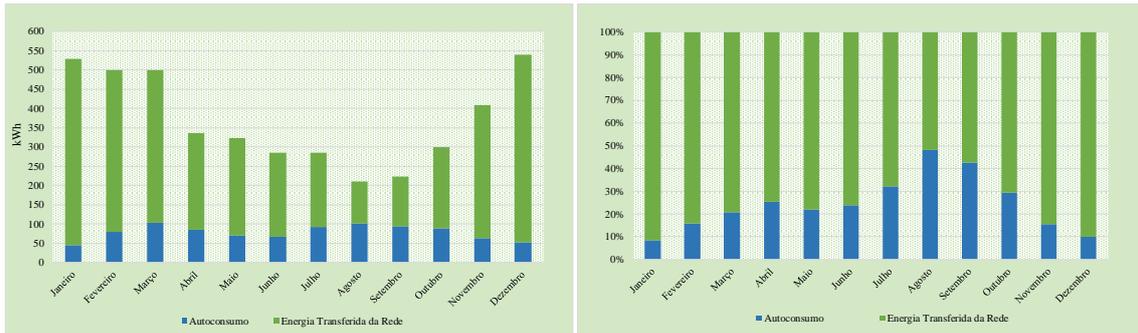


Fig. C 1 – Dados referentes: potência de produção de 750 W e capacidade de armazenamento de 3000 Wh.

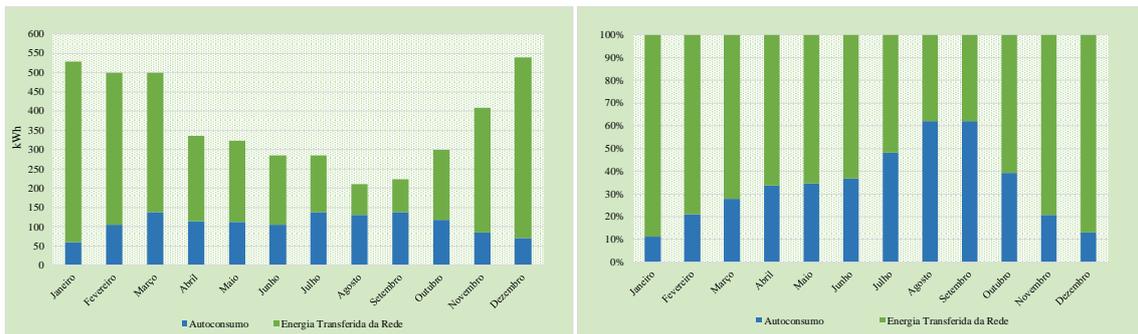


Fig. C 2 – Dados referentes: potência de produção de 1000 W e capacidade de armazenamento de 4000 Wh.

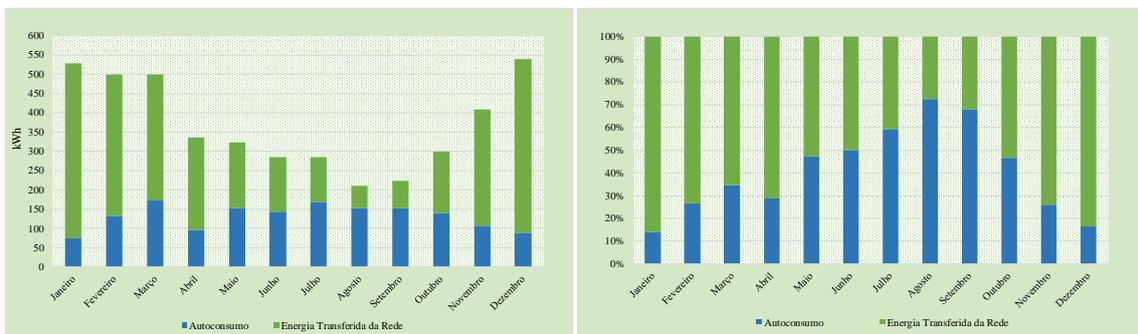


Fig. C 3 – Dados referentes: potência de produção de 1250 W e capacidade de armazenamento de 5000 Wh.

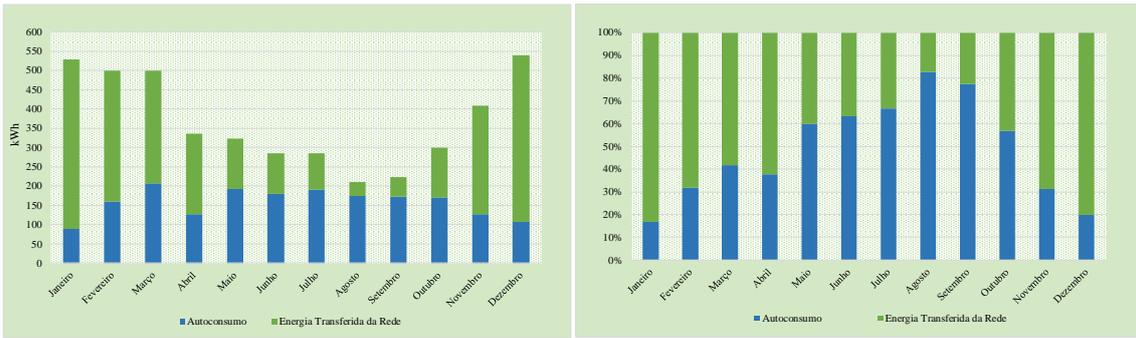


Fig. C 4 – Dados referentes: potência de produção de 1500 W e capacidade de armazenamento de 6000 Wh.